



Bitlis Eren Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi

Bitlis Eren University
Journal of Science

ISSN : 2147-3129
e-ISSN : 2147-3188

Cilt / Volume: 10

Sayı / Number: 3

Yıl / Year: 2021

Yazışma Adresi

Bitlis Eren Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE
Tel: 0 (434) 2220071

<http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

Yayın Kurulu / Editorial Board

Sahibi / Owner	Prof. Dr. Necmettin ELMASTAŞ
Sorumlu Müdür / Director	Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN
Baş Editör / Editor in Chief	Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN
Yardımcı Editörler / Associate Editors	Doç. Dr. Ali ÇAKMAK Dr. Öğr. Üyesi Yunus SAYAN Dr. Mehmet Akif YERLİKAYA
Dil Editörleri / Language Editors	Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL Arş. Gör. İrem Ceren DOĞAN
Dizgi / Typographic	Doç. Dr. Kubilay TOYRAN Doç. Dr. Ali ÇAKMAK

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Atilla ARSLAN	Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Nurtaç ÖZ	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Soner ÖZGEN	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Hasan SEVGİLİ	Ordu Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA	Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Esvet AKBAŞ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Mikail ET	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Özdemir ADIZEL	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Bayram GÜNDÜZ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Doç. Dr. Orhan Taner CAN	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Sait İZGİ	Siirt Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇELTEK	Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tarkan YORULMAZ	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Cem KOŞAR	Gaziantep Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI	Batman Üniversitesi

Hakem Kurulu / Reviewer Board

Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR	Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Necati ÇELİK	Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet Hakan YILMAZ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşegül ÇEBİ	Giresun Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşe Dilek ÖZŞAHİN KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Reşat YILMAZER	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Özden BARIM ÖZ	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Faruk ÖZKUTLU	Ordu Üniversitesi
Prof. Dr. Yakup Erhan BÖKE	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Prof. Dr. Özgen Osman DEMİRBAŞ	İzmir Ekonomi Üniversitesi
Prof. Dr. Abdul Kadir EKŞİ;	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan BEKTAŞ	Giresun Üniversitesi
Prof. Dr. Abdülmecit GÜLDAŞ	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Sefa KAZANÇ	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Ömer Cevdet BİLGİN	Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Lütüf YOLA	Hasan Kalyoncu Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Ali BELEN	İskenderun Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Abdullah AKBULUT	Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. Asude HANEDAR	Namık Kemal Üniversitesi
Doç. Dr. Abdulhalim KARAŞİN	Dicle Üniversitesi
Doç. Dr. Nuri Murat YAĞMURLU	İnönü Üniversitesi
Doç. Dr. Sultan ŞAHİN BAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Esin POYRAZOĞLU	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Doç. Dr. Ceyhan YILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Barış ERDİL	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Gökhan GÖKDERE	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Bayram GÜNDÜZ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ	Batman Üniversitesi
Doç. Dr. Levent URTEKİN	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Doç. Dr. Murat ESKİL	Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. İhsan KIRIK	Bingöl Üniversitesi
Doç. Dr. Oğuz Ayhan KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Gülden DOĞAN	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Muhammet Serdar ÇAVUŞ	Kastamonu Üniversitesi
Doç. Dr. Feride AKMAN	Bingöl Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ezman KARABULUT	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Senem TEKİN	Adıyaman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Can Ali AĞCA	Bingöl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ERDEN	Bartın Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serdar SOLAK	Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şaban BÜLBÜL	Necmettin Erbakan Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Osman BAYRAK	Bursa Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ATEŞ	Kırklareli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Güler Ufuk DEMİRBAŞ	Çankaya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Doğan ÇELİK	Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Selman ÇAĞMAN	Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Dilara ÖZTÜRK	Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül Demir YETİŞ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Bahadır Erman YÜCE	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Melda Alkan ÇAKIROĞLU	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hakan DİLMAÇ	Süleyman Demirel Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yener ALTUN	Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aysel ALKAN UÇKUN	Adıyaman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Saadetin AYDIIN	Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN	Adıyaman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ŞENOL	Nevşehir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fahrettin ÖZBEY	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatih AVCIL	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜÇLÜER	Adıyaman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Pelin OTANSEV	İstanbul Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tarkan YORULMAZ	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Metin ERTAŞ	Hakkâri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ	Düzce Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN	Karabük Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU	Yıldız Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Taner GÖKTAŞ	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Caner ACAR	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk CAN	Dicle Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aydın ÇITLAK	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Halil YANARDAĞ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ceyhun AKSOYLU	Konya Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih KULUÖZTÜRK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Didem TUNCER	Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Bekir YAVUZER	Beykent Üniversitesi
Dr. Esen HANAÇ	Adıyaman Üniversitesi
Dr. Erdiñ VURAL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Dr. Aykan AKÇA	Aksaray Üniversitesi
Öğr. Gör. Recep YETİŞ	Bitlis Eren Üniversitesi
Arş Gör. Yunus KAYA	Harran Üniversitesi
Arş. Gör. Halil İbrahim ŞENOL	Harran Üniversitesi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki gelişmeleri ve yenilikleri takip etmek, meslek kuruluşlarının, araştırmacıların ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda elektronik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Fen Bilimleri Dergisi, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü yayını olup, 2012 yılından bu yana ücretsiz ve açık erişimli olarak yayın hayatına devam etmektedir. Mühendislik ve temel bilimlerin bilgi tabanına ve teknolojik gelişmelere ışık tutması amacıyla bu alanlarda yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan özgün araştırma makalelerine, derlemelere ve teknik notlara yer verilmektedir. Dergiye gönderilen çalışmaların benzerlik oranı %15'i geçmemelidir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden önce düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle, derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Ayrıca, editörlerden yazarlara iletilen düzeltmelere veya taleplere 15 gün içerisinde cevap verilmediği takdirde ilgili makaleler reddedilir. Makaleler şekiller ve tablolar dâhil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayın için gönderilen makaleler en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Yazarlardan hakem önerisi talep edilmemektedir. Makalelerin dergide yayımlanabilmesi için hakemler tarafından olumlu görüş bildirilmesi gerekmektedir. Dergi Editör Kurulu, hakem raporlarını (*iki hakemin değerlendirmeleri geldikten sonra*) dikkate alarak makalelerin yayımlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir. Fen Bilimleri Dergisi, yılda dört defa (*Mart, Haziran, Eylül, Aralık*) yayımlanmaktadır. **Dergimiz Tübitak-Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Dergi Listesinde taranmaktadır.**

B.E.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 10(3), 2021 / B.E.U. Journal of Science 10(3), 2021
İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makaleleri (Temel Bilimler) / Research Articles (Basic Science)

- | | | |
|----|---|---------|
| 1. | Ev İçi Radon Aktivite Konsantrasyonu ve Kanser Riski
<i>Indoor Radon Activity Concentration and Cancer Risk</i>
P. Otansev | 683-691 |
| 2. | The Protective Effects of Borax on Doxorubicin Induced Cardiotoxicity in Rats
<i>Ratlarda Doksorubusin ile Teşvik edilmiş Kardiyotoksisite Üzerine Boraks'ın Koruyucu Etkileri</i>
B. Çelikezen, S. Tanyıldızı, G. Oto | 692-702 |
| 3. | The Approximate Solution of Singularly Perturbed Burger-Huxley Equation with RDTM
<i>RDTM ile Singüler Pertürbe Burger-Huxley Denkleminin Yaklaşık Çözümü</i>
D. Arslan | 703-709 |
| 4. | The Effects of <i>Coriandrum sativum</i> L. and <i>Chaerophyllum macropodum</i> Boiss. (Apiaceae) on human plasma angiotensin-converting enzyme (ACE) <i>in vitro</i>
<i>Coriandrum sativum</i> L. ve <i>Chaerophyllum macropodum</i> Boiss. (Apiaceae)'nin <i>in vitro</i> İnsan Plazma Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim Üzerine Etkileri
F.Ç. Çelikezen, V. Türkoğlu, M. Fırat, Z. Baş | 710-718 |
| 5. | An Efficient Nonlinear Technique For Solving Fourth-order Fractional Integro-differential equations
<i>Dördüncü Mertebeden Kesirli İntegro-Diferensiyel Denklemlerin Etkili Bir Non-lineer Teknikle Çözümü</i>
V. Türüt | 719-743 |

6. **Evaluation of Some Biomarkers in Carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) Depending on Water and Sediment Pollution of Atatürk Dam Lake** 744-753
*Atatürk Baraj Gölü Su ve Sediment Kirliliğine Bağlı Olarak Sazanlarda (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) Bazı Biyobelirteçlerin Değerlendirilmesi*
A.A. Uçkun, M. Uçkun
7. **Sır Baraj Göllet'inde Yaşayan Balık Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Ölçülmesi (Kahramanmaraş, Türkiye)** 754-762
Measurement of Gross Alpha and Beta Radioactivity Levels in Fish Samples Living in Sır Dam Pond (Kahramanmaraş, Turkey)
H. Çam
8. **Kahramanmaraş İli Yabani Memeli Faunası** 763-772
Wild Mammal Fauna of Kahramanmaraş Province
G. Yürümez
9. **Association of the phenolic content, DNA protective activity and some antioxidant properties in the *Achillea arabica* Kotschy Flower** 773-783
Achillea arabica Kotschy Çiçeğindeki Fenolik İçerik, DNA Koruyucu Aktivite ve Bazı Antioksidan Özelliklerin İlişkisi
E. F. Koçpınar
10. ***Saccharomyces cerevisiae*'de Krom ($K_2Cr_2O_7$) ile Oluşturulan Oksidatif Hasara Karşı Goji Berry'nin Koruyucu Etkileri** 784-795
*The Protective Effects of Goji berry Against Oxidative Damage Caused by Chromium ($K_2Cr_2O_7$) in *Saccharomyces cerevisiae**
A. Aslan
11. **Ti-27Ni-20Nb-3V Alaşımın Faz Dönüşüm Sıcaklıkları, Korozyon Direnci ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi** 796-802
Investigation of Phase Transformation Temperature, Corrosion Resistance and Structural Properties of Ti-27Ni-20Nb-3V Shape Memory Alloy
F. Dağdelen, E. Balcı, E. Ercan
12. **Saf Kalsiyum Elementinin Isıtma Sürecinin Moleküler Dinamik Benzetim Yöntemi ile İncelenmesi** 803-815
Investigation of Heating Process of Pure Calcium Element by Molecular Dynamics Simulation Method
M. Çeltek
13. **Siverek Bölgesinde Yetişen Kenger (*Gundelia tournefortii*) bitkisinin Ağır Metal, Fenolikasit ve Antioksidan İçeriklerinin Araştırılması** 816-827
*Investigation of Heavy Metal, Phenolic acid and Antioxidant Content of Kenger (*Gundelia tournefortii*) Samples Growing in Siverek Region*
B. Dağ
14. **Üç-Boyutlu Esnek Olmayan $C(^1D)+H_2$ Saçılmasında Geçiş Olasılıkları ve Tesir Kesitlerinin Hesaplanması** 828-840
The Calculation of Transition Probabilities and Cross Sections in Three-Dimensional Inelastic $C(^1D)+H_2$ Scattering
M. Demir, F. Göktaş
15. **Assessment of tourist arrival from Russian to Antalya using the univariate time series methods** 841-848
Tek değişkenli zaman serileri yöntemlerini kullanarak Rusya'dan Antalya'ya gelen turistlerin değerlendirilmesi
H. Öncel Çekim, A. Koyuncu

16. **Poli(4-vinilbenzil-g-stiren) Aşı Kopolimerinin RAFT ve SRP Yöntemleriyle Sentezi ve Karakterizasyonu** 849-857
Synthesis and Characterization of Poly(4-vinylbenzyl-g-styren) Graft Copolymer by RAFT and FRP Methods
B. Savaş, T. Öztürk, E. Meyvacı
17. **Combination of PCA with SMOTE Oversampling for Classification of High-Dimensional Imbalanced Data** 858-869
Yüksek Boyutlu Dengesiz Verilerin Sınıflandırılması İçin SMOTE Aşırı Örnekleme İle PCA'nın Kombinasyonu
G.A.A. Mulla, Y. Demir, M.M. Hassan
18. **Azot-Katkılı 3 Boyutlu Grafen Mimari Üzerinde Desteklenen Paladyum Nanopartiküllerin Doğrudan Metanol Yakıt Hücrelerinde Elektrokatalizör Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi** 870-876
Investigation of The Potential Usage of Palladium Nanoparticles Supported on Nitrogen Doped 3 Dimensional Graphene Architecture As Electrocatalysts in Direct Methanol Fuel Cells
O. Karaman
19. **Ardıl-k Sistemler için Önerilen Güvenilirlik Sınırlarının Karşılaştırılması** 877-890
Comparison of the Recommended Reliability Bounds for Consecutive-k Systems
A. Demiralp, M. Güngör
20. **Kahramanmaraş İlinde Bina İçi Mevsimsel Radon Gazı Aktivitesi Ölçümü** 891-901
Seasonal Indoor Radon Gas Activity Measurement in Kahramanmaraş Province
E. Küçükönder
21. **Termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen n-ZnO/p-Si heteroeklem kontakların elektriksel ve optiksel karakterizasyonu** 902-910
Electrical and optical characterization of n-ZnO/p-Si heterojunction contacts produced by thermal evaporation method
A. Özkartal
22. **Bazı Mantar Türlerinin Lakkaz Aktivitelerinin Kıyaslanması ve *Clytocibe nebularis* Türünün Biyosensör Sistemlerine Uygulanabilirliğinin İncelenmesi** 911-919
*Comparison of Laccase Activities of Some Fungi and Investigation of Applicability of *Clytocibe nebularis* species to Biosensor System*
E. Asav

Araştırma Makaleleri (Mühendislik) / Research Articles (Engineering)

23. **The Gray-level Co-occurrence Matrix Approach to Measure Uniformity of Fuji Prescale Pressure Sensitive Film Samples** 920-929
Fuji Prescale Basınca Duyarlı Film Numunelerinin Homojenliğini Ölçmek İçin Gri Düzey Eş Oluşum Matrisi
İ. Mutlu, T. Çelik, A. Özkan, Y. Kişioğlu
24. **Characterization of Waste Tire Pyrolysis Products by GC, ICP-MS, TGA and DSC** 930-942
Atık Lastik Pirolez Ürünlerinin GC, ICP-MS, TGA ve DSC tarafından karakterizasyon
G. Uğuz, A. Ayanoğlu
25. **Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Alan Yönlendirmeli Kontrolü ve Kontrol İçin Geliştirilen Özel Amaçlı Motor Sürücüsünün Tasarımı ve Prototip Üretimi** 943-957
Field Oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Motor and Design and Prototype Production of a Special Purpose Motor Drive
H.C. Yılmaz, E. Kandemir Beşer
26. **Kabin Tipi Bir Ofisin Kış İklimlendirmesinde Hız ve Sıcaklık Dağılımının Sayısal İncelenmesi** 958-972
Numerical Analysis of Velocity and Temperature Distributions in Winter Air Conditioning of Cabin Type Offices
G. Çakmak, M. Yavuz, C. Yıldız

27. **Gövde Borulu Isı Değiştiricilerinde Farklı Tip Şaşırtma Levhalarının Isı ve Akış Analizi** 973-986
Heat and Flow Analysis of Different Type Baffle in Shell and Tube Heat Exchanger
T. Karataş, İ. G. Aksoy
28. **Zeolit Katkısının Antibakteriyel ve Kendi Kendini Temizleyen Harç Özelliklerine Etkisi** 987-998
Effect of Zeolite Additives on the Antibacterial and Self-Cleaning Mortar Properties
M. Güldaş, M. Canbaz, M. Orhan
29. **Silindirle Sıkıştırılmış Atık Beton Agregasının Silindirle Sıkıştırılmış Beton Üretiminde Yeniden Değerlendirilmesi** 999-1008
Re-evaluation of Waste Roller Compacted Concrete Aggregate in Production of Roller Compacted Concretes
İ. Kılıç, S.G. Gök
30. **Harran Ovası Yaygın Toprak Serilerinin Su Tutma Eğrilerinin Belirlenmesi** 1009-1018
Determination of Water Retention Curves of Harran Plain Common Soil Series
A. R. Öztürkmen, E. Ramazanoğlu, M. Çakmaklı, E. Çakmaklı
31. **Investigating the Effect of Masonry Infill Walls on the 2D RC Structural Systems with Asymmetry along the Elevation** 1019-1039
Yükseklik Boyunca Asimetrik 2B Betonarme Yapısal Sistemlerde Yığma Dolgu Duvarların Etkisinin İncelenmesi
F. Güllü, İ. Alhalil
32. **Yüksek Çözünürlüklü İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntülerinden Karayolların Tespiti** 1040-1054
Detection of Highways from High-Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images
A.Y. Yiğit, M. Uysal
33. **Lisanslı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Yatırımının Finansal Analizi: Van İli Örneği** 1055-1074
Financial Analysis of Licensed Solar PV Investment: A Case Study of Van Province
M. Yalılı
34. **Yatay Toprak Isı Değiştiricilerdeki Basınç Kayıplarının İki Boyutlu Bilgisayar Simülasyonları ile Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirilmesi** 1075-1082
Energy Efficiency Assessment of Pressure Losses in Horizontal Ground Heat Exchangers with Two-Dimensional Computational Simulations
A. Azam, A. Değirmenci, M.E. Çakmak
35. **The Assessment of H₂S Emission from Araç Stream, in Karabük** 1083-1092
Karabük Araç Çayı kaynaklı H₂S Emisyonunun Değerlendirilmesi
K. Ulutaş, A. Kocaman, R. Çalhan
36. **Eklemeli İmalat Yöntemi ile Optimum Düz Dişli Çark Tasarımı ve Üretimi** 1093-1103
Optimum Spur Gear Design and Production with Additive Manufacturing Method
O. Doğan, M.S. Kamer
37. **Yeni Yapılacak Betonarme Bir Binanın TBDY 2018'e göre Deprem Performansının Belirlenmesi** 1104-1124
Determining the Seismic Performance of a New Reinforced Concrete Building According to Turkish Seismic Code 2018
T. İbiş, H. Ulutaş
38. **TBDY-2018'deki Yerel Zemin Koşullarının Çelik Yapı Deprem Davranışına Etkisi Üzerine Bir Çalışma** 1125-1139
A Study on the Effect of Local Soil Conditions in TBDY-2018 on Earthquake Behavior of Steel Structure
F.Ü. Peker, E. Işık

39. **Determining of Aircraft Engine Greenhouse Gas (CO₂, CH₄ and N₂O) Emissions from the Landing and Take-Off Operations Around the Airport Area** 1140-1151
Havalimanı Bölgesinde İniş ve Kalkış Operasyonlarından Kaynaklanan Uçak Motoru Sera Gazı (CO₂, CH₄ ve N₂O) Emisyonlarının Belirlenmesi
H.Y. Akdeniz
40. **Benzinli Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılan Sodyum Borhidrür Katkılı Metanol-Benzin Karışımli Yakıtların Performans ve Emisyon Analizi** 1152-1160
Performance and Emission Analysis of Sodium Borohydride Additive Methanol-Gasoline Blended Fuels Used as Fuel in a Gasoline Engine
A. Yakın, R. Behçet
41. **Effect of Taper Angle on Flow and Stress in Conical Shell Fluid Mixers** 1161-1167
Konik Gövdeli Akışkan Karıştırıcılarda Konik Açının Akış ve Gerilme Üzerindeki Etkisi
M.M. Yavuz
42. **Tungsten Karbür Besleme Stoğundan Elde Edilen Parçalar İçin İdeal Çözücünün Araştırılması** 1168-1174
Investigation of The Ideal Solvent For Parts Obtained From Tungsten Carbide Feedstock
K. Samet, M. Subaşı, Ç. Karataş
43. **Tepki Yüzey Metodolojisi Kullanarak Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma Parametrelerinin Optimizasyonu** 1175-1186
Optimization of Wear Parameters of Aluminum Matrix Composites Using Response Surface Methodology
D. Şimşek
44. **Yol Yüzey Anormalisinin Tespiti ve Analizi** 1187-1194
Detection and Analysis of Road Surface Anomaly
E. Deveci, B. Ergen
45. **Al 7075-T651 Alaşımının Tornalanmasında Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplama Performansının İncelenmesi** 1195-1204
Investigation of Diamond-Like Carbon (DLC) Coating Performance in Turning of Al 7075-T651 Alloy
N. Yılmaz
46. **Peyzaj Mimarlığı Bölümü Öğrencilerinin İç Mekân Bitkileri Dersi Kapsamında İlgi ve Performans Düzeylerinin Değerlendirilmesi** 1205-1219
An Evaluation of the Students of Landscape Architecture Department Interest and Performance Levels in Indoor Plants Course
N. M. Yalçınkaya

Araştırma Makalesi / Research Article

Ev İçi Radon Aktivite Konsantrasyonu ve Kanser Riski

Pelin OTANSEV*

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul
(ORCID: 0000-0003-0766-649X)*

Öz

Bu çalışmada, İstanbul ilinin çeşitli semtlerinde ev içi radon aktivite konsantrasyonları LR-115 pasif iz detektörler kullanılarak belirlendi. Kasımpaşa bölgesindeki binada en yüksek radon konsantrasyonu 100.40 Bq m⁻³ değer ile 1. katta belirlenmiştir. Sefaköy’deki binada radon konsantrasyonu binanın 5. katı hariç üst katlara doğru azalmıştır. 5. katta radonun yüksek olmasının nedeni zayıf havalandırma olabilir. Bahçelievler’de 1. kattaki radon konsantrasyonu 5. kattan daha yüksektir. Esenyurt’ ta 2. kattaki radon aktivitesi 1. kattan daha yüksektir ve bu havalandırma şartlarından kaynaklanabilir. Kasımpaşa, Sefaköy, Bahçeşehir, Bahçelievler ve Esenyurt’ taki binalarda belirlenen radon aktivite konsantrasyonları Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından belirlenen 400 Bq m⁻³ limit değerinin altındadır. Kolmogorov-Smirnov normalite testine göre, binalarda belirlenen radon aktivite konsantrasyonları normal bir dağılım göstermektedir. En düşük ve en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri 0.8 m Sv y⁻¹ ve 3.17 m Sv y⁻¹ olarak belirlendi. Kanser risk değerleri 0.28 x 10⁻³ ve 11.10x10⁻³ arasında elde edildi.

Anahtar kelimeler: Radon, Kanser riski, İstatistik parametreler.

Indoor Radon Activity Concentration and Cancer Risk

Abstract

In this study, indoor radon activity concentrations in various districts of Istanbul province were determined using LR-115 passive track detectors. In the building in Kasımpaşa region, the highest radon concentration was determined in the 1st floor with a value of 100.40 Bq m⁻³. In the building in Sefaköy, the radon concentration decreased towards the upper floors except the 5th floor of the building. The reason why radon is high in the 5th floor may be poor ventilation. In Bahçelievler, the radon concentration in the 1st floor was higher than the 5th floor. In Esenyurt, the radon concentration in the 2nd floor was higher than in the 1st floor, and this may be due to ventilation conditions. The radon activity concentrations determined in buildings in Kasımpaşa, Sefaköy, Bahçeşehir Bahçelievler and Esenyurt were below of 400 Bq m⁻³ limit value declared by the Turkish Atomic Energy Agency. According to the Kolmogorov-Smirnov normality test, the radon activity concentrations determined in the buildings show a normal distribution. The lowest and the highest annual effective dose equivalent were determined as 0.8x 10⁻³ and 3.17x10⁻³ m Sv y⁻¹. Cancer risk values were obtained between 0.28 x 10⁻³ and 11.10x10⁻³.

Keywords: Radon, Cancer risk, Statistics parameters.

1. Giriş

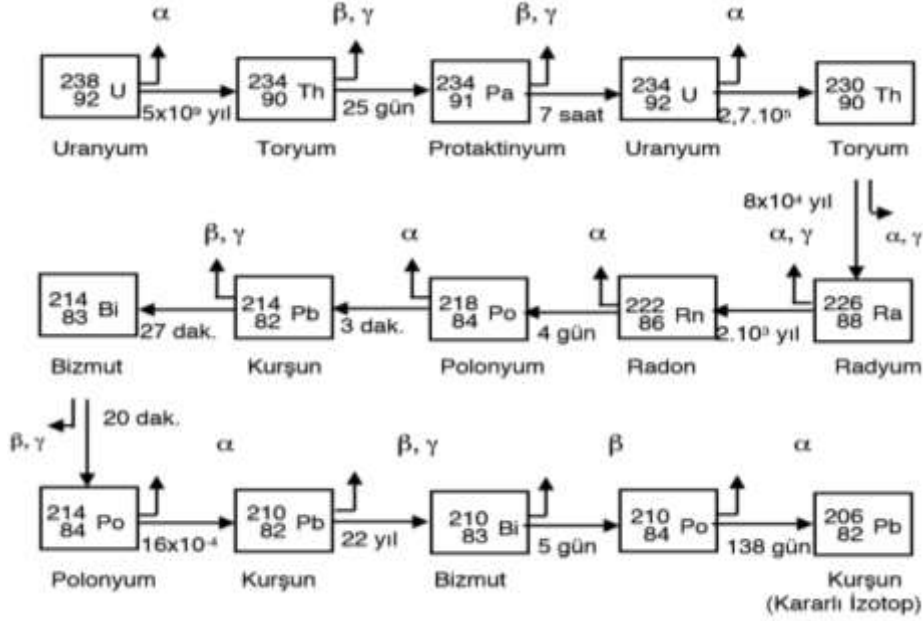
Bütün canlılar, karasal kökenli iyonlaştırıcı radyasyon ve güneş sisteminden kaynaklanan kozmik ışınların zararlı etkilerine maruz kalmaktadır.

4,5 milyar yıl önce dünyanın oluşumundan bu yana toprakta doğal olarak mevcut olan ve toprağın radyoaktif olmasına neden olan doğal radyonüklitlerden en önemlileri ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K dur. Bu radyonüklitlerin çevrede dağılımı bölgenin jeolojisi ve coğrafi durumuna bağlı olarak değişmektedir [1, 2]. Radonun doğada en çok bulunan iki izotopu ²²²Rn ve ²²⁰Rn’dir. ²²²Rn, yarı ömrü 4,56x10⁹ yıl olan

*Sorumlu yazar: pelins@istanbul.edu.tr

Geliş Tarihi: 30.01.2021, Kabul Tarihi: 29.04.2021

ve yer kabuğunda doğal olarak bulunan radyoaktif ^{238}U 'in bozunma zincirinin bir halkasıdır. Şekil 1 'de uranyumun bozunma zinciri verilmiştir.



Şekil 1. Uranyumun bozunma zinciri [3].

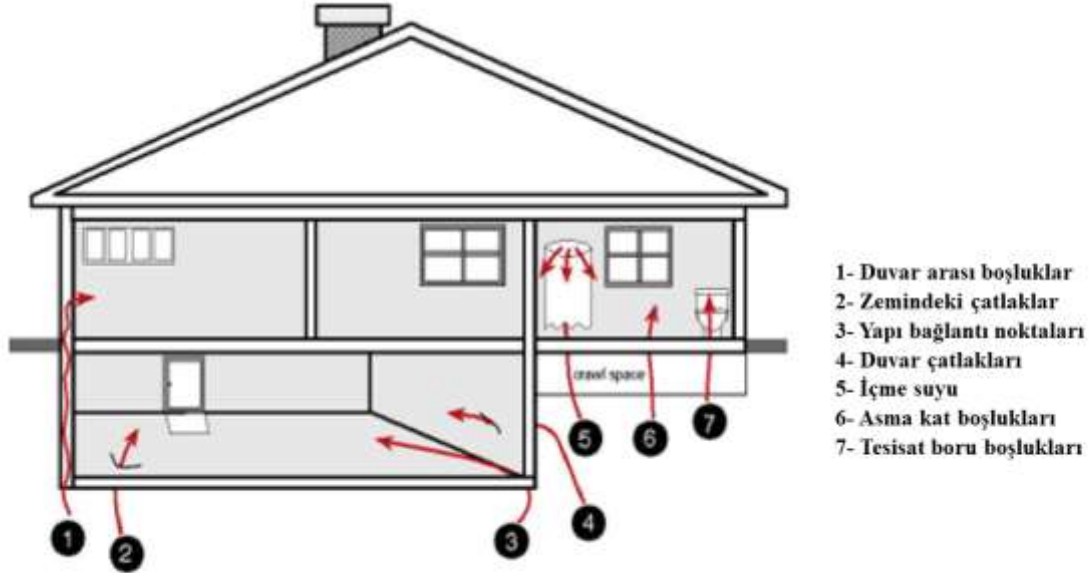
^{222}Rn , yarı ömrü 3,8 gün olup renksiz, tatsız ve kokusuz radyoaktif bir soy gazdır [4]. Radon havadan yaklaşık 7 kat daha ağırdır [5]. Tablo 1 'de ^{222}Rn 'nin fiziksel sabitleri verilmiştir. ^{220}Rn (toron) ise ^{232}Th 'un bozunum serisinde yer almaktadır [1]. ^{220}Rn , 55 saniyelik çok kısa yarı ömüre sahip olduğundan doğal ortamda radona göre ihmal edilebilecek kadar az bulunur.

Tablo 1. ^{222}Rn 'nin fiziksel sabitleri.

Atom ağırlığı	222
Atom numarası	86
Kaynama noktası	-62 °C
Kritik basınç	6.28 MPa
Yoğunluk	0.00973 g cm ⁻³
Ergime noktası	-71 °C

Topraktaki radon, bina zeminindeki çatlak ve boşluklar gibi yapısal kusurlardan dolayı bina içine kolaylıkla nüfuz edebilir. Radon, düşük konsantrasyonlarda olsa da yapı malzemelerinde de bulunur. Binalarda beton veya duvarlarda kullanılan malzemelerin uranyum içerikleri iç mekan radon konsantrasyonunu büyük ölçüde etkileyebilir. Radonun suda çözünebilme yeteneği diğer soy gazlardan daha yüksektir. Bu nedenle yeraltı sularında yüksek konsantrasyonlarda radon bulunabilir. Bu ise yeraltı suyunu kullanan insanlarda önemli sağlık sorunları oluşturabilir. Ayrıca radon, sudan ayrılarak ortama yayılabilme özelliği göstermektedir. Evlerde doğal gazın kullanılması radon konsantrasyonunu artıran bir diğer etmendir. Radon doğalgazın içinden ayrılarak ortama yayılabilmektedir [6]. Mevsimsel değişiklikler, bina iç-dış basınç farkı, binanın bulunduğu ana kayanın özellikleri, bu kayanın geçirgenliği ve gözenekliliği, binanın toprakla temasta olduğu yüzeyin alanı, binanın yalıtımı, doğal gaz, ev içi havalandırma koşulları ve ev sakinlerinin yaşam tarzı radon konsantrasyonunu etkileyen faktörlerdir [1]. Şekil 2 'de radonun evlere giriş yolları görülmektedir. Radondan kaynaklanan sağlık sorunlarının artmasının bir nedeni ise, enerji tasarrufu nedeniyle bina yalıtım sistemlerinin daha iyi hale getirilmesidir. Dolayısıyla, bina içine giren radon ortamda hapsedilmektedir. Bu ise radon konsantrasyonunu arttırmaktadır. Sigara içmeyen insanlarda görülen akciğer kanserinin sorumlusunun radon olduğu ifade edilmektedir. Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu (IARC), radonu grup 1 kanserojen olarak sınıflandırmıştır [7]. Radon ortamdaki toz ve su damlacıklarına bağlanır. Bu toz ve su

damlacıkları solunduğunda akciğerlerde birikir ve dokular alfa radyasyonuna maruz kalır. Sonuçta, dokunun DNA yapısı bozulur ve kansere neden olur [8, 9]. Akciğer kanseri ile vücutta biriken dozlar arasında doğrusal bir ilişki vardır. Radon konsantrasyonunda 100 Bq m⁻³ lük bir artışın akciğer kanser riskini % 8,4 oranında artırdığı bildirilmiştir [10]. Dünya sağlık örgütüne göre, akciğer kanseri nedenleri arasında radon sigaradan sonra ikinci sırada yer almaktadır [11]. Genelde insanlar zamanlarının % 90'lık kısmını kapalı ortamlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır [12]. Radon araştırmaları 1984 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmalar o zamandan beri devam etmektedir.



Şekil 2. Radonun ev ortamına giriş yolları [13]

Radon gazının ortamdaki düzeyinin doğru şekilde ölçülmesi radyasyondan korunma, uranyum aramaları ve depremlerin önceden saptanması çalışmaları için oldukça önemlidir [1]. Bu nedenle, son 20 yılda dünyanın pek çok ülkesinde kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır [14, 4, 5, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

Bu çalışmanın amacı, evlerde radon aktivite konsantrasyonunu belirleyerek, radon solunumu ile alınan yıllık etkin doz eşdeğerini ve akciğer kanser risklerini hesaplamaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Radon Ölçüm Yöntemi

Evlerde radon aktivite konsantrasyonu LR-115 pasif nükleer iz detektörler kullanılarak belirlenmiştir. Yöntem, LR-115 detektörü üzerine çarpan alfaların detektör üzerinde meydana getirdiği hasar sonucu gözle görülmeyen izler bırakması ve bu izlerin kimyasal iz kazıma işlemi ile büyütülerek optik mikroskopta sayılması esasına dayanmaktadır. LR-115 detektörler 2 cm x 2 cm boyutlarında hazırlanarak kodlanmış ve plastik kaplara yerleştirilmiştir. Hazırlanan detektörler kış mevsimlerinde evlerde 30 gün boyunca bekletilmiştir. Detektör üzerinde oluşan izlerin optik mikroskopta görünür hale gelmesi için, detektörlere kimyasal iz kazıma işlemi uygulanmıştır. Bunun için % 10 NaOH çözeltisi hazırlanmış ve çözelti sıcaklığı 60 °C oluncaya kadar etüvde bekletilmiştir. Detektörler bu çözelti içine koyularak 60 °C sabit sıcaklıkta 95 dakika boyunca bekletilmiştir. Bu süre sonunda detektörler alınarak saf su ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Detektör üzerinde oluşan izler 10x10 büyütmeli optik bir mikroskopta sayılmıştır. Detektör üzerindeki iz yoğunlukları iz sayısı cm⁻² olarak belirlenmiştir. Detektörlerin kalibrasyonu, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziği Bölümünde bulunan radon kalibrasyon odasında yapıldı.

Radon kalibrasyon odasında, 225 L' lik bir varilin tabanında aktivite konsantrasyonu bilinen bir ^{226}Ra kaynağı bulunmaktadır. Radon kalibrasyon odasındaki aktivite 3.2 kBq m^{-3} dür. Kalibrasyon faktörü $3.40 \text{ iz cm}^{-2} (\text{kBq})^{-1} \text{ saat}^{-1} \text{ m}^3$ olarak belirlenmiştir.

2.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Yıllık etkin doz eşdeğeri Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{YEDE} = \text{RAC} \times \text{F} \times \text{T} \times \text{D} \quad (1)$$

Burada RAC radon aktivite konsantrasyonudur. F radon ve kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü olup bina içi ışınlanmalar için 0,4' dür. T ev içi meşgulliyet faktörü 0,8 (% 80) dür. D ise doz dönüşüm faktörü olup değeri $9,0 \text{ nSv h}^{-1} / \text{Bq m}^{-3}$ dür [1].

2.3. Kanser Riski

Yaşam boyu kanser riski Eşitlik (2) ile hesaplanmıştır.

$$\text{ELCR} = \text{YEDE} \times \text{DL} \times \text{RF} \quad (2)$$

Burada DL ortalama yaşam süresi olup 70 yıl alınmıştır. RF ise risk faktörüdür. Radona maruz kalan insanlardan elde edilen epidemiyolojik bulgular, akciğer kanseri için risk faktörünün radona maruz kalma süresine ve erişilen yaşa göre büyük ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular ışığında, radon solunumundan kaynaklanan akciğer kanser riskini tahmin etmek için ICRP tarafından, halk için RF risk faktörü Sievert başına 0.05 olarak belirtilmiştir [22].

2.4. Radon Konsantrasyonu Limit Değerleri

Çeşitli ülkeler ve uluslararası kurumlar tarafından ev içi müsaade edilen radon aktivite konsantrasyonu limit değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Ev içi radon konsantrasyonlarının düzenli aralıklarla ölçülerek limit değeri aşması durumunda önlemlerin alınması gerekmektedir.

Tablo 2. Çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlarca belirlenen radon aktivite konsantrasyonu limit değerleri (Bq m^{-3}) [12].

A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Litvanya	100
Çin	200	İsveç	200	TAEK	400
Danimarka	400	Kanada	800	AB*	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	ICRP**	400
Finlandiya	200	İsviçre	400	WHO***	100

*Avrupa birliği, **Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi, ***Dünya Sağlık Örgütü

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve akciğer kanser riskleri Tablo 3'de verilmiştir. Evlerde biriken radon gazının ana kaynağı, binanın temas ettiği topraktaki uranyum ve türevleridir. Binanın temasta olduğu zemin toprağındaki uranyum içeriği, binanın iç ve dış cephesinde kullanılan malzemelerin uranyum içerikleri, binadaki dairelerin iç mekanında kullanılan malzemelerin uranyum içerikleri, havalandırma koşulları ve doğalgaz tesisatının yalıtımı radon konsantrasyonunu etkileyen parametrelerdir. Toprakta binaya radon girişi, binanın zemin, tuğla, beton ve çatlaklarından olduğu gibi bağlantı noktalarından ve binaya giren tesisat çevrelerindeki boşluklardan da olmaktadır. Tablo 3'den görüldüğü gibi Kasımpaşa bölgesindeki binanın 1. katında

radon aktivite konsantrasyonu diğer katlara nazaran daha yüksektir. 1. kattaki radon aktivitesi 4. kattaki radon aktivitesinden yaklaşık 3 kat daha yüksek belirlenmiştir. 6. ve 8. katlarda radon konsantrasyonunun 4. kata göre daha yüksek olmasının nedeni, bina içinde ve dışında kullanılan yapı malzemelerinin aynı olduğu ve bu katlarda radon konsantrasyonunu artıracak farklı malzemelerin kullanılmadığı göz önüne alındığında havalandırma koşulları olabilir. Bu durum havalandırma koşullarının radon konsantrasyonunu azaltmada ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Sefaköy’ de 5. kat hariç diğer katlarda radon aktivite değeri üst katlara doğru azalmaktadır. 5. kattaki değerin yüksek olmasının nedeni benzer şekilde kötü havalandırma şartları ile açıklanabilir. Aynı şekilde, Esenyurt’ ta binanın 2. katındaki radon aktivitesi 1. kata nazaran daha yüksek belirlenmiştir. Kapalı ortamlarda radonun izlenmesi amacıyla hem ülkeler hem de uluslararası kuruluşlar tarafından sınır değerler getirilmiştir. Dünya sağlık örgütü (WHO) tarafından verilen limit değer 100 Bq m^{-3} dür [11]. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından müsaade edilen radon konsantrasyonu limit değeri 400 Bq m^{-3} [12] olup elde ettiğimiz tüm değerler bu limit değerinin altında kalmaktadır. Dünya ortalamasına göre karşılaştırdığımızda, radon aktivite konsantrasyonları Kasımpaşa’ daki binanın 4. ve 8. katı hariç diğer kat ve binalarda dünya ortalaması olan 46 Bq m^{-3} [1]’den daha yüksek elde edilmiştir. Şekil 3’de ise ilçelere göre radon aktivite konsantrasyonları verilmiştir.

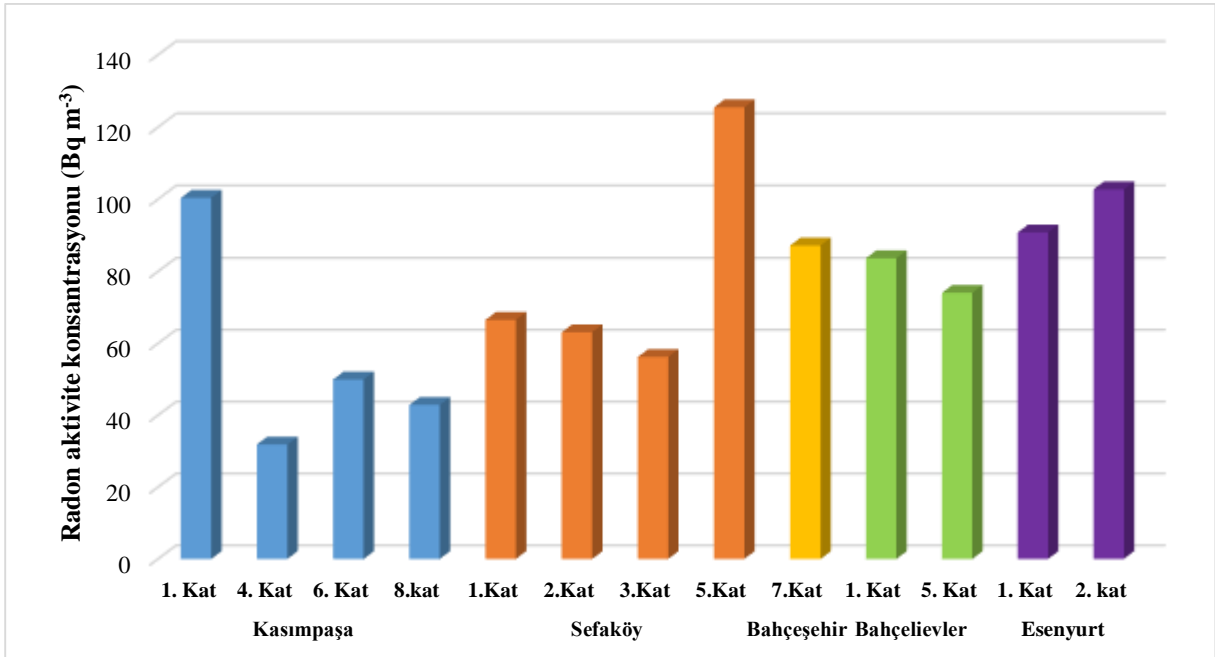
Tablo 3. Kasımpaşa, Sefaköy, Bahçeşehir, Bahçelievler ve Esenyurt semtlerindeki binalarda belirlenen radon aktivite konsantrasyonları ve kanser risk değerleri.

	RAC (Bq m^{-3})	YEDE (m Sv y^{-1})	Kanser riski $\times 10^{-3}$
Kasımpaşa			
1. Kat	100.40	2.53	8.86
4. Kat	31.88	0.80	0.28
6. Kat	49.96	1.26	4.41
8.kat	42.90	1.08	3.78
Sefaköy			
1.Kat	66.57	1.68	5.88
2.Kat	63.13	1.59	5.57
3.Kat	56.24	1.42	4.97
5.Kat	125.48	3.17	11.10
Bahçeşehir			
7.Kat	87.21	2.20	7.70
Bahçelievler			
1. Kat	83.69	2.11	7.34
5. Kat	74.09	1.87	6.55
Esenyurt			
1. Kat	90.82	2.29	8.02
2. kat	102.77	2.59	9.07
Ortalama	75.01	1.89	6.43
Minimum	31.88	0.80	0.28
Maksimum	125.48	3.17	11.10
Medyan	74.09	1.87	6.55
Standart Sapma	26.65	0.67	2.77
Çarpıklık	0.18	0.18	-0.56
Basıklık	-0.47	-0.45	0.95
p-değeri	0.200	0.200	0.200

Gürsel Karahan doktora tezi çalışmasında, İstanbul çevresinden aldığı 35 toprak örnekte ^{226}Ra konsantrasyonlarını belirlemiştir [23]. Karahan, İstanbul toprağındaki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu dağılımlarının düzensiz olduğunu, aktivite değerlerinin birbirine çok yakın yerlerde bile farklılık gösterdiğini ifade etmiştir. Karahan'ın elde ettiği sonuçlara göre, toprakta ^{226}Ra konsantrasyonları $7-66 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak değişmektedir. Bu çalışmada, 5 ilçenin evlerinde belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonu Kasımpaşa için 56.29 Bq m^{-3} , Sefaköy için 77.86 Bq m^{-3} , Bahçeşehir için 87.21 Bq m^{-3} , Bahçelievler için 78.89 Bq m^{-3} ve Esenyurt için 96.80 Bq m^{-3} olarak hesaplanmıştır. 5 ilçenin her biri için ortalama radon aktivite konsantrasyonları $56.29 - 96.80 \text{ Bq m}^{-3}$ arasında farklı değerler almıştır.

İnsanların ev içinde maruz kaldıkları yıllık etkin doz eşdeğerleri Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 3'de görüldüğü gibi, en yüksek ve en düşük yıllık doz eşdeğerleri 0.8 m Sv y^{-1} ve 3.17 m Sv y^{-1} olarak belirlenmiştir. Eşitlik (2) den ise kanser risk değerleri hesaplanmıştır. Tablo 3'de en düşük kanser risk değeri 0.28×10^{-3} olup Kasımpaşa'daki binanın 4. katında gözlenmiştir. En yüksek değer ise 11.10×10^{-3} ile Sefaköy'deki binanın 5. katında elde edilmiştir.

İstatistik parametreleri hesaplamak için (ortalama, medyan, standart sapma, çarpıklık ve basıklık) SPSS 21.0 istatistik programı kullanıldı. Basıklık ve çarpıklık değerleri verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini ifade etmektedir. Çarpıklık değeri $=0$ ise normal dağılımdır. Çarpıklık değeri <0 ise sağa çarpık ve çarpıklık değeri >0 ise sola çarpık dağılıma işaret eder. Basıklık değeri normal dağılımda sıfırdır. Basıklık değeri <0 ise basık bir dağılım ve basıklık değeri >0 ise sivri dağılım vardır. Tablo 3 de, radon aktivite konsantrasyonu dağılımlarının hafif sola çarpık ve basık bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, radon aktivite konsantrasyonlarının dağılımını test etmek için Kolmogorov-Smirnov normalite testi uygulandı. Kolmogorov-Smirnov normalite testine göre ($p > 0.05$), binalarda belirlenen radon aktivite konsantrasyonları normal bir dağılım ($p=0.200$) göstermektedir.



Şekil 3. Semtlere göre radon aktivite konsantrasyonları.

Türkiye'de farklı illerde yapılan radon çalışmaları ile ilgili bir literatür araştırması yapılmış olup sonuçlar Tablo 4. de verilmiştir.

Tablo 4. Bu çalışmada İstanbul için belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonunun literatürdeki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılması.

Bölge	RAC (Bq m ⁻³)	Referanslar
İstanbul	75.01	Bu Çalışma
Kestanbol	65	[24]
Manisa	97	[25]
Kırklareli	71.01	[26]
Kastamonu	98.4	[27]
Kars	114	[17]
Bayburt	56	[28]
Çanakkale	167	[29]
Erzincan	53	[18]
Kırıkkale	74.25	[30]
Karabük	131.6	[31]
Çankırı	44	[32]
Kilis	50	[19]
Türkiye Ortalaması	81	[20]
Dünya Ortalaması	46	[1]

Tablo 4'den görüldüğü gibi, bu çalışmada İstanbul için elde edilen ortalama radon aktivite konsantrasyonu Kestanbol [24], Kırklareli [26], Bayburt [28], Erzincan [18], Kırıkkale [30], Çankırı [32], Kilis [19] ve dünya ortalamasından [1] daha yüksektir.

4. Sonuç ve Öneriler

Elde edilen sonuçlara göre Kasımpaşa semtindeki binanın 1. katında, Sefaköy semtindeki binanın 5. katında ve Esenyurt semtindeki binanın 2. katında belirlenen radon konsantrasyonu WHO tarafından belirlenen limit değerinin üzerindedir. Bunun yanında, bu çalışmada elde edilen tüm radon konsantrasyonu değerleri TAEK tarafından müsaade edilen limit değerinin altında kalmaktadır. Evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının endişe uyandıracak boyutlarda olmadığı görülmüştür. Daha detaylı çalışmaların 5 yılda bir periyodik aralıklarla yapılması gerekmektedir. Bina yapılırken kullanılacak yapı malzemelerinin araştırılması ve yapının inşa edileceği bölgenin radon haritasının çıkarılması oldukça önemlidir. Özellikle bodrum katlarının izolasyonu iyi yapılmalı, eski evlerde duvar çatlakları kapatılmalıdır. Bununla birlikte evlerde kötü havalandırma koşulları radona maruz kalmayı önemli ölçüde artırmaktadır. Radonun sağlık üzerindeki etkileri ve alınması gereken önlemler konusunda halkın bilgilendirilmesi de son derece önemlidir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Annex B, United Nations, New York.
- [2] Tabar E., Yakut H., Saç M.M., Taşköprü C., İçhedef M., Kuş A. 2017. Natural radioactivity levels and related risk assessment in soil samples from Sakarya, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 313: 249-259.
- [3] Şahin M. 2019. Investigation of radioactivity levels of ^{210}Pb and ^{210}Po in produced tobacco products in Turkey and the radiation dose by exposure - Development of adsorbent for the removal of ^{210}Pb . Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [4] Abd El-Zaher M., Fahmi N.M. 2008. Studying the variation of radon level in some houses in Alexandria City, Egypt. IX. Radiation Physics & Protection Conference, 15-19 November, Nasr City - Cairo, Egypt, 339-347.
- [5] Karpinska M., Mnich Z., Kapala J., Szpak A. 2009. The evaluation of indoor radon exposure in houses. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18 (6): 1005-1012.
- [6] UNSCEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Annex A, United Nations, New York.
- [7] IARC, 2004. International Agency For Research On Cancer, Tobacco Smoke and Involuntary Smoking, IARC Monographs On The Evaluation Of Carcinogenic Risks To Humans. Lyon, 83.
- [8] Apak H. 2014. Yapılarda radon etkisini azaltmaya ya da yok etmeye yönelik bir yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Uludağ H. İ. 2010. Radon kirliliği ve halk sağlığı ilişkisi. Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, İzmir, 1-39, <https://silo.tips/download/radon-krll-ve-halk-salii-lks>. (Erişim Tarihi: 29.01.2021).
- [10] Darby S. Hill D., Auvinen A., Barros-Dios J.M., Baysson H., Bochicchio F., Deo H., Falk R., Forastiere F., Hakama M., Heid I., Kreienbrock L., Kreuzer M., Lagarde F., Makelainen I., Muirhead C., Oberaigner W., Pershagen G., Ruano-Ravina A., Ruosteenoja E., Schaffrath Rosario A., Tirmarche M., Tomasek L., Whitley E., Wichmann H.E., Doll R. 2005. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal*, 330 (7485): 223-226.
- [11] WHO, 2009. Handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organization, Geneva.
- [12] TAEK, 2012. Kapalı Ortamlarda Radon Gazı, Teknik Rapor, Ankara.
- [13] Özkorucuklu S., Akyıldırım H., Çapalı V. 2006. Isparta İli'nde Radon Yoğunluk Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10 (3): 323-327.
- [14] Anne-Sophie E., Denis H., Solenne B., Dominique L., Eric J., Margot T., Jacqueline C. 2006. Childhood leukemia incidence and exposure to indoor radon, terrestrial and cosmic gamma radiation. *Health Physics*, 90 (6): 569-579.
- [15] Köksal M.E., Çelebi N. 2003. Radon ve Türkiye evlerinde radon ölçümleri. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Yayını, İstanbul.
- [16] Çelebi N. 1995. Çevresel örneklerde uranyum, radyum ve radon ölçüm tekniklerinin geliştirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Çelik N., Poffijn A., Çevik U., Schepens L. 2008. Indoor radon survey in dwellings of the Kars province, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 128 (4): 432-436.
- [18] Öztürk E., Küçükömeroğlu B., Yeşilbağ Y. O., Kurnaz A., Albayrak N., Taskın H. 2010. Indoor radon (^{222}Rn) concentration measurements in dwellings of the Erzincan province, Turkey. *Azerbaijan Journal of Physics*, 16 (2): 527-529.
- [19] Can B., Canbazoğlu C., Albayrak N., Çelebi N., Doğru M. 2011. Measurements of indoor radon concentration levels in Kilis, Osmaniye and Antakya, Turkey durings spring season. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 292 (3): 1059-1063.
- [20] Çelebi N., Ataksor B., Taşkın H., Bingöldağ A. N. 2015. Indoor radon measurements in Turkey dwellings. *Radiation Protection Dosimetry*, 167 (4): 626-632.
- [21] Kahraman A., Poffijn A., Kaynak G. 2014. Measurement of radon level in dwellings of the Yıldırım County in Bursa. *Acta Physica Polonica A*, 125 (2): 268-270.

- [22] ICRP, 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP, 21 (1-3).
- [23] Karahan G. 1997. İstanbulun çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerleri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul, 1-118.
- [24] Çelebi N., Alkan H. 1997. Evaluation of natural radiation in the Kestanbol spa region. Radiation Protection Dosimetry, 69 (3): 227-230.
- [25] Erees F., Aközcan S., Parlak Y., Çam S. 2006. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). Radiation Measurements, 41 (5): 598-601.
- [26] Taşkın H. 2006. İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından Kırklareli ilinin fon radyasyonunun belirlenmesi ve haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Kam E., Bozkurt A. 2007. Environmental radioactivity measurements in the Kastamonu region of Northern Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 65 (4): 440-444.
- [28] Küçükömeroğlu B., Kurnaz A., Damla N., Çevik U., Çelebi N., Ataksor B., Taşkın H. 2009. Environmental radioactivity assessment for Bayburt, Turkey. Journal of Radiological Protection, 29 (3): 417-428.
- [29] Kam E., Bozkurt A., Ilgar R. 2010. A study of background radioactivity level for Canakkale, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 168 (1-4): 685-690.
- [30] Bingöldağ N., Otansev P. 2018. Determination of natural radiation levels and lifetime cancer risk in Kırıkkale, Turkey. Radiochimica Acta, 106 (5): 401-411.
- [31] Baldık R., Erer A.M., Aytakin H. 2011. Radioactivity measurements and radiation dose assessments due to natural radiation in Karabük (Turkey). Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 289 (2): 297-302.
- [32] Kapdan E., Taşkın H., Kam E., Osmanlıoğlu A.E., Karahan G., Bozkurt A. 2011. A study of environmental radioactivity measurements for Çankırı, Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 150 (3): 398-404.

Araştırma Makalesi / Research Article

The Protective Effects of Borax on Doxorubicin Induced Cardiotoxicity in Rats

Burçin ÇELİKEZEN^{1*}, Saadettin TANYILDIZI¹, Gökân OTO²

¹Firat University, Veterinary Science, Department of Pharmacology, Elâziğ, Turkey

²Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Medicine, Department of Pharmacology, Van, Turkey.

(ORCID: 0000-0003-3097-9814) (ORCID: 0000-0001-7012-5392) (ORCID: 0000-0002-8492-4846)

Abstract

Boron and boron compounds have beneficial effects on health of human and animals. This study was designed to determine the protective effect of borax (BX) in doxorubicin (DXR) induced cardiotoxicity in rats. In this study, 20 Wistar-Albino male rats* were used. The rats were divided into four groups including 5 rats in each one; control group (standard pellet food + water + normal saline), doxorubicin (3.75 mg/kg/ip, single dose in a week), doxorubicin + borax (3.75 mg/kg/ip + 25 mg/kg/oral/ respectively), and borax (25 mg/kg/oral, single dose in a week). At the end of the experiment, to evaluate antioxidant activity MDA, GSH, CAT, SOD levels determined in blood samples of rats. Besides, CK levels were investigated to determine the effect of doxorubicin on heart tissue. According to the results, MDA levels increased significantly in doxorubicin induced group ($p < 0.05$). After borax treatment MDA status decreased under the control values ($p < 0.05$). GSH status decreased in all groups. While CAT level decreased in DXR induced group in a statistically important rate ($p < 0.05$), it was observed near control values in BX and BX+DXR induced groups. SOD status indicated increase in BX and DXR groups. In addition, CK levels increased in all groups compared to the control. In the increases only in DXR induced group, significance was determined as $p < 0.05$. As a result, these data indicated that borax may use to prevent cardiotoxic effect of doxorubicin.

Keywords: Borax, Boron Compounds, Doxorubicin, Cardiotoxicity, Rat

Ratlarda Doksorubisin ile Teşvik edilmiş Kardiyotoksisite Üzerine Boraks'ın Koruyucu Etkileri

Öz

Doksorubisin (DXR) önemli bir antikanser ilaçtır ve oksidatif stres yoluyla kardiyotoksisiteye neden olur. Bor bileşiklerinin antioksidan özelliğe sahip olduğu literatürde bildirilmiştir. Bu çalışma, boraksın (BX) sıçanlarda DXR ile indüklenen kardiyotoksisitede koruyucu etkisini ilk kez belirlemek için tasarlanmıştır. Bu çalışmada, 20 adet Wistar-Albino erkek sıçan kullanıldı. Sıçanlar, her biri 5 sıçan olmak üzere dört gruba ayrıldı; kontrol grubu (standart pelet yem + su + serum fizyolojik), doksorubisin (3,75 mg / kg / ip, haftada tek doz), DXR + BX (3,75 mg / kg / ip + 25 mg / kg / oral / sırasıyla) ve BX (25 mg / kg / oral, haftada tek doz). Çalışma sonunda antioksidan aktiviteyi değerlendirmek için MDA, GSH, CAT, SOD seviyeleri belirlendi. Ayrıca DXR'nin kalp dokusu üzerindeki etkisini belirlemek için kreatin kinaz (CK) seviyeleri araştırıldı. Elde edilen sonuçlara göre, MDA düzeyleri doksorubisin uygulanan grupta anlamlı olarak arttı ($p < 0.05$). Boraks tedavisi sonrası MDA durumu kontrol değerlerinin altına düştü ($p < 0.05$). CAT düzeyi DXR uygulanan grupta istatistiksel olarak önemli oranda düşerken ($p < 0.05$), BX ve BX + DXR uygulanan gruplarda kontrol değerlerine yakın gözlemlendi. SOD düzeyleri, BX ve DXR gruplarında artış gösterdi. Sonuç olarak, bu veriler BX'in DXR'nin kardiyotoksik etkisini önlemek için kullanabileceğini gösterdi.

Anahtar kelimeler: Boraks, Bor bileşikleri, Doksorubisin, Kardiyotoksisite, Rat

*Corresponding author: burcinozer44@gmail.com

Received: 09.03.2021, Accepted: 03.06.2021

1. Introduction

Doxorubicin (DXR) is an anthracycline derivative drug which is extracted from culture of *Streptomyces peuceitius variete caesi* [1]. DXR is clinically used in treatments of leukemia, lymphoma, soft tissue and bone sarcomas, Wilms tumor, neuroblastoma, and hepatoblastoma [2,3]. However, cardiotoxicity is the most important toxic effect stated and is the most critical factor which commonly restricts the use of the drug. The mechanism of cardiotoxicity developing based on the use of DXR has not been understood yet and several theories have been suggested on this issue [4]. The mechanism, which seems to be the most significant and possible one, is established on stimulation of apoptosis in cardiomyocytes and inducing oxidative stress in heart muscle via DXR [5]. Because antioxidant capacity of cardiac myocytes is inadequate to be protected against reactive oxygen species leading to mitochondrial damage and lipid peroxidation [6].

Oxidative stress (OS) is originate from imbalance between production and accumulation of reactive oxygen species in cells and tissues [7]. OS damages cell membranes, lipoproteins, DNA, promote apoptosis resulting in aging, cancer, cardiovascular diseases and other diseases [8-10]. On the other hand, many studies stated that natural products rich in antioxidants have an important role in the protection of cardiotoxicity of DXR [11]. The protective mechanism of natural products against DXR induced cardiotoxicity is uncertain. However, reports have exhibited that the mechanism may be related with inhibition of harmful cardiovascular effects of the metabolic syndrome or inhibition of reactive oxygen species generation [12-14]. Antioxidants have attracted great attention as they play a protective role in different complications along with oxidative stress. The beneficial effects of antioxidants on DXR-induced cardiotoxicity have been demonstrated in previous studies. Therefore, it has been reported that combinatorial treatment with DXR and antioxidants recommended to suppress the cardiotoxicity [15-17].

Boron is a natural element commonly found on earth and combines with oxygen to form borates [18,19]. Borax (BX), is an important commercial boron compound and there are a lot of report suggesting biological effects and beneficial therapeutic properties of BX including antioxidative [20], antimutagenic [21], and anti-inflammatory [22]. As far as we know, there is no study about the protective affects of BX on DXR induced cardiotoxicity. The goal of this work is to determine the affects of BX on oxidative stress and levels of creatin kinase (CK) in DXR induced rats.

2. Material and Methods

In this work, 20 Wistar Albino male rats, having a live weight of 180-200 g and being eight weeks old, were used. The rats were supplied from Van Yüzüncü Yıl University (YYU) rat production unit and kept waiting for 7 days to ensure adaptation to environment before the experiment. The rats were fed with pellet food and water *ad libitum* during adaptation period. Experimental protocol of the study was approved by the Committee on the Ethics of Animal Experiments at YYU (26.03.2014 Desicion no: 2014/04).

The rats to be included in the experiment were divided into 4 groups, including 5 rats in each one.

Group 1: Control group (standard pellet food + water+ physiological saline solution), administered for 4 weeks.

Group 2: Doxorubicin (3.75 mg/kg/ip, once a week, administered for 4 weeks at total dose of 15 mg/kg) [23].

Group 3: Doxorubicin + Borax (3,75 mg/kg/ip, once a week, administered for 4 weeks at total dose of 15 mg/kg; Borax of 25 mg/ kg/week dose was administered via oral route for 4 weeks at total dose of 100 mg/ kg).

Group 4: Borax of 25 mg/ kg/week dose was administered via oral route for 4 weeks at total dose of 100 mg/ kg [24]

Blood was drawn from the heart of all of the animals in the study by anaesthetizing them with ketamine and then they were sacrificed. MDA, GSH, SOD, CAT, and CK levels in blood samples were studied by using the following methods.

2.1. Reduced Glutathione (GSH) Assay

Blood samples containing EDTA were mixed with distilled water. All proteins without sulfhydryl (SH) were precipitated by using precipitation solution. Glutathione level in the samples was measured by reading the absorbances at 412 nm wavelength in Perkin Elmer UV/Vis Spectrophotometer within 24 hours [25,26]. Distilled water of 1.8 ml was added into 200 µl of blood samples (with EDTA) to induce hemolysis. Precipitation reagent of 3 ml was added into hemolysate. After waiting for 5 minutes, the mixture was infiltrated using filter paper and 2 ml of the resultant supernatant was transferred into different test tubes. 8 ml phosphate solution and 1 ml of DTNB solution were added. For the blank solution, 2 ml precipitation solution (3 volumes of precipitation reagent + 2 volumes of distilled water), 8 ml phosphate solution, and 1 ml of DTNB solution were used. As the standard, 40 mg of GSH standard was prepared with distilled water. Absorbances of standard samples versus blank were identified at 412 nm (Perkin Elmer UV/Vis) and the results were calculated in mg/dl whole blood.

2.2. Malondialdehyde (MDA) Assay

Malondialdehyde, an important product of lipid peroxidation, is measured spectrophotometrically based on the formation of colored products by TBA [27,28]. 800 µl of phosphate buffer and 25 µl of BHT solution, and 500 µl of 30% TCA were added into test tube containing 200 µl of the whole blood. Tubes were mixed at 2000 rpm and cooled in ice at -20 C° for 2 hours. After centrifuging the samples at 2000 rpm for 15 minutes, 1 ml of supernatants was transferred into different tubes and 75 µl of EDTA and 250 µl of TBA solution were added. Tubes were mixed and were kept in hot water bath (at 90 C°) for 15 minutes. At room temperature, absorbances were read at 532 and 600 nm (Perkin Elmer UV/Vis). MDA levels of hemoglobin were calculated by subtracting optical densities at 600 nm from one read at 532 nm in examination on erythrocytes.

2.3. CAT Assay

CAT assay was performed via Cayman Catalase Assay Kit (Item No: 707002). Briefly, diluted assay buffer (100 µl), methanol (30 µl) and sample (20 µl) were put into two tubes. Diluted H₂O₂ (20 µl) put into all the tubes to start reactions and incubated via a shaker for 20 minutes at room temperature. Then, catalase purphald (chromagen) (30 µl) and diluted KOH (30 µl) were added into each tube to end the reaction. It was incubated via a shaker at room temperature for 10 minutes again. At the end of the experiment, catalase potassium periodate (10 µl) was added into each well and incubated for five minutes in a shaker at room temperature. The absorbance was detected at 540 nm via the plate reader (Bio-Tek, USA). In the experiment, positive control was prepared by adding diluted assay buffer (100 µl), methanol (30 µl), and catalase (control/20 µl) in two tubes.

2.4. SOD Assay

SOD status were evaluated by using Cayman SOD Assay Kit (Serial No: 706002). Briefly, the diluted radical detector (200 µl) and SOD standard (10 µl) were added on the plate for standard tubes. For sample tubes, diluted radical detector (200 µl) and sample (10 µl) were added. Diluted xanthine oxidase (20 µl) was added into all the tubes to initiate the reactions and shaken for several minutes. After this step, the plate was incubated for 30 minutes in the shaker at room temperature. At the end of the experiment, absorbances were read at 440-460 nm via plate reader (Bio-Tek, USA).

2.5. CK Assay

CK analysis was performed using an autoanalyzer and a commercial kit. (Mindray BS- 800 M, Shenzhen, China).

2.6. Statistical Analysis

Statistical analysis of this work was carried out with ANOVA test via IBM SPSS Statistics Version 20 packaged software.

3. Results and Discussion

DXR, an anthracycline derivative drug, is a commonly used anticancer agent [29]. DXR, which is used in chemotherapy and a free radical producer, may also lead to chromosomal injuries by elevating lipid peroxidation (LPO) [30]. In the literature, there are numerous studies investigating protective effects of antioxidants against anticancer drugs such as DXR yielding oxidative product [31,32].

Furthermore, boron and boron compounds are reported to support antioxidant defense system of tissues in animal organisms by affecting oxidative metabolism via a mechanism which has not known yet [33-36]. In a study, zinc borate was stated to support antioxidant capacity and not to cause oxidative stress [37]. In another study, it was reported that antioxidant defense system was strengthened in rats administered with BX via oral route [38].

As is known, elevated reactive oxygen species leads to increase of LPO and thus increase of MDA levels. Free radicals influence the important cellular structures such as lipid, protein, carbohydrate in the cell structure. Lipid peroxides form reactive carbon compounds by degrading rapidly. One of the important resultant structures is MDA and the increase of MDA is accepted to be a physiologically crucial indicator of oxidative stress [39-40].

In a study, it was determined that MDA levels of rats administered with 100 mg /kg borax showed a statistically important decrease according to the control [24]. Another study revealed that in rats administered with different levels of boric acid, MDA levels of the group fed with diet containing 40 mg boric acid decreased compared to control group [41]. Recently, it was reported that MDA status indicated a statistically important decrease ($p < 0.05$) in lithium metaborate dihydrate induced group according to the control [42]. An *in vitro* study, it was determined that MDA levels of human blood cultures which were administered with 15 μmol ulexite decreased according to the control, but decline was not statistically important [43]. When the data obtained from the present study were evaluated, it was found that MDA levels showed a statistically significant increase in the DXR-administered group compared to control group ($p < 0.05$) as shown in Figure 1. In BX group, MDA level was determined to show a statistically important decrease ($p < 0.05$). In addition, MDA levels of DXR+BX group were found to be lower than DXR group and this was in parallel with the previous studies.

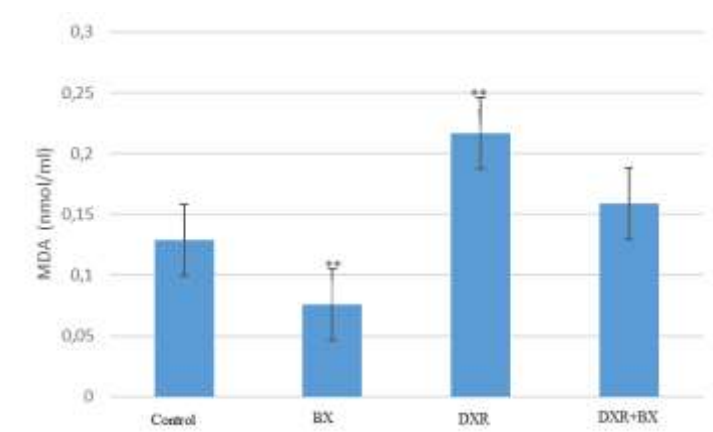


Figure 1. MDA levels of control, BX, DXR, and DXR+BX groups (** $p < 0.05$).

GSH is a cellular tripeptide playing a vital role in protecting oxidant/antioxidant balance of tissues and is essential for normal cellular activities. This tripeptide eliminates the effects of peroxides and hydroperoxides resulting from oxidative stress [38]. It was identified in a previous study that GSH-Px levels of rats administered with 40, 80, and 160 mg/L of boric acid showed decrease at rates of 12%, 13.3%, and 16.4%, respectively [41]. In another study, it was determined that 50 and 500 mg/L doses of borax, boric acid, and ulexite significantly decreased GSH-Px levels of human blood cultures,

decreases occurring in total GSH level were statistically significant at 500 mg/L of dose, and was not statistically significant at 50 mg/L of dose [43]. Recently, it was stated that GSH status indicated a statistically important decrease ($p < 0.05$) in lithium metaborate dihydrate induced group according to the control [42]. As the results obtained from the present study were examined; GSH levels of all groups showed a statistically significant decrease compared to control group (Figure 2). Decreases recorded were not statistically significant. The obtained data were convenient with the previous studies. On the other hand, differently from the results obtained from the present study, GSH levels in erythrocytes of rats administered with boric acid and borax elevated compared to control group in another study [24]. The reason of this difference may have been associated with the fact that the breeds of experimental animals and methods of measurements used were different.

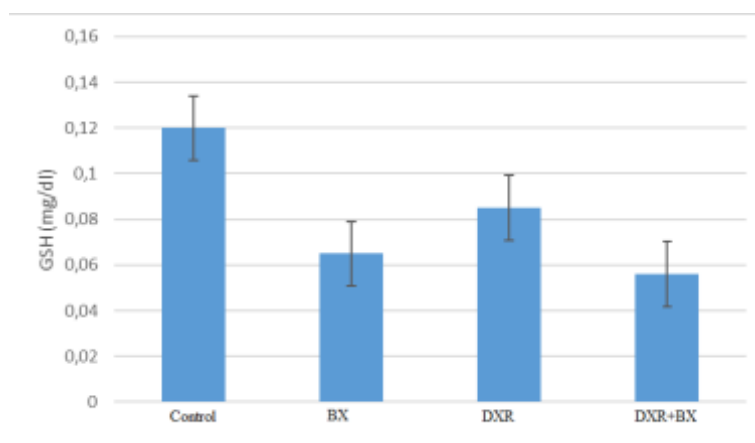


Figure 2. GSH levels of control, control, BX, DXR, and DXR+BX groups

Because oxidative stress occurs due decreased antioxidant levels [44], cellular levels of antioxidant enzymes (SOD, CAT, GSH-Px, GST, GR, and G-6-PDH) are reported to be crucial in cellular defense system [45]. SOD from these enzymes is noted to play the major role in defense against oxidative stress and to catalyze the reaction that transforms superoxide radical into hydrogen peroxide and oxygen [46]. Studies stated that antioxidant enzymes have an important role in preventing the damage led by reactive oxygen species and these enzymes were induced or inhibited in blood cells exposed to various toxic factors [47,48]. In a previous study, appropriate amount of boron intake inhibited ROS formation in leucocytes of lungs and 2'-deoxyribonucleoside cyanoboron which is a synthetic boron compound was reported to inhibit 5'-lipoxygenase activity in leucocyte and occurrence of free radical formation in fenton reaction [49]. Recently, it was determined that SOD levels increased in rats administered with different levels of boric acid (40, 160, 320, and 640 mg/L) [41]. Another study revealed that SOD levels elevated in erythrocytes of rats administered with 100 mg/kg of boron as the protector against LPO induced by arsenic treatment compared to control group [50]. SOD levels of groups administered with BX and DXR alone in the present study were determined to increase according to control group (Figure 3). These increases were not statistically important. In the group administered with DXR + BX, SOD levels were lower only than the DXR group. The results obtained from the present study were determined to be in parallel with the previous studies and it was stated that BX supported antioxidant activity based on increased SOD activity. Despite biochemical function of boron has not been known completely yet, it was reported to be capable of acting as an indirect proton donor causing a specific effect on membrane structure and function [51]. Accordingly, it was reported that boron compounds (boric acid and borax) were likely to influence oxidative phosphorylation metabolism in mitochondria by increasing cAMP levels and to inhibit hydrolytic enzyme activities [52]. Besides, increased cAMP levels were stated to elevate antioxidant enzyme activities [53]. In the present study, borax may increase SOD activity by supporting accumulation of cAMP. On the other hand, differently from the results obtained, SOD activities were reported to show statistically insignificant decreases in rats administered with borax and boric acid compared to control group [24]. This difference may have been associated with the fact that the methods used for identifying SOD levels were different as well as different breeds of experimental animals.

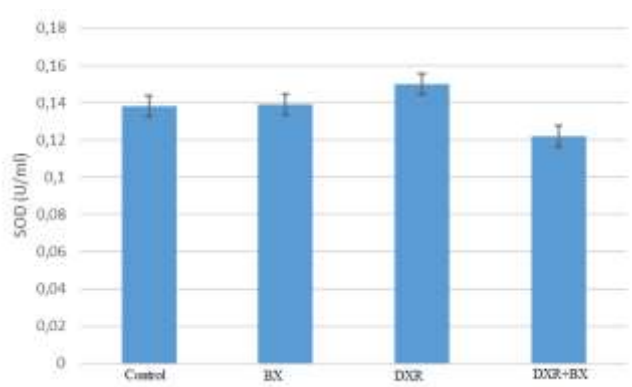


Figure 3. SOD levels of control, control, BX, DXR, and DXR+BX groups

Catalase (CAT) is an enzyme localized in peroxisomes [54]. CAT is an important oxidoreductase which converts H_2O_2 molecules into water and oxygen [55,56]. Mammalian catalases are homotetramers typically bonding 4 Fe-protoporphyrin IX (heme) or 4 NADPH molecule [57]. A previous study indicated that CAT levels in liver, kidney, and heart tissues and erythrocytes of rats administered with 100 mg of borax declined compared to control group [24]. On the other hand, the effects of boric acid added into diet on CAT activity varied based on tissues of animals. CAT activity in erythrocytes of rats and rabbits decreased [58,59] but elevated in their livers [38]. In another study, doses of 100 mg/L of boric acid and 80 mg/L of borax were reported to have a negative effect on CAT levels ($P < 0.1$) (60). In the present study, CAT levels were identified to decrease in the groups administered with BX and DXR alone, compared to control group as shown in Figure 4. While the decreases in BX group were not statistically significant, the decreases in the DXR group were statistically important ($p < 0.05$). CAT levels increased in DXR + BX group according to the control, however this increase not statistically important, and the results were compatible with the previous studies.

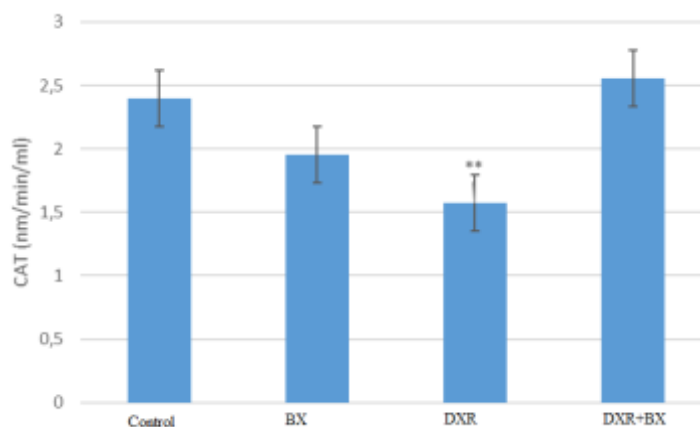


Figure 4. CAT levels of control, control, BX, DXR, and DXR+BX groups (** $p < 0.05$).

On the other hand, it is reported that selenium, copper, and zinc are the cofactors of antioxidant enzymes and increasing concentrations of these elements may cause inhibition of CAT, SOD, and GSH-Px activities in cells [51,61]. Boron can interact with these elements as well as trace elements [62]. In this sense, decreased CAT and GSH levels might be associated with the interactions occurring between boron compound and cofactors of the mentioned enzymes. On the other hand, differently from the results obtained, 5, 10 and 20 mg/kg doses of boron were administered respectively as protector to rats treated with cyclophosphamide which leads to formation of free oxygen radicals and is used for chemotherapy in a recent study conducted on rats and it was determined that CAT activities of erythrocytes increased at all doses compared to control group [63]. The reason of this difference might be resulted from the use of elemental boron in the study and lower doses administered.

Creatine kinase (CK) is an important intracellular enzyme found in muscle cells (especially in skeletal muscle and myocardium) [64]. Generally, CK is the biomarker of acute myocardial infarction

and CK activity or concentration is also used for verification of some other diseases in the modern clinic diagnoses. CK level rapidly elevates in the blood immediately after acute myocardial infarction and may be found at abnormal levels within 4-6 hours. The maximum CK level in humans is observed 18-24 hours after acute myocardial infarction [65]. In a study conducted on broilers, 500-750-1000 mg/kg doses of boric acid were added into their daily diets and CK levels increased at all doses compared to control group [66]. In a rat study, 1500 µg/ml of sodium borate was administered intravenously and CK levels increased [67]. When the results of the present study were examined; it was found that CK levels increased in all groups compared to control group as shown in Figure 5. and the results were in parallel with the previous studies. Even though the increases in DXR group were statistically significant ($p < 0.05$), the increase in DXR + BX group was lower compared to the DXR group.

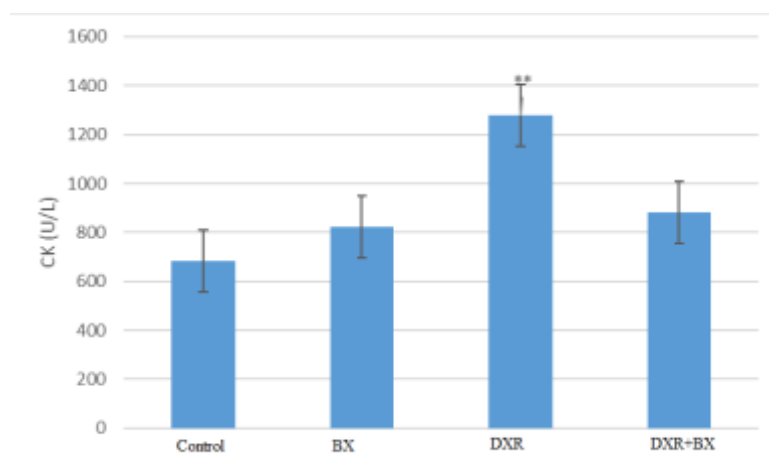


Figure 5. CK levels of control, BX, DXR, and DXR+BX groups (** $p < 0.05$).

Consequently, administered dose of BX (100 mg/kg) was determined to increase antioxidant capacity by elevating SOD level and decreasing MDA levels in DXR induced cardiotoxicity. Besides, while CAT levels decreased and CK levels increased in all groups. Based on the results, it was concluded that BX may be beneficial for preventing cardiotoxicity which develops as the adverse effect of DXR.

Author's Contributions

Burçin ÇELİKEZEN and Sadettin TANYILDIZI contributed to the planning of the study, literature review, writing, the care of experimental animals and drug applications, experimental studies and interpretation of the results, while Gökhan OTO contributed to the application of drugs to the experimental animals, experimental studies and interpretation of the results. This article is summarized from Burçin ÇELİKEZEN's Master's thesis of the same name.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The authors declare that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Baker S.D., Pharm D. 1997. Drug interaction with the taxanes. *Pharmacotherapy*, 17: 126-132.
- [2] Muggia F.M., Green M.D. 1991. New anthracycline antitumor antibiotics. *Critical Reviews oncology/ Hematology*, 11: 43-64.

- [3] Hideg K., Kálai T. 2007. Novel antioxidants in anthracycline cardiotoxicity. *Cardiovascular Toxicology*, 7: 160-164.
- [4] Ferrans V.J. 1983. Anthracycline cardiotoxicity. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 161: 519-532.
- [5] Childs A.C., Phaneuf S.L., Dirks A.J., Phillips T., Leeuweburgh C. 2002. Doxorubicin treatment in vivo causes cytochrome C release and cardiomyocyte apoptosis, as well as increased mitochondrial efficiency, superoxide dismutase activity and Bcl2. *Cancer Research*, 62: 4592-4598.
- [6] Menna P., Salvatorelli E., Minotti G. 2008. Cardiotoxicity of antitumor drugs. *Chemical Research in Toxicology*, 21: 978-989.
- [7] Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., Squadrito F., Altavilla D., Bitto A. 2017. Oxidative stress: harms and benefits for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 8416763. doi: 10.1155/2017/8416763
- [8] Zhang H., Davies K.J.A., Forman H.J. 2015. Oxidative stress response and Nrf2 signaling in aging. *Free Radical Biology and Medicine*, 88: 314-336.
- [9] El-Kenawi A., Ruffel B. 2017. Inflammation, ROS, and mutagenesis. *Cancer Cell*, 32: 727-729.
- [10] Ren J. 2007. Influence of gender on oxidative stress, lipid peroxidation, protein damage and apoptosis in hearts and brains from spontaneously hypertensive rats. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 34: 432-438.
- [11] Hosseini A., Bakhtiari E., Mousavi S.H. 2017. Protective effect of hibiscus sabdariffa on doxorubicin-induced cytotoxicity in H9c2 cardiomyoblast cells. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 16: 708-713.
- [12] Capasso I., Esposito E., Maurea N., Montella M., Crispo A., De Laurentiis M., D'Aiuto M., Frasci G., Botti G., Grimaldi M., Cavalcanti E., Esposito G., Fucito A., Brillante G., D'Aiuto G., Ciliberto G. 2013. Combination of inositol and alpha lipoic acid in metabolic syndrome-affected women: a randomized placebo-controlled trial. *Trials*, 14 (1): 273
- [13] Møller P., Loft S., Lundby C., Olsen N.V. 2001. Acute hypoxia and hypoxic exercise induce DNA strand breaks and oxidative DNA damage in humans. *The FASEB Journal*, 15 (7): 1181-1186.
- [14] Nakamura K., Fushimi K., Kouchi H., Mihara K., Masahiro M, Ohe T., Namba M.1998. Inhibitory effects of antioxidants on neonatal rat cardiac myocyte hypertrophy induced by tumor necrosis factor-alpha and angiotensin II. *Circulation*, 98 (8): 794-799.
- [15] Abdel-Daim M.M., Kilany O.E., Khalifa H.A., Ahmed A.A.M. 2017. Allicin ameliorates doxorubicin-induced cardiotoxicity in rats via suppression of oxidative stress, inflammation and apoptosis. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*, 80: 745-753
- [16] Bishop S., Liu S.J. 2017. Cardioprotective action of the aqueous extract of Terminalia arjuna bark against toxicity induced by doxorubicin. *Phytomedicine*, 36:210-216.
- [17] He H., Luo Y., Qiao Y., Zhang Z., Yin D., Yao J., You J., He M. 2018. Curcumin attenuates doxorubicin-induced cardiotoxicity via suppressing oxidative stress and preventing mitochondrial dysfunction mediated by 14- 3-3c. *Food Function*, 9: 4404-4418.
- [18] Argust P. 1998. Distribution of boron in the environment. *Biological Trace Element Research*, 66:131-143
- [19] Turkez H., Geyikoglu F., Mokhtar Y.I., Togar B. 2012. Eicosapentaenoic acid protects against 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin- induced hepatic toxicity in cultured rat hepatocytes. *Cytotechnology*, 64:15-25.
- [20] Turkez H., Geyikoglu F., Tatar A., Keles S., Ozkan A. 2007. Effects of some boron compounds on peripheral human blood. *Z Naturforsch C*, 62: 889-896.
- [21] Turkez H., Geyikoğlu F., Dirican E., Tatar A. 2012. In vitro studies on chemoprotective effect of borax against aflatoxin B1-induced genetic damage in human lymphocytes. *Cytotechnology*, 64 (6): 607-612.
- [22] Routray I., Ali S. 2016. Boron induces lymphocyte proliferation and modulates the priming effects of lipopolysaccharide on macrophages. *PLoS One* 11: e0150607.
- [23] Demirkaya E.1., Avcı A., Kesik V., Karşlıoğlu Y., Oztas E., Kismet E., Gokcay E., Durak I., Koseoglu V. 2009. Cardioprotective roles of aged garlic extract, grape seed proanthocyanidin, and hazelnut on doxorubicin-induced cardiotoxicity. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 87: 633-640.

- [24] Ince S., Kucukkurt I., Cigerci I.H., Fidan A.F., Eryavuz A. 2010. The effects of dietary boric acid and borax supplementation on lipid peroxidation, antioxidant activity, and DNA damage in rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 24: 161-164.
- [25] Beutler E., Dubon O., Kelly B.M. 1963. Improved method for the determination of blood glutathione. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 61: 882-888.
- [26] Rizzi R., Caroli A., Bolla P., Acciailoi A., Pagnacco G. 1998. Variability of reduced glutathione levels in Massese ewes and its effect on daily milk production. *Journal of Dairy Research*, 55: 345-353.
- [27] Gutteridge J.M. 1995. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. *Clinical Chemistry*, 41: 1819-1828.
- [28] Sushil J.K., Mcuie R., Duett J., Herbest J.J. 1989. Erythrocyte membrane lipid peroxidation and glycosylated hemoglobin in diabetes. *Diabetes*, 38: 1539-1543.
- [29] Weiss R.B. 1992. The anthracyclines: will we ever find a better doxorubicin? *Seminars in Oncology*, 19: 670-686.
- [30] Antunes L.M.G., Takahashi C.S. 1998. Effects of high doses of vitamins C and E against doxorubicine-induced chromosomal damage in wistar rat bone marrow cells. *Mutation Research*, 419: 137-143.
- [31] Antunes L.M.G., Araujo M.C., Darin J.D.C., Bianchi M.L.P. 2000. Effects of antioxidants curcumin and vitamin C on cisplatin-induced clastogenesis in wistar rat bone marrow cells. *Mutation Research*, 464: 131-137.
- [32] Nefic H. 2001. Anticlastogenic effect of Vitamin C on cisplatin induced chromosome aberrations in human lymphocyte cultures. *Mutation Research*, 498: 89-98.
- [33] Çelikezen F.Ç., Türkez H., Aydın E. 2015. The antioxidant and genotoxic activities of $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ in vitro. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24: 947-953.
- [34] Çelikezen F.Ç., Toğar B., Özgeriş F.B., İzgi M.S., Türkez H. 2016. Cytogenetic and oxidative alterations after exposure of cultured human whole blood cells to lithium metaborate dehydrate. *Cytotechnology*. 68 (4): 821-827.
- [35] Çelikezen F.Ç., Türkez H., Toğar B., İzgi M.S. 2014. DNA damaging and biochemical effects of potassium tetraborate. *Experimental and Clinical Science*, 13: 446-450.
- [36] Kelly G.S. 1997. Boron: a review of its nutritional interactions and therapeutic uses. *Alternative Medicine Review*, 2: 48-56.
- [37] Çelikezen F.Ç., Türkez H., Toğar B. 2014. In vitro assessment of genotoxic and oxidative effects of zinc borate. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 96: 777-782.
- [38] Pawa S., Ali S. 2006. Boron Ameliorates Fulminant Hepatic Failure by Counteracting the Changes Associated with the Oxidative Stress. *Chemico-Biological Interactions*, 160: 89-98.
- [39] Kim H.I., Oh E., Im H., Mun J., Yang M., Khim J.Y., Lee E., Lim S.H., Kong M.H., Lee M., Sul D. 2006. Oxidative damages in the DNA, lipids, and proteins of rats exposed to isofluranes and alcohols. *Toxicology*, 220: 169-178.
- [40] Siu F.K., Lo S.C., Leung M.C. 2004. Effectiveness of multiple pre-ischemia electro-acupuncture on attenuating lipid peroxidation induced by cerebral ischemia in adult rats. *Life Science*, 75: 1323-1332.
- [41] Hu Q.I., Li S., Qiao E., Tang Z., Jin E., Jin G., Gu Y. 2014. Effects of boron on structure and antioxidant activities of spleen in rats. *Biological Trace Element Research*, 158: 73-80.
- [42] Taşdemir M., Çelikezen F.Ç., Oto G., Özbey F. 2020. The effects of pretreatment with lithium metaborate dihydrate on lipid peroxidation and Ca, Fe, Mg, and K levels in serum of Wistar albino male rats exposed to Cd. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 7702-7711.
- [43] Türkez H., Geyikoglu F., Tatar A., Keleş S., Özkan A. 2007. Effects of some boron compounds on peripheral human blood. *Z Naturforsch*, 62: 889-896.
- [44] Bukowska B., Kowalska S. 2004. Phenol and catechol induce prehemolytic and hemolytic changes in human erythrocytes. *Toxicol Letter*, 152: 73-84.
- [45] Tapiero H., Townsend D.M., Tew K.D. 2004. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. *Biomedicine Pharmacotherapy*, 58: 100-110.
- [46] Kakarla P., Vadluri G., Reddy K.S. 2005. Response of hepatic antioxidant system to exercise training in aging female rat. *Journal of Experimental Zoology Part A Comparative Experimental Biology*, 303: 203-208.

- [47] Afaq F., Abidi P., Matin R., Rahman Q. 1998. Activation of alveolar macrophages and peripheral red blood cells in rats exposed to fibers/particles. *Toxicol Letter*, 99: 175-182.
- [48] Prasad N.R., Srinivasan M., Pugalendi K.V., Menon V.P. 2006. Protective effect of ferulic acid on gamma-radiation-induced micronuclei, dicentric aberration and lipid peroxidation in human lymphocytes. *Mutation Research*, 603: 129-134.
- [49] Hunt C.D., Idso J.P. 1999. Dietary boron as a physiological regulator of the normal inflammatory response: a review and current research progress. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, 12: 221-233.
- [50] Kucukkurt I., Ince S., Demirel H.H., Turkmen R., Akbel E., Celik Y. 2015. The Effects of Boron on Arsenic-Induced Lipid Peroxidation and Antioxidant Status in Male and Female Rats. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, DOI: 10.1002/jbt.21729.
- [51] Barr R.D., Barton S.A., Schull W.J. 1996. Boron levels in man: preliminary evidence of genetic regulation and some implications for human biology. *Medical Hypotheses*, 46: 286-289.
- [52] Hall I.H., Starnes C.O., McPhail A.T., Wisian-Neilson P., Das M. K., Harchelroad F. Jr, Spielvogel B.F. 1980. Anti-inflammatory activity of amine cyanoboranes, amine carboxyboranes, and related compounds. *Journal of Pharmaceutical Science*, 69: 1025-1029.
- [53] Sugino N., Karube-Harada A., Sakata A., Takiguchi S., Kato H. 2002. Different mechanisms for the induction of copper-zinc superoxide dismutase and manganase superoxide dismutase by progesterone in human endometrial stromal cells. *Human Reproduction*, 17: 1709-1714.
- [54] Tung B.T., Rodriguez-Bies E., Thanh H.N., Le-Thi-Thu H., Navas P., Sanchez V.M., López-Lluch G. 2015. Organ and tissue-dependent effect of resveratrol and exercise on antioxidant defenses of old mice. *Aging Clinical and Experimental Research*, DOI: 10.1007/s40520-40015-40366-40528.
- [55] Kashiwagi A., Kashiwagi K., Takase M., Hanada H., Nakamura M. 1997. Comparison of catalase in diploid and haploid *Rana rugosa* using heat and chemical inactivation techniques. *Comperative Biochemistry Physiology B Biochemistry and Molecular Biology*, 118: 499-503.
- [56] Goyal M.M., Basak A. 2010. Human catalase: looking for complete identity. *Protein Cell*, 1: 888-897.
- [57] Nicholls P. 2012. Classical catalase: ancient and modern. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 525: 95-101.
- [58] Verbitskaya G.V. 1975. Experimental and field investigations concerning the hygienicevaluation of boron-containing drinking water. *Gig i Sanit*, 7: 49-53.
- [59] Hunt C.D., Herbel J.L., Idso J.P. 1993. Dietary boron modifies the effects of exercise training on bone and energy substrate metabolism in the rat. *FASEB J*, 7: A204
- [60] Türkez H. 2007. Bazı Bor Bileşiklerinin İn vitro Şartlarda Periferal İnsan Kanı Üzerine Genetik ve Biyokimyasal Etkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [61] Tate D.J., Newsome D.A. 2006. A novel zinc compound (zinc monocysteine) enhances the antioxidant capacity of human retinal pigment epithelial cells. *Current Eye Research*, 31: 675-683.
- [62] Kurtoğlu F., Kurtoglu V., Celik I., Kececi T., Nizamlioglu M. 2005. Effects of dietary boron supplementation on some biochemical parameters, peripheral blood lymphocytes, splenic plasma cells and bone characteristics of broiler chicks given diets with adequate or inadequate cholecalciferol (vitamin D3) content. *British Poultry Science*, 46: 87-96.
- [63] Ince S., Kucukkurt I., Demirel H.H., Acaroz D.A., Akbel E., Cigerci I.H. 2014. Protective effects of boron on cyclophosphamide induced lipid peroxidation and genotoxicity in rats. *Chemosphere*, 108: 197-204.
- [64] Liu C.X., Jiang L.Y., Wang H., Guo Z.H., Cai X.X. 2007. A novel disposable amperometric biosensor based on trienzyme electrode for the determination of total creatinine kinase. *Sensors and Actuators B Chemical*, 122: 295-300.
- [65] Moreira F.T.C., Dutra R.A.F., Noronha J.P., Sales M.G.F. 2014. Novel sensory surface for Creatine Kinase electrochemical detection. *Biosensors and Bioelectronics*, 56: 217-222.
- [66] Eren M., Uyamık F., Güçlü B.K., Atasever A. 2012. The influence of dietary boron supplementation on performance some biochemical parameters and organs in broilers. *Asian Journal of Veterinary Advances*, 7: 1079-1089.

- [67] Tagawa T., Kono K., Dote T., Usuda K., Nishiura H., Koizumi C., Saito M., Nakaya H., Nagaie H. 2000. Pharmacokinetics and effects after intravenous administration of high-dose boron to rat. *International Archives of Occupational Environmental Health*, 73: 98-100.

Araştırma Makalesi / Research Article

The Approximate Solution of Singularly Perturbed Burger-Huxley Equation with RDTM

Derya ARSLAN*

*Bitlis Eren University, Department of Mathematics, Bitlis, Turkey
(ORCID: 0000-0001-6138-0607)*

Abstract

In this study, reduced differential transform method (RDTM) is proposed to solve singularly perturbed Burger-Huxley partial differential equation. Firstly, this equation is transformed to algebraic equation. Then, recurrence relation and differential transform coefficients are obtained. Finally, highly accurate approximate solutions of this equation are found for three examples.

Keywords: Singularly Perturbed Burger-Huxley Partial Differential Equation, Approximate Solution, Boundary Layer, RDTM.

RDTM ile Singüler Pertürbe Burger-Huxley Denkleminin Yaklaşık Çözümü

Öz

Bu çalışmada, singüler pertürbe Burger-Huxley kısmi türevli diferansiyel denklemini çözmek için indirgenmiş diferansiyel dönüşüm yöntemi (RDTM) önerilmiştir. İlk olarak bu denklem cebirsel denkleme dönüştürülür. Daha sonra tekrarlı bağıntısı ve diferansiyel dönüşüm katsayıları elde edilir. Son olarak, üç örnek için bu denklemin oldukça doğru yaklaşık çözümleri bulunur.

Anahtar kelimeler: Singüler Pertürbe Burger-Huxley Kısmi Diferansiyel Denklem, Yaklaşık Çözüm, Sınır Katı, RDTM.

1. Introduction

Burgers-Huxley equation has a serious importance in class of nonlinear partial differential equations. Burgers-Huxley equation defines the interactions between reaction mechanisms, convection effects and diffusion transports [10]. Furthermore, Burgers-Huxley equation is successfully applied to describe some ecological models. Firstly, this equation was described by Bateman [11] and then utilized by Burgers [9] in a mathematical modelling in turbulence. Burger-Huxley equation has studied by using a variety of methods such as Adomian decomposition method [3,4], meshless method [6], finite difference method [5,21], comparative study of some numerical methods as nonstandard finite difference method; explicit exponential finite difference method; fully implicit exponential finite difference method [8,22], Strang Splitting Method [23] etc. Exact solution of Burgers-Huxley equation was studied [7]. We know that most of the standard numerical methods can easily approach the solution of the Burger-Huxley equation without the small singular perturbation parameter. However, it is difficult to reach solution in the presence of the perturbation parameter [17]. Therefore, we use the RDTM in this study as it can eliminate this difficulty. The difference of the reduced differential transform method from the classical transformation methods is that it transforms a partial differential equation into a semi-algebraic equation. Its advantage over classical transformation methods is to reach the correct result with fewer iterations.

*Corresponding author: d.arslan@beu.edu.tr

Received: 10.03.2021, Accepted: 10.06.2021

The reduced differential transform method has been used in the solution of many linear and nonlinear problems [1,2,15,18]. Equations with fractional properties can also be studied with this method [24].

This study is organized as follows: The properties of the singularly perturbed Burger-Huxley equation are given, respectively. The reduced differential transform method is introduced. Finally, the reduced differential transform method is applied to sample problems with only a few iterations. In the series solution, as a result of this application, the different values given to x and t are presented with figures of the approximate solution values.

In this paper, we examine the following singularly perturbed Burger-Huxley differential equation via RDTM [5]:

$$-\varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \alpha u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} - \beta u(1-u)(u-\gamma) = 0, \tag{1}$$

$$u(x, 0) = f_0(x), \quad x \in (0, 1),$$

$$u(0, t) = f_1(t), \quad u(1, t) = f_2(t), \quad t \in (0, 1],$$

where $\alpha \geq 0, \beta \geq 0, \gamma \in (0, 1)$; $f_0(x), f_1(t)$ and $f_2(t)$ are continuous functions and $0 < \varepsilon \ll 1$ is singular perturbation parameter. This problem usually has one or two boundary layers.

2. Material and Method

The two-dimensional differential transform method was first applied to two-dimensional partial differential equations according to t and x variables in 1999 by Chen and Ho [12]. On the other hand, the reduced differential transform method, which is applied only according to the t – time or x – space variables. It is also preferred in the solution of linear and nonlinear partial differential equations by performing a small number of iterations and reaching a solution in a short time. Using the definitions and properties of the differential transform method, we can write the form of the reduced differential transform method [12-14,16,19]:

The differential transformation function $U(h, k)$ corresponding to the two-component function $u(x, t)$ considering t – time variable [20], it is defined as

$$U_h(x) = \frac{1}{h!} \left[\frac{\partial^h u(x, t)}{\partial x^h} \right]_{t=0}, \tag{2}$$

$$u(x, t) = \sum_{h=0}^{\infty} U_h(x) t^h = U_0(x) + U_1(x)t + U_2(x)t^2 + U_3(x)t^3 + \dots. \tag{3}$$

Some features of the reduced differential transformation method (2)-(3) respect to the t – time variable are given in the following theorems [1,2,15].

Theorem 1. $v(x, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \rightarrow V_h(x) = \frac{d^2 U_h(x)}{dx^2}.$

Theorem 2. $v(x, t) = \frac{\partial u}{\partial x} \rightarrow V_h(x) = \frac{dU_h(x)}{dx}.$

Theorem 3. $v(x, t) = \frac{\partial u}{\partial t} \rightarrow V_h(x) = (h+1)U_{h+1}(x).$

Theorem 4. $v(x, t) = u \frac{\partial u}{\partial x} \rightarrow V_h(x) = \sum_{s=0}^h \frac{dU_s(x)}{dx} U_{h-s}(x).$

Theorem 5. $v(x, t) = u^2 \rightarrow V_h(x) = \sum_{s=0}^h U_s(x) U_{h-s}(x).$

Theorem 6. $v(x, t) = u^3 \rightarrow V_h(x) = \sum_{m=0}^h \sum_{r=0}^m U_r(x) U_{m-r}(x) U_{h-m}(x).$

These theorems will be used in solving the singularly perturbed Burger-Huxley equation.

2.1. Applications of RDTM

Now, we present advantages and effectiveness of our method on three examples.

Example 1. As a special case of the equation (1), we consider the following singularly perturbed Burger-Huxley equation:

For $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = \frac{1}{2}, f_0(x) = x(1 - x^2), f_1(t) = 0, f_2(t) = 0,$

$$\begin{aligned}
 -\varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} - u(1 - u) \left(u - \frac{1}{2} \right) &= 0, \\
 u(x, 0) &= x(1 - x^2), \quad x \in (0, 1), \\
 u(0, t) = u(1, t) &= 0, \quad t \in (0, 1].
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

There is no exact solution to this problem. Therefore, we will find an approximate solution.

Using the reduced differential transform method, the differential transforms corresponding to each term and initial condition according to the t -time variable in the singularly perturbed Burger-Huxley equation (5) are as follows:

$$\left. \begin{aligned}
 \varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &\rightarrow \frac{d^2 U_h(x)}{dx^2}, \\
 u \frac{\partial u}{\partial x} &\rightarrow \sum_{s=0}^h U_{h-s}(x) \frac{dU_s(x)}{dx}, \\
 \frac{\partial u}{\partial t} &\rightarrow (h+1)U_{h+1}(x), \\
 u^2 &\rightarrow \sum_{s=0}^h U_s(x)U_{h-s}(x), \\
 u^3 &\rightarrow \sum_{m=0}^h \sum_{r=0}^m U_r(x)U_{m-r}(x)U_{h-m}(x), \\
 u(x, 0) = x(1 - x^2) &\rightarrow U_0(x) = x(1 - x^2).
 \end{aligned} \right\}
 \tag{5}$$

If the differential transforms (5) are written in equation (4), the following recurrence relation is obtained:

$$U_{h+1}(x) = \frac{1}{h+1} \left(\varepsilon \frac{d^2 U_h(x)}{dx^2} - \sum_{s=0}^h U_{h-s}(x) \frac{dU_s(x)}{dx} - 0.5U_h(x) + \frac{3}{2} \sum_{s=0}^h U_s(x)U_{h-s}(x) - \sum_{m=0}^h \sum_{r=0}^m U_r(x)U_{m-r}(x)U_{h-m}(x) \right).$$

Here, the following differential transformation coefficients with five iterations for values $h = 0, 1, 2, 3$ are given:

$$U_0(x) = x(1-x^2),$$

$$U_1(x) = -6\epsilon x - 15x + 35x^3 + \frac{3}{2}x^2 - 3x^4 + \frac{3}{2}x^6 - 3x^7 + x^9,$$

$$U_2(x) = 1875000000x - 4875000000x^2 + \frac{3}{2}\epsilon + 1800000000\epsilon x + 1725000000x^4 - 6.375000000x^3 - 6000000000x^5 - 1237500000x^6 + 3225000000x^7 - 2325000000x^9 - \frac{45}{4}x^8 - 27\epsilon x^2 + \frac{63}{2}\epsilon x^4 - 81\epsilon x^5 + 45\epsilon x^7 - 3\epsilon x^3 - \frac{9}{2}x^{11} + 15x^{10} - \frac{15}{4}x^{12} + \frac{15}{2}x^{13} - \frac{3}{2}x^{15}.$$

These differential transform coefficients are written in equation (3) and the approximate solution $u_{RDTM}(x,t)$ is obtained as follows

$$u_{RDTM}(x,t) = \sum_{h=0}^{\infty} U_h(x)t^h = U_0(x) + U_1(x)t + U_2(x)t^2 + U_3(x)t^3 + U_4(x)t^4 + U_5(x)t^5.$$

$$= x - x^3 - 6t\epsilon x - 15tx + 35tx^3 + \frac{3}{2}tx^2 - 3tx^4 + \frac{3}{2}tx^6 - 3tx^7 + tx^9.$$

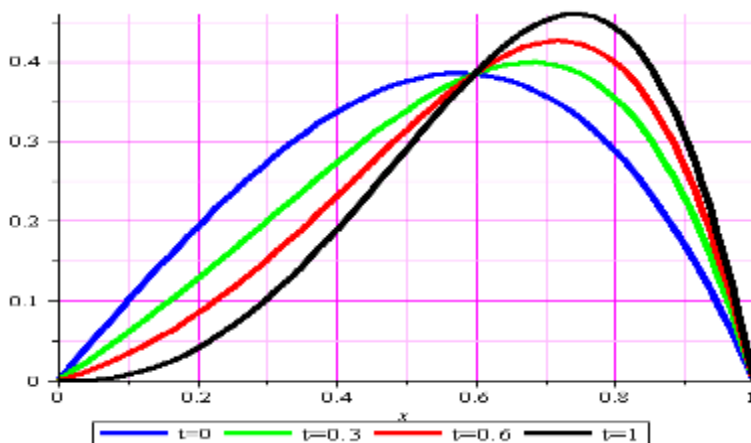


Figure 1. The approximate solution curves obtained with RDTM for $\epsilon = 2^{-15}$

Example 2.

As a special case of the equation (1), we solve the following singularly perturbed Burger-Huxley equation:

$$-\epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0,$$

$$u(x,0) = x(1-x^2), \quad x \in (0,1),$$

$$u(0,t) = u(1,t) = 0, \quad t \in (0,1],$$
(6)

where $\alpha = 1, \beta = 0, f_0(x) = x(1-x^2), f_1(t) = 0, f_2(t) = 0.$

The exact solution is not available. Thus, we will find an approximate solution for the singularly perturbed Burger-Huxley equation (6) via the reduced differential transform method.

Now, we find recurrence relation as

$$U_{h+1}(x) = \frac{1}{h+1} \left(\epsilon \frac{d^2 U_h(x)}{dx^2} - \sum_{s=0}^h U_{h-s}(x) \frac{dU_s(x)}{dx} \right).$$

Then, we have differential transform coefficients as

$$U_0(x) = x(1-x^2),$$

$$U_1(x) = -6\epsilon x - x + 4x^3 - 3x^5,$$

$$U_2(x) = 18\epsilon x - 42\epsilon x^3 + x - 10x^3 + 21x^5 - 12x^7,$$

$$U_3(x) = 120x^7 - 55x^9 + 20x^3 - 84x^5 - 36\epsilon x + 252\epsilon x^3 - 96\epsilon^2 x - 288\epsilon x^5 - x.$$

Finally, we reach the following approximate solution $u_{RDTM}(x, t)$ with four iterations

$$u_{RDTM}(x, t) = x - x^3 - 6t\epsilon x - tx + 4tx^3 - 3tx^5 + 18t^2\epsilon x - 42t^2\epsilon x^3 + t^2x - 10t^2x^3 + 21t^2x^5 - 12t^2x^7.$$

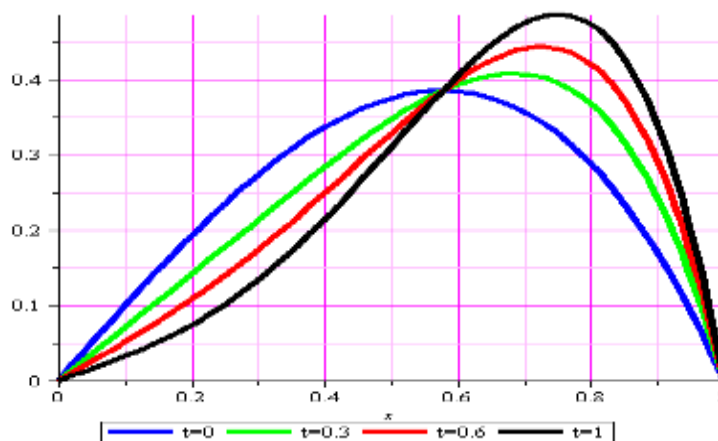


Figure 2. Comparison of the approximate solution curves obtained with RDTM for $\epsilon = 2^{-15}$

Example 3.

$$-\epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} - u(1-u) \left(u - \frac{1}{2} \right) = 0,$$

$$u(x, 0) = \sin(\pi x), \quad x \in (0, 1), \tag{7}$$

$$u(0, t) = u(1, t) = 0, \quad t \in (0, 1],$$

where $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = \frac{1}{2}, f_0(x) = \sin(\pi x), f_1(t) = 0, f_2(t) = 0.$

The exact solution of (7) is not available. So, we benefit the following reduced differential transform method procedure:

Firstly, we can give recurrence relation

$$U_{h+1}(x) = \frac{1}{h+1} \left(\begin{aligned} &\epsilon \frac{d^2 U_h(x)}{dx^2} - \sum_{s=0}^h U_{h-s}(x) \frac{dU_s(x)}{dx} - 0.5U_h(x) + \frac{3}{2} \sum_{s=0}^h U_s(x) U_{h-s}(x) \\ &- \sum_{m=0}^h \sum_{r=0}^m U_r(x) U_{m-r}(x) U_{h-m}(x) \end{aligned} \right).$$

From the above recurrence relations for $h = 0, 1, 2, 3,$ we obtain differential transformation coefficients with four iterations. Then, using the equation (3), we have the approximate solution as:

$$U_0(x) = \sin(\pi x),$$

$$U_1(x) = -\epsilon \pi^2 \sin(\pi x) - \pi \sin(\pi x) \cos(\pi x) - 0.5 \sin(\pi x) + \frac{3}{2} \sin^2(\pi x) - \sin^3(\pi x),$$

...

Finally, using above relations and formula (3), we reach approximate solution of the problem (6) with three iterations as follows:

$$u_{RDTM}(x, t) = 2000000000.10^{(-9)} \sin(3141592654x)(500000000010^8 - 493480220210^9 t \varepsilon - 1570796327.10^9 t \cos(3141592654x) - 750000000010^8 t + 750000000010^8 t \sin(3141592654x) + 500000000010^8 t \cos(3141592654x)^2).$$

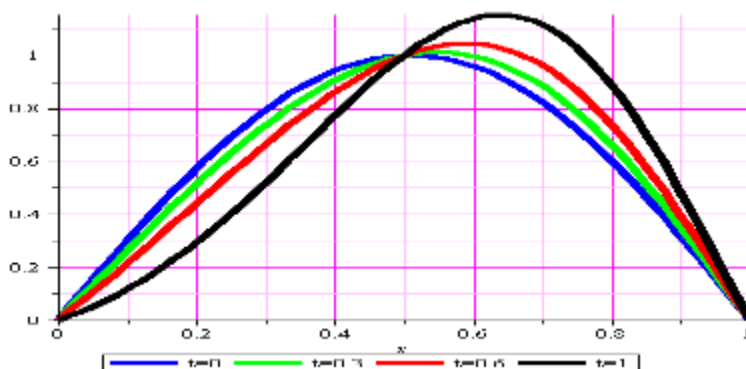


Figure 3. Comparison of the approximate solution curves obtained with RDTM for $\varepsilon = 2^{-15}$

In all three examples, there is a boundary layer at $x = 1$.

As seen in figures, as values of t increase, approximate solution curves get closer to the coordinate axis around the boundary layer of $x = 1$. We plotted these results in Figure 1, 2, 3 for comparing RDTM solutions with respect to different the t – time variables. Thus, it is clear that the approaches obtained using the proposed method is in high accuracy.

3. Remark

The exact solution of the singularly perturbed Burger-Huxley partial differential equation in this study cannot be seen in the literature. Thus, this paper will give an important idea to determine approximate solutions behavior of these problems via RDTM.

4. Conclusion

We considered an efficiently method for solving singularly perturbed Burger-Huxley partial differential equation. The solutions were very rapidly convergent by using this method. The numerical results have been obtained by mathematics computer programe and shown in figures. The numerical values in all figures shown that we arrived at a correct numerical approach.

Author’s Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the author.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Abazari R., Abazari N. 2013. Numerical Study of Burgers–Huxley Equations via Reduced Differential Transform Method. *Comp. Appl. Math.*, 32 (1): 1-17.
- [2] Az-Zo'bi E.A. 2014. On the Reduced Differential Transform Method and its Application to the Generalized Burgers-Huxley Equation. *Applied Mathematical Sciences*, 8 (177): 8823-8831.
- [3] Hashim I., Noorani M.S.M., Batiha B. 2006. A note on the Adomian Decomposition Method for the Generalized Huxley Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 181: 1439–1445.
- [4] Ismail H.N.A., Raslan K., Abd Rabboh A.A. 2004. Adomian Decomposition Method for Burger's–Huxley and Burger's–Fisher Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 159: 291-301.
- [5] Liu L-B., Liang Y., Zhang J. 2020. A Robust Adaptive Grid Method for Singularly Perturbed Burger-Huxley Equations. *Electronic Research Archive*, 28 (4): 1439-1457.
- [6] Hashemi M.S., Baleanu D., Barghi H. 2016. Singularly perturbed Burgers-Huxley Equation by a Meshless Method. *Thermal Science*, 21 (6): 2689-2698.
- [7] Yefimova O.Y., Kudryashov N.A. 2004. Exact Solutions of the Burgers-Huxley Equation. *J. Appl. Maths. Mechs.*, 68 (3): 413-420.
- [8] Appadu A.R., Inan B., Olatunji Tijani Y. 2019. Comparative Study of Some Numerical Methods for the Burgers–Huxley Equation. *Symmetry*, 11 (11).
- [9] Burgers J.M. 1948. A Mathematical Model Illustrating the Theory of Turbulence. *Advances in Applied Mechanics*, Academic Press, New York, 171-199.
- [10] Satsuma J. 1987. *Topics in Soliton Theory and Exactly Solvable Nonlinear Equations*. World Scientific, Singapore.
- [11] Bateman H. 1915. Some Recent Researches on the Motion of Fluids. *Monthly Weather Review*, 43: 63-170.
- [12] Chen C.K., Ho S.H. 1999. Solving Partial Differential Equations by Two Dimensional Differential Transform. *Appl. Math. Comput.*, 106: 171-179.
- [13] Zhou J.K. 1986. *Differential Transform and Its Application for Electrical Circuits*. Huazhong University Press, Wuhan.
- [14] Ayaz F. 2004. Applications of Differential Transform Method to Differential-Algebraic Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 152: 649-657.
- [15] Arslan D. 2020. The Comparison Study of the Hybrid Method with RDTM for Solving Rosenau-Hyman Equation. *Applied mathematics and Nonlinear science*, 5 (1): 267-274.
- [16] Arslan D. 2019. A Novel Hybrid Method for Singularly Perturbed Delay Differential Equations. *Gazi University Journal of Science*, 32 (1): 217-223.
- [17] Nayfeh A.H. 1993. *Introduction to Perturbation Techniques*. Wiley, New York.
- [18] Arslan D. 2019. Approximate Solutions of Singularly Perturbed Nonlinear Ill-posed and Sixth-order Boussinesq Equations with Hybrid Method. *BEU Journal of Science*, 8 (2): 451-458.
- [19] Arslan D. 2020. Numerical Solution of Nonlinear the Foam Drainage Equation via Hybrid Method. *New Trends in Mathematical Sciences*, 8 (1): 50-57.
- [20] Ayaz F. 2003. On the Two Dimensional Differential Transform Method. *Appl. Math. Comput.*, 143: 361-374.
- [21] Gupta V., Kadalbajoo M.K. 2011. A Singular Perturbation Approach to Solve Burgers-Huxley Equation via Monotone Finite Difference Scheme on Layer-Adaptive Mesh. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.*, 16: 1825-1844.
- [22] İnan B., Bahadır A.R. 2015. Numerical Solutions of the Generalized Burgers-Huxley Equation by Implicit Exponential Finite Difference Method. *Journal of Applied Mathematics, Statistic and Informatics*, 11: 57-67.
- [23] Çiçek Y., Tanoğlu G. 2016. Strang Splitting Method for Burgers-Huxley Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 276: 454-467.
- [24] Bulut H., Baskonus, H.M., Pandir Y. 2013. The Modified Trial Equation Method for Fractional Wave Equation and Time Fractional Generalized Burgers Equation. *Abstract and Applied Analysis*, 2013: 8 pages,

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effects of *Coriandrum sativum* L. and *Chaerophyllum macropodum* Boiss. (Apiaceae) on human plasma angiotensin-converting enzyme (ACE) *in vitro*

Fatih Çağlar ÇELİKEZEN^{*1}, Vedat TÜRKÖĞLU², Mehmet FIRAT², Zehra BAŞ²

¹Bitlis Eren University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, Bitlis, Turkey.

²Van Yuzuncu Yıl University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Van, Turkey.

(ORCID: 0000-0001-5489-7384) (ORCID: 0000-0002-0935-1195) (ORCID: 0000-0001-5814-614X) (ORCID: 0000-0002-4071-9744)

Abstract

Hypertension is a very important problem around the world. The inhibition of the Angiotensin-converting enzyme (ACE, EC.3.4.15.1.) is regarded as fundamental of hypertension treatment. However, synthetic ACE inhibitors have several side effects. For this reason, there are lots of studies to improve green ACE inhibitors. Therefore, this study was designed to determine the potential inhibitory effects of two members of Apiaceae, *Coriandrum sativum* and *Chaerophyllum macropodum*, on human plasma ACE. For this purpose, water extracts of the plants were used. ACE inhibition activity was detected spectrophotometrically. Both plant extracts showed an inhibitory effect on ACE activity. The obtained results showed that *Coriandrum sativum* and *Chaerophyllum macropodum* have inhibitory effects on human plasma ACE with an IC₅₀ value of 0.7 mg/mL and 1.14 mg/mL, respectively. Lineweaver-Burk graph was used to determine the inhibition type. The inhibition types were found as reversible noncompetitive. According to the obtained results, *Coriandrum sativum* and *Chaerophyllum macropodum* are valuable functional food with ACE inhibition capacity which may be used to balance blood pressure efficiently.

Keywords: Hypertension, Angiotensin-converting enzyme I, *Coriandrum sativum*, *Chaerophyllum macropodum*, Apiaceae

***Coriandrum sativum* L. ve *Chaerophyllum macropodum* Boiss. (Apiaceae)'nin *in vitro* İnsan Plazma Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim Üzerine Etkileri**

Öz

Hipertansiyon dünya çapında çok önemli bir problemdir. Anjiyotensin dönüştürücü enzimin (ACE, EC.3.4.15.1.) inhibisyonu, hipertansiyon tedavisinin temeli olarak kabul edilir. Ancak sentetik ACE inhibitörlerinin bazı yan etkileri vardır. Bu nedenle, doğal ACE inhibitörleri geliştirmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu sebeple, bu çalışma, Apiaceae'nin iki üyesi olan *Coriandrum sativum* ve *Chaerophyllum macropodum*'un insan plazma ACE'si üzerine potansiyel inhibitör etkilerini belirlemek için tasarlanmıştır. Bu amaçla, bitkilerin su ekstraktları kullanılmıştır. ACE inhibisyon aktivitesi spektrofotometrik olarak tespit edildi. Her iki bitki özütü de ACE aktivitesi üzerinde inhibe edici etki gösterdi. Elde edilen sonuçlar, *Coriandrum sativum* ve *Chaerophyllum macropodum*'un sırasıyla 0,7 mg/mL ve 1,14 mg/mL IC₅₀ değeriyle insan plazma ACE üzerine inhibe edici etkilere sahip olduğunu gösterdi. İnhibisyon tipini belirlemek için Lineweaver-Burk grafiği kullanıldı. İnhibisyon türleri geri dönüşümlü, yarışmasız inhibisyon olarak bulundu. Elde edilen sonuçlara göre, *Coriandrum sativum* ve *Chaerophyllum macropodum*'un ACE inhibisyon kapasitesine sahip, kan basıncını etkin bir şekilde dengelemek için kullanılabilecek, değerli fonksiyonel gıdalardır.

Anahtar kelimeler: Hipertansiyon, Anjiyotensin dönüştürücü enzim I, *Coriandrum sativum*, *Chaerophyllum macropodum*, Apiaceae

*Corresponding author: celikezen@gmail.com

Received: 10.03.2021, Accepted: 06.06.2021

1. Introduction

Hypertension is very important health problem causing death around the World, and it is associated with coronary diseases [1]. Pathogenesis of this disease has indicated that the angiotensin-converting enzyme (ACE) is a powerful regulator for the balance of blood pressure [2]. ACE is a peptidase in the renin-angiotensin system (RAS) which transforms angiotensin I into the angiotensin II [3]. RAS has a central role in the regulation of peripheral electrolyte homeostasis and blood pressure in mammals [4]. Juxtaglomerular cells of the kidney release renin regulating the decrease in blood pressure and volume of the kidney [5]. Renin helps in the formation of angiotensin I [6]. However, the blocking of ACE activity suppresses the angiotensin II production and reduces blood pressure. In this way, ACE inhibitors are used to treat hypertension in medicine [7]. Today, several ACE inhibitors are in use clinically to treat hypertension, which includes captopril, lisinopril, and temocapril. But synthetic ACE inhibitors have several adverse impacts such as coughing, rashes, and taste aversion [8]. For this reason, research interests have focused on ACE inhibitors from natural sources including plants [9,10]. It has been reported that some plant extracts showed the inhibition effect on ACE, such as *Glycine max* [11], *Cassia tora* [12], *Rosa damascene* [13], and *Thymbra sintenisii* [14].

Apiaceae is known as a large plant family which includes 3780 species in 434 genera [15]. Apiaceae family is generally seen in the northern area and Mediterranean countries [16]. Approximately, 101 genera including 451 species of this family have been determined in Turkey [17], and the members of this family are used in cosmetics including perfumery and pharmaceutical industries [16,18].

Chaerophyllum genus of Apiaceae shows distinctive fragrant character, by this way, they are used in preparations of food, such as flavoring in cheese production, and also consumed as an edible vegetable in Turkey and Iran [19-21]. *Chaerophyllum macropodum* (*C. macropodum*) is traditionally mixed into herby cheese which is a famous dairy product for its aroma and flavor in Turkey [21]. But there is limited knowledge about the bioactivity of *C. macropodum*. The studies on *Chaerophyllum* species have shown that it has phenylpropanoids, phenolic acids, flavonoid glycosides, and polyacetylenes [22]. In addition, there are some reports that indicate chemical composition, antioxidant and antimicrobial effects of *C. macropodum* [20-22]. To our best knowledge, there is no report about the inhibitory effect of *C. macropodum* on ACE activity.

Coriandrum sativum L. (*C. sativum*), another member of the family Apiaceae, is a biennial herb. *C. sativum* is cultivated in Asia, Europe, and North Africa and green leaves of *C. sativum* are a rich source of minerals, vitamins and iron [23]. Its seed oil is widely used in cosmetic, soft drink, food, and chocolate industries [24]. *C. sativum* is traditionally used to treat disorders such as respiratory, urinary systems disorders, diabetes, inflammation, and anxiety [25-27]. In addition, it has been stated that *C. sativum* has analgesic [28], anti-insulin resistance activity [29], and antihypertensive properties [30].

As far as we know, there is no study about the inhibition effects of *C. sativum* and *C. macropodum* on human plasma ACE activity *in vitro*. Thus, the present study was designed to investigate the inhibition properties of *C. sativum* and *C. macropodum* on human plasma ACE *in vitro* for the first time.

2. Material and Methods

2.1. Plant Material

Chaerophyllum macropodum Boiss. was collected in Diz Stream of Hakkari Cilo mountain at 1730m. in May. *Coriandrum sativum* L. was collected at 850 m in Siirt Kurtalan in June. Scientific diagnoses of the plants were made by Mehmet FIRAT from Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Education, Department of Biology

2.2. Plant Extraction

After the plant samples were dried properly, they were ground into a fine powder with the help of a blender. Then, 90 mL of hot water was added by weighing 10 g of each of the plant samples and kept at room temperature until it cools down. Then, it was used fresh by filtering through filter paper. Stock solutions were stored at +4 °C [31]. Minor modification were made to the method.

2.3. Preparation of the human plasma

Blood samples were taken from the Van Red Crescent Blood Center of Turkey. The samples were added into tubes including EDTA and centrifuged at 1500 rpm for 15 minutes. Obtained plasma was centrifuged again for 1 hour (40 °C, 8500 rpm) to uproot the ghosts and intact cells. Plasma samples were then stored [14]

2.4. Determination of ACE Activity

The ACE activity was determined according to Holmquist et al. (1979). Fifty mM HepesNa buffer, 0.3 M NaCl, 10 µM ZnCl₂, and 1 mM FAPGG were added to the assay cuvette. One unit of activity was defined as the quantity of ACE that produces a ΔA 345/min of 1.0 [32,33].

2.5. ACE Inhibition Assay

The experiments were carried out in the laboratories of the Van YYÜ Chemistry Department. In the test, human plasma was used to evaluate ACE activity. Two experimental tubes were received as blank and sample. Then, 100 µL of plasma containing ACE was added to each tube. After this, 900 µL of HEPES buffer (50 mM HEPES, 0.3 M NaCl, 10 µM ZnCl₂ pH 7.5) was put into the blank tube and stirred. The spectrophotometer (Shimadzu 1800 UV-Vis) was reset with a blank tube. Fifty mM HEPES buffer (pH 7.5), inhibitor (plant extracts), and 1 mM substrate (FAPGG) were added to the sample tube (total volume 1000 µL) and stirred. Different concentrations of *C. sativum* and *C. macropodium* extracts (at 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 mg/mL) were used. The absorbance value was read at 345 nm. The sample tube was incubated for 30 minutes at 35 °C. After the waiting time, the absorbance of the tubes was determined at 345 nm. The reduction in absorbance was calculated.

$A \text{ (ACE Activity)} = (\Delta OD/0.517) \times (V_c/V_e) \times f$

ΔOD: Difference between optic densities at 345 nm for per minute

V_c: Whole volume

V_e: Volume of enzyme solution (plasma hemolysate)

f: Dilution factor

0.517 mM⁻¹ cm⁻¹: Extinction coefficient of FAPGG

The inhibition activity of ACE was found from the calibration curve and calculated via the following equation:

% ACE inhibition = $(\text{Uninhibited activity} - \text{Inhibited activity}) / \text{Uninhibited activity} \times 100$

In this study, the inhibition affects *C. sativum* and *C. macropodium* plants on the ACE enzyme in human plasma was investigated. Extracts of both plants showed a reversible-noncompetitive inhibition effect on ACE. Inhibition type and IC₅₀ values were determined from Lineweaver-Burk and % Activity versus inhibitor concentration graphs for each plant extract.

3. Results and Discussion

Hypertension is identified an important health problem which affects one billion people around the world [34]. Moreover, it is known as a “silent killer” due to its asymptomatic affect in adults [35]. It has been reported that the inhibition of ACE is an important way of hypertension treatment. This enzyme is zinc-dependent metalloproteinase that transforms angiotensin I to angiotensin II and promotes the degradation of vasodilator bradykinin [36]. In addition, it has been stated that hypertension may be prevented by ACE inhibitors [37]. These inhibitors are shown as the first step for the treatment of hypertension, myocardial infarction and heart failure [38]. At this point, ACE inhibitors may effectively reduce blood pressure, but synthetic medications can cause some adverse effects [39,40]. Recently, there is a considerable interest in green components for treatment of hypertension [41].

These plants which are used in folk medicine have been used to treat some illness in all civilizations. These medicinal plants are popular because of their efficiency, cheapness, and few adverse effects. It has been reported that more than two thousand plants have been identified as a medicinal herb for the treatment of hypertension including cardioprotective, cardioactive, cardiostimulant, or circulatory stimulating activities [42]. Moreover, it has been concluded that bioactive components that are available

in foods and medicinal plants prevent cardiovascular health [43]. These components such as phenolic acids, alkaloids, polyphenols, flavonoids, tannins, polysaccharides, and sterol have been shown as ACE inhibitors [44]. These natural components are very important for preventing and treating hypertension. Flavonoids have been documented to inhibit different zinc metalloproteinases such as ACE, and anthocyanins, flavones, flavonols, and flavanols have been reported to have an inhibitory potential more than %50 of ACE. Furthermore, it has been exhibited that flavonoid-rich foods may lower blood pressure and inhibit ACE [45]. In addition, it has been revealed that edible plant components including peptides, flavonoids, and phenolic contents inhibit ACE activity [46,47]. Thus, in this study, two members of Apiaceae which are edible plants and rich in bioactive components were investigated as a potential ACE inhibitor [22,48]. With this aim, water extracts of *C. sativum* and *C. macropodium* were used to find their inhibitor potentials on human plasma ACE activity. To determine their inhibition potentials, the spectrometric method was used. Human plasma samples were treated with different concentrations of extracts. Then, Lineweaver-Burk graph was plotted for the determination of inhibition type with different FAPGG concentrations and different *C. sativum* and *C. macropodium* concentrations. Inhibition types were detected as reversible noncompetitive. The obtained results showed that *C. sativum* and *C. macropodium* have an inhibition potential on ACE activity in a dose-dependent manner with an IC_{50} value of 0.7 mg/mL and 1.14 mg/mL, respectively as shown in Figure 1 and Figure 2. Inhibition types were detected as reversible noncompetitive (Figure 3 and Figure 4).

The obtained data are in accordance with previous reports in the literature. In a study, Hussain et al (2018) reported that *C. sativum* has ACE inhibition potential. In the study, researchers determined that fresh leaves of *C. sativum* have good inhibition potentials on ACE [49]. Moreover, they fractionated four secondary metabolites to find out actual bioactive compounds against the ACE activity. At the end of the study, they concluded that flavonoid-rich fraction has the most powerful ACE inhibitory effect and IC_{50} value was detected as 28.91 μ g/mL. In another work, Ali et al (2019) reported that methanolic extract of whole plants of *Angelica decursiva* has inhibitory effects against ACE [50]. Hyun et al (2013) reported that *A. gigas* and its coumarin constituents have a potential inhibitory effect on ACE [51]. In addition, it has been shown that *Centella asiatica* (Apiaceae) has an inhibition effect on ACE [52]. Simaratanamongkol et al (2014) concluded that methanolic extract of *Apium graveolens*, another member of apiaceae, showed important ACE inhibitory activity. They detected IC_{50} value as 1.7 mg/mL [53]. Suručić et al (2017) reported that essential oil of *S.pallasii* showed dose-dependent inhibition capacity on ACE with an IC_{50} value of 0.33 mg/mL [54]. In contrast to the results from our work, Saleem et al. (2017) stated that ethanol and water extracts of seeds of dill, ajowan, fennel, coriander, and anise from Apiaceae family did not show an inhibition effect on ACE [55]. This difference may be due to the extractions used in the study and bioactive component content. Similarly, Hussain et al (2018) reported that fresh leaves of *C. sativum* have high ACE inhibitory effect while the seeds of the plant did not have any ACE inhibitory affect [49].

In conclusion, the obtained results show that *C. sativum* and *C. macropodium* have an inhibitory affect on human plasma ACE activity *in vitro*. If these plants are used in an appropriate way, they can prevent cardiovascular diseases. But, further studies are needed to use this plant safety for treatment of hypertension.

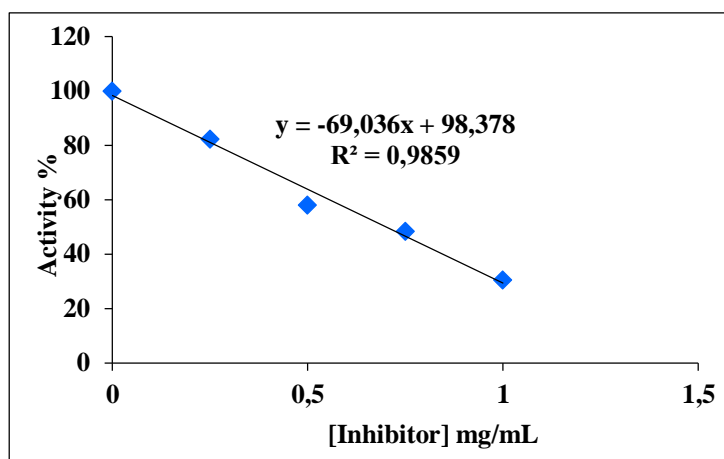


Figure 1. The inhibition effect of *C. sativum* L. extract on the ACE activity

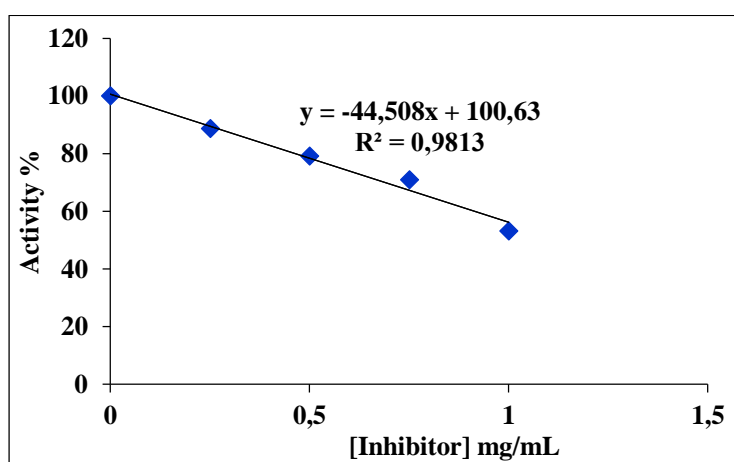


Figure 2. The inhibition effect of *C. macropodium* extract on human plasma ACE activity.

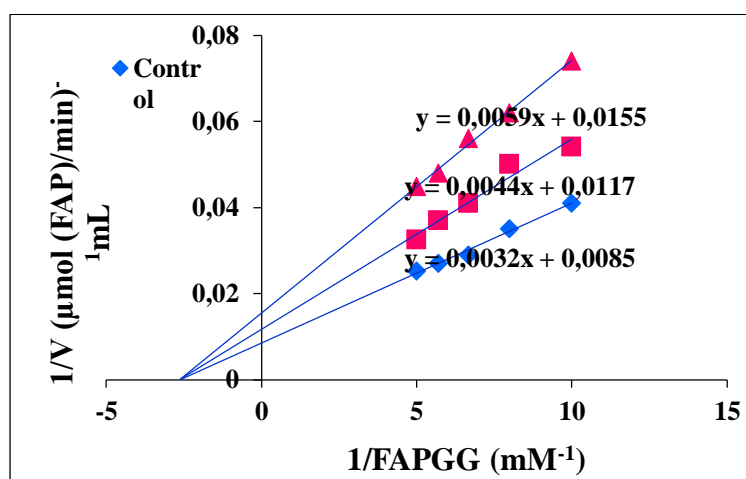


Figure 3. Lineweaver-Burk graph with different FAPGG concentrations. Two different *C. sativum* concentrations were used for the evaluation of inhibition type.

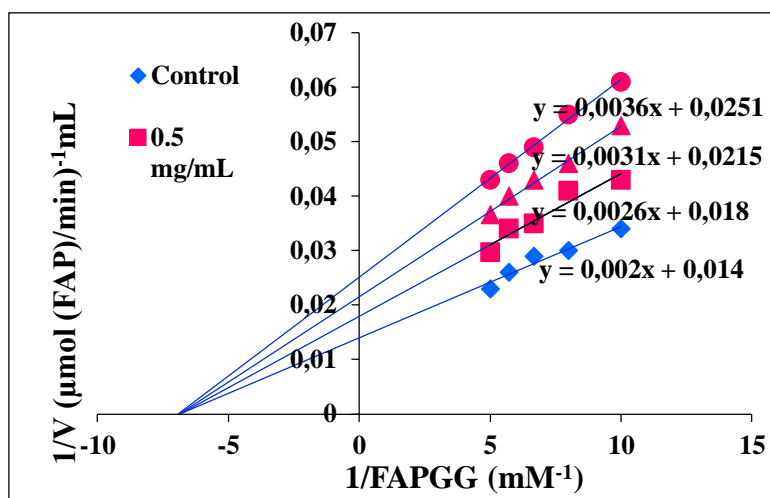


Figure 4. Lineweaver-Burk graph with different FAPGG concentrations and three different *C. macropodum* concentrations were used for the evaluation of inhibition type.

Acknowledgement

This work is supported by Bitlis Eren University Scientific Research Projects Office with Grant number BEBAP 2019.002.

Author's Contributions

Fatih Çağlar ÇELİKEZEN and Vedat TÜRKÖĞLU contributed to the planning of the study, literature review, experimental studies, writing and evaluation of the study results. Mehmet Fırat took part in the collection and scientific diagnosis of plants. Zehra BAŞ took part in experimental studies and interpretation and writing of the results.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The authors declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Bhagani S., Kapil V., Lobo M.D. 2018. Hypertension. *Medicine*, 46: 509-515.
- [2] Wijesekara I., Kim S.K. 2010. Angiotensin-I-converting enzyme (ACE) inhibitors from marine resources: Prospects in the pharmaceutical industry. *Marine Drugs*, 8 (4): 1080-1093.
- [3] Corvol P., Williams T.A., Soubrier F. 1995. Peptidyl dipeptidase A: angiotensin I converting enzyme. *Methods Enzymology*, 248: 283-305.
- [4] Patten G.S., Abeywardena M.Y., Bennett L.E. 2016. Inhibition of angiotensin converting enzyme, angiotensin II receptor blocking and blood pressure lowering bioactivity across plant families. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56 (2):181-214.
- [5] Onat T, Emerk K, Sözmén E, 2006. *İnsan Biyokimyası*, 2. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [6] Li G.H., Le G.W., Shi Y.H., Shrestha S. 2003. Angiotensin I – converting enzyme inhibitory peptides derived from food proteins and their physiological and pharmacological effects. *Nutrition Research*, 24: 469-486.
- [7] Khong T.K., Adeyeye E. 2019. First-line drugs for hypertension. *Drug and Therapeutics Bulletin*, 57: 135-136.

- [8] Chen ZY, Peng C, Jiao R, Wong YM, Yang N, Huang Y, 2009. Antihypertensive nutraceuticals and functional foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57: 4485-4499.
- [9] Azemi W.A.W.M., Samsudin N.A., Halim N.R.A., Sarbon N.M. 2016. Bioactivity of enzymatically prepared eel (*Monopterus sp.*) protein hydrolysate at different molecular weights. *International Food Research Journal*, 24 (2): 571-578.
- [10] Baharuddin N.A., Halim N.R.A., Sarbon N.M. 2016. Effect of degree of hydrolysis (DH) on the functional properties and angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activity of eel (*Monopterus sp.*) protein hydrolysate. *International Food Research Journal*, 23 (4): 1424-1431.
- [11] Rho S.J., Lee J.S., Chung Y.I., Kim Y.W., Lee H.G. 2009. Purification and identification of an angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide from fermented soybean extract. *Process Biochemistry*, 44: 490-493.
- [12] Hyun S.K., Lee H., Kang S.S., Chung H.Y., Choi J.S. 2009. Inhibitory activities of *Cassia tora* and its anthraquinone constituents on angiotensin-converting enzyme. *Phytotherapy Research*, 23: 178-184.
- [13] Kwon E.K., Lee D.Y., Hyungjae L., Kim D.O.K., Baek N.I.N., Kim Y.E., Kim H.Y. 2010. Flavonoids from the buds of *Rosa damascena* inhibit the activity of 3- hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme a reductase and angiotensin I-converting enzyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 882-886.
- [14] Gür T., Karahan F., Baş Z., Türkoğlu V. 2020. The Determination of Inhibition Effect of Extracts of *Thymbra sintenisii* Bornm. et Aznav. Subsp on Angiotensin Converting Enzyme. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10 (3): 1848-1856
- [15] Sayed-Ahmad B., Talou T., Saad Z., Hijazi A., Merah O., 2017. The Apiaceae: Ethnomedicinal family as source for industrial uses. *Industrial Crops and Products*, 109: 661-671.
- [16] Zengin G., Mahomoodally M.F., Paksoy M.Y., Carene Picot-Allain, Glamocilja J., Sokovic M., Diuzheva A., Jekó J., Cziáky Z., Rodrigues M.J., Sinan K.I., Custodio. 2019. Phytochemical characterization and bioactivities of five Apiaceae species: Natural sources for novel ingredients. *Industrial Crops and Products*, 135: 107-121.
- [17] Özhatay N., Akalın E., Özhatay E., Ünlü S. 2009. Rare and endemic taxa of Apiaceae in Turkey and their conservation significance. *Journal of Pharmacy of İstanbul University*, 40: 1-9.
- [18] Ngahang Kamte S.L., Ranjbarian F., Cianfaglione K., Sut S., Dall'Acqua S., Bruno M., Afshar F.H., Iannarelli R., Benelli G., Cappellacci L., Hofer A., Maggi F., Petrelli R., 2018. Identification of highly effective antitrypanosomal compounds in essential oils from the Apiaceae family. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156: 154-165.
- [19] Demirci B, Koşar M, Demirci F, Dinç M, Başer KHC, 2007. Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil of *Chaerophyllum libanoticum* Boiss. et Kotschy. *Food Chemistry*, 105 (4): 1512-1517.
- [20] Çoruh N., Sağdıçoğlu Celep A.G., Özgökçe F. 2007. Antioxidant properties of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl., *Chaerophyllum macropodum* Boiss. and *Heracleum persicum* Desf. from Apiaceae family used as food in Eastern Anatolia and their inhibitory effects on glutathione-S-transferase. *Food Chemistry*, 100 (3): 1237-1242.
- [21] Durmaz H., Sagun E., Tarakci Z., Ozgokçe F. 2006. Antibacterial activities of *Allium vineale*, *Chaerophyllum macropodum* and *Prangos ferulacea*. *African Journal of Biotechnology*, 5: 1795-1798.
- [22] Ebrahimabadi A.H., Djafari-Bidgoli Z., Mazoochi A., Kashi F.J., Batooli H. 2010. Essential oils composition, antioxidant and antimicrobial activity of the leaves and flowers of *Chaerophyllum macropodum* Boiss. *Food Control*, 21: 1173-1178.
- [23] Slavin J.L., Lloyd B. 2012. Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in Nutrition*, 3 (4): 506-516.
- [24] Beyzi E., Karaman K., Gunes A., Beyzi S.B. 2017. Change in some biochemical and bioactive properties and essential oil composition of coriander seed (*Coriandrum sativum* L.) varieties from Turkey. *Industrial Crops Products*, 109: 74-78.
- [25] Taherian A.A., Vafaei A.A., Ameri J. 2012. Opiate system mediate the antinociceptive effects of *Coriandrum sativum* in mice. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 11 (2): 679-688.

- [26] Aissaoui A., El-Hilaly J., Iaraili Z.H., Lyoussi B. 2008. Acute diuretic effect of continuous intravenous infusion of an aqueous extract of *Coriandrum sativum* L. in anesthetized rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 115: 89-95.
- [27] Gastón M.S., Cid M.P., Vázquez A.M., Decarlina M.F., Demmel G.I., Rossi L.I., Salvatierra N.A. 2016. Sedative effect of central administration of *Coriandrum sativum* essential oil and its major component linalool in neonatal chicks. *Pharmaceutical Biology*, 54 (10): 1954-1961.
- [28] Jiao Y., Wang X., Chen J. 2021. Biofabrication of AuNPs using *Coriandrum sativum* leaf extract and their antioxidant, analgesic activity. *Science of the Total Environment*, 767: 144914.
- [29] Patel D.K., Desai S.N., Devkar R.V., Ramachandran A.V. 2011. *Coriandrum sativum* L. aqueous extract mitigates high fat diet induced insulin resistance by controlling visceral adiposity in C57BL/6J Mice. *Boletin Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 10: 127-135.
- [30] Medhin D.G., Hadhazy B.P., Verzar-Petri G. 1986. Hypotensive effects of *Lupinus termis* and *Coriandrum sativum* in anaesthetized rats. *Acta Pharmaceutica Hungarica*, 56: 59- 63.
- [31] Özünlü O., Ergezer H. 2019. İnfüzyon yöntemi kullanılarak kurutulmuş enginar çanak yaprağı katkılı soğuk yeşil çay üretimi. *Akademik Gıda* 17 (4): 458-467
- [32] Andújar-Sánchez M., Cámara-Artigas A., Jara-Pérez V. 2003. Purification of angiotensin 1 converting enzyme from pig lung using concanavalin-A sepharose chromatography. *Journal of Chromatography B*, 783: 247-252.
- [33] Holmquist B., Bünning P., Riordan J.F. 1979. A continuous spectrophotometric assay for angiotensin converting enzyme. *Analytical Biochemistry*, 95: 540-548.
- [34] Singer P.S. 2019. Updates on hypertension and new guidelines. *Adv. Pediatr.* 66: 177-187
- [35] Je J.Y., Park J.Y., Jung W.K., Park P.J., Kim S.K. 2005. Isolation of angiotensin I converting enzyme (ACE) inhibitor from fermented oyster sauce, *Crassostrea gigas*. *Food Chemistry*, 90 (4): 809-814.
- [36] Paiva L., Lima E., Neto A.I., Baptista J. 2016. Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activity of *Fucus spiralis* macroalgae and influence of the extract's storage temperature-A short report. *Journal of Pharmaceutical Biomedical Analysis*, 30 (131): 503-507.
- [37] Ma T.K., Kam K.K., Yan B.P., Lam Y.Y. 2010. Renin-angiotensin aldosterone system blockade for cardiovascular diseases: current status. *British Journal of Pharmacology*, 160 (6): 1273-1292.
- [38] Lin L., Lu S., Harnly J. 2007. Detection and quantification of glycosylated flavonoid malonates in celery, Chinese celery, and celery seed by LC-DAD-ESI/ MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 1321-1326.
- [39] Atanasov A.G., Waltenberger B., Wenzig E.M.P., Linder T., Wawrosch C., Uhrin P., Temml V., Wang L., Schwaiger S., Heiss E.H., Rollinger J.M., Schuster D., Breuss J.M., Bochkov V., Mihovilovic M.D., Kopp B., Bauer R., Dirscha V.M., Stuppner H. 2015. Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: a review. *Biotechnology Advances* 33: 1582-1614.
- [40] Dias D.A., Urban S., Roessner U. 2012. A historical overview of natural products in A historical overview of natural products in drug discovery. *Metabolites*, 2 (2): 303-336.
- [41] Biswas D., Uddin M.M., Dizdarevic L.L., Jørgensen A., Duttaroy A.K. 2014. Inhibition of angiotensin-converting enzyme by aqueous extract of tomato. *European Journal of Nutrition*, 53 (8): 1699-1706.
- [42] Hussain S.A., Panjagari N.R., Singh R.R.B., Patil G.R. 2015. Potential Herbs and Herbal Nutraceuticals: Food Applications and Their Interactions with Food Components, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (1): 94-122.
- [43] Huang W.Y., Davidge S.T., Wu J. 2013. Bioactive natural constituents from food sources potential use in hypertension prevention and treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (69): 615-630.
- [44] Liu R.H., 2003. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78 (3): 517-520.
- [45] Goretta L.A., Ottaviani J.I., Keen C.L., Fraga C.G. 2003. Inhibition of angiotensin converting enzyme (ACE) activity by flavan-3-ols and procyanidins. *FEBS (Fed. Eur. Biochem. Soc.) Letter*, 555: 597-60.

- [46] Dong J., Xu X., Liang Y., Head R., Bennett L. 2011. Inhibition of angiotensin converting enzyme (ACE) activity by polyphenols from tea (*Camellia sinensis*) and links to drug discovery. *Metabolites* 2: 303-336.
- [47] Ojeda D., Jiménez-Ferrer E., Zamilpa A., Herrera-Arellano A., Tortoriello J., Alvarez L. 2010. Inhibition of angiotensin convertin enzyme (ACE) activity by the anthocyanins delphinidin-and cyanidin-3-O-sambubiosides from *Hibiscus sabdariffa*. *Journal of Ethnopharmacology*, 127 (1): 7-10.
- [48] Wei J.N., Liu Z.H., Zhao Y.P., Zhao L.L., Xue T.K., Lan Q.K. 2019. Phytochemical and bioactive profile of *Coriandrum sativum* L. *Food Chemistry*, 286: 260-267.
- [49] Hussain F., Jahan N., Rahman K.U., Sultana B., Jamil S. 2018. Identification of Hypotensive Biofunctional Compounds of *Coriandrum sativum* and Evaluation of Their Angiotensin-Converting Enzyme (ACE) Inhibition Potential. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 15: 4643736.
- [50] Ali M.Y., Seong S.H., Jung H.A., Choi J.S. 2019. Angiotensin-I-converting enzyme inhibitory activity of coumarins from *Angelica decursiva*. *Molecules*, 24 (21): 3937.
- [51] Hyun S.K., Oh Y.N., Kwon H.J., Kim B.W. 2013. Angiotensin converting enzyme inhibitory benzopyranoids from *Angelica gigas*. *Food Science and Biotechnology*, 22: 1741-1745.
- [52] Hansen K., Nyman U., Smitt U.W., Adersen A., Gudiksen L., Rajasekharan S., Pushpangadan P. 1995. In vitro screening of traditional medicines for anti-hypertensive effect based on inhibition of the angiotensin converting enzyme (ACE). *Journal of Ethnopharmacology*, 48 (1): 43-51.
- [53] Simaratanamongkol A., Umehara K., Noguchi H., Panichayupakaranant P. 2014. Identification of a new angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibitor from Thai edible plants. *Food Chemistry*, 165: 92-97.
- [54] Suručić R., Kundaković T., Lakušić B., Drakul D., Milovanović S.R., Kovačević N. 2017. Variations in Chemical Composition, Vasorelaxant and Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitory Activities of Essential Oil from Aerial Parts of *Seseli pallasii* Besser (Apiaceae). *Chemistry Biodiversity*, 14(5). doi: 10.1002/cbdv.201600407
- [55] Saleem F., Sarkar D., Ankolekar C., Shetty K. 2017. Phenolic bioactives and associated antioxidant and anti-hyperglycemic functions of select species of Apiaceae family targeting for type 2 diabetes relevant nutraceuticals. *Industrial Crops and Products*, 107: 518-525.

Araştırma Makalesi / Research Article

An Efficient Nonlinear Technique For Solving Fourth-order Fractional Integro-differential equations

Veyis TURUT

*Batman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Batman, Turkey.
(ORCID: 0000-0002-8148-7935)*

Abstract

In this study univariate Padé approximation is applied to power series solutions of Fourth-order Fractional Integro-differential equations. The fractional derivatives are described in the Caputo sense. Power series solutions of the Fractional Integro-differential equations are converted into rational power series solutions by applying univariate Padé approximation. Then the numerical results were compared to show the effectiveness of univariate Padé approximation.

Keywords: Padé Approximation, Homotopy perturbation method, Integro-differential equations.

Dördüncü Mertebeden Kesirli İntegro-Diferensiyel Denklemlerin Etkili Bir Non-linear Teknikle Çözümü

Öz

Bu çalışmada, tek değişkenli Padé yaklaşımı dördüncü mertebeden kesirli integro-diferensiyel denklemlere uygulandı. Kesirli türevler Caputo tanımına göre tanımlandı. Kesirli integro-diferensiyel denklemlerin seri çözümleri, Padé yaklaşımı yardımıyla rasyonel kuvvet serilerine dönüştürüldü. Sonra Padé yaklaşımının etkinliğini göstermek için nümerik sonuçlar karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Padé Yaklaşımı, Homotopy Pertübasyon Yöntemi, İntegro-diferensiyel Denklemleri.

1. Introduction

During the past decades, many researchers were attracted by the topic of fractional calculus due to its applications in many area [1-3]. Some approximations and numerical methods were used for the solutions of the fractional differential equations [4-6]. As it is known, a combination of differential and Volterra–Fredholm integral equations are called as Integro-differential equations. Integro-differential equations are usually difficult to solve analytically, so it is required to obtain an efficient approximate solution. Many applications of these equations can be seen in different areas [7-13].

Many theoretical and practical studies are done in literature based on the multivariate Padé approximation. Recently, the Padé approximation has become increasingly hot, which has led a large number of researchers to carry out relevant theoretical and numerical studies. In practice, the calculation principle of the Padé approximation is relatively simple, the calculation accuracy is high, the calculation amount is small, and it does not rely on the variational principle [14-17]. More details about the theory of univariate and multivariate Padé approximation can be found in [14]. In this study, univariate Padé approximation was applied to the solutions of Fourth-order Fractional Integro-differential equations in the form [18].

* Corresponding author: vevisturut@gmail.com

Received: 14.03.2021, Accepted: 28.05.2021

$$D^\alpha y(x) = f(x) + \gamma y(x) + \int_0^x [g(t)y(t) + h(t)F(y(t))] dt \quad 0 < x < b, \quad 3 < \alpha < 4 \tag{1}$$

$$y(0) = \gamma_0, \quad y''(0) = \gamma_2, \tag{2}$$

$$y(b) = \beta_0, \quad y''(b) = \beta_2, \tag{3}$$

where D^α is the fractional derivative in the Caputo sense and $F(y(x))$ is any nonlinear function, $\gamma, \gamma_0, \gamma_2, \beta_0$ and β_2 are real constants and f, g and h are given and can be approximated by Taylor polynomials [18]. Basic definitions and properties of fractional calculus theory which are further used in this paper can be found in [18].

The paper is organized as follows. We begin by introducing necessary homotopy perturbation method (HPM) equations that constructed by Nawaz [18] in section 2. Then the univariate Padé approximation is presented which are required for establishing our results. In Section 3 the applications of the Padé approximation are presented to construct approximate solutions to linear and nonlinear boundary value problems for fourth-order fractional integro-differential equations. In Section 3 two examples present to demonstrate the efficiency of the method. Concluding remarks are given in the last section.

2. Materials and Methods

2.1. Homotopy perturbation method (HPM)

Nawaz [18] constructed following homotopy equation (4) and (5) for equation (1) with boundary conditions (2)–(3), by using basic concepts of HPM [18]:

$$(1 - p)D^\alpha y(x) + p \left(D^\alpha y(x) - f(x) - \gamma y(x) - \int_0^x [g(t)y(t) + h(t)F(y(t))] dt \right) = 0 \tag{4}$$

or

$$(D^\alpha y(x) = p \left(f(x) + \gamma y(x) + \int_0^x [g(t)y(t) + h(t)F(y(t))] dt \right) \tag{5}$$

where $p \in [0, 1]$ is an embedding parameter [18]. More details can be found in [18].

2.2. Univariate Padé approximation

Consider a formal power series

$$f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots \tag{6}$$

with $(c_0 \neq 0)$ [14]. The Padé approximation problem of order (m, n) or $[m, n]$ for f consists in finding polynomials

$$p(x) = \sum_{i=0}^m a_i x^i, \quad q(x) = \sum_{i=0}^n b_i x^i \tag{7}$$

such that in the power series $(fq - p)(x)$ [14]. To find the coefficients we get following linear systems of equations

$$\begin{cases} c_0 b_0 = 0 \\ c_1 b_0 + c_0 b_1 = a_1 \\ \vdots \\ c_m b_0 + c_{m-1} b_1 + \dots + c_{m-n} b_n = a_m \end{cases} \tag{8}$$

$$\begin{cases} c_{m+1}b_0 + c_m b_1 + \dots + c_{m-n+1}b_n = a_m \\ \vdots \\ c_{m+n}b_0 + c_{m-n+1}b_1 + \dots + c_m b_n = 0 \end{cases} \tag{9}$$

with $c_i = 0$ for $i < 0$ [14].

In general a solution for the coefficients a_i is known after substitution of a solution for the b_i in the left hand side of (8). So the crucial point is to solve the homogeneous system of n equations (9) in the $n+1$ unknowns b_i . This system has at least one nontrivial solution because one of the unknowns can be chosen freely [14]

In short, by solving the equations (8) and (9) the coefficients a_i and b_i are found. Then the Padé equations (7) are found. After finding these polynomials we get The Padé approximation of order (m, n) or $[m, n]$ for f . More details about definitions and theorems for Padé approximation can be found in [14].

3. Results and Discussion

In this section univariate Padé series solutions of fourth-order linear and nonlinear fractional integro-differential equations shall be illustrated by two examples. The full Homotopy perturbation method solutions of examples by Nawaz can be seen in [18].

Example 1.

Consider the following linear fourth-order fractional integro-differential equation [18]:

$$D^\alpha y(x) = x(1 + e^x) + 3e^x + y(x) - \int_0^x y(t)dt \quad 0 < x < 1, \quad 3 < \alpha \leq 4 \tag{10}$$

subject to the following boundary conditions:

$$y(0) = 1, \quad y''(0) = 2. \tag{11}$$

$$y(1) = 1 + e, \quad y''(1) = 3e. \tag{12}$$

The exact solution of (10) is given as $y(x) = 1 + xe^x$ for $\alpha = 4$ in [18].

According to the Homotopy Perturbation method Nawaz [18] obtained following homotopy:

$$D^\alpha y(x) = p \left(x(1 + e^x) + 3e^x + y(x) - \int_0^x y(t)dt \right) \tag{13}$$

Nawaz obtained following solution (14) by applying HPM on (13) in [18]:

$$\begin{aligned} y_1(x) = & 1 + Ax + x^2 + \frac{Bx^3}{6} + \frac{4x^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)} + (4+A) \frac{x^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha+2)} \\ & + (7-A) \frac{x^{\alpha+2}}{\Gamma(\alpha+3)} + (4+B) \frac{x^{\alpha+3}}{\Gamma(\alpha+4)} + (4-B) \frac{x^{\alpha+4}}{\Gamma(\alpha+5)} \\ & + \frac{4x^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha+1)} + \frac{x^{2\alpha+2}}{\Gamma(2\alpha+3)} + \frac{x^{2\alpha+3}}{\Gamma(2\alpha+4)} - \frac{2x^{2\alpha+4}}{\Gamma(2\alpha+5)} - \frac{4x^{2\alpha+5}}{\Gamma(2\alpha+6)} \end{aligned} \tag{14}$$

Table 1. Values of A and B for different values of α for equation (14) [18]

	$\alpha = 3.25$	$\alpha = 3.5$	$\alpha = 3.75$	$\alpha = 4$
A	1.10186984200028	1.09179499393439	1.05222793297923	0.99906052231083
B	-0.29428456125416	0.96679305229906	2.07168041387465	3.00628128299199

HPM solution (14) for $\alpha = 4$ is obtained as:

$$\begin{aligned}
 y_1(x)_{\alpha=4} = & 1 + 0.9990605223x + x^2 + 0.5010468805x^3 + 0.1666666667x^4 \\
 & + 0.04165883768x^5 + 0.008334638165x^6 + 0.001390135175x^7 \\
 & + 0.0001238521507x^8 + 0.2755731922 \cdot 10^{-6} x^{10} \\
 & + 0.250521083910^{-7} x^{11} - 0.41753513981 \cdot 10^{-8} x^{12}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Equation (15) was put into Padé series and following equations, respectively, $r_{6,6}(x)$, $r_{5,5}(x)$, $r_{4,4}(x)$, $r_{3,3}(x)$ were obtained for different values of m and n by applying Padé approximation using equations (8) and (9) :

$$\begin{aligned}
 r_{6,6}(x) = & (1 + 1.067184792x + 1.55025727x^2 \\
 & + 0.541829923x^3 + 0.1712272163x^4 + 0.03239991461x^5 \\
 & + 0.001680525583x^6) / (1 + 0.06812426968x - 0.01303454103x^2 \\
 & - 0.01431893132x^3 - 0.002232883194x^4 + 0.002467664877x^5 \\
 & - 0.0003776744646x^6)
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

$$\begin{aligned}
 r_{5,5}(x) = & (0.9999999996 + 0.9821637950x \\
 & + 0.9922657685x^2 + 0.4502613670x^3 + 0.1381120667x^4 \\
 & + 0.01278787559x^5) / (0.9999999996 - 0.01689672688x \\
 & + 0.009146621640x^2 - 0.04302681492x^3 + 0.01375122298x^4 \\
 & - 0.001349216249x^5)
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
 r_{4,4}(x) = & (1 - 0.3473258101x + 0.2490539622x^2 \\
 & - 0.3793574163x^3 - 0.02859963464x^4) / (1 - 1.346386333x \\
 & + 0.5941753945x^2 - 0.1276351444x^3 + 0.01267620996x^4)
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

$$r_{3,3}(x) = \frac{1 - 0.4137039739x + 0.5569093547x^2 + 0.04216740745x^3}{1 - 0.5853565487x + 0.1417159738x^2 - 0.01510575936x^3}
 \tag{19}$$

Table 2. Numerical Values for exact solution and padé approximations of equation (14) for $\alpha = 4$

x	$\alpha = 4$				$y(x) = 1 + xe^x$
	$r_{6,6}(x)$	$r_{5,5}(x)$	$r_{4,4}(x)$	$r_{3,3}(x)$	
0.1	1.110424190	1.110424191	1.110424191	1.110424191	1.110517092
0.2	1.244101028	1.244101029	1.244101029	1.244101030	1.244280552
0.3	1.404704041	1.404704042	1.244101029	1.404704079	1.404957642
0.4	1.596420961	1.596420960	1.596420901	1.596421290	1.596729879
0.5	1.824021196	1.824021198	1.824020671	1.824023019	1.824360636
0.6	2.092931688	2.092931680	2.092928360	2.092939194	2.093271280
0.7	2.409321908	2.409321859	2.409305363	2.409347245	2.409626895
0.8	2.780199088	2.780198871	2.780128937	2.780272852	2.780432742
0.9	3.213514523	3.213513724	3.213246540	3.213706334	3.213642800
1.0	3.718282084	3.718279530	3.717312570	3.718738299	3.718281828

Table 3. Error values for padé approximations of equation (14) for $\alpha = 4$

x	$\alpha = 4$			
	$|y(x) - r_{6,6}(x)|$	$|y(x) - r_{5,5}(x)|$	$|y(x) - r_{4,4}(x)|$	$|y(x) - r_{3,3}(x)|$
0.1	0.0000929018	0.0000929008	0.0000929008	0.0000929008
0.2	0.0001795236	0.0001795226	0.0001795226	0.0001795216
0.3	0.0002536014	0.0002536004	0.0002536044	0.0002535634
0.4	0.0003089182	0.0003089182	0.0003089782	0.0003085892
0.5	0.0003394395	0.0003394375	0.0003399645	0.0003376165
0.6	0.000339592	0.000339600	0.000342920	0.000332086
0.7	0.000304987	0.000305036	0.000321532	0.000279650
0.8	0.000233654	0.000233871	0.000303805	0.000159890
0.9	0.000128277	0.000129076	0.000396260	0.000063534
1.0	2.56×10^{-7}	2.298×10^{-6}	0.000969258	0.000456471

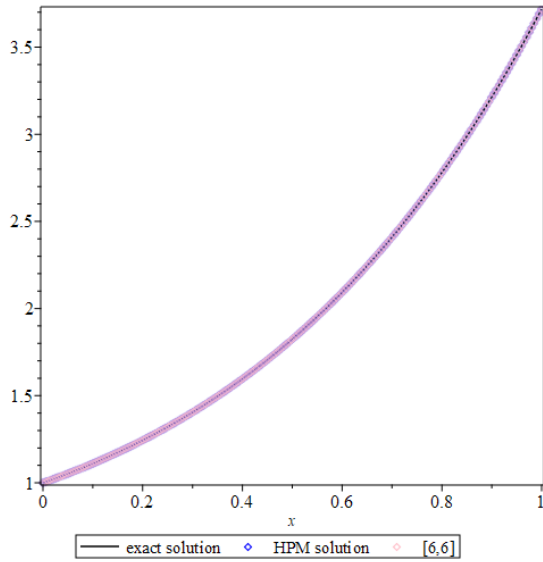


Figure 1.

Figure 1. $y(x) = 1 + xe^x$ (Exact solution), $y_1(x)$ (HPM solution), $r_{6,6}(x)$.

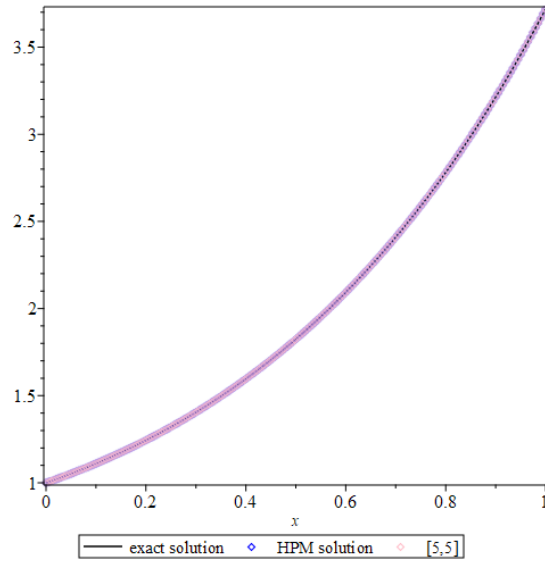


Figure 2.

Figure 2. $y(x) = 1 + xe^x$ (Exact solution), $y_1(x)$ (HPM solution), $r_{5,5}(x)$.

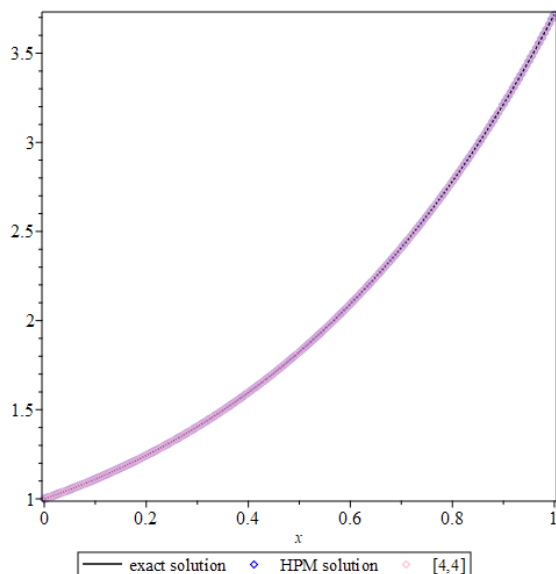


Figure 3.

Figure 3. $y(x) = 1 + xe^x$ (Exact solution), $y_1(x)$ (HPM solution), $r_{4,4}(x)$.

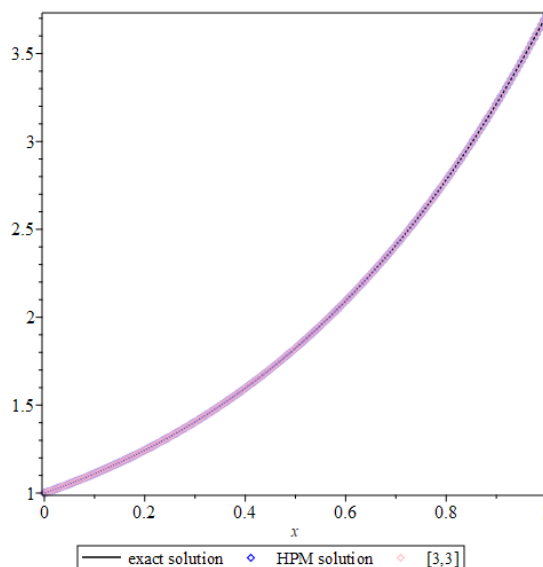


Figure 4.

Figure 4. $y(x) = 1 + xe^x$ (Exact solution), $y_1(x)$ (HPM solution), $r_{3,3}(x)$.

HPM solution (14) for $\alpha = 3.75$ is obtained as:

$$\begin{aligned}
 y_1(x)_{\alpha=3.75} = & 1 + 1.052227933x + x^2 + 0.3452800690x^3 \\
 & + 0.2411642464x^{3.75} + 0.06412719693x^{4.75} + 0.001985622146x^{6.75} \\
 & + 0.00008137013071x^{7.75} + 0.0002850138176x + 0.01312942763x^{5.75} \\
 & + 0.8403768765 \cdot 10^{-7} x^{10.50} - 0.1461525002 \cdot 10^{-7} x^{11.50} - 0.2338440004 \cdot 10^{-8} x^{12.50} \\
 & + 0.8823957200 \cdot 10^{-6} x^{9.50}
 \end{aligned} \tag{20}$$

Equation (20) was put into Padé series and following equations, respectively, $r_{15,15}(x)$, $r_{18,18}(x)$, $r_{20,20}$ were obtained for different values of m and n by applying Padé approximation using equations (8) and (9)

$$\begin{aligned}
 r_{15,15}(x) = & 1 + 0.2851336739x^{1/4} + 0.1139716724\sqrt{x} + 0.04738762916x^{3/4} \\
 & + 0.8112266571x + 0.1942311684x^{5/4} + 0.07297851730x^{3/2} \\
 & + 0.02914795875x^{7/4} + 0.7571584845x^2 + 0.1813837208x^{9/4} \\
 & + 0.06884972230x^{5/2} + 0.02783143989x^{11/4} + 0.1191052063x^3 \\
 & + 0.002021703304x^{13/4} - 0.002614105724x^{7/2} + 0.2381289871x^{15/4}) / (1 \\
 & + 0.2851336739x^{1/4} + 0.1139716724\sqrt{x} + 0.047387622916x^{3/4} \\
 & - 0.2410012761x - 0.1057944479x^{5/4} - 0.04694565998x^{3/2} \\
 & - 0.2071462833x^{7/4} + 0.1074675887x^2 + 0.007570920095x^{9/4} \\
 & + 0.004275584651x^{5/2} + 0.002240321285x^{11/4} + 0.00351873405x^3 \\
 & + 0.001398843018x^{13/4} + 0.0004805177468x^{7/2} - 0.001039963651x^{15/4})
 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
 r_{18,18}(x) = & (1 + 0.8485572144x^{1/4} + 0.5282597480\sqrt{x} + 2.181821340x^{3/4} \\
 & + 1.431881288x + 0.8921999198x^{5/4} + 0.4833774903x^{3/2} + 1.739490796x^{7/4} \\
 & + 1.174093423x^2 + 0.7624491887x^{9/4} + 0.4228081410x^{5/2} + 1.625739170x^{11/4} \\
 & + 0.5090971001x^3 + 0.2151591341x^{13/4} + 0.08604054946x^{7/2} + 0.4757821763x^{15/4} \\
 & + 0.134911668x^4 + 0.05549905147x^{17/4} + 0.4767630077x^{9/2}) / (1 + 0.8485572144x^{1/4} \\
 & + 0.5282597480\sqrt{x} + 2.181821340x^{3/4} + 0.3796533547x - 0.0006756839084x^{5/4} \\
 & - 0.07247217240x^{3/2} - 0.5562825620x^{7/4} - 0.2253884425x^2 - 0.08539705218x^{9/4} \\
 & - 0.02919436297x^{5/2} + 0.02925388047x^{11/4} + 0.02132369126x^3 + 0.01270208818x^{13/4} \\
 & + 0.006834283848x^{7/2} + 0.006779318949x^{15/4} + 0.002134329333x^4 + 0.0003665478079x^{17/4} \\
 & - 0.002387956079x^{9/2})
 \end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
 r_{20,20}(x) = & (1 - 0.4325094246x^{1/4} + 0.04125808286\sqrt{x} + 0.01581636875x^{3/4} \\
 & + 0.9993919516x - 0.3811418570x^{5/4} + 0.03745701208x^{3/2} \\
 & + 0.01282848367x^{7/4} + 0.9070031282x^2 - 0.3599513890x^{9/4} \\
 & + 0.03355620190x^{5/2} + 0.01142649967x^{11/4} + 0.2575481631x^3 \\
 & - 0.8027046362x^{13/4} + 0.007198456294x^{7/2} + 0.2414347479x^{15/4} \\
 & - 0.1543286011x^4 + 0.03086733759x^{17/4} + 0.0007466854551x^{9/2} \\
 & + 0.04902968304x^{19/4} - 0.01762806717x^5) / (1 - 0.4325094246x^{1/4} \\
 & + 0.04125808286\sqrt{x} + 0.01581636875x^{3/4} - 0.05283598095x \\
 & + 0.07395664083x^{5/4} - 0.005955895167x^{3/2} - 0.003813941327x^{7/4} \\
 & - 0.03740137653x^2 - 0.005261207760x^{9/4} - 0.001434921695x^{5/2} \\
 & - 0.0003767334895x^{11/4} + 0.004458848127x^3 + 0.0006457692279x^{13/4} \\
 & + 0.0004186224502x^{7/2} - 0.0009802246004x^{15/4} + 0.0009300715263x^4 \\
 & - 0.00003667958584x^{17/4} - 0.00001676984274x^{9/2} + 0.0003696667503x^{19/4} \\
 & - 0.0002516931782x^5)
 \end{aligned} \tag{23}$$

Table 4. Numerical Values of equation (20) and its padé approximations

$\alpha = 3.75$				
x	$r_{15,15}(x)$	$r_{18,18}(x)$	$r_{20,20}(x)$	$y_1(x)_{\alpha=3.75}$
0.1	1.115612122	1.115612123	1.115612123	1.115612122
0.2	1.253816808	1.253816809	1.253816809	1.253816810
0.3	1.417854532	1.417854536	1.417854534	1.417854534
0.4	1.611650010	1.611650047	1.611650029	1.611650029
0.5	1.839846025	1.839846228	1.839846113	1.839846120
0.6	2.107862057	2.107862888	2.107862329	2.107862361
0.7	2.421969134	2.421971911	2.421969739	2.421969889
0.8	2.789378640	2.789386580	2.789379509	2.789380129
0.9	3.218344559	3.218364771	3.218344693	3.218346864
1.0	3.718279437	3.718326368	3.718275141	3.718281828

Table 5. Error values for padé approximations of equation (20) for $\alpha = 3.75$

x	$\alpha = 3.75$		
	$|y_1(x)_{\alpha=3.75} - r_{15,15}|$	$|y_1(x)_{\alpha=3.75} - r_{18,18}|$	$|y_1(x)_{\alpha=3.75} - r_{20,20}|$
0.1	0	1×10^{-9}	1×10^{-9}
0.2	$2. \times 10^{-9}$	1×10^{-9}	1×10^{-9}
0.3	$2. \times 10^{-9}$	2×10^{-9}	0
0.4	1.9×10^{-8}	1.8×10^{-8}	0
0.5	9.5×10^{-8}	1.08×10^{-7}	7×10^{-9}
0.6	3.04×10^{-7}	5.27×10^{-7}	3.2×10^{-8}
0.7	2.022×10^{-6}	2.022×10^{-6}	1.50×10^{-7}
0.8	1.489×10^{-6}	6.451×10^{-6}	6.20×10^{-7}
0.9	2.305×10^{-6}	0.000017907	2.171×10^{-6}
1.0	2.391×10^{-6}	0.000044540	6.687×10^{-6}

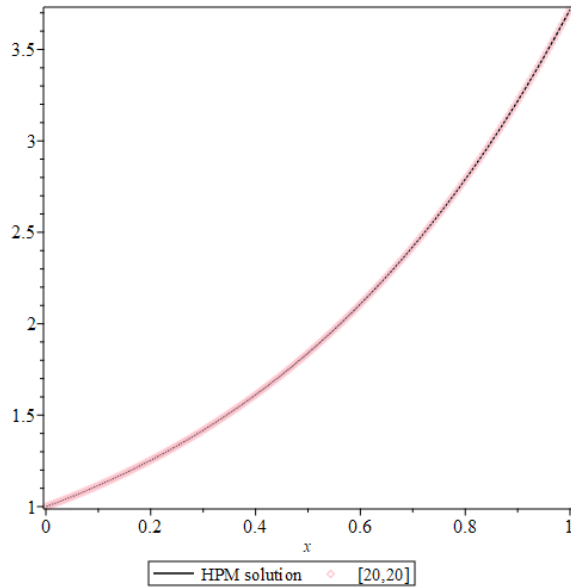


Figure 5.

Figure 5. $y_1(x)_{\alpha=3.75}$ (HPM solution), $r_{20,20}(x)$.

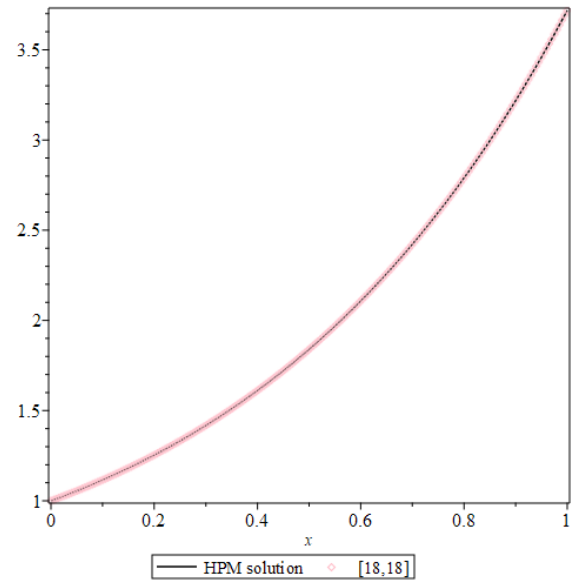


Figure 6.

Figure 6. $y_1(x)_{\alpha=3.75}$ (HPM solution), $r_{18,18}(x)$.

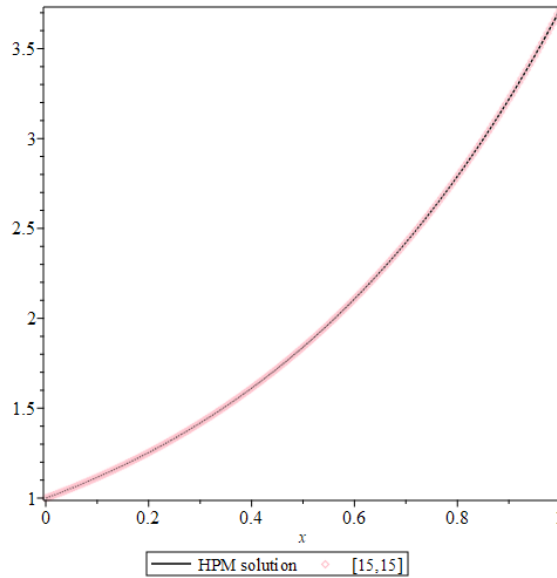


Figure 7. $y_1(x)_{\alpha=3.75}$ (HPM solution), $r_{15,15}(x)$.

HPM solution (14) for $\alpha = 3.50$ is obtained as:

$$\begin{aligned}
 y_1(x)_{\alpha=3.50} = & 1 + 1.091794994x + x^2 + 0.1611321754x^3 + 0.3438869842x^{3.5} + 0.09727789028x^{4.5} \\
 & + 0.02052277578x^{5.5} + 0.002654258716x^{6.5} + 0.0002161264730x^{7.5} + 0.0007936507936x^{7.0} \\
 & + 0.2755731922 \cdot 10^{-5} x^{9.0} + 0.1922275573 \cdot 10^{-6} x^{10.0} - 0.5010421678 \cdot 10^{-7} x^{11.0} - 0.8350702796 \cdot 10^{-8} x^{12.0}
 \end{aligned} \tag{24}$$

Equation (24) was put into Padé series and following equations, respectively, $r_{8,8}(x)$, $r_{10,10}(x)$, $r_{12,12}(x)$ were obtained for different values of m and n by applying Padé approximation using equations (8) and (9):

$$\begin{aligned}
 r_{8,8}(x) = & (1 + 0.2835525045\sqrt{x} + 0.08224512078x + 0.2119091973x^{3/2} \\
 & + 0.7163321022x^2 + 0.1875802077x^{5/2} - 0.09162252208x^3 + 0.3039322961x^{7/2} \\
 & + 0.06939585279x^4) / (1 + 0.2835525045\sqrt{x} - 0.2693437860x - 0.09767200760x^{3/2} \\
 & + 0.01040029944x^2 + 0.01066551221x^{5/2} + 0.005234093640x^3 + 0.0003833347164x^{7/2} \\
 & - 0.0008290693842x^4)
 \end{aligned} \tag{25}$$

$$\begin{aligned}
 r_{10,10}(x) = & (1 - 0.3054195159\sqrt{x} + 0.9347649705x - 0.3270464958x^{3/2} \\
 & + 0.8128516542x^2 - 0.2840601115x^{5/2} - 0.006110844493x^3 + 0.3145224527x^{7/2} \\
 & - 0.1387501437x^4 + 0.05629854454x^{9/2} - 0.02353116120x^5) / (1 - 0.3054195159\sqrt{x} \\
 & - 0.1570300234x + 0.006409002742x^{3/2} - 0.01570375229x^2 + 0.01436208733x^{5/2} \\
 & + 0.006932281634x^3 - 0.002241078214x^{7/2} - 0.0002826362218x^4 + 0.00007324951870x^{9/2} \\
 & - 0.0001178887241x^5)
 \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}
 r_{12,12}(x) = & (0.9999999997 - 2.188941160\sqrt{x} + 1.436483957x - 2.166426874x^{3/2} \\
 & + 1.189627699x^2 - 1.924661063x^{5/2} + 0.3304087829x^3 + 0.2360963679x^{7/2} \\
 & - 0.8516004838x^4 + 0.2699054008x^{9/2} - 0.1374299967x^5 - 0.008971297337x^{11/2} \\
 & - 0.01138337076x^6) / (0.9999999997 - 2.188941160\sqrt{x} + 0.3446889634x \\
 & + 0.2234481266x^{3/2} - 0.1867019855x^2 + 0.02032054977x^{5/2} + 0.02842793720x^3 \\
 & - 0.0007157663508x^{7/2} + 0.001271913680x^4 - 0.001450299947x^{9/2} \\
 & - 0.001068230175x^5 + 0.0002045966444x^{11/2} + 0.0001289622666x^6)
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Table 6. Numerical Values of equation (24) and its padé approximations

$\alpha = 3.50$				
x	$r_{8,8}(x)$	$r_{10,10}(x)$	$r_{12,12}(x)$	$y_1(x)_{\alpha=3.5}$
0.1	1.119452522	1.119452520	1.119452521	1.119452520
0.2	1.260951009	1.260951006	1.260951007	1.260951013
0.3	1.427434668	1.427434668	1.427434670	1.427434796
0.4	1.622665407	1.622665405	1.622665403	1.622666350
0.5	1.851219467	1.851219446	1.851219443	1.851223956
0.6	2.118526691	2.118526625	2.118526604	2.118542772
0.7	2.430933149	2.430933014	2.430932911	2.430980469
0.8	2.795780103	2.795780057	2.795779617	2.795900712
0.9	3.221496607	3.221497578	3.221495977	3.221772101
1.0	3.717704529	3.717709848	3.717704665	3.718281829

Table 7. Error values for padé approximations of equation (24) for $\alpha = 3.50$

$\alpha = 3.50$			
x$	|y_1(x)_{\alpha=3.5} - r_{8,8}|$	$|y_1(x)_{\alpha=3.5} - r_{10,10}|$	$|y_1(x)_{\alpha=3.5} - r_{12,12}|$
0.1	$2. \times 10^{-9}$	0	$1. \times 10^{-9}$
0.2	$4. \times 10^{-9}$	$7. \times 10^{-9}$	$6. \times 10^{-9}$
0.3	1.28×10^{-7}	1.28×10^{-7}	1.26×10^{-7}
0.4	9.43×10^{-7}	9.45×10^{-7}	9.47×10^{-7}
0.5	4.489×10^{-6}	4.510×10^{-6}	4.513×10^{-6}
0.6	0.000016081	0.000016147	0.000016168
0.7	0.000047320	0.000047455	0.000047558
0.8	0.000120609	0.000120655	0.000121095
0.9	0.000275494	0.000274523	0.000276124
1.0	0.000577300	0.000571981	0.000577164

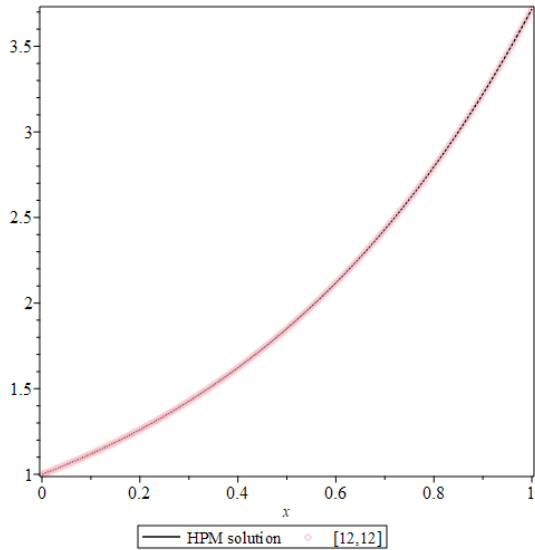


Figure 8.

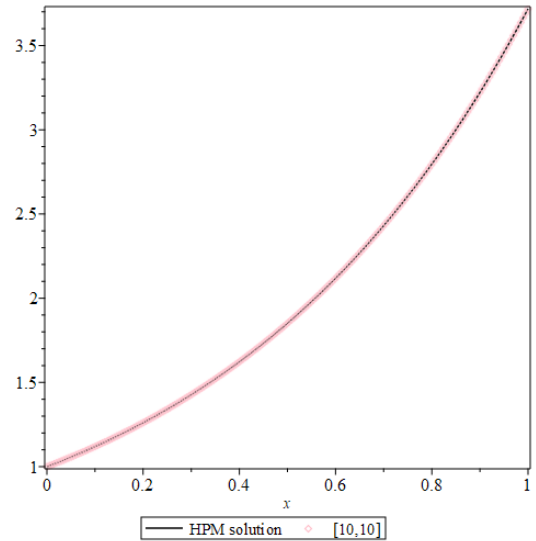


Figure 9.

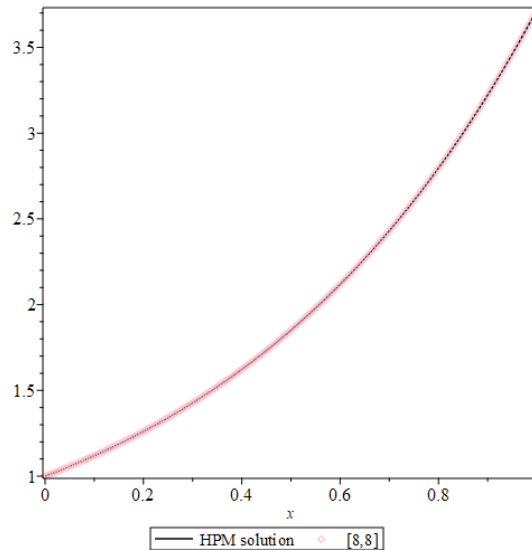


Figure 10.

Figure 8. $y_1(x)_{\alpha=3.5}$ (HPM solution), $r_{12,12}(x)$.

Figure 9. $y_1(x)_{\alpha=3.5}$ (HPM solution), $r_{10,10}(x)$.

Figure 10. $y_1(x)_{\alpha=3.5}$ (HPM solution), $r_{8,8}(x)$.

HPM solution (14) for $\alpha = 3.25$ is obtained as:

$$\begin{aligned}
 y_1(x)_{\alpha=3.25} = & 1 + 1.101869842x + x^2 - 0.04904742688x^3 + 0.4827952800x^{3.25} + 0.1448916870x^{4.25} \\
 & + 0.03190576360x^{5.25} + 0.00320735358x^{6.25} + 0.0005126578201x^{7.25} + 0.002137603632x^{6.5} \\
 & + 0.8382759340 \cdot 10^{-5} x^{8.5} + 0.8823957200 \cdot 10^{-6} x^{9.5} + 0.1680753753 \cdot 10^{-6} x^{10.5} - 0.2923050004 \cdot 10^{-7} x^{11.5}
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

Equation (28) was put into Padé series and following equations, respectively, $r_{10,10}(x)$, $r_{15,15}(x)$, $r_{22,22}(x)$ were obtained for different values of m and n by applying Padé approximation using equations (8) and (9):

$$\begin{aligned}
 r_{10,10}(x) = & (0.9999999999 - 0.5060267858x^{1/4} - 0.0008190350517\sqrt{x} - 0.0004133682437x^{3/4} \\
 & + 1.148193838x - 0.8643176139x^{5/4} - 0.0006185576570x^{3/2} - 0.00008032639278x^{7/4} \\
 & + 1.053514659x^2 - 1.026318098x^{9/4} + 0.2209203695x^{5/2}) / (0.9999999999 - 0.5060267858x^{1/4} \\
 & - 0.0008190350517\sqrt{x} - 0.0004133682437x^{3/4} + 0.04632399572x - 0.3067419597x^{5/4} \\
 & + 0.0002839123659x^{3/2} + 0.0003751516086x^{7/4} + 0.002471645030x^2 \\
 & - 0.1823015973x^{9/4} + 0.2214265701x^{5/2})
 \end{aligned} \tag{29}$$

$$\begin{aligned}
 r_{15,15}(x) = & (1 - 4.963699699x^{1/4} - 0.7033630287x^{3/4} + 0.097201755491x \\
 & - 5.985197421x^{5/4} + 17.18436284x^{3/2} - 0.4339815735x^{7/4} + 0.2339900549x^2 \\
 & - 5.180097105x^{9/4} + 15.02183239x^{5/2} - 0.3881288340x^{11/4} - 0.7239863084x^3 \\
 & + 0.5645537719x^{13/4} - 8.619883215x^{7/2} + 10.34062473x^{15/4}) / (1 - 4.963699699x^{1/4} \\
 & + 20.970262232\sqrt{x} - 0.7033630287x^{3/4} - 1.004668087x - 0.5158464198x^{5/4} \\
 & - 5.922136796x^{3/2} + 0.3410329359x^{7/4} + 0.3410035214x^2 + 0.3519982059x^{9/4} \\
 & + 0.5769940001x^{5/2} - 0.06053971248x^{11/4} - 0.04601229086x^3 - 0.03370799392x^{13/4} \\
 & + 0.09146948587x^{7/2} - 0.09254313671x^{15/4})
 \end{aligned} \tag{30}$$

$$\begin{aligned}
 r_{22,22}(x) = & (0.9999999997 - 0.1125883731x^{1/4} - 0.006063564488\sqrt{x} - 0.03611626203x^{3/4} \\
 & + 1.075623477x - 0.1871666827x^{5/4} - 0.006555198037x^{3/2} - 0.03498711183x^{7/4} \\
 & - 0.9558080376x^2 - 0.1859749748x^{9/4} - 0.006330511891x^{5/2} - 0.03147808000x^{11/4} \\
 & - 0.09297976073x^3 + 0.4227405134x^{13/4} - 0.05349050669x^{7/2} + 0.003366660477x^{15/4} \\
 & - 0.03152385778x^4 + 0.1339000391x^{17/4} - 0.04617763939x^{9/2} - 0.001320221677x^{19/4} \\
 & - 0.002192485028x^5 + 0.02309692696x^{21/4} - 0.01369317035x^{11/2}) / (0.9999999997 \\
 & - 0.1125883731x^{1/4} - 0.006063564488\sqrt{x} - 0.03611626203x^{3/4} - 0.02624646449x \\
 & - 0.6310894978x^{5/4} + 0.0001260608082x^{3/2} + 0.0048008308101x^{7/4} - 0.01527188472x^2 \\
 & - 0.003848753232x^{9/4} - 0.0004058500055x^{5/2} - 0.0006599476604x^{11/4} - 0.0008583401711x^3 \\
 & + 0.00172838272x^{13/4} + 0.0008903592430x^{7/2} + 0.0004415793950x^{15/4} + 0.0008432502832x^4 \\
 & + 0.0004799575988x^{17/4} + 0.00003515598350x^{9/2} - 0.00009330337098x^{19/4} - 0.0001008258828x^5 \\
 & - 0.0001232232683x^{21/4} - 0.00004783271947x^{11/2})
 \end{aligned} \tag{31}$$

Table 8. Numerical Values of equation (28) and its padé approximations

$\alpha = 3.25$				
x	$r_{10,10}(x)$	$r_{15,15}(x)$	$r_{22,22}(x)$	$y_1(x)_{\alpha=3.25}$
0.1	1.120417823	1.120417763	1.120417762	1.120417763
0.2	1.262730346	1.262726566	1.262726568	1.262726568
0.3	1.429850771	1.429812595	1.429812625	1.429812625
0.4	1.625597615	1.625408087	1.625408213	1.625408215
0.5	1.854711288	1.854074014	1.854074097	1.854074097
0.6	2.122902481	2.121242645	2.121240998	2.121240995
0.7	2.436853952	2.433288385	2.433277674	2.433277653
0.8	2.804082549	2.797619921	2.797577223	2.797577117
0.9	3.232508324	3.222792691	3.222658734	3.222658299
1.0	3.729479822	3.718643358	3.718283348	3.718281830

Table 9. Error values for padé approximations of equation (28) for $\alpha = 3.25$

x	$\alpha = 3.25$		
	$|y_1(x)_{\alpha=3.25} - r_{10,10}|$	$|y_1(x)_{\alpha=3.25} - r_{15,15}|$	$|y_1(x)_{\alpha=3.25} - r_{22,22}|$
0.1	6.0×10^{-8}	0	1×10^{-9}
0.2	3.778×10^{-6}	2×10^{-9}	0
0.3	0.000038146	3×10^{-8}	0
0.4	0.000189400	1.28×10^{-7}	2×10^{-9}
0.5	0.000637191	8.3×10^{-8}	0
0.6	0.001661486	1.650×10^{-6}	3×10^{-9}
0.7	0.003576299	0.000010732	2.1×10^{-8}
0.8	0.006505432	0.000042804	1.06×10^{-7}
0.9	0.009850025	0.000134392	4.35×10^{-7}
1.0	0.011197992	0.000361528	1.518×10^{-6}

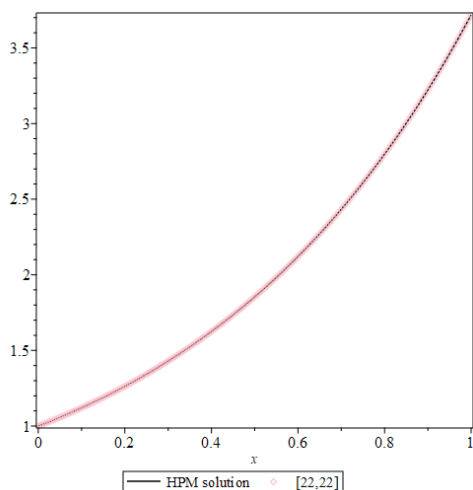


Figure 11.

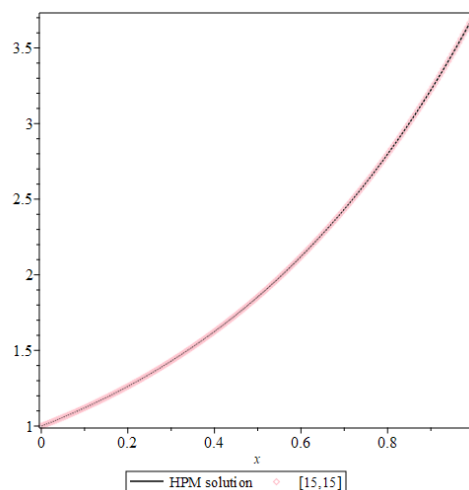


Figure 12.

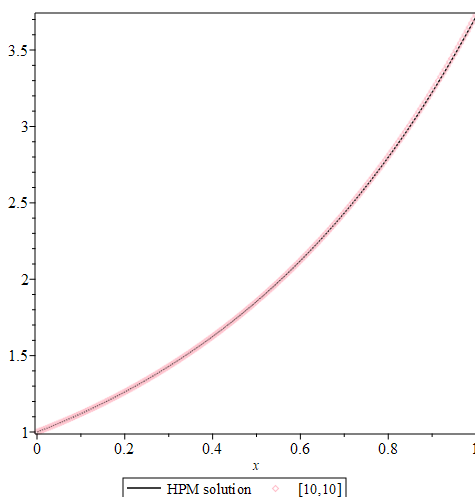


Figure 13.

Figure 11. $y_1(x)_{\alpha=3.25}$ (HPM solution), $r_{22,22}(x)$.

Figure 12. $y_1(x)_{\alpha=3.25}$ (HPM solution), $r_{15,15}(x)$.

Figure 13. $y_1(x)_{\alpha=3.25}$ (HPM solution), $r_{10,10}(x)$.

Example 2.

Consider the following nonlinear fourth-order fractional integro-differential equation:

$$D^\alpha y(x) = 1 + \int_0^x e^{-t} y^2(t) dt \quad 0 < x < 1, \quad 3 < \alpha \leq 4 \tag{32}$$

subject to the following boundary conditions:

$$y(0) = 1, \quad y''(0) = 1, \tag{33}$$

$$y(1) = e, \quad y''(1) = e. \tag{34}$$

The exact solution of (32) is given as $y(x) = e^x$ for $\alpha = 4$ in [18].

According to the Homotopy Perturbation method Nawaz [18] obtained following homotopy:

$$D^\alpha y(x) = p \left(1 + \int_0^x e^{-t} y^2(t) dt \right) \tag{35}$$

Nawaz obtained following solution (36) by applying HPM on (35) in [18]:

$$y_2(x) = 1 + Ax + \frac{x^2}{2} + \frac{Bx^3}{6} + \frac{x^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)} + \frac{x^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha+2)} + (2A-1) \frac{x^{\alpha+2}}{\Gamma(\alpha+3)} + \frac{3x^{\alpha+3}}{\Gamma(\alpha+4)} - (2B+7) \frac{x^{\alpha+4}}{\Gamma(\alpha+5)} + \frac{12x^{2\alpha}}{\Gamma(\alpha+6)} - \frac{8Ax^{\alpha+5}}{\Gamma(\alpha+6)} - \frac{6Bx^{\alpha+5}}{\Gamma(\alpha+6)} - \frac{20x^{2\alpha+4}}{\Gamma(\alpha+7)} + \frac{20Bx^{2\alpha+4}}{\Gamma(\alpha+7)} - \frac{40Bx^{\alpha+6}}{\Gamma(\alpha+8)} + \frac{2x^{2\alpha+1}}{\Gamma(2\alpha+2)} \tag{36}$$

Table 10. Values of A and B for different values of α for equation (14) [18]

	$\alpha = 3.25$	$\alpha = 3.5$	$\alpha = 3.75$	$\alpha = 4$
A	1.00646865931986	1.01085715673040	1.00647005332874	0.99746675420551
B	0.34838722251386	0.59592879361901	0.59592879361901	1.01767767908914

HPM solution (36) for $\alpha = 4$ is obtained as:

$$y_2 \quad x_{\alpha=4} = 1 + 0.9974667542x + 0.5000000000x^2 + 0.1696129465x^3 + 0.04166666667x^4 + 0.008333333333x^5 + 0.001381852095x^6 + 0.0005952380952x^7 - 0.0002240911547x^8 - 2.364420965 \times 10^{-7} x^9 + 9.742988865 \times 10^{-8} x^{10} - 1.019798861 \times 10^{-6} x^{11} \tag{37}$$

Equation (37) was put into Padé series and following equations, respectively, $r_{2,2}(x)$, $r_{4,4}(x)$, $r_{5,5}(x)$, $r_{6,6}(x)$, were obtained for different values of m and n by applying Padé approximation using equations (8) and (9):

$$r_{2,2}(x) = \frac{(1 + 0.4623626828x + 0.06443930170x^2)}{(1 - 0.5351040718x + 0.09818782314x^2)} \tag{38}$$

$$r_{4,4}(x) = (0.9999999996 + 1.938451454x + 0.8336731784x^2 + 0.1801187584x^3 + 0.02516736845x^4) / (0.9999999996 + 0.9409846998x - 0.6049277756x^2 + 0.1434088068x^3 - 0.01668411508x^4) \tag{39}$$

$$r_{5,5}(x) = (0.9999999998 + 1.383647533x + 0.9841959081x^2 + 0.4786366029x^3 + 0.1347491064x^4 + 0.01875726599x^5) / (0.9999999998 + 0.3861807790x + 0.09899341999x^2 + 0.01719062162x^3 - 0.03906260359x^4 + 0.007910838822x^5) \quad (40)$$

$$r_{6,6}(x) = (1 + 1.758575892x + 1.469417086x^2 + 0.7826093180x^3 + 0.2862358740x^4 + 0.06323598953x^5 + 0.006188328148x^6) / (1 + 0.7611091378x + 0.2102360243x^2 + 0.02273835783x^3 - 0.01232352438x^4 - 0.01154584914x^5 + 0.003525708542x^6) \quad (41)$$

Table 11. Numerical Values for exact solution and padé approximations of equation (36) for $\alpha = 4$

$\alpha = 4$					
x	$r_{6,6}(x)$	$r_{5,5}(x)$	$r_{4,4}(x)$	$r_{2,2}(x)$	$y(x) = e^x$
0.1	1.104920538	1.104920540	1.104920540	1.104920510	1.105170918
0.2	1.220919683	1.220919682	1.220919684	1.220918643	1.221402758
0.3	1.349178450	1.349178448	1.349178455	1.349169722	1.349858808
0.4	1.491000418	1.491000420	1.491000508	1.490959762	1.491824698
0.5	1.647824945	1.647824948	1.647825564	1.647687631	1.648721271
0.6	1.821241812	1.821241843	1.821244804	1.820863442	1.822118800
0.7	2.013007344	2.013007501	2.013018650	2.012101404	2.013752707
0.8	2.225061816	2.225062430	2.225097517	2.223104923	2.225540928
0.9	2.459547883	2.459603111	2.459646288	2.455641034	2.459603111
1.0	2.718829673	2.718835589	2.719073522	2.711500699	2.718281828

Table 12. Error values for padé approximations of equation (36) for $\alpha = 4$

$\alpha = 4$				
x$	|y(x) - r_{6,6}(x)|$	$|y(x) - r_{5,5}(x)|$	$|y(x) - r_{4,4}(x)|$	$|y(x) - r_{2,2}(x)|$
0.1	0.000250380	0.000250378	0.000250378	0.000250408
0.2	0.000483075	0.000483076	0.000483074	0.000484115
0.3	0.000680358	0.000680360	0.000680353	0.000689086
0.4	0.000824280	0.000824278	0.000824190	0.000864936
0.5	0.000896326	0.000896323	0.000895707	0.001033640
0.6	0.000876988	0.000876957	0.000873996	0.001255358
0.7	0.000745363	0.000745206	0.000734057	0.001651303
0.8	0.000479112	0.000478498	0.000443411	0.002436005
0.9	0.000055228	0.000053182	0.000043177	0.003962077
1.0	0.000547845	0.000553761	0.000791694	0.006781129

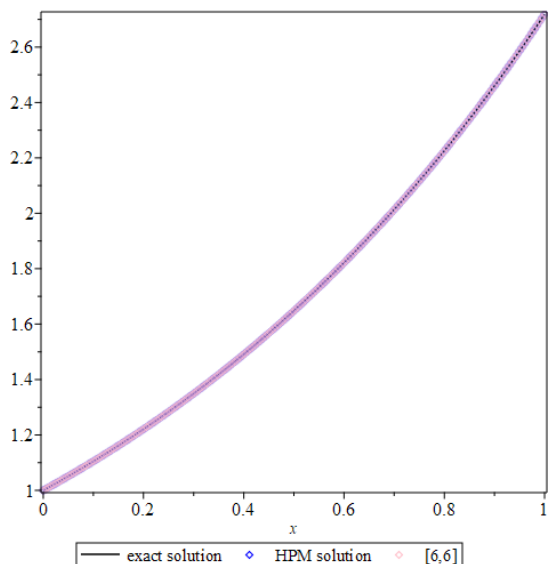


Figure 14.

Figure 14. $y(x) = e^x$ (Exact Solution), $y_2(x)_{\alpha=4}$ (HPM Solution), $r_{6,6}(x)$.

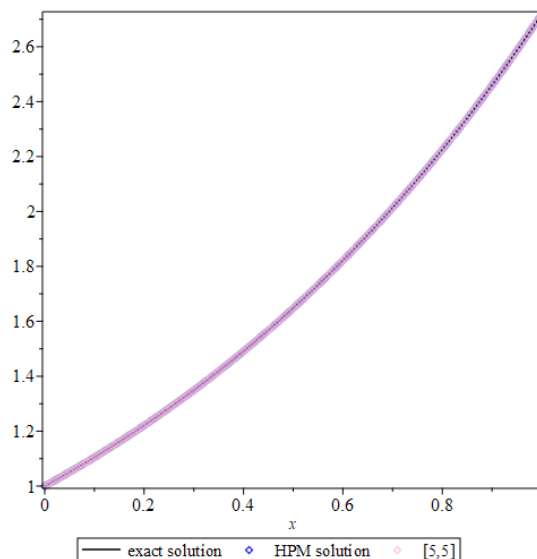


Figure 15.

Figure 15. $y(x) = e^x$ (Exact Solution), $y_2(x)_{\alpha=4}$ (HPM Solution), $r_{5,5}(x)$.

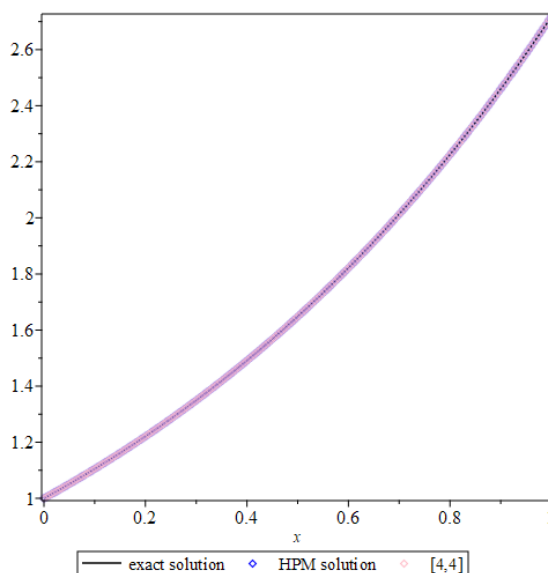


Figure 16.

Figure 16. $y(x) = e^x$ (Exact Solution), $y_2(x)_{\alpha=4}$ (HPM Solution), $r_{4,4}(x)$.

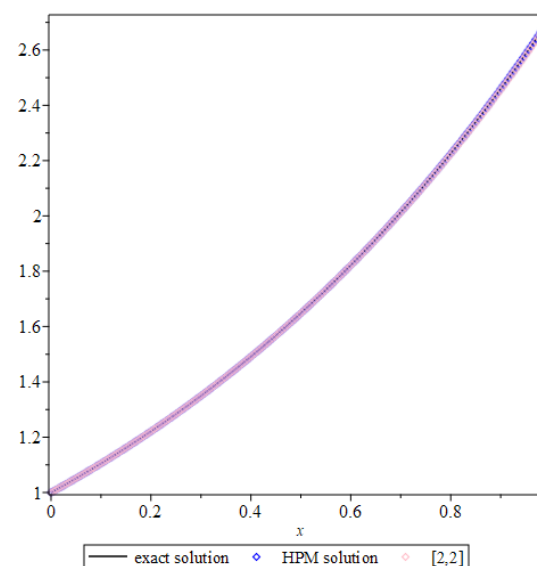


Figure 17.

Figure 17. $y(x) = e^x$ (Exact Solution), $y_2(x)_{\alpha=4}$ (HPM Solution), $r_{2,2}(x)$.

HPM solution (36) for $\alpha = 3.75$ is obtained as:

$$\begin{aligned}
 y_2 x_{\alpha=3.75} = & 1. + 1.006470053x + 0.5000000000x^2 + 0.09932146560x^3 \\
 & + 0.06029106159x^{3.75} + 0.01269285507x^{4.75} + 0.002236017733x^{5.75} \\
 & + 0.0009810902472x^{6.75} - 0.0003456753369x^{7.75} \\
 & + 1.797209347 \times 10^{-6} x^{8.75} - 3.997249276 \times 10^{-6} x^{9.75} \\
 & - 1.096779260 \times 10^{-6} x^{10.75} + 0.00001676551868x^{8.50}
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

Equation (42) was put into Padé series and following equations, respectively, $r_{12,12}(x)$, $r_{15,15}(x)$, $r_{21,21}$ were obtained for different values of m and n by applying Padé approximation using equations (8) and (9):

$$\begin{aligned}
 r_{12,12}(x) = & (0.9999999999 - 0.4998656165x^{1/4} - 0.1543483031\sqrt{x} \\
 & - 0.03842260783x^{3/4} + 1.291176132x - 0.4000733738x^{5/4} \\
 & - 0.1197986446x^{3/2} - 0.02658187017x^{7/4} + 0.7918534690x^2 \\
 & - 0.1480936423x^{9/4} - 0.04382419089x^{5/2} - 0.06916138576x^{11/4} \\
 & + 0.2462265934x^3) / (0.9999999999 - 0.4998656165x^{1/4} \\
 & - 0.1543483031\sqrt{x} - 0.03842260783x^{3/4} + 0.2847060794x \\
 & + 0.1030263998x^{5/4} + 0.03554830018x^{3/2} + 0.01208933398x^{7/4} \\
 & + 0.005305326228x^2 - 0.001853819941x^{9/4} - 0.002428338916x^{5/2} \\
 & - 0.06211763447x^{11/4} - 0.0007875639496x^3)
 \end{aligned} \tag{43}$$

$$\begin{aligned}
 r_{15,15}(x) = & (1.0000000000 + 0.4030869103x^{1/4} + 0.1024948641\sqrt{x} - 0.01074528209x^{3/4} \\
 & + 0.7655942410x + 0.3721445846x^{5/4} + 0.1265136466x^{3/2} + 0.01276299228x^{7/4} \\
 & + 0.2770567424x^2 + 0.1764605694x^{9/4} + 0.07780359138x^{5/2} + 0.01902455166x^{11/4} \\
 & - 0.01155813334x^3 + 0.02485742532x^{13/4} + 0.02175087116x^{7/2} \\
 & + 0.07084391716x^{15/4}) / (1.0000000000 + 0.4030869103x^{1/4} + 0.1024948641\sqrt{x} \\
 & - 0.01074528209x^{3/4} - 0.2408758121x - 0.03355031953x^{5/4} \\
 & + 0.02335563536x^{3/2} + 0.02357779692x^{7/4} + 0.01949103390x^2 \\
 & + 0.008684505890x^{9/4} + 0.003049411793x^{5/2} + 0.0006668461939x^{11/4} \\
 & - 0.01005883480x^3 - 0.007143292714x^{13/4} - 0.003176028294x^{7/2} - 0.0008399664623x^{15/4})
 \end{aligned} \tag{44}$$

$$\begin{aligned}
 r_{21,21}(x) = & (1.0000000000 - 1.158398906x^{1/4} + 0.3364640838x^{1/2} - 0.08611768495x^{3/4} \\
 & + 0.9472603216x - 1.260489798x^{5/4} + 0.3877969178x^{3/2} - 0.1082642056x^{7/4} \\
 & + 0.4160796197x^2 - 0.6592257893x^{9/4} + 0.2236365778x^{5/2} - 0.06539043178x^{11/4} \\
 & + 0.03973008852x^3 - 0.1315134578x^{13/4} + 0.06660885270x^{7/2} \\
 & + 0.04187365896x^{15/4} - 0.08347642648x^4 + 0.02773853132x^{17/4} \\
 & + 0.005797006079x^{9/2} + 0.007502722245x^{19/4} - 0.01710418722x^5 \\
 & + 0.01000050629x^{21/4}) / (1.0000000000 - 1.158398906x^{1/4} + 0.3364640838x^{1/2} \\
 & - 0.08611768495x^{3/4} - 0.05920973144x - 0.09459598977x^{5/4} + 0.04915589367x^{3/2} \\
 & - 0.02158933471x^{7/4} - 0.02432755886x^2 + 0.01518169463x^{9/4} + 0.005930601033x^{5/2} \\
 & - 0.0006025704559x^{11/4} - 0.005501551911x^3 + 0.01555849322x^{13/4} + 0.002643827608x^{7/2} \\
 & + 0.001537068522x^{15/4} + 0.009946397292x^4 - 0.006401837938x^{17/4} + 0.0004806634939x^{9/2} \\
 & - 0.0007217591044x^{19/4} - 0.001541231401x^5 - 0.00007770117320x^{21/4})
 \end{aligned} \tag{45}$$

Table 13. Numerical Values of equation (42) and its padé approximations.

$\alpha = 3.75$				
x	$r_{12,12}(x)$	$r_{15,15}(x)$	$r_{21,21}(x)$	$y_2(x)_{\alpha=3.75}$
0.1	1.105757279	1.105757278	1.105757278	1.105757277
0.2	1.222239265	1.222239141	1.222239139	1.222239139
0.3	1.350328524	1.350326760	1.350326701	1.350326704
0.4	1.491074036	1.491062618	1.491062077	1.491062076
0.5	1.645703533	1.645655243	1.645652185	1.645652171
0.6	1.815647202	1.815491046	1.815478523	1.815478365
0.7	2.002571450	2.002151634	2.002110838	2.002109417
0.8	2.208423663	2.207436620	2.207329371	2.207316696
0.9	2.435489914	2.433392811	2.433371328	2.433090997
1.0	2.686468944	2.682351045	2.681373791	2.681660338

Table 14. Error values for padé approximations of equation (42) for $\alpha = 3.75$

$\alpha = 3.75$			
x$	|y_2(x)_{\alpha=3.75} - r_{12,12}|$	$|y_2(x)_{\alpha=3.75} - r_{15,15}|$	$|y_2(x)_{\alpha=3.75} - r_{21,21}|$
0.1	$2. \times 10^{-9}$	1×10^{-9}	$1. \times 10^{-9}$
0.2	1.26×10^{-7}	2×10^{-9}	0
0.3	1.820×10^{-6}	5.6×10^{-8}	$3. \times 10^{-9}$
0.4	0.000011960	5.42×10^{-7}	$1. \times 10^{-9}$
0.5	0.000051362	3.072×10^{-6}	1.4×10^{-8}
0.6	0.000168837	0.000012681	1.58×10^{-7}
0.7	0.000462033	0.000042217	1.421×10^{-6}
0.8	0.001106967	0.000119924	0.000012675
0.9	0.002398917	0.000301814	0.000280331
1.0	0.004808606	0.000690707	0.000286547

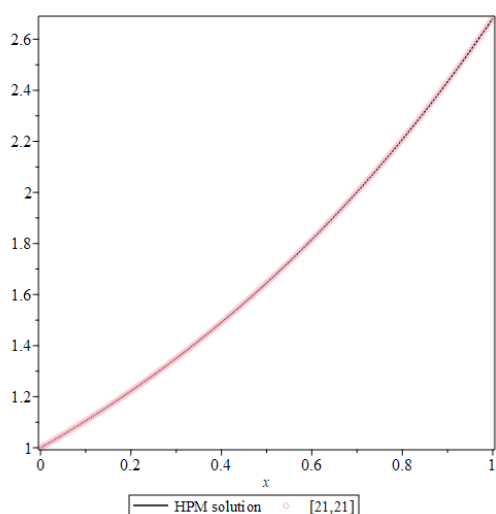


Figure 18.

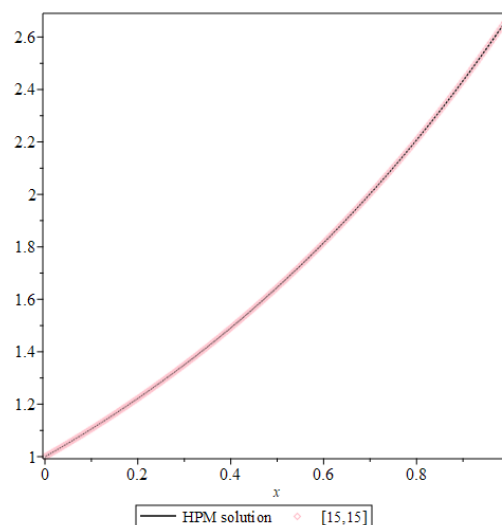


Figure 19.

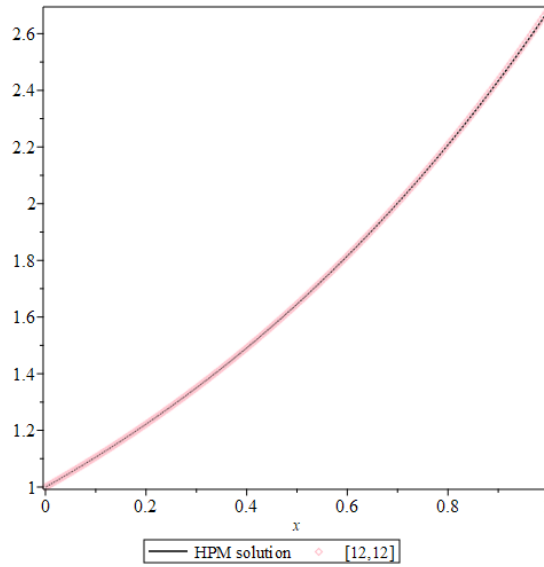


Figure 20.

Figure 18. $y_2(x)_{\alpha=3.75}$ (HPM solution), $r_{21,21}(x)$.

Figure 19. $y_2(x)_{\alpha=3.75}$ (HPM solution), $r_{15,15}(x)$.

Figure 20. $y_2(x)_{\alpha=3.75}$ (HPM solution), $r_{12,12}(x)$.

HPM solution (36) for $\alpha = 3.50$ is obtained as:

$$\begin{aligned}
 y_2(x)_{\alpha=3.50} = & 1. + 1.010857157x + 0.5000000000x^2 + 0.09932146560x^3 \\
 & + 0.08597174604x^{3.5} + 0.01910483246x^{4.5} + 0.003549032871x^{5.5} \\
 & + 0.001603202724x^{6.5} - 0.0005836981511x^{7.5} + 2.829767920 \times 10^{-6} x^{8.5} \\
 & - 7.131014064 \times 10^{-6} x^{9.5} - 2.003219112 \times 10^{-6} x^{10.5} + 0.00004960317460x^{8.0}
 \end{aligned}
 \tag{46}$$

Equation (46) was put into Padé series and following equations, respectively, $r_{7,7}(x)$, $r_{8,8}(x)$, $r_{10,10}(x)$ were obtained for different values of m and n by applying Padé approximation using equations (8) and (9):

$$\begin{aligned}
 r_{7,7}(x) = & (1.000000000 + 0.2126062027\sqrt{x} + 0.8252329868x \\
 & + 0.2026831312x^{3/2} + 0.3332301421x^2 + 0.09962505282x^{5/2} \\
 & + 0.01743951061x^3 + 0.1019969367x^{7/2}) / (1.000000000 + 0.2126062027\sqrt{x} \\
 & - 0.1856241703x - 0.01223137047x^{3/2} + 0.02086966324x^2 \\
 & + 0.005686119835x^{5/2} - 0.01016611830x^3 - 0.004723338690x^{7/2})
 \end{aligned}
 \tag{47}$$

$$\begin{aligned}
 r_{8,8}(x) = & (1.000000000 - 0.1639253396\sqrt{x} + 1.004377559x - 0.1576658605x^{3/2} \\
 & + 0.5043928389x^2 - 0.1089945598x^{5/2} + 0.08835048971x^3 + 0.03642187344x^{7/2} \\
 & - 0.01762723677x^4) / (1.000000000 - 0.1639253396\sqrt{x} - 0.006479598170x \\
 & + 0.008039242267x^{3/2} + 0.01094278700x^2 - 0.03515841557x^{5/2} \\
 & - 0.01879277138x^3 - 0.001748052755x^{7/2} + 0.01063468802x^4)
 \end{aligned}
 \tag{48}$$

$$\begin{aligned}
 r_{10,10}(x) = & (1.000000000 + 0.5084255416\sqrt{x} + 1.273941216x \\
 & + 0.5221862006x^{3/2} + 0.7545614502x^2 + 0.2329494241x^{5/2} \\
 & + 0.1824810720x^3 + 0.08935668578x^{7/2} + 0.03056014946x^4 \\
 & + 0.01213168829x^{9/2} - 0.003043783177x^5) / (1.000000000 \\
 & + 0.5084255416\sqrt{x} + 0.2630840591x + 0.008240602845x^{3/2} \\
 & - 0.01137895403x^2 - 0.02959341910x^{5/2} - 0.03687992599x^3 \\
 & - 0.02131821215x^{7/2} + 0.003689837731x^4 \\
 & + 0.005936968039x^{9/2} + 0.002374611522x^5)
 \end{aligned}
 \tag{49}$$

Table 15. Numerical Values of equation (46) and its padé approximations

$\alpha = 3.50$				
x	$r_{7,7}(x)$	$r_{8,8}(x)$	$r_{10,10}(x)$	$y_2(x)_{\alpha=3.5}$
0.1	1.106212839	1.106212839	1.106212841	1.106212840
0.2	1.223287811	1.223287806	1.223287805	1.223287806
0.3	1.352300397	1.352300274	1.352300277	1.352300278
0.4	1.494516261	1.494515164	1.494515214	1.494515219
0.5	1.651385685	1.651379728	1.651380068	1.651380086
0.6	1.824551802	1.824527954	1.824529522	1.824529657
0.7	2.015867171	2.015789706	2.015795471	2.015796133
0.8	2.227417708	2.227201781	2.227219615	2.227222275
0.9	2.461554571	2.461018677	2.461067162	2.461076224
1.0	2.720935053	2.719720795	2.719839903	2.719867038

Table 16. Error values for padé approximations of equation (46) for $\alpha = 3.50$

$\alpha = 3.50$			
x$	|y_2(x)_{\alpha=3.5} - r_{7,7}|$	$|y_2(x)_{\alpha=3.5} - r_{8,8}|$	$|y_2(x)_{\alpha=3.5} - r_{10,10}|$
0.1	1×10^{-9}	1×10^{-9}	1×10^{-9}
0.2	5×10^{-9}	0	1×10^{-9}
0.3	1.19×10^{-7}	4×10^{-9}	1×10^{-9}
0.4	1.042×10^{-6}	5.5×10^{-8}	5×10^{-9}
0.5	5.599×10^{-6}	3.58×10^{-7}	1.8×10^{-8}
0.6	0.000022145	1.703×10^{-6}	1.35×10^{-7}
0.7	0.000071038	6.427×10^{-6}	6.62×10^{-7}
0.8	0.000195433	0.000020494	2.660×10^{-6}
0.9	0.000478347	0.000057547	9.062×10^{-6}
1.0	0.001068015	0.000146243	0.000027135

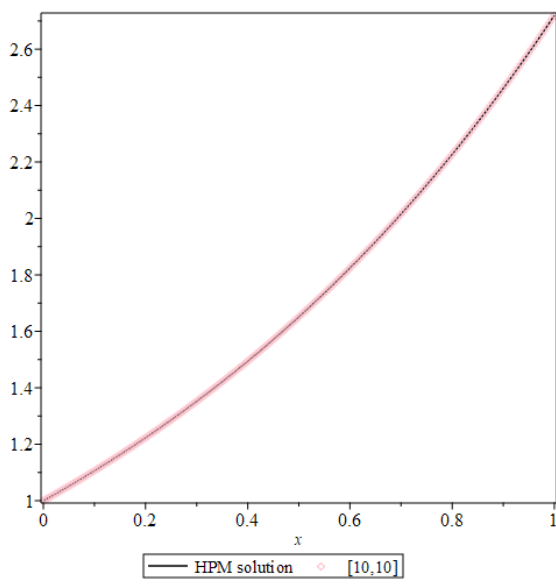


Figure 21.

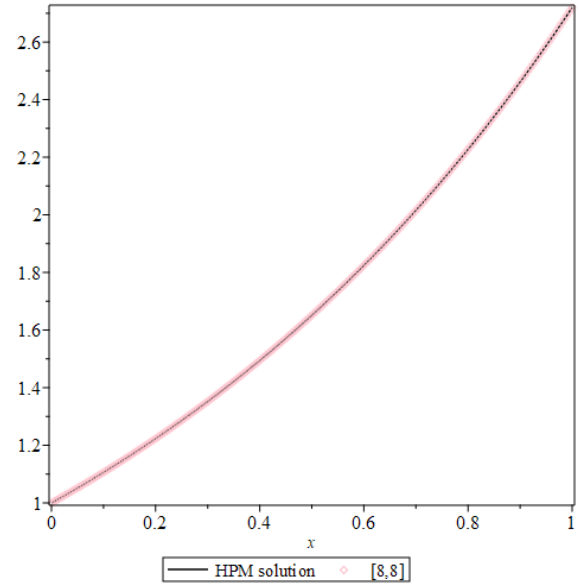


Figure 22.

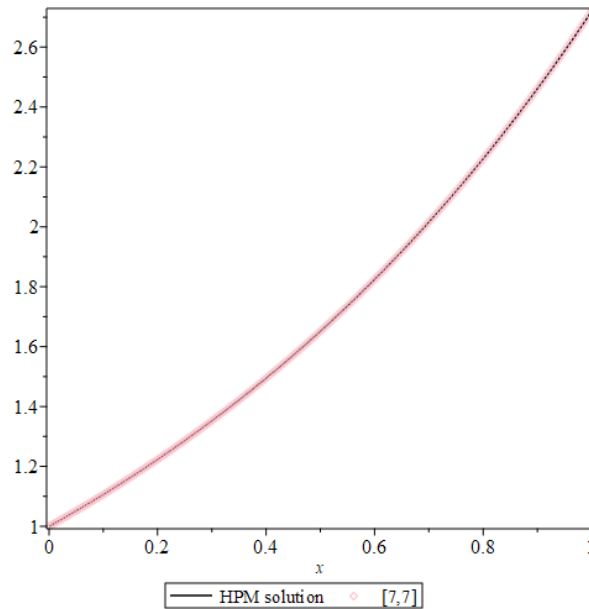


Figure 23.

Figure 21. $y_2(x)_{\alpha=3.5}$ (HPM Solution), $r_{10,10}(x)$.

Figure 22. $y_2(x)_{\alpha=3.5}$ (HPM Solution), $r_{8,8}(x)$.

Figure 23. $y_2(x)_{\alpha=3.5}$ (HPM Solution), $r_{7,7}(x)$.

HPM solution (36) for $\alpha = 3.25$ is obtained as:

$$\begin{aligned}
 y_2(x)_{\alpha=3.25} = & 1. + 1.006468659x + 0.5000000000x^2 + 0.05806453708x^3 \\
 & + 0.1206988200x^{3.25} + 0.02839972235x^{4.25} + 0.005479454970x^{5.25} \\
 & + 0.002596546043x^{6.25} - 0.0009188519189x^{7.25} + 0.00002688509381x^{8.25} \\
 & - 0.00002038734503x^{9.25} - 2.126862577 \times 10^{-6} x^{10.25} + 0.0001425069088x^{7.50}
 \end{aligned} \tag{50}$$

Equation (50) was put into Padé series and following equations, respectively, $r_{14,14}(x)$, $r_{16,16}(x)$, $r_{20,20}(x)$ were obtained for different values of m and n by applying Padé approximation using equations (8) and (9):

$$\begin{aligned}
 r_{14,14}(x) = & (0.9999999999 + 4.263879226x^{1/4} - 0.3885403001\sqrt{x} - 0.1579395441x^{3/4} \\
 & + 1.562612515x + 3.198410715x^{5/4} - 0.3162362639x^{3/2} - 0.02314731625x^{7/4} \\
 & + 1.087772286x^2 + 1.077692304x^{9/4} - 0.1132748338x^{5/2} + 0.04595884244x^{11/4} \\
 & + 0.3372792344x^3 - 0.1867173627x^{13/4} + 0.5388464882x^{7/2}) / (0.9999999999 \\
 & + 4.263879226x^{1/4} - 0.3885403001\sqrt{x} - 0.1579395441x^{3/4} + 0.5561438555x \\
 & - 1.093050092x^{5/4} + 0.07481737085x^{3/2} + 0.1358138849x^{7/4} + 0.02803092528x^2 \\
 & + 0.04587335198x^{9/4} + 0.005693977274x^{5/2} - 0.01176380418x^{11/4} - 0.02706947829x^3 \\
 & - 0.05464140122x^{13/4} + 0.003622214619x^{7/2})
 \end{aligned} \tag{51}$$

$$\begin{aligned}
 r_{16,16}(x) = & (0.9999999999 + 0.1625183353x^{1/4} + 0.07575788017\sqrt{x} - 0.1274966670x^{3/4} \\
 & + 0.7950946696x + 0.2330041062x^{5/4} + 0.1805863678x^{3/2} - 0.1677934518x^{7/4} \\
 & + 0.3160963058x^2 + 0.1486207748x^{9/4} + 0.1065972410x^{5/2} - 0.1412472664x^{11/4} \\
 & - 0.03459603471x^3 + 0.1566928373x^{13/4} + 0.03875285169x^{7/2} - 0.04961972605x^{15/4} \\
 & - 0.01472945396x^4) / (0.9999999999 + 0.1625183353x^{1/4} + 0.07575788017\sqrt{x} \\
 & - 0.1274966670x^{3/4} - 0.2113739892x + 0.06943449513x^{5/4} + 0.1043384357x^{3/2} \\
 & - 0.03947205233x^{7/4} + 0.02883760131x^2 - 0.002522036074x^{9/4} - 0.03629506454x^{5/2} \\
 & - 0.03777154940x^{11/4} - 0.01599771909x^3 - 0.005621431918x^{13/4} - 0.0009011387704x^{7/2} \\
 & + 0.006391328990x^{15/4} + 0.01461497835x^4)
 \end{aligned} \tag{52}$$

$$\begin{aligned}
 r_{20,20}(x) = & (1.000000000 + 1.177320138x^{1/4} + 0.8756705052\sqrt{x} \\
 & - 0.1170237480x^{3/4} + 1.309196257x + 1.289318324x^{5/4} \\
 & + 0.9862598369x^{3/2} - 0.1872455303x^{7/4} + 0.7671040230x^2 \\
 & + 0.6342508801x^{9/4} + 0.5162736177x^{5/2} - 0.1501256840x^{11/4} \\
 & + 0.1067802041x^3 + 0.1411506487x^{13/4} + 0.2010131998x^{7/2} \\
 & + 0.03396821765x^{15/4} - 0.06923044055x^4 + 0.01470345623x^{17/4} \\
 & + 0.02919531710x^{9/2} + 0.01517209895x^{19/4} - 0.03157746416x^5) \\
 & / (1.000000000 + 1.177320138x^{1/4} + 0.8756705052\sqrt{x} \\
 & - 0.1170237480x^{3/4} + 0.3027275978x + 0.1043825033x^{5/4} \\
 & + 0.1049249179x^{3/2} - 0.06946479555x^{7/4} - 0.03758181674x^2 \\
 & - 0.05946690684x^{9/4} - 0.02716527662x^{5/2} - 0.02169967037x^{11/4} \\
 & - 0.06482321121x^3 - 0.04024839378x^{13/4} - 0.01705481355x^{7/2} \\
 & - 0.008356813365x^{15/4} + 0.01134988874x^4 + 0.01394614867x^{17/4} \\
 & + 0.007816263918x^{9/2} + 0.0009331330703x^{19/4} + 0.003300765725x^5)
 \end{aligned}
 \tag{53}$$

Table 17. Numerical Values of equation (50) and its padé approximations

$\alpha = 3.25$				
x	$r_{4,14}(x)$	$r_{16,16}(x)$	$r_{20,20}(x)$	$y_2(x)_{\alpha=3.25}$
0.1	1.105774433	1.105774433	1.105774432	1.105774434
0.2	1.222435653	1.222435640	1.222435642	1.222435641
0.3	1.351101759	1.351101526	1.351101544	1.351101544
0.4	1.493078835	1.493076879	1.493077066	1.493077070
0.5	1.649853823	1.649843598	1.649844736	1.649844784
0.6	1.823104509	1.823064829	1.823069799	1.823070101
0.7	2.014719014	2.014593489	2.014610773	2.014612209
0.8	2.226823522	2.226481229	2.226532308	2.226537855
0.9	2.461818715	2.460984945	2.461118222	2.461136504
1.0	2.722426248	2.720566966	2.720882567	2.720935765

Table 18. Error values for padé approximations of equation (50) for $\alpha = 3.25$

$\alpha = 3.25$			
x$	|y_2(x)_{\alpha=3.25} - r_{4,14}|$	$|y_2(x)_{\alpha=3.25} - r_{16,16}|$	$|y_2(x)_{\alpha=3.25} - r_{20,20}|$
0.1	1×10^{-9}	1×10^{-9}	2×10^{-9}
0.2	1.2×10^{-8}	1×10^{-9}	1×10^{-9}
0.3	2.15×10^{-7}	1.8×10^{-8}	0
0.4	1.765×10^{-6}	1.91×10^{-7}	4×10^{-9}
0.5	9.039×10^{-6}	1.186×10^{-6}	4.8×10^{-8}
0.6	0.000034408	5.272×10^{-6}	3.02×10^{-7}
0.7	0.000106805	0.000018720	1.436×10^{-6}
0.8	0.000285667	0.000056626	5.547×10^{-6}
0.9	0.000682211	0.000151559	0.000018282
1.0	0.001490483	0.000368799	0.000053198

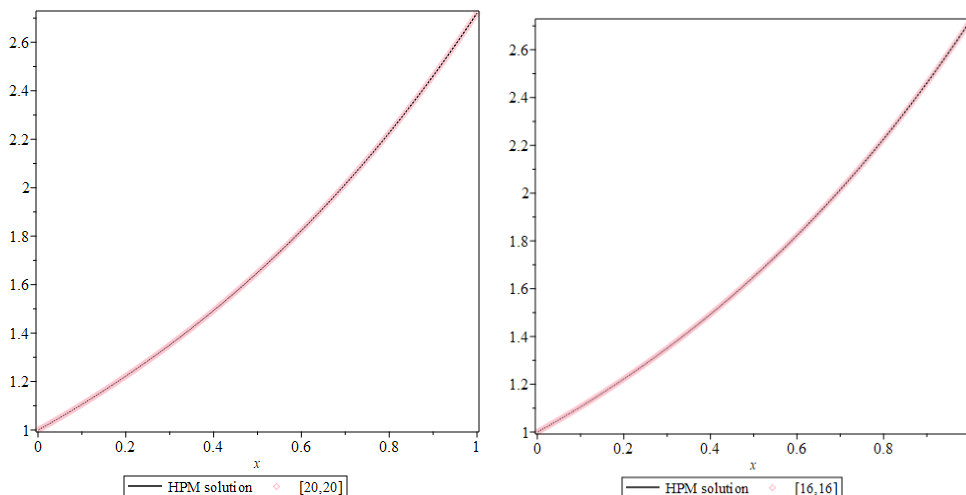


Figure 24.

Figure 25.

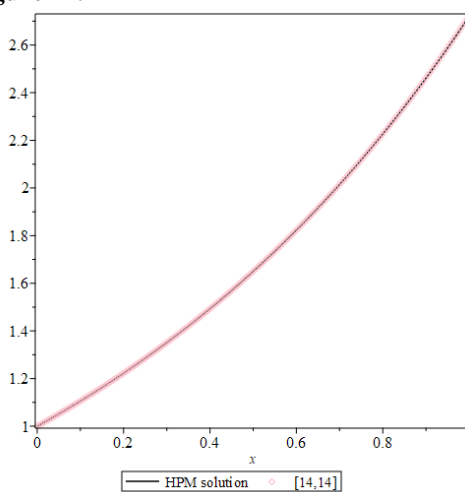


Figure 26.

Figure 24. $y_2(x)_{\alpha=3.25}$ (HPM Solution), $r_{20,20}(x)$.

Figure 25. $y_2(x)_{\alpha=3.25}$ (HPM Solution), $r_{16,16}(x)$.

Figure 26. $y_2(x)_{\alpha=3.25}$ (HPM Solution), $r_{14,14}(x)$

4. Conclusion

In this Paper, Padé approximation has been successfully applied to linear and nonlinear boundary value problems for fourth-order fractional integro-differential equations. It gives a simple and a powerful mathematical tool for nonlinear problems. Numerical results show the accuracy and efficiency of Padé approximation. Comparisons of HPM and Padé approximation have been shown by numerical results for different values of α show the efficiency of the Padé approximation. It provides also more realistic rational series solutions that converge very rapidly in real physical problems.

Author’s Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the author.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Gaul, L., Klein, P., Kemple, S., 1991. Damping description involving fractional operators. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 5 (2): 81-88.
- [2] Glockle, W.G., Nonnenmacher, T.F.A. 1995. A fractional calculus approach of self-similar protein dynamics, *Biophysical Journal*, 68: 46–53.
- [3] Hilfert, R. 2000. *Applications of fractional calculus in physics*. World Scientific, River Edge, NJ, USA.
- [4] Sweilam N.H. 2007. Fourth order integro-differential equations using variational iteration method, *Computers and Mathematics and Applications*, 54: 1086–1091.
- [5] Momani S., Odibat Z. 2007. Application of homotopy-perturbation method to fractional IVPs, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 207 (1): 96.
- [6] Odibat Z., Momani S. 2009. The variational iteration method: an efficient scheme for handling fractional partial differential equations in fluid mechanics, *Computers and Mathematics with Applications*, 58: 2199–2208.
- [7] Momani S., Noor M.A. 2006. Numerical methods for fourth-order fractional integro-differential equations, *Applied Mathematics and Computation*, 182: 754–760.
- [8] Delves L.M., Mohamed J.L. 1985. *Computational Methods for Integral Equations*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [9] Apreutesei N. 2013. Some properties of integro-differential equations from biology, *AIP. Conference Proceedings* 1561: 256.
- [10] Burton T.A. 2005. Volterra integral and differential equations, second ed., in: *Mathematics in Science and Engineering*, vol. 202.
- [11] Lakshmikantham V., Rao M.R.M. 1995. *Theory of Integro-Differential Equations, Stability and Control: Theory, Methods and Applications*, Gordon and Breach, London,
- [12] Shidfar A., Molabahrami A., Babaei A., Yazdani A. 2010. A series solution of the nonlinear Volterra and Fredholm integro-differential equations, *Communications in Nonlinear Science and Numerical simulation*, 15 (2): 205-215.
- [13] Debbouche A., Nieto J.J. 2015. Relaxation in controlled systems described by fractional integro-differential equations with nonlocal control conditions, *Electronic Journal of Differential Equations*, 89: 1-18.
- [14] Cuyt A, Wuytack L. 1987. *Nonlinear Methods in Numerical Analysis*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- [15] Turut V., Guzel N. 2012. Comparing Numerical Methods for Solving Time-Fractional Reaction-Diffusion Equations, *ISRN Mathematical Analysis*, Doi:10.5402/2012/737206.
- [16] Turut V., Guzel N. 2013. Multivariate padé approximation for solving partial differential equations of fractional order, *Abstract and Applied Analysis*, Volume 2013, Article ID 746401.
- [17] Turut V., Çelik E., Yiğider M. 2011. Multivariate padé approximation for solving partial differential equations (PDE), *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 66 (9):1159-1173.
- [18] Nawaz Y. Variational iteration method and homotopy perturbation method for fourth-order fractional integro-differential equations, *Computers and Mathematics with Applications*, 61: 2330-2341.

Research Article

Evaluation of Some Biomarkers in Carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) Depending on Water and Sediment Pollution of Atatürk Dam Lake

Aysel ALKAN UÇKUN^{*1}, Miraç UÇKUN²

¹Adıyaman University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Sciences, Adıyaman, Turkey.

²Adıyaman University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Adıyaman, Turkey.

(ORCID: 0000-0002-8957-7476) (ORCID: 0000-0002-9018-8515)

Abstract

In this study, some environmental pollution parameters of Atatürk Dam Lake were evaluated with some biochemical data of carp living in the lake and consumed economically. Water, sediment and fish samplings were done simultaneously from Kahta and Bozova districts, where the Atatürk Dam Lake is located. Residue analyzes of various metals in water, sediment and muscle of carp samples were carried out together with some physicochemical parameters in the water. Total antioxidant capacity (TAC) and total oxidant scavenging capacity (TOSC) levels in the liver, and activities of Na⁺/K⁺ATPase, Mg²⁺ATPase, Ca²⁺ATPase were determined in the gill of the carp. As a result of the study, it was observed that Cd, Cr and Cu levels in the water, Cd and Cu levels in sediment and Pb and Cd levels in carp exceeded the maximum acceptable concentrations. Among the biochemical parameters, oxidative stress index and TOSC level were found significantly higher in the liver of the fish in Kahta compared to those in Bozova. Na⁺/K⁺ATPase activity was significantly inhibited in the gill of the fish in Kahta. When all these pollution parameters and biochemical data are evaluated together, it can be said that the water, sediment and carp of Kahta are more contaminated with toxic metals than those in Bozova, and the carp are under oxidative stress, so they may be a threat to the health of the consumers hunted from this region.

Keywords: Atatürk Dam Lake, total antioxidant capacity, ATPase, *Cyprinus carpio*.

Atatürk Baraj Gölü Su ve Sediment Kirliliğine Bağlı Olarak Sazanlarda (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) Bazı Biyobelirteçlerin Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışmada, Atatürk Baraj Gölü'nün bazı çevre kirliliği parametreleri, gölde yaşayan ve ekonomik olarak tüketilen sazanların bazı biyokimyasal verileri ile değerlendirildi. Atatürk Baraj Gölü'nün kıyısının olduğu Kahta ve Bozova ilçelerinden eş zamanlı su, sediment ve balık örneklemeleri yapıldı. Suda bazı fizikokimyasal parametrelerle birlikte su, sediment ve sazanların kas örneklerinde çeşitli metallerin kalıntı analizleri yapıldı. Sazanların karaciğer dokusunda toplam antioksidan kapasitesi (TAC) ve toplam oksidan süpürme kapasitesi (TOSC) seviyeleri, solungaç dokusunda ise Na⁺/K⁺ATPaz, Mg²⁺ATPaz ve Ca²⁺ATPaz aktiviteleri tayin edildi. Çalışmanın sonucunda, suda Cd, Cr ve Cu seviyelerinin, sedimentte Cd ve Cu seviyelerinin, sazanda ise Pb ve Cd seviyelerinin maksimum kabul edilebilir konsantrasyonları aştığı gözlemlendi. Biyokimyasal parametrelerden oksidatif stres indeksi ile TOSC seviyesi, Kahta'daki balıkların karaciğerinde Bozova'dakilere göre önemli derecede yüksek bulundu. Na⁺/K⁺ATPaz aktivitesi, Kahta'daki balıkların solungacında önemli oranda inhibisyonu uğradı. Tüm bu kirlilik parametreleri ile biyokimyasal veriler birlikte değerlendirildiğinde, Kahta'nın su, sediment ve sazanlarının Bozova'dakilere göre toksik metallerle daha fazla kontamine olduğu ve sazanların oksidatif stres altında olduğu, dolayısıyla bu bölgeden avlanan tüketicilerin sağlığı için bir tehdit unsuru olabileceği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Atatürk Baraj Gölü, toplam antioksidan kapasite, ATPaz, *Cyprinus carpio*.

*Corresponding author: ayseluckun@gmail.com

Received: 16.03.2021, Accepted: 16.05.2021

1. Introduction

Atatürk Dam Lake is the largest dam lake of our country, built on the Euphrates River, with a surface area of 81700 ha, and is among the world's largest dams [1]. It was built for energy and irrigation purposes and economically important fish species have a very important place in meeting the nutritional needs of fisheries and local people [2]. The shores of Atatürk Dam include Adıyaman and Şanlıurfa provinces which have large agricultural areas and a dense population. The distances of Atatürk Dam Lake to Şanlıurfa and Adıyaman provinces are 65 km and 42 km, respectively. Kahta is the largest district of Adıyaman and has eastern and southeastern borders to the Euphrates River. Bozova is the district of Şanlıurfa, which is on the shore of Atatürk Dam and has the highest human activity around the dam [3]. Aquatic environments are heavily contaminated by pollution released from domestic, industrial and other man-made activities. Some pollutants can have a serious impact on the ecological balance of the aquatic environments [4]. Exposure of aquatic organisms to pollutants can affect not only the biological competencies of the organism but also human health, which depends on the organisms as a major source of protein [5]. Therefore, it is necessary to analyze some pollution-related biomarkers in aquatic organisms in order to fully evaluate the impact of environmental pollutants on the ecosystem [4, 6, 7].

Two approaches are proposed to evaluate the extent of the stress caused by environmental pollutants in organisms. The first relates to measuring the integrated state of total antioxidant capacity (TAC) [8, 9]. TAC is a measure of the amount of free radicals scavenged by a test solution used to find the total antioxidant capacity in biological samples [10]. The second parameter related to stress is the measurement of the total oxyradical scavenging capacity (TOSC). TOSC is a parameter used to measure the ability of the entire antioxidant system to scavenge free oxygen radicals. TAC and TOSC are useful biomarkers in predicting the biological responses of organisms against oxidative stress caused by xenobiotics [11]. In aquatic toxicology studies, changes in antioxidant enzyme activities are usually evaluated in the liver, an important organ involved in the detoxification of xenobiotics [12]. Adenosintriphosphatases (ATPases) are responsible for ion homeostasis in the cell, maintenance of the electrochemical gradient, and regulation of cell volume [13, 14]. Gills are responsible for osmoregulation in fish and have direct contact with contaminants in the water [15].

Atatürk Dam Lake is polluted by human activities, agricultural and industrial pollutants from the surrounding provinces. Common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) is an important commercial species that appeals to large populations worldwide and is consumed economically. It is used as a bioindicator species in most studies associated with pollution in aquatic environments [16].

In this study, water samples were taken from the shore of Atatürk Dam Lake to Kahta and Bozova districts and their physicochemical parameters were measured. Besides, various metal residues were analyzed in water, sediment and muscle of fish samples taken from these regions. The pollution of these two regions was evaluated by TAC and TOSC analyzes in the liver, and ATPase analysis (Na^+/K^+ ATPase, Mg^{2+} ATPase, Ca^{2+} ATPase) in the gill of the carp caught there.

2. Material and method

2.1. Sampling sites and sample collection

Kahta district within the borders of Adıyaman of the Atatürk Dam and Bozova districts within the borders of Şanlıurfa were selected as the sampling points (Figure. 1). These sites were determined considering the high population density compared to other districts, high human activities, and the mixing of domestic, agricultural and industrial wastes into the Atatürk Dam Lake. Fish, sediment and water samples were collected from these sites and taken to the laboratory. Eight fish from each area were caught by the fishermen in the region using the gill nets. Fish with an average length of 50 cm and a weight of 700 g were selected by eye decision and used in the experiments. Plastic gallons impregnated with 100 mg L⁻¹ MS 222 were used to anesthetize the fish. Fish brought to the laboratory were dissected and their muscle, liver and gill tissues were separated and kept at -80 until analysis. Ethical approval document regarding all procedures to be applied to fish was approved by Adıyaman University Ethics Committee (Permissions no. 2021/007).

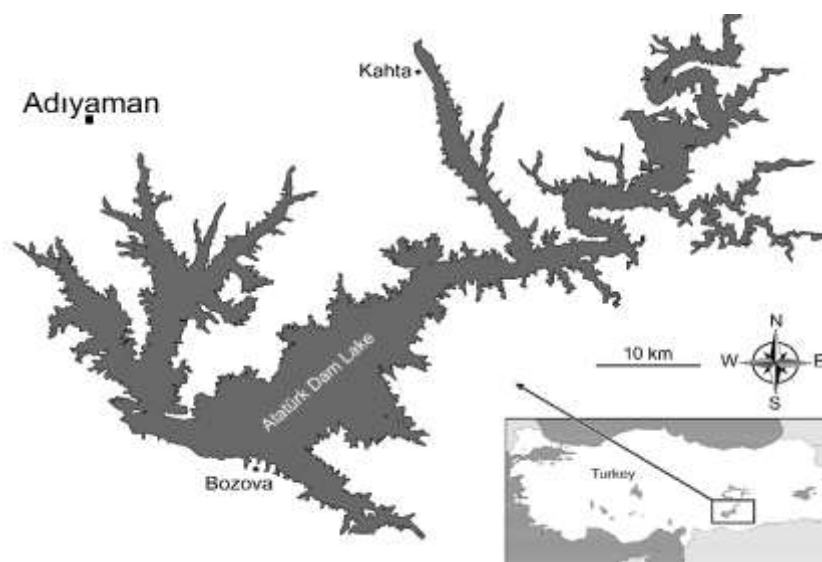


Figure 1. Map of the study area

2.2. Water quality and metal analyses

The temperature, pH, dissolved oxygen and conductivity of the water were measured with field type portable probe devices (YSI Pro20). All remaining analyses were conducted in Adiyaman University Central Research Laboratory. Ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and sulphate levels in water were measured with commercial kits in a kit compatible spectrophotometer (DR/2010 Hachlange). Lead (Pb), nickel (Ni), mercury (Hg), chromium (Cr), zinc (Zn), cadmium (Cd) and arsenic (As) concentrations in muscle, sediment and water samples were measured using an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICPMS) (NexION 350X, PerkinElmer, USA). The ICPMS operating conditions were the following: RF power, 1150 W; plasma gas flow rate, 18 L/min; auxiliary gas flow rate, 1.2 L/min; nebulizer gas flow rate, 0.84 L/min; sample uptake rate, 1 mL/min; integration time, 600 ms, triple cone interface material, nickel; spray chamber, glass cyclonic; nebulizer, mainhard; mode of operation, STD/KED Mode Collision (using helium gas).

2.3. Biochemical analyses

Liver and gill samples were weighed and then homogenized in potassium phosphate buffer using a homogenizer (Ika T25 D). Homogenates were centrifuged at 16000×g for 20 min at 4 °C (Hettich 460 R) and the supernatant was separated. Total protein and enzyme activity measurements were performed in a microplate reader (Thermo, Varioscan Flash 2000). The total protein concentration was determined using the Bradford method [17].

The modified methods of Atlı and Canlı (2011) [18] for microplate reader were used to determine ATPase activities in gill tissue. 5 µL of gill sample and 60 µL of incubation medium were pipetted into each microplate well and incubated at 37 °C for 5 minutes. 10 µL of 3 mM ATP was added to this mixture and the reaction was initiated by incubating at 37 °C for 30 minutes. Then, 35 µL of distilled water at a temperature of +4 °C was added to these wells and the reaction was stopped. By measuring the absorbance of the main reagent at a wavelength of 390 nm, the value of inorganic phosphate was calculated [19]. 190 µL of the main reagent was added to the mixture of 60 µL of incubation medium, 5 µL of supernatant and 35 µL of cold distilled water in the wells, then it was incubated at 25 °C for 10 minutes and their absorbance at a wavelength of 390 nm was measured. The results were calculated according to the standard curve prepared from different concentrations of KH₂PO₄ solution.

Total antioxidant context (TAC) and total oxyradical scavenging capacity (TOSC) assays were performed by using commercial test kits (Rel Assay Diagnostics) following the instructions of the kit. The analysis of TAC is based on the antioxidants in the sample reducing the dark blue-green ABTS

radical (ABTS^{•+}: 2,2'-azinobis (3- ethylbenzothiazoline-6-sulfonate) to the colorless reduced ABTS form. The total antioxidant level of the sample is calculated by measuring the absorbance change at 660 nm. The principle of the TOSC test is that the oxidants present in the sample oxidize the ferrous ion-chelator complex to the iron ion. The total amount of oxidant molecules in the sample is correlated with the spectrophotometric reading of the color intensity formed by the ferric ions with the chromogen in an acidic medium. The following formula was used to calculate the OSI (arbitrary unit: AU) and expressed as a percentage [20]. $OSI = TOS / (TAS * 10)$

2.4. Statistical analyses

In the statistical analysis of the data, the computer software package SPSS 22 was used. One-way ANOVA test was used for this purpose. Then, Tukey HSD test was performed for group comparisons. The results were presented as mean±standard error. P values < 0.05 were considered significant.

3. Results and discussion

3.1. Water quality

Data on water quality parameters are shown in Table 1. In Bozova, the water temperature was found to be higher and dissolved oxygen value lower than Kahta. Conductivity and pH values were close to each other in both regions. Ammonium level was higher in Bozova, while nitrate value was higher in Kahta. Nitrite levels were the same. Phosphate and sulphate levels were higher in Bozova than Kahta. When these values are evaluated in general, the water quality in Bozova is lower than Kahta. We can think that this may be due to the excess of agricultural and domestic wastes in Bozova. Similar to our results, the values of phosphate, nitrite, ammonia, nitrate and sulphate were found higher in water from the polluted area (Sitalce) than relatively clean area (Samsat) of Atatürk Dam Lake [21, 22]. Yoloğlu et al. (2018) [23] reported that the levels of phosphate, nitrite, ammonia, nitrate and sulphate were higher in water of Karakoç and in Sitalce than Sarısu and Taşpınar in Atatürk Dam Lake.

Table 1. Water quality parameters

	Kahta	Bozova
Temperature (°C)	26.50	28.90
Dissolved oxygen (mg/L)	8.20	6.80
Conductivity (ISI/cm)	365	367
pH	7.70	7.50
NH ₄ (mg/L)	0.06	0.12
NO ₂ (mg/L)	0.02	0.02
NO ₃ (mg/L)	1.14	0.86
PO ₄ ⁻³ (mg/L)	0.04	0.08
SO ₄ (mg/L)	18.50	23.50

3.2. Metal residues in fish, sediment and water

Data on metal residues in fish, sediment and water samples are shown in Table 2. The amounts of Pb, Cd, Cr, Ni and Cu in the water were significantly higher in Kahta than in Bozova. The amount of Hg in the water could not be determined in either region. Concentrations of metals in water were compared with the limit values of Environmental Quality Standard-Annual Average (EQS-AA) and Environmental Quality Standard-Maximum Average (EQS-MA) specified in Turkey's Surface Water Quality Regulation [24] (Table 3). Pb level was found below both EQS-AA and EQS-MA limits in waters sampled from Kahta and Bozova. Cd and Cr levels in the water of Kahta (0.3±0.02 µg/L and 2.18±0.2 µg/L) was found above EQS-AA limit (0.2 µg/L for Cd, and 1.6 µg/L for Cr). Concentrations of Co and Ni remained below the limit values in both regions. Cu level exceeded both EQS-AA and EQS-MA limits in both regions. In summary, when all metal levels in waters were evaluated, it was found that Cd

and Cr levels were above the EQS-AA limit only in Kahta, while the Cu level was above the EQS-AA and EQS-MA limits in Kahta and Bozova.

In sediment, the concentration of all metals except Hg were higher in Kahta than in Bozova. Zn level was higher in the sediment of Bozova. There are currently no criteria for the evaluation of freshwater sediment quality in our country [25]. Therefore, the data obtained from this study were evaluated according to the sediment quality criteria published by MacDonald et al. (2000) [26], and the average heavy metal content of the earth's crust reported by Krauskopf (1979) [27]. According to the effect levels of sediment quality criteria; LEL (Lowest Effect Level); Below this limit, no adverse effects are generally observed in the organisms in the sediment. TEL (Threshold effect level); Adverse effects are rarely observed in organisms in sediments below this limit. MET (Minimal effect threshold); Below this limit, adverse effects are generally not observed in most of the creatures in the sediment. TET is expressed as (Toxic effect threshold) and above this limit, adverse effects are generally observed in most of the organisms in the sediment [26] (Table 4). The Pb level exceeded the LEL and TEL values in Kahta, but it did not exceed these limits in Bozova. The natural concentration of Pb in the earth's crust ranges from 15 to 20 mg/kg [28]. The Pb concentration detected in the Kahta sediment is above the earth's crust average, but it is a less effective threat to the lake ecosystem as it is below the MET and TET limits. The Cd level exceeded the LEL and TEL limits in both regions. The average Cd value in the earth's crust is in the range of 0.1-0.5 mg/kg [29]. The Cd levels we determined in the sediments of Kahta and Bozova are well above the average in the earth's crust, therefore it poses a threat to the lake ecosystem. While the Cr level was above the LEL, TEL and MET limits in Kahta, it was only above the LEL limit in Bozova. The Cr values in both regions are considerably lower than the average value (100 mg/kg) of Cr found naturally in the earth's crust. However, since it slightly exceeds the MET limit in the Kahta sediment, it may create a toxic effect here. Co amounts were below the SAV limit. While Cu level was above the limit values of LEL, TEL, MET and SAV in Kahta, it was above the limit values of LEL, TEL and MET in Bozova. The fact that the Cu level exceeds the limit values in both regions indicates that the lake sediments are exposed to significant copper pollution. Cu is a micronutrient element essential for aquatic life in freshwater and sediments, but at high levels, it has a toxic effect on the ecosystem [25].

Concentrations of Pb, Cd and Cr were significantly higher in muscle tissue of fish sampled from Kahta than those from Bozova. Co, Hg, Ni and Cu levels are close to each other in the fish of both regions and there is no statistically significant difference between them. FAO/WHO (2011) [30] determined the maximum permissible limit of metals in fish muscles as 0.5, 0.05, 80, 0.5, 30 mg/kg for Pb, Cd, Ni, Cr and Cu, respectively. In the Turkish guideline, Pb, Cd and Cu limits were reported as 1, 0.1 and 20 mg/kg, respectively [31]. In our study, Pb and Cd levels in fish exceeded the limits of both FAO/WHO and Turkish guideline while Ni and Cu levels did not. The Cr level of fish was above the limit of FAO/WHO in Kahta and below it in Bozova. Pb is a naturally-occurring and industrially-produced element that is very toxic to the human, especially children [32]. As a result of chronic exposure of fish to Pb, hematological [33], neurological [34] and renal [35] disorders occur. Food consumption is the main source of exposure cadmium (Cd) in the human body. Cd is known as an endocrine disturbing substance and it is well documented that Cd can cause to develop breast cancer and prostate cancer in humans [36]. Oymak et al. (2009) [37] determined the Pb, Ni, Cr and Cu levels in the muscle of *Tor gypus*, which they caught from Atatürk Dam Lake, as 1.23, 0.16, 0.22 and 0.56 µg/g, respectively. Almost all of these values are lower than the values we set. The reasons for this difference may be that the type of fish used, sampling points and sampling time are different from ours. Karadede and Ünlü (2000) [38] could not detect the levels of Pb, Cd, Co and Ni in the muscle of *Acanthobrama marmid*, *Chalcalburnus mossulensis*, *Chondrostoma regium*, *Carasobarbus luteus*, *Capoetta trutta* and *Cyprinus carpio*, which they sampled from Atatürk Dam Lake, they only determined the Cu levels in these species as 0.81, 2.41, 2.29, 1.14, 1.68 and 2.23 mg/kg, respectively. These Cu values found are well below the values we set for *Cyprinus carpio*. The biggest reason for the occurrence of this difference may be that a period of as long as twenty years has passed. Since there is no up-to-date study on metal residue in Atatürk Dam Lake fish lately, we cannot compare our results with this time. The reasons for these increases in metals may be increases in industrial, agricultural and anthropogenic activities over time.

Table 2. Metal concentrations of water, sediment and fish samples

	Pb	Cd	Cr	Co	Hg	Ni	Cu
Water-Kahta (µg/L)	0.07±0.002*	0.3±0.02*	2.18±0.2*	0.08±0.003	ND	2.15±0.03*	6.45±0.03*
Sediment-Kahta (mg/kg)	35.72±3.06*	0.86±0.07*	57.15±3.45*	2.62±0.55*	0.02±0.001	97.50±5.52*	57.87±4.83*
Fish-Kahta (mg/kg)	2.18±0.5*	0.75±0.04*	0.68±0.02*	0.06±0.003	0.002±0.005	1.42±0.15	14.43±1.85
Water-Bozova (µg/L)	0.04±0.003	0.05±0.001	0.17±0.03	0.06±0.002	ND	1.27±0.04	4.86±0.05
Sediment-Bozova (mg/kg)	28.56±1.05	0.68±0.05	28.95±2.34	1.23±0.12	0.01±0.002	68.36±5.65	36.55±2.36
Fish-Bozova (mg/kg)	1.07±0.3	0.43±0.03	0.32±0.05	0.07±0.002	0.002±0.001	1.35±0.43	12.82±1.12

Asteriks indicate significant differences between water/sediment/fish from the two sites ($p<0.05$)

Table 3. Environmental quality standards of Turkey's surface water quality regulation (µg/L)

	Pb	Cd	Cr	Co	Hg	Ni	Cu
AA-EQS	1.2	0.2	1.6	0.3	ND	4	1.6
MA-EQS	14	1.5	142	2.6	ND	34	3.1

AA-EQS: Annual Average-Environmental Quality Standard MA-EQS: Maximum Average-Environmental Quality Standard

Table 4. Sediment quality criteria limit values (mg/kg)

	Pb	Cd	Cr	Co	Hg	Ni	Cu
GV							
LEL	31	0.6	26	-	-	-	16
TEL	35	0.6	37.3	-	-	-	35.7
MET	42	0.9	55	-	-	-	28
TET	170	3	100	-	-	-	86
SAV	20	0.3	100	8	-	-	50

GV: Guidelines Values, LEL (Lowest Effect Level), TEL (Threshold effect level), MET (Minimal effect threshold), TET (Toxic effect threshold), SAV (Shale Average Value)

3.3. Biochemical markers

TAC and TOSC values in liver and ATPases values are shown in Table 5. When the liver TAC and TOSC values were compared, it was found that the TAC value was higher in Bozova's fish, while the TOSC value was higher in Kahta's fish. These differences between the TAC and TOSC values of the two regions were statistically significant ($p<0.05$). Oxidant-antioxidant balance is disrupted by common inflammatory processes and free radicals. The oxidative stress is a result of disruption in this balance. It can induce dysfunction of organs [39]. Recently, TAC and TOSC markers have been used in environmental pollution studies. TOSC analysis measures biological resistance against a variety of oxyradicals, thus providing useful indicators for predicting the negative effects of oxygen radicals on the health status of organisms [11]. In this study, the reason for the lower TOSC level in the fish in Kahta compared to the ones in Bozova may be due to the oxidative stress effect created by the high metal concentration in the Kahta waters. This shows that the fish in Kahta is under more oxidative stress, so their capacity to neutralize reactive oxygen species is lower. Similar to our findings, in a study comparing TOSC levels in the digestive gland of mussels collected from polluted and clean areas, it was observed that the TOSC level was lower in mussels in the polluted area [11]. The researcher associated this low TOSC level with the insufficient capacity of the organism against oxidative stress caused by the high metal content in the water of the polluted area. It is assumed that TAC is the sum of enzymatic and nonenzymatic antioxidants [40]. In this study, the TAC level was found approximately twice as high in Kahta than in Bozova. The reason for the low TAC level in Kahta compared to Bozova can be explained as the energy consumption in response to the oxidative stress caused by the high metal content in the samples taken from Kahta. In parallel with our study, Hamed et al. (2020) [41] observed that TAC level decreased as the dose increased in *Oreochromis niloticus*, which they exposed to microplastics. Oxidative stress index (OSI) is an indicator showing the degree of relationship between free radical-

forming agents that cause oxidative stress in the organism and antioxidant defense systems against them [42]. In our study, OSI value was significantly higher in Kahta than in Bozova. In another study, the OSI was found to be high in goldfish treated with arsenite [43].

Na^+/K^+ ATPase plays a central role in ion transport across cellular membranes in fish and is responsible for whole body ion regulation [44]. In our study, Na^+/K^+ ATPase activity was significantly inhibited in the gills of fish caught from Kahta compared to those in Bozova ($p < 0.05$). This decrease in Na^+/K^+ ATPase activity indicates the destruction of cellular ion regulation in the gill tissues of fish [45]. In aquatic organisms, especially in the gills of fish, the Na^+/K^+ ATPase enzyme plays an important role in maintaining the ion balance, and the increase or decrease in its activity has proven to be a vital index for the levels of environmental pollutants as well as as a potential indicator of toxic stress [46]. ATPases are known to be the target enzymes of xenobiotics in the cell, heavy metals and other xenobiotics can bind to the phospholipid part of the cell membranes, causing inhibition of these enzymes [47]. Pollutants in the water can interact with the enzyme directly, altering the gill Na^+/K^+ ATPase activity [48]. Based on this idea, in our study, we can attribute the inhibition of the Na^+/K^+ ATPase in fish caught from the Kahta to the toxic effect created by the metal density in this region. Similar to our findings, the Na^+/K^+ ATPase activity is decreased in the gills of the silver catfish (*Rhamdia quelen*) exposed to the Zn effect [49]. Morga et al. (1997) [50] determined that gill Na^+/K^+ ATPase activity of *Oncorhynchus mykiss*, which was exposed to 10 $\mu\text{g/L}$ silver for 48 hours, was inhibited by 85%. Mg^{2+} ATPase and Ca^{2+} ATPase activities were higher in Bozova than in Kahta however, these differences were not statistically significant ($p > 0.05$). Yoloğlu (2019) [51] reported that Ca^{2+} ATPase activity was significantly inhibited in freshwater mussels (*Unio mancus*) when exposed to the pesticide penconazole for 96 hours compared to the control. Uçkun and Öz (2020a, 2020b) [52, 53] observed dose-dependent inhibitions of Mg^{2+} ATPase and Ca^{2+} ATPase in the muscle and gill of freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*) which were exposed to penconazole and azoxystrobin for 96 hours, separately. They attributed the inhibition of these enzymes to the reactive oxygen radicals released as a result of oxidative stress caused by damage to tissues by the pesticides they applied.

Table 5. Biochemical markers in liver and gill tissues

	Kahta	Bozova
TAC (μmol trolox Equiv./L \pm mean standard error)	1.13 \pm 0.15*	2.25 \pm 0.18
TOSC (mmol H_2O_2 Equiv./L \pm mean standard error)	4.67 \pm 0.32*	2.98 \pm 0.20
OSI (arbitrary unit: AU \pm mean standard error)	0.41 \pm 0.03*	0.13 \pm 0.02
Na^+/K^+ ATPase (nmol P_i min^{-1} mg protein $^{-1}$ \pm mean standard error)	16.23 \pm 0.25*	23.56 \pm 0.32
Mg^{2+} ATPase (nmol P_i min^{-1} mg protein $^{-1}$ \pm mean standard error)	25.42 \pm 0.12	26.66 \pm 0.55
Ca^{2+} ATPase (nmol P_i min^{-1} mg protein $^{-1}$ \pm mean standard error)	39.67 \pm 0.85	41.22 \pm 0.93

Asteriks indicate significant differences between organisms from the two sites ($p < 0.05$)

4. Conclusion

In this study, it was determined that the Cd, Cr and Cu levels in the waters sampled from Kahta and the Cu level in Bozova were above Turkey's surface water quality regulation limits. We foresee that the Cd and Cu ratios in both Kahta and Bozova sediments may pose a threat to the ecosystem of the Atatürk Dam Lake, as they exceed the minimal effect threshold limit. Since Pb and Cd levels in fish are above the maximum permissible values determined by FAO/WHO (2011) [30] and Turkish guideline [31] in fish muscles in both Kahta and Bozova, it can be a threat to both the lake ecosystem and fish consumers. From the biochemical data measured in the liver and muscles of fish, it can be concluded that the fish in Kahta are more affected by pollution and are under more stress than those in Bozova.

Authors' Contributions

The contributions of Aysel ALKAN UÇKUN and Miraç UÇKUN to this article is equal (50% : 50%).

Statement of Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Alhas E., Oymak S.A., Karadede-Akin H. 2009. Heavy metal concentrations in two barb, *Barbus xanthopterus* and *Barbus rajanorum mystaceus* from Atatürk Dam Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148: 11-18.
- [2] Fırat Ö. 2016. Evaluation of metal concentrations in fish species from Atatürk Dam Lake (Adiyaman, Turkey) in relation to human health. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25: 3629-3634.
- [3] Gürbüz M., Çelik M.A., Gülersoy A.E. 2013. An Examination of Effect of Atatürk Dam Lake on Agricultural Patterns in Bozova District (1984-2011). *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 12 (4): 853-866
- [4] Ozmen M., Gungordu A., Kucukbay F.Z., Guler E.R. 2006. Monitoring the effects of water pollution on *Cyprinus carpio* in Karakaya Dam Lake, Turkey. *Ecotoxicology*, 15: 157-169.
- [5] Mendoza-Carranza M., Sepúlveda-Lozada A., Dias-Ferreira C., Geissen V. 2016. Distribution and bioconcentration of heavy metals in a tropical aquatic food web: A case study of a tropical estuarine lagoon in SE Mexico. *Environmental Pollution*, 210: 155-165.
- [6] Gauthier L., Tardy E., Mouchet F. and Marty J. 2004. Biomonitoring of the genotoxic potential (micronucleus assay) and detoxifying activity (EROD induction) in the River Dadou (France), using the amphibian *Xenopus laevis*. *Science of the Total Environment*, 323: 47-61.
- [7] Tlili S., Jebali, J., Banni M., Haouas Z., Mlayah A., Helal A.N., Boussetta H. 2010. Multimarker approach analysis in common carp *Cyprinus carpio* sampled from three freshwater sites. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168: 285-298.
- [8] Regoli F., Gorbi S., Frenzilli G., Nigro M., Corsi I., Focardi S., Winston G.W. 2002a. Oxidative Stress in Ecotoxicology: from the Analysis of Individual Antioxidants to a More Integrated Approach. *Marine Environmental Research*, 54: 419-423.
- [9] Regoli F., Pellegrini D., Winston G.W., Gorbi S., Giuliani S., Virno-Lamberti C., Bompadre S. 2002b. Application of Biomarkers for Assessing the Biological Impact of Dredged Materials in the Mediterranean: The Relationship Between Antioxidant Responses and Susceptibility to Oxidative Stress in the Red Mullet (*Mullus barbatus*). *Marine Pollution Bulletin*, 44: 912-922.
- [10] Pinchuk I., Shoval H., Dotan Y., Lichtenberg D. 2012. Evaluation of antioxidants: scope, limitations and relevance of assays. *Chemistry and Physics of Lipids*, 165: 638-47.
- [11] Regoli F. 2000. Total Oxyradical Scavenging Capacity (TOSC) in Polluted and Translocated Mussels: A Predictive Biomarker of Oxidative Stress. *Aquatic Toxicology*, 50: 351-361.
- [12] Khangarot B.S. 1992. Copper-induced hepatic ultrastructural alterations in the snake-headed fish, *Channa punctatus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 23: 282-293.
- [13] Grosell M., Wood C.M., Walsh P.J. 2003. Copper homeostasis and toxicity in the elasmobranch *Raja erinacea* and the teleost *Myoxocephalus octodecemspinosus* during exposure to elevated waterborne copper. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 135: 179-190.
- [14] Loro V.L., Nogueira L., Nadella S.R., Wood C.M. 2014. Zinc bioaccumulation and ionoregulatory impacts in *Fundulus heteroclitus* exposed to sublethal waterborne zinc at different salinities. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 166: 96-104.
- [15] Farkas A., Salanki J., Specziar A. 2002. Relation between growth and the heavy metal concentration in organs of bream, *Abramis brama* L. Populating Lake Balaton. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43: 236-243.
- [16] Vinodhini R., Narayanan M. 2009. Biochemical changes of antioxidant enzymes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) after heavy metal exposure. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 33(4): 273-278.
- [17] Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.
- [18] Atlı G., Canlı M. 2011. Essential metal (Cu, Zn) exposures alter the activity of ATPases in gill, kidney and muscle of tilapia *Oreochromis niloticus*. *Ecotoxicology*, 20: 1861-1869.

- [19] Atkinson A., Gatemby A.O., Lowe, A.G. 1973. The determination of inorganic orthophosphate in biological systems. *Biochimica et Biophysica Acta*, 320: 195-204.
- [20] Erel O. 2005. A new automated colorimetric method for measuring total oxidant status. *Clinical Biochemistry*, 38: 1103-1111.
- [21] Fırat Ö., Alici M.F. 2012. Assessment of Pollution in Atatürk Dam Lake (Adiyaman, Turkey) Using Several Biochemical Parameters in Common Carp, *Cyprinus carpio* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89: 474-478.
- [22] Karadağ H., Fırat Ö., Fırat Ö., Use of Oxidative Stress Biomarkers in *Cyprinus carpio* L. for the Evaluation of Water Pollution in Atatürk Dam Lake (Adiyaman, Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92:289-293.
- [23] Yoloğlu E., Uçkun M., Uçkun A.A. 2018. Metal accumulation and biochemical variations in the freshwater mussels (*Unio mancus*) collected from Atatürk Dam Lake, Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*, 79: 60-68.
- [24] SWQR, 2012. Surface Water Quality Regulation, Official Gazette No. 28483 dated November 30, 2012, Ankara.
- [25] Ustaoglu F., Tepe Y. 2018. Determination of Sediment Quality of Pazarsuyu Stream (Giresun, Turkey) by Multivariate Statistical Methods. *Turkish Agriculture-Food Science and Technology Journal*, 6 (3): 304-312.
- [26] MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A. 2000. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39: 20-31.
- [27] Krauskopf KB. 1979. Introduction to geochemistry. International series in the earth and planetary sciences. McGraw-Hill, Tokyo.
- [28] Eqani S., Kanwal A., Ali S.M., Sohail M., Bhowmik A.K., Ambreen A., Ali, N., Fasola M., Shen H. 2016. Spatial distribution of dust-bound trace metals from Pakistan and its implications for human exposure. *Environmental Pollution*, 213: 213-222.
- [29] ATSDR. 2012. Agency for Toxic Substance and Disease Registry. Toxicological profile for cadmium. Available at: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>
- [30] FAO (Food and Agricultural Organization), 2003. Retrieved 2012. From Heavy Metal Regulations Faolex: <http://faolex.org/docs/pdf/eri42405.pdf>. WHO (World Health Organization) Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium 2011 WHO Technical Report Series.
- [31] Dural M., Göksu M., Özak A. 2007. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla Lagoon. *Food Chemistry*, 102: 415-421.
- [32] Waalkes M.P., Berthan G. 1995. Handbook on Metal-Ligand Interactions of Biological Fluids. Vol. 2. New York, p. 471-482.
- [33] Schmitt C.J., Caldwell C.A., Olsen B., Serdar D., Coffey M. 2002. Inhibition of erythrocyte deltaaminolevulinic acid dehydratase activity in fish from waters affected by lead smelters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77: 99-119.
- [34] Nouredine D., Miloud S., Abdelkader A. 2005. Effect of lead exposure on dopaminergic transmission in the rat brain. *Toxicology*, 207 (3): 363-368.
- [35] Patel M., Rogers J.T., Pane E.F., Wood, C.M. 2006. Renal responses to acute lead waterborne exposure in the freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology*, 80: 362-371.
- [36] Saha N., Zaman M.R. 2013. Evaluation of possible health risks of heavy metals by consumption of foodstuffs available in the central market of rajshahi city, Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3867-3878.
- [37] Oymak S.A., Akin H.K., Doğan N. 2009. Heavy metal in tissues of *Tor grypus* from Atatürk Dam Lake, Euphrates River-Turkey. *Biologia* 64 (1): 151-155.
- [38] Karadede H., Ünlü E. 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41 (9): 1371-1376.
- [39] Tanyeli A., Akdemir F.N.E., Eraslan E., Güler M.C., Sebin S.Ö., Gülçin İ. 2020. Role of p-coumaric acid in alleviating of the intestinal ischemia/reperfusion injury. *Kocaeli Medical Journal*, 9 (1): 166-173.

- [40] Mahfouz R., Sharma R., Sharma D., Sabanegh E., Agarwal A. 2009. Diagnostic value of the total antioxidant capacity (TAC) in human seminal plasma. *Fertility and Sterility*, 91: 805-811.
- [41] Hamed M., Soliman H.A.M., Osman A.G.M., Sayed A.E.H. 2020. Antioxidants and molecular damage in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) after exposure to microplastics. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 14581-14588.
- [42] Sayed A.E.H., Abu Khalil N.S. 2016. Oxidative Stress Induction in Monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758): A Field Study on the Side Effects of Methyltestosterone. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 7 (3): 416.
- [43] Bagnyukova T.V., Luzhna L.I., Pogribny I.P., Lushchak V.I. 2007. Oxidative stress and antioxidant defenses in goldfish liver in response to shortterm exposure to arsenite. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 48: 658-665.
- [44] Torreblanca A., Del Ramo J., Diaz-Mayans J. 1989. Gill ATPase Activity in *Procambarus clarkii* as an Indicator of Heavy Metal Pollution. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 42: 829-834.
- [45] Marigoudar, S.R. 2012. Cypermethrin induced some pathophysiological and biochemical changes in the freshwater teleost, *Labeo rohita* (Hamilton). Ph. D Thesis, Karnatak University, Dharwad, India.
- [46] Thaker J., Chhaya J., Nuzhat S., Mittal R. 1996. Effects of chromium (VI) on some iondependent ATPases in gills, kidney and intestine of a coastal teleost *Periophthalmus dipsas*. *Toxicology*, 112: 237-244.
- [47] Chhaya J., Thaker J., Mittal R., Nuzhat S., Mansuri A.P., Kundu R. 1997. Influence of Textile Dyeing and Printing Industry Effluent on ATPases in Liver, Brain, and Muscle of Mudskipper, *Periophthalmus dipsas*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 58: 793-800.
- [48] Watson T.A., Beamish F.W.H. 1980. Effects of zinc on branchial ATPase activity in vivo in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 66: 77-82.
- [49] Leitemperger J., Menezes C., Santi A., Murussi C., Lopez T., Costa M., Nogueira L.S., Loro V.L. 2016. Early biochemical biomarkers for zinc in silver catfish (*Rhamdia quelen*) after acute exposure. *Fish Physiology and Biochemistry*, 42: 1005-1014.
- [50] Morga I.J., Henryb R.P., Wood, C.M. 1997. The mechanism of acute silver nitrate toxicity in freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is inhibition of gill Na⁺ and Cl⁻ transport. *Aquatic Toxicology*, 38: 145-163.
- [51] Yoloğlu E. 2019. Assessment of Na⁺/K⁺-ATPase, Mg²⁺-ATPase, Ca²⁺-ATPase, and total atpase activities in gills of freshwater mussels exposed to penconazole. *Commagene Journal of Biology*, 3: 88-92.
- [52] Uçkun A.A., Öz Ö.B., 2020a. Acute exposure to the fungicide penconazole affects some biochemical parameters in the crayfish (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823). *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 35626-35637.
- [53] Uçkun A.A., Öz Ö.B., 2020b. Evaluation of the acute toxic effect of azoxystrobin on non-target crayfish (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) by using oxidative stress enzymes, ATPases and cholinesterase as biomarkers. *Drug and Chemical Toxicology*, <https://doi.org/10.1080/01480545.2020.1774604>.

Araştırma Makalesi / Research Article

Sır Baraj Gölet’inde Yaşayan Balık Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Ölçülmesi (Kahramanmaraş, Türkiye)

Hanifi ÇAM*

*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kahramanmaraş, TÜRKİYE
(ORCID: 0000-0002-9980-0037)*

Öz

Kahramanmaraş il sınırları içerisinde yer alan Sır Baraj Gölet’i, Ceyhan, Körsülü ve Aksu nehirleri ile beslenmektedir. Gölet, en fazla Aksu Çayı tarafından aşırı bir şekilde kirletilmektedir. Gölet’in farklı bölgelerinde kültür balıkçılığı yapılarak değişik türlerde balıklar yetiştirilmektedir. Bölgede yer yer balık ölümlerinin gerçekleşmesinden dolayı, göletin radyoaktif açıdan değerlendirilmesinin gerekli olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple gölette yaşayan çeşitli balık türlerinden örnekler alındı. Bu örneklerin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ölçüldü. Toplam alfa radyoaktivitesi en fazla Alabalık ’da görülürken en az Çupra ’da görüldü. Toplam beta radyoaktivitesi ise en fazla yine Alabalık ’da görülürken en az yayın balığında görüldü. Tespit edilen sonuçlar, değerlendirildiğinde radyoaktif olarak, insan sağlığı açısından bir sorun oluşturmadığı ancak balık ölümlerinin kimyasal kirlilikten kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Toplam Alfa, Toplam Beta, Balık, Radyoaktivite

Measurement of Gross Alpha and Beta Radioactivity Levels in Fish Samples Living in Sır Dam Pond (Kahramanmaraş, Turkey)

Abstract

Sır Dam Pond, located within the Kahramanmaraş province borders, is fed by Ceyhan, Körsülü and Aksu rivers. Pond is heavily polluted, especially by Aksu Stream. In different parts of pond, different types of fish are grown by fish farming. It was thought that pond should be evaluated in terms of radioactivity due to the fact that there were some fish deaths in the region. For this reason, samples from various fish species living in the pond were taken. The gross alpha and gross beta radioactivity levels of these samples were measured. While total alpha radioactivity was seen mostly in Trout, it was least seen in Bream. While total beta radioactivity was mostly seen in Trout, it was least seen in catfish. When the detected results are evaluated, it is thought that radioactivity does not pose a problem in terms of human health, but fish deaths may have resulted from chemical pollution.

Keywords: Gross Alpha, Gross Beta, Fish, Radioactivity

1. Giriş

Nüfusun sürekli artışı ve sanayileşme sonucu, özellikle sularda ağır metal seviyelerinin yükselmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Ağır metaller jeolojik ve antropojik kaynaklardan sürekli artarak sulara karışmaktadır. Ağır metaller, eser seviyede bulunsa dahi suda yaşayan canlıların bünyelerinde birikerek zehir etkisi yapabilmektedir [1-4]. Balık, gibi sucul organizmalar buldukları ortamlardan önemli miktarda kirleticileri bünyelerinde biriktirdiğinden dolayı, sucul ortamların kirliliği ve izlenmesi çalışmalarında yoğun bir şekilde ve sürekli olarak kullanılmaktadır [5-7]. Genellikle, balık ve diğer sucul organizmalarda ağır metal birikimleri dokulara göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin, balıkların karaciğer dokuları, solungaç ve kas dokuya kıyasla daha yüksek birikimler göstermektedir [8-

*Sorumlu yazar: hanifi70@gmail.com

Geliş Tarihi: 22.03.2021, Kabul Tarihi: 13.07.2021

10]. Ayrıca, balıkların eser seviyede metal kirlenmesi ve insanların tüketimindeki artış miktarı, potansiyel risklerin tahmininde, tatlı su sistemlerinin belirgin özelliklerinden birisidir [11-13]. Ağır metallerin alınması, solungaç, besin yolu ve deri aracılığı ile olmaktadır. Alınan bu ağır metaller, taşıyıcı proteinlere bağlanarak kan yolu ile dokulara ve oradan da organlara taşınmaktadır. Böylece burada yüksek konsantrasyonlara ulaşmaktadır [14,15]. Ayrıca ağır metal birikimlerinin, balıkların doku ve organlarındaki artışı, farklı kan ve enzim değerleri, büyüme ve gelişmeyi etkilediği belirtilmiştir [16].

Su ve atık sudaki radyoaktif kirlilik, doğal veya insanlar tarafından oluşturulan yapay kaynaklardan meydana gelmektedir. Fabrika ve şehir atıkları, nükleer yakıtların kullanılması, radyoizotopların tıpta ve endüstride kullanılması ve nükleer silahların denenmesinden kaynaklanan atmosferdeki radyoaktif atıklar ve ayrıca radyoaktif çekirdeklerden meydana gelen kirlilik, elemental ve radyoaktif kirliliğe neden olmaktadır [17,18].

Yeryüzü kaynaklı olan doğal radyoaktivite, dünyanın oluşumundan bu yana bütün canlıları etkilemektedir. Doğal radyoaktifliğin neden olduğu doğal radyasyon, uzaydan gelen kozmik ışınlar, kaya, toprak, su ve hava içerisindeki doğal olarak oluşmuş radyo çekirdeklerin bozunmaları sonucu yayılan ışınlardan oluşmaktadır. Doğal radyoaktif elementler, dünyanın hemen hemen her yerinde bulunmaktadır [19].

Doğal radyasyonların temel seviyeleri, bölgenin jeolojik ve coğrafik yapısına bağlı olarak da değişiklik göstermektedir [20]. Toprak ve kayaların mineralojik yapıları ile coğrafi yükseklik, bölgenin temel radyasyon seviyesini etkilemektedir. Bir bölgenin veya bir yerin doğal temel seviye radyasyonunun belirlenmesi, onun radyolojik açıdan incelenmesi ve toprağında, suyunda ve havasında bulunan doğal radyoaktivitenin belirlenmesi gerekir.

Radyoaktif kirlenmenin büyüklüğünü tespit etmek için alfa ya da beta yayan radyoizotopların tayinleri, birçok radyo kimyasal ayırma ve saflaştırma işlemleri yapmak gerektiğinden dolayı, her bir radyoizotopun tayini oldukça zaman alıcı ve pahalıdır. Bu yüzden radyoaktif kirliliğin tespitinde öncelikli olarak toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin tespit edilmesi ve limit değerlerin üzerinde bir aktivite ölçülmesi ile radyoaktif kirlilikten söz edebiliriz.

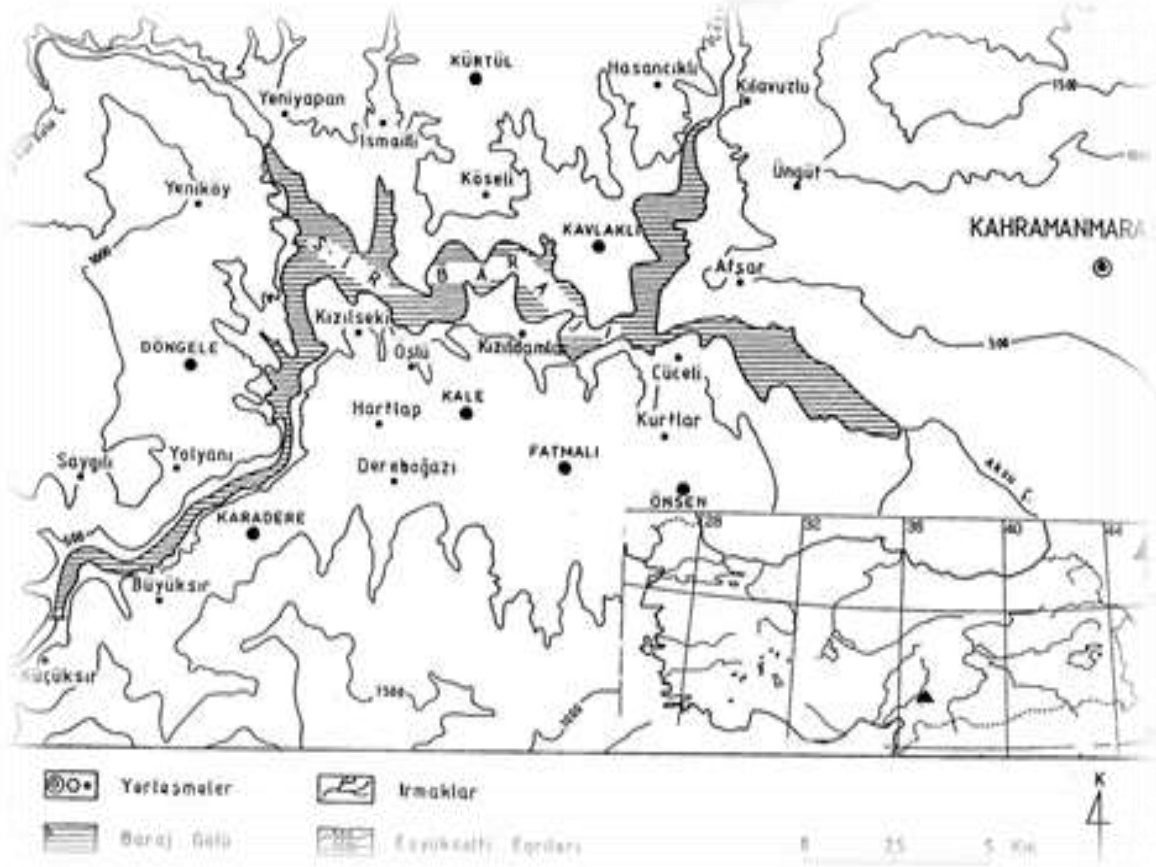
Sır Baraj Gölet'i, sanayi, kanalizasyon ve evsel atıklar ile sürekli kirletilmektedir. Gölette yer yer balık ölümlerinin gerçekleşmesinden dolayı göletin, radyoaktif açıdan değerlendirilmesi gerektiği düşünülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Araştırma sahası olan Kahramanmaraş ili Sır Baraj Gölü, Kahramanmaraş ilinin Güney-Batı'sında 45 km. mesafede ve 12.950 km²'lik bir havzaya sahiptir. Ceyhan Nehri üzerinde kurulan bu baraj gölü, normal su kotunda 47,5 km²'lik bir alana sahiptir. Ayrıca girintili ve çıkıntılı bir görünüm arz etmekte olup baraj kıyıları az engebeli ve düzlük alanlardan oluşmaktadır [21]. Gölet'i besleyen ana su kaynakları Ceyhan, Körsülü ve Aksu nehirleridir. Baraj Gölet'inin çevresinde 7 kasaba ve bunlara bağlı 20 köy bulunmaktadır. Gölet kenarına yakın olan Afşar, Cüceli, Kızıldamlar ve Kızılseki köylerinde tarım ve hayvancılığın yanı sıra balıkçılık da yapılmaktadır. Ayrıca Gölette kültür balıkçılığı da yapılmakta olup Dünya'nın birçok ülkesine çeşitli türlerde balık ihracatı yapılmaktadır.

Sır Baraj Gölet'ini kirleten başlıca faktörler; Kahramanmaraş ilinin kanalizasyon ve çöplüğünün yanı sıra özellikle sanayi atıklarının Aksu Çayı'na karışması ve buradan da Sır Baraj Göleti'ne karışmasıyla gerçekleşmektedir. Sularının büyük bir kısmını karstik kaynaklardan alan Aksu Çayı, yaklaşık 1.740 km²'lik bir sahanın sularını drene ettikten sonra Kahramanmaraş Ova'sında Sır Baraj Göleti'ne dökülmektedir [22,23]. Ayrıca şehirdeki fabrikaların çoğunda arıtma sisteminin olmaması veya olanların da maliyeti arttırdığı gerekçesiyle çalıştırılmaması çalışmanın önemini daha da arttırmaktadır. Araştırma sahasının genel bir görünümü Şekil 1'de verilmektedir.

Ayrıca Şekil 2 ve 3'de Aksu Nehrinin Sır Baraj Gölet'ine dökülmeden önceki ve sonraki durumu görülmektedir.



Şekil 1. Sır Baraj Gölü'nün genel görünümü [24].



Şekil 2. Aksu Nehri'nin Sır Baraj Gölü'ne dökülmeden önceki durumu [25,26].



Şekil 3. Aksu Nehri'nin Sır Baraj Gölet'ine döküldükten sonraki durumu [25,26].

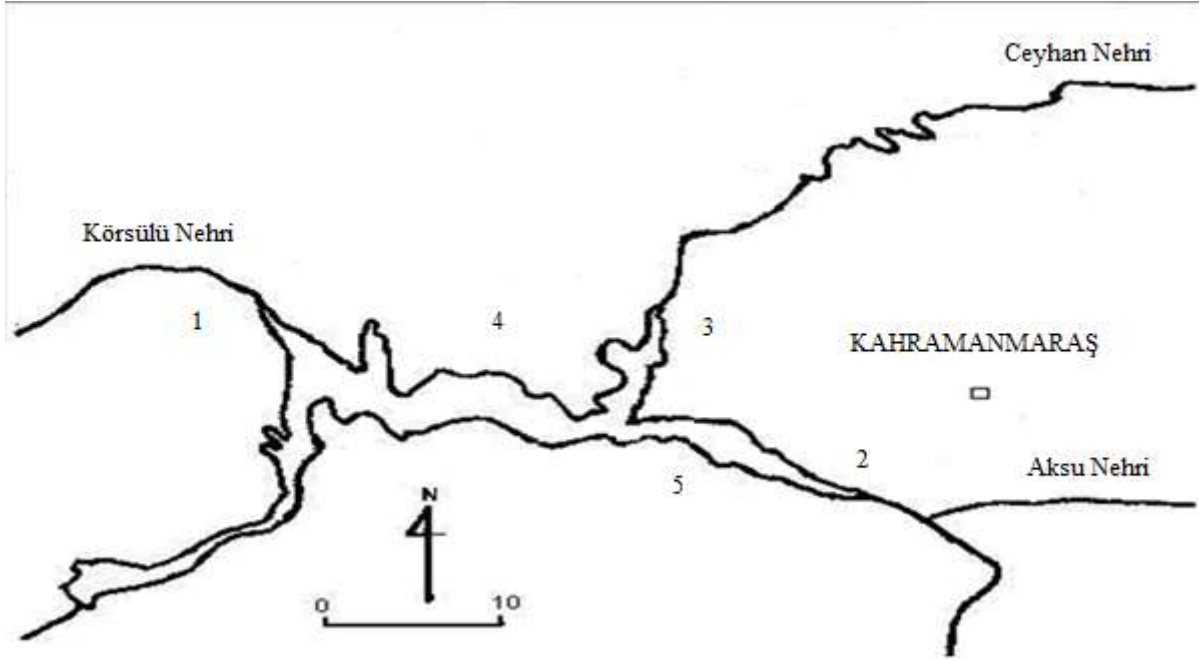
Sır Baraj Gölet'inin tabanı, Ceyhan Nehri ve Aksu Çayı'nın taşıdıkları alüvyonların birikmesiyle oluşmaktadır. Araştırma havzasını oluşturan alüvyon toprakların materyalini değişik yaştaki formasyonlar oluşturmaktadır. Bu formasyonların en yaygın olanı kalkerler olduğundan alüvyon topraklar kireçlidir. Araştırma sahasının geniş bir kısmını kahverengi orman toprakları çevrelemektedir. Toprak profilinde ise kahverengi hâkimdir.

Çalışma sahamız olan Sır Baraj Gölet'i ise bu jeolojik birimlerden olan Post Alpin Formasyonu hâkimdir. Post Alpin Formasyonları; Miosen, Pliosen ve Kuaterner birimleri ile ifade edilmektedir. Çalışma istasyonlarımızın geniş bir alanını kapsayan şelmo formasyonu, Sır Baraj Gölet'i çevresinde geniş bir şekilde mostra vermektedir. Karasal kırıntılardan oluşan ve egemen litolojisi konglomera olan birim, tabanda sarımsı yeşil renkli kil taşı, silttaşı düzeyi ile başlar. Üste doğru kırmızı renkli çamur taşı, silttaşı, grimsi yeşilimsi, yer yer kırmızımsı silttaşı-kumtaşı ve olgun polijenik elemanlı konglomera-kumtaşı ardalanması ile devam etmektedir.

Çalışma sahamızın Aksu Çayı'nın Baraj Gölet'ine katıldığı bölge ise Besni Formasyonu olarak adlandırılmaktadır. Formasyon genellikle 1-2 m kalınlıkta, açık gri, yeşilimsi renkli, taneleri boylanmalı, düzensiz tabakalamalı, peridotit çakıllı, karbonat çimentolu konglomeralar ile başlar ve üste doğru konglomeraların boyları incelererek kırıntılı, açık kırmızımsı, sarımsı renkli kalkerlere geçmektedir. En üst bölümde ise kırmızı ve pembe renkli, köşeli kırıntılardan oluşan kumtaşı ile son bulmaktadır [22].

2.1. Örneklerin toplanması

Sır Baraj Gölet'inin kirlenmesine sebep olan Aksu Nehri'nin, gölete dökülmeden önceki ve döküldükten sonraki durumu, özellikle Alabalık başta olmak üzere çeşitli türlerde kültür balıkçılığının yapılmış olduğu bölgeler ve balık ölümlerinin gerçekleştiği yerler ile göletin toprak ve kayaç yapısında dikkate alınarak Şekil 4' de gösterildiği gibi istasyonlar belirlenmiştir. Belirlenen bu yerlerden balık örnekleri, üretim kafeslerinden ve bölgedeki diğer balıkçılardan temin edilerek buz korumalı kaplar içerisinde laboratuvar ortamına getirilmiştir.



Şekil 4. Sır baraj Göllet'inde belirlenen istasyonlar [21].

2.2. Örneklerin sayıma hazır hale getirilmesi

Laboratuvar ortamına getirilen balık örnekleri bir takım ön işlemlerden geçirildikten sonra alüminyum folyolar içerisinde sarılarak 105°C 'de etüv fırınında 7 gün boyunca kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Balıkların yağ oranı yüksek olduğunda geç kurummuştur. Kurutma işlemi esnasında buharlaşma ile kaybolacak radyoaktivite miktarı ihmal edilebilecek düzeylerde olduğu için hesaplamalara katılmamıştır. Ayrıca balık ölümlerinin gerçekleştiği Aksu bölgesinde bol miktarda bulunan, sazan balığının karaciğer ve derisine 105°C 'de etüv fırınında 3 gün boyunca kurutma işlemi uygulanmıştır. Bu süreç sonucunda tamamen kuruması sağlanan örnekler, havanda dövülerek toz haline getirilmiştir. Daha sonra örnekler 100 mesh gözenekli özel bir elek kullanılarak elenmiş ve tek kullanımlık temiz plastik poşetler içerisinde etiketlenmiştir. Sonra bu örnekler toplam alfa sayımı için büyük planşet içerisinde 25 mg ve toplam beta sayımı için küçük planşet içerisinde 10 mg numune homojen bir dağılım sağlayacak şekilde dağıtılmıştır. Yukarıda bahsedilen süreçler sonucunda sayıma hazır hale getirilen örnekler, uygun detektör sistemleri kullanılarak toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ölçülmüştür.

2.3. Kullanılan sayım sistemleri ve sayaçlar

Bu çalışmada; örneklerin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri için 7286 düşük seviyeli alfa sayıcısı, toplam beta radyoaktivite ölçümleri için ise penceresiz sintilasyon sayacı ve BP4 beta propolu sintilasyon sayacı kullanılmıştır.

7286 düşük seviyeli alfa sayıcısı; 44 mm çapında ZnS katmanlı katı bir inorganik sintilatör ile EMI 6097B tür bir foto çoğaltıcı tüp ve sayıcıdan oluşmaktadır. Sayıcı kısmına 4 adet birbirinden bağımsız foto çoğaltıcı tüp bağlanabilmektedir. Her bir foto çoğaltıcı tüp kendine ait ayarlanabilir yüksek voltaj kaynağına ve diskriminatör devresine sahiptir. Bu sistem esas olarak çok zayıf temel radyasyon ölçümlerinde ve düşük sayım hızlı uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzu temel alınarak yapıldıktan sonra, örneklerin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri için kalibrasyon faktörü kullanılmıştır [27].

Penceresiz sintilasyon sayacı; sintilatör ve bir foto çoğaltıcı tüpten ibarettir. Penceresiz sintilasyon sayacı katı örneklerden zayıf enerjili beta radyasyonu ya da alfa radyasyonu ölçümleri için

düzenlenmiştir. Bu sintilasyon sayacının penceresiz olması ve sintilatör ile örnek arasındaki mesafenin 1,6 mm'den daha küçük olması sayım veriminin yüksek olmasını sağlamaktadır. Sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzu temel alınarak yapıldıktan sonra örneklerin toplam beta radyoaktivite ölçümleri için kalibrasyon faktörü kullanılmıştır [28].

BP4 beta proflu sintilasyon sayıcı; BP4 tipi bir sintilatör ve foto çoğaltıcı tüpten ibarettir. Sintilatör ve foto çoğaltıcı tüp, minimum 3,2 cm kalınlıkla %4 oranında antimion içeren kurşun bir blok içerisine yerleştirilmiştir. Bu donanım zayıf enerjili beta radyasyonu ölçümleri için düzenlenmiştir [29].

2.4. Örneklerin aktivite konsantrasyonlarının hesaplanması

Örneklerin toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A_{\alpha} = [(NS \pm SS) \times VDF] / 2,22 \quad (1)$$

$$A_{\beta} = [(NS \pm SS)] / 2,22 \times D \quad (2)$$

bu denklemde; A_{α} ve A_{β} pCi cinsinden aktivite, NS ve SS sırası ile örneğin dakikadaki net sayım sayısı ve standart sapması (cpm), VDF verim düzeltme faktörüdür (dpm/cpm), 2,22 dönüşüm faktörü (1 pCi = 2,22 dpm), D ilgili kalibrasyon eğrisinden hesaplanan beta verim faktörü (cpm/dpm)'dür [30-33].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sır Baraj Gölet'inde Üretilen ve Doğal Olarak Yetişen Balık Türlerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyeleri

Kahramanmaraş, Sır Baraj Gölet'inde doğal olarak ve üretim yoluyla yapılan çeşitli balık türlerinde toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri Tablo 1 ve Şekil 5'de verilmiştir.

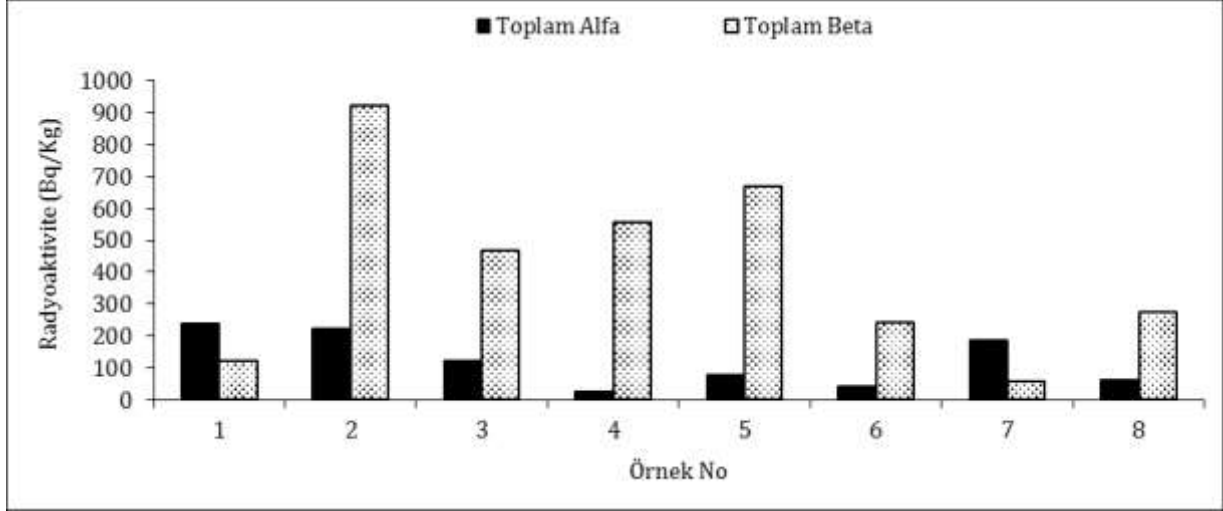
Tablo 1. Sır Baraj Gölet'inde üretilen ve doğal olarak yetişen balık türlerinde toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri

Örnek No	Örnek Alınan Bölge ve Balık Türü	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/Kg)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/Kg)
1	Alabalık (Kızılseki)	238.6±33	121.6±30
2	Sarı Balık (Kızılseki)	42.4±30.5	243.8±25.2
3	Sazan Balığı (et, Aksu)	124±33.5	469±29
4	Sazan Balığı (Deri, Aksu)	DLA	558.5±24.3
5	Sazan Balığı (Ciğer, Aksu)	79±36.3	669.6±36.4
6	Alabalık (Hasancıklı)	222.9±41.9	921.5±45.7
7	Yayın Balığı, (Kavlaklı)	187.7±33.4	57.1±33.1
8	Çupra (Cüceli)	61±32.7	276.5±28.

Tablo 1'den, toplam alfa radyoaktivitesi en düşük 42.4±30.5 Bq/Kg lık bir değer ile Kızılseki bölgesinde doğal olarak yetişen Sarı balık örneğinde görülürken en yüksek ise 238.6±33 Bq/Kg bir değer ile yine Kızılseki bölgesinde Alabalık örneğinde görülmüştür. Bu balık suni olarak yetiştirilerek yurt içi ve yurt dışına ihraç edilmektedir. Toplam beta radyoaktivitesi ise, en düşük Kavlaklı bölgesinde doğal olarak beslenen Yayın(et) balığı örneğinde 57.1±33.1 Bq/Kg olarak hesaplanırken en yüksek ise Hasancıklı bölgesinde, suni olarak yetiştirilen alabalık örneğinde 921.5±45.7 Bq/Kg olarak hesaplanmıştır.

Hasancıklı bölgesinde üretilen Alabalıklarda toplam beta radyoaktivite seviyesinin yüksek oluşu dikkat çekicidir. Bunun nedeni, kullanılan yemlerden kaynaklanabileceği gibi bölgenin toprak ve kayaç yapısından da kaynaklanabilir. Alabalık üretim tesislerinin, Ceyhan nehrinin Sır Baraj Gölet'ine döküldüğü bölgede olması, nehrin gölete taş, toprak vb. partiküllerle birlikte taşımış olduğu radyoaktif parçacıkların etkisi de olabilir. Aksu bölgesinde doğal olarak yetişen Sazan balığının, etinde, toplam beta radyoaktivite seviyesinin 469±29 Bq/Kg, derisinde 558.5±24.3 Bq/Kg ve ciğerlerinde

669.6±36.4Bq/Kg olması kayda değerdir. Toplam beta radyoaktivite seviyesinin balığın ciğerlerinde yüksek çıkmasının sebebi toksik maddelerin ciğerlerde birikmesinden kaynaklanmış olabilir. Doğal sulara WHO'nun tavsiye ettiği toplam alfa radyoaktivitesinin üst sınır değeri 0,5Bq/L iken toplam beta radyoaktivitesinin üst sınır değeri ise 1 Bq/Ldir[34]. Ancak balık çeşitleri ile ilgili toplam alfa ve beta radyoaktivitesi için WHO'nun belirlediği herhangi bir sınır değer olmayıp balıklarda toplam beta radyoaktivitesinin yüksek çıkmasının nedeni, beta yayıcılarının alfa yayıcılardan fazla olmasından kaynaklanmış olabilir. Baraj göletinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesinin yükselmesine 238U ve 232Th ve 40K radyonüklid izotoplarının katkı sağlamış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5. Sır Baraj Göleti'nde üretilen ve doğal olarak yetişen balık türlerinde toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Kahramanmaraş ili, Sır Baraj Gölet'i ve göleti besleyen Aksu nehrinin gölete döküldüğü yerde belirlenen istasyonlardan alınan balık örneklerinde toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri belirlenerek değerlendirildi. Sonuçların yapılan benzer çalışmalar ile uyum içinde olduğu görüldü [21].

Çalışma alanı olarak Sır Baraj Gölet'inin seçilme sebebi ise, gölette yer yer balık ölümlerinin gerçekleşmesi ve bölgenin jeolojik yapısının yanında özellikle göleti besleyen kollardan biri olan Aksu nehri ile baraj göletinin hızlı bir şekilde kirlenmesidir. Ayrıca yine fabrikaların kimyasal atıkları, yine baraj göletinin kirlenmesine sebep olmaktadır.

Bölgenin hâkim olan litolojisi, konglomera olan birim, tabanda sarımsı yeşil renkli kil taşı ve silttaşı seviyesi ile başlayıp, Üste doğru kırmızı renkli çamur taşı, silttaşı, kumtaşı ve olgun polijenik elemanlı konglomera-kumtaşı ardalanması ile devam etmektedir. Daha yukarılara doğru çıkıldıkça bazaltlar oluşmaktadır [4]. Göletin Aksu ve Cüceli istasyonlarında kısmen kil taşı, silttaşı, çamur taşı, kumtaşı ve bazaltlardan oluştuğundan göletin doğal radyoaktivitesine bir katkı yaptığı düşünülebilir. Özellikle kumtaşının içerisinde Uranyum grubunun yoğunlaşma eğiliminde olduğu bilinmektedir [35].

İlerde bu bölge üzerinde yapılacak olan çalışmalarda, insan, bitki ve hayvan sağlığı için hayati önem taşıyan radyoaktivite çalışmalarının derinleştirilerek insan ve hayvanlardan alınacak doku ve kan örnekleri ile maruz kaldıkları radyasyon dozları belirlenmelidir. Bölgede daha detaylı ve süreklilik arz eden bir radyoaktivite taramasının yapılması ve radyasyonun oluşturabileceği tehlikelere karşı tedbirlerin geliştirilmesi canlıların daha az radyasyon dozuna maruz kalmaları bakımından faydalı olacaktır. Ayrıca fabrikaların arıtma tesislerini kurarak çalıştırması ve şehrin çöplüğünün uygun bir yere taşınmasının baraj göletinin radyoaktivite seviyesinin daha alt seviyelere inmesi bakımından faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, gelecekte bu bölgede yapılacak çalışmalar için referans olarak kullanılabilir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Karadede, H. ve Ünlü, E. 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41 (9): 1371-1376.
- [2] Wagner, A., and Boman, J. 2003. Biomonitoring of trace elements in muscle and liver tissue of freshwater fish. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 58 (12): 2215-2226.
- [3] Eisler, R. 1988. Lead Hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Biological Report 85. Laurel, Maryland: US Fish and Wildlife Service.
- [4] Nimmo, D. R., Willox, M. J., Lafrancois, T. D., Chapman, P. L., Brinkman, S. F., and Greene, J. C. 1998. Effects of metal mining and milling on boundary waters of Yellowstone National Park, USA. *Environmental management*, 22 (6): 913-926.
- [5] Türkmen, A., Tepe, Y. ve Türkmen, M. 2008. Metal levels in tissues of the European Anchovy, *Engraulis encrasicolus* L., 1758, and Picarel, *Spicara smaris* L., 1758, from Black, Marmara and Aegean seas. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 80: 521-525.5
- [6] Türkmen, A., Tepe, Y., Türkmen, M. ve Mutlu, E. 2009. Heavy metal contaminants in tissues of the Garfish, *Belone belone* L., 1761, and the Bluefish, *Pomatomus saltatrix* L., 1766, from Turkey waters. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 82: 70-74.
- [7] Türkmen, A., Tepe, Y., Türkmen, M., ve Ateş, A. 2012. Investigation of Metals in Tissues of Fish Species from Akyatan Lagoon. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21 (11c): 3562-3567.
- [8] Tuzen, M. 2009. Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 47: 1785-1790.
- [9] Carneiro, C.D., Marsico, E.T., de Jesus, E.F.O., Ribeiro, R.D.R. ve Barbosa, R.D. 2011. Trace elements in fish and oysters from Sepetiba Bay (Rio de Janeiro-Brazil) determined by total reflection X-ray fluorescence using synchrotron radiation. *Chemical Ecology*, 27: 1-8.
- [10] Kandemir, S., Doğru, M.İ., Örün, İ., Doğru, A., Altaş, L., Erdoğan, K., Örün, G. ve Polat, N. 2010. Determination of Heavy Metal Levels, Oxidative Status, Biochemical and Hematological Parameters in *Cyprinus carpio* L., 1758 from Bafra (Samsun) Fish Lakes. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9: 617-622.
- [11] Allen-Gil, S. M., and Martynov, V. G. 1995. Heavy metal burdens in nine species of freshwater and anadromous fish from the Pechora River, northern Russia. *Science of the Total Environment*, 160: 653-659.
- [12] Mansour, S. A., and Sidky, M. M. 2002. Ecotoxicological studies. 3. Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Governorate, Egypt. *Food Chemistry*, 78 (1): 15-22.
- [13] Barak, N. E., and Mason, C. F. 1990. Mercury, cadmium and lead concentrations in five species of freshwater fish from eastern England. *Science of the Total Environment*, 92: 257-263.
- [14] Papagiannis, I., Kagalou, I., Leonardos Petridis, D., and Kalfakaou, V. 2004. Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Pamvotis (Greece), *Environmental International* 30: 357-362.
- [15] Dick, P. T., and Dixon, D. G. 1985. Changes in circulating blood cell levels of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, following acute and chronic exposure to copper. *Journal of Fish Biology*, 26 (4): 475-481.
- [16] Dave, G. and Xiu, R. 1991. Toxicity of mercury, copper, nickel, lead, and cobalt to embryos and larvae of zebrafish, *Brachydanio rerio*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 21 (1): 126-134.
- [17] Mutluay, H., Demirak, A. 1996. Su Kimyası. Beta Basın Yayın Dağıtım, İstanbul, 83-84.
- [18] Banks, D., Royset, O., Strant, T., Skarphagen, H. 1995. Radioelement (U, Th, Rn) Concentrations in Norwegian Bedrock Groundwaters, *Environmental Geology*, 25: 165-180.

- [19] Şahin, Y. 1999. Çekirdek Fiziğinin Esasları. Çeviri, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 1-340.
- [20] Küçükönder, E. 2009. Kahramanmaraş Yöresinde Doğal Radyoaktivite Tayini, Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [21] Çam, H. 2011. Kahramanmaraş Sır Baraj Göletinde Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi ve Elemental Analiz. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 1-166.
- [22] Korkmaz, H. 2001. Kahramanmaraş Havzası'nın Jeomorfolojisi. İl Kültür Müdürlüğü Yayınları, Kahramanmaraş, No:3, 37-39.
- [23] Torpğlu, E. 2006. Aksu Çayı'nda Akarsu Kirliliği, Coğrafi Bilimler Dergisi, Kahramanmaraş, 1-103.
- [24] Kara, C. 1999. Sır Barajı Gölü'nde Yaşayan Chondrostoma regium (Heckel, 1843) ve Leuciscus cephalus (Linneaus, 1758)'un Bazı Biyolojik Özellikleri, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [25] Kahramanmaraş'ta Aksu Çayı 2018. Aksu Çayı'nda kirlilik <http://www.marasmanset.com/guncel/aksu-cayi-tum-kirliligiyle-ulusal-basinda-h22214.html> (Erişim Tarihi: 15.02.2021).
- [26] Kahramanmaraş'ta yaşam, 2020. Kahramanmaraş'ta Aksu Çayı'nın kirletilmesi. <https://www.kahramanmarastv.com/yasam/bir-yandan-korona-bir-yandan-fabrika-atiklari-hayatimizi-tehdit-etmeye-h797.html> (Erişim Tarihi: 15.02.2021).
- [27] Littlemore Scientific Engineering (ELSEC), 1994. 7286 Low Level Alpha Counter User Manual. Railway Lane, Littlemore, Oxford OX4 4PZ, UK.
- [28] Ne Technology Limited, 1994a. Instruction Manual for Lead Castle (Type 710C). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
- [29] Ne Technology Limited, 1994b. Instruction Manual for Windowless Scintillation Counter (Type 6001). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
- [30] Alkan, H. 1989. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarının Kirlilik Analizleri, Radyoaktivite ve Ağır Metal Kirliliği, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [31] Karahan G. 1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Doğru, M. And Canbazoğlu, C. 2002. Natural Gross Radioactivity in Various Surface and Tap Waters in Elazığ, Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 254 (2): 379-382.
- [33] Doğru, M., Canbazoğlu, C., Şahin, S. 2002. Determination of The Gross Alpha and Beta Radioactivity in Kangal Curative Water, Sivas-Turkey, Balkan Physics Letters, 10 (3): 130-134.
- [34] World Health Organization (WHO), 2006. Guideline for Drinking Water Quality. Volume 1: Recommendations, 3rd Edition 1st Addendum to vol. 1, Geneva.
- [35] Cowart, J.B., Burnett, W.C. 1994. The Distribution of U and Th Decay-Series Radionuclides in the Environment-A Review, J. Environ. Qual., 23: 651-662.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kahramanmaraş İli Yabani Memeli Faunası

Gökhan YÜRÜMEZ*

Batman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Batı Raman Kampüsü, Batman
(ORCID:0000-0001-5415-2278)

Öz

Yapılan literatür çalışmalarında Kahramanmaraş ilinde yayılış yapması muhtemel 39 memeli hayvan türü belirlenmiştir. 2016-2020 yılları arasında Kahramanmaraş ilinde ve kırsal alanlarında gerçekleştirilen bu çalışmada, 424 lokalitede toplam 55 gün arazi ve gözlem çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında, doğrudan gözlemler için türün görülmesinin yanı sıra dürbün, video kamera, DSLR kamera ve kamera tuzakları kullanılırken; dolaylı gözlem yöntemleri için ayak izleri, dışkı, ağaçların soyulması ve besin artıkları kullanılmıştır. Ayrıca yöre halkı ile anket çalışmaları yapılmıştır. Yapılan arazi ve gözlem çalışmaları sonucu, Kahramanmaraş ilinde 6 takım, 20 familyaya ait 33 memeli türü tespit edilmiştir. Bu çalışmada, yaban kedisi (*Felis silvestris* Schreber, 1777), çizgili sırtlan (*Hyaena hyaena* (Linnaeus, 1758)) ve kızıl geyiğin (*Cervus elaphus* Linnaeus, 1758) Kahramanmaraş ilinden ilk kez kaydı verilmiştir. Türlerin koruma durumları IUCN, BERN, CITES ve MAKK kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoçeşitlilik, Memeli faunası, IUCN, Kahramanmaraş, Türkiye.

Wild Mammal Fauna of Kahramanmaraş Province

Abstract

According to previous studies, 39 mammal species that are likely to spread in Kahramanmaraş province were determined. In this study carried out in Kahramanmaraş province between 2016 and 2020, a total of 55 days of land and observation studies were conducted at 424 localities. During these studies, while binocular, video camera, DSLR camera and camera traps in addition to seeing the species were used for direct observations; the footprints, feces, peeling of trees and food residues were used for indirect observation methods. In addition, surveys were conducted with local people. As a result of field and observation studies, 33 species belonging to 6 orders and 20 families were determined in Kahramanmaraş province. In this study, wild cat (*Felis silvestris* Schreber, 1777), striped hyaena (*Hyaena hyaena* (Linnaeus, 1758)) and red deer (*Cervus elaphus* Linnaeus, 1758) were recorded for the first time from Kahramanmaraş province. The conservation status of these species was evaluated according to IUCN, BERN, CITES and MAKK criteria.

Keywords: Biodiversity, Mammal fauna, IUCN, Kahramanmaraş, Turkey.

1. Giriş

Asya, Afrika ve Avrupa kıtaları arasında bir köprü vazifesi gören ülkemiz gerek zoocoğrafik konumu gerekse farklı iklim kuşaklarına sahip olması nedeniyle birçok Avrupa ağaç türü, Sibiry'a'nın soğuk bölge türleri ile Afrika ve Asya'nın çöl habitatına uyum sağlamış türlerine ev sahipliği yapmaktadır [1-5]. Dünya üzerinde 27 takım, 167 familya ve 1314 cinse ait 6399 tür ile temsil edilen memelilerin, ülkemizin de içinde bulunduğu Palearktik bölgede 13 takım, 42 familyaya ait 843 türü yayılış göstermektedir [1-5]. Ayrıca yüzölçümü ile kıyaslandığında, Avrupa'da 200 memeli türü yayılış gösterirken, tür sayısı ve endemik türlerin varlığı bakımından daha zengin bir biyoçeşitliliğe sahip ülkemizde yaklaşık 170 tür dağılışı göstermektedir [1, 4, 6-11]. Morrison ve ark. [12] yapmış oldukları çalışmada, büyük memeli hayvan türleri açısından bozulmamış bir yapıya sahip olan bölgelerden 3 tanesinin (Türkiye'nin Kafkas bölgesi, Muş-Şırnak-Van bölgesi ve Batı Karadeniz bölgesi) Anadolu'da bulunmasının bu tür çeşitliliğini arttıran sebeplerin başında yer aldığını belirtmişlerdir. Son yıllarda

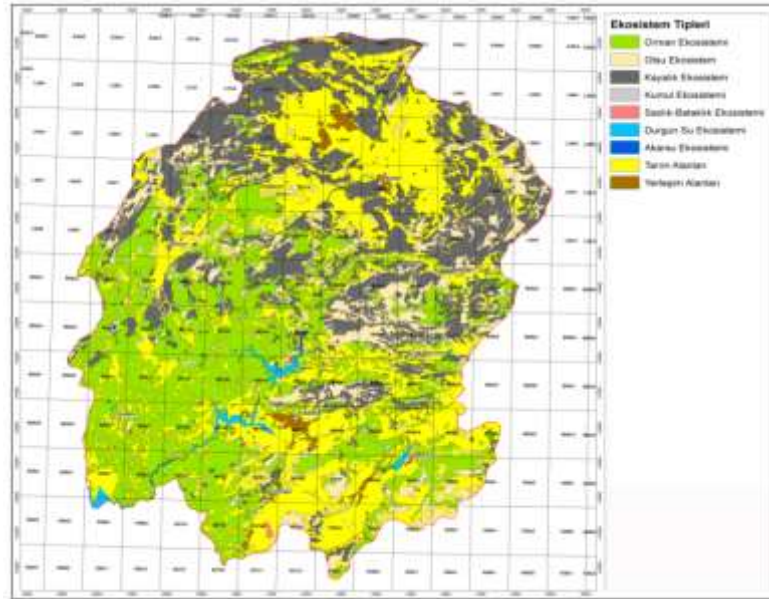
*Sorumlu yazar: gokhan.yurumez@batman.edu.tr
Geliş Tarihi: 27.03.2021, Kabul Tarihi: 02.09.2021

Türkiye memeli hayvan faunasının tespit edilmesi amacıyla yerel ve bölgesel düzeyde birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir [13-31]. Kahramanmaraş ilinin yaban hayatı memeli hayvanları ile ilgili yapılan literatür araştırmalarında 22 tür örneğe dayalı [32-42] ve 17 tür ise örneksiz [43] olmak üzere 39 memeli hayvan türünün yayılış gösterdiği belirlenmiştir. Köksalan [36] yarasalar üzerine yapmış olduğu çalışmada Kahramanmaraş ilinde *Myotis blythii* (Tomes, 1857), *M. myotis* (Borkhausen, 1797), *M. emarginatus* (E. Geoffroy, 1806), *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774), *P. kuhlii* (Kuhl, 1817), *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774), *R. hipposideros* (Bechstein, 1800) ve *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817) türlerinin dağılış gösterdiğini ifade etmiştir. Coşkun ve ark. [34, 39] Kahramanmaraş ilinde yapmış oldukları çalışmalarla yörede *Nannospalax ehrenbergi* (Nehring, 1898) türüne ait dört farklı kromozomal populasyon ile *N. nehringi* (Satunin, 1898) türünün dağılış gösterdiğini belirtirken, Kankılıç ve ark. (2013) [42] Göksun yöresinde *N. xanthodon* (Satunin, 1898) türünün yayılış gösterdiğini ifade etmiştir. Bu çalışmada, Kahramanmaraş ilinin memeli faunasının belirlenmesi, koruma statülerinin anlaşılması ve ülkemizin memeli faunasına katkı yapılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanımızı oluşturan Kahramanmaraş ilinin denizden yüksekliği 350 metreden 3000 metreye kadar değişirken kuzey ve doğu kesimleri kayalık, batı kısımları ormanlıktır. İlin yaklaşık %60'ı dağlık iken %16'sı (Afşin, Elbistan ve Türkoğlu ilçeleri) ovalıktır (Şekil 1) [44]. Yaklaşık 14500 km² alana sahip ilin %35'i ormanlarla kaplıdır. Ancak bu ormanların da %60'ı bozulmuş ormanlardır [45].



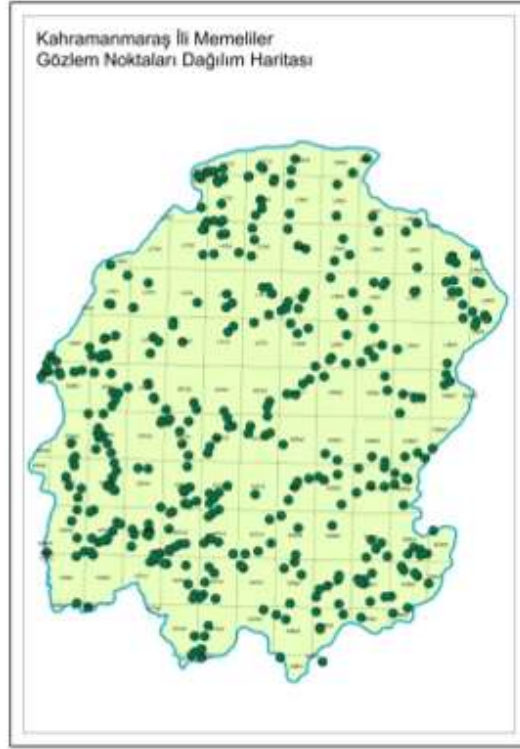
Şekil 1. Kahramanmaraş habitat tipleri ekosistem haritası.

2.2. Çalışma yöntemi

Kahramanmaraş ilinde 2016-2020 yılları arasında 424 lokalitede toplam 55 gün gözlem ve arazi çalışmaları dört mevsim olarak gerçekleştirildi (Şekil 2). Çalışmalar il, ilçe, köy ve bucaklar da dâhil olmak üzere bozkır, kumul, sulak alan, ormanlık, dağlık ve tarım alanlarını kapsayacak şekilde gerçekleştirildi. Vücut büyüklükleri, morfolojik özellikleri ve beslenme alışkanlıkları bakımından değişiklikler gösteren memeli türlerinin örnekleme için farklı örnekleme yöntemlerinden yararlanıldı. Türlerin doğrudan tespit edilmesinde dürbün, video kamera, fotoğraf makinesi (Canon SX60) kullanıldı. Yapılan arazi ve gözlem çalışmalarında memeli türlerinin izleri takip edilerek beslenme ve geçiş gölgeleri belirlendi. Bu belirlenen istasyonlarda memelilerin daha çok aktif oldukları gün doğumu ve gün batımı saatlerinde gözlemler yapıldı. Ayrıca çalışmalar sırasında büyük memeli hayvanlara ait

izlerin yoğun olduğu yerlere her mevsim en az 15 gün arazide kalacak şekilde kamera tuzakları (Bushnell Trophy) yerleştirildi. Aynı zamanda memeli türlerinin dağılışı gösterebileceği alanlarda yuva, ayak izi, dışkı, kıl, yeme-ısıırma izi gibi dolaylı tespit yöntemlerinden yararlandı. Bunların dışında görüntülenmesi çok zor olan küçük memeli türlerinin tespitinde canlı yakalama kapanları kullanılırken, yarasaların tespit edilmesi amacıyla eski ve terk edilmiş meskenler ve mağara içindeki çatlaklar ve küçük kovuklar araştırıldı. Memeli tür teşhisleri Turan [8], Kryštufek ve Vohralík [46-48] ile Wilson ve Reeder [49]'e göre yapılmıştır.

Kahramanmaraş ili memeli hayvan biyoçeşitliliğinin tespit edilmesi ile ilgili yapılan bu çalışmada 1/25.000'lik haritalar altlık olarak kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Kahramanmaraş ili gözlem noktaları dağılım haritası.

3. Bulgular

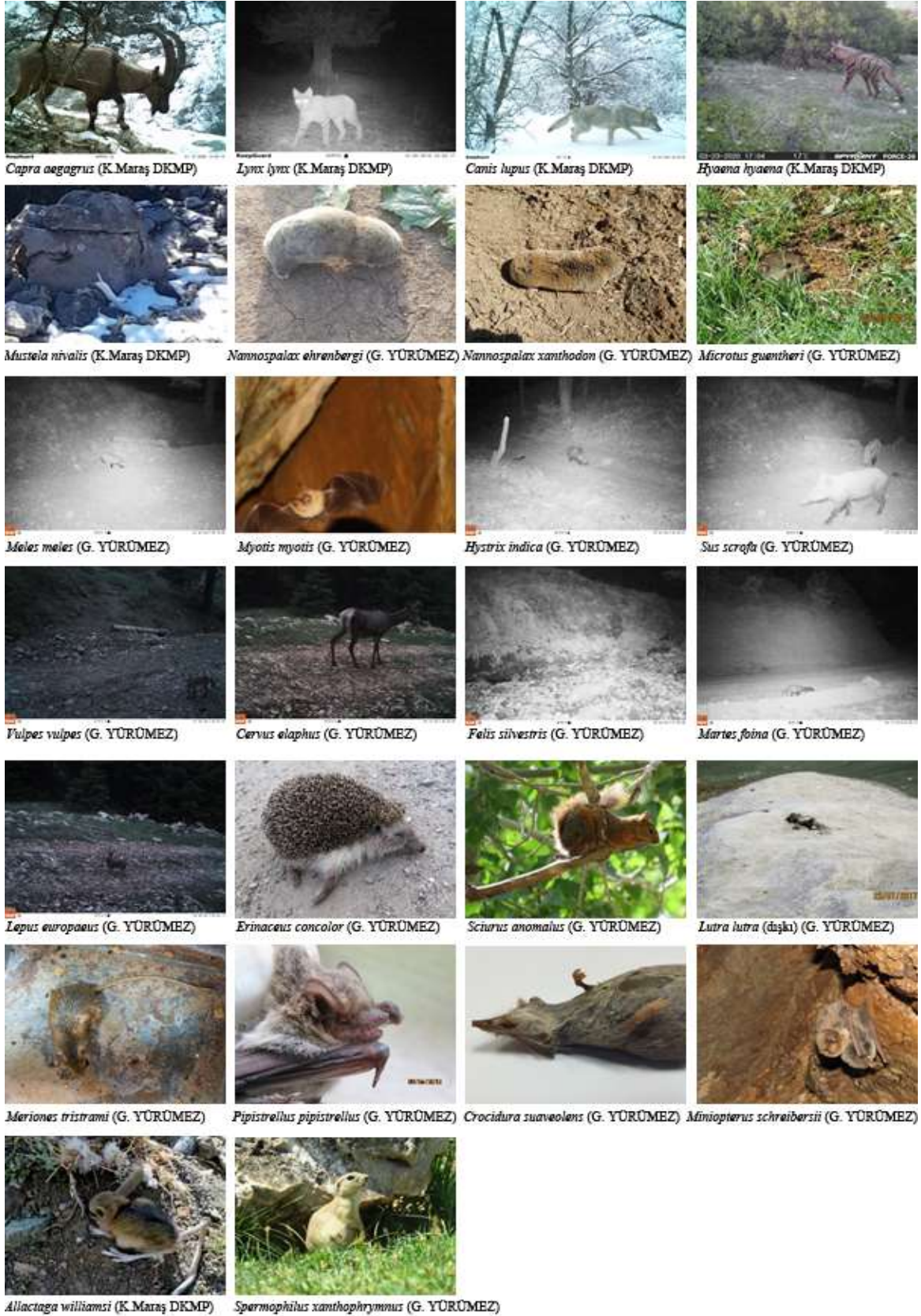
2016-2020 yılları arasında 424 lokalitede toplam 55 gün yapmış olduğumuz arazi çalışmalarında Carnivora, Artiodactyla, Lagomorpha, Eulipotyphla, Rodentia ve Chiroptera olmak üzere toplam 6 takıma ait 33 memeli türü tespit edilmiştir (Tablo 1). 25 tür doğrudan, 8 tür ise dolaylı olarak gözlemlenmiştir. Tespit edilen türlerden bazılarına ait fotoğraflar ve foto kapan resimleri şekil 3'de verilmiştir.

Çalışma alanında dağılışı gösterdiği tespit edilen türlerden *M. schreibersii* (Kuhl, 1817), IUCN kriterlerine göre duyarlı (VU) kategorisinde iken *Hyaena hyaena* (Linnaeus, 1758), *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758), *Capra aegagrus* Erxleben, 1777 ve *Spermophilus xanthoprimum* (Bennett, 1835) ise tehdiye yakın (NT) kategorisinde yer almaktadırlar. Ayrıca, 2 tür (*N. xanthodon* (Satunin, 1898) ve *N. ehrenbergi* (Nehring, 1898)) yetersiz verili (DD) iken geri kalan 26 tür ise düşük riskli (LC) kategorisindedir (Tablo 1).

Kahramanmaraş ilinde tespit edilen memeli türlerinden 10 tür BERN Sözleşmesi Ek II'de yer alırken ve 7 tür Ek III'de yer almaktadır.

Bir tür (*L. lutra*) CITES Ek I'de, 3 tür (*Canis lupus* Linnaeus, 1758, *Lynx lynx* (Linnaeus, 1758) ve *Felis silvestris* Schreber, 1777) Ek-II'de ve bir tür (*C. aegagrus*) Ek-III'de yer almaktadır.

Ayrıca, tespit edilen türlerden 4'ü (*Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758), *Martes foina* (Erxleben, 1777), *Sus scrofa* Linnaeus, 1758 ve *Lepus europaeus* Pallas, 1778) MAKK Ek-II listesinde yer alırken, *Mustela nivalis* Linnaeus, 1766 ve *Meles meles* (Linnaeus, 1758) MAKK Ek-I listesinde yer almaktadır.



Şekil 3. Kahramanmaraş ilinde tespit edilen bazı memeli hayvan türleri.

Tespit edilen türlerin IUCN, BERN, CITES, Tarım ve Orman Bakanlığı 2020 yılı Merkez Av Komisyonu Kararlarına (MAKK) göre korunma durumları Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Kahramanmaraş ili memeli hayvan türleri ve koruma statüleri.

Sıra	Ordo	Familya	Tür	BERN	CITES	IUCN	MAKK	Tespit	Literatür
1	Carnivora	Canidae	<i>Canis lupus</i>	Ek-II	Ek-II	LC		Bu çalışma	43
2		Canidae	<i>Vulpes vulpes</i>			LC	Ek-II	Bu çalışma	43
3		Ursidae	<i>Ursus arctos</i>	Ek-II	Ek-II	LC			43
4		Felidae	<i>Lynx lynx</i>	Ek-III	Ek-II	LC		Bu çalışma	43
5		Felidae	<i>Felis silvestris</i>	Ek-II	Ek-II	LC		Bu çalışma	Kayıt yok
6		Hyaenidae	<i>Hyaena hyaena</i>			NT		Bu çalışma	Kayıt yok
7		Mustellidae	<i>Lutra lutra</i>	Ek-II	Ek-I	NT		Bu çalışma	43
8		Mustellidae	<i>Martes foina</i>	Ek-III		LC	Ek-II	Bu çalışma	41
9		Mustellidae	<i>Mustela erminea</i>	Ek-III		LC			43
10		Mustellidae	<i>Mustela nivalis</i>	Ek-III		LC	Ek-I	Bu çalışma	43
11		Mustellidae	<i>Meles meles</i>	Ek-III		LC	Ek-I	Bu çalışma	43
12	Artiodactyla	Cervidae	<i>Cervus elaphus</i>	Ek-III		LC		Bu çalışma	Kayıt yok
13		Bovidae	<i>Capra aegagrus</i>	Ek-II	Ek-III	NT		Bu çalışma	37, 43
14		Suidae	<i>Sus scrofa</i>			LC	Ek-II	Bu çalışma	43
15	Lagomorpha	Leporidae	<i>Oryctolagus cuniculus</i>			NT	Ek-II		43
16		Leporidae	<i>Lepus europaeus</i>	Ek-III		LC	Ek-II	Bu çalışma	33, 43
17	Eulipotyphla	Erinaceidae	<i>Erinaceus concolor</i>			LC		Bu çalışma	43
18		Soricidae	<i>Crocidura suaveolens</i>	Ek-III		LC		Bu çalışma	43
19	Rodentia	Hystricidae	<i>Hystrix indica</i>			LC		Bu çalışma	32, 43
20		Sciuridae	<i>Sciurus anomalus</i>	Ek-II		LC		Bu çalışma	43
21		Sciuridae	<i>Spermophilus xanthophrymnus</i>			NT		Bu çalışma	33, 43
22		Muridae	<i>Apodemus sylvaticus</i>			LC		Bu çalışma	32, 33, 35, 43
23		Muridae	<i>Mus musculus</i>			LC		Bu çalışma	32, 35, 43
24		Muridae	<i>Rattus norvegicus</i>			LC			43
25		Muridae	<i>Rattus rattus</i>			LC		Bu çalışma	32, 43
26		Gerbillidae	<i>Meriones tristrami</i>			LC		Bu çalışma	32, 35, 43
27		Cricetidae	<i>Cricetulus migratorius</i>			LC			32,33, 35, 43
28		Cricetidae	<i>Mesocricetus brandti</i>			NT			43
29		Cricetidae	<i>Microtus guentheri</i>			LC		Bu çalışma	32,33, 35, 40
30		Cricetidae	<i>Microtus socialis</i>			LC		Bu çalışma	43
31		Gliridae	<i>Dryomys nitedula</i>	Ek-III		LC			43

32		Dipodidae	<i>Allactaga williamsi</i>			LC		Bu çalışma	33,43
33		Spalacidae	<i>Nannospalax xanthodon</i>			DD		Bu çalışma	34, 35, 38, 43
34		Spalacidae	<i>Nannospalax ehrenbergi</i>			DD		Bu çalışma	32, 34, 39
35	Chiroptera	Vespertilionidae	<i>Myotis blythii</i>	Ek-II		LC		Bu çalışma	36, 43
36		Vespertilionidae	<i>Myotis myotis</i>	Ek-II		LC		Bu çalışma	36, 43
37		Vespertilionidae	<i>Myotis emarginatus</i>	Ek-II		LC			36
38		Vespertilionidae	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Ek-III		LC		Bu çalışma	36, 43
39		Vespertilionidae	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Ek-II		LC			36
40		Rhinolophidae	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Ek-II		LC		Bu çalışma	36, 43
41		Rhinolophidae	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Ek-II		LC		Bu çalışma	36, 43
42		Miniopteridae	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Ek-II		VU		Bu çalışma	36, 43

4. Tartışma ve Sonuç

Kahramanmaraş ili memeli hayvan türleri üzerine daha önce kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Kahramanmaraş ilinde yayılış gösteren memeli hayvan türleri ile ilgili olarak araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalarda 22 memeli türü örneğe dayalı [32-42] ve 17 memeli türü ise örneksiz ve tahmini [43] olmak üzere toplam 39 memeli türünün kaydı verilmiştir.

2016-2020 yılları arasında 424 lokalitede toplam 55 gün süresince yapılan bu çalışmada, Kahramanmaraş ilinde 6 takım, 20 familyaya ait 33 memeli türü tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada tespit edilen 33 tür ile birlikte Kahramanmaraş ilinde örneğe dayalı olarak tespit edilen memeli türü sayısı 22 iken bu çalışma ile 14 farklı türün daha doğrudan tespit edilmesi ile bu rakam 36'ya yükselmiştir.

Demirsoy [43], *C. lupus*, *V. vulpes*, *L. lynx*, *L. lutra*, *M. nivalis*, *M. meles*, *S. scrofa*, *E. concolor*, *C. suaveolens*, *S. anomalous* ve *M. socialis* türlerinin muhtemel dağılış sınırları içerisinde Kahramanmaraş ilini de dâhil ederken, bu çalışma ile bu 11 tür çalışma alanında doğrudan gözlem ile tespit edilmiştir. Ancak, yine önceki çalışmalara [43] göre ilde muhtemel yayılış gösterdiği belirtilen *U. arctos*, *M. erminea*, *O. cuniculus*, *R. norvegicus*, *M. brandti* ve *D. nitedula* türleri çalışmamızda tespit edilememiştir.

Köksalan (36) Kahramanmaraş ilinde 8 yarasalı türünün (*M. blythii*, *M. myotis*, *M. emarginatus*, *P. pipistrellus*, *P. kuhlii*, *R. ferrumequinum*, *R. hipposideros* ve *M. schreibersii*) dağılış gösterdiğini ifade etmiştir.

Tespit edilen 33 memeli türünden yaban kedisi (*F. silvestris*), çizgili sırtlan (*H. hyaena*) ve kızıl geyik (*C. elaphus*) Kahramanmaraş ili için yeni kayıt olarak ilk defa bu çalışma ile kaydedilmiştir.

Ülkemizde yayılış gösteren 170 memeli hayvan türünün küresel ölçekte koruma statüleri, 1 tür nesli tükenmiş (EX), 6 tür tehlikede (EN), 12 tür duyarlı (VU), 12 tür tehlide açık (NT), 12 tür yetersiz veri (DD) ve geri kalan 127 tür ise düşük riskli (LC) şeklindedir [50]. Çalışmamızda tespit edilen 33 memeli türünden *M. schreibersii* IUCN kriterlerine göre duyarlı (VU) kategorisinde, *H. hyaena*, *L. lutra*, *C. aegagrus* ve *S. xanthoprimum* tehlide yakın (NT), *N. xanthodon* ve *N. ehrenbergi* yetersiz verili (DD) iken geri kalan 26 tür ise düşük riskli (LC) kategorisindedir.

Kahramanmaraş ilinde tespit edilen 12 kemirgen türünden *S. xanthoprimum* ilin kuzey kısımlarında Afşin ve Elbistan ilçelerinde yerleşim ve tarım alanlarına yakın bölgelerde yayılış göstermektedir. IUCN kriterlerine göre tehlide yakın (NT) kategorisindedir. Tarım alanlarının genişletilmesi, tarım ilaçları ve bu türün yayılış alanlarında gerçekleştirilen otlama faaliyetleri yer sincaplarının popülasyonunu tehdit etmektedir. Yer sincaplarının yayılış sınırlarının belirlenip bu alanlarda yerleşim yeri, otlama ve tarımsal faaliyetlere engel olunmalıdır.

Yöre halkı ile yapılan anket çalışmalarında, kayalık ve su sistemlerinin bulunduğu vadilere yakın alanlarda yayılış gösteren *H. indica*'nın bu alanlara göçebe olarak gelenler tarafından beslenme için

avlandığı belirlenmiştir. Ayrıca, bostanlarına oklu kirpiler tarafından zarar verildiği gerekçesiyle çiftçiler tarafından da öldürüldüğü tespit edilmiştir. Her ne kadar IUCN kriterlerine göre LC (Least Concern, düşük riskli) olsa da bu durum oklu kirpi popülasyonu üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Oklu kirpilerin yayılış gösterdiği alanlara konar-göçer olarak gelenlere ve bostan ekimi yapan çiftçilere gerekli uyarı ve bilgilendirmeler yapılmalıdır.

Arap tavşanının (*A. williamsi*) tespit edildiği Sarıgül köyü ve çevresinin habitatu bozulmamış olup, türün bu bölgedeki popülasyonu üzerinde kısa vadede herhangi bir antropojenik tehdit bulunmamaktadır.

Kahramanmaraş ilinde Carnivora takımına ait 9 tür tespit edilmiştir. Bu türlerden *H. hyaena*, Pazarcık (Kahramanmaraş), Araban (Gaziantep) ve Yavuzeli (Gaziantep) arasında kalan bölgede yayılış göstermektedir. Bu bölgeler arasından geçen otoyol sırtlan habitatını bölmektedir. Bu otoyol üzerine ekolojik köprüler yapılarak sırtlanların geçişleri sağlanmalıdır. Bu bölgede geçimini hayvancılıktan kazanan yöre halkının sürüleri için tehdit olarak gördükleri sırtlanları öldürmemeleri için bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Ayrıca, sırtlanların gece araç çarpması sonucu ölmelerinin önlenmesi için yöre halkı bilgilendirilerek yol güzergâhına gerekli uyarı tabelaları yerleştirilmelidir.

F. silvestris ise ilin batı kısımlarındaki ormanlık alanlarında yayılış göstermektedir. *L. lutra*, Hacınıoğlu ve Sarıgül gibi habitatu bozulmamış olan bölgelerdeki tatlı su sistemlerinde ve baraj göllerinde varlığını sürdürmektedir. Ancak yıl içerisinde bu bölgede bulunan su sistemlerinin debisindeki değişiklikler ve dolayısıyla besin tercihlerinin azalması tür için tehditlerdir.

L. lynx, Adıran ve Göksun ilçeleri arasında kalan uygun habitatlarda yayılış göstermektedir. Ancak kaçak avcılık ve habitat daralması bu türün popülasyonu üzerinde baskı oluşturmaktadır.

C. aegagrus, ilin batı ve kuzeybatı kısımlarındaki dağlık habitatlarda yayılış göstermektedir. Kaçak avlanma popülasyon üzerinde büyük tehdit oluşturmaktadır.

Arazi çalışmaları süresince memeli hayvan türlerini tehdit eden etkenlerin en önemlileri kaçak avlanma, zirai ilaçlamalar, araç çarpması, su sistemlerinde yapılan değişiklikler, aşırı otlatma, habitat daralması, mağaralara insan giriş-çıkışların yoğunluğu, mağaraların küçükbaş hayvan barınağı olarak kullanılması, mağaralarda ateş yakılması gibi insanlar tarafından yapılan tahribatlarıdır. Ayrıca yapılan barajlar ve otoyollar da habitat parçalanmasına neden olarak yaban hayatı memeli hayvan popülasyonları için tehdit oluşturmaktadır.

Memeli hayvanlar, ekosistemin besin zincirinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu dengenin devam etmesi için yaban hayatı memeli hayvanlarının popülasyon yoğunlukları ve yayılış alanları tespit edilerek türe özgü koruma stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Kahramanmaraş ilindeki memeli faunasının tespit edilmesi, bu türlerden nesli tehlike altında olanlar ile ilgili koruma eylem planlarının belirlenmesine alt yapı oluşturacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Müdürlüğü tarafından yürütülen “Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Envanteri ve İzleme Projesi (UBENİS)” kapsamında gerçekleştirilmiştir. Doğa Koruma ve Milli Parklar Kahramanmaraş İl Şube Müdürlüğüne desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Araştırma, etik kurul izni gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- [1] Arslan A. 2016. Bozkır'ın Yırtıcı (Karnivor) Memelileri. Uluslararası Sempozyum: Geçmişten Günümüze Bozkır, 06-08 Mayıs 2016, Konya, 1393-1399.
- [2] Cole F.R., Reeder D.M., Wilson D.E. 1994, A Synopsis of Distribution Patterns and Conservation of Mammal Species. *Journal of Mammalogy*, 75: 266-276.
- [3] Musser G.G., Carleton, M.D. 2005. *Mammals Species of the World a Taxonomic and Geographic Reference*. Johns Hopkins University Press.
- [4] Eken G., Bozdoğan M., İsfendiyaeroğlu S., Kılıç D. T. Lise, Y., 2006, Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları Kitabı. Doğa Derneği, Ankara.
- [5] Connor J.B., Colella J.P., Kahn P.L., Upham N.S. 2018. How Many Species of Mammals are There? *Journal of Mammalogy*, 99 (1): 1-14.
- [6] Yiğit N., Çolak E., Sözen M., Karataş A. 2006. *Rodents of Türkiye, 'Türkiye Kemiricileri'*. Meteksan Co. Ankara. ISBN 9944-5560-0-9.
- [7] Kaya A., Tel A.Z., Avcı A., Ilgaz Ç., Özuslu E., Yağmur E.A., İzler F., Koç H., Toprak H.H. C., Sevgili H., Toyran K., Öztekin M., Kırmacı M., Üzümlü N., Kaya R., Birecikligil S., Bozacı V. 2011. Memeli Hayvanlar (Mammalia). 483-524, İçinde: Gaziantep'in Biyolojik Çeşitliliği (Özuslu, E., Tel, A.Z., eds), Doğa Koruma Derneği Yayınları, Gaziantep. 568 p.
- [8] Turan N. 1984. Türkiye'nin Av ve Yaban Hayvanları. Memeliler. *Olgun Kardeşler Matbaacılık Sanayi*, Ankara, 177s.lt: 10, Sayı: 14, S.: 22-32 Bartın.
- [9] Akman Y. 1999. İklim ve Biyoiklim Metodları ve Türkiye İklimleri. *Kariyer Matbaacılık Ltd. Şti.*, Ankara.
- [10] Çağatay A., Terzioğlu E., Ekmen Z. İ., Erdoğan E. 2012. *Biyolojik Çeşitliliği İzleme ve Değerlendirme Raporu*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Lazer Ofset Matbaa Tes. Ltd. Şti., Ankara.
- [11] Kışlaloğlu M., Berkes F. 1987. *Biyolojik Çeşitlilik*. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Önder Matbaası. 122 sf.
- [12] Morrison J.C., Sechrest W., Dinerstein E., Wilcove D.S., Lamoreux J.F. 2007. Persistence of Large Mammal Faunas as Indicators of Global Human Impacts. *Journal of Mammalogy* 88 (6): 1363-1380.
- [13] Kurtonur C., Özkan B., Albayrak İ., Kıvanç E., Kefelioğlu H. 1996. Türkiye Omurgalı Tür Listesi; Memeliler (Mammalia). DPT/TBAG - Çevre Seksiyonu, Nuru Matb., Ankara, 1-23.
- [14] Demirsoy A. 2006: *Rodents of Türkiye, Türkiye Kemiricileri*. 154s., Meteksan Co. P.K. 105, 06572 Maltepe Ankara, Türkiye. ISBN 9944-5560-0-9.
- [15] Hızal E., 2008. Kapıdağ Yarımadası Memeli (Mammalia) Faunası. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*. Cilt: 10, Sayı: 14, S.: 22-32 Bartın.
- [16] Can O.E., Togan I. 2009. Camera Trapping of Large Mammals in Yenice Forest, Turkey: Local Information Versus Camera Traps. *ORYX*, Cilt.43, ss.427-430.
- [17] Keten A. 2012. Düzce İli Kuş ve Memeli Türlerinin Tespiti. *Düzce Üniv. BAP*.
- [18] Keten A. 2017. Distribution and Habitat Preference of Roe Deer (*Capreolus capreolus* L.) in Düzce Province (Turkey). *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 67 (1): 22-28.
- [19] Özkazanç N.K. 2012. Sökü Yaban Hayatı Koruma Alanı'nda Tespit Edilen Büyük Memeli Hayvanlar. *Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, Cilt:14, Sayı:21, Bartın.
- [20] Çam P., Ölmez İ. 2015. Sinop İli Memeli Hayvan Faunasının Değerlendirilmesi. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* 5 (3): 9-16.
- [21] Yorulmaz T., Arslan N., 2020. Yozgat ili Memeli Faunası (Classis: Mammalia). *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 9 (1): 194-203.
- [22] Toyran K. 2016. Predatory Mammal Species of Bitlis Province (Mammalia: Carnivora). *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.*, 6 (2): 27-32.
- [23] Nabioğlu M., Keten A. 2016. Bolu-Yedigöller Yaban Hayatı Geliştirme Sahası'nda Saf Meşe Meşceresinde Fotokapanla Tespit Edilen Memeli Türleri. *Ormancılık Araştırma Dergisi* (1) A, 1 (3): 62-68.
- [24] Beşkardeş V. 2016. Yedigöller Yaban Hayatı Geliştirme Sahasındaki İri Cüsseli Memeli Hayvanlar ve Sonbahar Dönemi Habitat Tercihleri. *Ormancılık Dergisi* 12 (1): 137-144.

- [25] Gözütok S. 2017. Mammalian Fauna of Bursa Province and Conversation Status of Species (Classis: Mammalia). International Journal of Agriculture and Wildlife Science, 3 (2): 120-130.
- [26] Toyran, K., Yorulmaz, T., Gözütok, S., 2017. Mammal Fauna of Ihlara Valley (Aksaray, Turkey). Bitlis Eren University Journal of Science and Technology, 7 (2): 108-114.
- [27] Toyran K., Adızel Ö. 2018. Contributions to the Mammal Fauna of Bitlis Province, Turkey. Bitlis Eren University Journal of Science and Technology, 8 (2): 90-94.
- [28] Algan Z. 2019. Düzce İli Memeli Biyoçeşitliliği ve Ekolojisi. Yüksek Lisans Tezi. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- [29] Karatay M. 2019. Bingöl İli Memeli Biyoçeşitliliği ve Ekolojisi. Yüksek Lisans Tezi. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- [30] Oğuz T. 2019. Batman İli Memeli Biyoçeşitliliği. Yüksek Lisans Tezi. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- [31] Selçuk A.Y., Kefelioğlu H., 2020. Samsun, Amasya, Tokat ve Eskişehir İlleri Memeli Faunası ve Türlerin Koruma Statüleri. KSÜ Tarım ve Doğa Derg. 23 (2):378-386.
- [32] Yiğit N., Çolak E., Sözen M., Özkurt Ş. 2003. A Study on the Geographical Distribution Along with Habitat Aspects of Rodents Species in Turkey. Bonn. Zool. Beitr. Bd.50, H.4, S.355-368.
- [33] Yüzbaş M.A., Benli O. 1995. Akdeniz Bölgesi Kemirgen (Rodentia) Faunası Üzerine Çalışmalar. Bitki koruma Bülteni, Cilt:35, No:1-2, pp:1-9.
- [34] Coşkun Y., Ulutürk S., Kaya A., Yürümez G. 2006. Kahramanmaraş Yöresi *Nannospalax* (Körfare)'larının (Rodentia: Spalacidae) Karyolojik Özellikleri. Türkiye IV. Bitki Koruma Kongresi Bildirileri, 28-30 Haziran 2011, Kahramanmaraş.
- [35] Yiğit N., Çolak E., 1998. Contribution to the Geographic Distribution of Rodents Species and Ecological Analyses of Their Habitats in Asiatic Turkey. Tr. J. of Biology, 22 :435-446.
- [36] Köksalan E., 2010. Kahramanmaraş İlinin Yarasaları (Chiroptera) Üzerine Faunistik ve Ekolojik Çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, p.49.
- [37] Paşalı H., 2014. Türkiye'de Yaban Keçisi (*Capra aegagrus aegragrus*). Animal Health Prod. and Hyg., 3 (1): 245 -247.
- [38] Matur F., Çolak F., Sevindik M., Sözen M., 2011. Chromosome Differentiation of Four 2n =50 Chromosomal Forms of Turkish Mole Rat, *Nannospalax nehringi*. Zool. Sci. 28: 61-67.
- [39] Coşkun Y., Ulutürk S., Yürümez G., 2006. Chromosomal Diversity in Mole-rats of the Species *Nannospalax ehrenbergi* (Rodentia: Spalacidae) from South Anatolia, Turkey. Mammalian Biology -Zeitschrift für Säugetierkunde 71: 244-250.
- [40] Aşan B.N., Albayrak I., Gözütok S., 2011: Cytogenetic Study on *Microtus guentheri* (Danford & Alston, 1880) (Mammalia: Rodentia) from Turkey: Constitutive Heterochromatin Distribution and Nucleolar Organizer Regions. Folia Biol. 59: 35-40.
- [41] Albayrak İ., Özen A. S., Kitchener A. C., 2008. A Contribution to the Age-Class Determination of *Martes foina* Erxleben, 1777 from Turkey (Mammalia: Carnivora). Turk. J. Zool. 32: 147-153.
- [42] Kankılıç T., Kankılıç T., Sözen M., Çolak E., 2013. Genetic Diversity and Geographic Variation of Chromosomal Races of *Nannospalax xanthodon* (Nordmann, 1840) and *Nannospalax ehrenbergi* (Nehring, 1898) from Turkey, Revealed by RAPD Analysis. Acta Zool. Bulg., 65 (1): 45-58.
- [43] Demirsoy A., 1996. Türkiye Omurgalıları, Memeliler. 292s., Meteksan A.Ş. P.K. 105, 06572 Maltepe Ankara, Türkiye. ISBN 975-7746-24-X.
- [44] ÇDR, 2019. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kahramanmaras_-cdr2019-20210125114604.pdf (Erişim tarihi: 08.12.2020).
- [45] Anonim, 2020.<https://www.ogm.gov.tr/Sayfalar/Ormanlarimiz/Illere-Gore-Orman-Varligi.aspx?View=%7bD0BB52F8-FB84-4A81-936C-032103F8A8CE%7d&FilterField1=Title&FilterValue1=KAHRAMANMARAŞ> (Erişim tarihi 08.12.2020).
- [46] Kryštufek B., Vohralík V., 2001. Mammals of Turkey and Cyprus: Insectivora. Annales Majora, Koper.
- [47] Kryštufek B., Vohralík V., 2005. Mammals of Turkey and Cyprus. Rodentia I: Sciuridae, Dipodidae, Gliridae, Arvicolinae. Annales Majora, Koper.
- [48] Kryštufek B., Vohralík V., 2009. Mammals of Turkey and Cyprus. Rodentia II: Cricetinae, Muridae, Spalacidae, Calomyscidae, Capromyidae, Hystricidae, Castoridae. Annales Majora, Koper.

- [49] Wilson D.E., Reeder D.M., 2005. Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference. 3rd Edition. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, 2142 pp.
- [50] IUCN, 2020. <https://www.iucnredlist.org/> (Eriřim tarihi: 08.12.2020).

Araştırma Makalesi / Research Article

Association of the phenolic content, DNA protective activity and some antioxidant properties in the *Achillea arabica* Kotschy Flower

Enver Fehim KOÇPINAR*

*Department of Medical Laboratory Techniques, Vocational School of Health Services, Muş Alparslan University, 49250 Muş, Turkey
(ORCID: 0000-0002-6031-4664)*

Abstract

Pharmacological herbs are our first medicines in history and we take them into our bodies in different ways by consuming tea, spices, or raw. Nowadays, due to the side effects of more effective synthetic medicines, the tendency to use pharmacological plants has increased and the benefits are provided from plants in the treatment of routine diseases and to protect from them. In our daily life, stress and adverse environmental conditions may cause oxidative stress by increasing the concentration of reactive oxygen species (ROS) in a cell and oxidative stress is known to be associated with cancer and various neurodegenerative diseases such as Parkinson's and Alzheimer's. Antioxidants protect the cell against diseases by regulating the ROS concentration and herbal phenolics are known as antioxidants and strong candidates for this. In addition, studies on plant components and active ingredient have gained more importance during the Covid-19 epidemic period as they provide important data for vaccine development studies. In this study, it was aimed to obtain important data for advanced studies. For this purpose, *Achillea arabica*, one of the pharmacological members of the Asteraceae family, was collected from Ağrı/Patnos and stored by converting into herbarium material. Some biological activities such as the determination of some in vitro antioxidant properties, DNA protective activity, and the phenolic content by HPLC were evaluated in the DMSO extract prepared from the flowers of the herbarium plant. The results of the study were evaluated together and correlated.

Anahtar kelimeler: *Achillea arabica*, Antioxidant, DNA protection, HPLC, Phenolic

Achillea arabica Kotschy Çiçeğindeki Fenolik İçerik, DNA Koruyucu Aktivite ve Bazı Antioksidan Özelliklerin İlişkisi

Öz

Farmakolojik şifalı bitkiler tarihteki ilk ilaçlarımızdır ve vücudumuza çay, baharat veya çiğ tüketerek farklı şekillerde alırız. Günümüzde daha etkili sentetik ilaçların yan etkileri nedeniyle farmakolojik bitkilerin kullanımına olan eğilim giderek artarak özellikle rutin hastalıkların tedavisinde ve bunlardan korunmada bitkilerden faydalanılmaktadır. Günlük yaşamımızda stres ve olumsuz çevresel koşullar, hücrede reaktif oksijen türlerinin konsantrasyonunu artırarak kanser veya Parkinson ve Alzheimer gibi çeşitli nörodejeneratif hastalıklarla ilişkili olduğu bilinen oksidatif strese neden olabilir. Antioksidanlar, reaktif oksijen türlerinin konsantrasyonunu düzenleyerek hücreyi hastalıklara karşı korur ve antioksidan olarak bilinen bitkisel fenolikler reaktif oksijen türlerinin süpürülmesi için güçlü adaylardır. Ayrıca bitki ve etken madde ile ilgili çalışmalar, Covid-19 salgını döneminde aşı geliştirme çalışmaları için önemli veriler sağladıkları için daha da önem kazanmıştır. Bu çalışma ile ileri araştırmalarda kullanılacak faydalı verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çeşitli farmakolojik özellikleri bilinen Asteraceae familyasının önemli üyelerinden biri olan *Achillea arabica*, Ağrı / Patnos'tan toplanmış ve herbaryum materyaline dönüştürülerek depolandı. Herbaryum bitkisinin çiçeklerinden DMSO ekstresi hazırlandı ve hazırlanan ekstrelerde, bazı *in vitro* antioksidan özellikler, ekstreinin DNA koruyucu aktivitesi ve HPLC ile farklı fenolik içerikleri kantitatif olarak belirlendi ve elde edilen sonuçlar ilişkilendirilmeye çalışıldı.

Keywords: *Achillea arabica*, Antioksidan, DNA koruma, HPLC, Fenolik

* Corresponding author: ef.kocpinar@alparslan.edu.tr

Received: 28.03.2021, Accepted: 12.08.2021

1. Introduction

Plants were used by humankind throughout history due to the biological effects on many different diseases and people tried to cure their diseases or protect from them by consuming the plants with different methods such as extracting with infusion, making tea or spice, or eating them directly. The healing effects of the plants are associated with the antioxidant content, secondary metabolite, and active molecules in their structure [1, 2] and are known to have an important role in the treatments of many diseases from diabetes mellitus to many cancer types [3]. Active molecules that can be produced in various ways are essential components of pharmacological production and plants are one of the main sources for active molecule discovery. Thanks to these discovered molecules, today's effective medicines have been produced. However, side effects known in synthetic medicines have directed society to benefit from plants in the treatment of routine diseases such as sputum, cough, sinusitis, edema, and wound healing [4, 5]. In addition to this, biological properties and active molecules determined previously can provide important data for the study about pharmacological production and vaccine development [3]. In parallel with the onset of the Covid-19 pandemic, the treatment methods with new approaches, the discovery of active molecules, and various biological properties in the plants have become very popular.

Stress or environmental pollution components such as smoke and heavy metals are known to cause oxidative stress associated with cancer or neurodegenerative diseases by increasing the concentration of the reactive oxygen species (ROS) in a cell [6-8]. To protect from the aforementioned diseases, the reduction of heavy metals or the scavenging of free radicals are important for the continuation of life and plants are one of the most reliable sources for this. As a matter of fact, previous studies have stated that secondary metabolites, terpenoids, and antioxidant phenolics can regulate the cellular ROS concentration and play a protective role against many diseases caused by oxidative stress [1, 2, 9].

It has been reported that the Asteraceae family, one of the flowering plant families, includes 1600 genera and 25000 species [10, 11] and in addition to being consumed as food, the members of this family were reported to have antimicrobial activity thanks to the flavonoids and terpenoids in their structure [12]. They can also be used as garden and landscape plants [10] and the members of the Asteraceae family are used for herbal medicine production [3] and the elimination of pollutants in urban areas [10].

Achillea arabica (*A. arabica*) is one of the important members of the Asteraceae family and has been reported to have more than 130 genera in the world in previous studies [13] and 24 of 48 species in Turkey flora have been stated to be endemic [14]. *Achillea* species are known to have antioxidant, antiproliferative capacity, antimicrobial and anticancer activity and can be used for therapeutic purposes [15]. Importance of this genus used in a versatile way is emphasized [13]. Many studies, which also include *Achillea* species, reported that plant content may be changed depending on geographical variables such as altitude, climate, fertilization, soil type, and mineral content of the soil, environmental factors [13] or cultivation techniques such as various agricultural practices and culture area [13, 16]. This suggests that the biological effects of the plants may change depending on various conditions.

In the light of the given data, it was aimed to provide valuable data in this study for advanced pharmacology and alternative medicine studies by investigating some biological properties in the extract prepared from the flowers of *A. arabica* herbarium material. In this context, first of all, some *in vitro* antioxidant activities were investigated. In this context, the scavenging activity of DPPH and ABTS radicals and the activities of metal reduction for cupric and ferric iron using CUPRAC and FRAP methods, respectively were evaluated. To validate the results observed in the antioxidant studies, the protective effect of the extract on pUC18 DNA against hydrogen peroxide (H₂O₂) were investigated and finally, in order to evaluate the obtained data, the phenolic concentrations of the extract were determined by HPLC.

2. Material and Method

2.1 Plant collection and identification

A. arabica was collected from Ağrı/Patnos land in September 2020 (39° 08' 12" N, 42° 52' 7" E; 1450 m). The plant was dried in the shade and converted into herbarium material (Herbarium code: A.SAVCI-2) and stored then in Muş Alparslan University, Center Research and Application Center. The identification of the plant used in this study was performed by Dr. Murat KURŞAT who is a member of Bitlis Eren University

2.2. *In Vitro* Antioxidant Tests

2.2.1. Sample Preparation for Antioxidant Assays

Herbarium material was pulverized using liquid nitrogen. The resulting powder material was incubated in pure water (PW) and methanol (MetOH) for 48 hours at room temperature by mixing and was filtered. Solvents were then evaporated using a rotary evaporator under a suitable vacuum. Using the obtained material, PW extract and MetOH extract were prepared at the 1 mg/mL concentrations and used in the antioxidant tests.

2.2.2. Cupric Ion (Cu²⁺) Reduction Test

Cupric ion (Cu²⁺) reduction test was performed using the CUPRAC method modified by Gulcin (2006) [17]. According to this, 0.25 mL of 0.01 M CuCl₂ was added in test tubes and then neocuprin solution and 1 M ammonium acetate buffer (pH: 6.5) were transferred into test tubes at the same volumes. 10 µL, 20 µL, and 30 µL volumes from 1mg/mL samples were added on. The mixture was vortexed and incubated for 30 min, and absorbance values were then recorded at 450 nm. Increasing absorbance values show the reduction capacity of cupric ions.

2.2.3. Ferric ion (Fe³⁺) reduction test

The Ferric ion reduction capacities of the extracts were tested using the FRAP method developed by Oyaizu (1986) [18]. According to this, the same volumes of the phosphate buffer (pH: 6.6) and [K₃Fe(CN)₆] were transferred into test tubes, and then distilled water at 40% ratio were added on. After the incubation for 20 min at 50 °C. by adding the trichloroacetic acid (TCA) solution, total volume was completed to 8.5 mL. After vortexing and centrifugation briefly, an ideal volume from the upper phase of the samples was taken and transferred into the other tubes. After adding distilled water at the same volume and FeCl₃ solution at 20% ratio, absorbance values were recorded spectrophotometrically at 700 nm [18].

2.2.4. DPPH Radical Scavenging Test

DPPH (1,1-Diphenyl 2-picrylhydrazyl) radical scavenging method proposed by Blois (1958) [19] was performed to evaluate the radical scavenging activities of the extracts. This method is a common method to measure the radical scavenging activities of various factors, and the principle of the method is based on the reduction of DPPH radicals in alcohol. In this study, 10 µL, 20 µL, and 30 µL volumes of 1 mg/mL extracts were transferred into the test tubes and total volumes were completed to 4 mL by adding the ethanol/DPPH solution (v/v: 3/1). Samples were incubated for 30 min at room temperature and absorbance values were recorded at 517 nm. The percentages of DPPH radical scavenging were calculated using the following equation;

$$\text{DPPH Radical Scavenging (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Absorbance of sample}}{\text{Absorbance of control}}\right) \times 10 \quad (1)$$

2.2.5. ABTS Radical Scavenging Test

The ABTS (2,2'-azinobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonate) radical scavenging was performed according to the method proposed by Wu, Chang, Chen, Fan. (2009) [20], and the ABTS radical scavenging activities of the extracts were evaluated. In this test, 2.45 mM potassium persulphate ($K_2S_2O_8$) and 7 mM ABTS solution were reacted at the same volumes and by incubating the samples for 16 hours at room temperature, ABTS radical solution was created. ABTS radical solution was diluted using methanol to achieve the desired control absorbance value at 734 nm. Distilled water and radical solution were transferred into the tubes at the same volumes and the different concentrations of the samples were added on (0.25mg/mL, 0.5 mg/mL, and 1 mg/mL). After the incubation at room temperature for 2 hours, absorbance values were recorded at 734 nm.

2.3. DNA Protective Activity Test

The protective effect of the extract on pUC18 DNA was evaluated by agarose gel electrophoresis [21]. Since DMSO is known to be a powerful solvent, stock extract solution was prepared by dissolving 200 mg of crude extract in 1 mL DMSO (Sigma Aldrich, 99.5% D4540, CAS Number: 67-68-5). New extract concentrations were formed at 1 mg/mL, 0.5 mg/mL, and 0.25 mg/mL concentrations by re-diluting the stock solutions in DMSO and the new extracts were used in the DNA preservation study. The different concentrations of the new extract were mixed with the other components as shown in Table 1 and incubated for 24 hours at 37 °C. Thus, electrophoresis samples were ready for use. 5µl from the electrophoresis samples were transferred into the wells of the agarose gel by coloring with loading buffer, and run at 40 volts for 2 hours. The electrophoresis product was visualized using BIORAD ChemiDoc XRS Imaging system.

Table 1. The component and quantities of electrophoresis samples

Wells	DNA(µL)	H ₂ O ₂ (µL)	DMSO(µL)	PW extract(µL)	Extract(µL) / Concentration
Sample 1	15	-	-	15	-
Sample 2	15	5	-	10	-
Sample 3	15	5	10	-	-
Sample 4	15	-	10	5	-
Sample 5	15	5	-	-	10 / 0.25 mg/mL
Sample 6	15	5	-	-	10 / 0.5 mg/mL
Sample 7	15	5	-	-	10 / 1 mg/mL
Sample 8	15	-	-	5	10 / 0.25 mg/mL
Sample 9	15	-	-	5	10 / 0.5 mg/mL
Sample 10	15	-	-	5	10 / 1 mg/mL

2.4. Phenolic Tests by HPLC

2.4.1 Sample preparation for HPLC

10 g from the flowers of the herbarium material were taken and pulverized with the aid of liquid nitrogen and then incubated by mixing in the HPLC buffer for 2 hours. After centrifugation at 2000 rpm, prepared mixture was used in the determination of the quantitative phenolic concentrations.

2.4.2. Determination of standard graph and phenolic content

To use in the preparation of standards, stock solutions were prepared by mixing in the 1% acetic acid and acetonitrile. Methanol was then dissolved in the homogeneous mixture at the rate of 1:1. Final concentrations of standards were adjusted to 10 mg/mL by dissolving in the stock solution and then new standard solutions were prepared by diluting at 10 mM, 25 mM, 50 mM, 75 mM, and 100 mM concentrations [22]. The previous prepared plant extract was diluted to 20 mg/mL and filtered with the aid of 0.45 µm membrane filter before loaded into HPLC. HPLC application was performed by

following the protocol shown in Table 2 and phenolic concentrations were determined using their chromatograms (Figure 3) and calibration curve was created by HPLC.

Table 2. HPLC operating conditions and gradient elution programme.

HPLC operating conditions		Gradient elution		
Model	Agilent Technologies 1260 Infinity II	Time (min)	A (%)	B (%)
Colon	ACE 5 C18 (250x4.6 mm id)	0	90	10
Kolon Oven	G7130A	25	60	40
Dedector	1260 DAD WR	39	40	60
Pump	1260 Quat Pump VL	50	10	90
Mobile phase	A: %1 Acetic Acid	55	90	10
	B: Acetonitrile			
Dedection	272, 280 ve 310 nm			
Autosampler	1260 Vialsampler			
Flow Rate	1 mL/dk			
Colon Temperature	28 °C			
Injection	20 µl			

2.5. Statistical Analysis

All experimental assays were repeated at least three times. In all antioxidant studies, the effects of the highest concentrations of the extracts were compared statistically due to observed important activities. Antioxidant effects of PW extract and MetOH extract were compared statistically with the effects of standard antioxidants. Statistical comparisons were performed by Nonparametric Kruskal-Wallis test, with a very high confidence interval, followed by Dunnett's multiple comparisons test. Heavy metal reduction and lipid peroxidation results were presented as Mean \pm Standard Deviation and p values below 0.05 were considered significant. IC50 values showing DPPH and ABTS radical scavenging effects were compared with the same test and the differences between the means and p values were calculated (Table 3). In all comparison results, *; was used as a symbol of statistical significance, *P<0.05 (significant); **P<0.01 (very significant); ***P<0.001 and ****P<0.0001 (extremely significant); ns P>0.05 (not significant).

3. Results and Discussion

3.1. In vitro antioxidant results

Heavy metals and various adverse conditions that we are exposed to in daily life encourage the production of free radicals, known as ROS, and excessive radical accumulation causes oxidative stress [8, 23]. Herbal phenolics are one of the best reducers of the oxidative stress associated with diabetes and various neurodegenerative diseases [24]. In the study based on this idea, PW extract and MetOH extract were prepared from the flowers of herbarium material, and it was aimed to illuminate some antioxidant properties of the extracts by comparing to the standard antioxidants, which are Butylated hydroxyanisole (BHA), Butylated hydroxytoluene (BHT), and Ascorbic acid (ACS). The heavy metal reduction results are presented as µg TE/mL extract (Figures 1A and 1B). Heavy metal reduction results and lipid peroxidation percentages in the highest concentrations of PW extract and MetOH extract were statistically compared with the standard antioxidants (Figures 1A, 1B, and 1C). No statistically significant difference was observed between the cupric ion reduction activities of the PW extract and MetOH extract against ASC standard, but significantly lower than other standards (Figure 1A). Contrary to this, it was observed that there was no significant difference between the iron reducing effects of both extracts against the BHA and BHT, but significantly lower activity compared to the ASC standard (Figure 1B). It was also observed that there was not significant difference between the percentages of the lipid peroxidation in MetOH extract against the ASC results (Figure 1C) and lipid peroxidation scavenging percentages of the MetOH extract and ASC standard were found to be similar and the other lipid peroxidation scavenging effects of the both extracts were found to be significantly lower than the standards (Figure 1C). In a study conducted on papaya root, it was emphasized that the DPPH and total

reduction percentages of papaya root extract were highly similar to the results of ascorbic acid. This similarity is consistent with the results of this study [25].

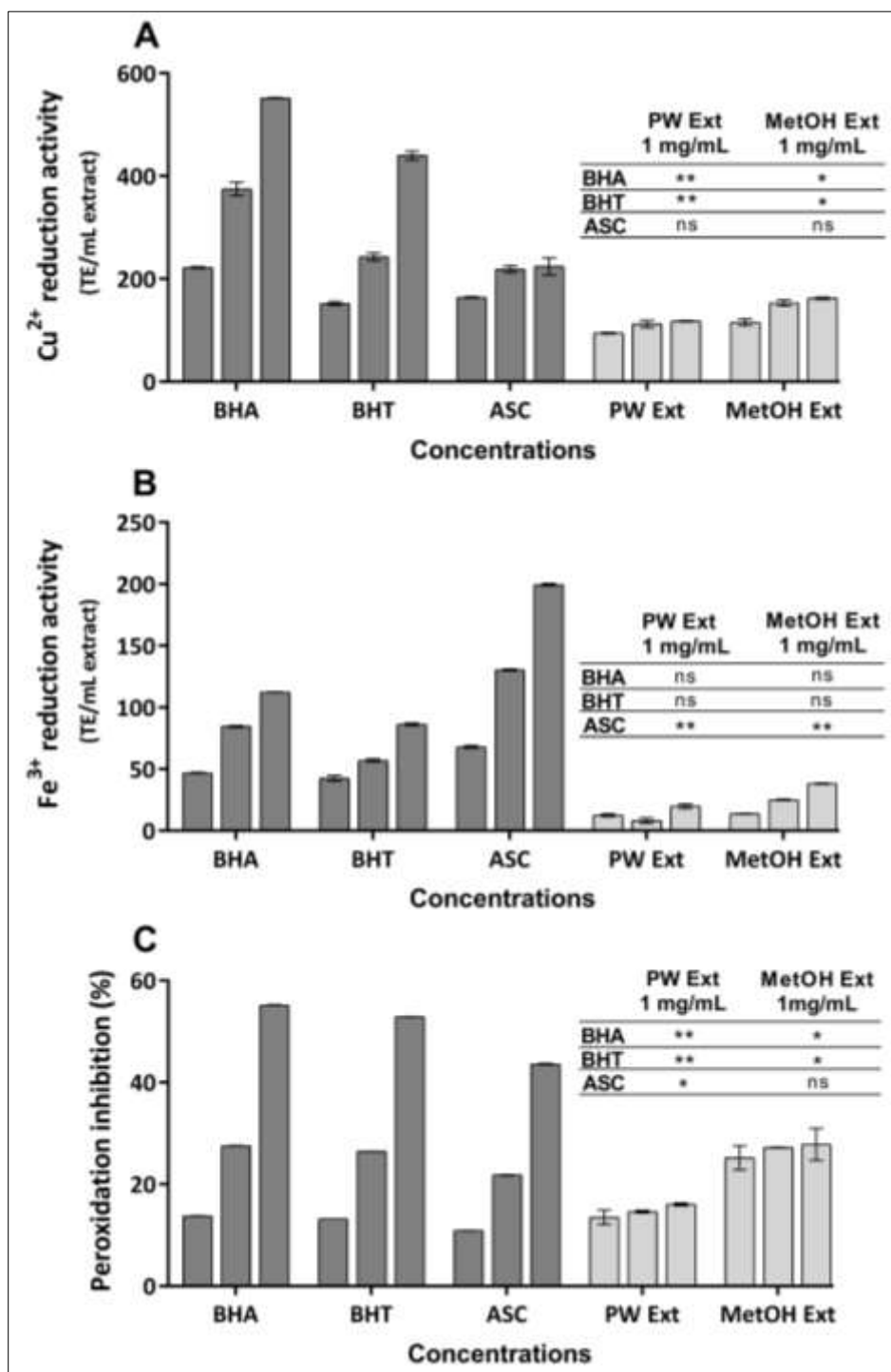


Figure 1. Heavy metal reduction activity and Lipid peroxidation inhibition percentages depending on extract concentrations in the extracts prepared from the *A.arabica* flowers. Heavy metal reduction results are expressed as TE/mL extract and lipid peroxidation results are expressed as percentages. A) Cupric ion (Cu²⁺) reduction results, and B) Ferric iron (Fe³⁺) reduction results and C) % Lipid peroxidation results.

IC₅₀ is expressed as the concentration of the competitive substance that inhibits the specific binding of any medicines at the rate of 50%, and the IC₅₀ values of the extracts were found to be higher than the standard antioxidants. This means that the radical scavenging power of the extracts is weaker than the standards. IC₅₀ values were calculated from the radical scavenging results. IC₅₀ values of PW

extract and MetOH extract were compared statistically with the IC₅₀ values of the standards, and the difference between the means of IC₅₀ values and p values are shown in Table 3. ABTS radical scavenging activity of the MetOH extract is remarkable because of the similarity to the results of BHA and BHT standard antioxidants ($p > .9999$). This similarity indicates that the ABTS radical scavenging activity of MetOH extract is similar to the BHA and BHT. In general, the radical scavenging activities of the extracts were observed to be lower than standards. This result may indicate that the radical reducing force will increase depending on the concentration of MetOH extract, and the weakness in the antioxidant activities of the extracts can be attributed to the absence of many essential oil components and/or the cessation of the many enzymatic reactions in the herbarium material. As known, the extraction method used, fertilization, environmental condition, climate, and the shape of the raw material can alter the plant content and its biological activities [13]. A previous study has reported that the biological activity of the herbarium material is weaker than the fresh plant of the same species [26]. The DPPH radical scavenging activity of the standard and extract is consistent with previous studies. A study conducted on *Barringtonia acutangula* emphasized that the IC₅₀ value of the bark extract was higher than that of the leaf and standard. In addition, this situation observed in this study may be another proof that enzymatic reactions are largely stopped in dry tissue [27].

Table 3. Statistical comparison results of DPPH and ABTS radical scavenging IC₅₀ values. The table shows the difference between the IC₅₀ means and p values.

Samples	DPPH radical scavenging		ABTS radical scavenging	
	Difference between IC ₅₀ means	p value	Difference between IC ₅₀ means	p value
PW Ext / BHA	9	.1371	7.333	.4461
PW Ext / BHT	6	>.9999	7.667	.3576
PW Ext / ASC	12	.0102	12	.0102
MetOH Ext / BHA	6	>.9999	4.333	>.9999
MetOH Ext / BHT	3	>.9999	4.667	>.9999
MetOH Ext / ASC	9	.1371	9	.1371

3.2. DNA Protective Activity Results

Some ROS such as H₂O₂ are well known to cause DNA damage [26] by destroying the primary form of DNA, which is known generally as form I. Form I can be converted into form II or form III with high concentrations of the ROS formed by severe conditions such as heavy metals [27]. This study was performed to verify the observed antioxidant activities and to illuminate the DNA protective effects of the antioxidants in the extract against H₂O₂. It was wondered whether the extracts could protect the DNA against H₂O₂ despite the weakness in heavy metal reduction activity and the radical scavenging activity. For this purpose, the protective effects and regulatory effects on pUC18 DNA were investigated in the environment with H₂O₂ and without H₂O₂, respectively. 5 mL of the samples whose components and amounts are given in Table 1 were taken and loaded into the wells of agarose gel, and the electrophoresis product was visualized with BIORAD ChemiDoc XRS imaging system (Figure 2). It is clear that pure pUC18 DNA has form I and form II structures (Figure 2, well: 1). In addition, form II was transformed to form III by the effect of H₂O₂ (Figure 2, well: 2) and form I and form II disappeared by the effects of DMSO only or H₂O₂ and DMSO together (Figure 2, wells; 3 and 4). In the current study, the effects of the different extract concentrations on pUC18 DNA were investigated. Regardless of the concentration, the extract could not prevent the reactivity of H₂O₂ and could not fix the damage caused by H₂O₂ (Figure 2, wells: 8, 9, 10). Although this result is quite thought-provoking, it is well known that the excessive amount of H₂O₂ in a cell is eliminated by the activities of glutathione peroxidase (GPx) and catalase (CAT) [6] however, these reactions may terminate in the herbarium material. This information may explain the reason why the extract does not show DNA protective activity and suggests data that, independent of enzymatic catalysis, H₂O₂ cannot be effectively eliminated in a cell. In addition, the high concentrations of the extract (0.5 ve 1 mg/mL) were observed to have a positive effect on form I in the absence of H₂O₂ (Figure 2, wells: 5,6,7). As a summary of the DNA protective activity result that supports the antioxidant activity result, there are some phenolics in the herbarium material, however it is understood that the DNA protective activity against H₂O₂ damage is more closely related to the

enzymatic activities that continue effectively in the cell. As a matter of fact, it is known that hydrogen peroxide is converted to water by the enzymatic activities of GPx and CAT in a cell [6].

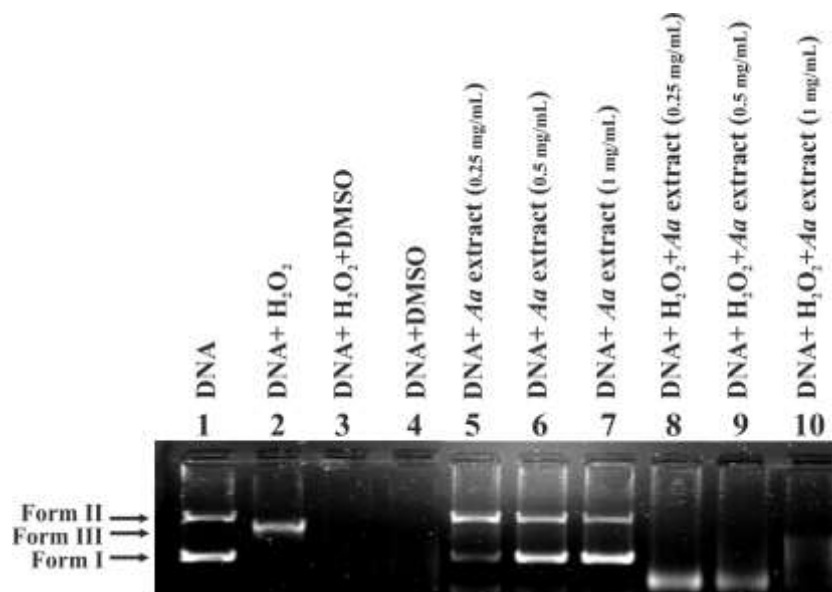


Figure 2. Agarose gel electrophoresis image showing the protective effect of the extract on pUC18 DNA.
Aa: Achillea arabica

3.3. Phenolic concentration results

Plant phenolics are well-known antioxidants and play a protective role against many diseases by supporting the immune system [28]. The effects observed in the antioxidant studies and DNA protective activity were tried to confirm by determining the phenolic content of the extract, and the quantitative amounts of 16 different phenolics were investigated (Table 4). In the HPLC results, the total quantitative amount of the phenolics was detected as quite low (116.338 $\mu\text{g/mL}$). The reason for this may be the weakening of the antioxidant content of the herbarium material over time. As a result supporting this, we determined that the total phenolic content were quite high in the extracts prepared from the aerial parts of four different tanacetum species [28]. According to the determined phenolic content, the quantitative amount of quercetin was the highest (28.793 $\mu\text{g/mL}$) and the quantitative amount of 3,4-Dihydroxybenzoic acid was the lowest (0.584 $\mu\text{g/mL}$). Salicylic acid and Gallic acid could not be detected (Table 4).

Table 4. The $\mu\text{g/mL}$ concentrations of 16 phenolics in the extracts obtained from *A. arabica* flowers.

Phenolic name	Concentration ($\mu\text{g/mL}$)
Ascorbic acid	13.079
Gallic acid	0.000
3,4-Dihydroxybenzoic acid	0.584
4 hydroxybenzoic acid	3.560
Trans-p-coumaric acid	23.720
Myricetin	3.671
Quercetin	28.793
Apigenin	5.834
Kaempferol	13.867
Curcumin	5.778
Catechol	11.332
Vanillin	1.775
Caffeic acid	0.787
Cinnamic acid	3.122
Rosmarinic acid	1.807
Salicylic acid	0.000
Total phenolic content	116.338

The parallelism between antioxidant activity and quantitative phenolic content has been highlighted in previous studies [26]. Phenolic molecules may be effective in the scavenging of some radicals by acting as an antioxidant, however, whether this mechanism is enzymatic or not remains largely unknown. Here, it was observed that there may be a relationship between antioxidant activity, phenolic content, and DNA protective activity.

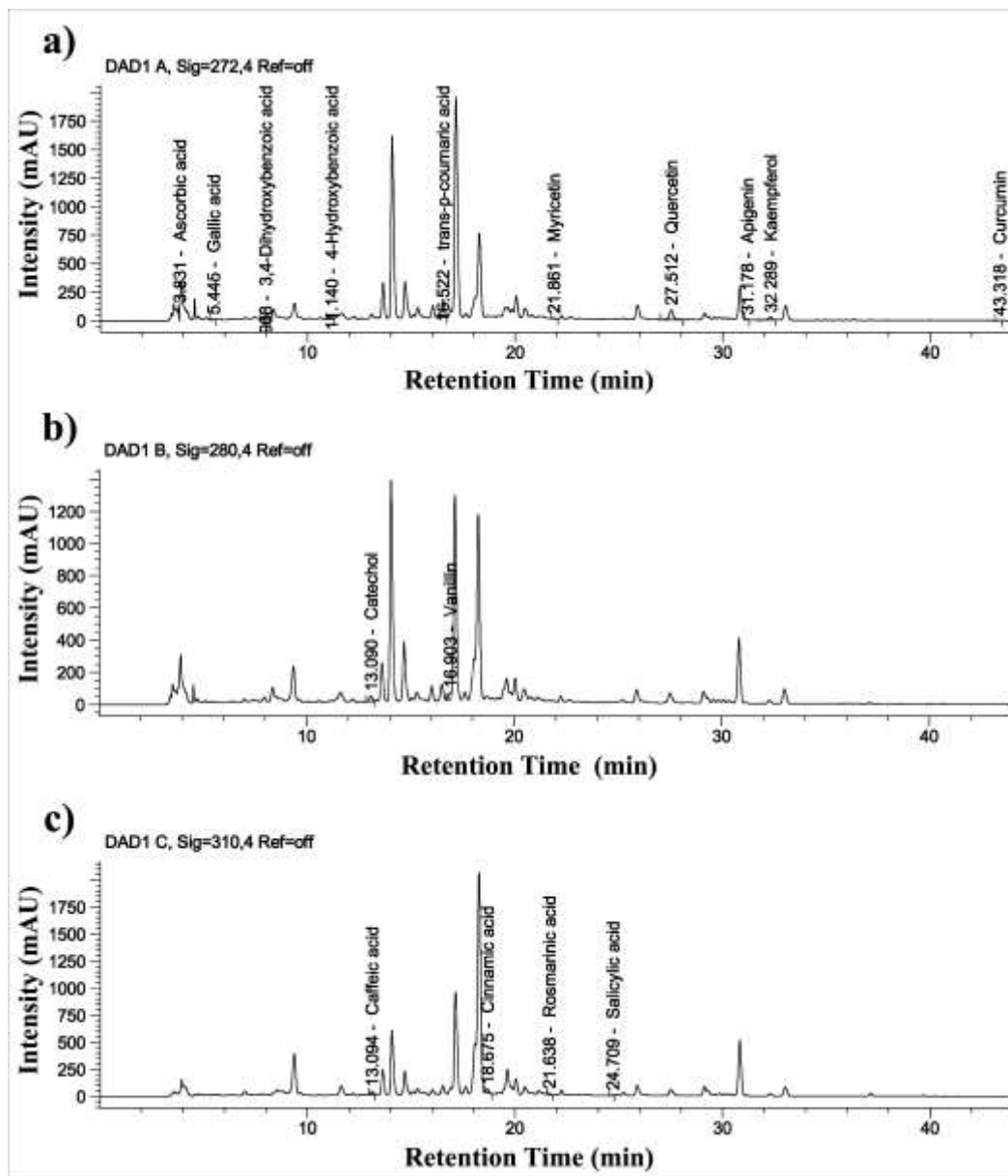


Figure 3. HPLC chromatogram showing the retention times of 16 different phenolic

4. Conclusion

Eventually, although the activities of the cupric ion reduction and the ABTS radical scavenging, and the lipid peroxidation percentages in the MetOH extract were found to be similar to the standards, the ferric iron reduction and radical scavenging activities were significantly lower than the standards. The reason for this may be the termination of enzymatic reactions depending on the herbarium material. Studies emphasizing that fresh plant extracts have stronger antioxidant properties. The extract prepared from herbarium material could not prevent DNA damage caused by H_2O_2 at all extracts concentrations, but had a relatively positive effect on DNA stabilization in the absence of H_2O_2 . This effect may be also related to the termination of many enzymatic reactions in the herbarium material as well as the antioxidant activity results. The phenolic content of the extract prepared from the flowers of the A.

arabica herbarium plant was observed to be quite low in the HPLC study performed. DNA protective activity, which is not observed even at high concentrations, suggests that DNA protective effect and phenolic content may not be related. Despite some insufficient biological activities observed in the studies performed, obtained data may provide useful information for further studies. For this reason, the features of *A. arabica* not yet revealed should be investigated.

Acknowledgement

I would like to express my gratitude to Dr. Murat KURŞAT from Bitlis Eren University for supporting me in the identification of the plant used in the study.

Author's Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

Statement of Conflicts of Interest

The author has no conflict of interest with any other person about this study.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Alan Y., Savcı A., Koçpınar E.F., Kurşat M., Topdemir S., Karataş M., Çakmak B. 2019. Antimicrobial, antioxidant and DNA protective effects and phenolic content of *Lallementia canescens* (L.) Fisch. and CA Mey. and *Lallementia peltata* (L.) Fisch. and CA Mey. Biological Diversity and Conversation, 12 (3): 78-88.
- [2] Kikowska M., Dworacka M., Kędziora I., Thiem B. 2016. *Eryngium creticum*-ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacological activity. A review. Revista Brasileira de Farmacognosia, 26 (3): 392-399.
- [3] Koc S., Işgor B.S., Işgor Y.G., Moghaddam N.S., Yildirim O. 2015. The potential medicinal value of plants from Asteraceae family with antioxidant defense enzymes as biological targets. Pharmaceutical Biology, 53 (5): 746-751.
- [4] Soumia B. 2018. *Eryngium campestre* L.: Polyphenolic and flavonoid compounds; Applications to health and disease. Polyphenols: Mechanisms of Action in Human Health and Disease Academic Press, (Second Edition): 69-79.
- [5] Nebija F., Stefkov G., Karapandzova M., Stafilov T., Panovska T.K., Kulevanova S. 2009. Chemical characterization and antioxidant activity of *Eryngium campestre* L., Apiaceae from Kosovo. Macedonian Pharmaceutical Society, Marshal Tito 13b/8, Skopje Macedonia, 23.
- [6] Savcı A., Koçpınar E.F., Budak H., Ciftci M., Sisecioglu M. 2020. The Effects of Amoxicillin, Cefazolin, and Gentamicin Antibiotics on the Antioxidant System in Mouse Heart Tissues. Protein Peptide Letters, 27 (7): 614-622.
- [7] Budak H., Koçpınar E.F., Gonul N., Ceylan H., Erol H.S., Erdogan O. 2014. Stimulation of gene expression and activity of antioxidant related enzyme in Sprague Dawley rat kidney induced by long-term iron toxicity. Comparative Biochemistry Physiology C Toxicology and Pharmacology, 166: 44-50.
- [8] Budak H., Gonul N., Ceylan H., Koçpınar E.F. 2014. Impact of long term Fe³⁺ toxicity on expression of glutathione system in rat liver. Environmental Toxicology and Pharmacology, 37 (1): 365-70.
- [9] Savcı A., Koçpınar E.F., Alan Y., Kursat M. 2020. Antioxidant, antimicrobial, and DNA protection activities of some *Tanacetum* species and phenolic richness in their ethanolic extracts. International Food Research Journal, 27 (1): 160-170.

- [10] Nikolić, M., Stevović S. 2015. Family Asteraceae as a sustainable planning tool in phytoremediation and its relevance in urban areas. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14 (4): 782-789.
- [11] Tahtiharju S., Rijpkema A.S., Vetterli A., Albert V.A., Teeri T.H., Elomaa P. 2012. Evolution and diversification of the CYC/TB1 gene family in Asteraceae a comparative study in Gerbera (Mutisieae) and sunflower (Heliantheae). *Molecular Biology and Evolution*, 29 (4): 1155-1166.
- [12] Panda S.K., Luyten W. 2018. Antiparasitic activity in Asteraceae with special attention to ethnobotanical use by the tribes of Odisha, India. (Review). *Parasite*, 25, 10.
- [13] Kaffash S., Sefidkon F., Mafakheri S. 2020. Comparing Essential Oil Composition of Cultivated and Wild Samples of *Achillea biebersteinii* Afan. in Kurdistan Province. *Journal of Medicinal plants and By-product*, 9 (2): 149-158.
- [14] Başer K.H.C. 2016. Essential oils of *Achillea* species of Turkey. *Natural Volatiles and Essential Oils*, 3 (1): 1-14.
- [15] Qader K.O., Al-Saadi S.A., Faraj I.M. 2018. Phytochemical Constituents of Leaves Essential oils of *Achillea fragrantissima* (Asteraceae) from Iraq. *Aro-the Scientific Journal of Koya University*, 6 (2): 56-62.
- [16] Mottaghi M. P., Salehi Shanjani Jafari A.A., Mirza M., Bihanta M.R. 2016. Eessential Oil Composition of *Achillea filipendulina*, *A. arabica* and *A. eriophora* Cultivated under Temperate Climate in Iran. *Journal of Medicinal plants and By-product*, 5(2): 153-158.
- [17] Gulcin I. 2006. Antioxidant activity of caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid). *Toxicology*, 217 (2-3): 213-20.
- [18] Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reaction: antioxidative activity of products of browning reaction. *The Japanese journal of nutrition and dietetics*, 44(6): 307-315.
- [19] Blois M.S. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181 (4617): 1199-1200.
- [20] Wu L.C., Chang L.H., Chen S. H., Fan N. C., Ho J.A. 2009. Antioxidant activity and melanogenesis inhibitory effect of the acetonic extract of *Osmanthus fragrans*: A potential natural and functional food flavor additive. *LWT-Food Science and Technology*, 42 (9): 1513-1519.
- [21] Siddall T.L., Ouse D.G., Benko Z.L., Garvin G.M., Jackson J.L., McQuiston J.M., Ricks M.J., Thibault T.D., Turner J.A., VanHeertum J.C., Weimer M.R. 2002. Synthesis and herbicidal activity of phenyl-substituted benzoylpyrazoles. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 58 (12): 1175-1186.
- [22] Seal T. 2016. Quantitative HPLC analysis of phenolic acids, flavonoids and ascorbic acid in four different solvent extracts of two wild edible leaves, *Sonchus arvensis* and *Oenanthe linearis* of North-Eastern region in India. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6 (2): 157-166.
- [23] Ceylan H., Budak H., Koçpınar E.F., Baltacı N.G., Erdogan O. 2019. Examining the link between dose-dependent dietary iron intake and Alzheimer's disease through oxidative stress in the rat cortex. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 56: 198-206.
- [24] Koçpınar E.F., Kursat M., Savcı A., Alan Y. 2020. Some biological properties of ethanol extract prepared from the aerial parts of *Scutellaria albida* subsp *candense*. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 10 (2): 43-48.
- [25] Bankole O., Olasunkanmi A. 2019. *In Vitro* Antioxidant Activity of Aqueous Leaf Extract of *Delonix regia*. *Journal of Science and Technology*,. 5 (2): 71-77.
- [26] Hamrouni-Sellami I., Rahali F.Z., Rebey I.B., Bourgou S., Limam F., and Marzouk B. 2013. Total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) plants as affected by different drying methods. *Food and Bioprocess Technology*, 6 (3): 806-817.
- [27] Mohan S.C., Anand T., 2019. *In vitro* Antioxidant Activity of Leaf and Bark Extracts of *Barringtonia acutangula* Linn. *International Research Journal Biology Sci*, 1 (1): 37-40.
- [28] Savcı A., Koçpınar E.F., Alan Y., Kurşat M., 2020. Antioxidant, antimicrobial, and DNA protection activities of some *Tanacetum* species and phenolic richness in their ethanolic extracts. *International Food Research Journal* 27 (1): 160-170.
- [29] Gjorgieva D., Kadifkova T. Panovska T., Ruskovska Bačeva K., Stafilov T. 2013. Influence of heavy metal stress on antioxidant status and DNA damage in *Urtica dioica*. *BioMed Research International*, 1-6.

Araştırma Makalesi / Research Article

***Saccharomyces cerevisiae*'de Krom ($K_2Cr_2O_7$) ile Oluşturulan Oksidatif Hasara Goji Berry'nin Koruyucu Etkileri**

Abdullah ASLAN*

*Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi Biyoloji -Moleküler Biyoloji ve Genetik Programı, Elazığ
(ORCID: 0000-0002-6243-4221)*

Öz

Kurt üzümü antioksidan özellikleri sayesinde son zamanlarda kullanılan fonksiyonel gıdalar arasında yer almaktadır. Anti-oksidatif, kardiyoprotektif, nöroprotektif, anti-diabet, anti-kanser ve anti-tümör özelliklerinin yanı sıra daha birçok hastalığın tedavisinde koruyucu rol oynadığı bilinmektedir. Bu çalışmada kurt üzümü'nün *Saccharomyces cerevisiae* de krom ($K_2Cr_2O_7$) hasarına karşı koruyucu bir rolü olup olmadığını araştırmak için 4 grup oluşturulmuştur. Gruplar; (1) Kontrol grubu; (2) Kurt Üzümü Grubu (%10); (3) Krom ($K_2Cr_2O_7$) Grubu (10 mM); (4) Kurt Üzümü (% 10) + Krom ($K_2Cr_2O_7$) (10 mM) Grubu. *Saccharomyces cerevisiae* kültürleri 1h, 3h, 5h ve 24h boyunca 30 °C'de geliştirilmiştir. Malondialdehit (MDA) düzeyleri, katalaz aktivite tayini (CAT), glutatyon (GSH) seviyeleri ve hücre gelişimi spektrofotometre ile ölçülmüştür. SDS-PAGE elektroforez analizi ile total protein değişiklikleri tespit edilmiş ve Bradford metodu ile hesaplanmıştır. Çalışma sonuçlarımıza göre; Krom ($K_2Cr_2O_7$) grubu ile kıyaslandığında, Kurt Üzümü + Krom ($K_2Cr_2O_7$) grubunda hücre gelişimi (1h, 3h, 5h ve 24h), total protein sentezi (24h), GSH seviyeleri (24h) ve katalaz aktiviteleri (24h) artarken, MDA düzeyi (24h) azalış göstermiştir. Sonuç olarak, kurt üzümü yaprağı'nın *Saccharomyces cerevisiae* kültüründe Krom ($K_2Cr_2O_7$) kaynaklı oksidatif hasarı azaltarak, total protein sentezini olumlu yönde artırdığı belirlenmiştir. Bu nedenle *Saccharomyces cerevisiae* kültüründe kurt üzümü yaprağı tedavisinin hücre gelişimi ve büyümesinde teşvik edici bir role sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Anahtar kelimeler: Oksidatif stres, Krom, Kurt üzümü, *Saccharomyces cerevisiae*, SDS-PAGE

The Protective Effects of Goji berry Against Oxidative Damage Caused by Chromium ($K_2Cr_2O_7$) in *Saccharomyces cerevisiae*

Abstract

Goji berry is among the functional foods that have been used recently due to its antioxidant properties. In addition to its anti-oxidative, cardio-protective, neuro-protective, anti-diabetes, anti-cancer and anti-tumor properties, it is known to play a protective role in the treatment of many other diseases. In this study, 4 groups were formed to investigate whether Goji berries have a protective role against chromium ($K_2Cr_2O_7$) damage in *Saccharomyces cerevisiae*. Groups; (1) Control group; (2) Goji berry Group (10%); (3) Chromium ($K_2Cr_2O_7$) Group (10 mM); (4) Goji berry (10%) + Chromium ($K_2Cr_2O_7$) (10 mM) Group. *Saccharomyces cerevisiae* cultures were developed at 30 °C for 1h, 3h, 5h and 24h. Malondialdehyde (MDA) levels, catalase activity assay (CAT), glutathione (GSH) levels and cell growth were measured by spectrophotometer. Total protein changes were determined by SDS-PAGE electrophoresis analysis and calculated by the Bradford method. According to our study results, when compared to the Chromium ($K_2Cr_2O_7$) group, cell development (1h, 3h, 5h and 24h), total protein synthesis (24h), GSH levels (24h) and catalase activities (24h) increased in the Goji berry + Chromium ($K_2Cr_2O_7$) group. As a result, it was determined that Goji berry leaf positively increased total protein synthesis by reducing chromium ($K_2Cr_2O_7$) induced oxidative damage in *Saccharomyces cerevisiae* culture. Therefore, we can say that Goji berry leaf treatment has a stimulating role in cell development and growth in the culture of *Saccharomyces cerevisiae*.

Keywords: Oxidative stress, Chromium, *Saccharomyces cerevisiae*, SDS-PAGE, Goji berry

*Sorumlu yazar: aaslan@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.03.2021, Kabul Tarihi: 31.05.2021

1. Giriş

Son yıllarda kimyasal ilaçların yan etkilerinden dolayı doğal bitkisel ilaçlara veya doğal bitkisel besin kaynaklarına yönelik eğilim önemli ölçüde artmıştır. Doğal koşullarda yetiştirilen ve günlük olarak belirli miktarlarda tüketildiğinde herhangi bir yan etkisi olmayan bazı meyveler ve şifalı bitkiler insanlar tarafından birçok hastalığın tedavisi için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu bitkilerden biri olan kurt üzümü Solanaceae familyasına ait çok yıllık bir bitkidir. İçeriğindeki fenolikler, vitaminler, karotenoidler ve polisakkaritler gibi çeşitli bileşenleri nedeniyle insan sağlığı üzerinde birçok yararlı etkiye sahip bir meyvedir. Anti-diyabetik, anti-oksidan, anti-kanser, anti-depresan, yaşlanmayı önleme ve immünomodülatör gibi birçok farmakolojik etkileri bulunmaktadır [1-3]. Kurt üzümü günümüzde dünyadaki en yeni "süper meyve" olarak kabul edilmektedir. Meyveleri turuncu-kırmızı renkte olup tatlı ve keskin bir tada sahiptir. Çoğunlukla Tibet, Çin ve Moğolistan'da bulunmaktadır. Kurt üzümü, gıda ve geleneksel Çin şifalı bitkisi olarak kullanılmıştır ve şu anda Doğu ve Batı'da popüler bir gıda haline gelmiştir [4, 5]. Kurt üzümü'nün farklı yerel isimleri vardır; en yaygın adı olan "wolfberry", kurt anlamına gelenle ilişkili olduğu için "gou" karakterinden gelmektedir. Çin'de evlilik şarabı, Japonya'da ise kuko, Himalaya'da Himalaya gojisi ve Tibet'te Tibet gojisi olarak isimlendirilmektedir. Ülkemizde ise dikenli çalı şeklinde olduğu için tekediken, yemişgen, şeytan ipliği, kurt üzümü, çay ağacı gibi isimler ile bilinmektedir. Kurt üzümü'nün yaprakları Güneydoğu Asya ve Çin'de yaygın olarak işlevsel bir çay veya diyet takviyesi olarak tüketilmektedir. Yapraklarında da biyolojik aktivite gösteren kuvarsetin ve gentisik asit gibi flavonoidlerin bulunduğu bilinmektedir. Araştırmalar kurt üzümü meyvesindeki antioksidan moleküllerin, oksidatif stresi azaltarak, yani serbest radikallerin proteinlere, DNA'ya ve lipidlere zarar vermesini önleyerek sağlık açısından birçok koruyucu fayda sağlayabileceğini bildirmektedir [6, 7]. Hormonların ve sinir sisteminin çalışması için gerekli yağ asitlerinin olmasının yanı sıra kalp ve kan basıncı için de maddeler içermektedir. Oldukça etkili bir anti-fungal ve anti-bakteriyel madde olan Solavetivone ile Löseminin bütün tiplerine karşı aktif bir bileşik olan Physalin içermektedir. Ayrıca yaşlanmayla ilgili dejenerasyonların önlenmesinde ve içerdiği yüksek lif oranıyla kabızlığın önlenmesinde aktif rol oynamaktadır [8]. Bu çalışmanın amacı, *Saccharomyces cerevisiae*'de kurt üzümü yaprağının $K_2Cr_2O_7$ kaynaklı oksidatif hasara karşı koruyucu etkilerini araştırmaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırma grupları

Bu çalışmada *Saccharomyces cerevisiae*'de krom ($K_2Cr_2O_7$) ile oluşturulan hasara karşı kurt üzümü yaprağı'nın koruyucu etkisi araştırılmıştır. Çalışma gruplarımız; (1) Kontrol grubu; (2) Kurt üzümü Grubu (%10); (3) Krom ($K_2Cr_2O_7$) Grubu (10 mM); (4) Kurt üzümü (% 10) + Krom ($K_2Cr_2O_7$) (10 mM) Grubu.

2.2. Kültüre kurt üzümü yaprağı ve krom ($K_2Cr_2O_7$) uygulanması

Saccharomyces cerevisiae'nin gelişim ortamı: Mayaların geliştirilmesi ve çoğaltılması için YEPD (250 ml için; 7.5 g maya özütü, 7.5 g tripton, 7.5 g glukoz) hazırlandı. Daha sonra 5 erlen alındı ve erlenlerin her birine hazırlanan 250 ml'lik besiyerden 50 ml eklendi. Otoklavda 121 °C 1 saat bekletildikten sonra çıkarılarak soğutulma işlemi gerçekleştirildi. Bek alevi yanında her bir erlene 800 µl maya ekimi yapıldı. Etüvde 20 dk. bekletildikten sonra kör ölçümü yapıldı. %10'luk kurt üzümü yaprağı'nın hazırlanması için; 10 g kurt üzümü yaprağı tartıldı. 100 ml kaynar distile suda demleme şeklinde 10-15 dk. bekletildi. Daha sonra steril bir tülbent vasıtasıyla süzülerek kullanıldı. Ardından etüvden çıkarılan diğer erlenlere bek alevi yanında $K_2Cr_2O_7$ ve kurt üzümü yaprağı eklendi. Grupların içeriğine göre kurt üzümü yaprağı süzüntüsünden 10 ml, $K_2Cr_2O_7$ 'den 0,30 gram eklenerek 30°C'de geliştirildi [9].

2.3. Hücre gelişimi ölçümleri

Kültür örnekleri 1h, 3h, 5h ve 24h boyunca (gece boyunca) 30 °C'de geliştirildi ve 600 nm (OD_{600}) dalga boyunda spektrofotometre kullanılarak ölçümleri yapıldı [9].

2.4. Sodyum dodesil sülfat–poliakrilamid jel elektroforez (SDS-PAGE) protein izolasyonu

Kültür örneğinden 1 ml alınıp 13000 rpm’de 5 dk. santrifüj edildikten sonra pelet kısmı alınarak 500 µl TEA (pH: 7.5) içerisinde çözüldü. Hücreler, sonikatör (Bandelin Sonopuls, Almanya) ile güç 2’de iki defa 10 sn. parçalandıktan sonra 5 dk. buz içerisinde bekletildi. Ardından 13000 rpm’de 10 dk. santrifüj edildi ve pelet kısmı alındı. SDS-PAGE çalışmaları için eşit miktarda örnek boyama solüsyonuyla karıştırıldı ve elektroforez için kullanıma hazır hale getirildi [10].

2.5. Sodyum dodesil sülfat–poliakrilamid jel elektroforez (SDS-PAGE) analizi

Saccharomyces cerevisiae kültürlerinin protein örnekleri kuyulara yüklenmeden önce eşit miktarda protein örnek uygulama tamponu ilave edilerek 5 dk. kaynatılmıştır. SDS-PAGE elektroforez analizi için 1x tank tamponu ilave edilmiştir. Proteinlerin jeldeki hareketinin izlenmesini sağlayan boyaya (bromofenol mavisi) ait mavi bant, jelin sonuna gelinceye kadar 30 mA akım uygulanmıştır. Elektroforez sonrası jel, oda sıcaklığında 30 dk. veya 1 saat boyunca Coomassie mavisi ile boyanmış jeldeki protein bantları görünür hale gelinceye kadar boya uzaklaştırıcı solüsyon ile yıkanmıştır. Jel görüntüleri alınarak gruplar arasındaki protein bantları incelenmiştir [11, 12].

2.6. Total protein yoğunluğu ölçümleri (Bradford)

Total protein yoğunluğu, bradford yöntemine göre 595 nm’de (OD_{595}) bir spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirildi. BSA (bowin serum albümin) proteini kullanılarak farklı konsantrasyonlarda BSA protein standartları elde edildi. Buna göre, bu standart değere karşılık gelen *Saccharomyces cerevisiae* gruplarındaki toplam protein miktarı hesaplanmıştır [10, 13].

2.7. MDA (malondialdehit) analizi

MDA analizinde, test deney tüpüne 0,5 µl örnek, kör tüpüne ise 0,5 ml saf su konulduktan sonra bütün deney tüplerine 2,5 ml % 20’lik TCA ve 1 ml TBA’dan eklenmiştir. Ardından 90 °C sıcaklıkta kaynar su banyosunda 30 dk. beklendikten sonra soğutulmuştur. Üzerine 4 ml n-butanol-piridin karışımından eklenip vorteksledikten hemen sonra 3000 rpm’de 10 dk. santrifüj edilmiştir. Bu işlem sonunda üstteki faz kısmı alınarak spektrofotometrede 532 nm dalga ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar nmol/ml olarak kaydedilmiştir [14].

2.8. Katalaz aktivite tayini

Katalaz ölçümü yapmak için iki tüp alınarak kör tüpüne 30 mM’lık 1.4 ml H₂O₂ ilave edilmiştir. Üzerine 0.1 ml fosfat tamponu eklendikten sonra örnek tüpüne 30 mM’lık 1.4 ml H₂O₂ ve 0.1 ml enzim ilave edilmiştir. 30 sn. ve 1 dk. aralıklarla spektrofotometrede 240 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuştur [15].

2.9. GSH aktivite ölçümü

0,1 ml kültür örneği 0,4 ml TCA (%10 trikloroasetik asit) solüsyonu ile karıştırıldı, 20 sn vorteks yapıldıktan sonra ve 3000 rpm’ de 5 dk. santrifüj edildi. 0,1 ml süpernatant temiz bir tüp içine alınarak, üzerine 0,9 ml distile su, 2 ml Tris tamponu (0,4M pH:8,9) ve 0,1 ml DTNB solüsyonu eklendi. Oluşan sarı renk distile suya karşı spektrofotometrede 412 nm dalga boyunda okundu [16].

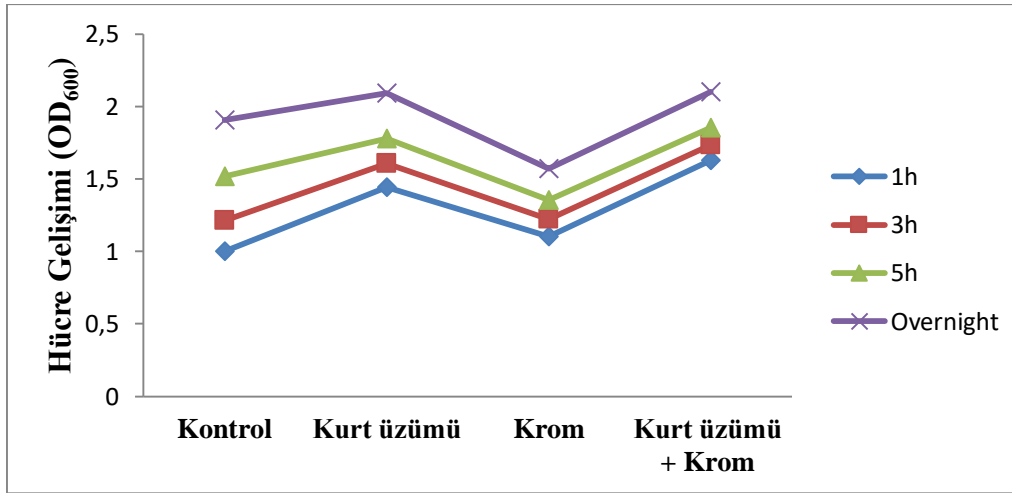
2.10. İstatistiksel analizler

Çalışmanın istatistiksel analizleri SPSS 22 paket programı ile analiz edilmiştir. One Way Anova *Post Hoc* Tukey LSD testleri kullanılarak gruplar arası farklılıklar belirlenmiştir. Çalışma gruplarına ait veriler ortalama ± standart sapma (Ort ± Sd) olarak tespit edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Günümüzde kronik ve ölümcül hastalıkların sayısının artmasının yanı sıra tedavi olanaklarının da kısıtlı kalması insanları alternatif tıp yöntemlerine yönlendirmektedir. Alternatif tıp yöntemlerinde biri olan fitoterapi yani bitkisel tedavi yöntemlerine olan ilgi gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Son yıllarda bitkisel tedavilerde çok kullanılan meyvelerden biri olan kurt üzümü'nün sağlığı koruyucu etkileri ve antioksidan rolleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir. İçeriğinde bulunan karotenoidler, fenilpropanoidler, flavonoidler, polifenoller ve polisakkaritlerde dahil olmak üzere 200'den fazla doğal biyoaktif bileşikler sayesinde anti-aging, anti-glokom, anti-kanser, anti-tümör, anti-diyabetik, immün regülasyon ve nöroprotektif özellikler gibi biyolojik işlevsellik sunmaktadır [17,18]. Bu çalışma sonucunda elde edilen verilerin, literatürdeki eksiklikleri doldurarak önemli katkılar sağlayacağını düşünmekteyiz.

Şekil 1'e göre farklı gelişim zamanları olan gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0,05$). Kültür ortamına aktarılan kurt üzümü'nün, *Saccharomyces cerevisiae*'de oluşturulan $K_2Cr_2O_7$ hasarına karşı hücre gelişimini arttırdığı görülmüştür. Buna karşılık $K_2Cr_2O_7$ grubunda ise hücre gelişiminin en az olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. *Saccharomyces cerevisiae*'nin kurt üzümü ile farklı saatlerdeki hücre gelişimi

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4, Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen total protein sonuçları incelendiğinde, kurt üzümü'nün, *Saccharomyces cerevisiae* de protein sentezini teşvik ettiğini söyleyebiliriz. Kontrol ve Kurt üzümü grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmezken; özellikle $K_2Cr_2O_7$ grubu ile kıyaslandığında Kurt üzümü (% 10) + $K_2Cr_2O_7$ (10 mM) grubunda total protein seviyesinin hem süpernatant hem de pellet gruplarında yüksek oranda arttığı görülmektedir.

Tablo 1. Bradford süpernatant total protein yoğunlukları

Gruplar (Süpernatant)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> Total Protein Seviyesi (nmol/ml)
Kontrol	2,65 ± 2,00 ^a
Kurt üzümü	2,70 ± 2,00 ^a
Krom ($K_2Cr_2O_7$)	1,65 ± 2,00 ^c
Kurt üzümü + Krom ($K_2Cr_2O_7$)	2,10 ± 2,00 ^b

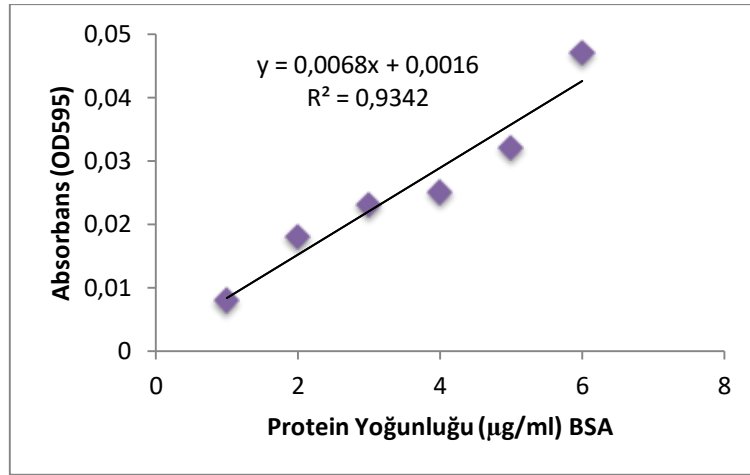
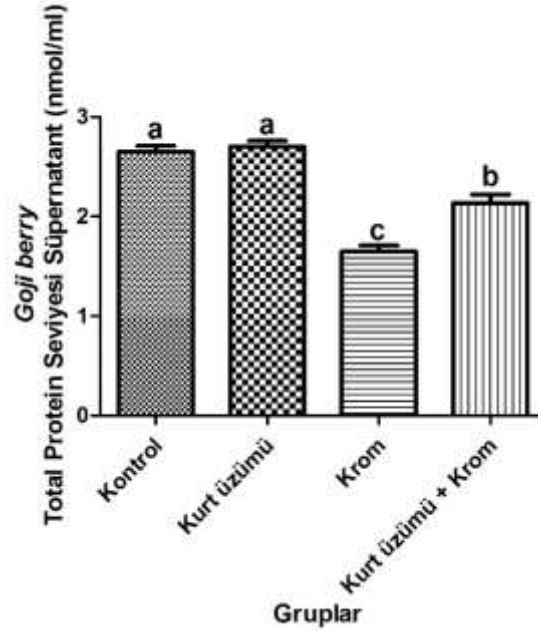
a-c:

Sütunlarda farklı harfi taşıyan gruplar arası fark önemlidir ($p < 0,05$).
One- Way ANOVA Post Hoc LSD Testi.

Tablo 2. Bradford pelet total protein yoğunlukları

Gruplar (Pelet)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> Total Protein Seviyesi (nmol/ml)
Kontrol	135,20 ± 2,00 ^a
Kurt üzümü	141,97 ± 2,00 ^a
Krom (K ₂ Cr ₂ O ₇)	90,05 ± 2,00 ^c
Kurt üzümü + Krom (K ₂ Cr ₂ O ₇)	116,23 ± 2,00 ^b

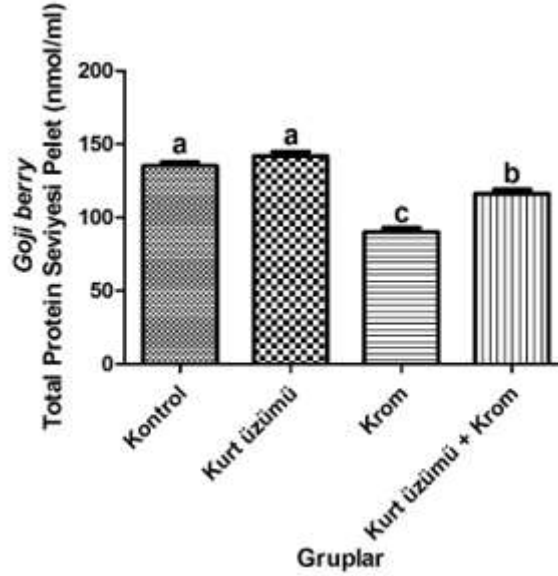
a-c: Sütunlarda farklı harfi taşıyan gruplar arası fark önemlidir (p < 0.05).
One- Way ANOVA *Post Hoc* LSD Testi.

**Şekil 2.** BSA (bowin serum albümin) standart eğrisi µg/ml**Şekil 3.** Bradford süpernatant total protein yoğunlukları

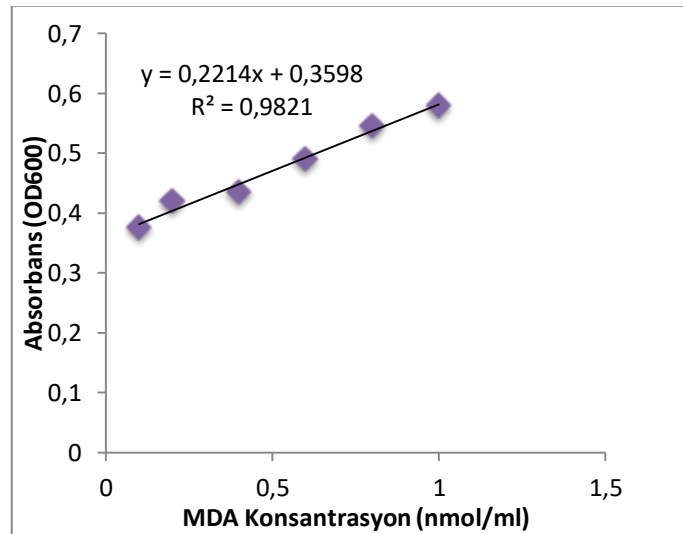
Tablo 3. *Saccharomyces cerevisiae* MDA seviyesi

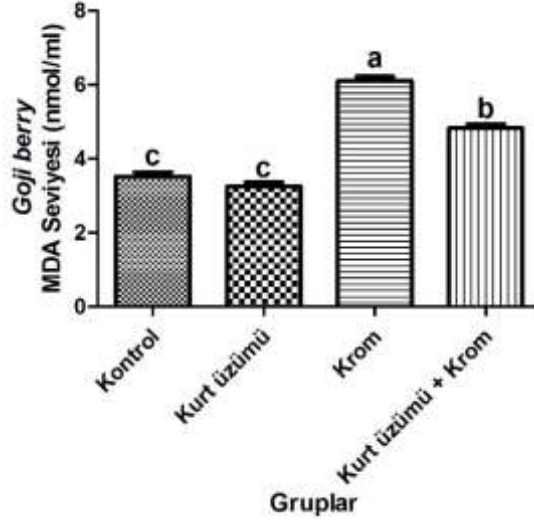
Gruplar	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> MDA Seviyesi (nmol/ml)
Kontrol	3,52 ± 2,00 ^c
Kurt üzümü	3,25 ± 2,00 ^c
Krom (K ₂ Cr ₂ O ₇)	6,11 ± 2,00 ^a
Kurt üzümü + Krom (K ₂ Cr ₂ O ₇)	4,82 ± 2,00 ^b

a-c: Sütunlarda farklı harfi taşıyan gruplar arası fark önemlidir (p < 0,05).
One- Way ANOVA *Post Hoc* LSD Testi

**Şekil 4.** Bradford pelet total protein yoğunlukları

Tablo 3, Şekil 5 ve Şekil 6’da verilen MDA seviyelerini incelediğimizde; K₂Cr₂O₇ grubunda MDA seviyesinin en yüksek olduğu, kurt üzümü’nün anti-oksidan etkisinden dolayı Kurt üzümü (% 10) + K₂Cr₂O₇ (10 milimolar) grubunda MDA seviyesinin anlamlı bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

**Şekil 5.** *Saccharomyces cerevisiae* MDA standart grafiği

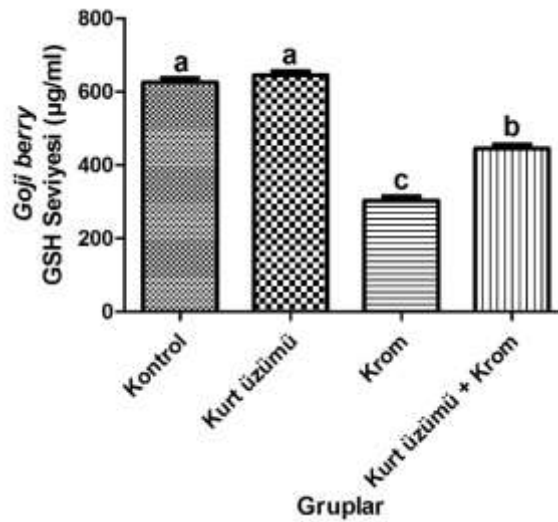
Şekil 6. *Saccharomyces cerevisiae* MDA düzeyi

Tablo 4 ve Şekil 7’de verilen GSH düzeylerini incelediğimizde; kontrol ve kurt üzümü gruplarında istatistiksel bir fark görülmezken, $K_2Cr_2O_7$ grubunda GSH seviyesinin en düşük olduğu, Kurt üzümü (% 10) + $K_2Cr_2O_7$ (10 milimolar) grubunda ise GSH seviyesinin anlamlı bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4. *Saccharomyces cerevisiae* GSH seviyesi

GRUPLAR	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> GSH Seviyesi (µg/ml)
Kontrol	625,88 ± 2,00 ^a
Kurt üzümü	644,70 ± 2,00 ^a
Krom ($K_2Cr_2O_7$)	303,52 ± 2,00 ^c
Kurt üzümü + Krom ($K_2Cr_2O_7$)	444,70 ± 2,00 ^b

a-c: Sütunlarda farklı harfi taşıyan gruplar arası fark önemlidir (p < 0,05).
One- Way ANOVA Post Hoc LSD Testi

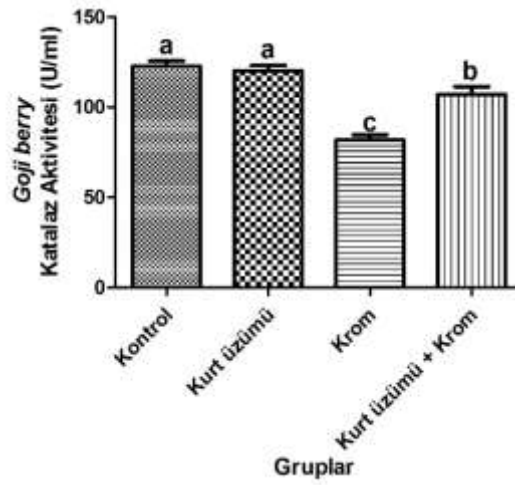
Şekil 7. *Saccharomyces cerevisiae* GSH seviyesi

Tablo 5, Şekil 8’de verilen CAT aktivite tayinlerini incelediğimizde; GSH seviyelerine benzer şekilde Kontrol ve Kurt üzümü gruplarında istatistiksel bir fark görülmemiştir. $K_2Cr_2O_7$ grubunda GSH seviyesinin en düşük olduğu, Kurt üzümü (% 10) + $K_2Cr_2O_7$ (10 milimolar) grubunda ise CAT seviyesinin anlamlı bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5. *Saccharomyces cerevisiae* CAT seviyesi

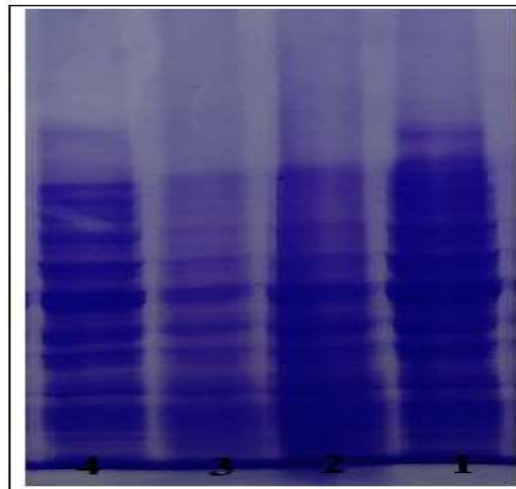
GRUPLAR	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> CAT Aktivitesi (U/ml)
Kontrol	122,85 ± 2,00 ^a
Kurt üzümü	120,35 ± 2,00 ^a
Krom ($K_2Cr_2O_7$)	81,97 ± 2,00 ^c
Kurt üzümü + Krom ($K_2Cr_2O_7$)	105,35 ± 2,00 ^b

a-c: Sütunlarda farklı harfi taşıyan gruplar arası fark önemlidir (p < 0,05).
One- Way ANOVA Post Hoc LSD Testi



Şekil 8. *Saccharomyces cerevisiae* CAT seviyesi

Şekil 9’deki SDS-PAGE jel görüntüsü incelendiğinde; protein yoğunluğunun $K_2Cr_2O_7$ grubunda en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kurt üzümü grubunda protein yoğunluğunun en fazla olduğu, $K_2Cr_2O_7$ grubuna kıyasla Kurt üzümü (% 10) + $K_2Cr_2O_7$ (10 milimolar) grubunda ise protein yoğunluğunun yüksek oranda arttığı gözlemlenmektedir. Bu çalışma sonucunda, kurt üzümü’nün $K_2Cr_2O_7$ ’in olumsuz etkilerine rağmen *Saccharomyces cerevisiae*’nin gelişimini arttırdığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 9. SDS- PAGE Pelet Protein Bantları. Bantlar 1: Kurt üzümü 2: Kontrol; 3: Krom ($K_2Cr_2O_7$) 4: Kurt üzümü + Krom ($K_2Cr_2O_7$)

Chan ve arkadaşları [19], kurt üzümü'nün retinitis pigmentosa hastalarında görme bozukluğunu geciktirmeye yardımcı olup olmadığını ve retina fonksiyonları üzerindeki tedavi etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Kurt üzümü tedavisinin retina için nöroprotektif bir etki sağladığı ve retinitis pigmentosa koni dejenerasyonunu geciktirmeye yardımcı olduğu sonucuna varmışlardır. Amagase ve Nance [20], sağlıklı yetişkin insanlarda Kurt üzümü tüketiminin metabolizma hızını artırarak kilo vermeye yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Chiancone ve arkadaşları [21], kurt üzümü tedavisinin kronik bakteriyel prostatın önlenmesinde oldukça güçlü etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Aslan ve arkadaşları [13], domatesin *Saccharomyces cerevisiae*'de H₂O₂ kaynaklı hasara karşı koruyucu rollerini araştırmışlardır ve domatesin antioksidan özelliği sayesinde koruyucu bir özelliğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Aslan ve arkadaşları [10], üzüm çekirdeği ekstraktının *Saccharomyces cerevisiae*'de H₂O₂'in neden olduğu oksidatif stres hasarını azalttığı ve *Saccharomyces cerevisiae* büyümesi üzerinde koruyucu bir role sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, H₂O₂ gruplarında MDA seviyesinin arttığını ortaya koymuşlardır. Beyaz ve arkadaşları [14], *Saccharomyces cerevisiae*'de H₂O₂ kaynaklı oksidatif strese kızılçık (*Cornus mas* L.) ve karadut (*Morus nigra* L.) meyvelerinin koruyucu etkilerini araştırmışlardır. Kızılçık ve karadut meyvelerinin oksidatif strese karşı oldukça güçlü bir terapötik etkiye sahip sonucuna varmışlardır. Ayrıca, H₂O₂ eklenen gruplara kıyasla karadut ve kızılçık ekstraktlarının verildiği gruplarda MDA seviyesinin azaldığını ve total protein seviyesinin ise anlamlı bir şekilde arttığını belirtmişlerdir. Cai ve arkadaşları [22], tip-2 diyabetik hastalarda kurt üzümü uygulamasının herhangi bir hipoglisemik ilaç almayan kişilerde, hipoglisemik ilaçlar alan hastalara kıyasla daha belirgin hipoglisemik etkinlik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, kurt üzümü uygulamasının tip 2 diyabet için iyi bir potansiyel tedavi yardımcısı olduğunu belirtmişlerdir. Aslan [23], farklı meyve suları ve bunların kombinasyonlarının, *Saccharomyces cerevisiae*'de oksidatif hasarı azaltma ve hücre büyümesini arttırmada koruyucu bir rolü olduğunu vurgulamıştır. Liu ve arkadaşları [24], sazanlarda karbon tetraklorür (CCl₄) kaynaklı hepatotoksisiteye karşı kurt üzümü'nün tedavi edici ve önleyici etkileri *in vitro* ve *in vivo* olarak araştırılmışlar ve kurt üzümü uygulamasının hepatoprotektif bir aktiviteye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kurt üzümü verilen gruplara kıyasla CCl₄ verilen gruplarda MDA seviyelerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Bucheli ve arkadaşları [25], yaşlı deneklerde kurt üzümü tedavisinin yüksek antioksidan (özellikle zeaksantin) içeriği nedeniyle görme kaybı üzerine etkilerinin araştırmışlar ve günlük takviyenin yaşlı deneklerde hipopigmentasyon ve görme dejenerasyonuna karşı etkili koruma sağladığı kanısına varmışlardır. Aslan ve arkadaşları [9], kivi ekstraktının zengin antioksidan içeriği sayesinde *S. cerevisiae*'nin hücre büyümesini arttırarak oksidatif hasarı ortadan kaldırdığını tespit etmişlerdir. Plavcova ve arkadaşları [26], zerdeçal'ın *Saccharomyces cerevisiae*'de antiinflamatuvar etkisini araştırmışlardır ve önemli bir anti-inflamatuvar etkiye sahip olan ve birçok inflamatuvar hastalığın tedavisinde destekleyici bir doğal fenolik bileşik olduğu kanısına varmışlardır. Aslan [27], *Saccharomyces cerevisiae*'de H₂O₂ kaynaklı hasara karşı dut ekstraktının güçlü koruma sağlayarak hücre büyümesini arttırdığını tespit etmiştir. Jilani ve arkadaşları [28], *Saccharomyces cerevisiae*'de zeytin yaprağı (*Olea europaea* L.) polifenollerinin biyolojik olarak işlenebilirliği ve antioksidan kapasitesine etkisini araştırmışlar ve zeytin yaprağının antioksidan aktiviteyi arttırdığı sonucuna varmışlardır. Kiruthika ve Padma [29], *Zea mays* yaprağı ekstraktlarının *Saccharomyces cerevisiae*'de H₂O₂ kaynaklı oksidatif stres karşı koruyucu rolünü araştırmışlar ve zengin antioksidan kaynağına sahip olan *Zea mays* yaprağı ekstraktlarının H₂O₂ tarafından indüklenen oksidatif strese karşı etkili bir şekilde koruma sağladığını belirtmişlerdir. Mitrica ve arkadaşları [30], *Saccharomyces cerevisiae*'de UV-A kaynaklı oluşturulan oksidatif strese karşı EGCG'nin koruyucu etkileri araştırılmış ve EGCG'nin reaktif oksijen türlerinin (ROS) güçlü bir temizleyicisi olan antioksidan özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Chong ve arkadaşları [31], yeşil çay polifenollerinden olan EGCG'nin *Saccharomyces cerevisiae*'de DNA onarım yolları üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve EGCG'nin DNA onarım yollarını aktive ederek genom stabilitesini korumada oldukça etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Aslan ve arkadaşları [32], karbon tetraklorür (CCl₄) kaynaklı pankreas dokusundaki hasara karşı ellagik asit (EA)'in terapötik potansiyeli araştırılmıştır. EA uygulanan gruplara kıyasla CCl₄ uygulanan gruplarda MDA seviyesinin, Bcl-2 ve NF-κB protein ekspresyonunu azaldığını, GSH düzeyinin ve CAT aktivitesinin yanı sıra kaspaz-3 ve Nrf-2 protein ekspresyonunu ise anlamlı bir şekilde arttığını belirtmişlerdir. Kang ve arkadaşları [33], dekstran sülfat sodyum (DSS) ile indüklenen kolit fare modeli kullanarak kurt üzümü'nün Enflamatuvar bağırsak hastalıkları semptomları üzerindeki koruyucu etkilerini araştırmışlardır. Kurt üzümü'nün DSS kaynaklı kolitin mortalitesini ve semptomlarını azalttığını,

DSS'nin neden olduğu mukozal hasarı hafiflettiğini hastalık aktivitesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Aslan ve arkadaşları [16], sıçanlarda CCl₄ kaynaklı böbrek hasarına karşı EA'in anti-oksidatif ve anti-inflamasyon yolları üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. EA ile tedavi edilen gruplarda böbrek dokusunda oluşan hasarının yanı sıra NF-κB, VEGF, COX-2 ve TNF-alfa protein ekspresyonunu azaltarak kaspaz-3 ve Nrf-2 protein ekspresyonunu anlamlı bir şekilde arttırdığı sonucuna varılmıştır. Biyokimyasal analizler bakımından incelendiğinde, EA ile tedavi edilen grupların MDA seviyelerinde azalış, GSH seviyeleri ve CAT aktivitelerinde ise anlamlı derecede artış olduğunu belirtmişlerdir. Karakaş ve arkadaşları [34], kurt üzümü meyvelerinden elde edilen metanol ekstresinin sıçanlarda anksiyete, depresyon benzeri davranışlar üzerine etkilerini araştırmışlar ve kurt üzümü meyvelerinin metanol özütünün anksiyeteyi ve depresyon benzeri davranışları azalttığını gözlemlemişlerdir. Ruiz-Salinas ve arkadaşları [35], yaşlı sıçanlarda kurt üzümü tedavisinin GFAP, kaspaz-3 ve hücre içi reaktif oksijen türlerinin oluşturduğu oksidatif stresi azaltarak hipokampusun nöroplastisitesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

4. Sonuç ve Öneriler

Geleneksel tıp uygulamalarında insan sağlığını koruyucu ve tedavi edici özellikleri nedeniyle bitkisel ürünlerin kullanımına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle yüksek antioksidan kapasitesine sahip bitkisel ürünlerden biri olan kurt üzümü insanların yaşam ömürlerinin uzamasının yanında koruyucu ve tedavi edici biyolojik aktiviteler de göstermektedir. Çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde; kurt üzümü'nün *Saccharomyces cerevisiae*'de total protein sentezini teşvik ettiğini ve hücre gelişimini arttırdığı tespit edilmiştir. Dahası, çalışmada kurt üzümü eklenen gruplarda GSH düzeylerinin ve CAT aktivitelerinin diğer gruplara kıyasla anlamlı düzeyde arttığı, hücre içinde oksidatif stres belirteci olan MDA düzeylerinin ise anlamlı bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada yapılan analizlerle ilgili parametrelerin literatürdeki eksikliği çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Katkılarından dolayı Arş. Gör. Özlem GÖK ve Doktora öğrencisi Seda BEYAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı şahsıma aittir. Bu makalenin sonuçlarının bir kısmı, 5-6 Kasım 2020 tarihleri arasında Diyarbakır'da düzenlenen "4th International Health Science Conference" isimli kongrede sözlü olarak sunulmuş ve bildiri özet kitabında yayınlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Karakas F.P. 2020. Efficient Plant Regeneration And Callus Induction From Nodal And Hypocotyl Explants of Goji Berry (*Lycium barbarum* L.) And Comparison of Phenolic Profiles in Calli Formed Under Different Combinations of Plant Growth Regulators. *Plant Physiology and Biochemistry*, 146: 384-391.
- [2] Hu C.K., Lee Y.J., Colitz C.M., Chang C.J., Lin C.T. 2012. The Protective Effects Of Lycium Barbarum And Chrysanthemum Morifolium on Diabetic Retinopathies in Rats. *Veterinary ophthalmology*, 15: 65-71.

- [3] Chao J.C., Chiang S.W., Wang C.C., Tsai Y.H., Wu M.S. 2006. Hot Water-Extracted Lycium Barbarum And Rehmannia Glutinosa Inhibit Proliferation And Induce Apoptosis of Hepatocellular Carcinoma Cells. *World journal of gastroenterology: WJG*, 12 (28): 4478.
- [4] Fan X.J., Zhang B., Yan H., Feng J.T., Ma Z.Q., Zhang X. 2019. Effect of Lotus Leaf Extract Incorporated Composite Coating on The Postharvest Quality of Fresh Goji (*Lycium barbarum* L.) Fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 148: 132-140.
- [5] Rodrigues F.T., Koike A.C.R., Silva P.G., Negrão B.G., Alencar S.M., Mancini Filho J., Villavicencio A.L.C. 2021. Effects of Electron Beam Irradiation on The Bioactive Components of Goji-Berry. *Radiation Physics and Chemistry*, 179: 109144.
- [6] Donno D., Beccaro G.L., Mellano M.G., Cerutti A.K., Bounous G. 2015. Goji berry fruit (*Lycium* spp.): Antioxidant Compound Fingerprint and Bioactivity Evaluation. *Journal of functional foods*, 18: 1070-1085.
- [7] Şengün P. 2019. Goji Berry (*Lycium Barbarum* L.) Meyvelerinin Olgunlaşma Evreleri ve Kurutulma Sürecinde Karotenoid Kompozisyonundaki Değişim. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [8] Samar E. 2019. Goji Berry Tüketiminin Boksörlerde Kilo Kaybı Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- [9] Aslan A., Gök Ö., Erman O. 2017. The Protective Effect of Kiwi Fruit Extract Against to Chromium Effect on Protein Expression in *Saccharomyces cerevisiae*. *Progress in Nutrition*, 19 (4): 472-478.
- [10] Aslan A., Gök Ö., Beyaz S. 2019. Üzüm Çekirdeği Ekstraktının *Saccharomyces cerevisiae*'de Oluşturulan Hidrojen Peroksit Hasarına Karşı Koruyucu Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (4): 2216-2224.
- [11] Laemmli U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227: 680-685.
- [12] Aslan A., Gök O., Erman O., Kuloglu T. 2018. Ellagic Acid Impedes Carbontetrachloride-Induced Liver Damage in Rats Through Suppression of NF-κB, Bcl-2 and Regulating Nrf-2 and Caspase Pathway. *Biomed Pharmacother*, 105: 662-669.
- [13] Aslan A., Beyaz S., Gök Ö. 2019. Domates Ekstraktının *Saccharomyces cerevisiae*'de Oluşturulan Krom Hasarına Karşı Koruyucu Etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2): 1048-1055.
- [14] Beyaz S., Dalkılıç L.K., Gök Ö., Aslan A. 2020. *Saccharomyces cerevisiae*'de Hidrojen Peroksit ile Oluşturulan Oksidatif Hasara Karşı Karadut (*Morus nigra* L.) ve Kızılcık (*Cornus mas* L.)'ın Bazı Moleküler Biyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (3): 1134-1144.
- [15] Erol C. 2020. Akut Romatizmal Ateşli Hastalarda Serum Malondialdehit Asit, Superoksit Dismutaz, Katalaz, Redükte Glutasyon ve Glutasyon Peroksidaz Aktivitelerinin İncelenmesi. Uzmanlık Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Van.
- [16] Aslan A., Gök O., Beyaz S., Ağca C.A., Erman O., Zerek A. 2020. Ellagic Acid Prevents Kidney Injury and Oxidative Damage via Regulation of Nrf-2/NF-κB Signaling in Carbon Tetrachloride Induced Rats. *Molecular Biology Reports*, 47 (10): 7959-7970.
- [17] Masci A., Carradori S., Casadei M.A., Paolicelli P., Petralito S., Ragno R., Cesa S. 2018. Lycium barbarum Polysaccharides: Extraction, Purification, Structural Characterisation and Evidence About Hypoglycaemic and Hypolipidaemic Effects. A Review. *Food Chemistry*, 254: 377-389.
- [18] Tian X., Liang T., Liu Y., Ding G., Zhang F., Ma Z. 2019. Extraction, Structural Characterization, and Biological Functions of Lycium barbarum Polysaccharides: A Review. *Biomolecules*, 9 (9): 389.
- [19] Chan H.H.L., Lam H.I., Choi K.Y., Li S.Z.C., Lakshmanan Y., Yu W.Y., Chang R.C., Lai J.S., So K.F. 2019. Delay of Cone Degeneration in Retinitis Pigmentosa Using a 12-Month Treatment with Lycium barbarum Supplement. *Journal of Ethnopharmacology*, 236: 336-344.
- [20] Amagase H., Nance D.M. 2011. *Lycium barbarum* Increases Caloric Expenditure and Decreases Waist Circumference in Healthy Overweight Men and Women: Pilot Study. *Journal of the American College of Nutrition*, 30 (5): 304-309.
- [21] Chiancone F., Carrino M., Meccariello C., Pucci L., Fedelini M., Fedelini P. 2019. The use of a Combination of Vaccinium Macracarpon, Lycium barbarum L. and Probiotics (Bifiprost®) for the

- Prevention of Chronic Bacterial Prostatitis: A Double-Blind Randomized Study. *Urologia Internationalis*, 103 (4): 423-426.
- [22] Cai H., Liu F., Zuo P., Huang G., Song Z., Wang T., Lu H., Guo F., Han C., Sun G. 2015. Practical Application of Antidiabetic Efficacy of *Lycium barbarum* Polysaccharide in Patients with Type 2 Diabetes. *Medicinal Chemistry*, 11 (4): 383-390.
- [23] Aslan A. 2015. The Effects of Different Essential FJ and their Combination on *Saccharomyces cerevisiae* Cell Growth. *Progress in Nutrition*, 17 (1): 36-40.
- [24] Liu Y., Cao L., Du J., Jia R., Wang J., Xu P., Yin G. 2015. Protective Effects of *Lycium barbarum* Polysaccharides Against Carbon Tetrachloride-Induced Hepatotoxicity in Precision-Cut Liver Slices In vitro and In vivo in Common Carp (*Cyprinus carpio* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 169: 65-72.
- [25] Bucheli P., Vidal K., Shen L., Gu Z., Zhang C., Miller L.E., Wang J. 2011. Goji berry Effects on Macular Characteristics and Plasma Antioxidant Levels. *Optometry and Vision Science*, 88 (2): 257-262.
- [26] Plavcova Z., Salamunova P., Salon I., Stepanek F., Hanus J., Hosek J. 2019. Curcumin Encapsulation in Yeast Glucan Particles Promotes Its Anti-Inflammatory Potential in vitro. *International Journal of Pharmaceutics*, 568: 118532.
- [27] Aslan A. 2018. Cell Culture Developing and the Imaging of Total Protein Product Changing with SDS-PAGE in *Saccharomyces cerevisiae*. *Progress Nutrition*, 20 (1): 128-132.
- [28] Jilani H., Cilla A., Barberá R., Hamdi M. 2016. Improved Bioaccessibility and Antioxidant Capacity of Olive Leaf (*Olea europaea* L.) Polyphenols Through Biosorption on *Saccharomyces cerevisiae*. *Industrial Crops and Products*, 84: 131-138.
- [29] Kiruthika B., Padma P.R. 2013. Zea mays Leaf Extracts Protect *Saccharomyces cerevisiae* Cell Against Oxidative Stress-Induced Cell Death. *Journal of Acute Medicine*, 3 (3): 83-92.
- [30] Mitrica R., Dumitru I., Ruta L.L., Ofiteru A.M., Farcasanu I.C. 2012. The Dual Action of Epigallocatechin Gallate (EGCG), the Main Constituent of Green Tea, Against the Deleterious Effects of Visible Light and Singlet Oxygen-Generating Conditions As Seen in Yeast Cells. *Molecules*, 17 (9): 10355-10369.
- [31] Chong S.Y., Chiang H.Y., Chen T.H., Liang Y.J., Lo Y.C. 2019. Green Tea Extract Promotes DNA Repair in a Yeast Model. *Scientific Reports*, 9 (1): 3842.
- [32] Aslan A., Beyaz S., Gok O., Can M.I., Erman F., Erman O. 2020. The Impact of Ellagic Acid on Some Apoptotic Gene Expressions: A New Perspective for the Regulation of Pancreatic Nrf-2/NF- κ B and Akt/VEGF Signaling in CCl₄-Induced Pancreas Damage in Rats. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 1-8.
- [33] Kang Y., Xue Y., Du M., Zhu M.J. 2017. Preventive Effects of Goji Berry on Dextran-Sulfate-Sodium-Induced Colitis in Mice. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 40: 70-76.
- [34] Karakaş F.P., Coşkun H., Sağlam K., Bozat B.G. 2016. *Lycium barbarum* L. (Goji berry) Fruits Improve Anxiety, Depression-Like Behaviors, and Learning Performance: The Moderating Role of Sex. *Turkish Journal of Biology*, 40 (4): 762-771.
- [35] Ruiz-Salinas A.K., Vázquez-Roque R.A., Díaz A., Pulido G., Treviño S., Floran B., Flores G. 2020. The Treatment of Goji Berry (*Lycium barbarum*) Improves The Neuroplasticity of The Prefrontal Cortex And Hippocampus in Aged Rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 83: 108416.

Araştırma Makalesi / Research Article

Ti-27Ni-20Nb-3V Alaşımın Faz Dönüşüm Sıcaklıkları, Korozyon Direnci ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi

Fethi DAĞDELEN¹, Esra BALCI¹, Ercan ERCAN^{2*},

¹Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ

²Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Bitlis

(ORCID: 0000-0001-9849-590X) (ORCID: 0000-0003-0127-7602) (ORCID: 0000-0002-1583-6068)

Öz

Bu çalışmada Ti-27Ni-20Nb-3V (% at.) alaşımı ark-ergitme yöntemi ile üretildi. Üretilen alaşım 850 °C de 24 saat homojenleştirildikten sonra, faz dönüşüm sıcaklıkları, mikro-yapısı, elektrokimyasal aşınma direnci, mikrosertlik gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırıldı. DSC yardımıyla faz dönüşüm sıcaklıkları austenite-martensite faz geçişlerinin oda sıcaklığının altında olduğu belirlendi. Optik mikroskop (OM) ve SEM görüntülerinde alaşımın Ti-elementince zengin dendritik yapılarından oluştuğu görüldü. XRD patternlerinden ise β -Nb, B2 ve B19' yapılarının da olduğu belirlendi. Ayrıca, yapılan hesaplamalar sonucu kristalit tane boyutu yaklaşık 39,65 nm olarak hesaplandı. Oda sıcaklığında yapay vücut sıvısı (SBF)'de yapılan elektrokimyasal analizi sonucu korozyon direnci $8,09 \times 10^{-5}$ mmpy olarak hesaplandı. Mikrosertlik ölçümleri ile alaşımın mikrosertliği beş ayrı bölgeden alınarak ortalama 810 HV olarak bulundu.

Anahtar kelimeler: Şekil hatırlamalı alaşımlar; korozyon direnci; mikrosertlik

Investigation of Phase Transformation Temperature, Corrosion Resistance and Structural Properties of Ti-27Ni-20Nb-3V Shape Memory Alloy

Abstract

In this study Ti-27Ni-20Nb-3V (% at.) alloy was produced by arc-melting method. Physical and chemical properties such as phase transformation temperatures, micro-structure, electro chemical wear resistance, microhardness of the alloy homogenized at 850 °C for 24 hours were investigated. Phase transformation temperatures were determined with the help of DSC that austenite-martensite phase transitions were below room temperature. Optical microscope (OM) and SEM images showed that the alloy consisted of Ti-rich dendritic structures. β -Nb, B2 and B19' were found in XRD patterns. In addition, as a result of the calculations, the crystallite particle size was calculated as approximately 39,65 nm. Corrosion resistance was calculated as $8,09 \times 10^{-5}$ mmpy as a result of electrochemical analysis performed in SBF (artificial body fluid) at room temperature. The microhardness measurements of the alloys were taken from five different regions and found to be 810 HV on average.

Keywords: Shape memory alloy; corrosion resistance; microhardness

1. Giriş

Plastik deforme olmuş malzemenin (alaşımın) ısı, termo-mekanik veya manyetik yük uygulanarak orijinal şekline geri dönme yeteneği şekil hatırlama olarak tanımlanır [1-3]. Alaşımlar içerisinde Şekil Hatırlamalı Alaşım (ŞHA) özelliği sergileyen NiTi alaşımları mükemmel Şekil Hatırlama Etkisi (ŞHE), süper-esneklik ve biyouyumluluklarından dolayı önem kazanmaktadır. Günümüzde ŞHA'ların ticari uygulamalarının %90'nını ikili NiTi ya da üçlü NiTiNb, NiTiTa, NiTiCu gibi alaşımlar almaktadır [4]. NiTi-esaslı alaşımlar son zamanlarda medikal implant, uzay mühendisliği ve endüstriyel alanlarda geniş yer almaktadır [5]. Ayrıca, NiTi ŞHA'ların iyi aşınma, korozyon direnci ve biyouyumluluk özellikleri

*Sorumlu yazar: eercan@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.03.2021, Kabul Tarih: 02.06.2021

neniyle cerrahi aletler, stent ve ortodontik teller gibi çeşitli tıbbi uygulamalar için cazip duruma getirmektedir [4, 6]. NiTi alaşımlarının uygulanabilir sertliği kemik implantı ve regeneratif tıp alanında ilgi odağıdır. Son zamanlarda araştırmalar NiTiNb, NiTiTa, NiTiHf gibi üçlü alaşımların yanısıra, NiTiNbX (X=V, Ta, Hf) gibi dördümlü şekil hatırlamalı alaşımlar üzerinde odaklanmıştır. F. Dağdelen ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada (2019) NiTi alaşımına farklı oranlarda Ta eklenmesiyle dönüşüm sıcaklıklarının fazla etkilenmediği, alaşımların kristal yapısında sıklıkla rastlanan B2 (Austenite) ve B19' (Martensite) fazlarının yanısıra β -Ta fazına rastlanıldığı ve mikrosertliklerinin yaklaşık olarak 470 HV olduğunu belirlemişlerdir [7]. S. Buytoz ve arkadaşların yaptığı bir çalışmada (2019) ise NiTi alaşımına ilave edilen Hf elementi ile dönüşüm sıcaklıklarının dönüşüm entalpilerini büyük ölçüde etkilediği ve alaşımda Hf elementinin oranının artması ile tane büyüklüklerinin arttırdığı belirlendi [8]. Başka bir çalışmada F. Dağdelen ve arkadaşları (2020) NiTi alaşımına farklı atomik oranlarda Nb katkılmış, Nb oranının artmasıyla alaşımların martensit fazın oda sıcaklığının altında, austenit fazın ise oda sıcaklığının yakınında olduğu belirlenmiştir [9]. E. Balcı ve arkadaşlarının NiTiNbV dördümlü ŞHA üzerine yaptıkları bir çalışmada (2021) ise V oranının artmasıyla faz dönüşüm entalpisi, entropi, Gibbs serbest enerjisi gibi termodinamik parametrelerini değiştirdiği ve korozyon direncini arttırdığı belirlendi [10]. Üçlü NiTiNb ŞHA'lar üzerine birkaç araştırma olmasına karşı, dördümlü NiTiNbV alaşımı üzerine araştırmalar yok denecek kadar azdır.

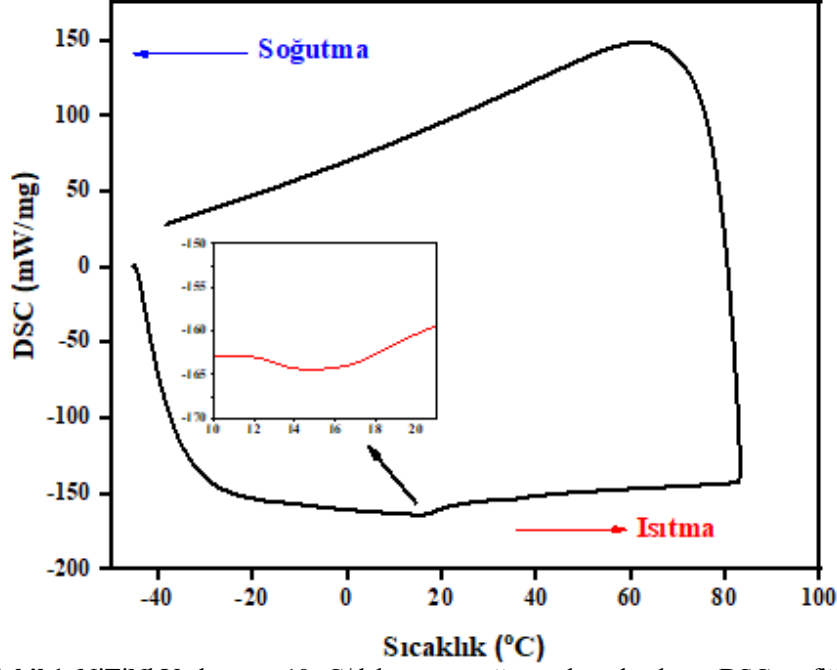
Bu çalışmada NiTiNbV alaşımı ark ergitme yöntemi ile üretildi. Alaşımların faz dönüşüm sıcaklıkları, mikroyapısı, korozyon direnci, mikrosertlik gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırıldı.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada araştırılan Ni-50Ti-20Nb-3V (% atomik) alaşımı % 99,9 saflıkta Merk marka - 325 mesh metal tozlarından karıştırılarak ark-ergitme yöntemiyle üretildi. Alaşımı homojenleştirilmek için kül fırını ortamına argon gazı verilerek 850 °C de 24 saat süreyle bekletilip ardından tuzlu-buzlu suda soğutuldu. Alaşımların fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmak için DSC (Differential Scanning Calorimeter), XRD (X-ışını difraksiyonu), OM (Optik mikroskop), SEM (Scanning Elektron Mikroskop), Mikrosertlik ve Elektrokimyasal karakterizasyonları araştırıldı. Faz dönüşüm sıcaklıklarını belirlemek için Perkin Elmer Sapphire marka DSC cihazı ile 10 °C/dak. ısıtma ↔ soğutma hızıyla azot gazı atmosferinde ısı akışı ölçümleri yapıldı. Alaşımların X-ışını analizleri Bruker Discover D8 X-ray diffraction (XRD) cihazı (CuK_{α} $\lambda=1,5418$) kullanılarak 30-80° arasında 2 °/dak. sabit tarama hızı ile oda sıcaklığında yapıldı. Optik mikroskop ölçümleri alınacak olan alaşımlar soğuk bakalite alınıp, METKON FORCIPOL-2 Zımparalama ve Parlatma Cihazında sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh zımpara kâğıtları kullanılarak zımparalandı. Çuha ve elmas pasta kullanılarak yüzeyleri parlatılan numuneler, NOH₃(5%) + HF(10%) + H₂O (85%) oranlarında hazırlanan dağlayıcı yardımıyla yaklaşık 10 saniye süreyle dağlandı. Saf su ve alkol ile yüzeyleri temizlenip kurutulmuş numuneler NIKON MA100 Ters Metal Mikroskopu cihazı ile metalografik gözlemleri yapıldı. Ardından Jeol JSM 7001F SEM-EDX cihazı kullanılarak yüzey analizleri yapıldı. Alaşımların Vickers sertlik ölçümleri beş farklı bölgeden alınarak ortalaması değerlendirildi. Alaşımların korozyon davranışı yapay vücut sıvısında Gamry Interface Potentiostat/Galvanostat/ZRA kullanılarak oda sıcaklığında incelendi.

3. Bulgular ve Tartışma

NiTi alaşımları düşük sıcaklıklarda martensit faz (B19') ve yüksek sıcaklıklarda ise austenite faz (B2) dönüşümü sergileyen alaşımlardır. Vanadyum katkılanmış NiTiNb şekil hatırlamalı alaşımların 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızıyla elde edilen DSC eğrisi Şekil 1'de verildi. NiTiNb-3V alaşımlarının DSC eğrisi incelendiğinde, alaşımların B19'→B2 faz geçişinde A_s (Austenite başlama) =12 °C, A_f (Austenite bitiş) =20 °C'de gerçekleştiği belirlendi. Belirlenen bu sonuç E. Balcı ve arkadaşlarının (2021) üretmiş olduğu Ni-50Ti-22Nb-1V, Ni-50Ti-20Nb-2V ve Ni-50Ti-18Nb-5V alaşımlarının sergilediği austenit faz sıcaklıklarına yakındır [10]. Alaşımların B2→B19' faz dönüşümü ölçülen sıcaklık aralığında belirgin değildir. Bu yarı-kararlı Ti-esaslı alaşımlarda süper-esneklik ve şekil hafıza özelliklerinin ana β (düzensiz bcc) fazının geri dönüşümlü termoelastik martensit dönüşüm ile α'' (altıgen martensit) veya α (ortorombik martensit) fazına dönüştürülmesi olayına dayandığı bilinmektedir [11, 12]. Bu faz dönüşümlerinin zor-zorlanma analizleri ile daha belirgin bir şekilde görüldüğü yapılan çalışmalarda mevcuttur [13].



Şekil 1. NiTiNbV alaşımın 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızıyla alınan DSC grafiği

Şekil 2' de NiTiNbV alaşımın oda sıcaklığında alınan XRD difraktogramı verildi. XRD analiz sonuçları değerlendirildiğinde NiTi şekil hatırlamalı alaşımlarında sıklıkla gözlenen B19', B2 fazlarının yanı sıra β -Nb (Niyobyumca zengin faz), Ti_2Ni ve (Ti,Nb) çökelti fazları tespit edildi [14]. E. Balcı ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada $Ni_{27}Ti_{50}Nb_{23-x}V_x$ ($x=1,2$ ve 5) şekil hatırlamalı alaşımının XRD analizi sonuçlarına benzer fazlar tespit edilmiştir. [10]. M. Kök ve arkadaşlarının yapmış olduğu farklı bir çalışmada ise $Ni_{48}Ti_{51}V_1$ ve $Ni_{48}T_{47}V_5$ yüksek sıcaklık ŞHA'larda XRD analizlerinde aynı fazlara rastlamıştır [15]. F. Dağdelen ve arkadaşlarının (2018) NiTi esaslı alaşıma Ta elementi ilavesinin etkilerini incelemiş, XRD sonuçlarında B2, B19' fazının yanısıra yaklaşık $2\theta=39^\circ$ de β -Ta pikine rastlamışlardır [5]. Şekil hatırlamalı alaşımların nano boyutta kristalit tane boyutlarını hesaplamak için Debye Scherrer denklemi kullanılabilir. Bu denklem ile elde edilen hesaplamalar sonucu kristal tane boyutunun yaklaşık değeri 39,65 nm bulunmuştur. Literatürde mevcut olan bir çalışmada, M. Kök ve arkadaşları (2020) NiTi esaslı V elementi katkılı Ş:HA'ların kristal tane boyutunu ortalama 370 Å (37 nm) hesaplamıştır [15].

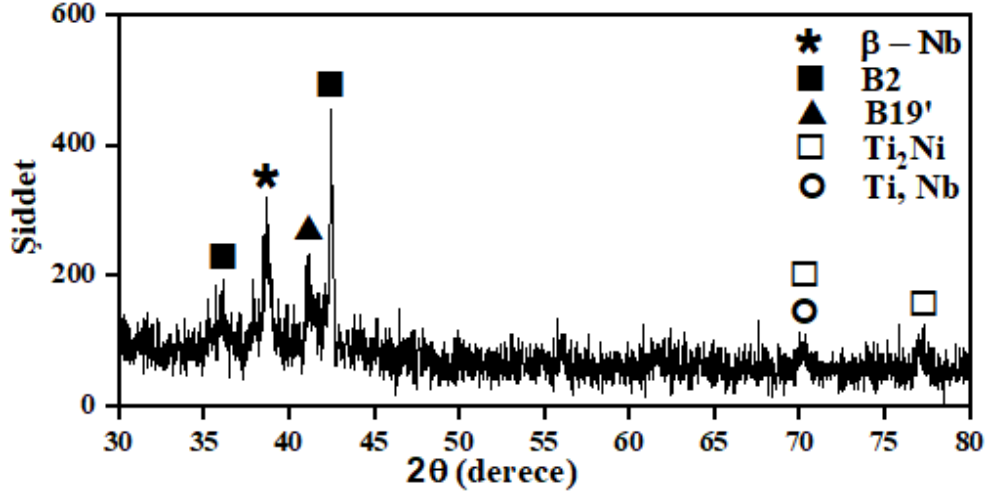
XRD sonucu, alaşımların kristalit boyutu (D) gibi kristal yapı parametreleri hakkında daha fazla bilgi verir. Scherrer'in modeli, yarı maksimumda tam genişliğe ($FWHM (B)$), aşağıdaki gibi ifade edilebilir [16-19];

$$D = K\lambda/B \cos \theta \quad (1)$$

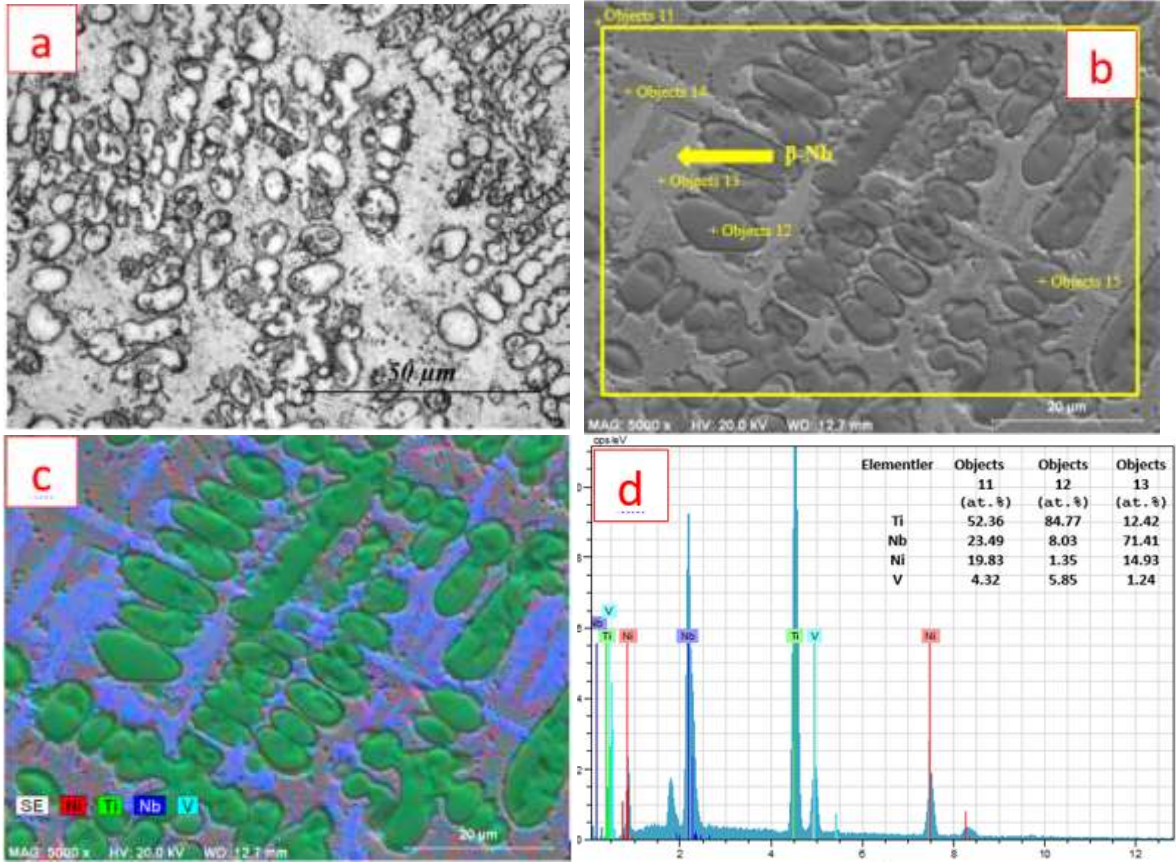
burada K , Scherrer sabitidir, en iyi yaklaşım değeri 0.9'dur [20]. λ , kullanılan x-ışını kaynağının dalga boyudur ($\lambda_{K\alpha} (Cu) = 1.5406\text{Å}$) ve B Bragg açısını temsil eder.

NiTiNbV alaşımının OM ve SEM-EDX görüntüleri Şekil 3'de verildi. Şekil 3a-b incelendiğinde alaşımın dendritik yapılardan oluştuğu söylenilebilir. Yapı içinde taneler ve martensit plakaları görülmemiştir. Fakat ana matris yapıda β -Nb yapısı EDX sonuçlarından tespit edildi. Şekil 3c alaşımın haritalanmış SEM görüntüsü incelendiğinde Ni elementinin yapı içinde homojen dağıldığı görüldü. Dendrit kollarının ise verilen EDX (*objects 12*) sonuçlarında görüldüğü gibi Ti (84.77 at. %) bakımından zengin olduğu belirlenmiştir. SEM görüntüsünün tüm yüzeyinden (*objects 11*) alınan EDX sonuçları (Şekil 3d) hedeflen NiTiNbV alaşımının atomik oranıyla uyumludur. Nb katkılı NiTi alaşımlarında sıklıkla rastlanan β -Nb (Niyobyumca zengin) fazı yapı içinde mevcuttur (*objects 13*). SEM-EDX sonuçları ile XRD sonuçları birbirini desteklemektedir. Alaşımın mikrosertlik testi Vickers sertik ölçüm yöntemiyle yapılmış olup, beş ayrı bölgeden alınarak ortalama 810 HV olarak bulundu. I. N. Qader ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada (2020), farklı oranlarda Sn katkılanan NiTiSn alaşımının

mikrosertlik sonucu yaklaşık 180-455 HV aralığında değiştiği belirlenmiştir [21]. C. Tatar ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada (2020) NiTiCu şekil hatırlamalı alaşımın mikrosertlik ölçüm sonucunu yaklaşık 200- 500 HV arasında bulmuştur [22].



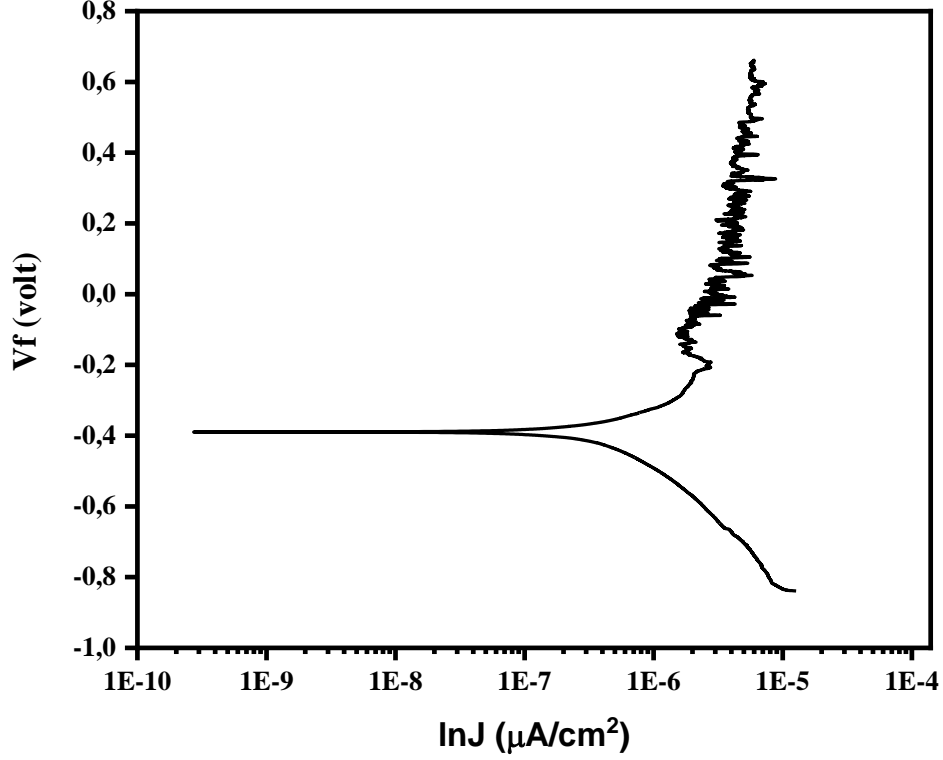
Şekil 2. Alaşımın oda sıcaklığında alınan X-ışınları difraktogramı



Şekil 3. Alaşımın OM ve SEM-EDX sonuçları a) OM, b) SEM, c) SEM haritalama, d) EDX sonuçları.

Alaşımın korozyon davranışını analiz etmek için oda sıcaklığında yapay vücut sıvısı içerisinde elektrokimyasal test yapıldı. Korozyon oranı alaşımın yapısına ve yüzey davranışına bağlı olarak değişik sonuçlar gösterebilir. Polarizasyon taraması sonucunda Şekil 4 ' de alaşımın Tafel eğrisi verildi. Anodik (β_a) ve Katodik (β_c) polarizasyon için Tafel eğimleri teğetsel yöntem kullanılarak belirlendi. Anodik ve katodik polarizasyonda kesişme noktasının ekstrapolasyonundan korozyon akım yoğunluğu (J_{cor}) ve korozyon gerilimi (E_{cor}) bulunmuştur. $8,09 \times 10^{-5}$ mmpy olarak bulunan bu değer korozyon oranını

tespit etmekte kullanılmaktadır. Korozyon oranı yüksek bir dereceye sahip olan bu alaşım literatürde var olan diğer alaşımlara göre oldukça yüksek sonuca sahiptir [23-25]. Bu sonuç alaşımın oda sıcaklığında ve vücut sıvısında korozyona çok dirençli olduğunu gösterir. E. Balcı ve arkadaşlarının (2021) yapmış olduğu bir çalışmada farklı oranlarda NiTiNbV dördü ŞHA'ların ortalama korozyon oranı yaklaşık 1.70×10^{-2} mmpy olarak hesaplanmıştır [10]. Bu sonuç ise ortalama bir yılda yapay vücut sıvısı ile malzemenin reaksiyona girme olasılığının düşük olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Alaşımın oda sıcaklığında yapay vücut sıvısında elde edilen Tafel eğrisi

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada dördü Ni-50Ti-20Nb-3V alaşımın dönüşüm sıcaklıklarından austenit fazın oda sıcaklığının (12-20°) altında B19'→B2 faz geçişi şeklinde olduğu belirlenmiştir. Martensit faz dönüşüm sıcaklıklarının ise DSC analizinden -40°C'nin altında olabileceği tahmin edilmektedir. XRD ve SEM-EDX sonuçlarından alaşımın mikroyapısında β -Nb fazının yanı sıra B2 ve B19' fazlarının var olduğu görülmüştür. Mikrosertliğin geleneksel NiTi alaşımlarına göre yüksek çıkması, Nb ve V element ilavesi ile birlikte alaşımın 850 °C de 24 saat ısı işlem uygulanmasına da atfedilmiştir. Mikrosertliğin yüksek olması korozyon direncini de artırmıştır. Nitekim oda sıcaklığında yapay vücut sıvısında yapılan elektrokimyasal testinde korozyonun direncinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Stöckel D. 1995. The shape memory effect-phenomenon, alloys and applications. Proceedings: Shape Memory Alloys for Power Systems EPRI, 1: 1-13.
- [2] Sathiya P., Ramesh T. 2017. Experimental investigation and characterization of laser welded NiTiInol shape memory alloys. *Journal of Manufacturing Processes*, 25: 253-261.
- [3] Jani J. M., Leary M., Subic A., Gibson M. A. 2014. A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. *Materials & Design (1980-2015)*, 56: 1078-1113.
- [4] Elahinia M. H., Hashemi M., Tabesh M., Bhaduri S. B. 2012. Manufacturing and processing of NiTi implants: a review. *Progress in Materials Science*, 57 (5): 911-946.
- [5] Dağdelen F., Aydogdu Y. 2019. Transformation behavior in NiTi–20Ta and NiTi–20Nb SMAs. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136 (2): 637-642.
- [6] Tabesh M. 2010. Finite element analysis of shape memory alloy biomedical devices: University of Toledo.
- [7] Dağdelen F., Kok M., Qader I. 2019. Effects of Ta content on thermodynamic properties and transformation temperatures of shape memory NiTi alloy. *Metals and Materials International*, 25 (6): 1420-1427.
- [8] Buytoz S., Dağdelen F., Qader I., Kok M., Tanyildizi B. 2019. Microstructure Analysis and Thermal Characteristics of NiTiHf Shape Memory Alloy with Different Composition. *Metals and Materials International*, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1007/s12540-019-00444-7>.
- [9] Dağdelen F., Balci E., Qader I., Ozen E., Kok M., Kanca M., Abdullah S., Mohammed S. 2020. Influence of the Nb content on the microstructure and phase transformation properties of NiTiNb shape memory alloys. *JOM Journal of the Minerals Metals and Materials Society*, 72 (4): 1664-1672.
- [10] Balci E., Dağdelen F., Qader I.N., Kok M. 2021. Effects of substituting Nb with V on thermal analysis and biocompatibility assessment of quaternary NiTiNbV SMA. *The European Physical Journal Plus*, 136 (2): 1-13.
- [11] Kim H., Sasaki T., Okutsu K., Kim J., Inamura T., Hosoda H., Miyazaki S. 2006. Texture and shape memory behavior of Ti–22Nb–6Ta alloy. *Acta Materialia*, 54 (2): 423-433.
- [12] Ercan E., Dağdelen F. 2020. TiNb-esaslı β -Ti Alaşımlarının Kristal Yapı, Mikroyapı ve Dönüşüm Sıcaklıklarına Tantal Katkısının Etkileri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (4): 1545-1553.
- [13] Dubinskiy S., Brailovski V., Prokoshkin S., Pushin V., Inaekyan K., Sheremetyev V., Petrzhik M., Filonov M. 2013. Structure and properties of Ti-19.7 Nb-5.8 Ta shape memory alloy subjected to thermomechanical processing including aging. *Journal of materials engineering and performance*, 22 (9): 2656-2664.
- [14] Zhang C., Wang Y., Chai W., Zhao L. 1991. The study of constitutional phases in a Ni₄₇Ti₄₄Nb₉ shape memory alloy. *Materials Chemistry and Physics*, 28 (1): 43-50.
- [15] Kök M., Al-Jaf A.O.A., Çirak Z.D., Qader I.N., Özen E. 2020. Effects of heat treatment temperatures on phase transformation, thermodynamical parameters, crystal microstructure, and electrical resistivity of NiTiV shape memory alloy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139 (6): 3405-3413.
- [16] Patterson A.L. 1939. The Scherrer Formula for X-Ray Particle Size Determination. *Physical Review*, 56 (10): 978-982.
- [17] Kök M., Qader I.N., Mohammed S.S., Öner E., Dağdelen F., Aydogdu Y. 2019. Thermal stability and some thermodynamics analysis of heat treated quaternary CuAlNiTa shape memory alloy. *Materials Research Express*, 7 (1): 015702. doi:[10.1088/2053-1591/ab5bef](https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab5bef).
- [18] Mohammed S.S., Kok M., Qader I.N., Kanca M.S., Ercan E., Dağdelen F., Aydoğdu Y. 2020. Influence of Ta Additive into Cu_{84-x}Al₁₃Ni₃ (wt%) Shape Memory Alloy Produced by Induction Melting. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 44 (4): 1167-1175.
- [19] Qader I.N., Ercan E., Faraj B.A.M., Kok M., Dağdelen F., Aydogdu Y. 2020. The Influence of Time-Dependent Aging Process on the Thermodynamic Parameters and Microstructures of Quaternary Cu₇₉–Al₁₂–Ni₄–Nb₅ (wt%) Shape Memory Alloy. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 44 (3): 903-910.

- [20] Qader I.N., Öner E., Kok M., Mohammed S.S., Dağdelen F., Kanca M.S., Aydoğdu Y. 2020. Mechanical and Thermal Behavior of $Cu_{84-x}Al_{13}Ni_3Hf_x$ Shape Memory Alloys. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science, doi:10.1007/s40995-020-01008-w.
- [21] Qader I.N., Kok M., Cirak Z.D. 2020. The effects of substituting Sn for Ni on the thermal and some other characteristics of NiTiSn shape memory alloys. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 1-10.
- [22] Tatar C., Acar R., Qader I.N. 2020. Investigation of thermodynamic and microstructural characteristics of NiTiCu shape memory alloys produced by arc-melting method. The European Physical Journal Plus, 135 (3): 1-11.
- [23] Cisse O., Savadogo O., Wu M., Yahia L.H. 2002. Effect of surface treatment of NiTi alloy on its corrosion behavior in Hanks' solution. Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials, 61 (3): 339-345.
- [24] Zhou L., Lv G.-H., Ji C., Yang S.-Z. 2012. Application of plasma polymerized siloxane films for the corrosion protection of titanium alloy. Thin Solid Films, 520 (7): 2505-2509.
- [25] Pakshir M., Bagheri T., Kazemi M. 2013. In vitro evaluation of the electrochemical behaviour of stainless steel and Ni-Ti orthodontic archwires at different temperatures. The European Journal of Orthodontics, 35 (4): 407-413.

Araştırma Makalesi / Research Article

Saf Kalsiyum Elementinin Isıtma Sürecinin Moleküler Dinamik Benzetim Yöntemi ile İncelenmesi

Murat ÇELTEK*

*Trakya Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Edirne
(ORCID: 0000-0001-7737-0411)*

Öz

Çalışmada, gömülü atom metot (EAM) ve sıkı-bağ (TB) çok cisim potansiyelleri kullanılarak, ısıtma süreci boyunca saf kalsiyum (Ca) elementinin yapısal ve bazı fiziksel özellikleri klasik moleküler dinamik (MD) benzetim yöntemi ile incelendi. Bu süreç boyunca fiziksel parametrelerin sıcaklığa bağlı değişimlerini görebilmek için enerji-, örgü parametresi- ve yoğunluk-sıcaklık eğrilerinden yararlanıldı. Ayrıca sistemin atomik yapısının gelişimi ise, çiftler dağılım fonksiyonu, yapı faktörü ve Honeycutt-Andersen (HA) metodu gibi farklı analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Her iki potansiyel için elde edilen sonuçlar, literatürde rapor edilen uygun deneysel ve diğer MD benzetim sonuçları ile karşılaştırıldı ve birlikte tartışıldı. Geniş sıcaklık aralığında EAM potansiyelinin, TB potansiyeline göre daha başarılı sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. HA sonuçları, sistemin erime sürecinde özellikle 1541 ve 1551 tipi beşli kümelerin, sıvı bölgede ise 1431 tipi dördümlü kümelerin daha etkin roller üstlendiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Kalsiyum, Moleküler Dinamik, Honeycutt-Andersen Metodu, Gömülü atom metodu, Sıkı-bağ potansiyeli

Investigation of Heating Process of Pure Calcium Element by Molecular Dynamics Simulation Method

Abstract

In the study, the structural and some physical properties of pure calcium (Ca) during the heating process were investigated by classical molecular dynamic (MD) simulations method by using the embedded atom method (EAM) and tight-binding (TB) many body potentials. During this process, energy-, lattice-parameter and density-temperature curves were used to see the changes in physical parameters depending on temperature. In addition, the evolution of the atomic structure of the system was investigated using different analysis methods such as the pair distribution function, the structure factor and the Honeycutt-Andersen (HA) method. The results obtained for both potentials were compared with appropriate experimental and other MD simulation results reported in the literature and discussed together. It has been observed that the EAM potential in a wide temperature range produces more successful results than the TB potential. HA results showed that especially 1541 and 1551 type quintet clusters and 1431 type quartet clusters play more effective roles in the melting process of the system.

Keywords: Calcium, Molecular Dynamics, Honeycutt-Andersen Method, Embedded atom method, Tight-binding potential

1. Giriş

Atomik ölçekte malzemelerin yapısal, dinamik, mekanik ve termodinamik gibi birçok fiziksel özelliğinin hızlı, doğru ve güvenilir bir şekilde açıklanabilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda, yapılan deneysel ve kuantum temele dayalı moleküler dinamik (MD) benzetim yöntemleri en doğru ve başarılı sonuçlar sağlıyor olsa da, bu yöntemlerin çoğunlukla pahalı olması ya da yavaş olması gibi dezavantajlarından dolayı araştırmacılar, daha hızlı ve ucuz olan, ayrıca doğru modellendiğinde oldukça

*Sorumlu yazar: mceltek@trakya.edu.tr

Geliş Tarihi: 02.04.2021, Kabul Tarihi: 03.06.2021

başarılı sonuçlar sunabilen klasik MD benzetim metoduna yönelmektedir. Sistemdeki parçacık sayısı arttıkça, hareket denklemlerini analitik olarak çözmekte zorlaşmaktadır, fakat bu metot ile sistemdeki atom veya moleküllerin belirlenen sürelerde etkileşmelerine izin verilmekte ve sayısal yöntemler kullanılarak zor olan hesaplamaların üstesinden daha kolay bir şekilde gelinebilmektedir. Artık MD benzetim yöntemi günümüzde fizik, nano-teknoloji, kimya, biyoloji ve mühendislik temel alanlarının birçoğunda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [1-10]. MD benzetim yönteminin başarılı olabilmesi için en önemli kısıtlardan biri, atomlar arasındaki itici ve çekici etkileşme kuvvetlerinin en doğru şekilde açıklanabilmesidir. Bunu sağlayabilmenin yolu, sistem içindeki etkileşmeleri doğru bir şekilde tanımlayabilecek olan en uygun atomlar-arası potansiyel fonksiyon seçiminden geçmektedir [11-13]. Eğer bu süreçte seçilen potansiyel fonksiyon sistemdeki atom veya moleküllerin davranışlarını çok iyi açıklayamazsa, o zaman MD benzetim sonuçlarının güvenilirliği tartışılır duruma düşecektir [14-16]. Literatürde pek çok potansiyel fonksiyon türü vardır ve bunlar atomlar arasındaki etkileşmeleri tanımlamaları açısından en temel olarak iyi gruba ayrılırlar [17]. MD benzetimler için en sık kullanılan ilk grup potansiyeller, Lennard-Jones [18] ve Morse [19] gibi çiftler potansiyelleridir, ikinci grup ise gömülü atom metodu (EAM) [20, 21], Finnis-Sinclair [22], Sutton-Chen [23, 24], etkin ortam teorisi [25] ve sıkı-bağlı (TB) [26] gibi çok cisim potansiyelleridir.

Mevcut çalışmada kalsiyum (Ca) elementinin ısıtma süreci boyunca atomik yapısında meydana gelen değişimler klasik MD benzetim tekniği ile incelenmiştir. Bu elementi seçmemizin nedenlerinden biri, doğada en fazla bulunan ve canlı yaşamının sürdürebilmesi için en çok ihtiyaç duyulan elementlerden biri olmasıdır. Diğer yandan bu element, gıda sanayinde, tıp-sağlık, kimya ve endüstri sektöründe en çok ihtiyaç duyulan ve kullanılan elementlerden biridir. Ayrıca farklı pek çok elementin üretim sürecinde uygulanan kimyasal işlemlerde yine bu elementin rolü çok fazladır. Alüminyum, bakır, çelik ve nikel alaşımları için lityum ile birlikte deoksidan olarak ta kullanılmaktadır [27]. Kalsiyumun ısıtma süreci, EAM ve TB çok cisim potansiyellerini kullanarak incelendi ve literatürdeki uygun deneysel ve diğer MD benzetim sonuçları ile karşılaştırılarak tartışıldı. Çalışmanın ikinci bölümünde, kullanılan potansiyel fonksiyonlar (EAM ve TB) hakkında bilgi verildi ve MD benzetim sürecinin açıklaması yapıldı. Üçüncü bölümde, elde edilen bulgular, onların açıklama ve detaylı tartışması yapıldı. Son bölüm olan sonuç ve tartışma kısmında ise, çalışmanın önemli noktalarının kısa bir özeti çıkarıldı.

2. Materyal ve Metot

2.1. Gömülü Atom Metot Potansiyeli

EAM modeline göre, N atomlu bir sistemdeki atomlar-arası etkileşimler neticesinde ortaya çıkan toplam enerji,

$$E_T = \frac{1}{2} \sum_{i,j,i \neq j}^N \varphi_{ij}(r_{ij}) + \sum_i^N F_i(\rho_i) \quad (1)$$

formu ile hesaplanır. Buradaki ilk terim $\varphi_{ij}(r_{ij})$, iki cisim arasındaki itici etkileşimleri temsil eden çiftler etkileşim enerjisidir. İkinci terim F_i ise, çekici etkileşmeleri içeren ρ_i yük yoğunluğuna bağlı olan gömme enerjisidir.

$$\rho_i = \sum_{j,j \neq i} f_j(r_{ij}). \quad (2)$$

Burada $f_j(r_{ij})$ atomik yük yoğunluk fonksiyonudur. Çalışmada, Sheng ve arkadaşları [28] tarafından belirlenen ve [https:// sites.google.com/site/eampotentials/Ca](https://sites.google.com/site/eampotentials/Ca) web adresinde Howard Sheng tarafından paylaşılan EAM potansiyel veri seti kullanılmıştır.

2.2. Sıkı-Bağlı Çok Cisim Potansiyeli

TB metodu, kuantum mekanik kökene sahip olan ve metal özelliklerin çoğunluğunun en dış kabuktaki d -elektron yoğunluğundan türetebileceği kabulünü benimsemektedir. TB potansiyelinin formu da EAM metoduna benzer şekilde çekici ve itici olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır [26].

$$E_T = - \left\{ \sum_{j \neq i} \xi^2 \exp \left[-2q \left(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1 \right) \right] \right\}^{1/2} + \sum_{j \neq i} A \exp \left[-p \left(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1 \right) \right] \quad (3)$$

Birinci kısım EAM bağıntısındaki $F_i(\rho_i)$ gömme enerji fonksiyonunun üstlendiği görevi sahiptir, yani sistemdeki çekici etkileşimlerden sorumludur [29]. İkinci kısım ise, sistemdeki itici etkileşimlerden sorumludur ve Born-Mayer iyon-iyon çiftler potansiyel tipine sahiptir. Denklem 3’de verilen bağıntıda i . ve j . atomlar arasındaki uzaklık r_{ij} , en yakın komşu mesafesi ise r_0 ile ifade edilir. Diğer A , p , ζ , ve q parametreleri ise ilgili elementin farklı fiziksel özellikleri ile alakalı parametrelerdir. TB potansiyeli ile ilgili daha fazla bilgi [16,26,30–34] kaynaklarından alınabilir. Ca elementi için kullanılan TB potansiyel parametreleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Ca elementi için TB potansiyel giriş parametreleri [35].

Potansiyel	$A(\text{eV})$	$\xi(\text{eV})$	p	q	$r_0(\text{Å})$
TB	0.0058	0.4242	16.7684	1.8438	4.1060

2.3. Moleküler Dinamik Benzetim Metodu

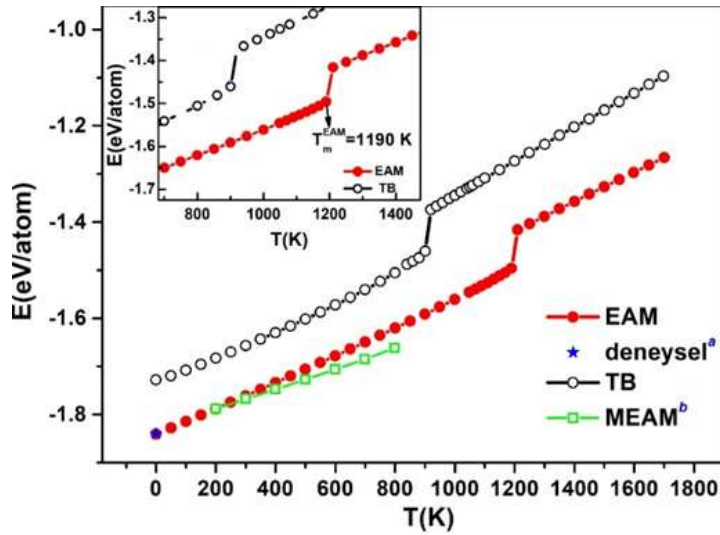
Ca elementinin MD benzetimleri, DL POLY 2.0 açık kaynak benzetim paket programı ile gerçekleştirilmiştir [36]. Katı-sıvı faz geçişlerini gözleyebilmek için benzetimler süresince 0 GPa basınç altında NPT izotermal izobarik topluluğu kullanıldı. Bu süreçte hem sıcaklık hem de basınç Berendsen termostat ve barostatı ile kontrol altında tutuldu. Ca atomları fcc (yüzey merkezli kübik) kristal hücrelerini oluşturacak şekilde süper örgü noktalarına yerleştirilmiştir ve MD benzetim hücresindeki atom sayısı $15 \times 15 \times 15 \times 4 = 13,500$ olacak şekilde belirlenmiştir. Bu hücrenin bütün yönlerine periyodik sınır şartları uygulanmıştır. Verlet algoritmasının hız formu ve zaman adımı olarak 1 fs kullanılarak Newton hareket denklemleri çözülmüştür. İlk olarak sistem 300 K ısıtıldı ve daha sonra 0 K’ye soğutularak sistem üzerindeki zor (stres) alındı. Daha sonra 0 K’den başlayarak kalsiyumun ($T_m = 1113$ K [37]) deneysel erime noktasından yeterince yüksek olan 1700 K’e kadar $\Delta T = 50$ K adımlar ile ısıtma işlemi uygulandı. Her sıcaklık için sistem toplam 50,000 MD benzetim adımı bekletildi. Bunun 40,000 adımı denge için, geri kalan 10,000 adımı ise istatistik hesaplamalara ayrıldı. Birinci derece katı-sıvı faz geçişlerini daha net belirlemek için sistemin erime noktası civarı $\Delta T = 20$ K adımlar ile çalşılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

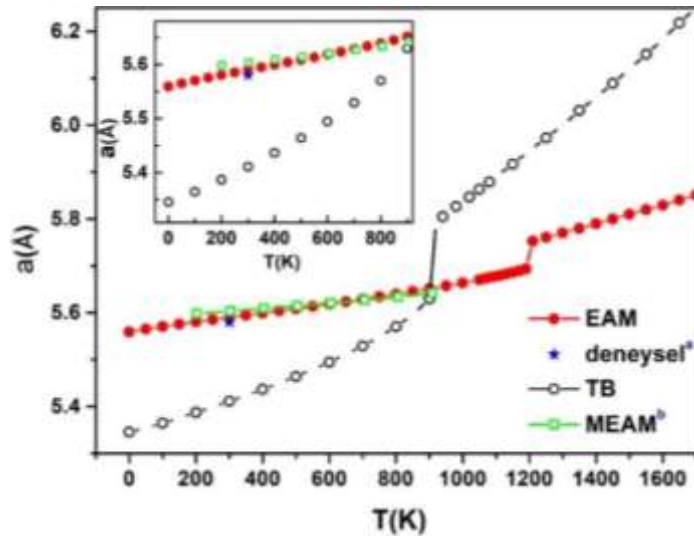
3.1. Kohesif Enerji, Örgü Parametresi ve Yoğunluk Hesaplamaları

Bu çalışmada Ca elementinin ısıtma sürecindeki yapısal özelliklerini araştırmak için kullanılan EAM, TB potansiyellerinden elde edilen sıcaklığa bağlı kohesif enerji eğrileri (E-T), hem deneysel [37] hem de Moitra ve arkadaşları [38] tarafından rapor edilen yeniden düzenlenmiş EAM MD (MEAM-MD) sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Şekil 1’de gösterilmiştir. Erime noktası civarındaki değişimleri daha net görülebilmek için 700-1500 K arası büyütülerek çizilmiş ve Şekil 1’in sol üst köşesinde gösterilmiştir. TB sonuçlarına nazaran, düşük sıcaklıklarda EAM sonuçlarının deney ile tutarlı ve MEAM sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmektedir. Isıtma sürecinde EAM ve TB potansiyelleri için kohesif enerji değerlerini erime noktası civarlarına kadar neredeyse lineer olarak bir artış göstermektedir. Artan sıcaklık ile birlikte, EAM için 1190 K ve TB için 900 K civarında E-T eğrilerinde ani ve çok keskin bir sıçrama meydana gelmiştir. Buda, sistemin faz değiştirerek fcc -kristal yapıdan sıvı yapıya geçiş yaptığının açık bir delilidir. Atom başına enerjide gözlenen süreksizliğin başladığı nokta

hem katı hem de sıvı fazı bir arada bulduran Ca elementinin erime sıcaklığına/noktasına (T_e), sıçramanın son bulunduğu sıcaklık/nokta ise sıvı olma sıcaklığına karşılık gelmektedir. Çalışmada E-T eğrilerinden T_e sıcaklığı, EAM için $T_e^{EAM} = 1190 \pm 10$ K ve TB için $T_e^{TB} = 900 \pm 10$ K olarak belirlenmiştir. Deneysel erime sıcaklığına ($T_e^{den.} = 1113$ K) göre, Ca için T_e^{EAM} ve T_e^{TB} sıcaklık değerlerinde, sırasıyla %6.92 ve %-19.14 civarında bir sapma olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar bize, sistemin ısıtma sürecini EAM potansiyelinin TB potansiyeline göre daha başarılı bir şekilde kontrol altında tutabildiğini göstermektedir. Diğer yandan TB sonuçları da, MD benzetimleri ve deneysel şartlar arasındaki farklılıklar göz önüne alındığında makul görülebilir aralıklardadır. MD benzetim analizlerinden her iki potansiyel için örgü parametreleri hesaplandı ve elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer MD sonuçlar ve ilgili deneysel sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak Şekil 2 gösterilmiştir. Burada da EAM potansiyel sonuçları literatürde rapor edilen hem MEAM-MD hem de deneysel sonuçları ile oldukça uyumludur. Diğer yandan TB potansiyelinden hesaplanan örgü parametrelerinin değerleri ise deneysel değerden daha küçük çıkmaktadır. EAM ve TB potansiyelleri için 300 K de hesaplanan örgü parametreleri sırasıyla $a^{EAM} = 5.59$ Å ve $a^{TB} = 5.41$ Å dir. Şekil incelediğinde büyük bir fark varmış gibi gözükse de bunu daha iyi anlamının yolu sapma miktarını belirlemektir. Bu değerlerin Ca için $a^{den} = 5.58$ Å olarak rapor edilen deneysel değere göre sapma miktarları sırası ile % ~0.002 ve %-3.05'dir.



Şekil 1. EAM ve TB potansiyellerinden hesaplanan kohesif enerji değerlerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi. Diğer çalışmalarda rapor edilen ^bMEAM-MD [38] ve ^adeneysel [37] sonuçlar.



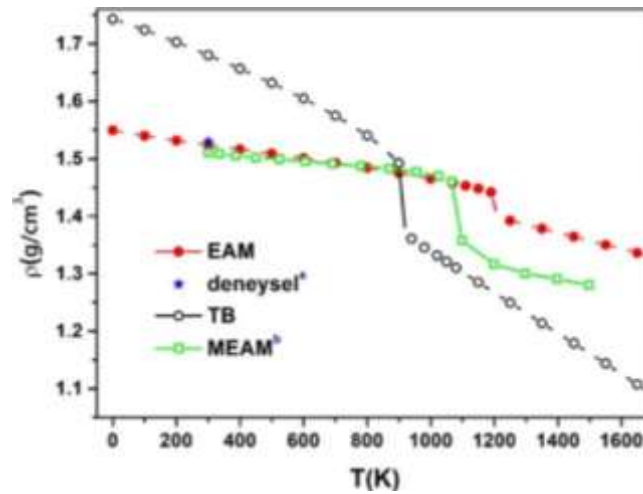
Şekil 2. EAM ve TB için örgü parametrelerinin artan sıcaklık ile değişimi. Diğer çalışmalarda rapor edilen ^bMEAM-MD [38] ve ^adeneysel [37] sonuçlar.

MD benzetimlerin analizlerinden belirlenen kohesif enerji, örgü parametresi, erime sıcaklığı ve bunların dışında yine düşük sıcaklıklar için hesaplanan, lineer termal genişleme katsayısı, ısı sığası ve yoğunluk değerleri, diğer MD benzetim sonuçları ve uygun deneysel sonuçlar ile birlikte Tablo 2’de verilmiştir. Deneysel ve literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırıldığında, mevcut sonuçlar gösteriyor ki, bu çalışmada kullanılan EAM potansiyeli, TB potansiyeli ve diğer MD benzetim sonuçlarına kıyasla daha başarılı sonuçlar üretmektedir. TB potansiyel sonuçları, diğer MD benzetim sonuçları ile karşılaştırıldığında saf kalsiyumun erime sıcaklığı ve ısı sığası gibi değerlerini daha başarılı bir şekilde açıklayabildiği görülmektedir. Araştırmacılar rapor edilen diğer MD benzetim sonuçlarında (2NN MEAM [39] ve MEAM [38]) erime sıcaklıkları iki faz, yani sıvı-katı fazları bir arada kullanarak belirlemişlerdir. Örneğin Moitra ve arkadaşları [38], MEAM-MD benzetimlerinde ısıtma yöntemi olarak tek faz kullandıklarında, örgü parametresinin sıcaklığa bağlı değişimden saf kalsiyumun erime sıcaklığını $T_e^{MEAM} = 1100$ K olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada saf Ca elementinin erime noktası tek faz yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve rapor edilmiştir. Ancak EAM potansiyeli için sistem daha yüksek sıcaklıklarda eridiğinden, erime noktası civarındaki deneysel sonuçlarla (sıvı $g(r)$ ve $S(q)$) ile karşılaştırma yapabilmek adına yalnızca bu potansiyel için iki faz (katı-sıvı) yöntemi uygulanmıştır. İki faz kullanıldığında, sistemin erime sıcaklığı 980 ± 10 K olarak belirlenmiştir ve burada rapor edilen deneysel erime noktasından daha düşüktür. Burada kullanılan iki faz yöntemi ile ilgili daha ayrıntılı bilgi için lütfen kaynağına [38] bakınız. MD benzetimlerde kullanılan potansiyel fonksiyonun hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda sistemin yoğunluğunu doğru bir şekilde açıklayabilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden mevcut çalışmada, her iki potansiyelin MD benzetimlerinden çıkan veriler kullanılarak sistemin her sıcaklıktaki yoğunluğu hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 3’de sıcaklığın fonksiyonu olarak deneysel veri ve diğer MD benzetim sonuçları ile birlikte verilmiştir. Şekil, artan sıcaklık ile birlikte her iki potansiyel için hesaplanan Ca yoğunluğunun erime sıcaklığına kadar doğrusal olarak azaldığını ve burada başka bir doğrusal bölgeye keskin bir şekilde düştüğünü göstermektedir. Bu keskin düşüşün meydana geldiği noktalar sistemin katı-sıvı faz geçişinin gerçekleştiği bölgeye karşılık gelmektedir. Yukarıda tartışılan sonuçlara benzer bir şekilde, yine EAM potansiyeli kullanılarak hesaplanan yoğunluk değerlerinin 300 K için verilen deneysel veri [37] ve MEAM-MD sonuçları [38] ile büyük oranda tutarlı olduğu açıktır.

Tablo 2. Saf Ca için hesaplanan ve literatürde rapor edilen bazı fiziksel özellikler.

Özellikler	Bu çalışma		Diğer çalışmalar		Deneysel
	EAM	TB	2NN MEAM ^a	MEAM ^b	
E_c (eV/atom)	1.84	1.73	1.84	1.84	1.84 ^c
a (Å)	5.59	5.41	5.58	5.58	5.59 ^d
T_e (K)	1190±10	900±10	975	825	1113 ^c
ϵ ($\times 10^{-6}, K^{-1}$)	20.00	45.40	23.50	11.20	22.00 ^d
C_p (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	26.10	25.50	23.30	25.70	25.40 ^d
ρ (g/cm ³)	1.52	1.68	-	1.51	1.53 ^c

^a[39], ^b[38], ^c[37], ^d[40]



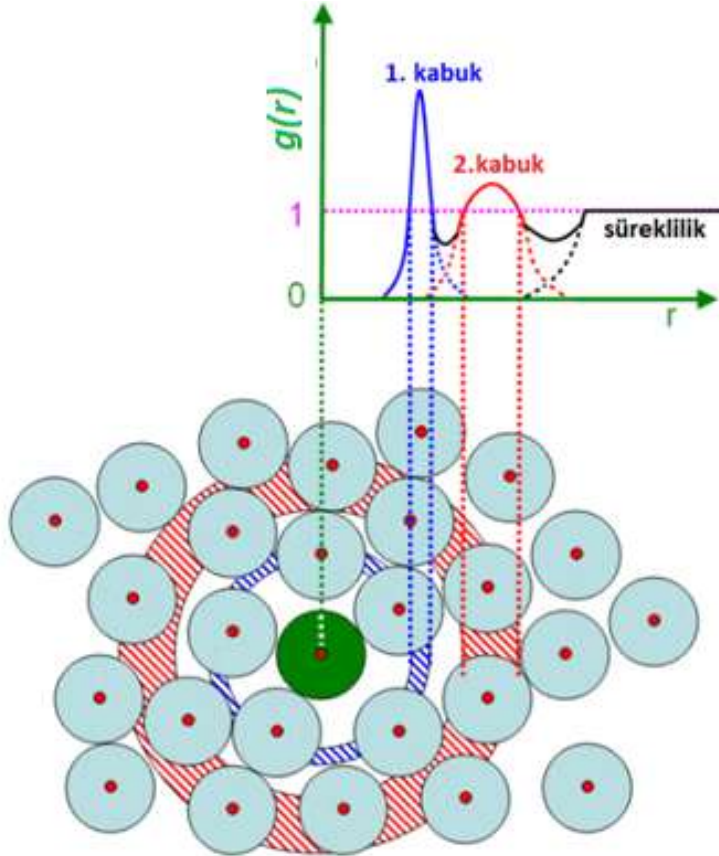
Şekil 3. Isıtma sürecinde EAM ve TB potansiyelleri için hesaplanan yoğunluğun sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişimi. Diğer çalışmalarda rapor edilen ^bMEAM-MD [38] ve ^adeneysel [37] sonuçları.

3.2. Çiftler Dağılım Fonksiyonu ve Yapı Faktörü

MD benzetimlerinde sistemin yapısal analizini doğru bir şekilde yapabilmek için, en basit şekliyle merkez atom ve onun çevresinde neler olup bittiğinin ve diğer atomlar ile aralarındaki mesafe gibi özelliklerin iyi biliniyor olması gerekir. Bunun içinde MD benzetimlerde kristal ve sıvıların yapılarını karakterize etmek için çoğunlukla çiftler dağılım fonksiyonundan ($g(r)$) yararlanılır. $g(r)$ analizi, belirli atomlar arası mesafelerde herhangi iki atomun bulunma olasılığını açıklar, aynı zamanda bir katının içindeki mesafe haritası olarak da adlandırılır. Burada toplam $g(r)$ 'nin ifadesi;

$$g(r) = \frac{V}{N^2} \left\langle \sum_{i=1}^n \frac{n(r)}{4\pi r^2 \Delta r} \right\rangle \quad (4)$$

şeklinde verilir. Bu denklemden N , MD benzetim hücresindeki atom sayısını, V ise aynı hücrenin hacmini temsil eder. $g(r)$ fonksiyonunun atomlar arası mesafeye (r 'ye) bağlılığı şematik olarak Şekil 4'de gösterilmiştir [41].



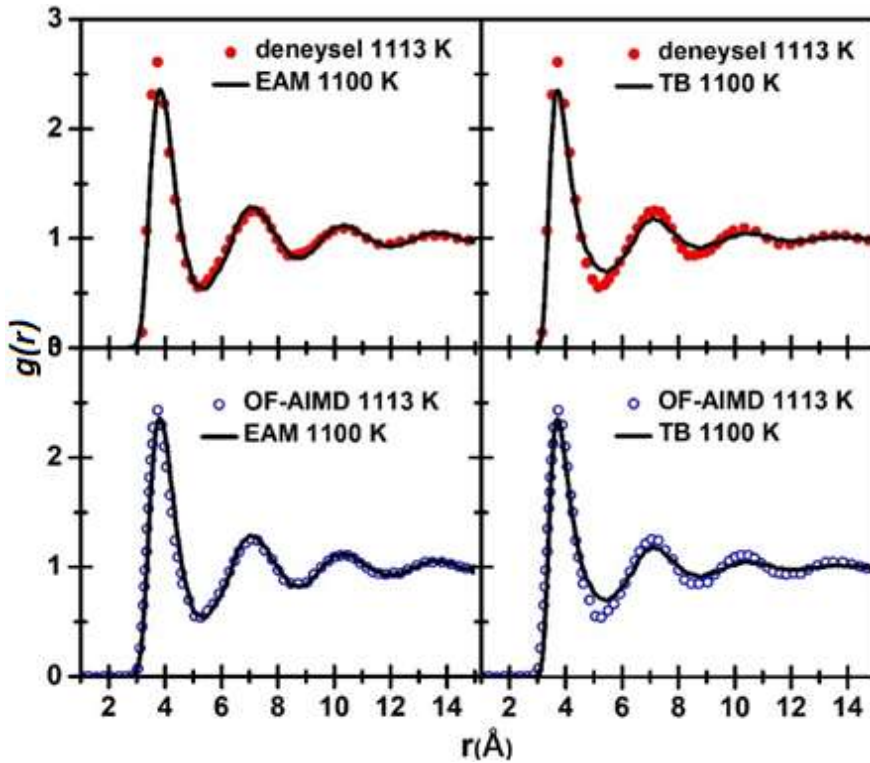
Şekil 4. $g(r)$ 'nin r 'ye bağlılığının şematik gösterimi [41].

Diğer bir önemli fonksiyon ise yapı faktörüdür $S(q)$. Bu fonksiyon deneysel olarak direkt olarak elde edilebilir, fakat MD benzetimlerde bu fonksiyonu hesaplayabilmek için $g(r)$ fonksiyonuna Fourier dönüşümü uygulanır. $S(q)$ sistemin uzaysal yapısı hakkında bilgiler sunar ve atomların uzaysal dağılımlarını karakterize eder [42]. $S(q)$ 'nin $g(r)$ 'ye bağlı formu aşağıdaki şekilde verilir [43].

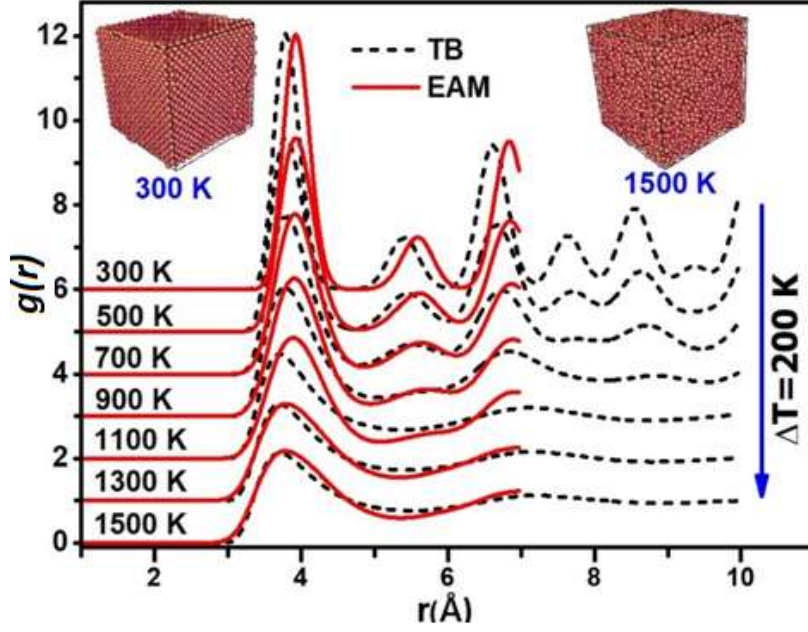
$$S(q) = 1 + 4\pi\rho \int_0^{\infty} r^2 \frac{\sin qr}{qr} (g(r) - 1) dr. \quad (5)$$

Burada ρ , sistemin ortalama sayı yoğunluğudur. İki potansiyel için erime noktası civarında hesaplanan $g(r)$ 'ler, literatürdeki deneysel [43] ve orbital-free *ab initio* moleküler dinamik (OF-AIMD) [44] sonuçları ile Şekil 5'te karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Bu sıcaklıklarda (1100 K) bütün $g(r)$ 'ler sıvı yapıların karakteristiğine uygun bir şekilde daha geniş ve yumuşak piklere sahiptir. Her iki potansiyel için elde edilen $g(r)$ 'lerin ilk ve diğer piklerinin konumları, hem deneysel hem de OF-AIMD sonuçları ile iyi bir uyum içindedir. Buda her iki potansiyel fonksiyonun sistemdeki atomlar-arası mesafeleri büyük ölçüde doğru bir şekilde tahmin edebildiğinin göstergesidir. Şekillere daha geniş açıdan bakıldığında, her ne kadar konumlar açısından iki fonksiyon sonuçları benzer olsa da, EAM $g(r)$ 'lerinin salınım genlikleri TB sonuçları ile kıyaslandığında, deney ve OF-AIMD ile daha uyumlu/tutarlı olduğu açıktır. Sonuç olarak, EAM potansiyelinin düşük sıcaklıklarda Ca elementinin fiziksel özelliklerini açıklamadaki başarısı, daha yüksek sıcaklıklarda da TB potansiyeline göre daha öne çıkmaktadır. Mevcut çalışmadaki sonuçlara göre, Ca elementi için seçilen potansiyel fonksiyonun daha başarılı ve güvenilir sonuçlar vermesi açısından, TB potansiyeline göre EAM potansiyelini tercih sebebi yapmaktadır.

Ek olarak her iki potansiyel için erime sürecinde $g(r)$ eğrilerinin sıcaklığa bağlı değişimlerini daha net görebilmek için farklı sıcaklıklarda (300, 500, 700, 900, 1100, 1300 ve 1500 K) hesaplanan $g(r)$ 'ler Şekil 6'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Düşük sıcaklıklarda hesaplanan $g(r)$ 'ler *fcc* yapıları ait pik davranışlarına sahiptir. Pikler daha yüksek ve belirgin şekildedir. Artan sıcaklık ile birlikte bütün piklerin yükseklikleri azalmakta ve genlikleri artmaktadır. Sıcaklık daha da arttırıldığında, 1300 ve 1500 K sıcaklıklarda, ise artık dar ve yüksek pikler yerini daha geniş ve yumuşak piklere bırakmaktadır ve bu davranışta sistemin eridiğine atfedilir. Ayrıca düşük sıcaklarda EAM ve TB için hesaplanan $g(r)$ 'lerin pik konumlarında küçük sapmalar gözlenmektedir. Artan sıcaklık ile birlikte konumlardaki sapma miktarları azalmaktadır. Isıtma sürecinde EAM potansiyeli için, *fcc* kristal (300 K) ve sıvı (1500 K) yapıya ait benzetim hücresinin görüntüleri Şekil 6'nın sağ ve sol üst köşesinde verilmiştir. Görüntülerden, 300 K'de Ca atomlarının düzenli bir dizilişe sahip olduğu görülürken, 1500 K ise artık bu düzenin kaybolduğu ve yerini düzensizliğe bırakarak rastgele bir dizilişe sahip olduğu görülmektedir.

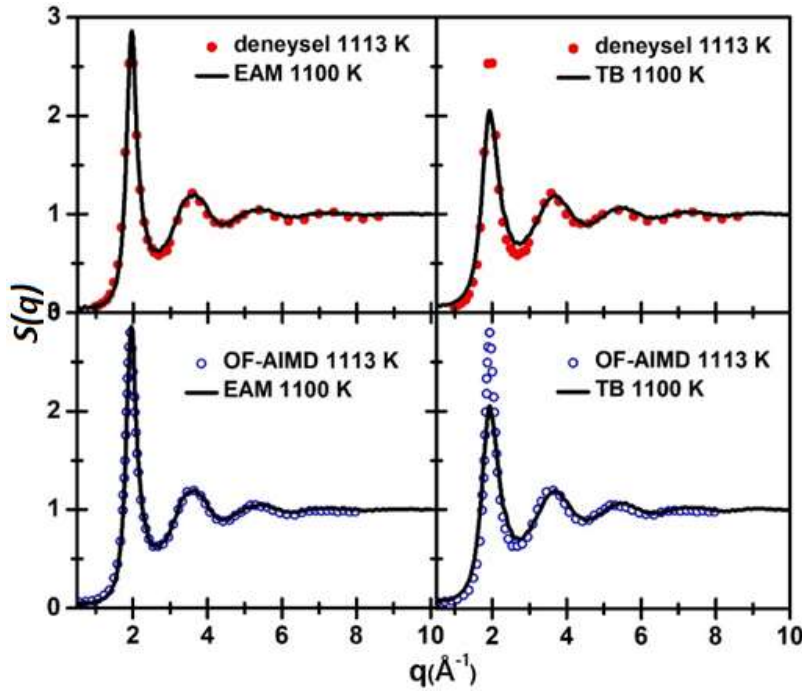


Şekil 5. EAM ve TB potansiyelleri için hesaplanan sıvı $g(r)$ 'ler ile deneysel [43] ve OF-AIMD $g(r)$ 'lerin [44] karşılaştırması.



Şekil 6. EAM ve TB potansiyeli için farklı sıcaklıklarda elde edilen $g(r)$ 'ler.

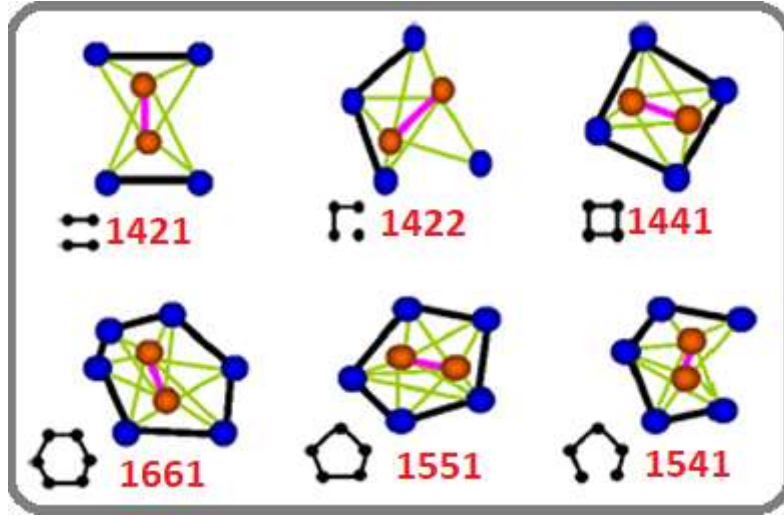
Sıvı Ca için EAM ve TB potansiyellerinden hesaplanan $S(q)$ 'lar, deneysel ve OF-AIMD sonuçları ile birlikte Şekil 7'de verilmiştir. Yukarıda tartışılan $g(r)$ sonuçlarına benzer şekilde bütün $S(q)$ 'lar sıvı yapıya has pikler sergilemektedir. Her iki potansiyel için yine piklerin salınımları ve konumları, hem deneysel hem de OF-AIMD sonuçları ile büyük oranda tutarlı gözükmemektedir. TB potansiyel sonuçlarından hesaplanan $S(q)$ eğrilerinin ilk pik yükseklikleri rapor edilen sonuçlardan daha düşükken, EAM dan elde edilen $S(q)$ 'lar deney ve OF-AIMD sonuçları ile oldukça iyi bir uyum içindedir. Diğer yandan ikinci, üçüncü ve diğer piklerin genlikleri, konumları ve yükseklikleri de deney ve OF-AIMD sonuçları ile neredeyse tamamen örtüşmektedir. Mevcut veriler, EAM potansiyelinin saf kalsiyumun yapısal ve birçok fiziksel özelliğini açıklayabilme ve atomlar-arası etkileşmeleri doğru üretebilme açısından TB potansiyelinden daha başarılı olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.



Şekil 7. EAM ve TB potansiyelleri için hesaplanan sıvı $S(q)$ 'lar ile deneysel [43] ve OF-AIMD $S(q)$ 'ların [44] karşılaştırması.

3.3. Honeycutt-Andersen Metodu

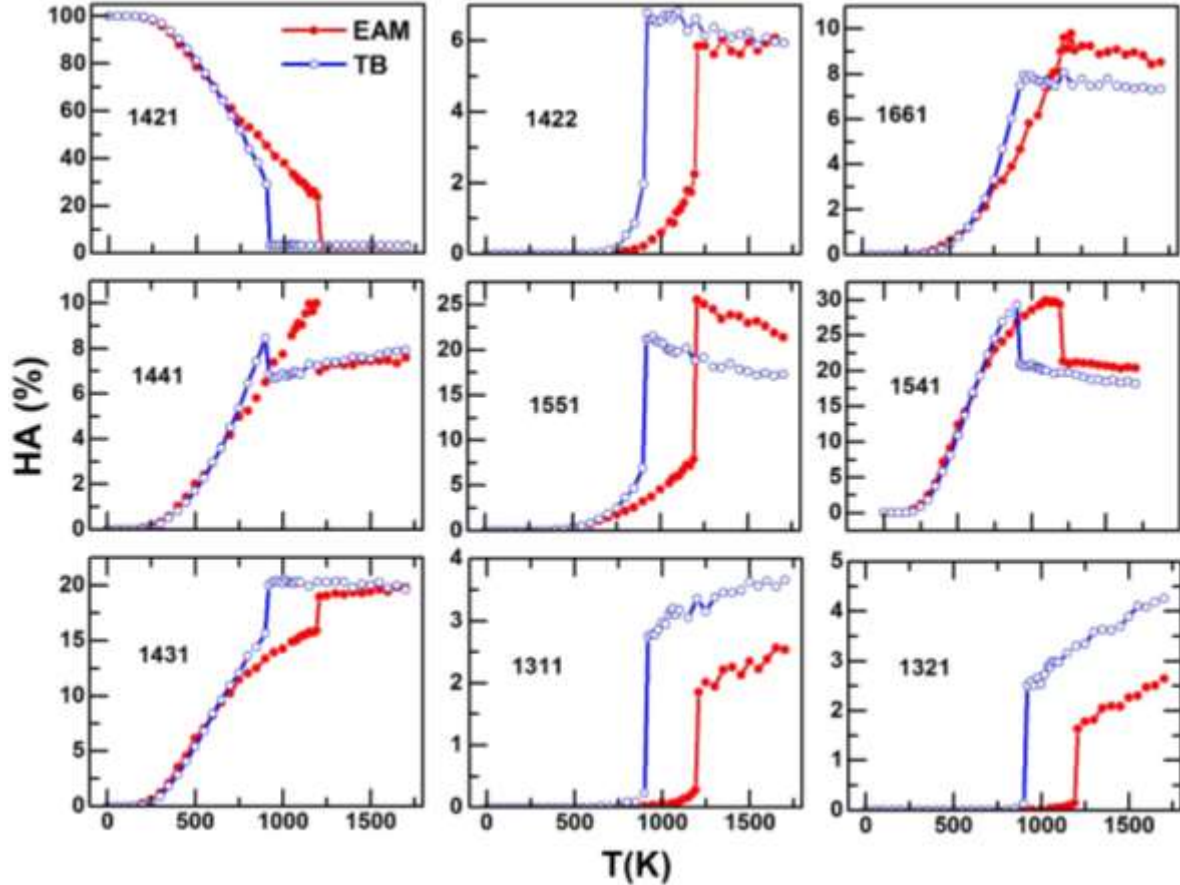
Isıtma sürecinde sistemin mikro yapısında ne gibi değişimlerin olduğunu bilmek süreç hakkında sağlıklı yorumlar yapabilme imkânı sağlamaktadır. Bu yüzden sistemdeki komşu atomların bir birleri ile yaptığı bağları, aralarındaki açıları ve atomların konumlarını istatistik açıdan ele alabilmek oldukça önemlidir [5]. Bu analizleri yapabilmek için literatürde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında Honeycutt-Andersen (HA) metodu gelmektedir [45–48]. Bu metotta, atom çiftleri ve onların yerel çevreleri $ijkl$ tam sayıları ile karakterize edilir. Burada i , kök atomların bağlı olup olmadığını ifade eder (eğer bağlıysa 1, değilse 2 değerini alır.). İkinci sayı j , kök çifti oluşturan atomların sahip oldukları ortak komşu atomların sayısını temsil eder. Üçüncü sayı k , bu ortak komşu atomları arasında kaç tane bağ olduğunu temsil eder. Son sayı l ise, ayırt edici bir özelliğe sahiptir, yani eğer ijk sayıları aynı ise yerel yapıdaki farklılığı ayırt etmek için kullanılır. Bu tekniğe göre, 1551 balı çifti ideal ikosahedra (*icos*), 1541 ve 1431 çiftleri kusurlu ikosahedra (*deficos*) düzeni temsil eder. 1421 bağlı çifti *fcc*, 1422 bağlı çifti sıkı paketlenmiş altıgen (*hcp*), 1661 ve 1441 bağlı çiftleri ise cisim merkezli kübik (*bcc*) kristal yapıları temsil eder. Mevcut çalışmada en sık rastlanan bağlı çiftlerden bazıları Şekil 8’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 8. En popüler olan bazı bağlı çiftler [49].

EAM ve TB için en popüler bağlı çiftlerden her birinin sıcaklığa bağlı değişimleri Şekil 9’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu şekil, yukarıdaki bölümlerde tartışılan yöntemlere ek olarak, ısıtma sürecinde katı-sıvı faz geçişi civarında sistemin mikro yapısında meydana gelen değişimleri de göstermektedir. Şekilden *fcc* yapıyı temsil eden 1421 kümelerin düşük sıcaklıklardaki dağılımına bakıldığında her iki potansiyel için bu dağılımın %100 civarında olduğu görülmektedir. Buda sistemin düşük sıcaklıklarda ideal *fcc* kristal yapısını koruduğunu gösterir. Sıcaklık arttırıldığında, bu kümelerin sayısında azalma ve her iki potansiyel için erime sıcaklığına karşılık gelen noktalarda ise çok ani ve bir o kadar da keksin bir düşüş (%0’lar civarına) gözlenmektedir. 1421 bağlı çiftlerinin sayısı azalırken, diğer yandan şekilde verilen 1422, 1431, 1541, 1551, 1441, 1661, 1311 ve 1321 bağlı çiftlerinin sayısında ise artış meydana gelmektedir. Bu durum ideal *fcc* yapının artan sıcaklık ile bozulmaya başladığını ve sistem içinde farklı yapılar ait kümelerin oluşmaya başladığı anlamını taşımaktadır. Özellikle *bcc* yapıyı temsil eden 1441 ve 1661 bağlı çiftlerinin erime noktasında EAM için %20 ve TB için %16 civarına çıkması, sistemdeki *fcc* tipi kümelerin önemli bir bölümünün *bcc* tipi kristal kümeler evrilmesi şeklinde açıklanabilir. Diğer yandan daha çok sıvı ve amorf yapılarda gözlenen *icos* ve *deficos* tipi kümelerin sayısı düşük sıcaklıklarda sıfır civarında iken, artan sıcaklık kristal yapıda kusurlar oluşturmaya başlamakta ve *icos-deficos* tipi kümelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [50]. Tam erime noktası civarlarında yapıdaki düzensizliklerden dolayı *icos* ve *deficos* tipi kümelerin sayısı belirgin bir şekilde artmaktadır. Bu süreçte 1541 ve 1551 kümelerini ani bir atışım yanında yapı sıvı olduktan sonra da ani bir düşüş sergilerken, 1431 kümeleri sayısı erime noktası civarında maksimum değerine ulaşmakta ve bu değer daha yüksek sıcaklıklarda da neredeyse bu değer civarında sabit kalmaktadır. Mevcut durum ancak sıvı faz bölgesinde dördü kümelerin çokluğu veya baskın oluşu ile

açıklanabilir. Diğer yandan ise bu durum, beşli kümelerin sistemin erime sürecini belirlemede daha etkin bir role sahip olduğunu göstermektedir. 1551 paketleme formları oluştuğunda ve icosahedra atomik paketlemenin yan ürünü olarak görülebilen eşkenar-dörtgen çiftleri temsil eden 1321 ve 1311 kümeleri ise sıvı faz bölgesinde artan sıcaklık ile birlikte etkin olarak varlığını göstermektedir. Her iki potansiyel için, HA analizinden elde edilen sonuçlarda artan sıcaklık ile benzer bir eğilim gözlenmiştir. Sonuçlar, MD benzetim çalışmaları için potansiyel fonksiyon seçiminin çok belirleyici olduğunu göstermiştir. TB potansiyeli saf kalsiyumun ısıtma sürecindeki yapısal özelliklerini açıklamada kısmen başarılı olmasına rağmen, EAM potansiyeli her sıcaklık aralığında daha önce rapor edilen deney ve OF-AIMD sonuçları ile büyük bir uyum göstererek bir adım daha öne çıkmaktadır. TB potansiyel parametrelerinin saf kalsiyumun mutlak özellikleri göz önünde tutularak tekrar gözden geçirilmesi önerilmektedir.



Şekil 9. EAM ve TB için en popüler bazı çiftlerin ısıtma sürecindeki değişimleri.

4. Sonuç ve Öneriler

Mevcut çalışmada *fcc* kristal örgüye sahip olan saf Ca elementinin ısıtma süreci, EAM ve TB çok cisim potansiyelleri kullanılarak klasik MD benzetim yöntemiyle araştırıldı. Her iki potansiyelin deneysel erime sıcaklığına ($T_e^{den.} = 1113$ K) yakın $T_e^{EAM} = 1190 \pm 10$ K ve $T_e^{TB} = 900 \pm 10$ K sıcaklık noktalarında sistemi erittiği gözlenmiştir. Bu potansiyeller için düşük ve yüksek sıcaklıklarda Ca elementinin fiziksel ve yapısal özellikleri, deneysel ve diğer MD sonuçları ile büyük oranda tutarlı olmasına rağmen, EAM potansiyelinin TB ve MEAM potansiyellerine göre daha tutarlı sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Özellikle erime noktası civarında EAM-MD sonuçlarından hesaplanan $g(r)$ ve $S(q)$ 'lar, hem deney hem de OF-AIMD sonuçları ile çok mükemmel bir uyum göstermiştir. HA yönteminden elde edilen sonuçlar ise, *fcc* kristal yapıyı temsil eden 1421 kümelerinin sayısının artan sıcaklık ile azalırken, diğer kümelerin sayısının arttığını göstermiştir. Özellikler erime sürecinde beşli kümelerin (1541 ve 1551 gibi) ve sıvı bölgelerde ise dördü kümelerin (1431 gibi) daha etkin bir rol üstlendiği gözlenmiştir. Diğer yandan *bcc* kristal yapıyı temsil eden 1441 ve 1661 kümelerinin sayısı da erime noktasında %20 olarak maksimum değere ulaşmıştır. Mevcut sonuçlar, saf Ca elementi için EAM potansiyelinin TB potansiyeline kıyasla daha başarılı ve güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. Son

olarak, TB potansiyel parametrelerinin saf kalsiyumun farklı fiziksel özellikleri göz önünde tutularak tekrar gözden geçirilmesi önerilmektedir.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı şahsına aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Sheng H.W., Luo W.K., Alamgir F.M., Bai J.M., Ma E. 2006. Atomic packing and short-to-medium-range order in metallic glasses. *Nature*, 439 (7075): 419–425.
- [2] Zhou X.W., Johnson R.A., Wadley H.N.G. 2004. Misfit-energy-increasing dislocations in vapor-deposited CoFe/NiFe multilayers. *Physical Review B*, American Physical Society; 69(14): 144113.
- [3] Celik F.A. 2014. Molecular dynamics simulation of polyhedron analysis of Cu–Ag alloy under rapid quenching conditions. *Physics Letters A*, 378 (30–31): 2151–2156.
- [4] Domekeli U., Sengul S., Celtek M., Canan C. 2018. The melting mechanism in binary Pd_{0.25}Ni_{0.75} nanoparticles: molecular dynamics simulations. *Philosophical Magazine*, 98 (5): 371–387.
- [5] Sengul S., Celtek M., Domekeli U. 2017. Molecular dynamics simulations of glass formation and atomic structures in Zr₆₀Cu₂₀Fe₂₀ ternary bulk metallic alloy. *Vacuum*, 136: 20–27.
- [6] Zhang Y., Mattern N., Eckert J. 2011. Atomic structure and transport properties of Cu₅₀Zr₄₅Al₅ metallic liquids and glasses: Molecular dynamics simulations. *Journal of Applied Physics*, 110 (9): 093506.
- [7] Sengul S., Celtek M. 2018. Pressure Effects on the Structural Evolution of Monatomic Metallic Liquid Hafnium. *BEU Journal of Science*, 7 (1): 144–158.
- [8] Johnson M.L., Blodgett M.E., Lokshin K.A., Mauro N.A., Neuefeind J., Pueblo C., vd. 2016. Measurements of structural and chemical order in Zr₈₀Pt₂₀ and Zr₇₇Rh₂₃ liquids. *Physical Review B*, 93: 054203.
- [9] Çeltak M., Güder V. 2020. Sıvı Vanadyumun Kristalizasyon Sürecine Soğutma Oranı Etkisinin Moleküler Dinamik Benzetim Metodu ile İncelenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2): 730–745.
- [10] Kizilgac S., Celik F., Koksak K. 2018. The Impact of Pt Concentration on Crystal Growth Mechanism in Pt-Pd Binary Alloy System in the Context of Molecular Dynamics. *Metals*, 8 (11): 926.
- [11] Erkoç Ş. 1997. Empirical many-body potential energy functions used in computer simulations of condensed matter properties. *Physics Reports*, 278 (2): 79–105.
- [12] Celtek M., Domekeli U., Sengul S., Canan C. 2021. Effects of Ag or Al addition to CuZr-based metallic alloys on glass formation and structural evolution: a molecular dynamics simulation study. *Intermetallics*, 128: 107023.
- [13] Sengul S., Celtek M., Domekeli U. 2020. The structural evolution and abnormal bonding ways of the Zr₈₀Pt₂₀ metallic liquid during rapid solidification under high pressure. *Computational Materials Science*, 172: 109327.
- [14] Oluwajobi A., Chen X. 2011. The effect of interatomic potentials on the molecular dynamics simulation of nanometric machining. *International Journal of Automation and Computing*, 8 (3): 326–332.
- [15] Çeltak M., Şengül S., Dömekeli Ü. 2019. Hızlı Soğutma Sürecinde Dörtlü Zr₄₈Cu₃₆Ag₈Al₈ İri

- Hacimli Metalik Camının Atomik Yapısının Gelişimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23 (3): 954–962.
- [16] Celtek M., Sengul S., Domekeli U. 2017. Glass formation and structural properties of Zr₅₀Cu_{50-x}Al_x bulk metallic glasses investigated by molecular dynamics simulations. *Intermetallics*, Elsevier Ltd; 84: 62–73.
- [17] Allen M.P., Tildesley D.J. 1991. *Computer simulation of liquids*. Oxford, NY, USA: Clarendon Press.; 1991.
- [18] Jones J.E., Ingham A.E. 1925. On the calculation of certain crystal potential constants, and on the cubic crystal of least potential energy. *Proc. R. Soc. London Ser. A*, 107: 363.
- [19] Morse P.M. 1929. Diatomic Molecules According to the Wave Mechanics. II. Vibrational Levels. *Physical Review*, 34 (1): 57–64.
- [20] Daw M.S., Baskes M.I. 1984. Embedded atom method: derivation and application to impurities, surfaces and other defects in metal. *Physical Review B*, 29 (12): 6443–6453.
- [21] Daw M.S., Baskes M.I. 1983. Semiempirical, Quantum Mechanical Calculation of Hydrogen Embrittlement in Metals. *Physical Review Letters*, 50 (17): 1285–1288.
- [22] Finnis M.W., Sinclair J.E. 1984. A simple empirical *N*-body potential for transition metals. *Philosophical Magazine A*, Taylor & Francis Group ; 50 (1): 45–55.
- [23] Sutton A.P., Chen J. 1990. Long-range Finnis–Sinclair potentials. *Philosophical Magazine Letters*, 61 (3): 139–146.
- [24] Rafii-Tabar H., Sutton A.P. 1991. Long-range Finnis–Sinclair potentials for f.c.c. metallic alloys. *Philosophical Magazine Letters*, 63 (4): 217–224.
- [25] Jacobsen K.W., Norskov J.K., Puska M.J. 1987. Interatomic interactions in the effective-medium theory. *Physical Review B*, 35 (14): 7423–7442.
- [26] Cleri F., Rosato V. 1993. Tight-binding potentials for transition metals and alloys. *Physical Review B*, 48 (1): 22–33.
- [27] Eskier U. Kalsiyum Nedir? (Özellikleri, Kullanımı, Faydaları). <https://www.makaleler.com/kalsiyum-nedir-ozellikleri-kullanimi-faydalari>. (Erişim Tarihi: 01.04.2021)
- [28] Sheng H.W., Kramer M.J., Cadien A., Fujita T., Chen M.W. 2011. Highly optimized embedded-atom-method potentials for fourteen FCC metals. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 83 (13): 1–20.
- [29] Celtek M., Domekeli U., Sengul S. 2019. Moleküler Dinamik Benzetim Yöntemi ile Isıtma İşlemi Sırasında Platin Metalinin Yapısal Gelişimi ve Erime Noktası Üzerine Atomlar-arası Potansiyel Etkisinin Araştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 413–427.
- [30] Celtek M., Sengul S., Domekeli U., Canan C. 2016. Molecular dynamics study of structure and glass forming ability of Zr₇₀Pd₃₀ alloy. *The European Physical Journal B*, 89 (3): 1–6.
- [31] Celtek M., Sengul S. 2018. The characterisation of atomic structure and glass-forming ability of the Zr–Cu–Co metallic glasses studied by molecular dynamics simulations. *Philosophical Magazine*, 98 (9): 783–802.
- [32] Senturk Dalgic S., Celtek M. 2011. Molecular dynamics study of the ternary Cu₅₀Ti₂₅Zr₂₅ bulk glass forming alloy. *EPJ Web of Conferences*, 15:03008.
- [33] Senturk Dalgic S., Celtek M. 2011. Glass forming ability and crystallization of CuTi intermetallic alloy by molecular dynamics simulation. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 13 (11–12): 1563–1569.
- [34] Senturk Dalgic S., Celtek M. 2011. Liquid -to-glass transition in bulk glass-forming Cu_{55-x}Zr₄₅Ag_x alloys using molecular dynamic simulations. *EPJ Web of Conferences*, 15: 03009.
- [35] Ju S.-P., Huang H.-H., Wu T.-Y. 2015. Investigation of the local structural rearrangement of Mg₆₇Zn₂₈Ca₅ bulk metallic glasses during tensile deformation: A molecular dynamics study. *Computational Materials Science*, 96: 56–62.
- [36] Smith W., Forester T.R. 1996. DL_POLY_2.0: A general-purpose parallel molecular dynamics simulation package. *Journal of Molecular Graphics*, Elsevier; 14 (3): 136–141.
- [37] Kittel C. 1986. *Introduction to Solid State Physics*. New York: John Wiley & Sons Inc.; 1986.
- [38] Moitra A., Kim S.-G., Horstemeyer M.F. 2011. Structural and thermal properties of calcium using an MEAM potential. *Calphad*, 35 (2): 262–268.
- [39] Kim K.-H., Jeon J.B., Lee B.-J. 2015. Modified embedded-atom method interatomic potentials

- for Mg–X (X=Y, Sn, Ca) binary systems. *Calphad*, 48: 27–34.
- [40] E.A. Brandes G.B.B. 1998. *Smithells Metals Reference Book*. 7th baskı Butterworth Heinemann; 1998.
- [41] Y. Liao. 2006. *Practical Electron Microscopy and Database* (Global Sino, 2006). <http://www.globalsino.com/EM/>.
- [42] Çeltek M., Şengül S., Celtek M., Sengul S., Çeltek M., Şengül S. 2019. Effects of cooling rate on the atomic structure and glass formation process of Co₉₀Zr₁₀ metallic glass investigated by molecular dynamics simulations. *Turkish Journal of Physics*, 43 (1): 11–25.
- [43] Waseda Y. 1981. *The Structure of Non-Crystalline Materials-Liquids and Amorphous Solids*. New York: London: McGraw-Hill.
- [44] Rio B.G. del, González L.E. 2014. Orbital free ab initio simulations of liquid alkaline earth metals: from pseudopotential construction to structural and dynamic properties. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 26 (46): 465102.
- [45] Honeycutt J.D., Andersen H.C. 1987. Molecular Dynamics Study of Melting and Freezing of Small Lennard- Jones Clusters. *Journal of Physical Chemistry*, 91 (24): 4950–4963.
- [46] Çelik F.A. 2021. Pd-Au Alaşımında Au Atomunun Konsantrasyon Etkisinin Polyhedron Topakları Oluşumu Üzerine Etkisinin Moleküler Dinamik Yöntemle İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (1): 9–15.
- [47] Celik F.A. 2012. Süper Örgülü Yapıların Nano-Topak Özelliklerinin Benzetim Yöntemi İle İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (2): 66–75.
- [48] Çelik F.A., Kazanç S. 2010. CuNi Alaşımının Amorf Fazdan Kristal Faza Dönüşüm Sürecinde Mikro-Topak Özelliklerinin Moleküler Dinamik Yöntem ile İncelenmesi. *Fırat Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, 22 (2): 79–84.
- [49] Celik F.A., Korkmaz E.T. 2020. Molecular dynamic investigation of the effect of atomic polyhedrons on crystallization mechanism for Cu-based Cu-Pd and Cu-Pt alloys. *Journal of Molecular Liquids*, 314: 113636.
- [50] Hui L., Feng D., Xiufang B., Guanghou W. 2002. Molecular dynamics study of icosahedral ordering and defect in the Ni₃Al liquid and glasses. *Chemical Physics Letters*, 354 (5–6): 466–473.

Araştırma Makalesi / Research Article

Siverek Bölgesinde Yetişen Kenger (*Gundelia tournefortii*) bitkisinin Ağır Metal, Fenolik asit ve Antioksidan İçeriklerinin Araştırılması

Beşir DAĞ*

*Batman Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, 72100, Batman, Türkiye
(ORCID: 0000-0008-5208-3552)*

Öz

Bu çalışmada Kenger (*Gundelia tournefortii*) bitkisinin, ağır metal, fenolik asit ve antioksidan içerikleri araştırıldı. Bitkinin hem kök hem de dikenli kısımlarından olmak üzere toplam 10 örnek alınıp öncelikle, kimyasal yaş yakma işlemi ile çözelti haline getirilip ağır metal [(Arsenik (As), Çinko (Zn), Kadmiyum (Cd), Kobalt (Co), Krom (Cr) Kurşun (Pb), Mangan (Mn), Nikel (Ni) ve Selenyum (Se)] derişimleri İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometre (ICP-OES) cihazı ile tespit edilerek, literatür verileri ile karşılaştırıldı. Ayrıca, kenger örneklerinin fenolik bileşik içerikleri Sıvı Kromatografisi- Kütle Spektrometresi (LC-MS/MS) cihazı ile kantitatif olarak tayini neticesinde 38 fenolik bileşikten, 28 tanesinin tespit edilebilir seviyenin altında olduğu, geriye kalan ve tespit edilebilir düzeyde olan 10 fenolik bileşik içerisinde kuinik asit (4.572 mg.L⁻¹- 21.28 mg.L⁻¹) ve gallik asit,(0.284 mg.L⁻¹ - 2.182 mg.L⁻¹) değerlerinin yüksek, diğer fenolik bileşiklerin ise oldukça düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Sentetik antioksidanlar (BHA, BHT ve Trolox) kullanılarak, ABTS⁺ (Serbest Radikal Giderme), DPPH (Söndürücü Radikal Giderme) ve İndirgeme Güç Yöntemleri kullanılarak bileşiklerin antioksidan aktiviteleri UV spektrofotometre cihazıyla tespit edilerek değerlendirildi. ABTS⁺ radikal giderme sonuçlarına baktığımızda örneklerin metanol ekstraktlarının standartlara kıyasla etkili bir ABTS⁺ radikal katyon giderme aktivitesi göstermediği, metanol ekstraktlarının standartlarla kıyaslandığında, daha düşük seviyede DPPH radikal giderme aktivitesi gösterdiği, ayrıca, kenger örneklerinin metanol ekstraktlarının indirgeme gücü aktivitelerinin standartlara göre oldukça düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metaller, antioksidan, kenger (*Gundelia tournefortii*), fenolik bileşikler,

Investigation of Heavy Metal, Phenolic acid and Antioxidant Content of Kenger (*Gundelia tournefortii*) Samples Growing in Siverek Region

Abstract

In this study, heavy metal, phenolic acid and antioxidant contents of Kenger (*Gundelia tournefortii*) plant were investigated. A total of 10 samples, both root and thorny parts of the plant, are taken and firstly, they are dissolved by chemical wet burning process and heavy metal [(Arsenic (As), Zinc (Zn), Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Chromium (Cr) Lead (Pb), Manganese (Mn), Nickel (Ni) and Selenium (Se)] concentrations were determined by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) device and compared with literature data. Quinic acid (4.572 mg. L⁻¹ - 21.28 mg. L⁻¹) and gallic acid (0.284 mg. L⁻¹ - 2.182 mg. L⁻¹) values were found to be high, while other phenolic compounds were found to be at very low levels. Synthetic antioxidants (BHA, BHT and Trolox), using ABTS⁺ (Free Ra The antioxidant activities of the compounds were determined and evaluated with a UV spectrophotometer device using DPPH (Extinguishing Radical Removal) and Reduction Power Methods. When we look at the ABTS⁺ radical scavenging results, it was determined that the methanol extracts of the samples did not show an effective ABTS⁺ radical cation scavenging activity compared to the standards, the methanol extracts showed a lower level of DPPH radical scavenging activity compared to the standards, and the reducing power activities of the methanol extracts of the Kenger samples were quite low compared to the standards.

Keywords: Heavy metals, antioxidant, kenger (*Gundelia tournefortii*), phenolic compounds,

*Sorumlu yazar: besir.dag@hotmail.com

Geliş Tarihi: 12.04.2021, Kabul Tarihi: 05.08.2021

1. Giriş

Kenger (*Gundelia tournefortii*), Dünyanın belli bazı bölgelerinde özellikle de Ortadoğu coğrafyasında, yaygın biçimde ılıman iklim kuşağında yetişen bir bitki türü olduğu bilimsel olarak tespit edilmiştir. Asteraceae familyasından olduğu bilinen kenger (*Gundelia tournefortii*) bitkisi yaygın biçimde Asya kıtası olmak üzere özellikle de, Azerbaycan, Kıbrıs, İran, İsrail, Mısır, Ürdün ve Türkmenistan gibi ılıman iklim biçimine sahip ülkelerde yetiştiği bildirilmiştir [1]. Türkiye'nin iklim olarak genellikle ılıman iklim kuşağında yer alan coğrafi bir bölgede bulunması, onu bitki çeşitliliği açısından oldukça zengin bir kaynağa sahip kılarak birçok aromatik bitkinin yetiştirilmesinde öncü bir konuma taşımanın yanısıra, 3000'i endemik olmak üzere, 12.000 civarında bitki çeşidine sahip olmasıyla da bu alanda lider ülkeler sınıfına yükselttiği yapılan bilimsel araştırmalarla kanıtlanmıştır [2]. Kenger, başta Doğu Anadolu Bölgesi olmak üzere, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde hatta benzer iklim kuşağına sahip bir çok konum ve farklı rakımlarda yetiştiği de tespit edilmiştir [3]. Genetik yapısı bakımından tek tohumlu olan kenger bitkisi bölgelere göre farklılıklar göstermekle birlikte genellikle 20-40 cm yüksekliğinde uzun ömürlü, otsu ve dikenli yapıda, tüylü veya tüysüz yaprakları loplu biçimde olup, bu lopların uç kısımları dikenli yapıya sahip bir bitki türüdür. Türkiye'de kenger bitkisi, kenger sakızı, sakız otu, tatlı kenger, çadır dikenli ve kanak olmak üzere farklı isimlerle anıldığı ve isimlerinde bölgelere göre farklılıklar gösterdiği gibi, tüketim alışkanlıklarını da etkilediği bilinmektedir. Doğu Anadolu bölgesinde kengerin enginara benzeyen baş kısmı ve sapları sebze olarak tüketilirken, Akdeniz ve iç bölgelerde kavrulup, taş dibekle dövüldükten sonra, elekten geçirilerek, kenger kahvesi şeklinde tüketilmektedir [4-6]. Bunun yanısıra, kenger stabilizatör olarak dondurma imalatında kullanılabilirdiği gibi [7], kök kısımlarından elde edilen yoğun kıvamdaki kenger sütünden de sakız elde edilerek halk arasında birçok faydaları olduğu bilinip şifa niyetine çiğnenerek tüketilmektedir. Kenger bitkisi (*G. tournefortii*) uzun yıllar boyunca birçok toplumlar tarafından geleneksel yâda alternatif tıpta da kullanıldığı, sap kısımlarının özellikle karaciğer koruyucu ve kan temizleyici özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca, şeker hastalığı tedavisi, ağrı kesici, kramp çözücü, hazımsızlığı giderici, sinirleri güçlendirip rahatlatıcı, ve migreni tedavi edici gibi birçok faydalı özelliklerinin yanısıra [3, 8-11], anti-inflamatuar, anti-parazit, antibakteriyel, hipoglisemik ve hepatoprotektif etkilerinin de olduğu belirtilmiştir [1, 6].

Kenger bitkisinin (*G. tournefortii*) kimyasal yapısı, bilhassa da içerdiği fenolik bileşikler sayesinde birçok patolojik vakanın engellenmesinde önemli dercede rol oynamış olmakla birlikte insan sağlığı üzerinde bir çok pozitif etkileri olduğu tespit edilmiştir. Fenolik bileşikler kimyasal yapıları bakımından bir ya da birden çok aromatik halkaya sahip bileşik gruplarıdır. Kimyasal içeriği ve farklı şekillerde yer alan hidroksil gruplarına bağlı olarak basit fenolikler, fenolik asitler, asetofenonlar, aldehytlar ve fenil asetikler, kumarinler, sinamik asitler, biflanoniller, flavonidler, ksantone, benzofenon, stilbenler, benzokinon, antrakınon, naftakinonlar, betasiyaninler, lignanlar, lignin ve tanenler biçiminde sınıflandırılırlar [12]. Bitkilerde sekonder metabolizmanın ürünleri olarak ortaya çıkan fenolik bileşiklerin, parazit ve patojenlere karşı kendilerini savunmalarının, bitkilerin üreme ve büyüme gibi temel gelişim fonksiyonlarına olumlu katkı sağladıkları gibi, bitkilerin tatlarına ve renklerine de aynı şekilde olumlu katkılar sağladıkları belirtilmiştir [13]. Fenolik bileşiklerin bileşenlerinin çok önemli bir kısmı antioksidan özellik kapasitesine sahip oldukları gibi antioksidan güç sebebiyle birçok hastalık üzerinde düzeltici ve önleyici etkilerinin olduğu da tespit edilmiştir [14]. Antioksidanlar daha seyreklik derişimlerdeki, serbest radikaller ile tepkimeye girip, onların okside olmasına engel olan bileşikler olarak tanımlanmışlardır. Antioksidan kapasitesi bakımından zengin olan besin, gıda yâda bitkilerin birçok hastalıklara karşı, koruyucu etkiye sahip oldukları ve bunların tüketiminin yâda kullanımının özellikle kanser hastalıkları, kalp hastalıkları ve hipertansiyon hastalıklarını tedavi ettiği, hatta felç riskini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir [15]. Besin ve bitkilerin antioksidan kapasiteleri önemli olmakla birlikte bunların biyoalmabilir seviyede olması, o bileşenden yararlanmayı daha da önemli hale getirmiş olup, son zamanlarda bu konu üzerine çok sayıda makale yayınlanmıştır [16-21]. Biyoyararlılık, besinlerde bulunan bileşenlerin vücudumuz tarafından sindirilip vücut fonksiyonlarına dahil olması için kullanılan yada depolanan miktarı, yani vücudun, sahip olduğu gıdalarda bulunan bileşimlerin kullanılma yada tüketilme oranı olarak tanımlanmıştır. Ülkemizde yetiştirilen ve sıklıkla tüketilen kenger (*G. tournefortii*) bitkisinin hem dikenli hem de yenilebilir kısmının ağır metal derişimleri kimyasal yaş yakma işlemi ile çözelti haline getirilip İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazı ile ölçülerek, bulunan değerler literatür verileri ile

karşılaştırılması, ayrıca fenolik asit içeriklerini tespit etmek için iki farklı özütleme metodu kullanılarak toplam fenolik bileşik içerikleri ve antioksidan kapasitesinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kenger Örneklerinin Ağır Metal Analizleri

Kenger örnekleri Siverek-Diyarbakır karayolunun 16. kilometresinde yolun her iki tarafından toplanıp, naylon poşetlere konup, kilitlenerek etiketlendi. Plastik bir bıçak yardımı ile kenger örneklerinin kök ve dikenli kısımları ayrıldı. Örnekler yenilebilir ve dikenli kısım olmak üzere iki kısma ayrılıp, numaralandırıldıktan sonra 55 °C de ki etüvde 60 saat süreyle kurutuldu [22]. Kuruyan kenger örneklerinin kök ve dikenli kısımları porselen havanda öğütülüp toz haline getirilerek, kapaklı tüplere aktarılıp etiketlendi. Kenger örnekleri yaş yakma metodu ile çözelti haline getirilmek için, porselen krozeler hazırlanarak tartımları alınıp, 500 °C'ye ayarlanan kül fırınına yerleştirilerek sabit tartıma gelmesi sağlandı. Örneklerden yaklaşık, 1.5 gr katılarak krozelerin tartımları alındı. Her bir örneğin üzerine % 95 etanol (C₂H₅OH) - % 5 Nitrik asit (HNO₃) karışımından oluşan çözeltilerden 4 ml eklendi. 550 °C' sıcaklıkta 6 saat sonunda kül haline gelen kenger örnekleri metal bir maşa kullanılarak etüvden çıkarıldı, üzerlerine 3N, HCl çözeltisinden 4'er ml eklendikten sonra kenger örnekleri ayrı ayrı mavi bant süzgeç kâğıdıyla falkon tüplerine süzülerek saf suyla 15 ml'ye tamamlandı [23].

2.1.1. ICP-OES cihazının analitik koşulları

Plazma akışı (15 L.dk⁻¹), Nebulizer gaz basıncı (0.80 L.dk⁻¹), Tekrar okuma süresi (15 saniye), Cihaz stabilizasyon zamanı (30 saniye), Örnek alım gecikmesi (50 saniye), Yıkama süresi (10 saniye), Pompa hızı (√) Yardımcı gaz akışı (2.25 L.dk⁻¹).

2.1.3. Sonuçların hesaplanması

Costech ECS 4010 Elementel analiz cihazı (analitik koşullar: Akış hızı: 100 ml.dk⁻¹, Dedeksiyonon: TCD: L-3, Dedektör 1: INT 7-1, External Start: Start - Restart, Down, Fırın sıcaklığı: 70°C, GC Kolonu: SS 6×5 mm - 2 m - HayeSep Q 60/80, Metod: Dumas metodu, O₂ loop: 5 ml - 100 kPa, Otomatik kapama: 15.00 min, Packing: NCHS için standart, Reaksiyon tüpü: 450×18 mm, Sağ fırın sıcaklığı: off, Sol fırın sıcaklığı: 1050 °C, Tanımlı Elementler: (N,C,H,S) analitik koşullara getirilip plazma yakıldı, cihazın stabilizasyonundan sonra analiz başlatılarak, sırasıyla tanık çözelti, kalibrasyon standart çözeltileri, kontrol standart çözeltileri ile numune çözeltileri okundu. Her bir element ve o element için seçilmiş her bir dalga boyu için en az dört noktalı bir kalibrasyon eğrisi oluşturuldu. Kenger örneklerindeki element miktarları aşağıdaki formül kullanılarak cihaz tarafından hesaplandı. Sonuçlar, mg.kg⁻¹ olarak hesaplandı.

$M = (n-t) \times V/m$ n: Numune çözeltisinin element derişimi (µg.ml⁻¹) t: Tanık çözeltinin element konsantrasyonu (µg.ml⁻¹), V: Numune çözeltisinin hacimi (ml), m: Numune tartım miktarı (g), M: Numunedeki element miktarı (µg. g⁻¹).

2.2. Kenger Örneklerinin Fenolik Asit Analizleri

250 ml'lik cam balon jojelerin içine iyice kurutulan kenger örnekleri 10±0.5 g duyarlılıkta tartılarak kondu. Çözücü olarak polar özellik taşıyan etanol kullanıldı. Soxhlet ekstraktörü kullanılarak geri damıtma hızı dakikada en az üç damla olacak şekilde 8-10 saat ekstrakte edildi. Rotary Evaporatör yardımıyla düşük basınç altında, çözücü iyice buharlaştırıldı [24]. Fenolik bileşiklerin kalitatif ve kantitatif olarak tayini LC-MS/MS cihazıyla gerçekleştirildi. LC-MS/MS analizlerinde bazı *Achillea* L. türlerinin LC-MS/MS ile metabolik profillerinin çıkarılmasında kullanılan metot modifiye edilerek uygulandı [25]. Ekstraksiyon sonucunda elde edilen ham ekstratler metanol da çözünerek 1000 mg.kg⁻¹ derişimde 1.5 ml'lik çözeltileri hazırlanıp 0.22 µm filtreden geçirilip HPLC viallerine aktarıldı.

2.2.1. Fenolik bileşiklerin tayininde kullanılan alet, cihaz ve kimyasallar

Protokateşuik asit, ferulik asit, klorojenik asit, rozmarinik asit, sinnamik asit, sinapinik asit, sirinjik asit, pirokatekol, p-kumarik asit, o-kumarik asit, gallik asit, 4-hidroksi benzoik asit, kafeik asit, vanilik asit, salisilik asit, hesperidin, apigetrin, likiritigenin, izokersitrin, hesperetin, roifolin, nikotiflorin, fisetin, naringenin, rutin, kersetin, kamferol, mirisetin, kersitrin, luteolin, apigenin, krisin, malik asit, kinik asit, fumarik asit, kumarin, vanilin, formik asit, amonyum format, ultra saf su ve metanol kullanıldı. Hassas terazi (Scaltec SBA31), Jeio-Tech ultrasonik banyo (Kore), LC-MS/MS (Shimadzu LCMS 8040 model), Otomatik pipetler (10-100 µL, 100-1000 µL, 500-5000µL) (Eppendorf, Almanya), pH-metre (Thermo, Amerika Birleşik Devletleri), Rotary evaporator (Büchi, İsviçre), Ultra saf su cihazı (Sartorius, Arium Pro, Almanya), Vortex (LMS Co. LTD, Japonya).

2.2.2. LC-MS/MS cihazı kromatografik şartları

DL sıcaklığı: 250 °C, Isı blok sıcaklığı: 400 °C, Ara yüz sıcaklığı: 350 °C, kuru gaz (N₂) sıcaklığı: 15 L.dk⁻¹, nebulizator gaz (N₂) akışı: 3 L.dk⁻¹, Kromatografik ayırım, Inertsil ODS-4 model C₁₈ (100 mm×2.1 mm, 2µm) kolonda gerçekleştirilmiştir. Analiz aşamasında kolon fırının sıcaklığı 35°C'ye ayarlandı. Elüsyon gradiyentinde hareketli faz A şişesi için ultra saf su ve hareketli faz B şişesi için metanol kullanıldı. Kromatografik ayırımı ve iyonlaştırmayı kolaylaştırmak için su fazına 10 mM amonyum format (HCO₂NH₄) ve % 0.1 formik asit (CH₂O₂) eklendi. Örneklerin en uygun ayırımının gerçekleşmesi için uygulanan gradient programı 5-20% B (1-10 dk), 20% B (9-22 dk), 21-50% B (23-35 dk), 95% B (35-40), 5% B (42-50 dk) şeklinde ayarlandı. Hareketli faz akış hızı 0,25 mL.dk⁻¹ ve enjeksiyon hacmi 4 µL olarak belirlendi.

2.2.3. Toplam fenolik bileşik tayini

Ham bitki ekstraktının total fenolik bileşik tayini Folin-Ciocalteu reaktifi ile yapıldı. Bitki ekstraktı (0.5 mL, 1 mg. mL⁻¹) üzerine 10 kat seyreltilmiş Folin-Ciocalteu reaktifi (2.5mL) ve Na₂CO₃ (2mL, 75mg.L⁻¹) ilave edildi. Bu karışım vortekslenildikten sonra 50°C'de 5 dakika inkübe edildi. Numuneler oda sıcaklığına getirildikten sonra 760 nm'deki absorbansları spektrofotometrede kaydedildi. Standart olarak kullanılan gallik asitin farklı derişimleriyle elde edilen kalibrasyon eğrisi oluşturuldu. Sonuçlar mg. L⁻¹ gallik aside eşdeğer fenolik madde ± standart sapma olarak hesaplandı.

2.3. Kenger Örneklerinin Antioksidan Aktiviteleri ve Kimyasallar

ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonikasit, diamonyumtuзу), BHA, (Butillenmiş hidroksi anisol), BHT (Butillenmiş hidroksi tolüen), DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil), Etanol, FeCl₃, Gallik asit, Potasyum dihidrojen fosfat (KH₂PO₄), Potasyum ferrisiyanür [K₃Fe(CN)₆], Potasyum hidroksit (KOH), Potasyum persülfat (K₂S₂O₈), Sodyum karbonat (Na₂CO₃), Trolox kullanıldı. Kenger örneklerinin antioksidan aktiviteleri UV spektrofotometre cihazı ile ölçüldü.

2.3.1. ABTS^{•+} radikal giderme tayini

Serbest radikal (ABTS^{•+}) giderme aktivitesi Re'nin önerdiği metoda göre yapıldı [26]. Serbest radikal (ABTS^{•+}) giderme aktivitesi için 0,1 M pH'ı 7.4 olan PO₄³⁻ tamponu, 2mM'lık ABTS^{•+} ve 2.45 mM'lık K₂S₂O₈ çözeltisi hazırlandı. ABTS^{•+} ve K₂S₂O₈ çözeltileri (1:2) ABTS^{•+} - K₂S₂O₈ olacak şekilde karıştırıldı ve 6 saat boyunca karanlıkta inkübe edildi. Farklı derişimlerde (10-20-40 mL) örnek ve standart çözeltileri alındı ve üzerlerine 1 ml ABTS^{•+} - K₂S₂O₈ çözeltisi toplam hacim 4 ml olacak şekilde ilave edildi. Karışım şiddetli şekilde vortekslenerek 30 dakika inkübe edildi. Spektrofotometrik ölçüm oda şartlarında, 734 nm'de yapıldı. Ölçümler üç tekrarlı yapılarak ortalamaları alındı. Örneklerin ve standartın % katyon serbest radikal giderme aktivitesi aşağıdaki formüle göre hesaplandı [27].

$$\% \text{ Aktivite} = \frac{\text{Abs}_{\text{kontrol}} - \text{Abs}_{\text{numune}}}{\text{Abs}_{\text{kontrol}}} \times 100$$

$$\text{Abs}_{\text{kontrol}} = \text{PO}_4^{3-} \text{ tamponu} + \text{ABTS}^{\bullet+} - \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \text{ çözeltisinin absorbansı,}$$

$$\text{Abs}_{\text{numune}} = \frac{\text{PO}_4^{3-} \text{ tamponu} + \text{ABTS}^{+} - \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \text{ çözeltisi} + \text{ekstrakt}}{\text{standart absorbansı}}$$

$$\text{Abs}_{\text{Skör}} = \text{PO}_4^{3-} \text{ tamponu}, \text{Standart} = \text{Trolox}$$

Sonuçlar, derişime karşı % aktivite grafiđi çizildi. Eğim denkleminde yararlanılarak IC₅₀ hesaplandı.

2.3.2. DPPH' serbest radikal giderme tayini

Serbest radikal (DPPH') giderme aktivitesi Liyana-Pathirana'nın özetlediđi metoda göre yapıldı (Liyana-Pathirana ve Shaihidi,2005). DPPH' (2,2-difenil-1-pikril hidrazil) 0,135 mM'lik etanol çözeltisinin 1 mL'si üzerine farklı derişimlerde (40-80-160 mg. mL⁻¹) numune çözeltisi ilave edildi. Son hacim etanol ile 4 mL'ye tamamlandı. Karışım şiddetli şekilde vorteksenerek oda sıcaklığında ve karanlıkta inkübe edildi. Spektrofotometrik ölçüm oda şartlarında, 517 nm'de yapıldı. Numunelerin % serbest radikal giderme aktivitesi aşağıdaki formüle göre hesaplandı.

$$\% \text{SRG} = \frac{\text{Abs}_{\text{kontrol}} - \text{Abs}_{\text{numune}}}{\text{Abs}_{\text{kontrol}}} \times 100 \quad \text{ABS}_{\text{kontrol}} = \text{etanol} + \text{DPPH} \text{ çözeltisinin absorbansı,}$$

$$\text{Abs}_{\text{numune}} = \frac{\text{etanol} + \text{DPPH} + \text{ekstrakt}}{\text{standart absorbansı}} \quad \text{Sonuçlar, \% serbest radikal giderme} \pm \text{standart sapma}$$

2.3.3. İndirgeme gücü

İzole edilecek moleküllerin ve ham ekstraktın indirgeme gücü Oyaizu metoduna göre değerlendirildi [28]. Standart ve numunelerin etanol içindeki farklı derişimlerine (40, 80 ve 120 mg. mL⁻¹) fosfat tamponu (2.5 mL, 0.2 M, pH 6.6) ve potasyum ferrisiyanür [K₃Fe(CN)₆] (2.5 mL, % 1) ilave edildi. Bu karışım 50°C'de 20 dakika inkübe edildi. İnkübasyondan sonra, bu karışıma TCA (2.5 mL, % 10) ilave edildi ve sonra 10 dakika 3000 rpm'de santrifüjlendi. Karışımından 2.5 mL alınarak destile su (2.5 mL) ve FeCl₃ (0.5 mL, % 0.1) ilave edilerek son karışımın absorbansları 700 nm'de ölçüldü. Yüksek absorbans değeri yüksek indirgeme gücü olarak değerlendirildi.

2.4. İstatistiksel Analiz

Antioksidan aktivite sonuçlarından elde edilen veriler, 3 paralel ölçümün ortalaması ve standart sapması olarak verilmiştir. Sonuçlar t-testine göre % 95 güven sınırları içinde bulundu. Anlamlılık sınırı olarak p < 0.05 kabul edildi. Eğim ve kesişme korelasyon katsayısının değerlendirilmesi sonucunda en küçük kareler yöntemi kullanılarak doğrusal regresyon analizi yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kenger örneklerinin ağır metal derişimleri

Tablo 1. Yenilebilir kenger örneklerinin ağır metal derişimleri (mg. L⁻¹)

Kenger Örnekleri	Kenger Örnekleri Ağırmetal Derişimleri (mg.L ⁻¹)								
	As	Zn	Cd	Co	Pb	Cr	Mn	Ni	Se
1Y	0.23	1271.30	1.25	3.56	7.26	29.55	293.92	79.09	0.98
2Y	0.39	1262.54	1.55	3.81	5.84	29.01	319.33	90.88	0.57
3Y	0.39	1313.24	3.54	7.14	19.42	10.86	319.86	64.44	1.00
4Y	0.29	1342.88	2.92	33.37	16.48	23.68	351.69	59.41	1.04
5Y	0.31	1521.17	3.63	74.01	14.57	14.99	373.05	60.01	1.22
Ortalama	0.32±0.0	1342.23±105.	2.58±1.1	24.38±30.	12.71±5.	21.62±8.	331.57±30.	70.77±13.	0.96±0.2
±ss	69	169	15	405	908	389	943	771	39

Tablo 2. Dikenli kenger örneklerinin ağır metal derişimleri (mg. L⁻¹)

Kenger Örnekleri	Kenger Örnekleri Ağırmetal Derişimleri (mg.L ⁻¹)								
	As	Zn	Cd	Co	Pb	Cr	Mn	Ni	Se
1D	0.80	1258.60	1.51	25.05	18.24	20.82	658.40	85.93	1.31
2D	0.78	1222.58	4.74	10.26	10.39	22.01	579.65	71.91	1.66
3D	0.90	1232.65	5.96	14.51	16.82	44.01	578.88	72.83	1.26
4D	0.76	1308.47	1.09	77.62	4.80	21.36	628.56	90.70	1.42
5D	1.34	1350.68	17.72	53.98	33.85	27.58	780.83	67.99	1.38
Ortalama	0.92±0.2	1274.6±53.9	6.2±6.7	36.28±28.	16.82±10.	27.16±9.8	645.26±82.9	77.87±9.	1.41±0.1
±ss	43	84	64	72	93	04	79	85	55

Tablo 3. Topraklarda bulunabilecek ağır metallerin sınır değerleri(mg.kg⁻¹) [29].

Ağır Metaller	pH<6	pH>6
Arsenik(As)	0,1	1**
Çinko(Zn)	150**	300**
Kadmiyum(Cd)	1**	3**
Kobalt(Co)	10-	15
Krom(Cr)	100**	100**
Kurşun(Pb)	50**	300**
Mangan(Mn)	21,4**	300
Nikel((Ni)	30**	75**
Selenyum(Se)	100**	400**

*: pH değeri 7'den büyük ise bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

** : Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır.

3.1.1. Kenger örneklerinin ağır metal tayin sonuçları

Ağır metaller insan, çevre ve canlılar üzerinde çok fazla etkileri olan metallerdir [30]. Bu elementler genellikle topraktan, bitkiye ve meyvelere vesilsile halinde canlı ve insana kadar uzanmaktadır. Bitki ve meyvelerde bulunan ağır metaller hem besleyici hem de toksik özellik taşımaktadırlar [22]. Kenger bitkisinde bulunan hem besleyici hem de toksik etkileri olduğu bilinen dokuz ağır metalin kantitatif tayinleri yapılarak elde edilen derişimleri Tablo 1'de ortalama ve standart sapmaları ile birlikte verilmiştir. Ayrıca ekolojik açıdan önemli ağır metaller ve bunların toprakta kabul edilebilen sınır değerleri ile birlikte pH değerine bağlı olarak değişkenlik gösteren değerleri de (Tablo 2)'de ayrıntılı biçimde verilmiştir. Bu çalışma sonucunda kenger bitkisinin ağırmetal derişimlerini değerlendirdiğimizde, özellikle çinko (Zn) metalinin derişiminin diğer metallere oranla çok yüksek ve sınır değerinin çok üzerinde olduğu dikkat çekmektedir. Çinko besleyici bir element olmasına rağmen derişiminin bu derece yüksek olması kabul edilebilir bir durum değildir. Bunun yanı sıra Mangan (Mn) elementinin derişiminin birçok örnekte kabul edilebilen sınır değerinin üzerinde seyrettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kadmiyum, kobalt ve nikel gibi elementlerin bazı derişimleri benzer biçimde sınır değerlerini aştığı gözlemlenmiştir [29]. Burada dikkat çeken en önemli nokta ise toksik etkiye sahip Krom (Cr) metalinin derişiminin kabul edilen sınır değerinin oldukça altında olmasıdır. Bir diğer toksik etki gösteren Arsenik (As) metalinin de kabul edilebilen sınır değere yakın olması sevindirici ve nispeten kabul edilebilir bir durumdur. bir diğer toksik element olan kurşunun ise kabul edilebilir seviyede olması hatta örneklerin karayolları kenarından alınmış olmasına rağmen, derişimlerinin düşük seviyelerde olması toprağın Kurşun (Pb) açısından temiz olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçları toprak için değerlendirdiğimizde; kenger bitkisi açısından daha pozitif bir düşünceye sahip olabiliriz zira ağır metaller topraktan bitkiye geçerken derişiminde yaklaşık olarak yarı yarıya bir azalma beklenmektedir [22]. Bu çalışma neticesinde, iki önemli husus dikkat çekerek ön plana çıkmıştır. Birincisi besleyici özelliğe sahip olan Çinko (Zn) metalinin derişiminin çok yüksek olmasının yanı sıra bir diğer besleyici özelliği olan Selenyumun (Se) derişiminin çok düşük sevide olması, ikincisi ise toksik özellikleri olan, Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd) ve Arsenik (As) elementlerin derişimlerinin düşük seviyelerde olması kenger bitkisinin hem dikenli hem de yenilebilir kısmının toksik seviyelerin çok altında olması, bitkinin tüketilmesinin insan sağlığı açısından hiç bir olumsuz etkisinin bulunmadığını göstergesidir.

3.2. Kenger örneklerindeki fenolik bileşik derişimleri

Tablo 4. Yenilebilir kenger örneklerindeki fenolik bileşiklerin derişimleri (mg. L⁻¹)

Fenolik Bileşikler	Kenger örneklerindeki fenolik bileşiklerin derişimleri					
	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	Ortalama±ss
Kuinik Asit	6.372	4.572	8.876	9.321	7.382	7.3±1.929
Galik Asit	0.846	0.284	0.858	0.621	0.321	0.59±0.276
Protokateşuik	0.037	0.089	0.032	0.051	0.014	0.04±0.028
Klorojenik Asit	0.091	0.315	0.234	0.165	0.321	0.23±0.099
Salisilik Asit	0.041	0.017	0.033	0.021	0.03	0.03±0.01
p-Kumarik Asit	-	-	-	-	-	-
Hesperidin	-	0.013	0.011	-	-	0.01±0.001
Naringenin	-	0.028	0.026	-	-	0.03±0.001
Kaempferol	-	0.048	0.065	-	-	0.06±0.012

Tablo 5. Dikenli kenger örneklerindeki fenolik bileşiklerin derişimleri (mg. L⁻¹)

Fenolik Bileşikler	Kenger örneklerindeki fenolik bileşiklerin derişimleri					
	1D	2D	3D	4D	5D	Ortalama±ss
Kuinik Asit	19.39	16.107	23.02	21.28	18.13	19.59±2.689
Galik Asit	2.182	1.646	1.493	1.325	2.11	1.75±0.379
Protokateşuik	0.034	0.027	0.024	0.029	0.039	0.03±0.006
Klorojenik Asit	0.214	0.186	0.144	0.223	0.254	0.2±0.041
Salisilik Asit	0.662	0.222	0.03	0.224	0.018	0.23±0.261
p-Kumarik Asit	1.075	0.895	-	0.025	-	0.67±0.562
Hesperidin	0.056	0.03	0.009	-	-	0.03±0.024
Naringenin	0.012	0.025	0.062	-	-	0.03±0.026
Kaempferol	0.101	0.102	0.047	-	-	0.08±0.031

3.2.1. Kenger ekstralarının fenolik bileşiklerinin tayin sonuçları

Fenolik bileşiklerdeki hidroksillerin sayısı artıka, buna paralel olarak anti oksidatif etkisi de artmaktadır. 5 farklı kenger bitkisinden alınan dikenli ve yenilebilir örneklerinin fenolik asit bileşiklerinin analizleri sonucunda, toplam otuz sekiz fenolik bileşiğin analizi yapılmış olup bunlardan yirmi sekiz tanesinin fenolik asit açısından hiçbir etki göstermediği, sadece on tanesinin etki gösterdiği, hatta bazılarının da kısmen etki gösterdiği tespit edilmiştir. (Tablo 3) Özellikle kuinik asit (4.572 mg.L⁻¹ -21.28 mg.L⁻¹) ve gallik asit (0,284 mg.L⁻¹ - 2.182 mg.L⁻¹) açısından yaklaştığımızda yüksek, derişimleri dikkat, çekmektedir (Tablo 3). Ayrıca burada dikkat çeken bir diğere önemli nokta ise hem kuinik asit hemde gallik asit fenolik bileşiklerinin derişimlerini kıyasladığımızda her ikisinde de kenger bitkisinin dikenli kısımlarının derişimleri yenilebilir kısımların derişiminden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kenger, bitkisinin fenolik bileşiklerinin analizleri ile ilgili literatürde çalışmaya rastlayamadığımız için kıyaslama yapamıyoruz. Bu çalışmamızda ise tespit edilen fenolik bileşiklerin değerlerinin birbirine yakın olduğu fenolik bileşik açısından genel olarak çok az etki gösterdiği, ve de fenolik bileşik analizlerinde Rutin, Hesperidin, Isoquercitrin içeriklerinin tespit edilebilir düzeyde olmadığı gözlemlenmiştir. Bu alanda yapılan bilimsel çalışmalarda kenger bitkilerinin fenolik bileşik içeriklerinin özellikle de Kuinik asit ve Fumarik asit bileşikleri açısından zengin bir besin ve protein kaynağı olduğu için fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanılabilceğini ve bu alanda geniş kapsamlı çalışmaların yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

3.3. Kenger örneklerinin antioksidan aktivite sonuçları

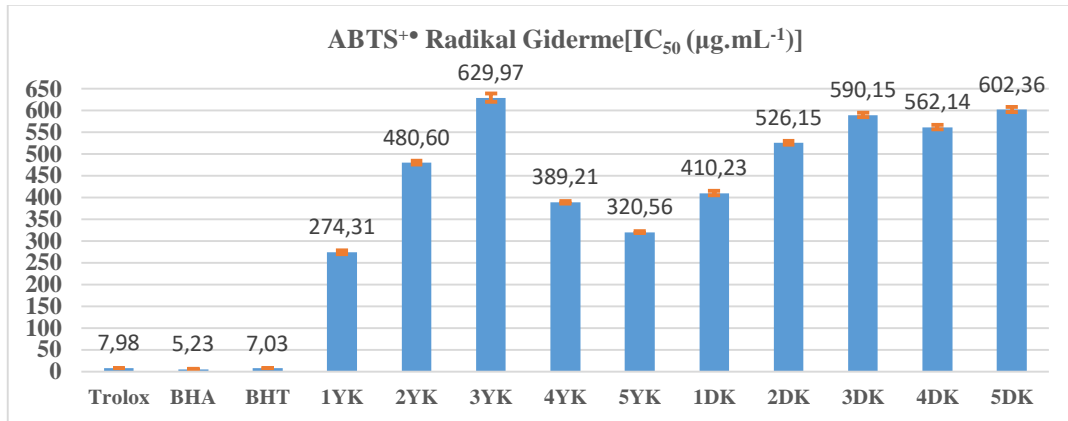
Kenger örneklerindeki antioksidan aktiviteleri üç farklı yöntem olan; ABTS⁺ Radikal Giderme, DPPH Serbest Radikal Giderme ve İndirgeme Gücü şeklinde analiz edilerek elde edilen değerler ortalama ± standart sapma olarak Tablo 6'da ayrıntılı biçimde verilmiştir. Bu üç farklı yöntemi ayrı ayrı değerlendirilerek sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmıştır.

Tablo 6. Kenger örnekleri ve standartların antioksidan aktivite değerleri

Kenger Örnekleri ve Standartlar	ABTS ⁺ Radikal Giderme[IC ₅₀ (µg.mL ⁻¹)]	DPPH [•] Radikal Giderme [IC ₅₀ (µg.mL ⁻¹)]	İndirgeme Gücü (µmol TE.mL ⁻¹ ekstre)
Trolox	7.98 ± 0.22	4.83 ± 0.13	4.83 ± 0.13
BHA	5.23 ± 0.10	4.18 ± 0.09	6.51 ± 0.04
BHT	7.03 ± 0.19	11.13 ± 0.11	5.24 ± 0.08
1Y	274.31 ± 4.02	33.92 ± 0.21	0.27 ± 0.005
2Y	480.60 ± 4.46	33.41 ± 0.52	0.18 ± 0.003
3Y	629.97 ± 9.37	29.18 ± 0.36	0.12 ± 0.001
4Y	389.21 ± 2.36	29.89 ± 0.22	0.20 ± 0.002
5Y	320.56 ± 2.14	40.27 ± 0.34	0.24 ± 0.003
1D	410.23 ± 4.97	39.47 ± 0.38	0.16 ± 0.002
2D	526.15 ± 4.47	33.87 ± 0.41	0.22 ± 0.003
3D	590.15 ± 5.36	34.25 ± 0.26	0.27 ± 0.001
4D	562.14 ± 4.96	39.36 ± 0.19	0.21 ± 0.001
5D	602.36 ± 6.08	32.14 ± 0.33	0.18 ± 0.002

3.3.1. ABTS⁺ radikal giderme sonuçları

ABTS radikal giderme yönteminde ilk olarak mavi/yeşil renkte ABTS⁺ radikal katyonu oluşturulur. Antioksidan bileşiğin ilavesi ile bileşikten ABTS⁺ radikal katyonuna doğru elektron geçişi sağlanarak renk açılımı gerçekleşir. Antioksidan maddenin gücü nispetinde renk açılımı giderek artar. UV spektrofotometresi ile 734 nm’de yapılan ölçümler neticesinde elde edilen veriler Şekil 1’de grafik halinde gösterilmiştir. Burada absorbans değerleri ile antioksidan kuvveti arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Bu bilgiler ışığında (Şekil 1), grafiğini şöylece yorumlayabiliriz. ABTS⁺ radikal giderme sonuçlarına baktığımızda örneklerin metanol ekstraktlarının standartlara kıyasla etkili bir ABTS⁺ radikal katyon giderme aktivitesi göstermediği gözlemlenmiştir. Ekstraktların genel olarak yüksek dercede aktivite gösterdiği grafik üzerinde açık biçimde görülmektedir (Şekil 1). Özellikle kenger bitkisinin yenilebilir kısımları dikenli kısımlarına göre daha fazla aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca dikenli kısımların radikal katyon giderme aktivitesi yenilebilir kısma nazaran daha istikrarlı(stabil) olduğu standart sapmasının daha az olduğu gözlemlenmiştir. Antioksidan etkileri çalışılan 10 tane kenger örneğini kendi aralarında karşılaştırdığımızda ABTS⁺ radikal giderme aktivitesi en yüksek olan bileşik 1YK ve 5YK, en düşük olan ise 3YK örneğidir. Standartlar ile örnekleri karşılaştırdığımızda ABTS⁺ radikal giderme aktivite sıralaması BHA > BHT > Trolox > 1Y > 5Y > 3Y > 4Y > 1D > 2Y > 4D > 2D > 3D > 5D > 3Y şeklinde olduğu anlaşılmıştır.

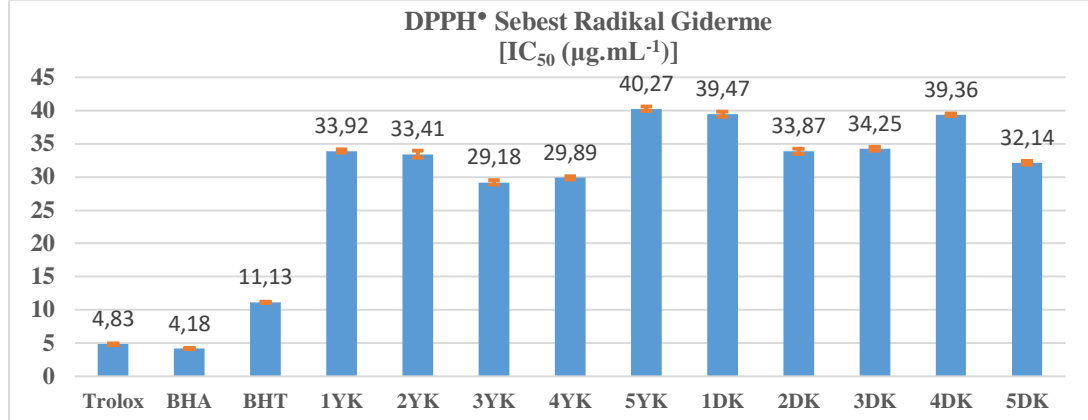


Şekil 1. Trolox, BHT, BHA standartları ile kenger örneklerinin ABTS radikal giderme aktiviteleri

3.3.2. DPPH[•] serbest radikal giderme sonuçları

Metanol ekstraktlarının standartlarla kıyaslandığında, daha düşük seviyede DPPH radikal giderme aktivitesi göstermiştir. Kenger örneklerin DPPH radikal giderme aktivitesi bakımından oldukça uyumlu ve dengeli bir aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Burada da dikenli kısımların, yenilebilir kısımlara nispeten biraz daha fazla aktivite gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 2). DPPH[•] serbest radikal

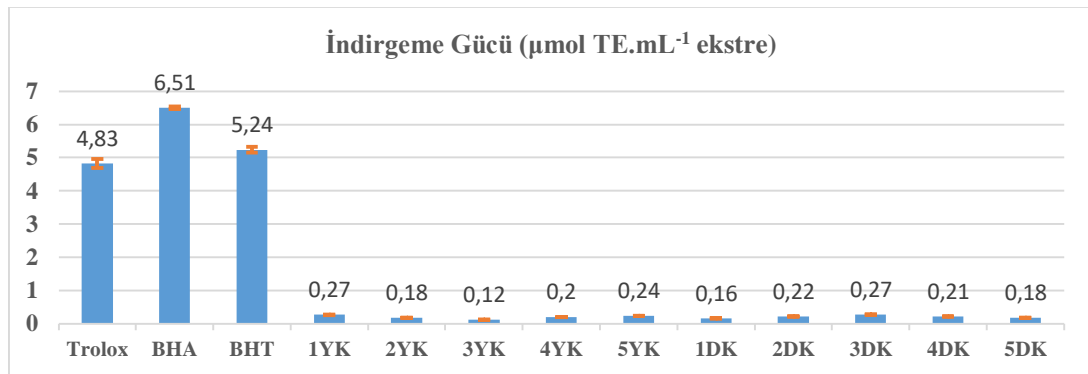
varlığı ortamın rengini koyu menekşeye çevirir. Antioksidan ilave edildiğinde ise antioksidan'dan DPPH• serbest radikaline doğru elektron geçişi olur. Antioksidanın gücü nispetinde elektron geçişi ile koyu menekşe olan renk de kaybolmaya başlar. 517 nm'de UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümler neticesinde, okunan absorbans değeri ile antioksidan gücü arasında ters orantılı bir değişim gözlemlenmiştir [31]. Elde edilen bu bilgiler ışığında 10 tane kenger örneğinin serbest radikal giderme aktiviteleri arasında aşağıdaki gibi bir ilişki ve sıralama elde edilmiştir. Standartlar ile kıyaslandığında antioksidan aktivite gücü BHA > Trolox > BHT > 1Y>5Y>4Y>1D>4D>4Y> 2D> 3D > 5D> 3Y şeklinde olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 2. Trolox, BHT, BHA standartları ile kenger örneklerinin DPPH serbest radikal giderme aktiviteleri

3.3.3. İndirgeme gücü sonuçları

Kenger örneklerinin metanol ekstraktlarının indirgeme gücü aktivitelerinin standartlara göre oldukça düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kenger örneklerinin dikenli kısımlarının indirgeme gücü aktiviteleri yenilebilir kısımların indirgeme gücü aktivitelerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3). İndirgenme gücü yönteminde $K_3[Fe(CN)_6]$ ile antioksidan bir sistem içinde karıştırıldığında Fe^{3+} iyonu Fe^{2+} iyonuna indirgenir ve $Fe(CN)_6^{4-}$ iyonu oluşur. $FeCl_3$ ilavesi ile renkli $Fe_4[Fe(CN)_6]$ kompleksi oluşur. Dolayısıyla antioksidanın gücü arttıkça renkli kompleksin derişimi de artar. UV spektrofotometresi ile 700 nm dalga boyunda yapılan ölçümler neticesinde kullanılan antioksidanın gücü ile ölçülen absorbans değeri arasında doğru orantılı bir artış gözlenmektedir. Elde edilen bu bilgiler ışığında Şekil 3'de yer alan standartlar ile 10 tane kenger örneğinin indirgenme gücü arasındaki ilişkinin BHA > BHT > Trolox > 3D>1Y>3Y>5Y>2D>4D>4Y> 5D > 1D >3Y şeklinde olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3. Trolox, BHT, BHA standartları ile örneklerin indirgenme gücü aktiviteleri

4. Sonuç ve Öneriler

Dünyanın ve ülkemizin belirli bölgelerinde yaygın bir şekilde yetişen kenger bitkisi birçok kullanım ve tüketim alanına sahip olmakla birlikte, yetiştiği bölgelere göre de farklı tüketim biçimine haiz, otsu, dikenli ve tıbbi bir bitkidir. Besin, sağlık ve de şifa bulma niyetiyle bazı bölgelerde fazla miktarlarda

tüketilip ya da kullanılmasının faydalarının yanısıra bazı endişeleri de beraberinde getirmiştir. Günümüzde teknolojinin ve sanayinin hızlı biçimde gelişmesiyle, çevremiz gereğinden fazla kirlenmiş olup bu kirlilik önce toprak sonrasında bitki ve dolayısıyla da canlı ve insan hayatını önemli ölçüde tehdit ettiği bilinmektedir. Özellikle insanların tarımsal faaliyetlerinde gereğinden fazla kimyasal gübre, haşerelere karşı mücadele etmek için ise tarım ilaçlarının bilinçsizce kullanılması, toprağı ciddi biçimde kirlenmektedir. Bunun önüne geçmek, bitki ve meyve içeriğindeki besin elementlerinin ağır metal, fenolik asit ve antioksidan derişimler' ini koruyarak, verimlilik ve üretim kalitesinin artırılması hedeflenmiştir. Tüm bitki, meyve ve sebze türlerinde besin ve toksik elementlerinin yanı sıra fenolik bileşik ve antioksidan aktivitesi son yıllarda oldukça dikkat çekmiş ve bu alanda birçok makale yayınlanmıştır. İnsanların sağlıklarını korumak ve sürdürülebilmek adına organik besinlerin tüketmesi çok büyük önem arz etmektedir. Bilhassa ülkemizde üretimi ve tüketimi yaygın olan kenger bitkisinin insan sağlığı açısından önemli olan yüksek besleyici elementlere, fenolik bileşik içeriğine, yüksek antioksidan aktivitesine sahip olduğu tespit edildiğinden bu ve benzer özelliklere sahip bitki ve meyvelerin tüketilmesine ihtiyaç duyulduğu, ancak ölçülü ve kontrollü olarak tüketilmesi nin gerekli olduğu kanaatine varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın laboratuvar kısmındaki katkılarından dolayı Hakan KIZILKAYA'ya Teşekkürlerimi sunuyorum.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı şahsıma aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Çoruh N., Sağdıçoğlu Celep A.G., Özgökçe F., İşcan M. 2007. Antioxidant Capacities of *GundeliaTournefortii* L. Extracts and Inhibition on Glutathione-S-Transferase Activity. *Food Chemistry*, 100: 1249–1253.
- [2] Demir A. 2013. Sürdürülebilir Gelişmede Yükselen Değer; Biyolojik Çeşitlilik Açısından Türkiye Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (24): 67-74.
- [3] Asadi-Samani M.M, Rafieian-Kopaei ant N, Azimi. 2013. *Gundelia*: A Systematic Review of Medicinal and Molecular Perspective. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16 (21): 1238-1247.
- [4] Günel N. 2001. Türkiye'de Yöresel Olarak Sakız Elde Edilen Bitkiler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 36: 17-30
- [5] Akan H., Korkut M.M., Balos M.M. 2008. Arat Dağı ve Çevresinde (Birecik, Şanlıurfa) Etnobotanik Bir Araştırma. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20 (1): 67-81.
- [6] Polat B. 2012. Kayseri ve Çevresinde Yetişen Bazı Yabani Meyvelerin Biyoaktif Özelliklerinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (Basılmış).
- [7] Cakmakci S., Dagdemir E. 2013. A preliminary study on functionality of *Gundelia tournefortii* L. as a new stabiliser in ice cream production. *International Journal of Dairy Technology*, 66 (3): 431–436.
- [8] Haghi G., Hatami A., Arshi R. 2011. Distribution of Caffeic Acid Derivatives in *Gundelia tournefortii* L. *Food Chemistry*, 124: 1029–1035.

- [9] Tabibian M., Nasri S., Kerishchi P., Amin G. 2013. The Effect of *Gundelia tournefortii* Hydro-Alcoholic Extracts on Sperm Motility and Testosterone Serum Concentration in Mice. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, 15 (8): 18-21.
- [10] Konak M., Ateş M., Şahan Y. 2017. Yenilebilir Yabancı Bitki *Gundelia tournefortii*'nin Antioksidan Özelliklerinin Belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31 (2): 101-108.
- [11] Hajizadeh-Sharafabada F., Alizadeh M., Mohammadzadeh M.H.S., Alizadeh-Saltehd S., Kheirouri S. 2016. Effect of *Gundelia tournefortii* L. Extracts on Lipid Profile and TAC in Patients with Coronary Artery Disease: A double-Blind Randomized Placebo-Controlled Clinical Trial. *Journal of Herbal Medicine*, 6: 59– 66.
- [12] Vermeer W., Nicholson R. 2006. *Phenolic compound Biochemistry*. Springer, 12: 1-276.
- [13] Nizamlioğlu N.M., Nas S. 2010. Meyve ve Sebzelelerde Bulunan Fenolik Bileşikler; Yapıları ve Önemleri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5 (1): 20-35.
- [14] Dykes L., Rooney L.W. 2007. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. *Cereal Foods World*, 52: 105-111.
- [15] Polat R., Çakılcıoğlu U., Ertuğ F., Satıl F. 2012. An Evaluation of Ethnobotanical Studies in Eastern Anatolia. *Biological Diversity and Conservation*, 5 (2):23-40.
- [16] Manach C., Scalbert A., Morand C., Remesy C., Jimenez L. 2004. Polyphenols: Food Sources and Bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79: 727-747.
- [17] McDougall G.J., Dobson P., Smith P., Blake A., Stewart D. 2005. Assessing Potential Bioavailability of Raspberry Anthocyanins Using an in Vitro Digestion System. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 5896-5904.
- [18] Etcheverry P., Grusak M.A., Fleige L.E. 2012. Application of in-vitro Bioaccessibility and Bioavailability Methods for Calcium, Carotenoids, Folate, Iron, Magnesium, Polyphenols, Zinc, and Vitamins B6, B12, D, and E. *Frontiers in Physiology*, 3 (317): 1-22.
- [19] Bouayed J., Deußer H., Hoffmann L., Bohn T., 2012. Bioaccessible and Dialysable Polyphenols in Selected Apple Varieties Following In Vitro Digestion vs. Their Native Patterns. *Food Chemistry*, 131: 1466–1472.
- [20] Oghbaei M., Prakash J. 2013. Effects of Processing and Digestive Enzymes on Retention, Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Bioactive Components in Food Mixes Based on Legumes and Green Leaves. *Food Bioscience*, 4: 21-30.
- [21] Helal A., Tagliazucchia D., Verzellonia E., Conte A. 2014. Bioaccessibility of Polyphenols and Cinnamaldehyde in Cinnamon Beverages Subjected to In Vitro Gastro-Pancreatic Digestion. *Journal of Functional Foods*, 7: 506-516.
- [22] Kılıçel F., Dağ B. 2006. The Relationship Between Some Heavy Metal Concentrations In Soils Leaves And Fruits Of Starring Delicious (*Malus communis* Lam.) In Van, Turkey. *Reviews in Analytical Chemistry*, 25 (4): 271-283.
- [23] Türkdoğan M.K., Kilicel F., Kara K., Tuncer İ., Uygan İ. 2002. Heavy metals in soil, vegetables, and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13: 175-179.
- [24] Bouhlali E.D.T., Alem C., Ennassir J., Benlyas M., Mbark A.N., Zegzouti Y.F. 2017. Phytochemical Compositions and Antioxidant Capacity of Three Date (*Phoenix dactylifera* L.) Seeds Varieties Grown in the southeast Morocco, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16: 350– 357.
- [25] Yılmaz M.A. 2015. Bazı Achillea L. Türlerinin LC-MS-It/Tof ve LC-MS/MS İle Metabolik Profillerinin Çıkarılması ve Biyolojik Aktivitelerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [26] Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. 1999, Antioxidant Activity Applying an improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26: 1231–1237.
- [27] Kızılkaya H., Dağ B., Aral T., Genç N., Erenler R. 2020. Synthesis, characterization, and antioxidant activity of heterocyclic Schiff bases. *Journal of Chinese Chemical Society*, 67: 1696-1701.
- [28] Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Jpn J Nutr*, 103: 413-419.
- [29] Anonim 2014. 2003.Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Resmi Gazete, Ankara, 2872: 1-137.

- [30] Dağ B., Kılıçel F. 2011. Determination of Cu Contamination in Some Spring and Mineral Waters Around Van by AAS after Enrichment of Activated Carbon. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 5: 656-658
- [31] Dağ B., Tarakçı Z., Demirkol M. 2016. Effect of Some total phenolic, antioxidants, physico-chemical properties, mineral and heavy metal content of apricots drying types. *Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6 (2) 238-249.
- [32] Kızılkaya H. 2019. 4-Aminoantipirin Türevi Heterohalkalı Schiff Bazlarının Sentezi, Karakterizasyonu ve Antioksidan Aktiviteleri. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

Araştırma Makalesi / Research Article

Üç-Boyutlu Esnek Olmayan $C(^1D)+H_2$ Saçılmasında Geçiş Olasılıkları ve Tesir Kesitlerinin Hesaplanması

Mehtap DEMİR^{1*}, Fahrettin GÖKTAŞ²

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Adıyaman

²Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elâzığ
(ORCID: 0000-0001-6568-6080) (ORCID: 0000-0003-2230-7575)

Öz

Bu çalışmada, zamana bağlı Schrödinger denkleminin çözümüne dayanan kuantum dalga paketi metodu, üç boyutta $C(^1D) + H_2(v, j) \rightarrow C(^1D) + H_2(v', j')$ inelastik saçılma problemine uygulandı. Schrödinger denklemi Kosloff tarafından geliştirilen Chebychev açılımı metodu ile çözüldü. Hamiltonyen operatörünün dalga fonksiyonu üzerindeki etkisi, Fourier Dönüşümü ve Kesikli Değişken Gösterimi teknikleri ile yapıldı. Dalga paketi Fourier Grid Metodu ile analiz edilerek bireysel kuantum seviyeleri arasındaki geçiş olasılıkları hesaplandı. J-kaydırma tekniği kullanılarak J>0 durumları için diferansiyel tesir kesitleri hesaplandı. Bütün J kuantum durumları üzerinden diferansiyel tesir kesitleri toplanarak toplam tesir kesitleri elde edildi ve toplam tesir kesitlerinin Boltzmann dağılımına göre ortalaması alınarak saçılma hız sabitleri elde edildi. Termal hız sabiti, herhangi bir sıcaklık değerinde, bir kimyasal reaksiyonun oluşum hızıdır. Bu nedenle, özellikle serbest radikalleri içeren reaksiyonlar için deneysel olarak saptanması zordur.

Anahtar kelimeler: Esnek olmayan Saçılma, Hamiltonyen Operatörü, Tesir Kesitleri, Hidrojen.

The Calculation of Transition Probabilities and Cross Sections in Three-Dimensional Inelastic $C(^1D) + H_2$ Scattering

Abstract

In this study, quantum wave packet method based on the solution of the time-dependent Schrödinger equation was applied to three dimensional $C(^1D) + H_2(v, j) \rightarrow C(^1D) + H_2(v', j')$ inelastic scattering. The Schrödinger equation has been solved in terms of complex Chebychev polynomials as proposed by Kosloff. The operation of the Hamiltonian operator on the wave function has been performed by Fourier Transformation and Discrete Variable Representation techniques. The Fourier Grid analysis method has been used to analyze the final wave function and extract the transition probabilities from it. The partial cross sections for J>0 have been estimated by J-Shifting method. The integral cross sections have been calculated by summing the partial cross sections over all J states and the thermal rate constants were calculated by Boltzmann averaging of the integral cross sections over all energies. The thermal rate constant is the rate at which a chemical reaction occurs at any temperature. Therefore, it is difficult to detect experimentally, especially for reactions involving free radicals.

Keywords: Inelastic Scattering, Hamiltonian Operation, Cross Sections, Hydrogen.

1. Giriş

Reaksiyon kinetiğinin en önemli amaçlarından biri kimyasal reaksiyonlar (esnek saçılma, esnek olmayan saçılma, reaktif saçılma ve foto ayrışma) için reaksiyon olasılıkları, tesir kesitleri ve reaksiyon hız sabitlerini hesaplamak, reaksiyonun geçiş durumu için bilgi edinmek, bunlarla ilgili teori ve algoritmalar geliştirmek ve oldukça pahalı olan deneysel çalışmalara alternatif bilgi kaynağı geliştirmektir [1].

*Sorumlu yazar: mehtapdemir@adiyaman.edu.tr
Geliş Tarihi: 27.04.2021, Kabul Tarihi: 01.09.2021

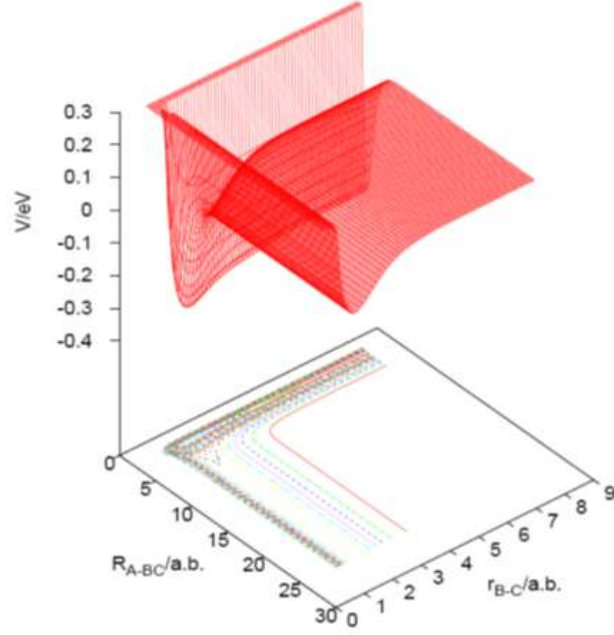
Bir kimyasal reaksiyonda gelen atomun enerjisi hedef molekülün kimyasal bağını koparacak kadar büyük değilse esnek veya esnek olmayan saçılma meydana gelir. Gelen atomun enerjisinin hedef molekülün enerjisini koparacak kadar büyük olması halinde reaktif saçılma veya foto-ayırışma oluşur. Reaktif saçılmada bağın bozulması ile gelen atom, moleküldeki atomlardan biri ile yeni bir bağ oluşturur. Foto-ayırışma olayında ise bağın kopmasıyla molekül parçalanır [2]. Atom-molekül veya molekül-molekül etkileşmelerini incelemek için geliştirilen metotlardan biri olan klasik metotta, kimyasal reaksiyonların, bütün atom ve moleküllerin hareketleri (öteleme, titreşim ve dönme) klasik mekaniğin kanunlarına göre incelenir. Çeşitli başlangıç şartları için Newton'un hareket denklemleri çözülür. Böylece bütün başlangıç durumları üzerinde ortalama alınarak bazı fiziksel büyüklükler (toplam tesir kesitleri ve reaksiyon hız sabitleri) elde edilir [3]. $C(^1D) + H_2$ esnek olmayan saçılması şimdiye kadar birçok çalışmanın konusu olmuştur. Banares ve diğerleri [4] hem analitik bir potansiyel enerji yüzeyi üzerinde yarı-klasik yörünge hesaplamalarını hem de Bussery-Honvault ve diğerlerinin [5] ab initio potansiyel enerji yüzeyi üzerinde zamandan bağımsız kuantum mekaniksel ve yarı-klasik yörünge hesaplamalarını gerçekleştirmişlerdir. Lin ve Guo [6], $J=0$ kuantum durumu için, esnek olmayan saçılma ve reaktif saçılma olayları için kuantum dalga paketi hesaplamalarını geliştirmişlerdir. Söz konusu reaksiyon istatistik metot kullanılarak Manolopoulos ve diğerleri tarafından incelenmiştir [7]. Ancak ilgili çalışmalarda, bireysel kuantum seviyeleri arasındaki geçiş ihtimaliyetleri ve esnek olmayan saçılma için tesir kesitleri ve reaksiyon termal hız sabitleri hesaplanmamıştır.

Bu çalışmanın amacı, kuantum dalga paketi metodunu kullanarak $C(^1D) + H_2$ esnek olmayan saçılmasını, toplam açısal momentum kuantum sayısının (J) sıfır değeri için incelemektir. $J>0$ durumu için J -Kaydırma(J -Shifting) yaklaşımı [8] kullanılarak geçiş ihtimaliyetlerini, tesir kesitlerini ve reaksiyon termal hız sabitlerini hesaplamaktır.

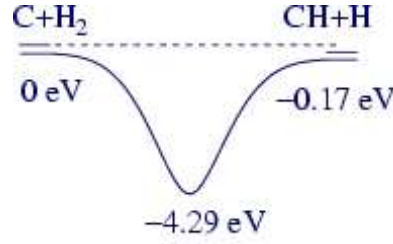
2. Materyal ve Metot

2.1. $C(^1D)+H_2$ Esnek Olmayan Saçılması

Atomik karbon ve hidrojen molekülü arasındaki reaksiyonlar ($C(^1D) + H_2$, $C(^1D) + HD$ ve $C(^1D) + D_2$) astrokimyada oldukça önemli bir rol oynar [9]. CH_2 molekülü kendine has spektroskopik ve kimyasal özellikleri ile organik kimyada prototip molekül olarak kabul edilir. Karbon atomunun elektronik karakterine bağlı olarak, $C + H_2$ reaksiyonu değişik elektronik enerji durumları üzerinden gerçekleşir. Ancak singlet D durumu ile triplet P durumu en çok çalışılan elektronik durumdur. Reaksiyon, çok derin bir potansiyel kuyusu boyunca ilerler. Reaksiyon yolu üzerinde bariyersiz derin bir potansiyel kuyusunun olması C atomu ile H_2 molekülünün çok uzun-ömürlü, yarı kararlı ve reaktif CH_2 kompleksinin oluşmasına yol açar [8]. Sistemin en düşük singlet kuantum durumu için ab initio potansiyel enerji yüzeyi Launay ve diğerleri tarafından yayınlanmıştır [5]. Bu potansiyel enerji yüzeyi Şekil 1'de gösterildiği gibi 4,3 eV'luk derin bir potansiyel kuyusuna ve kolineer geometride, ayırışma kanalında 0,54 eV'luk bir bariyere sahiptir. Şekil 2'de görüldüğü gibi sıfır nokta enerjileri hesaba katılmadığında reaksiyon 0.17 eV'luk enerjiye sahip ekzotermik bir reaksiyondur.



Şekil 1. Potansiyel enerji yüzeyinin üç boyutlu ve kontur çizimi

Şekil 2. $C(^1D) + H_2$ reaksiyonu için minimum enerji yolu

2.2. Kuantum Mekaniksel Reaksiyon Dinamiği

Kuantum mekaniğinde temel hareket denklemi Schrödinger denklemidir. Schrödinger denklemi iki bilinmeyenli bir denklemdir. Bu denklem çözülerek hem ilgili sistemi temsil eden dalga fonksiyonu (özfonksiyon) hem de sistemin sahip olabileceği enerji değerleri (özdeğer) hesaplanır. Bir sistemi temsil eden dalga fonksiyonu hesaplandıktan sonra, o sistem ile ilgili hız, konum, enerji gibi bütün dinamiksel değişkenlerin ölçülebilir değerleri dalga fonksiyonundan elde edilirler. Zamandan bağımsız Schrödinger denklemi, R , r ve θ bir $A+BC$ reaksiyonunu temsil eden Jacobi koordinatlar olmak üzere, en basit şekilde

$$\hat{H}(R, r, \theta)\Psi(R, r, \theta) = E\Psi(R, r, \theta) \quad (1)$$

olarak ifade edilebilir. Denklemin çözümü için iki genel metot vardır: Bunlardan ilki ve en eski olanı zamandan bağımsız Schrödinger denkleminin tekrarlanan integrasyonuna dayanır. İkincisi ve son yıllarda en çok kullanılan metot ise Kapalı Kuplaj Metodudur.

Bir A atomu ile BC molekülü arasındaki etkileşme problemini açıklayabilmek için üç boyutta zamana bağlı Schrödinger denklemi en genel hali ile

$$\hat{H}\psi(R, r, \theta, t) = i\hbar \frac{\partial \psi(R, r, \theta, t)}{\partial t} \quad (2)$$

olarak verilir. Burada, R , r ve θ Jacobi koordinatlarıdır. Üç boyutta Hamiltonyen operatörü kinetik ve potansiyel enerji operatörlerinin toplamı olarak

$$\hat{H} = T_R + T_r + T_\theta + V(R, r, \theta) \quad (3)$$

yazılabilir. Burada T_R ve T_r radyal kinetik enerji, T_θ açısall kinetik enerji ve $V(R, r, \theta)$ potansiyel enerji operatörüdür. Herhangi bir $t+\Delta t$ anındaki dalga fonksiyonu, (2) denkleminin integre edilmesi ile

$$\psi(R, r, \theta, t + \Delta t) = e^{(-i\hat{H}\Delta t/\hbar)}\psi(R, r, \theta, t) \quad (4)$$

olarak hesaplanır.

Dalga fonksiyonunun zamana bağlı yayılımında iki önemli problemle karşılaşılır. Bunlardan birincisi, 10^{-15} saniye gibi çok küçük zaman adımlarını kullanarak çok geniş zaman aralıklarına kadar yayılımın tekrarlanması ihtiyacı, ikincisi ise dalga fonksiyonu üzerinde Hamiltonyen operatörünün tekrarlanan etkisinin hesaplanması gereğidir. Günümüz koşullarında gelişmiş bilgisayarların kullanıma girmesi ile bu problemlerin çözümü büyük ölçüde mümkün olmuştur [10].

Zamana bağlı Schrödinger denklemini çözmenin yolu, $e^{-i\hat{H}\Delta t}$ operatörünü en uygun polinomların bir serisi cinsinden açmaktır. Tal- Ezer ve Kosloff böyle bir açılımda en iyi polinomların karmaşık Chebychev polinomları olabileceğini gösterdi [11].

Genel olarak bir $A+BC$ esnek olmayan saçılma problemi için Schrödinger denklemi

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{d^2}{dR^2} + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2\mu R^2} + V(R) + H(r) \right] \Psi_i(R, r) = E \Psi_i(R, r) \quad (5)$$

şekindedir [12]. Burada $H(r)$ hedef molekülün Hamiltonyen operatörüdür. $\varphi_i(r)$ hedef sistemin titreşim ve dönme durumlarını temsil eden öz fonksiyonlar olmak üzere, denklem (5)'in çözümü olan dalga fonksiyonu bu öz fonksiyonlar cinsinden

$$\Psi_i(R, r) = \sum_j \varphi_j(r) f_{ij}(R) \quad (6)$$

şeklinde seriye açılabilir (Kapalı-Kuplaj açılımı). Burada, $f_{ij}(R)$ radyal dalga fonksiyonudur. Bu dalga fonksiyonu (5) denkleminde tekrar yerine yazılıp gerekli işlemler yapılırsa, çoklu kanal saçılmasında, herhangi bir i . kanala gelen bir parçacığı tanımlayan dalga fonksiyonu Ψ_i ,

$$\Psi_i \approx \sum_j \frac{1}{(4\pi v_j)^{1/2}} (e^{-ik_j r \delta_{ij}} - S_{ij} e^{ik_j r}) \quad (7)$$

olarak bulunabilir. Burada toplam, tüm olası (açık) kanalları kapsar. N tane açık kanalı olan bir sistemin, Ψ_i dalga fonksiyonunun asimptotik davranışının belirlenmesi için, N tane S_{ij} katsayısının bilinmesi gerekir. Böylece tüm sistemin dalga fonksiyonunu tanımlamak için $N \times N$ adet S_{ij} katsayılarının bilinmesi gerekir. Bu sabitler bir E enerjisinde sistemin saçılma matrisini oluştururlar.

Bir birim matris olan S matrisi $i \rightarrow j$ geçişi için olasılık genliği olmak üzere, i . kuantum durumundan j . kuantum durumuna esnek geçiş olasılığı veya kısmi diferansiyel tesir kesitleri

$$P_{j \leftarrow i}^J(E) = |S_{i,j}^J(E)|^2 \quad (8)$$

şeklinde hesaplanabilir. Toplam açısall momentum operatörü (J), relatif hareketin yörünge açısall momentum operatörü (l) ile hedef molekülün dönme hareketini temsil eden açısall momentum operatörünün (j) vektörel toplamına eşittir ($J = l + j$). Toplam açısall momentum operatörü korunumlu bir büyüklüktür. Bu nedenle toplam açısall momentum operatörü dikkate alındığında Schrödinger denklemi J 'nin her farklı değeri için ayrı ayrı çözülebilir. Bu durumda toplam enerjinin bir fonksiyonu olan saçılma matrisi aynı zamanda J 'nin de bir fonksiyonu olur. Geçiş olasılıklarının bütün J değerleri üzerinden toplamı alındığında $i \rightarrow j$ geçişi için integral tesir kesiti

$$\sigma_{j \leftarrow i}(\theta) = \left| \frac{1}{2ik_j} \sum_{j=0}^{\infty} (2J+1) S_{j,i}^J(E) \right|^2 \quad (9)$$

olarak elde edilir. Hız sabiti, genel anlamda reaksiyona giren parçacıkların konsantrasyonunun veya ürünlerin konsantrasyonunun ya da reaksiyona girenlerden birinin konsantrasyonundaki değişimi olarak tanımlanır. Kuantum mekaniksel olarak termal hız sabitleri, Maxwell Boltzman dağılımına göre, tüm enerjiler (veya hız vektörleri) üzerinden toplam tesir kesitlerinin integrale edilmesi ile elde edilir. Bireysel kuantum seviyeleri arasındaki geçişlerde termal hız sabitleri

$$k_{v,j}(T) = \frac{d_f}{k_B T} \left(\frac{8}{\pi \mu_{A+BC} k_B T} \right)^{\frac{1}{2}} \int dE_c E_c e^{-\frac{E_c}{k_B T}} \sigma_{v,j}(E_c) \quad (10)$$

olarak hesaplanır. Burada k_B Boltzmann sabitidir, T sıcaklık, d_f dejenerasyon faktörü, E_c çarpışma enerjisidir [13].

Bir atom ile iki atomlu bir molekülün esnek olmayan saçılması, $A+BC(v, j)$ ile gösterilen bir kuantum durumundan $A+BC(v', j')$ ile gösterilen uyarılmış bir kuantum duruma olan, sistemin bütün kuantum mekaniksel hareketinden oluşur.

Zamana bağlı kuantum hesaplamalarında genel olarak potansiyel enerji yüzeyi üzerinde, etkileşmenin olmadığı bir bölgede, bir başlangıç dalga paketi tanımlanır. Daha sonra bu dalga paketine bir momentum verilerek güçlü etkileşme bölgesine doğru hareketi sağlanır. Zamana bağlı Schrödinger denklemi tekrarlanan zaman adımları için çözülür. Eğer esnek olmayan saçılma problemi inceleniyorsa dalga fonksiyonunun güçlü etkileşme bölgesinden geri yansıyor asimptotik bölgeye ulaşan bileşeni analiz edilir. Bunun için, giriş kanalının asimptotik bölgesinde bir analiz çizgisi ($R = R_{\infty}$) tanımlanır. Zamana bağlı yayılım bütün dalga fonksiyonu güçlü etkileşme bölgesini terk edinceye kadar sürdürülür ve her zaman adımında analiz çizgisi üzerinde dalga paketi analiz edilir.

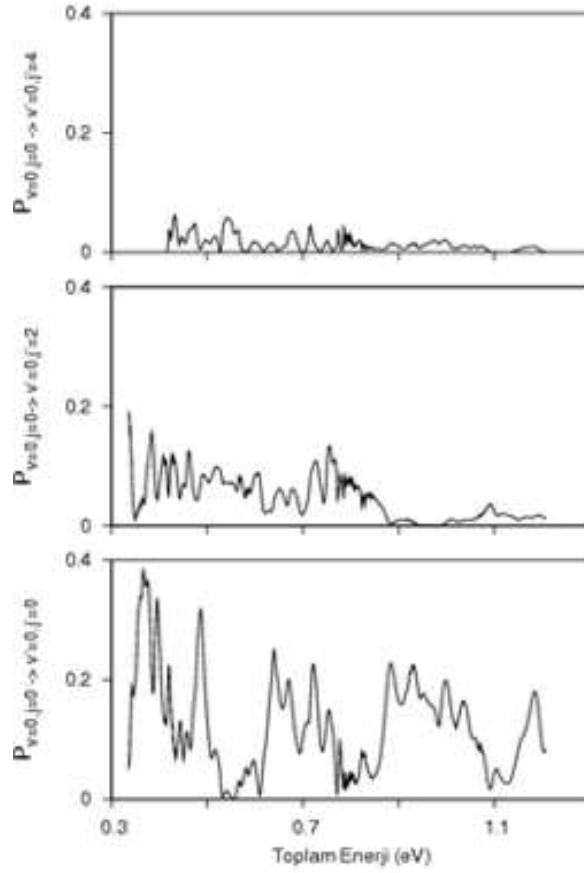
3. Bulgular ve Tartışma

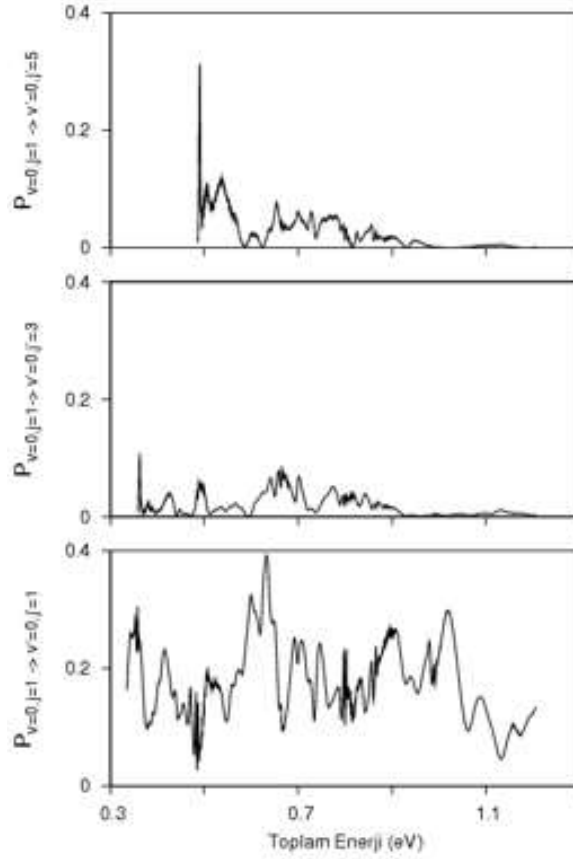
Esnek olmayan saçılmanın zamana bağlı kuantum metodu ile incelenmesinde başlangıç dalga fonksiyonu reaktant (giriş) kanalının asimptotik bölgesine yerleştirildi. Dalga paketine, potansiyel enerji yüzeyi üzerinde ilerlemesini sağlamak için bir kinetik enerji verildi ve zamana bağlı Schrödinger denklemi tekrarlanan küçük zaman adımları için çözülerek dalga paketinin potansiyel enerji yüzeyi üzerinde yayılımı sağlandı. Dalga paketi potansiyel enerji yüzeyi üzerinde ilerlerken bir kısmı potansiyel bariyerini aşarak reaktif saçılmaya sebep olur. Diğer taraftan düşük enerjili bileşenler ise güçlü etkileşme potansiyeli bölgesinden geriye yansır. Dalga fonksiyonunun bu bileşenleri kuantum mekaniksel olarak C atomunun H_2 molekülünden inelastik olarak saçılmasını temsil etmektedir. Bu nedenle kuantum mekaniksel olarak asimptotik bölgede, inelastik saçılma olasılık akı yoğunluğunun gelen akı yoğunluğuna oranı inelastik saçılma ihtimaliyetini verecektir. Bu amaçla, reaksiyonun giriş kanalının asimptotik bölgesinde bir analiz çizgisi (R_{∞}) seçildi ve her zaman adımında bu analiz çizgisi üzerinde inelastik saçılma ihtimaliyetleri hesaplandı. Dalga paketinin yayılımına bütün dalga paketi etkileşme bölgesinden yansıyor analiz çizgisini geçinceye kadar devam edildi. Hesaplamalar için kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Şekil 3, 4 ve 5'de toplam enerjinin bir fonksiyonu olarak $C(^1D) + H_2(v=0, j) \rightarrow C(^1D) + H_2(v'=0, j')$ bireysel kuantum seviyeleri arasındaki inelastik saçılma ihtimaliyetleri verilmiştir. Reaksiyon olasılıkları, çarpışma enerjisiyle azalan bir temel yapı (background) üzerine yerleşmiş çeşitli keskin rezonansları içermektedir. Ürün dönme kuantum sayısı arttıkça inelastik saçılma ihtimaliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, bireysel kuantum seviyeleri arasındaki geçiş olasılıkları parite seçim kuralına uymaktadır. Yani çift j kuantum durumlarından tek j' kuantum durumlarında geçiş olasılıkları sıfırdır. Benzer şekilde tek j kuantum durumlarından çift j' kuantum durumlarında geçiş olasılıkları sıfırdır.

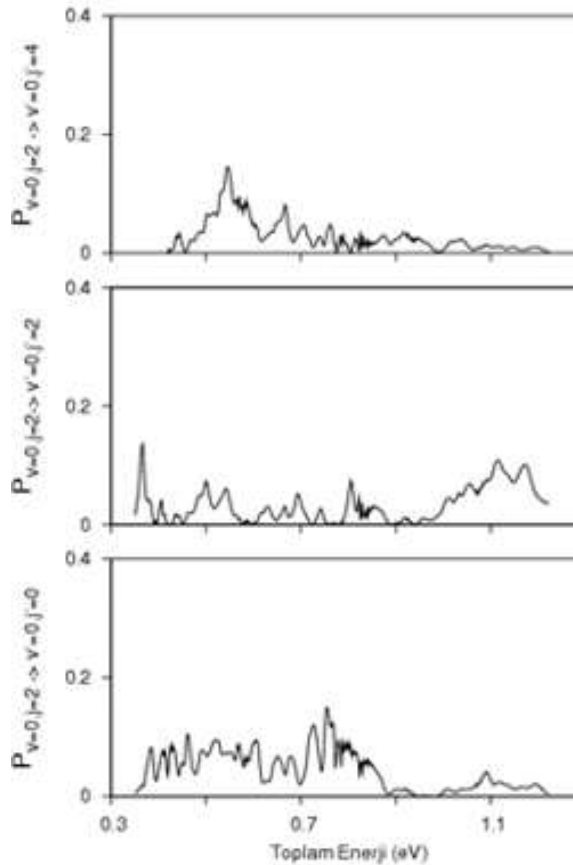
Tablo 1. Hesaplamalar için kullanılan parametreler

Parametre Tanımı	Parametre Gösterimi ve Değeri (Atomik Birimler cinsinden verilmiştir)
Saçılma koordinat aralığı	$R_{\min}= 1.4$ $R_{\max}=26.8$
R üzerindeki grid noktalarının sayısı	256
İki atomlu koordinat aralığı	$r_{\min}= 0.7$ $r_{\max}= 7.6$
r üzerindeki grid noktalarının sayısı	64
Açısal taban fonksiyonlarının sayısı	29
Başlangıç dalga paketinin merkezi	$R_0= 18.4$
Gausyen genişlik faktörü	$\sigma=10$
Başlangıç kinetik enerji	$E_0=0.0004$
Analiz çizgisinin konumu	$R_\infty=21.1$
Δt	50
Toplam Yayılım Zamanı	100000

**Şekil 3.** $C(^1D) + H_2(v = 0, j = 0) \rightarrow C(^1D) + H_2(v' = 0, j')$ inelastik saçılma geçiş ihtimaliyetleri

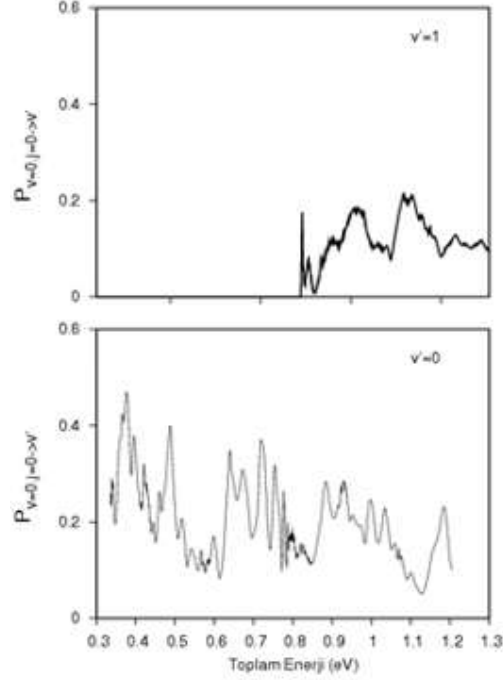


Şekil 4. $C(^1D) + H_2(v = 0, j = 1) \rightarrow C(^1D) + H_2(v' = 0, j')$ inelastik saçılma geçiş ihtimaliyetleri

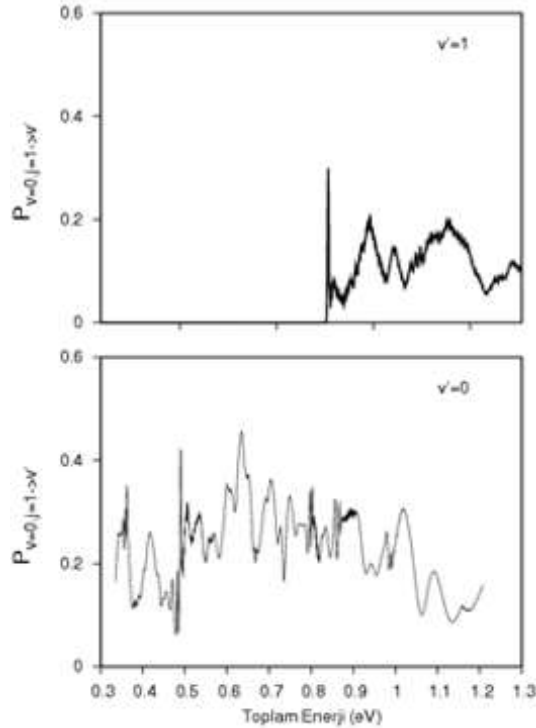


Şekil 5. $C(^1D) + H_2(v = 0, j = 2) \rightarrow C(^1D) + H_2(v' = 0, j')$ inelastik saçılma geçiş ihtimaliyetleri

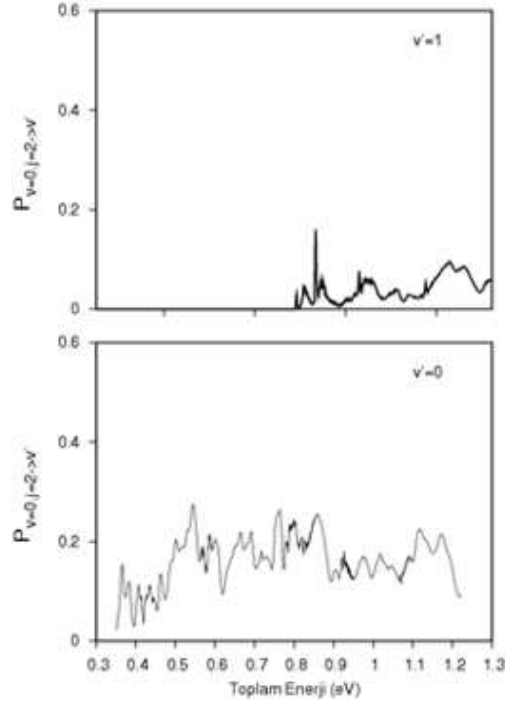
Şekil 6, 7 ve 8’de toplam enerjinin bir fonksiyonu olarak $C(^1D) + H_2(v = 0, j) \rightarrow C(^1D) + H_2(v')$ inelastik saçılması için, $v'=0,1$ ve bütün j' kuantum durumları üzerinden toplanmış reaksiyon olasılıkları verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, bütün ürün dönme kuantum durumları üzerinde toplanmasına rağmen geçiş olasılıklarındaki temel yapı değişmemiş ve rezonans yapılar kaybolmamıştır. Dolayısıyla inelastik saçılma olasılıkları ürün dönme kuantum durumlarına bağlı olarak değişmemektedir. Ancak $v'=0$ ve $v'=1$ kuantum durumları karşılaştırıldığında geçiş olasılıklarının ürün titreşim kuantum sayısına bağlı değiştiği görülmektedir.



Şekil 6. $C(^1D) + H_2(v = 0, j = 0) \rightarrow C(^1D) + H_2(v')$ bütün ürün dönme kuantum durumları üzerinden toplanmış inelastik saçılma geçiş ihtimaliyetleri

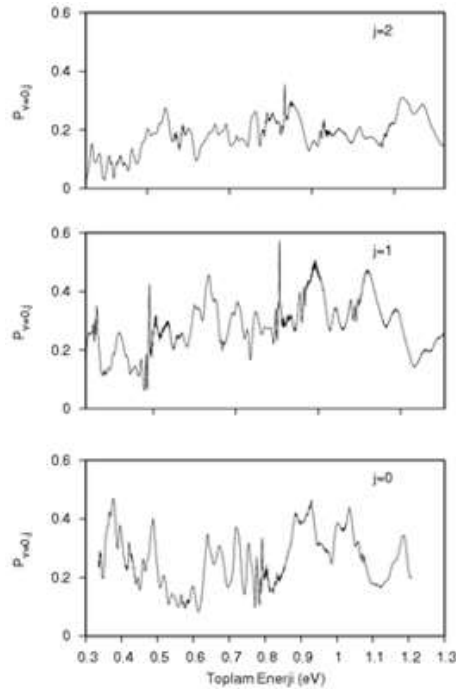


Şekil 7. $C(^1D) + H_2(v = 0, j = 1) \rightarrow C(^1D) + H_2(v')$ bütün ürün dönme kuantum durumları üzerinden toplanmış inelastik saçılma geçiş ihtimaliyetleri



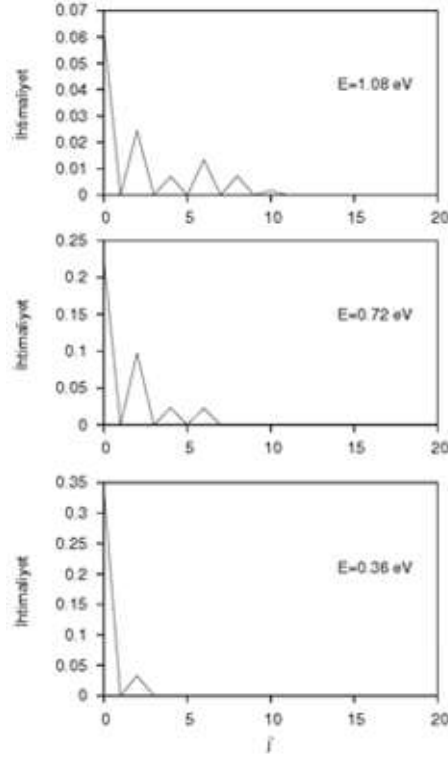
Şekil 8. $C(^1D) + H_2(v=0, j=2) \rightarrow C(^1D) + H_2(v')$ bütün ürün dönme kuantum durumları üzerinden toplanmış inelastik saçılma geçiş ihtimaliyetleri

Şekil 9'da $C(^1D) + H_2(v=0, j) \rightarrow C(^1D) + H_2$ inelastik saçılması için bütün ürün titreşim ve dönme kuantum durumları üzerinden toplanmış geçiş olasılıkları (kısmi diferansiyel tesir kesitleri) verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi toplam geçiş olasılıkları enerjiye bağlı olarak önemli ölçüde değişmemektedir. Ayrıca rezonans yapı hala belirgin bir şekilde bulunmakta ve birçok keskin rezonanslar j 'nin bütün değerlerinde görülebilmektedir. Geçiş olasılıklarında görülen bu rezonans yapılar potansiyel enerji yüzeyinin bir karakteristiğidir. CH_2 kompleksi derin bir potansiyel kuyusuna sahip olduğundan C atomunun öteleme hareketi geçici olarak bu potansiyel kuyusuna ait titreşim modları tarafından yavaşlatılmakta ve böylece geçiş olasılıklarında ani değişimler meydana gelmektedir.

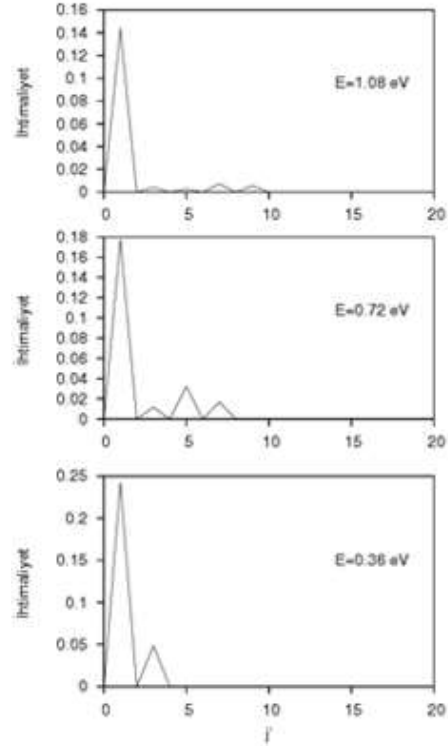


Şekil 9. $C(^1D) + H_2(v=0, j) \rightarrow C(^1D) + H_2$ kısmi diferansiyel tesir kesitleri (bütün ürün titreşim-dönme kuantum durumları üzerinden toplamı alınmış reaksiyon ihtimaliyetleri)

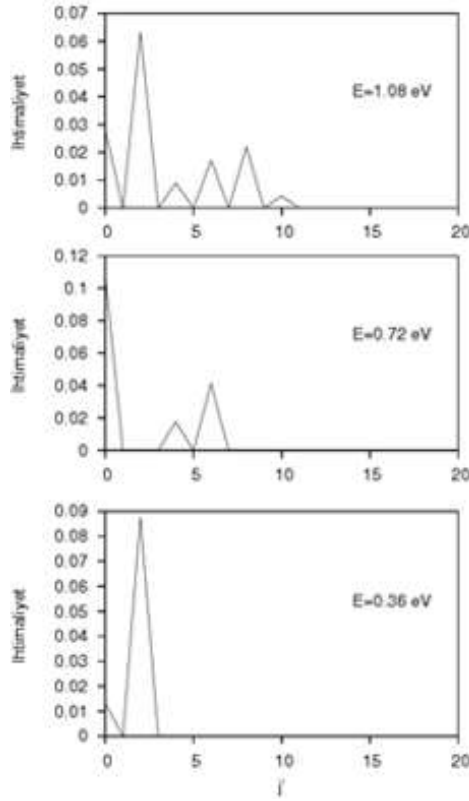
Şekil 10, 11 ve 12’de $C(^1D) + H_2(v=0, j) \rightarrow C(^1D) + H_2(v'=0, j')$ için geçiş olasılıklarının dönme kuantum sayısına bağlı değişimi çeşitli enerji değerleri için verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi enerji değeri arttıkça daha yüksek dönme kuantum durumları uyarılmaktadır. Ayrıca bütün şekillerden görülebileceği gibi inelastik geçiş olasılıkları parite seçim kuralına uymaktadır.



Şekil 10. $C(^1D) + H_2(v=0, j=0) \rightarrow C(^1D) + H_2(v'=0, j')$ reaksiyonu için dönme kuantum seviyesi dağılımları



Şekil 11. $C(^1D) + H_2(v=0, j=1) \rightarrow C(^1D) + H_2(v'=0, j')$ reaksiyonu için dönme kuantum seviyesi dağılımları

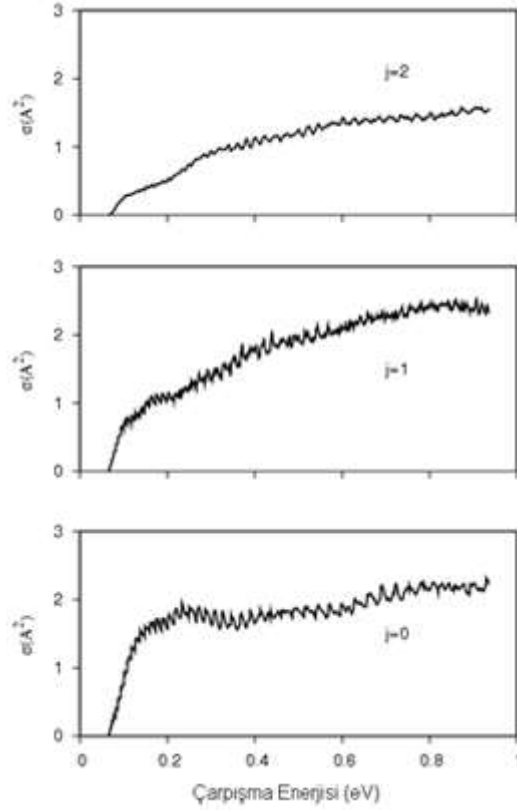


Şekil 12. $C(^1D) + H_2(v = 0, j = 2) \rightarrow C(^1D) + H_2(v' = 0, j')$ reaksiyonu için dönme kuantum seviyesi dağılımları

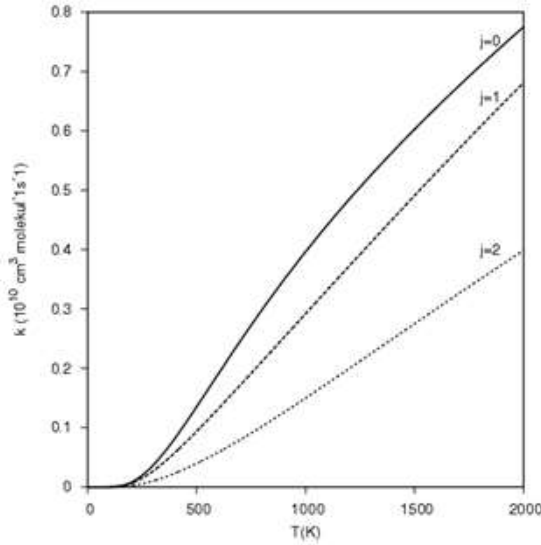
Şekil 13’de H_2 molekülünün $v=0$ ve $j=0,1,2$ kuantum durumlarına karşılık gelen integral tesir kesitleri verilmiştir. Tesir kesitleri bariyersiz bir reaksiyon için beklendiği gibi enerjiye bağlı olarak artmaktadır. Her üç başlangıç dönme kuantum sayısı değerinde de tesir kesitleri eşik (threshold) davranışı göstermektedir. Eşik enerjileri H_2 molekülünün ilgili v, j kuantum durumunun enerjisine eşittir.

Minimum enerji yolunda derin enerji kuyusuna sahip reaksiyonlarda bireysel kuantum durumlarının belirlenmesi önemlidir. İç enerjisi artan bir reaktant molekülün davranışı Şekil 13’de görülmektedir. Artan dönme enerjisi ile başlangıç dalga paketinin büyük bir kısmı minimum enerji yolundaki derin enerji kuyusunu kolaylıkla aşabilmektedir. Bu nedenle dalga fonksiyonun büyük bir kısmı ilgili enerji kuyusunda Chebyshev tekraralama fonksiyonuna maruz kalmayacaktır. Böylece daha az rezonans salınımı gerçekleştirilecektir. Şekil 13’den de görüldüğü gibi artan dönme enerjisi ile rezonans yapıları azalır. Bu azalma reaksiyonun yönünden bağımsızdır. Yani reaksiyonun reaktif saçılma olması da bu durumu değiştirmeyecektir. İnelastik saçılmada ise bu başlangıç dönme enerjisindeki artış, eşik enerjisi bölgesinde (eşik enerjisi davranışında) tesir kesitinde azalmaya sebep olmaktadır. Çünkü artan başlangıç enerjilerde dalga fonksiyonu reaktif saçılma kanalına hızla yönelir.

Termal hız sabitleri Şekil 14’de gösterilmektedir. Termal hız sabitleri sıcaklığa bağlı olarak lineer olarak artmakta ve her üç kuantum durumu için de eşik davranışı göstermektedir. Reaktif saçılmanın aksine inelastik saçılma termal hız sabitleri sıcaklığa önemli ölçüde bağlıdır. Ayrıca şekilden görülebileceği gibi ürün dönme kuantum sayısı artıkça termal hız sabitleri azalmaktadır.



Şekil 13. $C(^1D) + H_2$ inelastik saçılması için toplam tesir kesitlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 14. $C(^1D) + H_2$ inelastik saçılması için reaksiyon hızının sıcaklığa göre değişimi

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada kuantum dalga paketi metodu kullanılarak $C(^1D) + H_2$ esnek olmayan saçılması, toplam açısal momentum kuantum sayısının (J) sıfır değeri için incelendi. Bireysel kuantum seviyeleri arasında geçiş ihtimaliyetleri ve diferansiyel tesir kesitleri hesaplandı. Daha sonra J-Kaydırma(J-Shifting) yaklaşımı [8] kullanılarak, $J > 0$ durumu için geçiş ihtimaliyetleri hesaplandı. Bütün J kuantum durumları üzerinden diferansiyel tesir kesitleri toplanarak toplam tesir kesitleri hesaplandı. Elde edilen toplam tesir kesitlerinin Boltzmann dağılımına göre mevcut olan enerji aralığı üzerinden toplamı alınarak esnek olmayan saçılma hız sabitleri hesaplandı. Günümüzde, atom ve moleküllerin yapısı spektroskopik metotlarla incelenmektedir. Spektroskopi ise genel olarak enerji alışverişi veya saçılma prensibine

dayanır [12]. Saçılma olaylarının kuantum mekaniksel teorisinin bilinmesi, spektroskopik olayların anlaşılması için önemlidir. Esnek olmayan saçılma olayında hedef moleküler bağ kopmaz ancak, molekül farklı titreşim ve dönme kuantum durumlarına uyarılır. Titreşim ve dönme kuantum durumlarının uyarılması gazlarda klasik taşınım olayının anlaşılmasında önemlidir. Buna ilave olarak, esnek olmayan çarpışmalar, birçok lazer sistemlerinde ve üst atmosferde meydana gelir. Esnek olmayan saçılmalar şimdiye kadar birçok çalışmanın konusu olmuştur. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak bireysel kuantum seviyeleri arasındaki geçiş ihtimaliyetleri ve inelastik saçılma için tesir kesitleri ve reaksiyon termal hız sabitleri hesaplanmıştır. Elde edilen kuantum mekaniksel sonuçlarla klasik sonuçlar birbiriyle uyum içerisindedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Pilling J.M., Seakins W.P. 1999. Reaction Kinetics. School of Chem., University of Leeds, Oxford University Press, 1-305.
- [2] Oturak H. 2002. Ne+H₂⁺ Inelastik Saçılmasının Zamana Bağlı Kuantum Metodu ile İncelenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [3] Lau S., Chapman S. 1997. A Classical Trajectory Study of O + HF → OH + F. The Journal of Physical Chemistry A, 101: 2310-2315.
- [4] Banares L., Aoiz F.J., Vazquez S.A., Ho T.S., Rabitz H. 2003. Quasi-Classical Trajectory Calculations on a Fast Analytic Potential Energy Surface for the C(¹D)+H₂ Reaction. Chem. Phys. Lett., 374: 243-251.
- [5] Bussery-Honvault B., Honvault P., Launay J.M. 2001. A Study of the C(¹D) + H₂ -> CH + H Reaction: Global Potential Energy Surface and Quantum Dynamics. The Journal of Chemical Physics, 115: 10701.
- [6] Lin S.Y., Guo H. 2003. Quantum Wave Packet Study of Reactive and Inelastic Scattering Between C(¹D) and H₂. The Journal of Chemical Physics, 119: 11602-11608.
- [7] Rackham E.J., Gonzalez-Lezana T., Manolopoulos D.E. 2003. A Rigorous Test of the Statistical Model for Atom-Diatom Insertion Reactions. The Journal of Chemical Physics, 119: 12895-12907.
- [8] Demir M. 2006. Reaktif olmayan C(¹D) + H₂ Üç-Boyutlu Saçılmasında Geçiş Olasılıkları ve Tesir Kesitlerinin Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [9] Gogtas F., Bulut N., Akpınar S. 2005. Quantum Wave Packet Calculation of Reaction Probabilities, Cross Sections, and Rate Constants for the C(¹D)+HD Reaction. International Journal of Quantum Chemistry, 105: 478-484.
- [10] Göğtaş F. 1995. Time-Dependent Quantum Dynamics of Reactive Scattering: Li+ HF-> LiF+ H. Ph. D. Thesis, University of Bristol, California.
- [11] Tal-Ezer H., Kosloff R. 1984. An Accurate and Efficient Scheme for Propagation the Time Dependent Schrödinger Equation. The Journal of Chemical Physics, 81: 3967-3971.
- [12] Akpınar S., Gogtas F., Bulut N., Yıldız A. 2000. A Quantum Wave Packet Study of He-H₂ İnelastic Scattering. International Journal of Quantum Chemistry, 79 (5): 274-279.
- [13] Lin S.Y., Guo H. 2005. Quantum Statistical and Wave Packet Studies of Insertion Reactions of S(¹D) with H₂, HD, and D₂. The Journal of Chemical Physics, 122: 74304.

Araştırma Makalesi / Research Article

Assessment of tourist arrival from Russian to Antalya using the univariate time series methods

Hatice ONCEL CEKİM^{1*}, Ahmet KOYUNCU²

¹*Department of Statistics, Hacettepe University, Beytepe 06800 Ankara, Turkey*

²*NETAŞ, Üniversiteler Mah. İhsan Doğramacı Blv. ODTÜ/Teknokent 06531 Çankaya, Ankara, Turkey
(ORCID: 0000-0001-8538-6296) (ORCID: 0000-0002-1492-2191)*

Abstract

With the continuous growth of Antalya tourism, the need for more accurate tourism forecasts emerge and the forecast performance is evaluated according to time series methods. Seasonal fluctuations are the most important feature of the tourism series and this feature makes it a suitable environment for comparing the forecast productivity of different models. In this study, the data of tourists coming from Russia to Antalya from 2007 to 2018 are used. The parametric and nonparametric univariate time series techniques, ARIMA, ETS, Combination (or Hybrid) and SSA, are compared in forecasting tourism demand. As a result of this paper, it is understood that the nonparametric SSA technique is more accomplished with respect to the accuracy of the obtained forecasts.

Keywords: Tourism, forecast, time series methods, univariate models.

Tek değişkenli zaman serileri yöntemlerini kullanarak Rusya'dan Antalya'ya gelen turistlerin değerlendirilmesi

Öz

Antalya turizminin sürekli büyümesiyle birlikte, daha doğru turizm öngörülerine duyulan ihtiyaç ortaya çıkmakta ve öngörü performansı zaman serisi yöntemlerine göre değerlendirilmektedir. Mevsimsel dalgalanmalar turizm serilerinin en önemli özelliğidir ve bu özelliği onu farklı modellerin öngörü performanslarını karşılaştırmak için uygun bir ortam haline getirmektedir. Bu çalışmada, 2007-2018 yılları arasında Rusya'dan Antalya'ya gelen turistlerin verileri kullanılmaktadır. Turizm talebinin öngörüsünde parametrik ve parametrik olmayan tek değişkenli zaman serisi teknikleri, ARIMA, ETS, Kombinasyon (veya Hibrit) ve SSA, karşılaştırılmaktadır. Bu çalışma sonucunda, elde edilen tahminlerin doğruluğu açısından parametrik olmayan SSA yönteminin daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Turizm, öngörü, zaman serisi yöntemleri, tek değişkenli modeller.

1. Introduction

Turkey is located in tourist arrivals in the first ten in the world [1]. This situation is reflected significantly to the economy in Turkey. While its total contribution to GDP is 11.6%, it is noteworthy that one out of every 10 employees works in the tourism sector [2]. The sea tourism in Turkey is surrounded by seas on three sides is of great importance. Antalya is the first city with the highest number of tourist visits in sea tourism. Russia has been the country that has sent the most visitors to Antalya for many years. However, the increase of Russian tourists, which has continued with an increasing trend for years, has started a sudden decline in 2016 due to Russia's banning of charter flights to Antalya. Therefore, Antalya tourism has lost its most valuable tourist resource until 2015. In the light of the information obtained, it is easily seen that Russian tourists have a very important role in Antalya's economy.

Antalya is an attractive region for international tourists with its many features such as the elevated temperature, sunny days, golf resorts, blue flag beaches, waterfalls and caves. Russian tourists

*Corresponding author: oncelhatice@hacettepe.edu.tr

Received: 28.04.2021, Accepted: 21.06.2021

generate the most important part of foreigner tourists in Antalya. Therefore, making the forecast of Russian tourists coming to Antalya will be beneficial in many ways. There are many different time series methods for making time-dependent future predictions. The ARIMA is one of the well-known models used in these cases. Therefore, the researches done with this model in tourism are also quite a number. In this context, Kim et al. [3] provide the interval of the tourist arrivals via the ARIMA model. Moreover, ARIMA methods are used by the benchmark model in the literature. Similarly, the study of Diaz and Nadal [4] compares tourism on the accuracy of the forecast by using the benchmark models as ARIMA and autoregressive neural network. Error, Trend and Seasonal (ETS), which is a member of the ARIMA, is one of the prominent univariate methods. According to the papers, the method can make a consistent forecast [5-7]. Lim and McAleer [8] find the best model concerning the forecast accuracy between the varied level differences used in ETS methods. Furthermore, a new approach and technique in these methods are proposed by Hyndman et al. [7] and Bergmeir et al. [9]. Singular spectrum analysis (SSA) analyzes and predicts non-stationary and complicated time series without an assumption, contrary to other classical methods [8]. Many studies indicated that SSA is a powerful forecast technique. Therefore, researches of the different issues such as genetic [9], hydrological [10], geophysical [11], tourism [12], business and finance [8] are preferred in time series. The combination method, which is another frequently preferred method, brings a lot of independent models together. The key point in this method is to find out how to combine the models in order to produce the best output model. Thus, every study establishes its own combination. Firstly, Bates and Granger [15] associate with the Brown's exponential smoothing and ARIMA models to forecast. Shen et al. [16] investigate the international demands for tourism using the six combination models. Besides, those and other studies in the literature show that the weight choices used are substantial as well as the selection of the combined models [13], [14, 15, 16].

In this study, the tourist arrivals to Antalya from Russia are obtained through the TURKSTAT [19]. The data is monthly and comprises the years between 2007 and 2018. The data divide Feb-2007 and Dec-2017 as training data, twelve months of 2018 as testing data to utilize the forecast trueness. The use of the training data is made to predict and testing data to survey the testification of the model prediction in this paper. Also, the tourist visits of bilateral relations between Turkey and Russia to examine the impact on tourism is taken into account until 2018. With this aim, the time series models are implemented for the future prediction of tourist visits in Antalya. The paper structure continues as follows: Section 2 contains considered methods, Section 3 extends the analysis results, and the final section highlights implications, limitations, and future study suggestions.

2. Material and Methods

2.1. ARIMA Method

To briefly describe the method in general terms, ARIMA models predict the future values using its past values. The ARIMA model is shown as ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s. Here, p and P symbolize the seasonal and non-seasonal notation of the autoregressive model, q and Q represent the seasonal and non-seasonal notation of the moving average model, d and D mean the seasonal and non-seasonal notation of differencing, respectively and s is the period number. The general model equation is defined as follows:

$$Y_s^D Y^d \Lambda_p(B^s) \lambda_p(B) Y_t = \Pi_p(B^s) \pi_p(B) \xi_t \quad (1)$$

where $\Pi_p(B^s)$ and $\Lambda_p(B^s)$ are the moving average and seasonal autoregressive equations, $\pi_p(B)$ and $\lambda_p(B)$ are the non-seasonal moving average and autoregressive equations, $Y_s^D = (1 - B^s)^D$ and $Y^d = (1 - B)^d$ are the seasonal and non-seasonal differencing parameters, ξ_t and Y_t are the error and time series, respectively. B is the backward transaction ($BY_t = Y_{t-1}$), where Y_t is the time series. The application process of this method are succeeded, as summarized by authors in [20]. Detailed information about the ARIMA method, which is frequently used in analyzing time series, is included in many studies such as Preez and Witt [21], Prideaux [22], Kim et al. [3], Beneki and Silva [23], Oliveira and Oliveira [24] and Thamanukornsri and Tiensuwan [25].

2.2. ETS (Error, Trend and Seasonal) Method

The method was improved by the authors in [26] as an original method to exponential smoothing, formed from a different perspective for the ARIMA method. It has different models for error, trend, and seasonal equations. For the model equations, one can see [27]. It is one of the highly preferred models within the time-series studies in which univariate models are compared with Lim and McAleer [28], Hyndman and Khandakar [20], Hassani et al. [28], Naim and Mahara [29]. Therefore, the authors in [27] proposes a state space framework with the help of the ETS technique.

2.3. Singular Spectrum Method (SSA)

This is a method that predicts the future values by decomposing the time series into components by the embedding and singular value decomposition steps at first, then reconstructing these components with the grouping and diagonal averaging steps. This method attributes by integrating the mathematical analysis and visualisation tools [17]. SSA is a nonparametric method without satisfying any assumptions. For this reason, the process is not affected when the time series is stationary or non-stationary. Briefly, this method aims at producing the predicted series with minor error and without any assumptions. More information on the mathematical analysis is explained with a detailed description in the study of Hassani [30].

2.4. Combination (Hybrid) Method

The primary purpose of the combination method (which can be defined as the hybrid model) is to obtain a low mean square and increase the forecast accuracy. Based on this, the best model is chosen among the developed combinations. There are six model combinations of the ARIMA, ETS, Theta, NNETAR (Neural Network), STLTM (Seasonal and Trend decomposition using Loess) and TBATS (Box-Cox transform, ARMA errors, Trend, and Seasonal components) used by the Hybrid package. It is significant that the weights (a_j) of these models determine the averages. Let $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]^T$ be the vector of the time series. Assume that $\hat{Y}^j = [Y_1^j, Y_2^j, \dots, Y_N^j]^T$ be the forecast series when forecasting these series with s varied models ($j = 1, 2, \dots, s$). The simple linear model is described by

$$\hat{Y}_k^j = \sum_{i=1}^s a_i \hat{Y}_k^i. \tag{2}$$

The weights are added to the model to diminish their weakness and to improve forecast accuracy. This aim, some model combination techniques, which are widely preferred, can be mentioned as the simple average [18], [19], the trimmed average [14], the variance-based model [31], the Winsorized average [32], the outperformance method [33], the error-based combining [14], the median-based combining [34].

2.5. Methods of evaluation criteria

There are some measurement values that we can evaluate the methods in themselves to choose the method that best forecasts the series of Russian tourists visiting Antalya. For this reason, we calculate the root mean square error (RMSE) values of the considered models in this study to find the best forecasting method. The RMSE formula is defined as follows [29]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - \hat{y}_{t|t-1})^2}, \tag{3}$$

where y_t and $\hat{y}_{t|t-1}$ symbolize, respectively, t^{th} observation and its forecasted unit depending previous unit ($t = 1, \dots, N$).

3. Results

In this study, we use the R program for the estimating the tourist visits with "forecastHybrid", "Rssa", "forecast" and "vars" package. The arrival of Russian tourists, which has continued with increases and decreases at certain periods for years, can be seen very clearly in Figure 1, the great decrease experienced in 2016. This sudden drop in the series is expected to significantly affect the estimates of the models due to the different procedures. The logarithm of the series is used to get rid of this deterministic trend.

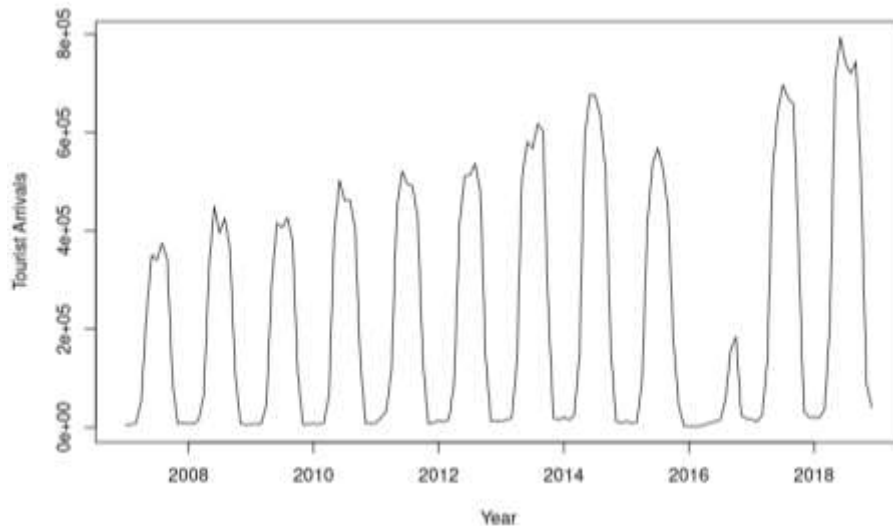


Figure 1. Time series graphs of series

The accuracy performance of the methods is investigated in this research compared to the RMSE values. According to RMSE in Figure 2, the SSA method has the smallest RMSE value. The errors of three models (the ARIMA, ETS and Hybrid) are normally distributed and the white noise. The SSA method requires no assumption checks due to it is a nonparametric test.

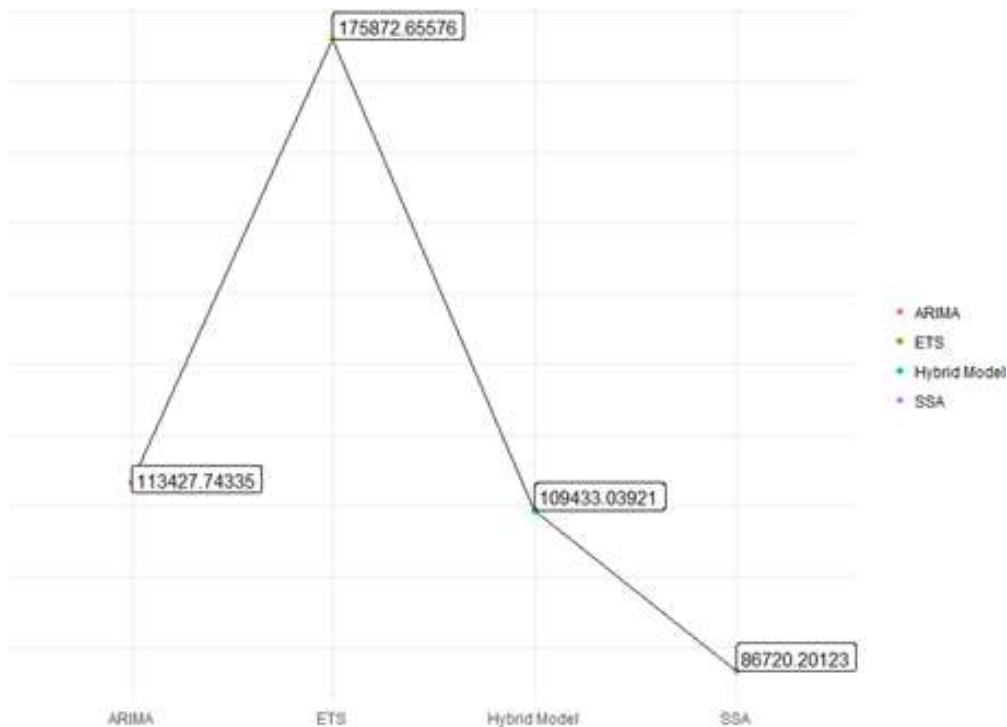


Figure 2. RMSE score of time series models

Table 1. Real tourist numbers in 2018 vs predictions of tourist arrivals through ARIMA, ETS, Hybrid, SSA methods

Months	Real	ARIMA	ETS	Hybrid	SSA
1	20452	22877	24095	23522	50966
2	20134	18651	21853	20282	38555
3	37446	29501	32840	31061	46262
4	215360	144679	175338	159175	238410
5	708263	507735	733316	602894	899958
6	793401	633691	959864	759128	715032
7	739544	679255	969457	789153	842357
8	719907	866132	1116476	951856	850501
9	743661	982569	1094314	1004028	666728
10	495893	491886	424064	442772	398752
11	88278	51937	36391	42879	42795
12	40568	27371	24390	25090	19888

Table 1 shows the forecasts and real values for 2018 obtained from the study's interested time series methods. Based on these results in Table 1, the prediction values have reached the best values by the different methods for each month in 12 months. This section explores the best time series methods to explain the series that does not have a fixed trend.

Table 2. RMSE values of each method for different horizons

Models	ARIMA	ETS	Hybrid	SSA
h=1	2424.97	3643.34	3089.19	30513.96
h=3	4871.52	3532.86	4114.82	21198.72
h=6	108616.90	70683.33	51238.26	86379.00
h=12	113427.70	175872.70	109433.00	86720.20

For different horizons, RMSE values are calculated in all methods in Table 2. When the results in Table 2 are examined, it is seen that the best estimation in the short term (h=1) forecast is obtained by ARIMA method. In medium term (h=3 and h=6) forecasting, the Hybrid model provides better estimates than other methods. The SSA method is stand out in 12-month long-term forecasts with the smallest RMSE value.

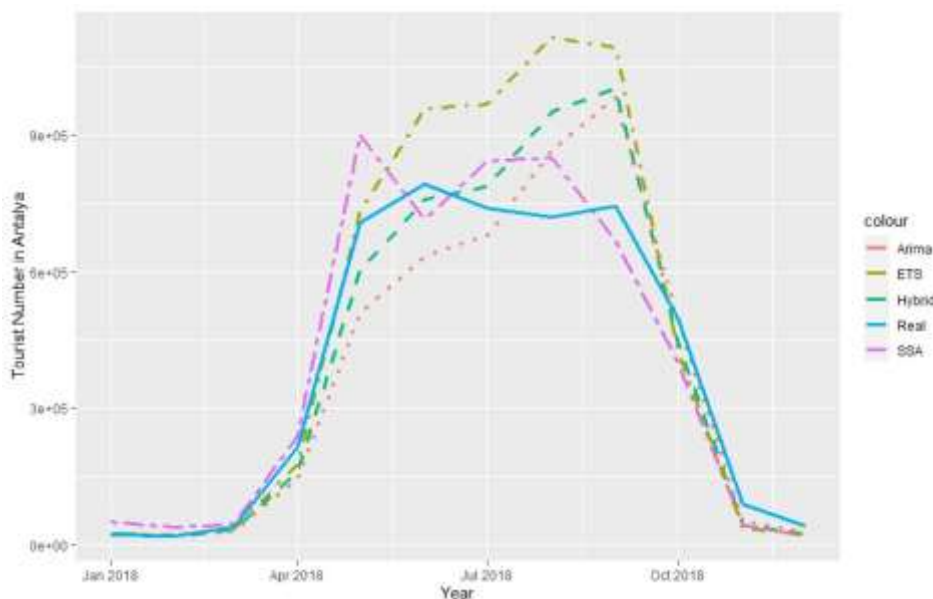


Figure 3. Graph of the actual and forecast values for 2018

Using the values given in Table 1, the forecast values obtained ARIMA, ETS, Hybrid and SSA models are described in Figure 3 to visually see the compatibility with the original series more clearly. When Figure 3 is examined in detail, we can see that the closest future prediction to the series is by the SSA method.

4. Conclusion

The number of Russian tourists coming to Antalya, which is the favorite holiday destination of tourists in many respects, continued to increase until 2015. While in Turkey for many years and cooperation in bilateral relation with Russia, they were faced with a serious crisis hardship. However, the process was restored in the second half of 2016 in line with the mutual request of the two publics. This situation has significantly affected Antalya tourism and we can observe this very clearly in Figure 1. This study is conducted to see which time series method gives better results in series with sudden ups and downs.

ARIMA and ETS methods are successful parametric methods frequently applied in time series analysis. Besides, the Hybrid model is a mixed-method that includes the advantages of 6 different time series models. Furthermore, the nonparametric SSA method can be easily adapted to different time series structures. The number of Russian tourists coming to Antalya is estimated with these powerful time series methods taken into consideration in the study.

Compared with the considered models according to the RMSE scores in Figure 2, the SSA method outperformed others models. As expected from previous studies of Hassani et al. [10] [28], Claveria and Torra [35], the nonparametric SSA method provides more successful results than the other parametric tests. When the methods are evaluated in terms of horizons in Table 2, it is seen that ARIMA, Hybrid and SSA methods are the best methods in small, medium and large horizon forecasts, respectively.

The tourist demand series has similar fluctuations in this study after the covid-19 disease with restrictions and prohibitions in Turkey in March 2020. For the future studies of this series, it is planned to make analyzes using methods similar to the SSA method. However, there are two options to make these forecasts more reliable: waiting for the end of the disease and returning to the normal procedure or thinking that it will continue for many years.

Authors' Contributions

All authors participated equally to contribute to the research.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The author(s) declares that this study complies with Research and Publication Ethics

References

- [1] World Travel & Tourism Council (WTTC), 2017. City travel & tourism. <https://www.wttc.org/-/media/files/reports/special-and-periodic-reports>. (access date: 25.09.2020).
- [2] World Travel & Tourism Council (WTTC), 2018. Travel & Tourism. <https://dossieriturismo.files.wordpress.com/2018/03/wttc-global-economic-impact-and-issues-2018-eng.pdf>. (access date: 15.10.2020).
- [3] Kim J.H., Wong K., Athanasopoulos G., Liu S. 2011. Beyond point forecasting: evaluation of alternative prediction intervals for tourist arrivals. *International Journal of Forecasting*, 27 (3): 887-901.
- [4] Alvarez-Diaz M., Rossello-Nadal J. 2010. Forecasting British tourist arrivals in the Balearic Islands using meteorological variables. *Tourism Economics*, 16 (1): 153-168.

- [5] De Livera A.M., Hyndman R.J., Snyder R.D. 2011. Forecasting time series with complex seasonal patterns using exponential smoothing. *Journal of the American Statistical Association*, 106 (496): 1513-1527.
- [6] Dong Z., Yang D., Reindl T., Walsh W.M. 2013. Short-term solar irradiance forecasting using exponential smoothing state space model. *Energy*, 55: 1104-1113.
- [7] Hyndman R.J., Koehler A.B., Snyder R.D., Grose S. 2002. A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods. *International Journal of Forecasting*, 18 (3), 439-454.
- [8] Lim C., McAleer M. 2001. Forecasting tourist arrivals. *Annals of Tourism Research*, 28 (4): 965-977.
- [9] Bergmeir C., Hyndman R.J., Benitez J.M. 2016. Bagging exponential smoothing methods using STL decomposition and Box-Cox transformation. *International journal of forecasting*, 32 (2): 303-312.
- [10] Hassani H., Heravi S., Zhigljavsky A. 2009. Forecasting European industrial production with singular spectrum analysis. *International journal of forecasting*, 25 (1): 103-118.
- [11] Hassani H., Ghodsi Z. 2015. A glance at the applications of singular spectrum analysis in gene expression data. *Biomolecular detection and quantification*, 4: 17-21.
- [12] Khan M.A., Poskitt D.S. 2017. Forecasting stochastic processes using singular spectrum analysis: Aspects of the theory and application. *International Journal of Forecasting*, 33 (1): 199-213.
- [13] Rekapalli R., Tiwari R.K. 2014. Windowed SSA (Singular Spectral Analysis) for Geophysical Time Series Analysis. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 3: 167-173.
- [14] Beneki C., Eeckels B., Leon C. 2012. Signal extraction and forecasting of the UK tourism income time series: A singular spectrum analysis approach. *Journal of Forecasting*, 31 (5): 391-400.
- [15] Bates J.M., Granger C.W. 1969. The combination of forecasts. *Journal of the Operational Research Society*, 20 (4): 451-468.
- [16] Shen S., Li G., Song H. 2011. Combination forecasts of international tourism demand. *Annals of Tourism Research*, 38 (1): 72-89.
- [17] Lemke C., Gabrys B. 2010. Meta-learning for time series forecasting and forecast combination. *Neurocomputing*, 73 (10-12): 2006-2016.
- [18] Wong K.K., Song H., Witt S.F., Wu D.C. 2007. Tourism forecasting: To combine or not to combine? *Tourism management*, 28 (4): 1068-1078.
- [19] TURKSTAT, 2019. Tourism Statistics, TURKSTAT, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Egitim,-Kultur,-Spor-ve-Turizm-105>. (access date: 05.09.2020).
- [20] Hyndman R.J., Khandakar Y. 2008. Automatic time series forecasting: The forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*, 27 (3): 1-22.
- [21] Preez J., Witt S.F. 2003. Univariate versus multivariate time series forecasting: an application to international tourism demand. *International Journal of Forecasting*, 19: 435-451.
- [22] Prideaux B. 2000. The role of the transport system in destination development. *Tourism management*, 21 (1): 53-63.
- [23] Beneki C., Silva E.S. 2013. Analysing and forecasting european union energy data. *International Journal of Energy and Statistics*, 1 (2): 127-141.
- [24] Oliveira E.M., Oliveira F.L. 2018. Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods. *Energy*, 144: 776-788.
- [25] Thamanukornsri C., Tiensuwan M. 2018. Applications of Box-Jenkins (Seasonal ARIMA) and GARCH models to dengue incidence in Thailand. *Model Assisted Statistics and Applications*, 13: 95-105.
- [26] Makridakis S., Wheelwright S.C., Hyndman R.J. 2008. *Forecasting methods and applications*. John Wiley & Sons, New York, 1-656.
- [27] Hyndman R.J., Athanasopoulos A.G. 2018. *Forecasting: principles and practice*. OTexts, Monash University, Australia, 1-384.
- [28] Hassani H., Silva E.S., Antonakakis N., Filis G., Gupta R. 2017. Forecasting accuracy evaluation of tourist arrivals. *Annals of Tourism Research*, 63: 112-127.

- [29] Naim I., Mahara T. 2018. Comparative Analysis of Univariate Forecasting Techniques for Industrial Natural Gas Consumption. *International Journal of Image, Graphics & Signal Processing*, 10 (5): 33-44.
- [30] Hassani H. 2007. Singular spectrum analysis: methodology and comparison. *Journal of Data Science*, 5: 239-257.
- [31] Newbold P., Granger C.W. 1974. Experience with forecasting univariate time series and the combination of forecasts. *Journal of the Royal Statistical Society*, 131-165.
- [32] Jose V.R., Winkler R.L. 2008. Simple robust averages of forecasts: Some empirical results. *International Journal of Forecasting*, 24 (1): 163-169.
- [33] Bunn D.W. 1975. A Bayesian approach to the linear combination of forecasts. *Journal of the Operational Research Society*, 26 (2): 325-329.
- [34] Agnew C.E. 1985. Bayesian consensus forecasts of macroeconomic variables. *Journal of Forecasting*, 4 (4): 363-376.
- [35] Claveria O., Torra S. 2014. Forecasting tourism demand to Catalonia: Neural networks vs. time series models. *Economic Modelling*, 36: 220-228.

Araştırma Makalesi / Research Article

Poli(4-vinilbenzil-g-stiren) Aşı Kopolimerinin RAFT ve SRP Yöntemleriyle Sentezi ve Karakterizasyonu

Bedrettin SAVAŞ^{1*}, Temel ÖZTÜRK², Ergül MEYVACI²

¹Kafkas Üniversitesi, Kars Meslek Yüksekokulu, 36100 Kars, Türkiye

²Giresun Üniversitesi, Kimya Bölümü, 28200 Giresun, Türkiye

(ORCID: 0000-0002-6620-5493) (ORCID: 0000-0002-7856-9809) (ORCID: 0000-0003-3530-1316)

Öz

Poli(4-vinilbenzil-g-stiren) [poli(VB-g-S)] aşı kopolimeri tersinir katımlı/ayırışmalı zincir transfer (RAFT) ve serbest radikal polimerizasyon (SRP) teknikleri kullanılarak sentez edildi. Bu amaç için, 4-vinilbenzil klorür monomeri kullanılarak SRP yöntemiyle poli(4-vinilbenzil klorür) [poli-4-VBC] polimeri sentezlendi. İkinci aşamada, poli-4-VBC polimeri ile potasyum etil ksantat reaksiyona sokularak makro-RAFT ajanı oluşturuldu. Son aşamada, RAFT tekniğiyle makro-RAFT ajanı varlığında stiren monomeriyle poli(VB-g-S) aşı kopolimeri sentez edildi. Sentezlenen ürünler ¹H-NMR, FT-IR, TGA, SEM ve Dinamik Işık Saçılımı (DLS) cihazları gibi spektroskopik ve termal analiz teknikleri kullanılarak karakterize edildi.

Anahtar kelimeler: Aşı kopolimer, 4-vinilbenzil klorür, stiren, makro-RAFT ajanı, serbest radikal polimerizasyonu, tersinir katımlı/ayırışmalı zincir transfer polimerizasyonu.

Synthesis and Characterization of Poly(4-vinylbenzyl-g-styrene) Graft Copolymer by RAFT and FRP Methods

Abstract

Synthesis of poly(4-vinylbenzyl-g-styrene) [poly(VB-g-S)] graft copolymer was carried out by free radical polymerization (FRP) and reversible addition-fragmentation chain transfer polymerization (RAFT) methods. For this purpose, poly(4-vinylbenzyl chloride) [poly-4-VBC] was synthesized using 4-vinylbenzyl chloride by FRP. In second stage, macro-RAFT agent was synthesized by chemical reaction of poly-4-VBC with potassium ethyl xanthogenate. In last stage, macro-RAFT agent and styrene were used to obtain poly(VB-g-S) graft copolymer by RAFT polymerization. Product characterization was fulfilled by using spectroscopic and thermal analysis techniques such as ¹H-NMR, FT-IR, TGA, SEM and Dynamic Light Scattering (DLS) instruments.

Keywords: Graft copolymer, 4-vinylbenzyl chloride, styrene, macro-RAFT agent, free radical polymerization, reversible addition-fragmentation chain transfer polymerization.

1. Giriş

Son yıllarda, sadece yeni tür plastik malzemelerin sentezlenmesi değil, aynı zamanda yeni uygulamaların getirdiği gereklilikleri karşılamak için var olan polimerlerin modifiye edilmesi ayrı bir önem kazanmaktadır. Aşı kopolimerizasyon makro molekül özelliklerini geliştirme yöntemlerinden biridir [1]. Farklı kimyasal ya/ya da fiziksel özelliklere sahip iki ayrı monomerin değişen oranlarda aynı makro moleküle dâhil edilmesi ticari ve bilimsel önem arz eden yeni malzemelerin meydana gelmesine katkı sağlamaktadır [2-8]. Kopolimerlerin hazırlanmasında bazı dezavantajlara sahip farklı organik reaksiyonlar kullanılmaktadır. Bu dezavantajların üstesinden gelebilmek için, kontrollü (yaşayan) serbest radikal polimerizasyon tekniklerinin araştırılması son yıllarda önemli bir şekilde artmıştır. Bir radikal polimerizasyon tekniği olan serbest radikal polimerizasyonu (SRP) çok farklı sayıda polimer elde etmek için önemli sentez tekniklerinden biridir [9, 10]. Ayrıca SRP, endüstriyel polimer üretimi

*Sorumlu yazar: bdrtn.svs.36@gmail.com

Geliş Tarihi: 01.06.2021, Kabul Tarihi: 01.09.2021

için en önemli süreçlerden biridir. Çünkü daha geniş bir monomer sınıfıyla daha kolay deneysel koşullar altında polimerizasyon gerçekleştirilebilir [11-14]. Son zamanlarda kontrollü polimerizasyon proseslerinden başlayarak polimer zincir sonu fonksiyonelliğine sahip ya da aşırı zincir kısmının oluşturulduğu kompleks mimarili makro moleküller sıklıkla sentezlenmektedir. Bu makro moleküllerin sentezi için tersinir katımlı/ayırılmalı zincir transfer (RAFT) polimerizasyonu en son geliştirilen kontrollü radikal polimerizasyon yöntemini temsil eder ve çok iyi tanımlanmış çeşitli polimerlerin sentezi için güçlü bir tekniktir [15]. Kontrollü radikal polimerizasyonların genel avantajları olan polimer mimarisinin ve molekül ağırlığının önceden ayarlanabilmesi ile düşük molekül ağırlığı dağılımına (dispersiteye) sahip polimerlerin üretimi RAFT'ın da önemli avantajları arasındadır [16-26]. Termoplastik özellik gösteren polistiren, birçok metale göre üretiminin oldukça ucuz ve diğer malzemelere iyi bir alternatif olması, sahip olduğu özelliklerin geliştirilerek yeni özellikler kazandırılması ihtiyacını gerektirmiştir [27].

Bu çalışmada; SRP ve RAFT teknikleri kullanılarak poli(4-vinil benzil-g-stiren) [poli(VB-g-S)] aşırı kopolimerleri sentez edildi. Aşırı kopolimer, spektroskopik yöntemler olan FT-IR, ¹H-NMR, DLS ve SEM analizleri ile karakterize edildi. Aşırı kopolimerin termal geçişleri ve bozulma özellikleri TGA yöntemi kullanılarak incelendi.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan kimyasallar

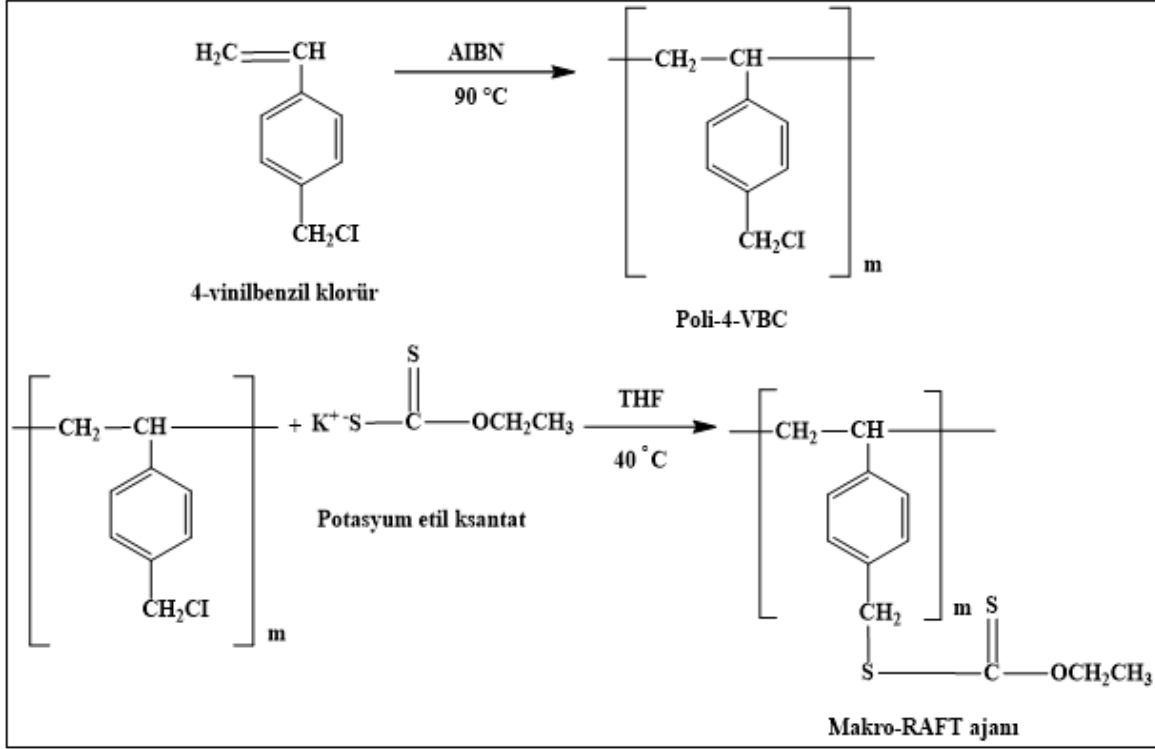
2,2'-azobisisobutironitril (AIBN), Aldrich ürünü olup alındığı gibi tepkimelerde kullanıldı. Potasyum etil ksantat, *N,N*-dimetilformamit (DMF) ve metanol Sigma-Aldrich firmasından temin edildi. 4-vinil benzil klorür ve toluen Merck ürünü olup alındığı gibi kullanıldı. Stiren, Merck ürünü olup inhibitörü uzaklaştırmak için alümina kolonundan geçirildi. Tetrahidrofuran (THF) Honeywell, dietil eter ve petrol eteri Riedel-de Haen firmalarından temin edildi.

2.2. Kullanılan cihazlar

¹H-NMR spektrumları, 400 MHz'lik Bruker Ultra Shield Plus cihazı kullanılarak kaydedildi. FT-IR spektrumları, 400-4000 cm⁻¹ aralığında Alpha-P Bruker FT-IR spektrometresi kullanılarak elde edildi. Dinamik Işık Saçılımı (DLS) cihazı olan Insmark IR120 model refraktometre ile Malvern Zetasizer Nano Serisi Nano-ZS kullanarak homo polimerin ve aşırı kopolimerin ağırlıkça ortalama molekül ağırlıkları bulundu (çözücü: DMF; konsantrasyon: 1 mg/mL, 0.5 mg/mL, ve 0.25 mg/mL; sıcaklık: 20 °C; $\lambda = 633$ nm). Carl Zeiss Sigma 300 Field taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) aşırı kopolimerin üç boyutlu (3D) görüntülerinin alınmasında kullanıldı. Termogravimetrik analiz (TGA) ölçümü Seiko II Exstar 6000 model alet kullanılarak yapıldı. Örnek, 25 °C'den 600 °C'ye 10 °C/dakika hızla azot gazı atmosferi altında ısıtıldı.

2.3. Serbest radikal polimerizasyonu (SRP) yöntemiyle poli(4-vinilbenzil klorür) [poli-4-VBC] polimerin sentezi

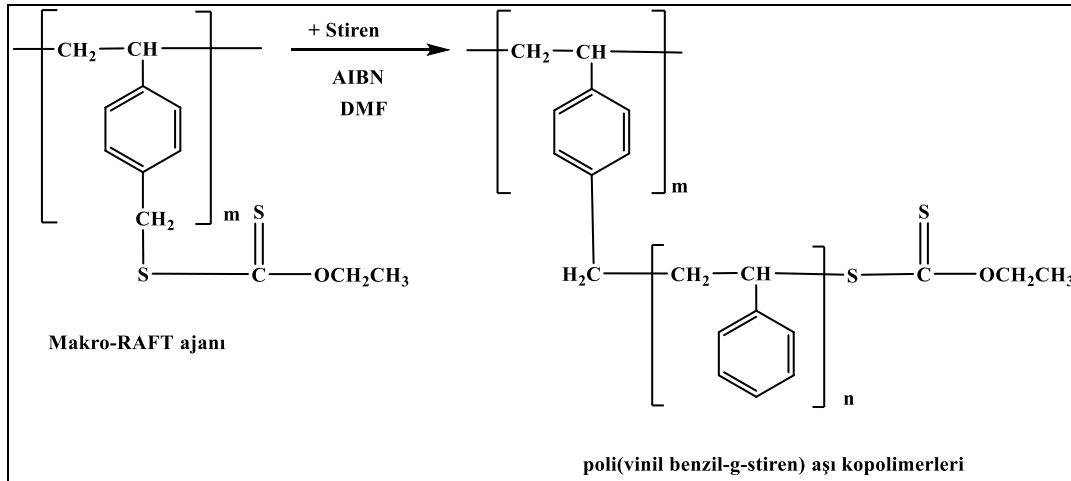
25 mL'lik bir cam balona çözücü olarak 3 mL toluen konulduktan sonra sırasıyla monomer olarak 2.0357 g 4-vinil benzil klorür ve başlatıcı olarak da 0.0140 g AIBN ilave edildi. İnert ortam sağlamak amacıyla balon içeriği yaklaşık 5 dakika boyunca argon gazından geçirilerek balonun ağzı kapatıldı. Bir ısıtıcılı manyetik karıştırıcı üzerinde termal olarak 90 °C'ye ayarlanmış yağ banyosu içerisine balon daldırılarak 24 saat sürede karıştırıldı. Bu süre sonunda balon içeriği soğutulurak aşırı metanolde çöktürüldü. Dekante işleminden sonra vakum etüvünde 40 °C'de 24 saat kurutuldu. Sentezlenen poli-4-VBC polimeri tartılarak verim hesaplandı.



Şekil 1. Poli-4-VBC homo polimerinin ve makro-RAFT ajanının sentez mekanizması

2.4. Potasyum etil ksantat kullanılarak makro-RAFT ajanının sentezi

Bir deney tüpü içerisine 0.1520 g poli-4-VBC homo polimeri 3 mL THF çözücüsünde çözerek 0.3018 g potasyum etil ksantat ilave edildi. Tüp argon gazıyla degaz edilerek 40 °C'de 72 saat karıştırıldı. Tüp muhteviyatı süzgeç kâğıdıyla süzildükten (reaksiyona girmeyen potasyum etil ksantat uzaklaştırılması için) sonra dietil eter/petrol eteri (hacimce 1/1) karışımı kullanılarak çöktürüldü. Dekande işleminden sonra ürün oda sıcaklığında vakum etüvünde kurutuldu ve tartıldı. Yüzde verim hesaplandı.



Şekil 2. Poli(VB-g-S) aşı kopolimerlerin sentez mekanizması

2.5. RAFT polimerizasyonu ile poli(VB-g-S) aşı kopolimerlerin sentezi

Bir reaksiyon balonuna sırasıyla 0.0227 g makro-RAFT ajanı, 1,0045 g stiren monomeri, eser miktarda AIBN ve 3 mL THF eklendi ve karışım 5 dk boyunca argon gazından geçirilerek 90 °C'de 20 saat karıştırıldı. Daha sonra metanolde çöktürüldü. Dekante işleminden sonra vakum etüvünde kurularak tartıldı. Verim hesabı yapıldı.

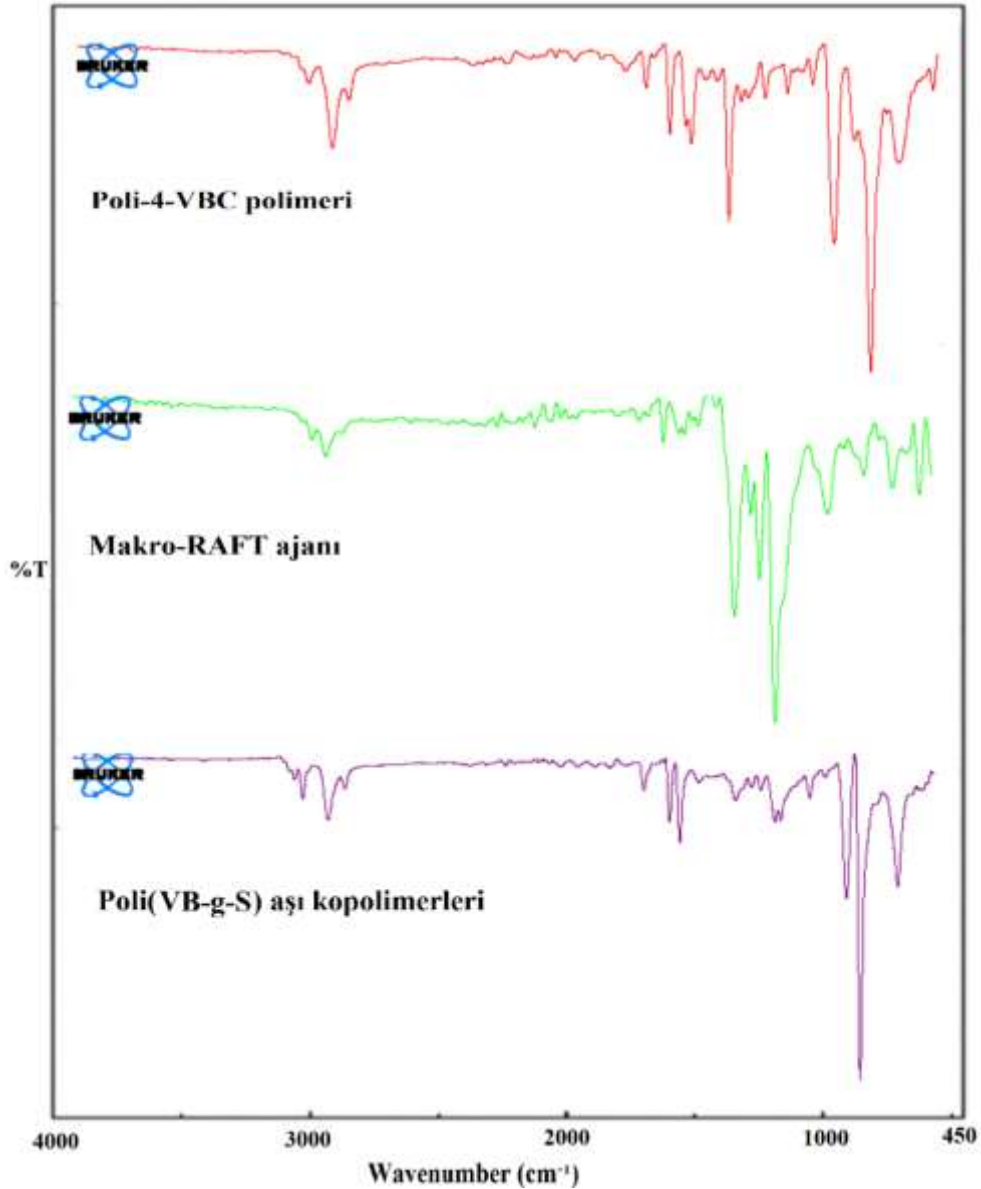
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Poli-4-VBC polimerin sentezi

Poli-4-VBC homo polimerin sentez mekanizması Şekil 1’de verilmiştir. Poli-4-VBC homo polimeri ağırlıkça % 60,32 verimle elde edildi. Şekil 3’de poli-4-VBC homo polimerin FT-IR spektrumuna göre; 3060-3025 cm^{-1} aromatik -CH grubunun, 2920-2850 cm^{-1} alifatik -CH, -CH₂ grubunun, 1420 cm^{-1} aromatik -C=C grubunun ve 821 cm^{-1} -C-Cl grubunun pikleri görülmektedir. Şekil 4a’da gösterilen poli-4-VBC homo polimerin ¹H-NMR spektrumuna göre; (δ , ppm): 7.1-6.5 (c, aromatik CH), 4.7 (d, CH₂Cl), 1.7 (b, CH) ve 1.5 (a, CH₂) protonlarının pikleri görülmektedir. Dinamik Işık Saçılımı (DLS) cihazı kullanılarak homo polimerin ağırlıkça ortalama molekül ağırlığı (Mw) 57200 Da olarak bulundu (Şekil 7a).

3.2. Makro-RAFT ajanının sentezi

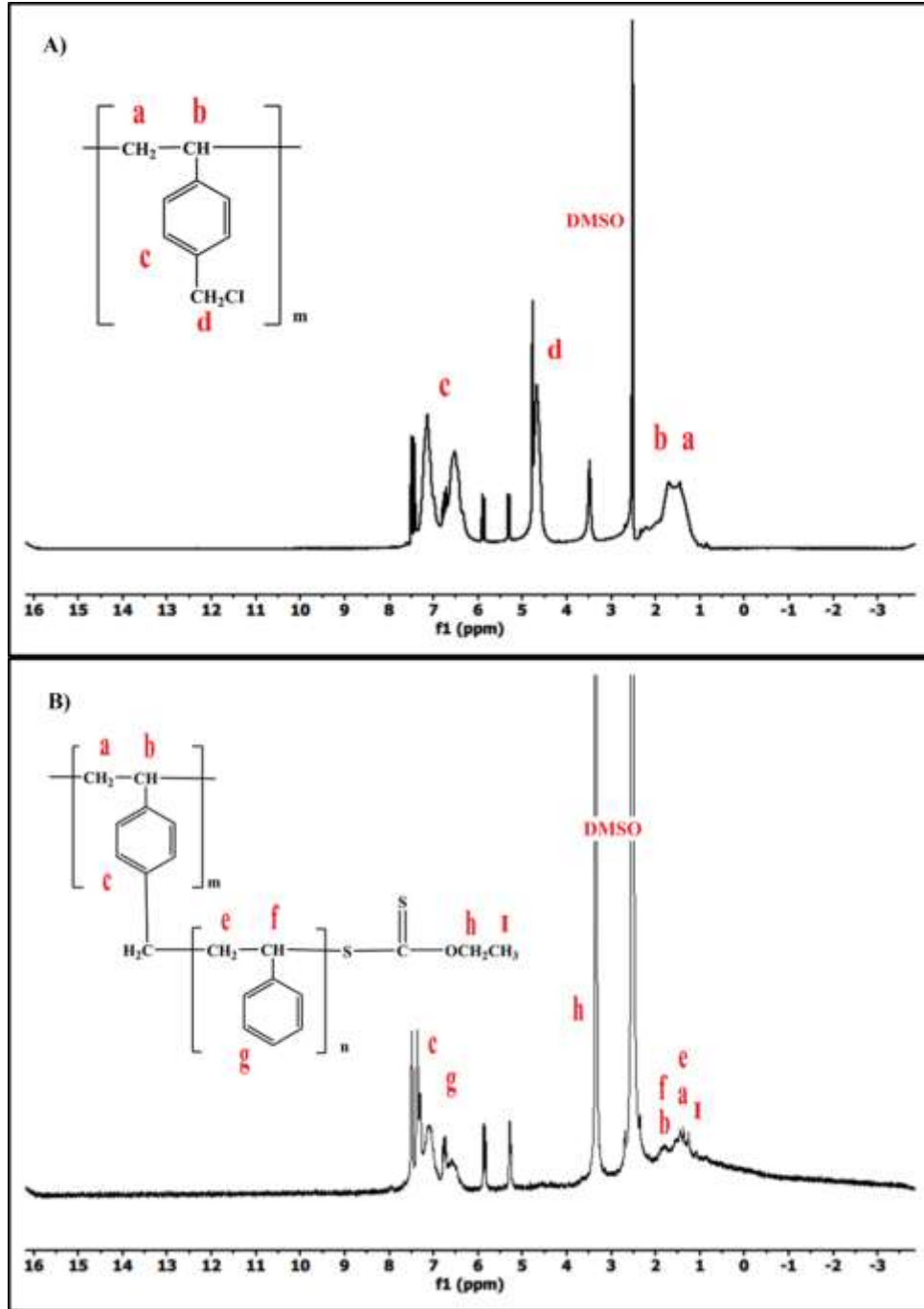
Makro-RAFT ajanının sentez mekanizması Şekil 1’deki ikinci satırda verilmiştir. Makro-RAFT ajanı ağırlıkça % 86,78 verimle elde edildi. Şekil 3’de makro-RAFT ajanının FT-IR spektrumuna göre; 3065-3020 cm^{-1} aromatik -CH grubunun, 2980-2870 cm^{-1} alifatik -CH, -CH₂ grubunun, 1444 cm^{-1} aromatik -C=C grubunun ve 1041 cm^{-1} -SC grubunun pikleri görülmektedir.



Şekil 3. Poli-4-VBC, makro-RAFT ajanı ve poli(VB-g-S) aşı kopolimerin FT-IR spektrumları

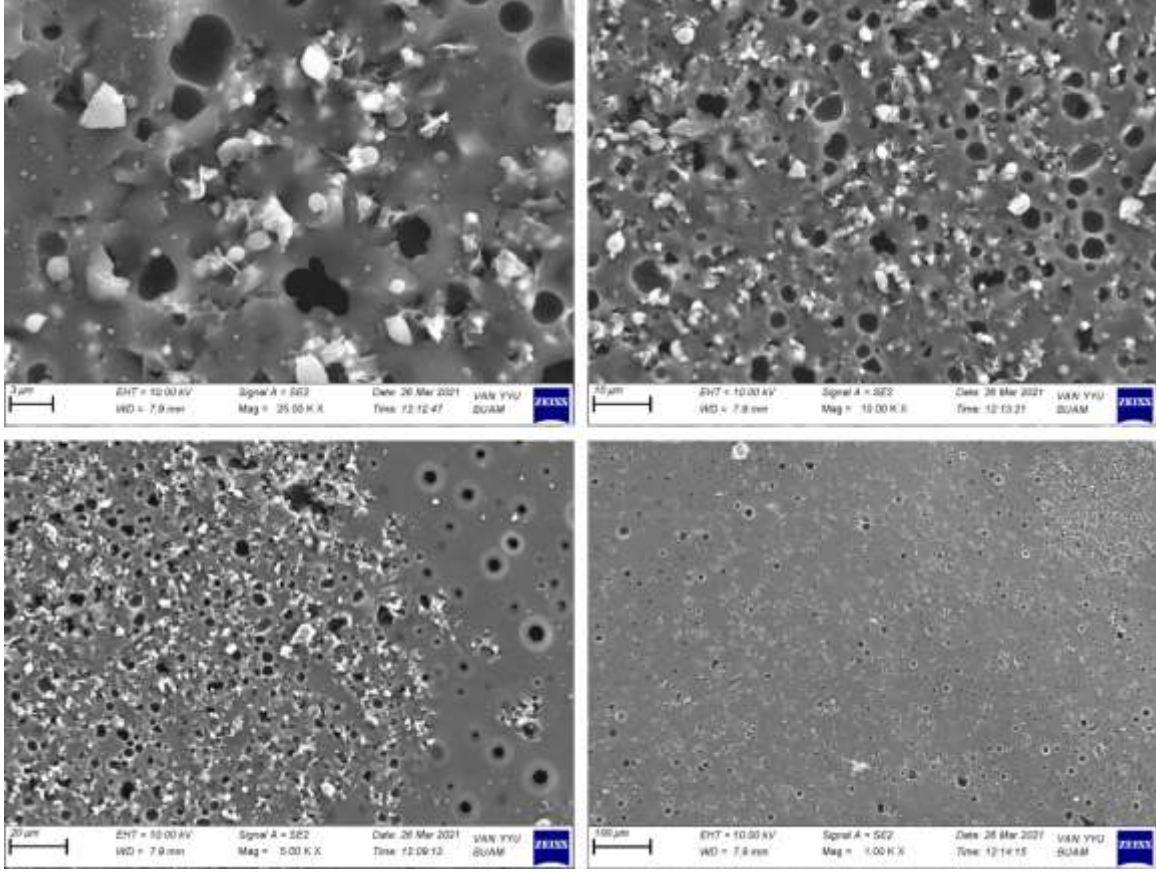
3.3. Poli(VB-g-S) aşı kopolimerlerin sentezi

Poli(VB-g-S) aşı kopolimerin sentez mekanizması Şekil 2’de verilmiştir. Aşı kopolimeri ağırlıkça % 84,42 verimle elde edildi. Şekil 3’deki poli(VB-g-S) aşı kopolimerin FT-IR spektrumuna göre; 3058-3024 cm^{-1} aromatik -CH grubunun, 2918-2848 cm^{-1} alifatik -CH, -CH₂ grubunun, 1447 cm^{-1} aromatik -C=C grubunun ve 1050 cm^{-1} -SC grubunun pikleri görülmektedir. Şekil 4b’de gösterilen poli(VB-g-S) aşı kopolimerin ¹H-NMR spektrumuna göre; (δ , ppm): 7.1-6.5 (c,g, aromatik CH), 3.3 (h, CH₂O), 1.8 (b,f CH) ve 1.3 (a,e CH₂) 1.0 (i, CH₃) protonlarının pikleri görülmektedir. Dinamik Işık Saçılımı (DLS) cihazı kullanılarak aşı kopolimerin ağırlıkça ortalama molekül ağırlığı (M_w) 146000 Da olarak bulundu (Şekil 7b). Poli(VB-g-S) aşı kopolimerin molekül ağırlığının poli-4-VBC homo polimerinkinden daha büyük olması kopolimerin başarılı bir şekilde sentezlendiğinin diğer bir kanıtıdır.



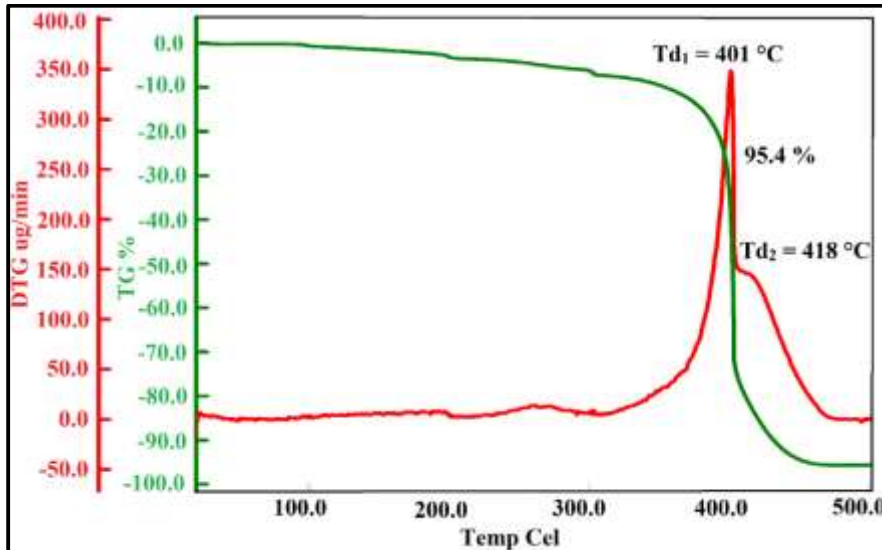
Şekil 4. Poli-4-VBC ve poli(VB-g-S) aşı kopolimerin ¹H-NMR spektrumları

Poli(VB-g-S) aşı kopolimerin yüzey morfolojisi incelemek için SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 5). Polimer örneği ince bir altın tabaka ile kaplandı. Polimer örneğinin yüzey fotoğrafları farklı büyültme boyutlarında alındı. SEM görüntülerinde gözenekli yapılar görülmektedir. Aşı kopolimerinin SEM görüntüleri pürüzlü bir yüzey gösteren sürekli bir faz oluşturmuş.

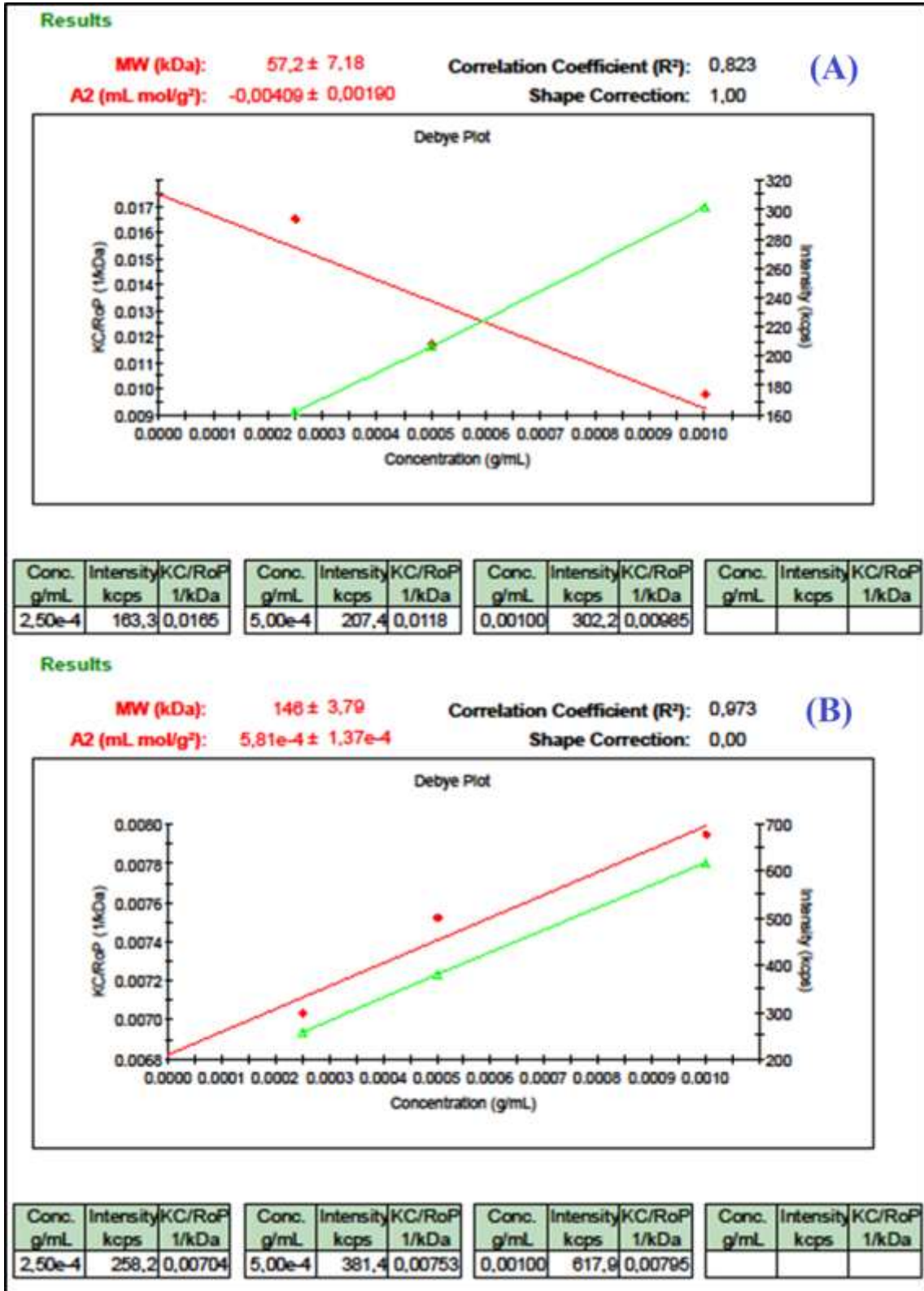


Şekil 5. Poli(VB-g-S) aşı kopolimerin SEM görüntüleri (X25000, X10000, X5000, X1000)

Poli(VB-g-S) aşı kopolimerin TGA eğrisine bakıldığında yaklaşık 300 °C'den başlayıp 480 °C'ye kadar bozunmanın gerçekleştiği; $Td_1=401$ °C ve $Td_2=418$ °C olmak üzere iki ayrı bozunma sıcaklığında bozunmanın maksimum olduğu görülmektedir. Reaksiyonlarda kullanılan monomerlerin yapısal benzerliklerinden dolayı Td 'lerin birbirine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. Poli(VB-g-S) aşı kopolimerin TGA eğrisi



Şekil 7. Poli-4-VBC (A) ve poli(VB-g-S) (B) aşılı kopolimerin DLS sonuçları

4. Sonuç ve Öneriler

Aşılı kopolimer tersinir katılamalı/ayırışmalı zincir transfer (RAFT) ve serbest radikal polimerizasyon (SRP) teknikleri kullanılarak nispeten yüksek verimde ve yüksek moleküler ağırlıkta elde edilmiştir. Bu yöntem aşılı kopolimerlerin sentezi için basit ve etkindir. Sentezlenen ürünler ¹H-NMR, FT-IR, TGA, SEM ve DLS cihazları gibi spektroskopik ve termal analiz teknikleri kullanılarak karakterize edildi.

Poli(VB-g-S) aşu kopolimerin molekül ağırlığının poli-4-VBC homo polimerinkinden daha büyük olması kopolimerin başarılı bir şekilde sentezlendiğinin kanıtıdır. Çalışmamızda sentezlenen kopolimerin plastik sanayisinde kullanılabileceğı düşünölmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit katkı sağladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiğİ Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Ruzette A.V., Leibler L. 2005. Block copolymers in tomorrow's plastics. *Nat Mater*, 4 (1): 19-31.
- [2] Öztürk T., Kaygın O., Gökteş M., Hazer B. 2016. Synthesis and Characterization of Graft Copolymers Based on Polyepichlorohydrin via Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer Polymerization. *Journal of Macromolecular Science Part A*, 53 (6): 362-367.
- [3] Bolton J., Rzaev J. 2012. Tandem RAFT-ATRP synthesis of polystyrene-poly(methyl methacrylate) bottle brush block copolymers and their self-assembly into cylindrical nanostructures. *ACS Macro Lett*, 1 (1): 15-18.
- [4] Çatıker E., Öztürk T., Atakay M., Salih B. 2019. Synthesis and characterization of novel aba type poly(ester-ether) triblock copolymers. *J Polym Res*, 26 (5): 1-9.
- [5] Öztürk T., Gökteş M., Savaş B., Işıklar M., Atalar M.N., Hazer B. 2014. Synthesis and characterization of poly(vinyl chloride-graft-2-vinylpyridine) graft copolymers using a novel macroinitiator by reversible addition-fragmentation chain transfer polymerization. *E polymers*, 14 (1): 27-34.
- [6] Altintas O., Tunca U., Barner-Kowollik C. 2011. Star and miktoarm star block (co)polymers via self-assembly of ATRP generated polymer segments featuring Hamilton wedge and cyanuric acid binding motifs. *Polym Chem*, 2 (5): 1146-1155.
- [7] Mo X., Wei F., Tan D., Pang J., Lan C. 2020. The compatibilization of PLA-g-TPU graft copolymer on polylactide/thermoplastic polyurethane blends. *J Polym Res.*, 27 (2): 1-13.
- [8] Lin T.A., Lin M.C., Lin J.Y., Lin J.H., Chuang Y.C., Lou C.W. 2020. Modified polypropylene/thermoplastic polyurethane blends with maleic-anhydride grafted polypropylene: blending morphology and mechanical behaviors. *J Polym Res.*, 27 (2): 1-10.
- [9] Erol I., Ozturk A.I. 2005. Free radical copolymerization of novel methacrylates with acrylonitrile and determination of monomer reactivity ratios. *J Polym Res.*, 12 (5): 403-412.
- [10] Yasutake M., Hiki S., Andou Y., Nishida H., Endo T. 2003. Physically controlled radical polymerization of vaporized vinyl monomers on surfaces. Synthesis of block copolymers of methyl methacrylate and styrene with a conventional free radical initiator. *Macromolecules*, 36 (16): 5974-5981.
- [11] Simonescu C.I., Comanita E., Pastravanu M., Dimitriu S. 1986. Progress in the field of bi- and poly-functional free-radical polymerization initiators. *Prog Polym Sci*, 12 (1-2): 1-109.
- [12] Tunca U., Karlıga B., Ertekin S., Ugur A.L., Sirkecioglu O., Hizal G. 2001. Synthesis of asymmetric difunctional initiators and their use in the preparation of block copolymers via ATRP and SFRP. *Polymer*, 42 (20): 8489-8493.
- [13] Öztürk T., Savaş B., Meyvacı E., Kılıçlıođlu A., Hazer B. 2020. Synthesis and characterization of the block copolymers using the novel bifunctional initiator by RAFT and FRP technics: evaluation of the primary polymerization parameters. *J Polym Res.*, 27 (3): 1-7.
- [14] Hizal G., Sakar D., Tunca U. 2005. Synthesis of tri-arm star diblock co-polymer containing poly(tetrahydrofuran-b-methyl methacrylate) arms via combination of cationic ring-opening

- polymerization and photosensitized free radical polymerization routes. *Des Monomers Polym.*, 8 (6): 609-617.
- [15] Chiefari J., Chong Y.K., Ercole F., Krstina J., Jeffery J., Le T.P.T., Mayadunne R.T.A., Meijs G.F., Moad C.L., Moad E., Rizzardo E., Thang S.H. 1998. Living free-radical polymerization by reversible addition-fragmentation chain transfer: the RAFT process. *Macromolecules*, 31 (16): 5559-5562.
- [16] Kawahara N., Kojoh S., Matsuo S., Kaneko H., Matsugi T., Saito J., Kashiwa N. 2006. Synthetic method of polyethylenepoly(methylmethacrylate) (PE-PMMA) polymer hybrid via reversible addition-fragmentation chain transfer (RAFT) polymerization with functionalized polyethylene. *Polym Bull*, 57 (6): 805-812.
- [17] Goto A., Tsujii Y., Fukuda T. 2008. Reversible chain transfer catalyzed polymerization (RTCP): a new class of living radical polymerization. *Polymer*, 49 (24): 5177-5185.
- [18] Mitsoni E., Roka N., Pitsikalis M. 2019. Statistical copolymerization of N-vinyl-pyrrolidone and alkyl methacrylates via RAFT: reactivity ratios and thermal analysis. *J Polym Res.*, 26 (5): 1-12.
- [19] Hazer B., Arslan H., Senemoğlu Y., Şen Ş. 2019. Synthesis of block/ graft copolymers based on vinyl benzyl chloride via reversible addition fragmentation chain transfer (raft) polymerization using the carboxylic acid functionalized trithiocarbonate. *J Polym Res.*, 26 (5): 1-19.
- [20] Öztürk T., Atalar M.N., Gökaş M., Hazer B. 2013. One-step synthesis of block-graft copolymers via simultaneous reversible-addition fragmentation chain transfer and ring-opening polymerization using a novel macroinitiator. *J Polym Sci A Polym Chem*, 51 (12): 2651-2659.
- [21] Öztürk T., Hazer B. 2010. Synthesis and characterization of a novel macromonomer initiator for reversible addition fragmentation chain transfer (RAFT). Evaluation of the polymerization kinetics and gelation behaviors. *J Macromol Sci Part A Pure Appl Chem*, 47 (3):2 65-272.
- [22] Şanal T., Oruç O., Öztürk T., Hazer B. 2015. Synthesis of pH- and thermo-responsive poly(ϵ -caprolactone-*b*-4-vinyl benzyl-*g*-dimethyl amino ethyl methacrylate) brush type graft copolymers via RAFT polymerization. *J Polym Res.*, 22 (2): 1-12.
- [23] Montoya-Villegas K.A., Licea-Claverie Á., Zapata-González I., Gómez E., Ramírez-Jiménez A. 2019. "The effect in the RAFT polymerization of two oligo(ethylene glycol) methacrylates when the CTA 4-cyano-4-(propylthiocarbonothioylthio) pentanoic acid is auto-hydrolyzed to its corresponding amide. *J Polym Res.*, 26 (3): 1-11.
- [24] Liu C., Ren X. 2018. Synthesis and characterization of controlled benzotriazole light stabilizer by RAFT polymerization and its application. *J Polym Res.*, 25 (4): 1-12.
- [25] Liu S., Tian L., Mao H., Ning W., Shang P., Wu J., Shi X. 2018. Micellization and sol-gel transition of novel thermo- and pH-responsive ABC triblock copolymer synthesized by RAFT. *J Polym Res.*, 25 (12): 1-12.
- [26] Braun D. 1970. Polistirenin kimyasal değişiklikleri. *Kunststoffe*, 50: 375.
- [27] Kurbanova R., Okudan A., Mirzaoglu R., Kurbanov S., Karatas İ., Ersöz M., Özcan E., Ahmedova G., Pamuk V. 1998. Effects of the functionals groups of polystyrene on its adhesion improvement and corrosion resistance. *J. Adh. Sci. Techn.*, 12 (9): 947-955.

Araştırma Makalesi / Research Article

Combination of PCA with SMOTE Oversampling for Classification of High-Dimensional Imbalanced Data

Guhdar A. A. MULLA¹, Yıldırım DEMİR^{2*}, Masoud M. HASSAN³

¹Van Yuzuncu Yil University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Statistics, Van, Turkey

²Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Statistics, Van, Turkey

³Zakho University, Faculty of Science, Department of Computer Science, Zakho, Kurdistan Region – F.R. Iraq
(ORCID: 0000-0001-6742-0083) (ORCID: 0000-0002-6350-8122) (ORCID: 0000-0003-3461-0942)

Abstract

Imbalanced data classification is a common issue in data mining where the classifiers are skewed towards the larger data class. Classification of high-dimensional skewed (imbalanced) data is of great interest to decision-makers as it is more difficult to. The dimension reduction method, a process in which variables are reduced, allows high dimensional datasets to be interpreted more easily with a certain loss. This study, a method combining SMOTE oversampling with principal component analysis is proposed to solve the imbalance problem in high dimensional data. Three classification algorithms consisting of Logistic Regression, K-Nearest Neighbor, Decision Tree methods and two separate datasets were utilized to evaluate the suggested method's efficacy and determine the classifiers' performance. Respectively, raw datasets, converted datasets by PCA, SMOTE and SMOTE+PCA (SMOTE and PCA) methods, were analyzed with the given algorithms. Analyzes were made using WEKA. Analysis results suggest that almost all classification algorithms improve their classification performance using PCA, SOMTE, and SMOTE+PCA methods. However, the SMOTE method gave more efficient results than PCA and PCA+SMOTE methods for data rebalancing. Experimental results also suggest that K-Nearest Neighbor classifier provided higher classification performance compared to other algorithms.

Keywords: Classification, Dimensionality reduction, Imbalanced classes, PCA, SMOTE oversampling.

Yüksek Boyutlu Dengesiz Verilerin Sınıflandırılması İçin SMOTE Aşırı Örneklemeye İle PCA'nın Kombinasyonu

Öz

Dengesiz veri sınıflandırması, sınıflandırıcıların daha büyük veri sınıfına doğru çarpıtıldığı veri madenciliğinde yaygın bir konudur. Yüksek boyutlu çarpık (dengesiz) verilerin sınıflandırılması, daha zor olduğundan karar vericiler için büyük ilgi görmektedir. Değişkenlerin azaltıldığı bir süreç olan boyut küçültme yöntemi, yüksek boyutlu veri setlerinin belirli bir kayıpla daha kolay yorumlanmasına olanak tanır. Bu çalışmada, yüksek boyutlu verilerdeki dengesizlik problemini çözmek için SMOTE aşırı örnekleme yöntemi temel bileşen analizi ile birleştiren bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirmek ve sınıflandırıcıların performansını belirlemek için Lojistik Regresyon, K-En Yakın Komşu, Karar Ağacı yöntemlerinden oluşan üç sınıflandırma algoritması ve iki ayrı veri kümesi kullanılmıştır. Sırasıyla, ham veri setleri, PCA, SMOTE ve SMOTE +PCA (SMOTE ve PCA) yöntemleriyle dönüştürülen veri setleri, verilen algoritmalarla analiz edilmiştir. Analizler WEKA ile yapılmıştır. Analiz sonuçları, neredeyse tüm sınıflandırma algoritmalarının PCA, SOMTE ve SMOTE+PCA yöntemlerini kullanarak sınıflandırma performanslarını iyileştirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, SMOTE yöntemi, verilerin yeniden dengelemesi için PCA ve PCA+SMOTE yöntemlerinden daha verimli sonuçlar vermiştir. Deneysel sonuçlar ayrıca K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısının diğer algoritmalara kıyasla daha yüksek sınıflandırma performansı sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Sınıflandırma, Boyut azaltma, Dengesiz sınıflar, PCA, SMOTE aşırı örnekleme.

*Corresponding author: ydemir@yyu.edu.tr

Received: 20.05.2021, Accepted: 28.07.2021

1. Introduction

One of the sciences developed to examine the phenomena in nature and solve existing or potential problems is data analysis science. Data analysis science aims to explain the subject with a certain probability by using methods and theories suitable for data structure with a limited number of observations and shed light on future research. There are many data in every science field in nature, and access to these data is getting easier day by day. However, how much of the obtained data can be used or how important it always comes to the fore. In addition to obtaining information, mankind beings consume data even in their daily work and produce more than they consume.

Due to the intensive use of data, it is necessary to classify the data to make it useful and generate new information. Classification is the grouping of a product or data according to determined distinguishing features through algorithms. It is often impossible to manually classify data. Because millions of data types are formed related to a field even in just one day, at the same time, subjecting data to many algorithms to classify, it can produce different results. The effective classification depends on which algorithm will be applied to the dataset. Thus, it is likely that not every algorithm will give the same accuracy to all datasets and that the algorithms used to model the data are too low over the dataset. In this direction, machine learning and classification algorithms come to the fore [1].

There are several different algorithms for classification that exist in the literature. Decision Tree (DT), K-Nearest Neighbor (K-NN), and Logistic Regression (LR) methods are the most important and the most common machine learning algorithms for the classification process. With experimental training data and the latest test data, all of these sophisticated classification algorithms usually have a high accuracy rate. Given the high accuracy pattern, model developers could find it challenging to develop a better classification system. In addition, the provision of such high predictive precision may mean that machine learning techniques can correctly solve almost any classification problem. However, in solving every problem, such high prediction accuracy cannot be seen [2].

One of the most difficult issues in the classification algorithms is the classification of imbalanced data. Because a problem occurs in binary classification when the sample sizes are not equal in both classes, in other words, one class has many samples called majority, while the other class has relatively few samples called minority. However, this problem may not be very important if there is very little difference between samples from the positive and negative groups. In addition, when data are imbalanced, the majority class usually considers the key features of interest to learn from while ignoring the impact of the minority in the dataset. Nonetheless, most conventional issues cannot be solved by classification algorithms, as while they are designed to achieve high overall precision, they are most likely to misclassify positive class samples, which is a disadvantage of classification under imbalanced data. To find a good answer with good precision for both the positive and negative groups has become a significant research area [3]. In order to classify imbalanced data, different oversampling or under-sampling should be used first. SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Techniques) is a technique for rebalancing a dataset. This approach provides an optimal solution to the unequal data delivery problem caused by oversampling. [4].

Another classification issue is the high dimensionality of data, where there are lots of redundant features in the dataset. Using dimension reduction methods is to reduce the irrelevant features from the data before applying any classification algorithms. A variety of data processing goals depend on the reduction of measurements. Input selection in classification problems is a mission-specific dimension reduction form. High-dimensional data visualization involves mapping to a lower dimension, usually three or less. Principal Component Analysis (PCA) is a very-well known classic method for linear dimension reduction. One performs an orthogonal transformation to correlate vectors and projects spanning the subspace corresponding to the highest eigenvalues by such eigenvectors in PCA. This conversion makes the signal unrelated components, and the projection along the high-variance directions maximizes variance while minimizing the mean squared residual between the initial signal and its dimension reduction approach [5].

This study aimed to find a solution to the sorting issue for high-dimensional, imbalanced data. In the study, the classification problem is investigated (using the PCA and SMOTE methods) by reducing unnecessary features with rebalancing simultaneously. Following this purpose, for separate imbalanced datasets where the number of samples in one group (a large percentage) is significantly higher than the number of specimens in the other class, three well-known classification algorithms (DT,

K-NN, and LR) were used (minority). According to the other majority classes, the amount of data in the minority classes is insufficient to obtain adequate information in the extremely imbalanced datasets. Weka program was used in data analysis. Thanks to this program, the data have classified by rebalancing and reducing its dimension [6].

2. Material and Method

Two separate datasets were used to evaluate the feasibility and efficiency of the proposed approaches in this research. These datasets consisted of heart disease attack and lymphography-normal-fibrosis data and were obtained from addresses <https://www.kaggle.com/johnsmith88/heart-disease-dataset> and <https://sci2s.ugr.es/keel/imbalanced.php#sub20> on 12.06.2020, respectively. Furthermore, the first dataset consists of 14 variables and 1025 data (499 negative class and 526 positive class), while the second dataset consists of 19 variables, 148 data (142 negative and 6 positive). Thus, the first dataset's imbalance rate is 2.6%, while the second is 92%. The analyzes were made with the WEKA program.

2.1. Related Literature

Classification is a significant pattern recognition activity. Many classification learning algorithms have been well evolved and successfully applied to many application domains, including decision trees, k-nearest neighbour, logistic regression, and the recently published associative grouping. The unequal class distribution of a dataset, on the other hand, has proven to be a significant challenge for most classifier learning algorithms, implying a reasonable [7].

Lorena et al. (2019), examined resampling methods and metrics that could be derived from training datasets in order to describe the difficulty of the classification problems in this paper. Their methods were also examined and discussed in recent literature, allowing for potential research opportunities in the field. Finally, definitions were given for the Extended Complexity Library (ECoL) R package, which outfits a series of complication measures and has been completed publicly accessible.

Basgall et al. (2018) paper introduce SMOTE-BD, for imbalanced sorting in Big Data, a completely scalable preprocessing method has been created. It was centered on the SMOTE algorithm, which generates new synthetic samples based on the proximity of each minority class instance, and is one of the most commonly employed preprocessing solutions for unequal categorization Their novel production was made to be self-contained.

Mohammed et al. (2020), for a new real diabetes dataset, researchers proposed a method to study, diagnose, and identify imbalanced diabetes patients using six machine learning algorithms. The new dataset, dubbed ZADA, was compiled from the medical records of approximately 7000 patients in the Iraqi city of Zakho. To address the issue of class imbalance, they suggested a classification analysis based on the three normalization methods and the resampling (SMOTE) process. Various studies were carried out to find the best algorithm with the best results based on minority class distribution. According to the findings, the resampling process and normalization techniques positively impacted the classification model performance.

2.2. Classification Algorithms

Classification is the method of deciding which semantic groups those objects belong to depending on their features [10]. It is of assigning new observed samples by examining the sample's features to an existing defined class. It can then decide the unseen cases by constructing a model from previous data [11]. It uses data mining techniques to investigate the relationship between each row's variables' values and the label given to that row. There are several different classification algorithms, such as LR, K-NN and DT. These algorithms use different representations of these relationships so that when new rows are fed to the classifier, the extracted knowledge can be applied to predict a label for that row, depending on the variable values that characterize the row. These relationships differ from one dataset to another, so it is critical that the classifiers are trained using a labeled training dataset [12]. For example, a Medical Database The training set must have previously reported relevant patient information; Whether or not the patient has a heart attack is the prediction trait. The overall theme beyond Data Mining categorization is to determine the training dataset's target class [13].

2.2.1. Logistic regression

Logistic Regression (LR) operates very much like linear regression but with a variable binomial response. This algorithm's main advantage is that you can use continuous explanatory variables, and it is simpler to use them. Simultaneously treat more than two explanatory variables. The LRA is a vector with one or more explanatory variables that can be used to investigate the implicit relationship between two reactions. The logistic variable model forecasts the X Logit Y representing a normal chances logarithm of Y for one explanatory event, the X variable with one Y binary outcome variable. The main formula of the logistic regression model can be defined as follows [14], [15].

$$\ln\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta X \quad (1)$$

The left side is referred to as the log-odds or logit. The logit in the LR model is linear in X.

$$\text{Consequently: } \pi(X) = E\left(\frac{Y}{X}\right) = \frac{e^{\alpha+\beta X}}{1 + e^{\alpha+\beta X}} \quad (2)$$

π Where π is the likelihood of the desired outcome, expressed as $X = x_1, x_2, \dots, x_k$, α is a parameter representing the Y-intercept, and β is a parameter of the slope, X can be qualitative (categorical) or quantitative variables, and Y is either measurable or categorical at all times. From basic to multiple linear regression, the equation (3) could be represented and generalized as follows:

$$\ln\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (3)$$

Therefore,

$$\pi(x) = \frac{e^{\alpha+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\dots+\beta_k x_k}}{1 + e^{\alpha+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\dots+\beta_k x_k}} \quad (4)$$

2.2.2. K-Nearest neighbor

One of the most important and straightforward grouping methods is K-Nearest Neighbor (K-NN). When there is virtually no prior information on the knowledge appropriation, it can be one of the most important decisions to analyze a classification [16].

The Euclidean distance between the defined training specimens and a reference sample is the basis for the K-NN classifier. Let x_i be an input sample with m features ($x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$), n is the cumulative number of specimens in the input ($i = 1, 2, \dots, n$) and m the total number of features [17]. The Euclidean distance between sample x_i and x_j ($j = 1, 2, \dots, n$) is defined;

$$D(x_i, x_j) = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \dots + (x_{in} - x_{jn})^2} \quad (5)$$

Where x_i and x_j are subjects to be compared with n characteristics. There are also other methods to calculate distance, such as Manhattan distance.

The value of k in the K-NN algorithms can be preferred for neighbors. The appropriate choice of k has an important influence on the K-NN algorithm for diagnostic results. A big value of k reduces the effect of random error-induced variance; however, there is a possibility that small but meaningful trends can be overlooked. The secret to choosing the correct k value is to achieve a balance from overfitting to under fitting [18].

2.2.3. Decision trees

Decision Trees (DT) are classification trees that sort samples according to the function's values. Starting from the root node, each node in a decision tree reflects a function in the specimens to be categorized, and each branch determines a value that the node can infer; samples are clustered and classified depending on their values. Decision trees are a statistical algorithm that uses a decision tree to map assumptions about an entity to the item's target value. Since decision trees are pruned utilizing a validation system, most decision tree classifiers use post-pruning techniques to test their performance. Per node may be removed and reassigned to the most popular training sample category [19].

A decision tree reflects the learned function of decision tree learning, which resembles discrete-valued target functions. These learning approaches are some of the most widely used inductive inference algorithms, and they have been effectively extended to a wide series of learning activities. Hospital training cases are diagnosed to assess the creditworthiness of loan applicants. [20].

Using a Decision Tree, we start by defining entropy, a normally used measure in information theory, to specifically identify information and gain. Provided the S list, which includes positive the entropy of (S) relative to this, and negative examples of a certain target term, Boolean scoring is defined as follows

$$Entropy(S) = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2(P_i) \quad i: 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

where S : Let S be a resource, P : A probability distribution and n : Simple Volume

So far, we've only looked at entropy in the context of Boolean target classification. If the target variable can have c different values, the entropy of S concerning this c -wise classification is known as

$$Entropy(s) = \sum_{i=1}^c -p_i \log_2 p_i \quad (7)$$

where p_i denotes the percentage of S that belongs to class i . Since entropy is a measure of predicted encoding length measured in bits, the logarithm is still in base 2. It's also worth noting that if the target variable has C possible values, the entropy will reach $\log C$.

2.3. Principal Component Analysis (PCA)

PCA is a dimensionality reduction process that employs an orthogonal transformation to convert a collection of potentially linked variables into a set of linearly uncorrelated variables known as the principal component. The original variable number is less than or equal to the principal component number. Every corresponding element has the highest possible variation under the condition that the previous component is orthogonal, and the first key factor has the most potential for variation (i.e. accounts for as much data uncertainty as possible). The main components are orthogonal, as they are the own vectors of the symmetric covariance matrix. The relative scaling of the original variables is subject to the PCA [21].

When applying the PCA, the random variables' variance is shown by the covariance matrix's eigenvalue that is located at the main diagonal of a matrix Σ . In matrix Σ the eigenvalues are sorted according to their magnitudes, from bigger to smaller. That means the PCA with bigger variance comes first. Table 1 shows the general shape of high dimensional data with N samples and m variables.

Table 1. The shape of a dataset consisting of n samples, each has m variable

		Variables			
		a_1	a_2	...	a_m
Samples	x_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
	x_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2m}
	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
	x_N	a_{N1}	a_{N2}	...	a_{Nm}

The main purpose of using the PCA is to reduce the high-dimensional data with a dimension m into a lower-dimensional data of dimension k , where $k \leq m$.

1. Let x_1, x_2, \dots, x_m be m continuous predictors. The following is a summary of fundamental element analysis input $C_{m \times m}$, the covariance matrix of x_1, x_2, \dots, x_m .
2. Calculate the eigenvectors and eigenvalues of the covariance matrix. Sort the eigenvalues (and corresponding) in descending order, $\tilde{\lambda}_1 \geq \tilde{\lambda}_2 \geq \dots \geq \tilde{\lambda}_m$.
3. Come up with new predictors. Assume the first component's aspects v_1 are $v_{11}, v_{22}, \dots, v_{1m}$, then the new derived predictors are $\frac{v_{11}}{\sqrt{\tilde{\lambda}_1}}x_1 + \frac{v_{12}}{\sqrt{\tilde{\lambda}_1}}x_2 + \dots + \frac{v_{1m}}{\sqrt{\tilde{\lambda}_1}}x_m$.

2.4. Class Imbalance Problem

Through the data mining process' pattern extraction stage, learning algorithms are commonly used. Since this is real-world data, there have been several difficulties in implementing current and well-learning algorithms. Numerous learning algorithms are based on the premise of evenly distributed class distributions or no significant variations in class prior probabilities. Nevertheless, in real-world data, one class may not always be represented by many instances, while a few may only describe the other.

According to several studies, there are 1% class inequalities in the minority class and 99 percent and higher in the majority class. Learning algorithms in these situations attempt to generate classifiers with incredibly low overall error rates by categorizing each conceptual model as contributing to the majority class. These classifiers are ineffective because the minority class with rare cases is most concerned with an accurate prediction. Several concepts extend an algorithmic approach to class inequality by adapting current algorithms and strategies to skewed results' unique features. Such principles include cost-sensitive preparation, one-class classificatory, and classifier ensembles. The goal of cost-sensitive learning is to lower misclassification costs. Class inequality may be handled similarly by allocating higher classification expenses to classes identified by just a few examples [22].

There are different methods to solve the imbalance problem, and the most common one is the SMOTE method.

2.4.1. SMOTE method

The Synthetic Minority Over-Sampling Technique (SMOTE) is a synthetic data generation over-sampling technique. Its key concept is to interpolate between many examples of minority classes lying together to generate new examples of minority classes. SMOTE, to be more specific, chooses a group, E_i , and its neighbors at random. A new example is generated using the equation below, using an example E_i from the nearest neighbor set:

$$E_{new} = E_i + (E_j - E_i)\delta \quad (8)$$

Where δ is fixed in the interval selected at random (0,1). SMOTE could enlarge the minority class's space by enabling the development of synthetic instances that stretch deeper into the prevailing class's space so the preferred closest neighbor could be like a class other than E_i [23].

A basic example of SMOTE method is shown in Figure 1. The sample x_i from the minority class is chosen as the basis for generating new synthetic data points. Focused on the distance metric is selected, with several nearest neighbors of the same class (points x_{i1} to x_{i4}). Finally, simultaneous interpolation is used to generate new specimens r_1 to r_4 .

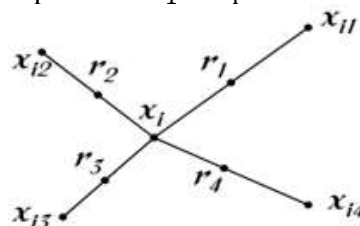


Figure 1. An example of how the SMOTE algorithm generates synthetic data points

2.5. Design of the Proposed Classification Model

Classification of high-dimensional data with class imbalance problem is of great interest to researchers in different science fields. Dealing with these two problems (high-dimensionality and class imbalance) for classification algorithms is challenging yet very beneficial. This thesis proposed a new method based on combining two well-known techniques: (PCA for dimensionality reduction) and (SMOTE for rebalancing) to tackle these two problems together. Figure 2 shows the proposed method's diagram to choose the best classification model, compare classification results before and after using dimensionality reduction by PCA as dimensionality reduction, compare the classification results, and rebalance the dataset the SMOTE oversampling method. The method starts with using the original dataset, and then we will check if it is imbalanced. If the dataset is imbalanced, then we will balance it by using the SMOTE method. After this process, we will use PCA to reduce the dimensionality of the data. But if the dataset is already balanced then we will directly use the PCA. After the data have been rebalanced and their dimensionality is reduced, we will split the dataset into training and testing to find out the training percentage, which is 66%, along with the testing percentage, which is 34%. By the end of this process, we will classify the dataset using the three classification algorithms which are (LR, K-NN and DT). Thus, we will evaluate all three classification models using their evaluating measurements: Accuracy, F-measure, ROC area (the area under the ROC curve). We used ten-fold cross-validation for evaluation: the knowledge was automatically split into ten pieces of equal size, and the training and testing procedure was carried out ten times, each component being the test data once and the remaining pieces for training. After preparing the data for classification and the assessment, our method gives each test record to the most likely class. The next and last step is to compare them separately by comparing classification performance before and after using the PCA, SMOT and combined SMOT with PCA according to the evaluating of the classification models to determine if the classification models' accuracy has been improved or not.



Figure 2. Design of the proposed classification model

To check each classification model's efficiency and performance, we use the confusion matrix (defined below) to calculate different evaluation metrics as follows.

Accuracy

Classification data mining algorithms have been suggested as a fitness method to evaluate and subset generated in this analysis. The following is the method for calculating the precision of each subset:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} * 100$$

Where false negative (FN) denotes a positive sample that has been wrongly categorized as negative, true positive (TP) means that a promising case was properly classified, false positive (FP) denotes the incorrect classification of a negative example as positive, and true negative (TN) denotes the correct classification of a negative example as negative.

F-Measure

You can't skip the other metric, F- Measure, that is Precision and Recall's function, if you read a lot of other research on Precision and Recall. The following is the formula:

$$F - Measure = 2 * \frac{precision * recall}{precision + recall}$$

When you need to find a balance between accuracy and memory, this is the tool to use, you'll need F-measure. So, what exactly is the distinction between F-measure and Accuracy? We've shown that a large number of True Negatives will contribute significantly to accuracy, which we don't focus on too often in most business situations, while False Negative and False Positive typically have business costs (tangible and intangible), since we need to consider a balance between Precision and Recall and there is an unequal class distribution, the F-measure could be a safer test to use (large number of Actual Negatives).

ROC Area

An ROC region (receiver operating characteristics curve) is a graph that displays the efficiency of a classification system over all classification levels True Positive Rate (*TPR*) is a synonym for recall and is therefore defined as follows:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

False Positive Rate (*FPR*) is defined as follows:

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

An ROC curve plots *TPR* vs. *FPR* at diverse classification thresholds. As the rating criterion is lowered, more objects are classified as positive, growing both False Positives and True Positives.

3. Results and Discussion

During this study, there were 4 different methods have been applied to the data under study. The four methods include: (1) classification of raw data, (2) classification with the use of PCA, (3) classification with the use of the SMOTE, and (4) classification with the use of the combination of both, SMOTE and PCA. Each of these methods was applied using all three algorithms: LR, K-NN, and DT. When we used LR algorithms, we set the ridge value in the log-likelihood was 1.0E-8 and the dataset was divided into 10 folds for cross-validations. For the K-NN algorithms we used k=1, and the dataset divided to 10 cross-validations. When we used DT algorithms, the confidence factor used for pruning was 0.25 and determined the amount of data used for reduced-error purring 3. The first dataset was reduced to 7 ranker variables when using the PCA method, while the second dataset was reduced to 10 ranker variables. The

variance covered that we used in PCA method was 0.95. On the other hand, when we applied the SMOTE method, we used $k=5$ and the seed used for random sampling was equal to 1, the percentage of SMOTE sample to create was equal to 100%.

The precision, F-measure, and ROC region measurements were measured for testing the efficiency of the three classification algorithms prior even after using dimensionality reduction and rebalancing data techniques, as shown in Table 2.

Table 2. Comparing the performance of the classification algorithms using for dataset 1

Algorithms	Raw Data			PCA			SMOTE			PCA + SMOTE		
	Acc.	F	ROC	Acc.	F	ROC	Acc.	F	ROC	Acc.	F	ROC
LR	79.7	79.7	89.7	79.7	79.7	89.7	99.4	99.4	99.2	83.2	83.1	91.2
K-NN	100	100	100	99.7	99.7	99.3	99.8	99.8	100	99.5	99.5	99.6
DT	83.9	83.8	88.9	85.1	85	90.1	96.1	96.2	97.8	97.9	97.9	98.9

According to Table 2, for the raw data, the highest Accuracy, F-measure and ROC area rate of 100%, 100% and 100% were obtained in K-NN, respectively; According to the three measurements calculated, the lowest rates as 79.7%, 79.7% and 89.7% were obtained in LR respectively. However, when the PCA dimensionality reduction method was used, we can see that the highest Accuracy and F-measure ROC area rates of 99.7%, 99.7%, and 99.3% were obtained K-NN, respectively. When the SMOTE oversampling method was applied, the highest Accuracy, F-measure and ROC rate of 99.8% 99.8%, 100% were obtained in K-NN, respectively. On the other hand, when the two methods (PCA + SMOTE) were simultaneously applied, we can see that the classification performances were further improved for almost all the classifications algorithms used, and the highest accuracy, F-measure and ROC rates of 99.5%, 99.5%, and 99.6% were obtained in K-NN algorithm, respectively. Looking at Table 2 results in more details, we can see that after reducing the dimensionality and rebalancing data, the performances of the classification algorithms have significantly improved. This shows the importance of our proposed method for dealing with high dimensionality data under the imbalance problem.

Figure 3 shows each classification algorithms' performance for Dataset 1, before and after using PCA, SMOTE, and PCA+SMOTE using Accuracy (Acc.), F-measure (F) and ROC metrics.



Figure 3. Performance of each classification algorithms for Dataset 1

According to the shape of the LR algorithm given in Figure 3, it is obvious that there is a higher improvement of Accuracy, ROC area and F-measurement methods when using SMOTE method. The results of the K-NN algorithm figure showed that after using all three methods, the results were worst, and this is because this algorithm has already provided optimal results that do not require any further improvement. When applying the DT algorithms with the three methods we used, the classification performance of almost all the classifiers was better with either one of the three methods.

Table 3 shows the performance of the three classification algorithms for Dataset 2, before and after using PCA, SMOTE, and PCA+SMOTE methods to deal with the imbalance problem with high-dimensional data.

Table 3. Comparing the performance of the classification algorithms using for dataset 2

Algorithms	Raw Data			PCA			SMOTE			PCA + SMOTE		
	Acc.	F	ROC	Acc.	F	ROC	Acc.	F	ROC	Acc.	F	ROC
LR	97.2	97.5	97.8	98.6	98.6	99.4	98	98.1	96.6	98.7	98.8	99.9
K-NN	98.6	98.5	89	99.3	99.3	93.3	98.7	98.6	97.2	99.3	99.3	98.3
DT	97.9	97.6	54.7	97.2	97.5	91.2	96.1	95.9	83	98.7	98.8	99.2

According to Table 3, for the raw data, the highest Accuracy and F-measure rate of 98.5% and 98.5 were obtained in K-NN respectively, but the highest ROC area performance rate of 97.8% was obtained in LR. When using the PCA method, K-NN and LR have shown significant improvement in classification performance, while this method has not provided effective DT effectiveness. With the SMOTE method, LR and K-NN classifiers provided better results than DT classifiers and the DT gave the worst results. However, when the combination of (PCA+SMOTE) is used, all the classification algorithms have improved the evaluation metrics used. Looking at Table 3 results in more details, we can see that after reducing the dimensionality and rebalancing data, the classification algorithms' performances have significantly improved. This shows the importance of our proposed method for dealing with high dimensionality data under the imbalance problem.

Figure 4 shows each classification algorithms' performance for Dataset 2, before and after using PCA, SMOTE, and PCA+SMOTE.

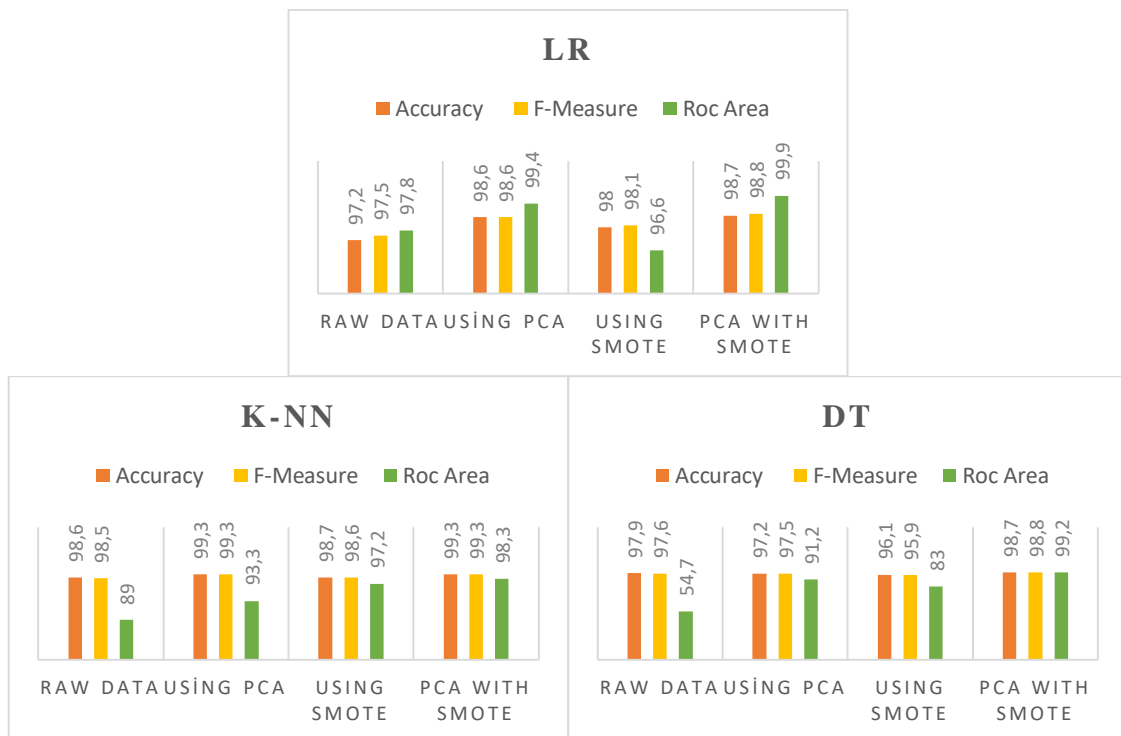


Figure 4. Performance of each classification algorithms for Dataset 2

In the Figure 4, For the LR algorithm, we can see that the Accuracy, F-measure and ROC are increased to 98.6%, 98.6% and 99.4%, respectively, in PCA method. When we used SMOTE method and the combination of PCA with SMOTE method, the LR algorithm has been improved. Using the PCA method, the K-NN algorithm has provided better results, but the DT algorithm has the worst results. While using the SMOTE method, the K-NN algorithm increases the classification results, but the results were decreased in the DT algorithm. The results in K-NN and DT have improved when the PCA's combined method with SMOTE is applied.

4. Conclusion and Recommendations

The issue was argued by decreasing the number of unnecessary features (using the PCA method of reducing dimensionality) and thus re-balancing data (using the SMOTE method). Hence, the health sector will benefit by developing a strategy for rapid and more accurate model identification to identify and address, along with efficient implementation [24].

Results on the three different classification algorithms for two imbalanced high-dimensional data showed that all classification algorithms have enhanced the classification performance of datasets using either PCA, SOMTE, or PCA+SMOTE methods. However, the preferred classification algorithm with the highest performance compared to others, varied from dataset to another. The first dataset's experimental results demonstrated that the best classification model was K-NN when normal classification, PCA, SMOTE, and PCA+SMOTE methods were used. However, in case of PCA, SMOTE and PCA+SMOTE methods, the results obtained from K-NN were not very good compared to other algorithms. On the other hand, when the PCA method was used, the DT algorithm's accuracy was improved, but K-NN and LR models did not show that improvement. Additionally, the other two classification algorithms' performances except the K-NN algorithm have been improved when using the SMOTE and PCA+SMOTE methods.

All algorithms showed improvement in SMOTE, PCA, and combined (PCA with SMOTE) methods in dataset 2. In this dataset, the best results for the raw data and the other three methods were obtained from the K-NN algorithm. When using PCA combined with SMOTE and SMOTE methods, all three algorithms showed significant improvement.

The experimental results from analyzed data indicated that when using PCA, SOMTE, or PCA+SMOTE methods, datasets classification performance is improved. However, when using these three methods, the K-NN model showed higher performance than the other two algorithms [4].

This study will contribute to the studies to be done with high dimensional unbalanced data in different fields. As a result, future research might focus on extending this approach to other real-world issues. Thus, besides an effective application in the field of health, it will be beneficial by developing an effective strategy in diagnosing and defining more accurate models in diagnosis and diagnosis.

Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics

References

- [1] Baran M. 2020. Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Çoklu Etiketli Verilerin Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosya Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- [2] Lorena A.C., Garcia L.P.F., Lehmann J., Souto M.C.P., Ho T.K. 2019. How Complex is Your Classification Problem?: A Survey on Measuring Classification Complexity. ACM Computing

- Surveys, 52 (5): 1–34.
- [3] Tahir M.A.U.H., Asghar S., Manzoor A., Noor M.A. 2019. A Classification Model for Class Imbalance Dataset Using Genetic Programming. *IEEE Access*, 7: 71013-71037.
- [4] Mustafa N., Li J.P., Memon E.R.A., Omer M.Z. 2017. A Classification Model for Imbalanced Medical Data based on PCA and Farther Distance based Synthetic Minority Oversampling Technique. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8 (1): 61-67.
- [5] Kambhatla N., Leen, T.K. 1997. Dimension Reduction by Local Principal Component Analysis. *Neural Computation*, 9 (7): 1493-1516.
- [6] Hall M., Frank E., Holmes G., Pfahringer B., Reutemann P., Witten I.H. 2009. The WEKA Data Mining Software: An Uptade. *SIGKDD Explorations*, 11 (1): 10-18.
- [7] Sun Y., Wong A.K.C., Kamel M.S. 2009. Classification of Imbalanced Data: A Review. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 23 (4): 687-719.
- [8] Basgall M.J., Hasperu  W., Naiouf M., Fern andez A. 2018. SMOTE-BD: An Exact and Scalable Oversampling Method for Imbalanced Classification in Big Data. *Journal of Computer Science & Technology*, 18 (3): 203-209.
- [9] Mohammed A.J., Hassan M.M., Kadir D.H. 2020. Improving Classification Performance for a Novel Imbalanced Medical Dataset using SMOTE Method. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (3): 3161-3172.
- [10] Mythili M.S., Shanavas A.R.M. 2014. An Analysis of Students' Performance using Classification Algorithms. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 16 (1): 63-69.
- [11] Iyer A., Jeyalatha S., Sumbaly R. 2015. Diagnosis of Diabetes Using Classification Mining Techniques. *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, 5 (1): 1-14.
- [12] Agrawal S., Agrawal J. 2015. Survey on Anomaly Detection using Data Mining Techniques. *Procedia Computer Science*, 60 (1): 708-713.
- [13] Haghanikhameneh F., Shariat Panahy P.H., Khanahmadliravi N., Mousavi S.A. 2012. A Comparison Study between Data Mining Algorithms over Classification Techniques in Squid Dataset. *International Journal of Artificial Intelligence*, 9 (12): 59-66.
- [14] Peng C.Y.J., Lee K.L., Ingersoll G.M. 2002. An Introduction to Logistic Regression Analysis and Reporting. *Journal of Educational Research*, 96 (1): 3-14.
- [15] Yıldız M., Bozdemir M.N., Kılı aslan I., Ate elik M., G rb z  ., Mutlu B., Onur M.R., G rger M. 2012. Elderly trauma: The two years experience of a University-affiliated Emergency Department. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 16 (SUPPL.1): 62-67.
- [16] Samanthula B.K., Elmehdwi Y., Jiang W. 2015. K-Nearest Neighbor Classification over Semantically Secure Encrypted Relational Data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 27 (5): 1261-1273.
- [17] Fix E., Hodges J.L. 1951. Discriminatory Analysis: Nonparametric Discrimination, consistency properties. Prepared at the University of California, Contract No, AF41, Texas. 43.
- [18] Zhang Z. 2014. Too much covariates in a multivariable model may cause the problem of overfitting. *Journal of Thoracic Disease*, 6 (9) E196-E197.
- [19] Osisanwo F.Y., Akinsola J.E.T., Awodele O., Hinmikaiye J.O., Olakanmi O., Akinjobi J. 2017. Supervised Machine Learning Algorithms: Classification and Comparison. *International Journal of Computer Trends and Technology*, 48 (3): 128-138.
- [20] Mitchell T.M. 1999. *Machine Learning and Data Mining*. To Appear in *Communications of the ACM*, 42 (11): 1-13.
- [21] Mohammed M., Khan M.B., Bashier E.B.M. 2017. *Machine Learning Algorithms and Applications*. Crc. Press, Bota Raton, 1-212.
- [22] Prati R.C., Batista G.E., Monard M. 2009. Data mining with imbalanced class distributions: Concepts and methods. 4th Indian International Conference on Artificial Intelligence (IICAI-09), 16-18 December 2009, Tumkur India, 359-376.
- [23] Chawla N.V., Bowyer K.W., Hall L.O., Kegelmeyer W.P. 2002. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16: 321-357.
- [24] Naseriparsa M., Kashani M.M.R. 2013. Combination of PCA with SMOTE Resampling to Boost the Prediction Rate in Lung Cancer Dataset. *International Journal of Computer Applications*, 77 (3): 33-38.

Araştırma Makalesi / Research Article

Azot-Katkılı 3 Boyutlu Grafen Mimari Üzerinde Desteklenen Paladyum Nanopartiküllerin Doğrudan Metanol Yakıt Hücrelerinde Elektrokatalizör Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Onur KARAMAN*

*Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, Antalya
(ORCID: 0000-0003-3672-1865)*

Öz

Yüksek elektroaktif özelliğe sahip elektrokatalizörlerin tasarımı, yüksek güç yoğunluğuna sahip taşınabilir yakıt hücresi sistemlerinin geliştirilmesinde kritik bir nokta olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, doğrudan metanol yakıt hücresinde elektrokatalizör olarak kullanılabilir azot-katkılı 3-boyutlu grafen (N-3DG) mimarisi ile desteklenen Paladyum (Pd) nanoparçacıklarının sentezi için kolay ve düşük maliyetli bir üretim yöntemi önerilmiştir. Güçlü sinerjik etkilerin yanı sıra benzersiz yapısal özelliklere sahip olan Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörü, metanol elektrooksidasyonuna karşı, ticari Pd elektrokatalizöründen (Pd/Vulcan XC-72R) daha yüksek anodik tepe akım yoğunluk değerleri ve daha yüksek katalitik kararlılık gibi üstün elektrokatalitik performans sergilemiştir. Bu çalışma, yakıt pili teknolojisinde ticari Pd elektrokatalizörlerine alternatif olarak kullanılabilir yüksek performanslı, düşük maliyetli elektrokatalizörlerin üretilmesi için yeni bir yaklaşımın yolunu açmaktadır.

Anahtar kelimeler: Azot Katkılı Grafen, 3 Boyutlu Grafen, Elektrokatalizör, Doğrudan Metanol Yakıt Hücresi, Metanol Oksidasyonu, Paladyum Nanoparçacıkları.

Investigation of The Potential Usage of Palladium Nanoparticles Supported on Nitrogen Doped 3 Dimensional Graphene Architecture As Electrocatalysts in Direct Methanol Fuel Cells

Abstract

The engineering of highly electroactive electrocatalysts is considered a critical point in the development of high power density portable fuel cell systems. In this study, a facile and low-cost fabrication method for the synthesis of Pd nanoparticles supported by nitrogen-doped 3-dimensional graphene (N-3DG) architecture, which can be used as an electrocatalyst directly in methanol fuel cell, is proposed. Pd/N-3DG hybrid electrocatalyst, which has unique structural properties as well as strong synergistic effects, exhibited superior electrocatalytic performance towards methanol electrooxidation, such as higher anodic peak current density values and higher catalytic stability than the commercial Pd electrocatalyst (Pd/Vulcan XC-72R). This study paves the way for a novel approach for fabricating high-performance, low-cost electrocatalysts that may be utilized as an alternative to commercial Pd electrocatalysts in fuel cell technology.

Keywords: Nitrogen Doped Graphene, 3 Dimensional Graphene, Electrocatalyst, Direct Methanol Fuel Cell, Methanol Oxidation, Palladium Nanoparticles

1. Giriş

Son yıllarda, gelişen endüstriyelleşme ve nüfus artışına bağlı olarak artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların yanması sonucu oluşan çevre kirliliği gibi sorunlar yakıt hücresi sistemleri gibi alternatif enerji dönüşüm sistemlerine olan ilgiyi beraberinde getirmiştir [1-3]. Yakıt hücreleri, harici yakıt (anot

*Sorumlu yazar: onurkaraman@akdeniz.edu.tr

Geliş Tarihi: 10.06.2021, Kabul Tarihi: 12.08.2021

tarafı) ve oksitleyici (katot tarafı) ile elektrik üreten elektrokimyasal reaksiyon yoluyla bir yakıtın enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir [4]. Yakıt hücresinde gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonlar, katalizör-elektrolit ara yüzeyinde meydana gelir [5,6]. Çeşitli yakıt hücresi türleri arasında, doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC), kolay cihaz yapıları, daha yüksek enerji dönüşüm verimliliği, daha düşük çalışma sıcaklığı, daha az tehlikeli gaz emisyonu ve sıvı yakıtların daha uygun depolanması ve taşınması gibi avantajlar nedeniyle son derece umut verici enerji dönüşüm sistemleri olarak kabul edilmektedir [7].

Doğrudan metanol ve formik asit yakıt hücreleri gibi bir sıvı yakıt kaynağı kullanan sıvı-beslemeli yakıt pilleri, anotta yakıt oksidasyonu reaksiyonu ve katotta oksijen indirgeme reaksiyonu için elektrokatalizör gerektiren elektrokimyasal hücrelerdir [8]. Yüksek enerji yoğunluğu başta olmak üzere çeşitli faydalar sunmalarına rağmen, sıvı beslemeli yakıt hücreleri, hidrojen oksidasyon reaksiyonuna kıyasla yavaş anot yakıt oksidasyon kinetiği nedeniyle hala dezavantaja sahiptir [9]. Yakıt hücresinin sunacağı enerji yoğunluğu doğrudan kullanılan elektrot katalizörünün elektrokimyasal aktivitesi ile ilişkilidir. Platin, Paladyum, Rutenyum, Rodyum gibi soy metaller ve soy metal-temelli alaşımların, benzersiz katalitik özelliklerinden dolayı yakıt hücreleri için en yaygın kullanılan anot elektrokatalizörleri olduğu bilinmektedir [10]. Bununla birlikte, soy metal-temelli elektrokatalizörlerin sınırlı kaynakları, yüksek maliyetleri ve düşük CO veya metanol zehirlenme toleransları, yakıt hücrelerinin büyük ölçekli ticari uygulamalarını büyük ölçüde engellemektedir. Bu nedenle, ticari soy metal elektrokatalizörlerle kıyaslanabilir performansa ve daha yüksek CO ve metanol toleransına sahip düşük maliyetli alternatif elektrokatalizörlerin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda yürütülen teorik ve deneysel araştırmalar, daha düşük maliyetli Pd-temelli anot katalizörlerinin, Pt-temelli elektrokatalizörlerinden daha yüksek elektrokatalitik aktiviteye ve daha üstün CO toleransına sahip olabileceğini göstermiştir. Bahsedilen sorunları önlemek için önerilebilecek stratejilerden biri de Pd nanoparçacıklarını geniş spesifik yüzey alanı ve iyi elektrik iletkenliğe sahip uygun destek katalizör üzerine dekore etmektir. Bu amaçla, Pd nanokristallerinin boyutlarını ve morfolojisini kontrol etmek, kararlılığını artırabilmek için karbon nanotüpler, karbon nanofiberler, karbon siyahı ve grafen de dâhil olmak üzere çeşitli karbon temelli malzemeler destek katalizör olarak kullanılabilir [11-14]. Bu karbon malzemeler arasında, sp² hibrit karbon atomlarından oluşan iki boyutlu bir nanomalzeme olan grafen, son derece yüksek spesifik yüzey alanı, mükemmel elektriksel iletkenliği ve üstün kimyasal kararlılığı nedeniyle en umut verici destek katalizörlerden biri olarak düşünülmektedir [6]. Ancak, grafen katmanlarının yeniden istiflenmesi ve aglomerasyon sorunu, yüksek elektrokatalitik aktiviteye sahip iki boyutlu (2B) grafen yapılarının sentezinin önündeki ana engeldir. Öte yandan, üç boyutlu (3D) grafen mimariler, birbirine bağlı hiyerarşik sıralı gözenek yapısı, bol aktif bölgelere sahip geniş spesifik yüzey alanı, üstün elektrik iletkenliği ve elektrokimyasal erişilebilir yüzey alanı, hafifliği ve üstün mekanik özellikleri sayesinde birçok üstünlüğe sahiptir [2]. Bununla birlikte, grafen yapıları heteroatomların (azot, kükürt, bor, vb.) katkısı ile elektronik yapı ve elektrokimyasal aktivitesinin iyileştirilmesinin yanı sıra özellikle soy metal nanoparçacıklarının boyutlarını kontrol etmesi, metal ve karbon destekler arasındaki etkileşimi güçlendirmesi beklenmektedir [2, 15, 16]. Yapılan çalışmalar, grafen mimariye heteroatom katkılanması ile çok daha fazla elektroaktif bölge sağlanabileceğini ve bu sayede daha üstün elektrokatalitik performans sunabileceğini göstermiştir [2]. Bu kapsamda, düşük maliyetli üstün performanslı gelişmiş yakıt hücresi sistemlerinin tasarlanabilmesi için büyük bir potansiyel sunacak olan Pd nanoparçacık ve heteroatom katkılı 3D grafen mimariden oluşan yüksek performanslı hibrit elektrot katalizörlerinin üretimi büyük önem taşımaktadır. Bilindiği kadarıyla, şimdiye kadar Pd/N-katkılı 3D grafen hibrit elektrokatalizörlerinin üretimi ve doğrudan metanol yakıt hücresi anot elektrokatalizörü olarak kullanılabilirliği üzerine az sayıda çalışma rapor edilmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak, bu çalışmada, Pd nanoparçacık dekore edilmiş N-katkılı 3D grafen elektrokatalizörler hidrotermal/solvotermal üretim yöntemi ile üretilmiş, fizikokimyasal karakterizasyonu gerçekleştirilmiş ve elektrokatalitik metanol oksidasyonu araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. N-Katkılı Grafen Nanotabakalarının Sentezlenmesi

İlk olarak, grafen oksit (GO), daha önceki çalışmada tarif edildiği gibi modifiye Hummers yöntemiyle ticari grafit tozundan hazırlanmıştır [2]. Ardından, N atomunun, grafen yapı üzerine katkılanması için,

50 mL GO (0.5 mg.mL^{-1}) sulu dispersiyonuna 50 mg üre eklenerek, 2 saat boyunca ultrasonik banyoda dispersiye edilmiştir. Elde edilen GO-üre dispersiyonu, Teflon kaplı paslanmaz çekik otoklav reaktöre aktarıldı ve $160 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 8 saat reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Hidrotermal reaksiyon ile yapıdaki N atomlarının, GO yüzeyindeki fonksiyonel gruplarla etkileşime girmesi ve grafen katmanlarındaki karbon kafeslerine katılanması sağlanmıştır. Aynı zamanda, GO'nun hidrotermal kendiliğinden birleşme yoluyla, grafene indirgenerek istenen N-katkılanmış 3D grafen nano tabakaları (N-3DG) elde edilmiştir.

2.2. Pd/N-3DG Hibrit Elektrokatalizörlerinin Üretilmesi

Hidrotermal yöntemle üretilen N-3DG (20 mg), homojen bir dispersiyon oluşturmak üzere 40 ml etilen glikol ve 40 ml deiyonize su içinde ultrasonik olarak dağıtılmıştır. Ardından, K_2PdCl_4 çözeltisi (0.1 M, 0.50 mL), N-3DG dispersiyonuna eklendikten sonra elde edilen karışım 30 dk manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra, elde edilen reaksiyon karışımı, Teflon kaplı paslanmaz çelik otoklava aktarılarak, 120°C 'de 15 saat belktilmiştir. Elde edilen nihai ürün (Pd/N-3DG) santrifüjlenerek ayrılmıştır. Son olarak, Pd/N-3DG, etilen ve deiyonize su ile yıkandı ve daha sonra 24 saat boyunca dondurularak kurutulmuştur. Karşılaştırma için, ticari Vulcan XC-72R üzerinde desteklenen Pd nanoparçacıklar (Pd/C), aynı yöntemle hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm katalizörlerin paladyum içeriği ağırlıkça $\sim 20\%$ 'dir.

2.3. Elektrokatalizörlerin Yapısal Karakterizasyonu

Hazırlanan elektrokatalizörlerin yüzey morfolojisi ve nanoyapıları, taramalı elektron mikroskobu (SEM, ZEISS EVO 50 SEM) ve yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu (HRTEM, JEOL JEM-2100) ile araştırılmıştır. Numunelerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri, Rigaku (Ultima-IV) X-ışını kırınım ölçeri ($\lambda=0,154 \text{ nm}$) ile elde edilmiştir. Numunelerin X-ışını fotoelektron spektrumları (XPS), Thermo ESCALAB 250 XPS cihazı ile kaydedilmiştir.

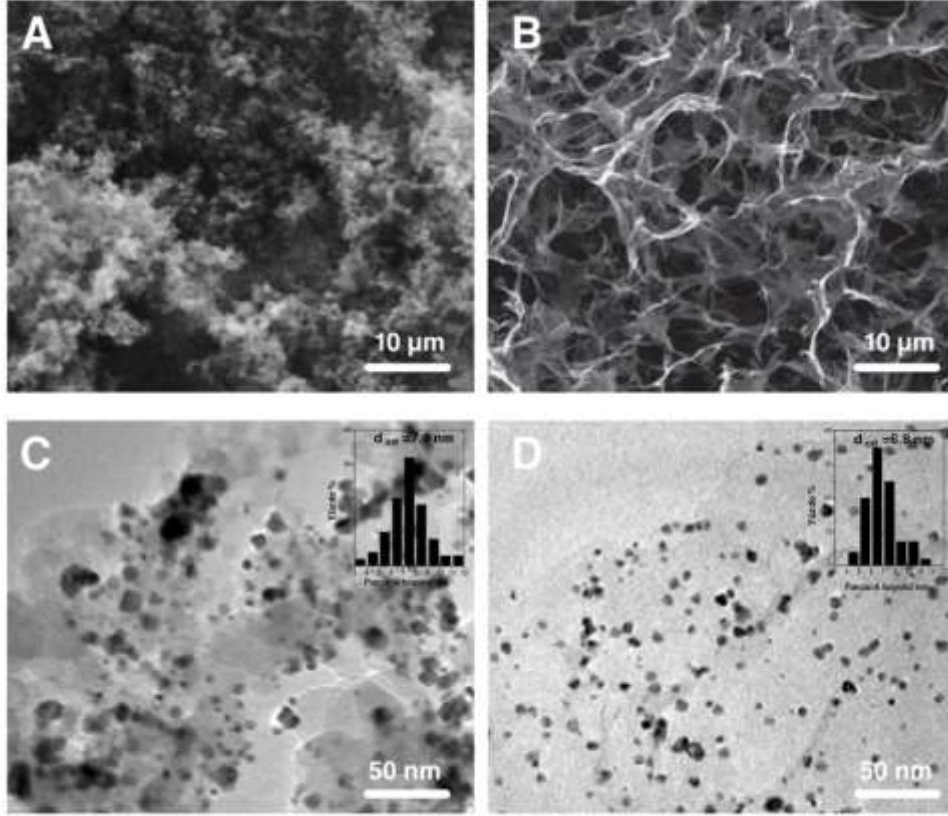
2.4. Elektrokatalitik Performans Karakterizasyonu

Üretilen Pd/N-3DG ve Pd/C elektrokatalizörlerinin elektrokatalitik performansı, Gamry Reference-600 elektrokimyasal iş istasyonunda test edilmiştir. Tipik bir üç elektrotlu elektrokimyasal hücrede, karşı elektrot olarak Pt-tel ve referans elektrot olarak doygun klomel elektrot (SCE) kullanılarak metanol oksidasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma elektrotu olarak katalizör mürekkebi ile modifiye edilmiş camsı karbon elektrot (GCE) kullanılmıştır. GCE modifikasyonu için, 2 mg katalizör tozu, homojen bir dispersiyon oluşturmak üzere 30 dakika boyunca ultrasonikasyon ile 500 μL su, 500 μL etanol ve 50 μL %5 Nafion 117 çözeltisi içinde dağıtılarak katalizör mürekkebi elde edilmiştir. Daha sonra, elde edilen katalizör mürekkebinin 5 μL 'si dikkatli bir şekilde GC elektrot yüzeyine kaplanmış ve kaplama oda sıcaklığında kurutulmuştur. Tüm elektrotlar üzerindeki Pd yükleme miktarı $\sim 0.028 \text{ mg.cm}^{-2}$ olarak standardize edilmiştir. Metanol oksidasyonu için döngüsel voltametri (CV) ölçümleri, 0.5 M NaOH + 1.0 M metanol elektrolitinde 50 mV.s^{-1} potansiyel tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Elektrokatalizörlerin, dayanıklılık (3000 s) ölçümleri için metanol oksidasyonunun kronoamperometri (CA) ölçümleri aynı elektrolit çözeltisinde 0.2 V'ta elde edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

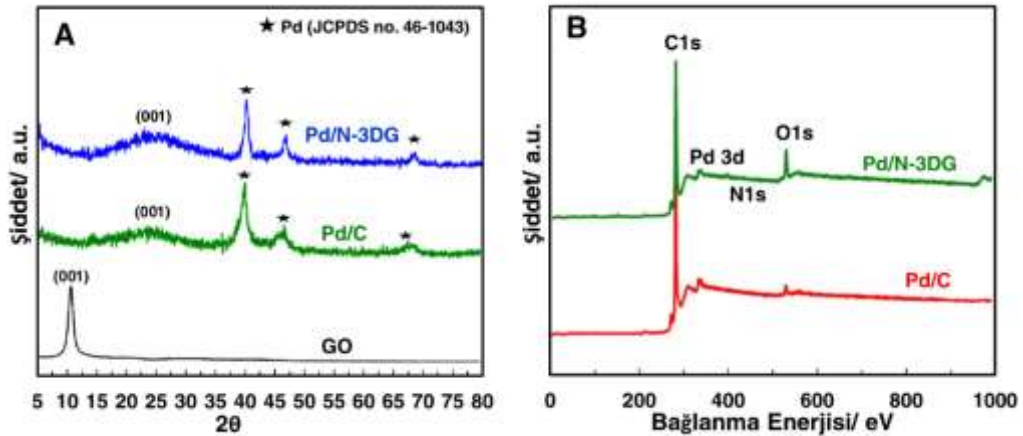
3.1. Elektrokatalizörlerin yapısal karakterizasyonu

Pd/C ve Pd/N-3DG elektrokatalizörlerine ait FE-SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 1A ve Şekil 1B'de sunulmuştur. Pd/C'ye ait SEM görüntüsü (Şekil 1A) amorf karbon yapısı sergilerken, hidrotermal olarak sentezlenmiş Pd/N-3DG, mikro ve makro gözenekli, birbirine bağlı 3D gözenekli bir mimari sergilemektedir. Elektrokatalizörlere ait TEM görüntüleri yarı-küresel yapıdaki Pd nanoparçacıklarının karbon destek üzerinde rastgele homojen olarak dağılmış olduğunu kanıtlamaktadır (Şekil 1C ve Şekil 1D). Pd/C elektrokatalizörü için hesaplanan ortalama partikül boyutu (d_{ort}) 7.9 nm iken Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörü için bu değer 6.8 nm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Sırasıyla Pd/C ve Pd/N-3DG elektrokatalizörlerine ait (A)-(B) SEM görüntüleri, (C)-(D) TEM görüntüleri (C-D şekil içi Pd parçacık boyutu dağılımları sunulmuştur)

Elektrokatalizörlerin ve GO'nun kristal yapısındaki hakkında bilgi X-ışını kırınım (XRD) analizi ile incelendi (Şekil 2A). Şekil 2A, Pd/N-3DG, Pd/C ve GO örneklerinin XRD spektrumlarını göstermektedir. GO'ya ait XRD spektrumunda görüldüğü gibi, yaklaşık $2\theta=10.5^\circ$ 'de bulunan keskin kırınım tepe noktası (001) düzlemindeki yansıma ile ilişkilidir ve doğal grafit (0.34 nm) ile karşılaştırıldığında esas olarak oksijenli fonksiyonel grupların varlığı nedeniyle çok daha büyük tabaka aralığına (~ 0.87 nm) sahip olduğu gözlenmiştir [2]. Pd/N-3DG ve Pd/C elektrokatalizörleri için, bu karakteristik zirve, sentez işlemi sırasında GO tabakalarında yer alan oksijenli fonksiyonel grupların uzaklaştığının göstergesi olan geniş bir profil ile $2\theta=25.0^\circ$ 'a kaymıştır. Ayrıca, Pd/N-3DG ve Pd/C'de yaklaşık $2\theta=39.8^\circ$, $2\theta=46.2^\circ$ ve $2\theta=67.7^\circ$ 'de gözlenen diğer üç kırınım zirvesi, kübik yapıdaki metalik Pd'nin sırasıyla (111) düzlemi, (200) düzlemi ve (220) düzlemine atfedilebilir (JCPDS no. 46-1043) [17].



Şekil 2. Pd/C ve Pd/N-3DG elektrokatalizörlerine ait (A) XRD ve (B) tam tarama XPS spektrumları

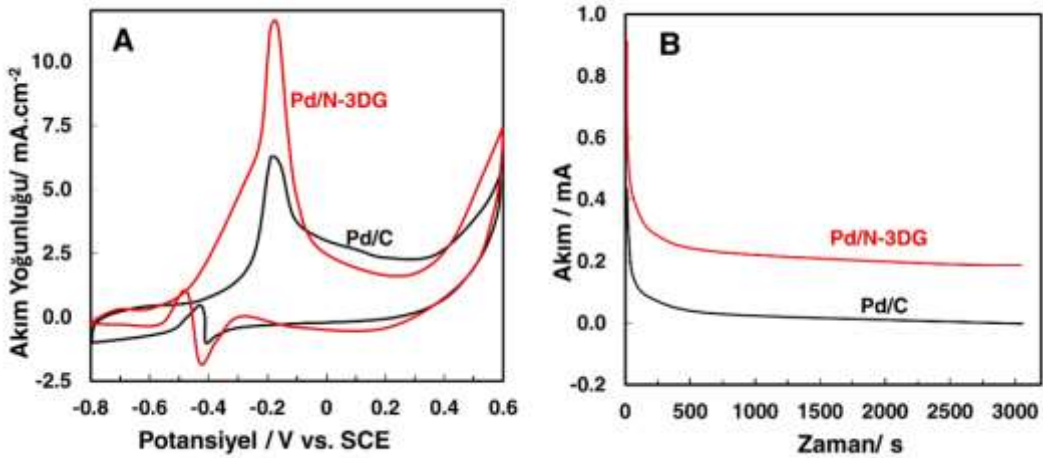
Elektrokatalizörlerin element bileşimi hakkında daha fazla bilgi edinmek için XPS ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2B). Sırasıyla C1s, Pd 3d, ve O1s sinyallerine ait karakteristik tepe noktaları yaklaşık 285.0, 340.0 eV ve 530.0 eV bağlanma enerjilerinde gözlenmiştir [6]. Pd/C elektrokatalizörüne ait XPS spektrumunda, N1s'e ait herhangi bir pik gözlenmemişken, Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörüne ait spektrumda yaklaşık 400.0 eV civarında görülen pik N1s'e ait olup, yapıya başarıyla azot katkılındığını doğrulamıştır. Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörüne ait N içeriği ağırlıkça %2.21 olarak belirlenmiştir.

3.2. Elektrokatalizörlerin elektrokimyasal karakterizasyonu

Üretilen elektrokatalizörlerin metanol elektrooksidasyonu için bir anot elektrokatalizörü olarak kullanılabilirliği yarı-hücre koşullarında, argon ile doyurulmuş 1.0 M metanol + 0.5 M NaOH elektrolitinde, dönüşümlü voltametri tekniği ile test edilmiştir. Tüm elektrokatalizörler için elde edilen CV eğrileri, belirgin bir geniş anodik tepe noktası sergilerken ve nispeten zayıf bir katodik tepe noktası sunmuştur (Şekil 3A). Şiddetli anodik pik, kimyasal olarak absorbe edilmiş metanolün oksidasyonundan kaynaklanırken, katodik taramada tamamen oksitlenmeyen karbonlu ara ürünlerden kaynaklanmaktadır. İleri yöndeki taramadaki başlangıç potansiyeli (E_{onset}) ve tepe akım yoğunluğu (I_f), reaksiyon dinamik özelliğini ve katalizör aktivitesini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Maksimum I_f ve minimum E_{onset} , Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörünün, Pd/C'den daha yüksek elektrokatalitik aktiviteye ve metanol oksidasyonu için reaksiyon kinetiğinde önemli artışa sahip olduğunu gösterir. Pd nanoparçacıkları ve N-katkılamının sinerjik etkisi ile Pd/N-3DG, yüksek elektrokatalitik aktivite (11.8 mA.cm^{-2}) sergilemiştir. Bu durum, Pd/N-3DG'nin yapısal tasarımının metanol oksidasyonunun elektrokatalizi için elverişli olduğunu doğrulamıştır. Elde edilen veriler Tablo 1'de sunulduğu gibi her elektrot üzerindeki Pd yüklemesine göre standardize edilmiştir. Pd/N-3DG elektrotunun kütle aktivitesi 400.3 mA.mg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörü, Pd/C elektrotundan daha iyi performans sergilemiştir.

Tablo 1. DMFC koşullarında Pd/C ve Pd/N-3DG elektrotlarının elektrokimyasal davranışı

Elektrot	İleri Yöndeki Tepe Akım Yoğunluğu	
	Spesifik Aktivite mA.cm^{-2}	Gravimetrik Aktivite mA.mg^{-1}
Pd/C	5.9	188.4
Pd/N-3DG	11.8	400.3



Şekil 3. Pd/N-3DG ve Pd/C elektrotlarının 0.5 M NaOH + 1.0 M metanol elektrolitinde (a) 50 mV.s^{-1} potansiyel tarama hızında CV voltammogramları (b) 0.20 V (vs SCE) elde edilen kaydedilen kronoamperometrik eğriler

Elektrokatalizörlerin uzun vadeli elektrokatalitik kararlılığı, taşınabilir yakıt hücrelerinin pratik kullanımları için önemli bir göstergedir. Bu kapsamda, elektrokatalizörlerin kararlılığını araştırmak için kronoamperometri ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3B). Başlangıçta, toksik ürünlerin birikmesine bağlı olarak sınır akımı hızla düşmüştür. Şekil 3B'den görülebileceği gibi, Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörün kronoamperometri eğrisi, Pd/C elektrokatalizörüne kıyasla daha az akım bozulmasına uğramıştır.

Elde edilen bulgular, Pd nanoparçacıklarının N-3DG destek katalizör üzerine kombinasyonunun, elektrokatalizörün elektrokatalitik performansının artırılabilceğini ortaya koymuştur. Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörünün üstün elektrokimyasal özellikleri (i) 3D grafen mimari üzerinde homojen olarak dağılmış olan küçük parçacık boyutlarına sahip Pd nanopartiküllerin katalitik aktiviteyi büyük ölçüde artıran çok sayıda aktif merkezler sunmasına; (ii) 3 boyutlu mimariye sahip grafen tabakalar, yalnızca reaktanların etkin bir kütle transferi için yüksek yüzey alanları sağlamakla kalmaz, aynı zamanda katalitik sistemdeki hızlı elektron difüzyonları için benzersiz "süper otoyollar" olarak da işlev görmesine; (iii) 3D grafen mimariye N atomu katılmasına, grafenin elektronik yapılarını önemli ölçüde değiştirmesine, böylece spin yoğunluğunu artırmasına ve destekleyici malzemenin katalitik kabiliyetini yükseltmek için komşu karbon atomlarını aktive edebilmesine; (iv) 3D grafen mimarisinde N atomlarının varlığı ayrıca Pd ve destek katalizör arasında güçlü bir etkileşim sağlaması ile açıklanabilir. Sonuç olarak, üretilen Pd/N-3DG hibrit elektrokatalizörü üstün elektrokatalitik özelliklerle donatılmıştır ve gelişmiş enerji dönüştürme cihazlarında büyük umut vaat eden bir uygulama sunar [18-19].

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Pd nanoparçacıkların N katkılı 3D grafen mimari üzerinde biriktirilmesi için pratik bir üretim yöntemi sunulmuştur. Geniş yüzey alanı, N atomlarının varlığı, küçük Pd nanoparçacıklarının homojen dağılımı ve iyi elektriksel iletkenlik gibi yapısal avantajlar sayesinde elde edilen Pd/N-3DG, üstün elektrokatalitik aktivite, uzun süreli dayanıklılık ve metanol oksidasyonuna karşı geleneksel Pd/C katalizörlerinden daha üstün performans göstermiştir. Üretilen hibrit yapının yakıt hücrelerinde kullanılabilir olmasının yanı sıra, bu tür nanomalzemelerin sensörler, fotokataliz ve enerji depolama sistemleri gibi diğer uygulamalar için de potansiyel adaylar olması çalışmayı önemli kılmaktadır.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı şahsıma aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Arico A.S., Bruce P., Scrosati B., Tarascon J.M., Van Schalkwijk W. 2011. Nanostructured materials for advanced energy conversion and storage devices. *Materials for sustainable energy: a collection of peer-reviewed research and review articles from Nature Publishing Group*, 148-159.
- [2] Karaman C., Karaman O., Atar N., Yola M.L. 2021. Tailoring of cobalt phosphide anchored nitrogen and sulfur co-doped three dimensional graphene hybrid: Boosted electrocatalytic performance towards hydrogen evolution reaction. *Electrochimica Acta*, 380: 138262.
- [3] Akça A., Karaman O., Karaman C. 2021. Mechanistic Insights into Catalytic Reduction of N₂O by CO over Cu-Embedded Graphene: A Density Functional Theory Perspective. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 10 (4): 041003.

- [4] Debe M.K. 2012. Electrocatalyst approaches and challenges for automotive fuel cells. *Nature*, 486 (7401): 43-51.
- [5] Yola M.L., Eren T., Atar N., Saral H., Ermiş İ. 2016. Direct-methanol fuel cell based on functionalized graphene oxide with mono-metallic and bi-metallic nanoparticles: Electrochemical performances of nanomaterials for methanol oxidation. *Electroanalysis*, 28 (3): 570-579.
- [6] Karaman C. Orange Peel Derived-Nitrogen and Sulfur Co-doped Carbon Dots: a Nano-booster for Enhancing ORR Electrocatalytic Performance of 3D Graphene Networks. *Electroanalysis*, 33: 1356-1369.
- [7] Zhang X., Zhu J., Tiwary C.S., Ma Z., Huang H., Zhang J., ... & Wu Y. 2016. Palladium nanoparticles supported on nitrogen and sulfur dual-doped graphene as highly active electrocatalysts for formic acid and methanol oxidation. *ACS applied materials & interfaces*, 8 (17): 10858-10865.
- [8] Huang H., Wang X. 2014. Recent progress on carbon-based support materials for electrocatalysts of direct methanol fuel cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 2 (18): 6266-6291.
- [9] Qu K., Wu L., Ren J., Qu X. 2012. Natural DNA-modified graphene/Pd nanoparticles as highly active catalyst for formic acid electro-oxidation and for the Suzuki reaction. *ACS applied materials & interfaces*, 4 (9): 5001-5009.
- [10] Huang Y.X., Xie J.F., Zhang X., Xiong L., Yu H.Q. 2014. Reduced graphene oxide supported palladium nanoparticles via photoassisted citrate reduction for enhanced electrocatalytic activities. *ACS applied materials & interfaces*, 6 (18): 15795-15801.
- [11] Hu C., Wang X. 2015. Highly dispersed palladium nanoparticles on commercial carbon black with significantly high electro-catalytic activity for methanol and ethanol oxidation. *International journal of hydrogen energy*, 40 (36): 12382-12391.
- [12] Qin Y.H., Jia Y.B., Jiang Y., Niu D.F., Zhang X.S., Zhou X.G., ... & Yuan W.K. 2012. Controllable synthesis of carbon nanofiber supported Pd catalyst for formic acid electrooxidation. *International journal of hydrogen energy*, 37 (9): 7373-7377.
- [13] Bai Z., Huang R., Niu L., Zhang Q., Yang L., Zhang J. 2015. A facile synthesis of hollow palladium/copper alloy nanocubes supported on N-doped graphene for ethanol electrooxidation catalyst. *Catalysts*, 5 (2): 747-758.
- [14] Lim E.J., Kim Y., Choi S.M., Lee S., Noh Y., Kim W.B. 2015. Binary PdM catalysts (M= Ru, Sn, or Ir) over a reduced graphene oxide support for electro-oxidation of primary alcohols (methanol, ethanol, 1-propanol) under alkaline conditions. *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (10): 5491-5500.
- [15] Qu K., Zheng Y., Zhang X., Davey K., Dai S., Qiao S.Z. 2017. Promotion of electrocatalytic hydrogen evolution reaction on nitrogen-doped carbon nanosheets with secondary heteroatoms. *ACS nano*, 11 (7): 7293-7300.
- [16] Ai W., Li J., Du Z., Zou C., Du H., Xu X., ... & Yu T. 2018. Dual confinement of polysulfides in boron-doped porous carbon sphere/graphene hybrid for advanced Li-S batteries. *Nano Research*, 11 (9): 4562-4573.
- [17] Yang H., Zhang X., Zou H., Yu Z., Li S., Sun J., ... & Ma J. 2018. Palladium nanoparticles anchored on three-dimensional nitrogen-doped carbon nanotubes as a robust electrocatalyst for ethanol oxidation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6 (6): 7918-7923.
- [18] Kakaei K., Rahnavardi M. 2021. Synthesis of nitrogen-doped reduced graphene oxide and its decoration with high efficiency palladium nanoparticles for direct ethanol fuel cell. *Renewable Energy*, 163: 1277-1286.
- [19] Yao C., Zhang Q., Su Y., Xu L., Wang H., Liu J., Hou S. 2019. Palladium nanoparticles encapsulated into hollow N-doped graphene microspheres as electrocatalyst for ethanol oxidation reaction. *ACS Applied Nano Materials*, 2 (4): 1898-1908.

Araştırma Makalesi / Research Article

Ardıl-k Sistemler için Önerilen Güvenilirlik Sınırlarının Karşılaştırılması

Ahmet DEMİRALP^{*1}, Mehmet GÜNGÖR²

¹Harran Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

²İnönü Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Malatya, Türkiye

(ORCID: 0000-0002-0981-7215) (ORCID: 0000-0001-6869-4043)

Öz

Hızla gelişen teknolojik gelişmeler, birçok karmaşık yapıya sahip sistemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ortaya çıkan bu sistemler, hem karmaşık yapıda hem de yüksek boyutlu bileşenlerden oluştuğu için bu sistemlerin tam güvenilirliklerini hesaplamak her zaman kolay olmamaktadır. Tam güvenilirlik değerlerinin hesaplanması zor ya da mümkün olmayan sistemlerin güvenilirliklerinin belirlenmesi için araştırmacılar, güvenilirlik sınırları kavramını geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, ardıl- k sistemler olarak bilinen n -den ardıl k -çıkışlı sistemler için önerilen sınır yaklaşım yöntemlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda hem söz konusu sistemleri oluşturan bileşenlerin diziliş şekillerine göre doğrusal ve dairesel olarak hem de başarılı ve hatalı olma durumlarına göre adlandırılan sistemler incelenmiştir. Önerilen yöntemlerin bazı n , k ve p (q) değerleri için elde edilen sonuçları, tam güvenilirlik değerleriyle karşılaştırılarak tablolar halinde verilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlardan güvenilirlik sınırlarının, sadece n ve k değerlerine bağlı olmayıp aynı zamanda p 'nin seçildiği aralığa da bağlı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğrusal (dairese) n -den ardıl k -çıkışlı sistem, Başarılı ve hatalı sistem, Sistem güvenilirliği, Alt ve üst sınır yaklaşımları.

Comparison of the Recommended Reliability Bounds for Consecutive- k Systems

Abstract

Rapidly developing technological developments have led to the emergence of systems with many complex structures. It is not always easy to calculate the exact reliability of these systems since these systems are composed of both complex and high-dimensional components. In order to determine the reliability of systems, which are difficult or impossible to calculate exact reliability values, researchers have developed the concept of reliability bounds. In this study, it is aimed to compare the boundary approximation methods proposed for consecutive- k -out-of- n systems, known as consecutive- k systems. In this direction, systems that are named both linear and circular according to the arrangement of the components that make up the said systems and according to their good and failure conditions were examined. The results obtained for some n , k and p (q) values of the proposed methods are given in tables by comparing them with exact reliability values. From the results obtained here, it was showed the bounds of reliability are not only dependent on the n and k values, but also on the range from which p is chosen.

Keywords: Linear (circular) consecutive k -out-of- n system, Good and failure system, System reliability, Lower and upper boundary approximations.

1. Giriş

Ardıl- k sistemler olarak bilinen n -den ardıl k -çıkışlı sistem modelleri, güvenilirlik değerlendirmesi ve entegre devre, telekomünikasyonda mikrodalga röle istasyonları, petrol boru hattı sistemleri, hızlandırıcılarda vakum sistemleri, bilgisayar halka ağları ve uzay aracı röle istasyonlarının dizaynı gibi

*Sorumlu yazar: ahmt.dmrp@gmail.com

Geliş Tarihi: 25/05/2021, Kabul Tarihi: 12/08/2021

sistemler için önerilmiştir. Böyle sistemler, doğrusal (dairese) olarak dizilmiş bileşenlerle ifade edilir [1].

Belirli şartlar altında tasarlanan sistemin çalışma olasılığına sistem güvenilirliği denir. Sistemler tasarlanırken eğer arızalı bileşenlerin sayısı veya düzeni belirli bir koşulu sağladığında sistemin arızalandığı tasarlanıyorsa F sistem, tersine çalışan bileşenlerin sayısı veya düzeni belirli bir koşulu sağladığında sistemin çalıştığı tasarlanıyorsa G sistem olarak adlandırılır. n bileşenin doğrusal (dairese) olarak birbirlerine bağlı olduğu varsayımı altında sistemin hatalı olması için en az ardıl- k tane bileşenin hatalı olması gerekmektedir. Bu şekilde tanımlanan sisteme doğrusal (dairese) n -den ardıl k -çıkışlı F sistem adı verilir ve kısaca Lin(Cir)/Con/ k/n :F şeklinde gösterilir. Eğer sistem başarılı ise o zaman en az ardıl- k tane bileşenin başarılı olması gerekir. Bu tür sisteme doğrusal (dairese) n -den ardıl k -çıkışlı G sistem denir ve kısaca Lin(Cir)/Con/ k/n :G şeklinde gösterilir. Doğrusal ardıl sistemlerde bileşenler 1'den n 'ye kadar bir doğru boyunca sıralanırken, dairese sistemlerdeki bileşenlerin ise 1'den n 'ye doğru saat yönünde dairese olarak sıralandığı varsayılır [1].

Ardıl k -çıkışlı G sistemler ile ilgili ilk çalışma, Tong [2] tarafından 1985'de verilmiştir. Günümüzdeki haliyle ifade edilen Con/ k/n :G sistem kavramı ise Kuo vd. [3] tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Hem doğrusal hem de dairese G sistemlerin tam güvenilirlik hesaplamaları ile çalışmalar, Kuo vd. [3] ve Zuo ve Kuo [6] tarafından verilmiştir.

Ardıl- k çıkışlı F sistemler ile ilgili ilk çalışma, Kontoleon [4] tarafından verilmiştir. Yazar bu çalışmada, F sistemlerin sadece numara algoritmasını vererek n -den ardıl r -çıkışlı F sistem olarak tanımlamıştır. Ancak literatürdeki adıyla kullanımını Chiang ve Niu [5], özel olarak n -den ardıl 2-çıkışlı F sistemlerin güvenilirliğinin hesaplanması için yinelemeli denklemlerden oluşan bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışma, daha sonraki yapılacak çalışmalar için başvuru kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Shanthikumar [7], Derman vd. [8], Bollinger ve Salvia [9], Bollinger [10], Chao ve Lin [11], Lambiris ve Papastavridis [12], Fu [13], Antonopoulou ve Papastavridis [14], Chan vd. [15], Kuo vd. [3], Kuo ve Zuo [1], Peköz ve Ross [16], Cluzeau [17] ve Gökdere vd. [18] gibi yazarlar çalışmalarında bileşenlerin özdeş ve bağımsız dağıldığı ve aynı bileşen güvenilirliğine sahip olma varsayımları altında doğrusal ve dairese F sistemlerin güvenilirliklerinin hesaplanması için çeşitli yöntemler önermişlerdir. Ayrıca, son zamanlarda ardıl k -çıkışlı sistemlerin farklı varsayımlar altında incelendiği çalışmalar da mevcuttur [19-21].

Gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan birçok karmaşık yapıdaki sistemlerin güvenilirliğini hesaplamak hem maliyet açısından hem de zaman açısından her zaman kolay olmamaktadır. Bu nedenle yüksek boyutlu karmaşık yapıdaki sistemlerin güvenilirliğini hesaplamak yerine bu güvenilirlik değerine yaklaşık sonuçlar veren alt ve üst sınır yaklaşımları geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, hem doğrusal ve dairese hem de G ve F sistemler için literatürde önerilen alt ve üst sınır yaklaşım yöntemlerini bir araya getirerek yöntemlerin birbirlerine olan üstünlüklerini göstermeyi amaçladık. Çalışmamızın ikinci kısmında, Lin(Cir)/Con/ k/n :G ve Lin(Cir)/Con/ k/n :F sistemlerin hem güvenilirlik hesaplamaları hem de sınır yaklaşımları üzerinde durulmuştur. Üçüncü kısımda ise önerilen sınır yaklaşım yöntemlerinin bazı n , k ve p (q) değerlerine karşılık gelen sonuçları elde edilerek tam güvenilirlikle beraber tablolarda karşılaştırılmıştır. Son kısımda ise elde edilen veriler ışığında yapılan çalışma özetlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sistemlerin Güvenilirlik Değerlendirmesi

Ardıl sistem modelleri, güvenilirlik değerlendirme ve entegre devre, telekomünikasyonda mikrodalga röle istasyonları, petrol boru hattı sistemleri, hızlandırıcılarda vakum sistemleri, bilgisayar halka ağları ve uzay aracı röle istasyonlarının dizaynı gibi sistemler için önerilmiştir. Böyle sistemler, doğrusal (dairese) olarak dizilmiş bileşenlerle ifade edilir.

Hem G hem de F sistemlerin güvenilirlik değerlendirmeleri için önerilen yöntemlerden en iyi sonuçları verenlerin yinelemeli denklemlerle verilen yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır [1,3,14]. Bu çalışmada kullanılan yinelemeli denklemlerin iteratif bir çözüm tekniği olduğundan bir önceki adımın hem güvenilirlik hem de güvenilmezliğini kullanması açısından tercih edilmiştir. Ardıl- k sistemlerin tam güvenilirliklerinin hesaplanması için literatürde yer alan yöntemlerden bazıları ise ele alınan değerler için hatalı sonuçlar verdikleri gözlenmiştir. Bu çıkarıma literatürde kabul görmüş

çalışmaların sonuçları ile kıyaslayarak varılmıştır. Söz konusu ele alınan yöntemlerin formülasyonları aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir. Burada, R_{LG} doğrusal G sistemin tam güvenilirliğini, R_{CG} doğrusal G sistemin tam güvenilirliğini, R_{LF} doğrusal F sistemin tam güvenilirliğini ve R_{CF} ise dairesel F sistemin tam güvenilirliğini göstermektedir.

Tablo 1. Sistemlerin Güvenilirliklerinin Değerlendirme Yöntemleri

Yazar(lar)	Sistem	Yöntem
Kuo vd. [3] ve Hwang [22]	Doğrusal n -den ardıl k -çıkışlı G sistem	$R_{LG}(n, k) = \begin{cases} 0, & n < k \\ p^k, & n = k \\ R_{LG}(n-1, k) + Q_{LG}(n-1-k, k)qp^k, & n > k \end{cases}$
Antonopoulou ve Papastavridis [14] ve Kuo vd. [3]	Dairesel n -den ardıl k -çıkışlı G sistem	$R_{CG}(n, k) = \begin{cases} 0, & n < k \\ p^k, & n = k \\ p^k + kqp^k, & n = k + 1 \\ qR_{LG}(n-1, k) + pR_{CG}(n-1, k) + kq^2p^kQ_{LG}(n-k-2, k), & n > k + 1 \end{cases}$
Kuo ve Zuo [1]	Doğrusal n -den ardıl k -çıkışlı F sistem	$R_{LF}(n, k) = \begin{cases} 1, & n < k \\ 1 - q^k, & n = k \\ R_{LF}(n-1, k) - pq^kR_{LF}(n-1-k, k), & n > k \end{cases}$
Kuo ve Zuo [1]	Dairesel n -den ardıl k -çıkışlı F sistem	$R_{CF}(n, k) = \begin{cases} 1, & n < k \\ 1 - q^k, & n = k \\ 1 - q^n - npq^k, & n \leq 2k + 1 \\ pR_{LF}(n-1, k) + qR_{CF}(n-1, k) - kp^2q^kR_{LF}(n-k-2, k), & n > 2k + 1 \end{cases}$

2.2. Sistemlerin Güvenilirlik Sınırlarının Hesaplanması

Bir sistemin tam güvenilirliğinin veya güvenilirme olasılığının değerlendirilmesi için önerilen yöntemlerin çoğu basit yapıda ve küçük boyutlu sistemler için kullanışlı olabiliyorken bu durum karmaşık yapıda ve büyük boyutlu sistemler için içinden çıkılmaz bir hale dönüşebilmektedir. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için geliştirilen sınır yaklaşım yöntemleri bu kısımda verilecektir. İlk olarak G sistemlerin hem doğrusal hem de dairesel durumları için önerilen alt ve üst sınır yaklaşım yöntemleri verilecektir. Daha sonra F sistemlerin doğrusal ve dairesel durumları için önerilen alt ve üst sınır yaklaşım yöntemleri kronolojik olarak verilecektir. Ele alınan sınır yaklaşım yöntemlerinin hepsinde bileşenlerin özdeş ve bağımsız dağılım gösterdikleri ve aynı güvenilirlik olasılığına sahip oldukları kabul edilmektedir.

2.2.1. Doğrusal (Dairesel) n -den Ardıl k -çıkışlı G Sistemler İçin Sınır Yaklaşımları

Kuo vd., tarafından doğrusal sistemler için önerilen alt ve üst sınır yaklaşım yöntemleri,

$$1 - (1 - p^k)^{\lceil n/k \rceil} \leq R_{LG}(n, k) \leq 1 - (1 - p^k)^{n-k+1} \tag{1}$$

(1) eşitliğindeki gibidir ve burada [a] ifadesi a’ya eşit ya da küçük en büyük tamsayı şeklinde tanımlanmıştır [3].

Daha sonra, Zuo [23] tarafından doğrusal sistemler için önerilen alt ve üst sınır yaklaşımı aşağıdaki gibidir.

$$1 - (1 - p^k)^{\lceil n/k \rceil} \leq R_{LG}(n, k) \leq \prod_{i=1}^k (1 - q^{m_i+1}) \tag{2}$$

Burada $m_i = \lceil (n - i)/k \rceil$ ’dir. (1) ve (2) ile verilen eşitsizliklerden iki alt sınırın aynı olduğu görülmektedir.

Kuo vd., dairesel G sistemler için ise (3) eşitsizliği ile verilen alt ve üst sınır yaklaşımını önermişlerdir [3].

$$1 - (1 - p^k)^{\lceil n+k-1/k \rceil} \leq R_{CG}(n, k) \leq 1 - (1 - p^k)^n \tag{3}$$

2.2.2. Doğrusal (Dairesel) n -den Ardıl k -çıkışlı F Sistemler İçin Sınır Yaklaşımları

İlk olarak Chiang ve Niu tarafından aşağıdaki alt ve üst sınır yaklaşımları önerilmiştir [5].

$$(1 - q^k)^{n-k+1} \leq R_{LF}(n, k) \leq (1 - q^k)^{\lceil n/k \rceil} \tag{4}$$

Salvia ise, alt ve üst sınır yaklaşım yöntemi olarak (5) ile ifade edilen eşitsizliği önermiştir [24].

$$1 - (n - k + 1)q^k \leq R_{LF}(n, k) \leq 1 - (n - k + 1)p^{n-k}q^k \tag{5}$$

Aynı yıl Derman vd. doğrusal hatalı sistem için üst sınır yöntemi olarak,

$$R_{LF}(n, k) \leq 1 - A/B \tag{6}$$

eşitliğini önermişlerdir ve burada,

$$A = (n - k + 1)^2 q^{2k} \text{ ve } B = (n - k + 1)^2 q^k + \sum_{j=k+1}^{\min(2k, n)} (n - j + 1)q^j + \binom{n-2k+1}{2} q^{2k}, \text{dır [8].}$$

Fu tarafından, üst sınır yaklaşımı için aşağıdaki yöntemi önerilmiştir [25].

$$R_{LF}(n, k) \leq (1 - pq^k)^{n-k+1} \tag{7}$$

Papastavridis [26], bileşen hata olasılığı q 'nın $k/(k + 1)$ 'den az olması koşulu ile alt ve üst sınır yaklaşımı için (8) ile verilen eşitsizliği önermiştir.

$$bm^{n+1} - e < R_{LF}(n, k) < aM^{n+1} + e \tag{8}$$

Burada, $m = 1 - \frac{pq^k}{(1-q^k)^k}$, $M = 1 - pq^k$, $a = \frac{m^k - q^k}{m^k - (k+1)pq^k}$, $b = \frac{M^k - q^k}{M^k - (k+1)pq^k}$, $e = \frac{2(k-1)q^{n+2}}{p(k+(k+1)q)}$ şeklindedir.

Papastavridis [27], fonksiyon üretme tekniğini kullanarak alt ve üst sınır yaklaşımı olarak (9) ile verilen aşağıdaki eşitsizliği önermiştir.

$$\left| R_{LF}(n, k) - (1 - pq^k)^n \right| < (k - 1)q^n \tag{9}$$

Chrysaphinou ve Papastavridis [28], q yeterince küçük ($q \sim \lambda/n^{1/k}$) seçildiğinde sınır yaklaşımları için aşağıdaki eşitsizliği vermişlerdir.

$$|R_{LF}(n, k) - \exp(-\lambda_n)| \leq (2k - 1)q^k + 2(k - 1)q \tag{10}$$

Burada, $\lambda_n \equiv (n - k + 1)q^k$ 'dir.

Barbour vd. [29], Stein-Chen yöntemini kullanarak (10) ile verilen eşitsizlikten yola çıkarak aşağıdaki eşitsizliği vermişlerdir.

$$|R_{LF}(n, k) - \exp(-p\lambda_n)| \leq (2kp - 1)q^k \tag{11}$$

Bu eşitsizlikte, $\lambda_n \equiv (n - k + 1)q^k$ 'dir.

Papastavridis ve Koutras [30], $m = k \geq 2$ için alt ve üst sınır yaklaşımlarını önermişlerdir. Önerdikleri alt sınır yaklaşımı, (4) eşitsizliğinde önerilen yaklaşımla aynı olup üst sınır yaklaşımı aşağıdaki gibidir.

$$R_{LF}(n, k) \leq \prod_{i=k}^n (1 - p_{i-k} Q_{k,i}) \tag{12}$$

olup, burada $q_0 \equiv 0$ ve $Q_{k,i} \equiv \prod_{j=i-k+1}^i q_j$ şeklindedir.

Zuo [23], aşağıda (13) eşitsizliği ile verilen alt ve üst sınır yaklaşımlarını önermiştir.

$$1 - \prod_{i=1}^k (1 - p^{m_i+1}) \leq R_{LF}(n, k) \leq (1 - q^k)^{\lceil n/k \rceil} \tag{13}$$

Burada, $m_i = \lceil (n - i)/k \rceil$ 'dir.

Barbour vd. [31], (11)'de verilen eşitsizliği Poisson dağılımı için Stein yöntemini kullanarak iyileştirmişlerdir ve aşağıda verilen alt ve üst sınır yaklaşımlarını önermişlerdir.

$$\vartheta - \varepsilon_1 \leq R_{LF}(n, k) \leq \vartheta + \varepsilon_1 \tag{14}$$

Burada,

$$\vartheta = e^{-(n-k+1)pq^k} - q^{k+1}e^{-(n-2k)pq^k} \text{ ve}$$

$$\varepsilon_1 = \left\{ 1 - e^{-(n-k+1)pq^k} + q^{k+1} \left(1 - e^{-(n-2k)pq^k} \right) \right\} (2k + 1)pq^k \text{ dir.}$$

Barbour vd. [31], $q \leq 1/3$ ve $n > 3k - 2$ olmak üzere bileşik Poisson yaklaşımını kullanarak alt ve üst sınır yaklaşımını aşağıdaki gibi önermişlerdir.

$$\exp(-\mu) - \varepsilon_2 \leq R_{LF}(n, k) \leq \exp(-\mu) + \varepsilon_2 \tag{15}$$

Burada,

$$\varepsilon_2 = q^{2k} [(6k - 5)n - (k - 1)(13k - 9)]$$

$$\mu = (n - k + 1)q^k - (n - k)q^{(k+1)} - 2(n - k + 2)q^{(2k-1)} + 2(n - 2)q^{2k} + \frac{2k(n-k+2)}{2k-1}q^{(3k-2)}$$

$$-(n + k - 4)q^{(3k-1)} + [2k(n - k + 2) - 2(2k - 1)$$

$$* (n - k + 1)q + 2(k - 1)(n - k)q^2]q^{(k-1)}h(q, k)$$

$$h(q, k) = \sum_{i=k}^{2k-2} \frac{q^i}{i} \text{ dir.}$$

Muselli [32] tarafından önerilen alt sınır yaklaşımı (4) ile verilen eşitsizlik ile aynı olup üst sınır yaklaşımı ise aşağıdaki gibidir.

$$R_{LF}(n, k) \leq (1 - q^k)^{\lfloor n/k \rfloor} \tag{16}$$

Burada $\lfloor a \rfloor$, a 'dan büyük olmayan tam sayı şeklinde tanımlanmıştır.

Xie ve Lai [33], küçük k değerleri için koşullu yaklaşımın iyi sonuçlar vereceği beklentisi altında aşağıdaki üst sınır yaklaşımını önermişlerdir.

$$R_{LF}(n, k) \leq (1 - q^k) \left[1 - \frac{(1-q)q^k}{1-q^k} \right]^{n-k} \tag{17}$$

Muselli [34-35], birkaç alt ve üst sınır yaklaşım yöntemi önermişlerdir. Bu sınır yaklaşımları aşağıda verilmiştir.

$$(1 - q^k)^{\lfloor (n-k) \rfloor + 1} \leq R_{LF}(n, k) \leq (1 - q^k)^{\lfloor \frac{n-k}{k} \rfloor + 1} \tag{18}$$

Daha sonra, $1 \leq k \leq n$ ve $0 < q < 1$ şartları altında alt ve üst sınır için aşağıdaki eşitsizliği vermiştir.

$$(1 - q^k)^{\lfloor (n-k)/h_L \rfloor + 1} \leq R_{LF}(n, k) \leq (1 - q^k)^{\lfloor (n-k)/h_U \rfloor + 1} \tag{19}$$

(19)'da verilen eşitsizlikte üst sınır yaklaşımını elde etmek için $h_U(n, k) = \frac{1-q^k}{p}$ yerine yazılır ve aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R_{LF}(n, k) \leq (1 - q^k)^{1 + \lfloor \frac{p(n-k)}{1-q^k} \rfloor} \tag{20}$$

Muselli [34], bir başka alt sınır yaklaşımı için, $k \geq \max(q/p, 1)$ varsayımı altında (19) de verilen eşitsizlikte $h_L(n, k) = \frac{(1-q^k)^k}{p}$ yerine yazılarak aşağıdaki şekilde alt sınır yaklaşımı elde edilmiştir.

$$(1 - q^k)^{1 + \frac{p(n-k)}{(1-q^k)^k}} \leq R_{LF}(n, k) \tag{21}$$

Muselli [34], bir başka alt sınır yaklaşımı için, $k \geq \max(q/p, 1)$ olmak üzere eğer $\bar{h}_L(n, k) = (1 - q^k)^k / p$ ise $h_L(n, k) = \frac{(1-q^k)^{k/(\bar{h}_L(n,k))}}{p}$ şeklinde önermişlerdir. (19) da verilen eşitsizlikte bu değerler yerine yazılarak aşağıdaki şekilde alt sınır yaklaşımı elde edilir.

$$(1 - q^k)^{1 + (p(n-k)/(1-q^k))^{kp/(1-q^k)^k}} \leq R_{LF}(n, k) \tag{22}$$

Muselli [35] tarafından önerilen bir başka alt sınır yaklaşımı, $1 \leq k \leq n - h(n, k)$ şartı altında $(1 - q^k)^{n-k+1-l(n,k)(h(n,k)-1)} \leq R_{LF}(n, k)$

$$\text{şeklinde olup, burada } l(n, k) = \left\lfloor \frac{n-k}{h(n,k)+1} \right\rfloor \text{ ve } h(n, k) = \left\lfloor \frac{1-q^k}{p} \right\rfloor \text{ dir.}$$

Muselli [35] tarafından önerilen son alt sınır yaklaşımı aşağıdaki gibidir.

$$(1 - q^k)^{2l'(n,k)} \leq R_{LF}(n, k) \tag{24}$$

Burada, $l'(n, k) = \left\lfloor \frac{n-k+1}{h(n,k)+1} \right\rfloor$ ve $[a]$, a 'dan küçük olmayan tam sayıdır.

Dăuş ve Beiu [36], $1/(n - k) > pq^k$ varsayımı altında aşağıdaki alt ve üst sınır yaklaşım ailesini önermişlerdir.

$$L_r \leq R_{LF}(n, k) \leq U_r \tag{25}$$

Burada, her $r = 0, 1, \dots, \lfloor (n - 2k - 1)/(2k + 2) \rfloor$ için

$$L_r = \sum_{j=0}^{2r+1} (-1)^j C_{n-jk}^j (pq^k)^j - q^k \sum_{j=0}^{2r} (-1)^j C_{n-k-jk}^j (pq^k)^j$$

ve

$$U_r = \sum_{j=0}^{2r} (-1)^j C_{n-jk}^j (pq^k)^j - q^k \sum_{j=0}^{2r+1} (-1)^j C_{n-k-jk}^j (pq^k)^j \text{ dir.}$$

Son olarak, dairesel hatalı sistemler için önerilen sınır yaklaşımları aşağıdaki gibi verilmiştir.

Kuo ve Zuo [1], doğrusal hatalı sistemler için (4) eşitliği ile verilen alt ve üst sınır yaklaşımını düzenleyerek dairesel hatalı sistemler için aşağıdaki şekilde vermişlerdir.

$$(1 - q^k)^n \leq R_{CF}(n, k) \leq (1 - q^k)^{\lfloor \frac{n}{k} \rfloor} \tag{26}$$

Derman vd. [8] çalışmalarında verdikleri teoremden dairesel hatalı sistemler için aşağıdaki üst sınır yaklaşımını önermişlerdir.

$$R_{CF}(n, k) \leq 1 - A/B \tag{27}$$

Burada, $A = nq^k$ ve $B = (1 + (n - 2k + 1)q^k + 2q(1 - q^{k-1}))/p$ şeklindedir.

Papastavridis [26], q 'nun $k/(k + 1)$ 'den az olduğu kısıtlaması altında dairesel sistemler için aşağıdaki alt ve üst sınır yaklaşımlarını önermiştir.

$$m^n - (k - 1)q^n < R_{CF}(n, k) < M^n + (k - 1)q^n \tag{28}$$

Burada, $m = 1 - \frac{pq^k}{(1-q^k)^k}$ ve $M = 1 - pq^k$ şeklindedir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Önerilen Sınır Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada literatürde son kırk yılda önerilmiş olan sınır yaklaşım metotları verilmeye çalışılmıştır ama incelenen bazı yöntemler için elde edilen sonuçların tam güvenilirlik değerine göre çok kötü sonuçlar verdiği tespit edildiğinden bu çalışmada bazı sınır yaklaşım yöntemlerine değinilmemiştir [37-38].

İncelenen sınır yaklaşım yöntemleri R programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sınır yaklaşım yöntemlerini karşılaştırmak için ele alınan yöntemler ile tam güvenilirliğin bazı n , k ve p (q) için değerleri hesaplanacaktır. Elde edilen yaklaşık değerlerin tam güvenilirlik değerine ne kadar yakın sonuçlar verdiğini görmek için aşağıdaki hata normundan yararlandık.

$$\|e\|_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m-1} \left| 1 - \frac{\text{Alt(Üst) Sınır yaklaşımı}}{\text{Tam güvenilirlik}} \right|$$

Hata normundaki mutlak değer içindeki ifade bağıl hata hesabıdır. Dolayısıyla bu hata normu sıfıra ne kadar yakınsa hesaplanan yaklaşım değerinin, tam güvenilirliğe o kadar yakın olduğunu söyleyebilmemiz mümkün olacaktır.

Bu bağlamda ilk olarak doğrusal G sistemler için önerilen sınır yaklaşımlarının ve tam güvenilirlik değerinin sonuçları, Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Doğrusal G sistemlerin güvenilirliği için alt/üst sınır yaklaşımlarının karşılaştırılması

n	k	p	Kuo vd. [3] ve Zuo [23] Alt Sınır	Kuo vd. [3] Üst Sınır	Zuo [23] Üst Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	0.1	0.0490010	0.0864828	0.1676984	0.0802528
50	3	0.1	0.0158806	0.0468891	0.5656197	0.0425025
100	4	0.1	0.0024970	0.0096536	0.7423101	0.0087053
10	2	0.3	0.3759679	0.5720702	0.6921075	0.5035884
50	3	0.3	0.3546349	0.7312080	0.9920449	0.6247576
100	4	0.3	0.1839867	0.5456554	0.9994637	0.4326308
10	2	0.5	0.7626953	0.9249153	0.9384766	0.8593750
50	3	0.5	0.8819329	0.9983542	0.9999695	0.9827454
100	4	0.5	0.8008034	0.9980892	0.9999999	0.9727150
10	2	0.7	0.9654975	0.9976658	0.9951459	0.9859216
50	3	0.7	0.9987948	1.0000000	0.9999999	0.9999847
100	4	0.7	0.9989555	1.0000000	1.0000000	0.9999964
10	2	0.9	0.9997524	0.9999997	0.9999800	0.9999372
50	3	0.9	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.9999999
100	4	0.9	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000
Hata Normu ($\|e\|_1$)			0.2269600	0.0658415	6.6725384	

Tablo 2’ye göre ilk olarak hem Kuo vd.’nin önerdiği alt sınır ile Zuo’nun önerdiği alt sınır yaklaşım yöntemleri aynı olduğundan bu alt sınır tek bir sütunda verilmiş olup, $n=10$, 50 ve 100 değerleri ve p ’nin de 0.5 den büyük değerleri aldığında alt sınırın tam güvenilirliğe yaklaştığı görülmektedir ayrıca hata normundan elde edilen değer bu durumu desteklemektedir. Kuo vd. tarafından önerilen üst sınır yaklaşımı ise p ’nin değerleri için $n=10$, 50 ve 100 değerleri için tam güvenilirliğe yakın sonuçlar aldığı gözlenmektedir. Zuo tarafından önerilen üst sınır yaklaşımının ise n ’nin verilen değerleri ile $p > 0.7$ değerleri için tam güvenilirlikle yakın sonuçlar verdiği, $p < 0.7$ değerleri için ise

tam güvenilirlikten uzak değerler aldığı belirlenmiştir. Hata normuna bakarak ise Kuo vd. tarafından önerilen üst sınır yaklaşım yönteminin Zuo tarafından önerilen yaklaşımdan daha iyi olduğunu söyleyebiliriz.

Dairesel G sistemler için önerilen sınır yaklaşımları sadece Kuo vd. tarafından önerilen yöntemler olup bunların tam güvenilirlikle karşılaştırmalı sonuçları Tablo 3’de yer almaktadır.

Tablo 3. Dairesel G sistemlerin güvenilirliği için alt/üst sınır yaklaşımlarının karşılaştırılması

n	k	p	Kuo vd. [3] Alt Sınır	Kuo vd. [3] Üst Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	0.1	0.0490100	0.0956179	0.0879823
50	3	0.1	0.0168647	0.0487944	0.0441387
100	4	0.1	0.0024970	0.0099507	0.0089632
10	2	0.3	0.3759679	0.6105839	0.5332814
50	3	0.3	0.3720598	0.7455268	0.6374288
100	4	0.3	0.1839867	0.5566068	0.4412462
10	2	0.5	0.7626953	0.9436865	0.8798828
50	3	0.5	0.8966913	0.9987399	0.9848305
100	4	0.5	0.8008034	0.9984256	0.9750060
10	2	0.7	0.9654975	0.9988096	0.9897878
50	3	0.7	0.9992082	1.0000000	0.9999889
100	4	0.7	0.9989555	1.0000000	0.9999973
10	2	0.9	0.9997524	0.9999999	0.9999679
50	3	0.9	1.0000000	1.0000000	0.9999999
100	4	0.9	1.0000000	1.0000000	1.0000000
Hata Normu ($\|e\|_1$)			0.2336367	0.0665493	

Tablo 3’de elde edilen sonuçlara göre $p > 0.5$ değerleri için n ve k ’nin hem büyük hem de küçük değerleri için hem alt sınır yaklaşımının hem de üst sınır yaklaşımının tam güvenilirlikle uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca hem alt sınır yaklaşımının hem de üst sınır yaklaşımının tam güvenilirlik için uygun bir sınır oluşturduğunu hata normlarına bakarak söyleyebiliriz.

Doğrusal F sistemler için önerilen sınır yaklaşımları için elde edilecek sonuçlar hem alt sınır hem de üst sınır için ayrı ayrı tablolarda verilecektir. Önerilen yaklaşımlardan bazıları birbirleri ile aynı olduğundan bu yaklaşımlar tek bir sütunda verilmiştir. (25) denklem numarası ile önerilen alt ve üst sınır yaklaşımı $r=0, 1$ değerleri için üretilmiş olup alt sınırlar L_0 ve L_1 ’dir. Bazı n, k ve q değerleri için elde edilen alt sınır yaklaşım sonuçları tam güvenilirlik değerinin karşılaştırması Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Doğrusal hatalı sistemlerin güvenilirliği için alt sınırların karşılaştırılması

n	k	q	Chiang ve Niu [5] Alt Sınır	Salvia [24] Alt Sınır	Papastavridis [26] Alt Sınır	Papastavridis [27] Alt Sınır	Chrysaphinou ve Papastavridis [28] Alt Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	.01	0.9991040	0.9991000	0.9991082	0.9990104	0.9788004	0.9991082
50	3	.01	0.9999520	0.9999520	0.9999525	0.9999505	0.9599470	0.9999525
100	4	.01	0.9999990	0.9999990	0.9999990	0.9999990	0.9399990	0.9999990
10	2	.05	0.9777237	0.9775000	0.9786141	0.9765022	0.8702512	0.9786201
50	3	.05	0.9940176	0.9940000	0.9943076	0.9940797	0.7933930	0.9943077
100	4	.05	0.9993939	0.9993937	0.9994239	0.9994064	0.6993502	0.9994239
10	2	0.1	0.9135172	0.9100000	0.9195841	0.9135589	0.6839312	0.9197472
50	3	0.1	0.9531109	0.9520000	0.9574845	0.9559781	0.5481338	0.9574975
100	4	0.1	0.9903464	0.9903000	0.9912943	0.9910400	0.3896469	0.9912946
10	2	0.3	0.4279298	0.1900000	0.4789593	0.5216642	-0.425142	0.4964116
50	3	0.3	0.2687920	-0.296000	0.3668359	0.3851801	-1.061376	0.3752424
100	4	0.3	0.4543446	0.2143000	0.5642625	0.5663101	-1.400899	0.5673692
10	2	0.5	0.0750847	-1.250000	0.0828944	0.2620990	-1.644601	0.1406250
50	3	0.5	0.0016458	-5.000000	0.0082479	0.0396793	-2.622521	0.0172546

100	4	0.5	0.0019108	-5.062500	0.0174373	0.0417995	-3.435171	0.0272849
Hata Normu($\|e\|_1$)			0.1956700	32.68373	0.0904445	0.3707075	20.250865	

Tablo 4.(Devamı) Doğrusal F sistemlerin güvenilirliği için alt sınırların karşılaştırılması

n	k	q	Barbour vd. [29] Alt Sınır	Zuo [23] Alt Sınır	Barbour vd. [31] Alt Sınır	Barbour vd. [31] Alt Sınır	Muselli [34] Alt Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	.01	0.9988134	0.9975980	0.9991080	0.9991078	0.9991082	0.9991082
50	3	.01	0.9999475	0.9963359	0.9999525	0.9999525	0.9999525	0.9999525
100	4	.01	0.9999990	0.9975632	0.9999990	0.9999990	0.9999990	0.9999990
10	2	.05	0.9718518	0.9488249	0.9784774	0.9783840	0.9786139	0.9786201
50	3	.05	0.9937287	0.8104359	0.9943053	0.9943286	0.9943077	0.9943077
100	4	.05	0.9993830	0.7273428	0.9994239	0.9994240	0.9994239	0.9994239
10	2	0.1	0.8961937	0.8323015	0.9177426	0.9157570	0.9196512	0.9197472
50	3	0.1	0.9533198	0.4343803	0.9573573	0.9578164	0.9574934	0.9574975
100	4	0.1	0.9906880	0.2576899	0.9912910	0.9912977	0.9912946	0.9912946
10	2	0.3	0.4052246	0.3078925	0.4097220	0.1124774	0.4898072	0.4964116
50	3	0.3	0.3172529	0.0079550	0.3206247	0.0247893	0.3731166	0.3752424
100	4	0.3	0.5396956	0.0005363	0.5538749	0.4757678	0.5668393	0.5673692
10	2	0.5	0.0746525	0.0615234	-0.197706	0.4757678	0.1100598	0.1406250
50	3	0.5	-0.200212	0.0000305	-0.395522	0.4757678	0.0127137	0.0172546
100	4	0.5	-0.139244	0.0000001	-0.229479	0.4757678	0.0240942	0.0272849
Hata Normu($\|e\|_1$)			1.3067534	0.4529987	2.4057021	3.1511600	0.0411650	

Tablo 4.(Devamı) Doğrusal F sistemlerin güvenilirliği için alt sınırların karşılaştırılması

n	k	q	Muselli [35] Alt Sınır	Muselli [35] Alt Sınır	L_0 Alt Sınır	L_1 Alt Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	.01	0.9991082	0.9990004	0.9991080	0.9991082	0.9991082
50	3	.01	0.9999525	0.9999520	0.9999525	0.9999525	0.9999525
100	4	.01	0.9999990	0.9999990	0.9999990	0.9999990	0.9999990
10	2	.05	0.9786139	0.9752794	0.9785000	0.9786201	0.9786201
50	3	.05	0.9943077	0.9940176	0.9942937	0.9943077	0.9943077
100	4	.05	0.9994239	0.9993877	0.9994238	0.9994239	0.9994239
10	2	0.1	0.9196512	0.9043821	0.9180000	0.9197472	0.9197472
50	3	0.1	0.9574934	0.9531109	0.9567000	0.9574974	0.9574975
100	4	0.1	0.9912946	0.9902474	0.9912600	0.9912947	0.9912946
10	2	0.3	0.4898072	0.3894161	0.4060000	0.4964116	0.4964116
50	3	0.3	0.3731166	0.2687920	0.0847000	0.3651967	0.3752424
100	4	0.3	0.5668393	0.4506644	0.4475800	0.5653806	0.5673692
10	2	0.5	0.1100598	0.0563135	-0.250000	0.1406250	0.1406250
50	3	0.5	0.0127137	0.0016458	-2.062500	-1.026367	0.0172546
100	4	0.5	0.0240942	0.0017914	-4.762500	-1.377441	0.0272849
Hata Normu ($\|e\|_1$)			0.0411654	0.2113080	20.00191	7.466505	

Tablo 4’de yer alan sonuçlarda (4) eşitliği ile önerilen alt sınır yaklaşım yöntemi ile (7), (12), (16), (18) ve (23) eşitlikleri ile önerilen alt sınır yaklaşım yöntemleri aynı olduğundan bu yaklaşımların hepsi tek bir sütunda Chiang ve Niu tarafından önerilen alt sınır yaklaşımının altında verilmiştir. Tablolardaki sonuçlar incelendiğinde ise Zuo tarafından önerilen yöntem hariç diğer yöntemlerin n ve k ’nin değerlerine bağlı olmaksızın sadece q ’nun çok küçük değerlerinde tam güvenilirlikle uyum içinde olduğu ve q ’nun değeri arttıkça yöntemlerin performanslarının bozulduğu görülmektedir. Hata norm değerleri Salvia [24], Chrysaphinou ve Papastavridis [28], Barbour vd. [29], Barbour vd. [31] tarafından önerilen alt sınır yaklaşımları ile L_0 ve L_1 alt sınır yaklaşımlarının yüksek çıktığından diğerlerinden kötü performans göstermişlerdir.

Doğrusal F sistemlerle ilgili son olarak üst sınır yaklaşım yöntemlerinin karşılaştırılması verilecektir. Bunun için, (25) eşitliği ile verilmiş olan sınır yaklaşım yöntemlerinin ailesinde $r=0$ ve 1 değerleri verilerek üst sınır yaklaşım yöntemi olarak U_0 ve U_1 elde edilir. Chiang ve Niu tarafından (4) eşitliği ile önerilmiş olan üst sınır yaklaşım yöntemi ile (13) ve (16) eşitlikleri ile önerilen üst sınır yaklaşımı aynı olduğundan bu yöntemlerin sonuçları Chiang ve Niu'nun önerdiği yöntemin altında tek sütunda; Fu tarafından (7) eşitliği ile önerilen üst sınır yaklaşımı ile Papastavridis ve Koutras tarafından (12) eşitliği ile önerilen üst sınır yöntemi aynı olduğundan bunların sonuçları tek bir sütunda Fu'nun altında verilecektir. Geriye kalan üst sınır yaklaşım yöntemleri bazı n , k ve q değerleri için elde edilerek tam güvenilirlikle karşılaştırmalı olarak Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Doğrusal F sistemlerin güvenilirliği için üst sınırların karşılaştırılması

n	k	q	Chiang ve Niu [5] Üst Sınır	Salvia [24] Üst Sınır	Derman vd. [8] Üst Sınır	Fu [25] Üst Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	.01	0.9995001	0.9991695	0.9999001	0.9991094	0.9991082
50	3	.01	0.9999840	0.9999701	0.9999990	0.9999525	0.9999525
100	4	.01	0.9999998	0.9999996	1.0000000	0.9999990	0.9999990
10	2	.05	0.9875623	0.9850730	0.9975144	0.9788269	0.9786201
50	3	.05	0.9980019	0.9994615	0.9998751	0.9943159	0.9943077
100	4	.05	0.9998438	0.9999956	0.9999938	0.9994242	0.9994239
10	2	0.1	0.9509900	0.9612580	0.9901316	0.9218556	0.9197472
50	3	0.1	0.9841194	0.9996607	0.9990027	0.9577012	0.9574975
100	4	0.1	0.9975030	0.9999996	0.9999001	0.9913076	0.9912946
10	2	0.3	0.6240321	0.9533051	0.9151536	0.5567450	0.4964116
50	3	0.3	0.6453651	0.9999999	0.9735306	0.4001633	0.3752424
100	4	0.3	0.8160133	1.0000000	0.9919643	0.5760533	0.5673692
10	2	0.5	0.2373047	0.9912109	0.7798913	0.3006578	0.1406250
50	3	0.5	0.1180671	1.0000000	0.8833240	0.0451462	0.0172546
100	4	0.5	0.1991966	1.0000000	0.9397828	0.0459765	0.0272849
Hata Normu ($\|e\|_1$)			0.9551788	6.8075142	6.1015954	0.2430356	

Tablo 5.(Devamı) Doğrusal F sistemlerin güvenilirliği için üst sınırlarının karşılaştırılması

n	k	q	Papastavridis [26] Üst Sınır	Papastavridis [27] Üst Sınır	Chrysaphinou ve Papastavridis [28] Üst Sınır	Barbour vd. [29] Üst Sınır	Barbour vd. [31] Üst Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	.01	0.9991084	0.9990104	1.0194000	0.9994054	0.9991088	0.9991082
50	3	.01	0.9999525	0.9999505	1.0399570	0.9999574	0.9999525	0.9999525
100	4	.01	0.9999990	0.9999990	1.0599990	0.9999991	0.9999990	0.9999990
10	2	.05	0.9787429	0.9765022	1.0852510	0.9858518	0.9789798	0.9786201
50	3	.05	0.9943099	0.9940797	1.1946430	0.9949037	0.9943147	0.9943077
100	4	.05	0.9994239	0.9994064	1.2994380	0.9994655	0.9994239	0.9994239
10	2	0.1	0.9214575	0.9135589	1.1439310	0.9481937	0.9247499	0.9197472
50	3	0.1	0.9576168	0.9559781	1.3581340	0.9621198	0.9578901	0.9574975
100	4	0.1	0.9912979	0.9910400	1.5910470	0.9919280	0.9913051	0.9912946
10	2	0.3	0.5616151	0.5216760	1.3148580	0.7292246	0.6877247	0.4964116
50	3	0.3	0.3991545	0.3851801	1.6086240	0.4900529	0.4796283	0.3752424
100	4	0.3	0.5751219	0.5663101	2.3125010	0.6142156	0.5971516	0.5673692
10	2	0.5	0.3556076	0.2640521	1.8553990	0.5746525	0.7289202	0.1406250
50	3	0.5	0.0465852	0.0396793	2.6274790	0.2997871	0.4871055	0.0172546
100	4	0.5	0.0459833	0.0417995	3.4398290	0.2357553	0.3224637	0.0272849
Hata Normu ($\|e\|_1$)			0.2749861	0.1866420	19.903422	1.8669002	2.8636400	

Tablo 5.(Devamı) Doğrusal F sistemlerin güvenilirliği için üst sınırların karşılaştırılması

n	k	q	Barbour vd. [31] Üst Sınır	Xie ve Lai [33] Üst Sınır	Muselli [34] Üst Sınır	U_0 Üst Sınır	U_1 Üst Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	.01	0.9991089	0.9991083	0.9991083	0.9999001	0.9991082	0.9991082
50	3	.01	0.9999525	0.9999525	0.9999525	0.9999990	0.9999525	0.9999525
100	4	.01	0.9999990	0.9999990	0.9999990	1.0000000	0.9999990	0.9999990
10	2	.05	0.9790465	0.9786576	0.9786565	0.9975356	0.9786201	0.9786201
50	3	.05	0.9943471	0.9943090	0.9943090	0.9998757	0.9943077	0.9943077
100	4	.05	0.9994241	0.9994239	0.9994239	0.9999938	0.9994239	0.9994239
10	2	0.1	0.9263570	0.9202497	0.9202189	0.9905400	0.9197501	0.9197472
50	3	0.1	0.9589964	0.9575648	0.9575627	0.9990396	0.9574990	0.9574975
100	4	0.1	0.9913332	0.9912968	0.9912968	0.9999008	0.9912947	0.9912946
10	2	0.3	0.9710774	0.5125987	0.5093173	0.9440200	0.4974117	0.4964116
50	3	0.3	0.8850093	0.3870102	0.3856319	0.9954532	0.3802115	0.3752424
100	4	0.3	0.7081584	0.5720823	0.5717048	0.9961253	0.5680150	0.5673692
10	2	0.5	3.5601270	0.1744260	0.1617042	0.9375000	0.1484375	0.1406250
50	3	0.5	9.3305910	0.0268737	0.0242387	1.2187500	-0.483398	0.0172546
100	4	0.5	7.0049860	0.0361858	0.0344271	1.1171880	-0.936401	0.0272849
Hata Normu ($\|e\|_1$)			54.825539	0.0797998	0.0585584	7.9140582	4.293796	

Tablolara göre Chrysaphinou ve Papastavridis tarafından önerilen yaklaşım hariç diğer tüm yaklaşımların q 'nun küçük değerleri için tam güvenilirlikle yakın değerler aldığı gözlenmiştir. Birkaç yöntem dışındaki diğer yöntemlerin ise q 'nun değeri arttırıldığında yaklaşımlar için elde edilen değerlerin tam güvenilirlikten uzak bir görüntü çizdiği sonucuna varılmıştır. Hata norm değerleri Salvia [24], Derman vd. [8], Chrysaphinou ve Papastavridis [28], Barbour vd. [29] ve Barbour vd. [31] tarafından önerilen alt sınır yaklaşımları ile U_0 ve U_1 sınır yaklaşımlarının yüksek çıktığından diğer yöntemlere kıyasla kötü performans göstermişlerdir.

Son olarak, dairesel hatalı sistemler için önerilen alt ve üst sınır yaklaşımları bazı n , k ve q değerleri için Tablo 6'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6. Dairesel F sistemlerin güvenilirliği için alt ve üst sınırların karşılaştırılması

n	k	q	Kuo ve Zuo [1] Alt Sınır	Papastavridis [26] Alt Sınır	Kuo ve Zuo [1] Üst Sınır	Derman vd. [8] Üst Sınır	Papastavridis [26] Üst Sınır	Tam Güvenilirlik
10	2	.01	0.9990004	0.9990102	0.9995001	0.9990201	0.9990104	0.9991091
50	3	.01	0.9999500	0.9999505	0.9999840	0.9999510	0.9999505	0.9999515
100	4	.01	0.9999990	0.9999990	0.9999998	0.9999990	0.9999990	0.9999990
10	2	.05	0.9752794	0.9763856	0.9875623	0.9775281	0.9765022	0.9787323
50	3	.05	0.9937691	0.9940775	0.9980019	0.9943713	0.9940797	0.9941957
100	4	.05	0.9993752	0.9994064	0.9998438	0.9994348	0.9994064	0.9994123
10	2	0.1	0.9043821	0.9118757	0.9509900	0.9200000	0.9135589	0.9205421
50	3	0.1	0.9512056	0.9558487	0.9811940	0.9604117	0.9559781	0.9567256
100	4	0.1	0.9900493	0.9910364	0.9975030	0.9918772	0.9910400	0.9911260
10	2	0.3	0.3894161	0.4532612	0.6240321	0.5609756	0.5216760	0.5072686
50	3	0.3	0.2544732	0.3546788	0.6453651	0.5409725	0.3851801	0.3702227
100	4	0.3	0.4433932	0.5557309	0.8160133	0.6849597	0.5663101	0.5620428
10	2	0.5	0.0563135	0.0800365	0.2373047	0.2307692	0.2640521	0.1484069
50	3	0.5	0.0012601	0.0074699	0.1180671	0.2063492	0.0396793	0.0167488
100	4	0.5	0.0015744	0.0160903	0.1991966	0.2592593	0.0417995	0.0260066
Hata Normu ($\|e\|_1$)			0.2179579	0.1045817	0.9874526	1.4424462	0.1895295	

Tablo 6'daki sonuçlara göre önerilen alt sınırların q 'nun hem küçük değerlerinde hem de büyük değerlerinde tam güvenilirlikle yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Üst sınır yaklaşım değerlerinde ise önerilen üç yöntem içinde sadece n , k ve q 'nun belli değerleri için tam güvenilirlik değerleri ile

uyum içinde kaldığı görülmüştür. Son olarak hem alt sınır yaklaşım yöntemlerinin hem de üst sınır yaklaşım yöntemlerinin hata normları incelendiğinde sadece Drman vd. [8] tarafından önerilen üst sınır yaklaşımın diğerlerinden kötü performans gösterdiğini söyleyebiliriz.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, mühendislik sistemlerinin tasarımında sıklıkla kullanılan ardıl-k sistemlerin güvenilirliği için önerilen sınır yöntemlerinin karşılaştırılmasını verdik. Bu bağlamda, ilk olarak doğrusal G sistemler için sınır yöntemlerini karşılaştırdık. Elde edilen sonuçlardan Kuo vd. ve Zuo tarafından önerilen alt sınır yaklaşımının performansının tam güvenilirlikle uyum içinde olduğunu, üst sınır yaklaşımında ise Kuo vd. tarafından önerilen yaklaşımın Zuo tarafından önerilen yaklaşımdan daha üstün olduğunu görülmüştür. Dairesel G sistemler için ise Kuo vd. tarafından önerilen hem alt hem de üst sınır yaklaşımının tam güvenilirlik için sınır değerleri oluşturma konusunda iyi performans sergilediklerini söyleyebiliriz.

Doğrusal F sistemler için özellikle Chrysaphinou ve Papastavridis; Barbour, Holst ve Janson; Barbour, Chrysaphinou ve Ross tarafından önerilen alt sınır yaklaşımlarının q 'nun büyük değerleri için kötü sonuçlar verdiğini ve bunun sebebinin de q 'nun oldukça küçük değerlerinde daha iyi çalışmasından kaynaklanmaktadır. Genel itibari ile Papastavridis ve Muselli tarafından önerilen alt sınır yaklaşım yöntemlerinin diğer yöntemlerden daha üstün olduklarını söyleyebiliriz.

Doğrusal F sistemler için önerilen üst sınır yaklaşım yöntemleri de alt sınır yöntemlerinde olduğu gibi genel olarak q 'nun küçük değerleri için daha iyi sonuçlar verirken q 'nun değeri arttıkça Fu, Papastavridis, Muselli ve Xie ve Lai tarafından önerilen yöntemler dışında kalan yöntemlerin performanslarının bozulduğu görülmektedir. Dolayısıyla Fu, Papastavridis, Muselli ve Xie ve Lai tarafından önerilen yöntemlerin sınır yaklaşımları için tercih edilmesinin daha iyi olduğunu söyleyebiliriz.

Son olarak, dairesel F sistemler için ise Papastavridis tarafından önerilen alt sınır yönteminin Kuo ve Zuo tarafından önerilen yöntemden daha iyi performans gösterdiği; üst sınır için de önerilen yöntemler belli değerlerde ayrı ayrı iyi sonuçlar verdiklerinden tam olarak birbirlerine üstünlüklerinden söz edemeyiz.

Genel olarak önerilen yöntemler, sadece n ve k 'nın değerine bağlı olmanın dışında hata olasılık değerine (q)'de bağlı olduğundan seçilen sistemlerde hangi yöntemin uygulanacağına karar vermeden önce yöntemlerin hangi durumlarda daha iyi performans gösterdiklerinin araştırılmasında fayda olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından SDK-2018-991 proje numarası ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma, Prof. Dr. Mehmet GÜNGÖR danışmanlığında Ahmet DEMİRALP tarafından hazırlanan doktora tez çalışmasından özetlenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Kuo, W., Zuo, M. J. 2003. *Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1-544.
- [2] Tong, Y. L. 1985. A Rearrangement Inequality for the Longest Run, With an Application to Network Reliability. *Journal of Applied Probability*, 22(2), 386-393.
- [3] Kuo, W., Zhang, W., Zuo, M. 1990. A Consecutive-k-out-of-n:G System: The Mirror Image of a Consecutive-k-out-of-n:F System. *IEEE Transactions on Reliability*, 39(2), 244-253.
- [4] Kontoleon, J. M. 1980. Reliability determination of a r-successive-out-of-n: F system. *IEEE Transactions on Reliability*, 29(5), 437-437.
- [5] Chiang, D. T., Niu, S. C. 1981. Reliability of consecutive-k-out-of-n: F system. *IEEE Transactions on Reliability*, 30(1), 87-89.
- [6] Zuo, M., Kuo, W. 1990. Design and performance analysis of consecutive-k-out-of-n structure. *Naval Research Logistics*, 37(2), 203-230.
- [7] Shanthikumar, J. G. 1982. Recursive algorithm to evaluate the reliability of a consecutive-k-out-of-n: F system. *IEEE Transactions on Reliability*, 31(5), 442-443.
- [8] Derman, C., Lieberman, G. J., Ross, S. M. 1982. On the consecutive-k-of-n: F system. *IEEE Transactions on Reliability*, 31(1), 57-63.
- [9] Bollinger, R. C., Salvia, A. A. 1982. Consecutive-k-out-of-n: F networks. *IEEE Transactions on Reliability*, 31(1), 53-56.
- [10] Bollinger, R. C. 1982. Direct computation for consecutive-k-out-of-n: F systems. *IEEE Transactions on Reliability*, 31(5), 444-446.
- [11] Chao, M. T., Lin, G. D. 1984. Economical design of large consecutive-k-out-of-n: F systems. *IEEE Transactions on Reliability*, 33(5), 411-413.
- [12] Lambiris, M., Papastavridis, S. 1985. Exact reliability formulas for linear & circular consecutive-k-out-of-n: F systems. *IEEE Transactions on Reliability*, 34(2), 124-126.
- [13] Fu, J. C. 1985. Reliability of a large consecutive-k-out-of-n: F system. *IEEE transactions on reliability*, 34(2), 127-130.
- [14] Antonopoulou, I., Papastavridis, S. 1987. Fast recursive algorithm to evaluate the reliability of a circular consecutive-k-out-of-n: F system. *IEEE Transactions on Reliability*, 36(1), 83-84.
- [15] Chan, F. Y., Chan, L. K., Lin, G. D. 1988. On consecutive-k-out-of-n: F systems. *European journal of operational research*, 36(2), 207-216.
- [16] Peköz, E. A., Ross, S. M. 1995. A Simple Derivation of Exact Reliability Formulas For Linear and Circular Consecutive-k-out-of-n:F Systems. *J. Appl. Prob.*, 32(2), 554-557.
- [17] Cluzeau, T., Keller, J., Schneeweiss, W. 2008. An efficient algorithm for computing the reliability of consecutive-k-out-of-n:F systems. *IEEE Transactions On Reliability*, 57(1), 84-87.
- [18] Gökdere, G., Gürcan, M., Kılıç, M. B. 2016. A new method for computing the reliability of consecutive k-out-of-n: F systems. *Open Physics*, 14(1), 166-170.
- [19] Gökdere, G., Güral, Y. 2018. Birnbaum Önem Tabanlı Genetik Algoritma ve Doğrusal Ardışık n-den k-çıkışlı Sistemlerin Optimizasyonunda Uygulaması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 276-283.
- [20] Özbey, F., Gökdere, G. 2021. Analysis of Linear Consecutive-2-out-of-n:F Repairable System with Different Failure Rate. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 91-99.
- [21] Özbey, F., Gökdere, G. 2021. Doğrusal genelleştirilmiş ağırlıklı n-den k-çıkışlı F sistemin güvenilirlik analizi. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik ve Aktüerya*, 14(1), 1-13.
- [22] Hwang, F. K. 1982. Fast Solutions for Consecutive-k-out-of-n: F System. *IEEE Transactions On Reliability*, R-31(5), 447-448.
- [23] Zuo, M. 1993. Reliability and component importance of a consecutive-k-out-of-n system. *Microelectronics Reliability*, 33(2), 243-258.
- [24] Salvia, A. A. 1982. Simple Inequalities for Consecutive-k-out-of-n:F Networks. *IEEE Transactions On Reliability*, R-31(5), 450.
- [25] Fu, J. C. 1986. Bounds for Reliability of Large Consecutive-k-out-of-n:F Systems with Unequal Component Reliability. *IEEE Transactions On Reliability*, 35(3), 316-319.
- [26] Papastavridis, S. 1986. Upper and Lower Bounds for the Reliability of a Consecutive-k-out-of-n:F System. *IEEE Transactions On Reliability*, 35(5), 607-610.

- [27] Papastavridis, S. 1986. Algorithms for strict consecutive-k-out-of-n:F systems. *IEEE Trans. On Reliability*, 35(5), 613-615.
- [28] Chrysaphinou, O., Papastavridis, S. 1990. Reliability of a Consecutive-k-out-of-n System in a Random Environment. *Journal of Applied Probability*, 27(2), 452-458.
- [29] Barbour, A. D., Holst, L., Janson, S. 1992. Poisson approximation (Vol. 2). The Clarendon Press Oxford University Press.
- [30] Papastavridis, S. G., Koutras, M. V. 1993. Bounds for Reliability of Consecutive k-within-m-out-of-n:F Systems. *IEEE Transactions On Reliability*, 42(1), 156-160.
- [31] Barbour, A. D., Chrysaphinou, O., Ross, M. 1995. Compound Poisson Approximation in Reliability Theory. *IEEE Transactions On Reliability*, 44(3), 398-402.
- [32] Muselli, M. 1997. On Convergence Properties of pocket Algorithm. *IEEE Transactions On Neural Networks*, 8(3), 623-629.
- [33] Xie, M., Lai, C. D. 1998. On Reliability Bounds via Conditional Inequalities. *Journal of Applied Probability*, 35(1), 104-114.
- [34] Muselli, M. 2000. New Improved Bounds For Reliability of Consecutive-k-out-of-n:F Systems. *Journal of Applied Probability*, 37(4), 1164-1170.
- [35] Muselli, M. 2000. Useful Inequalities for the Longest Run Distribution. *Statistics & Probability Letters*, 46(3), 239-249.
- [36] Daş, L., Beiu, V. 2015. Lower and Upper Reliability Bounds for Consecutive-k-out-of-n:F Systems. *IEEE Transactions on Reliability*, 64(3), 1128-1135.
- [37] Makri, F. S., Psillakis, Z. M. 2011. On success runs of a fixed length in Bernoulli sequences: Exact and asymptotic results. *Computational Mathematics Appl.*, 61(4), 761-772.
- [38] Saenz-de-Cabezón, E., Wynn, H. P. 2011. Computational algebraic algorithms for the reliability of generalized k-out-of-n and related systems. *Math. Comput. Simul.*, 82(1), 68-78.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kahramanmaraş İlinde Bina İçi Mevsimsel Radon Gazı Aktivitesi Ölçümü

Erdal KÜÇÜKÖNDER*

*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri
Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-9661-1583)*

Öz

Radon gazı (^{222}Rn); ^{238}U doğal radyoaktif serisinde bulunan kokusuz, tatsız ve renksiz bir gazdır. ^{226}Ra 'nın kız çekirdeği olan ^{222}Rn , 5.490 MeV enerjili alfa parçacıkları yayımlayarak bozunur. Alfa parçacıkları en yüksek iyonlaştırmaya sahip parçacıklar olduğu için radon gazının solunması ciddi akciğer hastalıklarına neden olabilir. Günlük hayatımızda maruz kaldığımız radyasyon dozunun %54'ünün özellikle ^{222}Rn 'den kaynaklandığı bilinmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) ve ABD Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) göre; radon gazı, sigaradan sonra akciğer kanserinin ikinci önde gelen sebebidir. Bu çalışmada Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ), Avşar Yerleşkesi'nde bulunan tüm binalarda bina içi, mevsimsel olarak radon gazı aktivitesi DURRIDGE Rad7 elektronik radon dedektörü kullanılarak ölçüldü. Bu çalışmada amaç, tüm çalışanlar ve öğrencilerin sağlık açısından ne kadar risk altında olduğunu tespit etmektir. Bina içi kışlık radon konsantrasyon değerleri $8,52 \pm 3,24 \text{ Bq m}^{-3}$ ile $53,12 \pm 16,46 \text{ Bq m}^{-3}$ arasındadır. Yazlık radon konsantrasyon değerleri $4,74 \pm 1,34 \text{ Bq m}^{-3}$ ile $22,79 \pm 9,28 \text{ Bq m}^{-3}$ arasındadır. Bu değerler tavsiye edilen sınır değerlerin altındadır.

Anahtar kelimeler: Radon gazı, Bina içi radon gazı ölçümü, DURRIDGE Rad7.

Seasonal Indoor Radon Gas Activity Measurement in Kahramanmaraş Province

Abstract

Radon gas (^{222}Rn); It is an odorless, tasteless and colorless gas in the natural radioactive series ^{238}U . Radon gas is the daughter core of ^{226}Ra . ^{222}Rn decays by emitting alpha particles with an energy of 5.490 MeV. Since alpha particles are the particles with the highest ionization, inhalation of radon gas can cause serious lung disease. It is known that 54% of the radiation dose we are exposed to in our daily lives is caused by ^{222}Rn . According to World Health Organization (WHO) and the US Environmental Protection Agency (EPA), Radon is the second leading cause of lung cancer after smoking. In this study, seasonal Radon gas activity in all buildings in Kahramanmaraş Sütçü İmam University (KSÜ) Avşar campus was measured using DURRIDGE Rad7 electronic radon detector. The purpose of this study is to observe the health risk of all employees and students. The winter radon concentration in indoor samples varies from $8.52 \pm 3.24 \text{ Bq m}^{-3}$ to $53.12 \pm 16.46 \text{ Bq m}^{-3}$. The summer radon concentration in indoor samples varies from $4.74 \pm 1.34 \text{ Bq m}^{-3}$ to $22.79 \pm 9.28 \text{ Bq m}^{-3}$. These values were found to be below the recommended limit values.

Keywords: Radon gas, Indoor radon gas measurement, DURRIDGE Rad7.

1. Giriş

Günlük hayatımızda sürekli bir radyasyonun etkisinde kalmaktayız. Radyoaktif çekirdekler kararsız haldedirler. Kararlı hale dönebilmek için enerji yayımlarlar. Yayımladıkları bu enerji radyasyon olarak tanımlanmış olup, 1896 yılında Henri Becquerel bu konuda çalışmalar başlatmıştır. Radyasyon, yayımlandığı kaynak bakımından yapay radyasyon ve doğal radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Ayrıca hücrelerde iyonizasyona sebep olanlarına, iyonlaştırıcı radyasyon, iyonizasyona sebep olmayana ise iyonlaştırıcı olmayan radyasyon denir. Genelde doğal kaynaklardan ortaya çıkan iyonlaştırıcı

*Sorumlu yazar: erdalkucukonder@gmail.com

Geliş Tarihi: 28.05.2021, Kabul Tarihi: 12.08.2021

radasyon, maddeyle etkileşerek atomlarının elektriksel yapısını değiştirebilir, dolayısıyla sağlık sorunlarına sebep olabilir. Çevremizde sürekli var olan doğal radyasyonun yaklaşık %54'ünün gözle görünmeyen ve duyarlar vasıtasıyla algılanamayan renksiz, tatsız, kokusuz bir gaz olan radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü kız çekirdeklerinden oluştuğu bildirilmiştir [1,2]. Radon gazı, solunum sistemine girdikten sonra çok hızlı bir bozunma mekanizması ile α ve β radyasyonu yayar ve bu bozunma mekanizması ayrıca akciğer kanserine yol açan toksik bir radyoizotop olan ^{210}Po 'yu da içerir [3].

Yeryüzünde yaşayan tüm canlılar, yerkürenin oluşumundan bu yana yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayımlanan radyasyonla ve aynı zamanda uzaydan gelen kozmik ışınlarla ışınlanmaktadır. Tüm canlıların yaşamları boyunca, Dünya'da yerküreden kaynaklanan, doğal radyasyona maruz kaldıkları bildirilmiştir [4-10]. Tüm canlılar vücutlarına, hava solurken solunum yolu ile, beslenirken sindirim yolu ile havada ve yiyeceklerde bulunan radyoaktif maddeleri almaktadır. Alınan bu radyoaktif maddeler ilgili organlarda birikerek iç ışınlanmaya sebep olmaktadır. Buna ek olarak yerküredeki doğal radyoaktif maddelerden ve kozmik ışınlardan etkilendiğimiz de düşündüğünde, tüm canlılar hem iç hem de dış radyasyona doğal olarak maruz kalmaktadır [11].

^{238}U , ^{232}Th serileri ve ^{40}K oldukça fazla süre yarı ömre sahip olup, topraklarda, sularda, havada bulunmakta, canlıları dıştan ve içten ışınlanmaktadır. Radon gazı, ^{238}U serisinde bulunan kız çekirdeklerden 1600 yıl yarı ömre sahip ^{226}Ra 'nın bozunması ile ortaya çıkar. Yine aynı seride bulunan 22,6 yıl yarı ömre sahip ^{210}Pb ise bu zinciri etkin bir şekilde korur. Radon gazının yarı ömrü 3,8 gün olup radyoaktif bir asal gazdır. Buna karşılık bu radyoaktif seride radondan sonra gelen ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po kız çekirdekler, radon gazı gibi pasif olmayıp alfa ve beta yayımlayan, kimyaca aktif katı elementlerdir. Radon gazı alfa yayımladığı için, alfa ışınının girciliği çok az olduğundan dış ışınlama tehlikesi yoktur. Radon gazının uzun süre solunması, akciğerler için önemli bir sağlık riski oluşturabilmektedir. Radon gazının bozunma ürünlerinin, genellikle akciğer mukozasına yerleşerek akciğer kanseri riskini artırdığı bilinmektedir [12]. WHO ve EPA radonu, A sınıfı kanserojen madde olarak sınıflandırmıştır [13]. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'de bir yılda meydana gelen 41000 akciğer kanseri vakasının en az 2500'ünün radon gazına bağlı olduğu bildirmektedir [14].

Yer altı maden ocaklarında çalışan işçiler maden ocağı havasında bulunan radyonüklidleri solumaları ve yutmaları sebebi ile sağlık açısından mesleki risk altındadırlar. Maden işçileri hem havadaki radon gazı ve onun kız çekirdekleri hem de jeolojik yapıda bulunan doğal radyoaktif elementlerden yayımlanan gama radyasyonu ile içten ve dıştan ışına maruz kalmaktadırlar. Epidemiyolojik çalışmalar, uzun süre radyasyona maruz kalmanın akciğer kanseri riskini artırdığını göstermektedir [15]. Radon gazı, solunması sonucu akciğerlerde alfa yayımlaması sebebi ile hassas hücrelerde iyonizasyona sebep olduğu için akciğer kanseri riskini artırdığı yönünde çok sayıda bulgunun varlığı nedeni ile birçok ülkede araştırmacıların ilgisini çekmiş olup, bu konuda hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde çalışmalar yapılmıştır [16-18].

İnsanlar, günlük yaşantısının yaklaşık %90' ını kapalı ortamlarda geçirmektedirler [19,20]. Bina içi kapalı ortamlarda, bina temeli altında bulunan kayaç ve toprak sebebi ile radon gazı bulunmaktadır. Radon gazı yeraltından yükselerek binanın altından düşük basınçlı bina içerisine, duvar ve zemin çatlaklarından, su borusu boşluklarından v.b. girerek katlar arasında yükselerek kapalı mekânları doldurur.

Radon gazı doğrudan ve onun kız çekirdekleri havadaki asılı bulunan toz ve diğer parçacıklara tutunur ve böylece radyoaktif aerosol oluşturur. Solunarak akciğerlere alınan bu radyoaktif maddeler kararlı duruma gelinceye kadar radyoaktif ışın yayımlayarak akciğerlerde iyonizasyona sebep olurlar. Son ürün olarak kararlı kurşuna dönüşünce de akciğerlerde hassas hücreler üzerinde ağır element birikimi de hücrelere zarar verebilir ve akciğer kanserine neden olabilir. Uranyum madencileri üzerinde yapılan araştırmaların, radon gazının akciğer kanseri için ana sebep olduğunu ortaya koymasıyla, radon gazına maruz kalma sınırlandırılmıştır. Bina içi radon gazı ölçümleri bu çerçevede oldukça önem kazanmıştır. Çünkü canlıların, doğal kaynaklar sebebi ile maruz kaldıkları toplam radyasyon dozunun %54'ünün radon gazı sebebi ile olduğu bildirilmiştir [17].

Bina içi radon gazı konsantrasyonları, aktif veya pasif ölçme metotları için dizayn edilmiş ölçüm cihazları ile belirlenebilmektedir. Dünya genelinde ve ülkemizde literatürde kapalı ortam (meskenlerde, mağaralarda, madenlerde, termik santrallerde ve kütüphanelerde) radon gazı konsantrasyonu ölçme konusunda yapılan çalışmalar oldukça fazladır [21-32]. ABD'de ve Avrupa ülkelerinde bu ölçümler

sürekli tekrarlanarak yapılmakta ve radyasyon haritaları güncellenmektedir. ABD’de bir yılda 1 milyon radon gazı yoğunluğu ölçümü yapıldığı bildirilmiştir [33].

Uluslararası Atom Enerji Ajansı, temel güvenlik standartları (IAEA-BSS), tavsiye edilen radon gazı konsantrasyon seviyesini evlerde $200-600 \text{ Bq m}^{-3}$, işyerlerinde $500-1500 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak, Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde ise, ülkemiz için müsaade edilen radon gazı konsantrasyonu, evler için 400 Bq m^{-3} , işyerleri için 1000 Bq m^{-3} olarak belirlenmiştir. Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu tarafından radon gazı konsantrasyonu için tavsiye edilen değerler ise, evler için yıllık $200-600 \text{ Bq m}^{-3}$ ’dür. Aynı Komisyonun evlerde radon gazı konsantrasyonları için belirlediği sınırlar; yeni evlerde 200 Bq m^{-3} , eski evlerde 400 Bq m^{-3} ve maden bölgelerinde ise 1500 Bq m^{-3} ’dür. 400 Bq m^{-3} ’lük sınır değerinde ise akciğer kanseri meydana gelme riski %6’dır. Bu risk değeri, sigara kullanımı ile 10-20 kat kadar artabilmektedir [34,35].

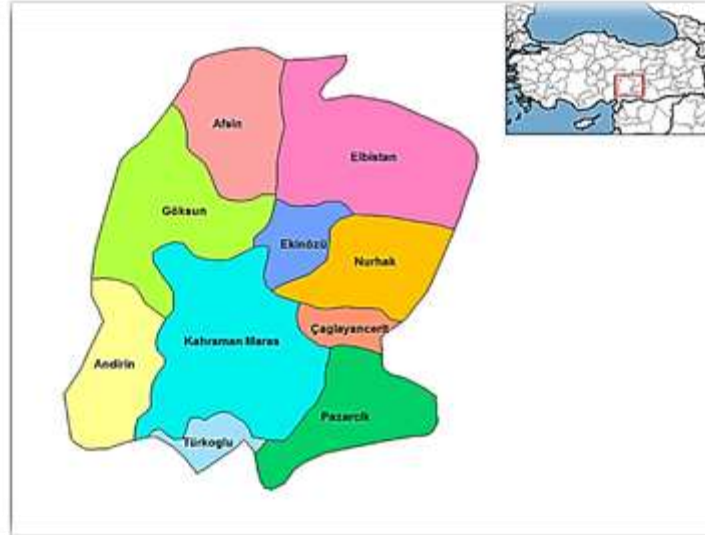
Kahramanmaraş’ta bazı ilköğretim okullarında ve anaokullarında radon gazı seviyesi pasif radon dedektör kullanılarak [36], faylarla ilişkili jeotermal alanlarda aktif ölçer kullanılarak ölçülmüştür [37]. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi’nde daha önce radon gazı ölçümü ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmamızın amacı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi’nde 12 binada radon gazı ölçümü yaparak, çalışanlar ve öğrenciler için sağlık risklerini değerlendirmek ve gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamaktır.

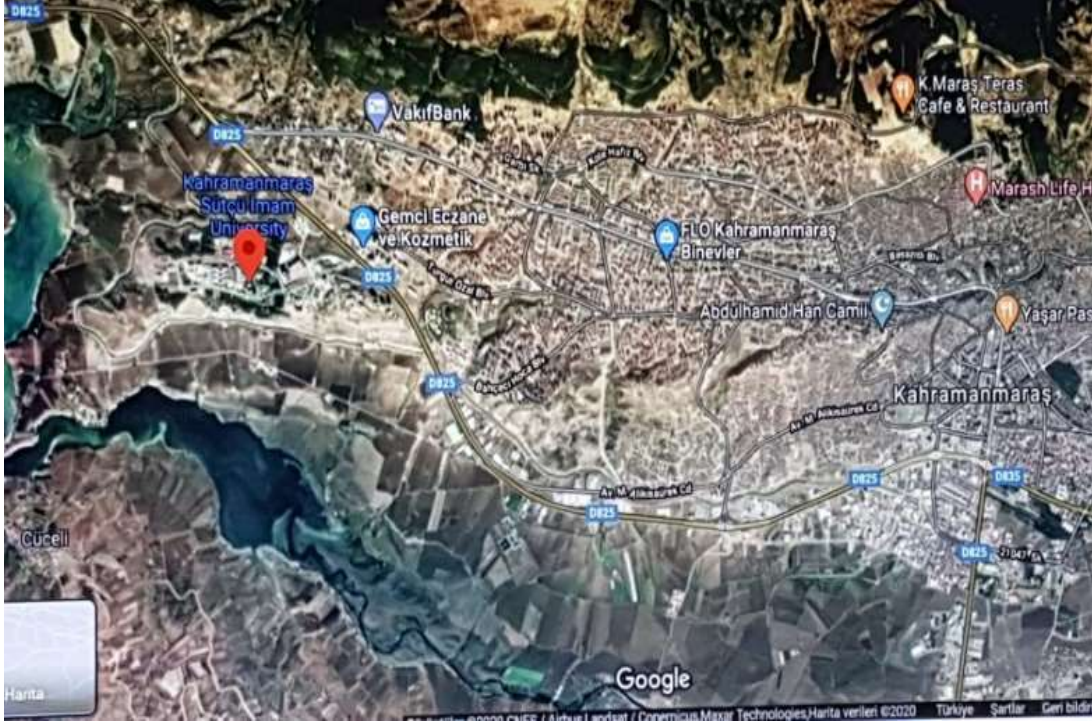
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Kahramanmaraş ilimiz Akdeniz Bölgesi’nin doğusundadır. İklim merkez ilçelerde Akdeniz Bölgesi’ne yakın iklime sahiptir. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi şehrimizin güneybatısında Onikişubat ilçesindedir. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi’nde fakülte ve idari birimler olmak üzere toplam 12 binada ölçümler yapılmıştır. Bu binalarda, hizmet veren yaklaşık 2.000 akademik ve idari personel ile eğitim gören 20.000 öğrenci bulunmaktadır. Kahramanmaraş ilinin ülkemizdeki yeri Şekil 1’ de ve Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi’nin konumu Şekil 2’ de verildiği gibidir.



Şekil 1. Kahramanmaraş, Türkiye [38]



Şekil 2. Kahramanmaraş merkezde KSU Avşar Yerleşkesi'nin konumu

2.2. Deneysel Çalışma

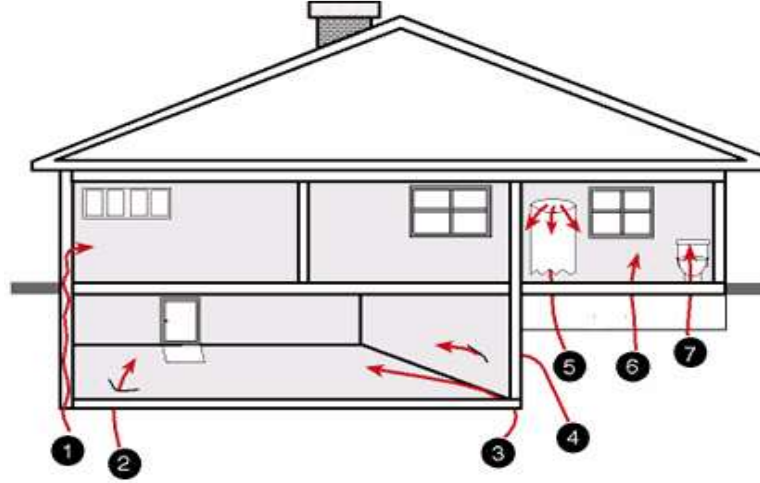
Kahramanmaraş ilinde, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi'nde bina içi radon gazı ölçümleri, Yerleşke'deki on iki binada yapıldı.

Binanın oturduğu zemindeki toprak ve kayalar, bina içi radon gazı yoğunluğunun ana sebebidir. Yer altından gelen radon gazı yukarı doğru yükselir ve bina tabanında bir basınç oluşturur. Kış aylarında binanın etrafında bulunan alanlarda yağış nedeni ile gözeneklerin kapanması ve bina içi sıcaklığın artması ile içeride basınç azalması olacağından, radon gazı daha hızlı bir şekilde bina içine girer. Kışın havaların soğuk olması sebebi ile havalandırma da az olduğundan radon gazı seviyesi bina içinde yüksek olur. Yazın ise, bina dışı ortamda toprak çatlaklarının artması ve havalandırmanın daha fazla olması sebebi ile durum tam tersine döner, bina içi radon gazı yoğunluğu azalır. Ayrıca, bulunulan bölgedeki toprak ve kayalar ile birlikte yapı malzemeleri içerisinde bulunan ^{226}Ra yoğunluğu da radon gazı miktarını etkiler.

Radon gazı bina içine; bina zemininde bulunan çatlaklardan, duvarlardaki çatlaklardan, çeşitli tesisat boşluklarından, yapının bağlantı noktaları vb. yerlerden girmekle birlikte, kum, çimento, boya, kireç, alçı gibi yapı malzemelerinden de girer. Bunların yanında içme-kullanım suları ve doğal gazda bulunan radon gazının da bina içinde radon gazı yoğunluğunu artırabildiği bildirilmiştir [39].

Yapı malzemelerinin de radon gazı konsantrasyonuna etkisinin olduğu bilinmektedir. Örneğin, duvarları taş ve tuğla olan binalara göre, briket olan binaların radon gazı konsantrasyonları daha yüksektir. Ayrıca tavanı beton olan evlere göre, tavanı toprak olan evlerin radon gazı konsantrasyonlarının daha fazla olduğu bildirilmiştir [40].

Şekil 3'te radon gazının binalara nerelerden girdiği gösterilmektedir: 1) Duvar içi kaviteleri, 2) Zemindeki çatlaklar, 3) Yapı birleşim noktaları, 4) Duvarda meydana gelen çatlaklar, 5) Binaya giren su kaynakları, 6) Asma tavan boşluğu, 7) Boru çevresi boşluğu [41].



Şekil 3. Radon'un binalara giriş noktaları [41]

2.3. DurrIDGE RAD7 Elektronik Radon Dedektörü Algılayıcısı ve Yapısı

Dedektör 4,3 kg ağırlığında olup bataryası sayesinde sniff modunda 24 saat, monitör modunda ise 72 saat ölçümler yapabilir. Ayrıca laboratuvar ortamında doğrudan adaptör ile de prize takılarak ölçüm yapılabilir. Şekil 4'te ve Şekil 5'te DURRIDGE Rad7 elektronik radon dedektörü görülmektedir.



Şekil 4. DURRIDGE Rad7 elektronik radon dedektörü



Şekil 5. DURRIDGE Rad7 elektronik radon dedektörü

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Avşar Yerleşkesi'nde tüm binalarda yer altından gelen ve yapı malzemelerinden yayımlanan, bina içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi DURRIDGE Rad7 elektronik radon dedektörü ile yapıldı.

Tablo 1'de 14.01.2016-25.02.2016 tarihleri arasındaki bina içi radon ortalamaları ve Tablo 2'de 19.07.2016-01.09.2016 tarihleri arasındaki bina içi radon ortalamaları verilmektedir.

Tablo 1. 14.01.2016-25.02.2016 tarihleri arasındaki radon ortalamaları

Binalar	Zemin	Zeminin 1 m üzeri
	(Bq m ⁻³)	(Bq m ⁻³)
Eğitim Fakültesi	36.37±12.18	27.32±11.70
Fen-Edb.Fak.	36.32±13.64	24.72±10.66
İlahiyat Fakültesi	28.48±11.64	19.92±8.38
Orman Fakültesi	21.16±10.56	19.52 ± 8.74
Yabancı Diller Yüksek Okulu	22.77±10.88	18.68±8.42
Ziraat Fakültesi	38.66±14.80	29.40±12.36
İİBF	28.78±12.64	20.89±11.74
Rektörlük	11.36±4.36	8.52±3.24
Kütüphane	38.01±13.72	21.38±9.68
Öğrenci İşleri Daire Bşk.	53.12±16.46	45.19±14.76
Görsel Sanatlar	28.48±11.24	17.06±6.74
Kafeterya	27.30±11.66	22.63±10.34

Tablo 2. 19.07.2016-01.08.2016 tarihleri arasındaki radon ortalamaları

Binalar	Zemin	Zeminin 1 m üzeri
	(Bq m ⁻³)	(Bq m ⁻³)
Eğitim Fakültesi	20.48±9.34	17.37±4.26
Fen-Edb.Fak.	22.79±9.28	21.54±9.64
İlahiyat Fakültesi	11.42±4.56	8.7±3.34
Orman Fakültesi	6.52 ± 2.66	5.97 ± 2.44
Yabancı Diller Yüksek Okulu	14.25±5.70	11.36±4.64
Ziraat Fakültesi	16.12±5.32	12.58±3.26
İİBF	6.63±2.70	4.74±1.34
Rektörlük	9.68 ± 3.64	7.27±3.36
Kütüphane	14.24±5.40	11.38±4.34
Öğrenci İşleri Daire Bşk.	15.17±4.42	12.57±3.50
Görsel Sanatlar	11.42±3.68	10.40±3.38
Kafeterya	22.61±10.44	17.96±4.62

Tablo 3. Ev ve iş yerleri için ulusal ve uluslararası kuruluşlarca belirlenen radon gazı limitleri [43]

Kuruluşlar	Önerilen limitler (Bq m ⁻³)	
	Ev	İş yeri
ICRP	≤300	≤1000
WHO	≤100	
AB	≤300	≤1000
TAEK	≤400	≤1000

Bina içi kışlık radon konsantrasyon değerleri zeminde 11,36±4,36 Bq m⁻³ ile 53,12±16,46 Bq m⁻³ arasında değişmekte olup zeminin 1 m üzerinde ise 8,52±3,24 Bq m⁻³ ile 45,19±14,76 Bq m⁻³ arasında

değişmektedir. En yüksek kışlık radon konsantrasyonu zeminde Öğrenci İşleri Daire Başkanlığında, zeminin 1 m üzerinde ise yine Öğrenci İşleri Daire Başkanlığında ölçüldü. Bina içi yazlık radon konsantrasyon değerleri zeminde $6,52 \pm 2,66 \text{ Bq m}^{-3}$ ile $22,79 \pm 9,28 \text{ Bq m}^{-3}$ arasında değişmekte olup zeminin 1 m üzerinde ise $4,74 \pm 1,34 \text{ Bq m}^{-3}$ ile $21,54 \pm 9,64 \text{ Bq m}^{-3}$ arasında değişmektedir. En yüksek yazlık radon konsantrasyonu zeminde Fen-Edebiyat Fakültesi binasında, zeminin 1 m üzerinde ise yine Fen- Edebiyat Fakültesi binasında ölçüldü. Hem Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı hem de Fen-Edebiyat Fakültesi binası Yerleşke'nin en eski binalarından olup 17 yıl önce yapımı tamamlanmıştır. Binanın yaşının yüksek olması zemin çatlakları ve atık su boru boşluklarının daha fazla olmasına neden olabilir. Bu nedenle de diğer binalara göre, radon gazı değerleri daha yüksek olabilir. Ayrıca, Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı binasında merkezi iklimlendirme sisteminin bulunması sebebiyle yaz aylarında odaların havalandırması iyi yapılmamış olabilir. Ölçüm yapılan binalarda, insan sağlığı için Tablo 3'te verilen ICRP, WHO, AB ve TAEK tarafından belirlenen limit değerler ile karşılaştırma yapıldı. Ölçüm yapılan binalarda ölçüm sonuçlarının tümü ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından tanımlanan limit değerlerinin altındadır. Yapılan ölçümlerin tamamı önerilen seviyelerden düşüktür.

Binalar arasındaki farklılıklar, binaların bulunduğu zemin ile arasındaki izolasyon farkı, zeminde bulunan çatlak ve atık su tesisatı boşluk farklılıkları ve binalarda kullanılan inşaat malzeme farklılıklarından olabilir. Kışın yapılan ölçüm değerleri yaz değerlerine göre yüksektir. Bunun nedeni kış aylarında yağış nedeni ile bina dışı toprağın, gözenek ve çatlaklarının kapalı olması ve binanın altında kalan toprağın kuru kalması sebebi ile oluşan yüksek basınçla radon gazının bina içine girmesi ve kış aylarında havalandırma eksikliklerinden olabilir. Ayrıca zeminde yapılan ölçümlerin, zeminin 1 m üzerine yapılan ölçümlerden yüksek çıkması radon gazının havadan ağır olmasındandır.

Tüm bunlara ilave olarak, Kahramanmaraş il merkezinde faaliyet gösteren 16 farklı ilköğretim ve anaokullarında 28.08.2013-01.11.2013 tarihleri arasında yapılan ölçümlerde ortalama radon konsantrasyonu $52,25 \text{ Bq m}^{-3}$ ve 01.11.2013-03.01.2014 tarihleri arasında yapılan ölçümlerde ortalama radon konsantrasyonu $67,30 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak ölçülmüştür [36]. Bu ölçümlerde CR-39 pasif iz dedektörü kullanılmıştır. Bizim çalışmamıza göre ortalama değerler yüksektir, bunun sebebi ölçüm yapılan okulların bulunduğu zeminin kayaç ve toprak yapılarının farklı olması, havalandırma alışkanlıkları ile birlikte bina yaşlarının farklı olması olabilir. Ayrıca, kış ölçümleri ve yaz ölçümleri karşılaştırıldığında kış ayları bizim çalışmamızda olduğu gibi yaz aylarına göre daha yüksektir. Isparta ilinde yapılan bir çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesinde yapılan ölçümlerde ortalama ^{222}Rn yoğunluğu $372 \pm 74 \text{ Bq m}^{-3}$, şehir merkezinde bulunan bir meskende yapılan ölçümlerde ortalama $118 \pm 36 \text{ Bq m}^{-3}$, Yedişehitler Mahallesi ortalama $134 \pm 41 \text{ Bq m}^{-3}$, Mavikent Mahallesi $172 \pm 46 \text{ Bq m}^{-3}$, Yalvaç Meslek Yüksekokulu $92 \pm 30 \text{ Bq m}^{-3}$, Davraz Mahallesi $359 \pm 73 \text{ Bq m}^{-3}$, Halıkent Mahallesi $44 \pm 88 \text{ Bq m}^{-3}$, Pri Mehmet Mahallesi $190 \pm 168 \text{ Bq m}^{-3}$ ve Gökçay Mevkisi için ise $27 \pm 40 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak ölçülmüştür [44]. Isparta ilinde yapılan bu çalışmada, elde edilen sonuçlar, bizim sunduğumuz çalışma sonuçlarına göre daha yüksektir. Bunun sebebi, her iki ilin farklı jeolojik yapılar üzerinde bulunması ve inşaat malzemelerinin farklılıklarından olabilir. Bitlis ili Ahlat ilçesinde yapılan bir çalışmada, evlerde radon gazı konsantrasyon değerlerinin $10,01$ ile $2031,06 \text{ Bq m}^{-3}$ arasında değişmekte olduğu ve ortalama değer $259,86 \text{ Bq m}^{-3}$ olduğu bildirilmiştir [45]. Sivas ilinde yapılan bir çalışmada ise bina içi radon gazı ölçümleri yaz ayları için ortalama değeri 98 Bq m^{-3} , kış ayları için ise 89 Bq m^{-3} olarak ölçülmüş olup, yaz değerlerinin daha büyük çıkmasının sebebi ise bölgede yaygın olan kış mevsiminde kalın kar tabakasının erimesinden sonra zemin geçirgenliğinin artması ile ilgili olduğu bildirilmiştir [46]. İstanbul'da bir hastanede radon gazı ölçüm değerleri $19 \pm 8 \text{ Bq m}^{-3}$ ile $51 \pm 15 \text{ Bq m}^{-3}$ arasında olup, ortalama değerleri sırasıyla, Bodrum-1 katı için $32,5 \pm 11 \text{ Bq m}^{-3}$ ve Bodrum-2 katı için $31,6 \pm 10 \text{ Bq m}^{-3}$ bulunmuştur [47]. Ayrıca Polonya'da yapılan bir çalışmada ise üç farklı hastanede ölçülen radon konsantrasyonu ortalama değerleri, bodrum kat için $25,3 \text{ Bq m}^{-3}$, $45,5 \text{ Bq m}^{-3}$ ve $32,3 \text{ Bq m}^{-3}$, zemin kat için ise $19,7 \text{ Bq m}^{-3}$, $24,9 \text{ Bq m}^{-3}$ ve $18,6 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak ölçülmüştür [48]. Hem İstanbul'da hem de Polonya'da yapılan çalışma sonuçları ile sunduğumuz bu çalışma sonuçları uyum içerisindedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Kapalı mekânlarda radon gazı oranı binanın temelindeki toprak ve kayalardan kaynaklanmaktadır. Sabah erken saatlerde günlük radon konsantrasyonları en yüksek değerde olma eğilimindedir. Kapalı ortam sıcaklığı da havadan ağır olan radon gazının yükselmesine ve daha büyük bir hacim kaplamasına neden olur.

Yaptığımız ölçümlerde, yaz mevsimi ölçümlerinin düşük çıkmasının başka bir nedeni ise, havalandırma olup yaz aylarında kapı ve pencerelerin açık olması ile havalandırma sürekli ve günlük yapılırken kış aylarında dış ortamın soğuk olması nedeniyle havalandırmanın yapılmamasından olabilir. Sonuçlar beklenen değerlerle uyusmaktadır. Bu durumda çalışma ortamlarının ve binaların özellikle kış aylarında da havalandırılması tarafımda önerilmektedir.

Ölçümler sonrası elde edilen değerler, insan sağlığı için ICRP, WHO, AB ve TAEK tarafından önerilen seviyelerle karşılaştırma yapıldığında, önerilen değerleri aşmadığı görüldü. TAEK' in belirlediği maksimum müsaade edilen radon gazı konsantrasyon limitine (evlerde 400 Bq m⁻³, iş yerlerinde ise 1000 Bq m⁻³) göre değerlendirildiğinde, genelde ortalama yıllık 30-350 Bq m⁻³ arasında değişmektedir. Bu ölçüm değerleri bize, KSÜ Avşar Yerleşkesi'nde bulunan fakülte ve idari birimlerden oluşan toplam 12 binanın, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü kız çekirdeklerinin oluşturabileceği sağlık riskleri bakımından önemli bir tehlike taşımadığını göstermektedir.

Hayatımızın kaçınılmazı doğal radyasyon her yerde vardır. Burada önemli olan ise radyasyona maruz kalma dozunu azaltmaktır. Binalar yapılırken, binanın oturacağı zemininin radon gazı sızıntıları için yalıtılması, bina içi radon gazı konsantrasyonunun oldukça düşük olmasını sağlayabilir. Ayrıca yukarıda da önerdiğim gibi kapalı mekânların özellikle kış aylarında havalandırılması, radon gazı konsantrasyonunun azaltılmasında büyük bir rol oynamaktadır. Bina içi havalandırma yapılırken izolasyonu yüksek binaların havalandırma sürelerinin uzun tutulmasını da öneririm. Havalandırmanın önemini UNSCEAR ve ICRP'de vurgulamaktadır. Ayrıca bu tür ölçümlerin her yıl yapılması çalışanlar ve öğrencilerin sağlığı açısından da önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışma, KSÜ BAP birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 2014/4-34M. KSÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Gillmore G.K., Phillips P.S., Denman A.R., Gilbertson D.D. 2002. Radon in the Creswell Crags Permian limestone caves. *Journal of Environmental Radioactivity*, 62 (2): 165– 179.
- [2] Sandıkçioğlu A. 2004. Afyon Deprem Fay Hattı Üzerinde Bulunan Kaplıca ve Kuyu Sularındaki Radon Değişiminin Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1-112.
- [3] Kuluöztürk M.F., Büyüksaraç A., Özbey F., Yalçın S. 2017. Determination of radon gas activity levels in drinking water in Ahlat/Bitlis. Bitlis Eren University, *Journal of Science and Technology*, 7(2): 104–107.
- [4] Uyanık N.A., Akkurt I., Uyanık O. 2010. A ground radiometric study of uranium, thorium and potassium in Isparta, Turkey. *Ann. of Geophys*, 53: 25-30.
- [5] Mavi B., Akkurt I. 2010. Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta. Turkey. *Rad. Phys. Chem.*, 79 (9): 933-937.
- [6] Aközcan S. 2014. Annual effective dose of naturally occurring radionuclides in soil and sediment. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 96 (3): 379-386.

- [7] Akkurt I., Uyanık N.A., Günöglü K. 2015. Radiation Dose Estimation: An In Vitro Measurement For Isparta-Turkey. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 1 (1): 1-4.
- [8] Çetin B., Öner F., Akkurt I. 2016. Determination of Natural Radioactivity and Associated Radiological Hazard in Excavation Field in Turkey (Oluz Höyük). *Acta Physica Polonica A*, 130 (1): 475-478.
- [9] Seçkiner S., Akkurt I., Günöglü K. 2017. Determination of 40K concentration in gravel samples from Konyaaltı Beach, Antalya. *Acta Physica Polonica A*, 132 (3-II): 1095-1097.
- [10] Günay O., Aközcan S., Kulalı F. 2018. Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 13: 91-97.
- [11] Durrani A.S., Ilic R. 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation. *Earth Sciences and Environment*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, England, 416 sayfa.
- [12] Sarı S., Dizman S. 2020. Ovit Dağbaşı Gölü Çevresinden Alınan Toprak Örneklerinde Radyoaktivite ve Radyolojik Etkilerin Araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (3): 1122-1130.
- [13] UNSCEAR. 1998. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication, No:E.88.IX.7.New York.
- [14] Vural S.M. 2004. Yapı İçi Hava Niteliği Risk Süreci Modeli Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-100.
- [15] Değerlier M. 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1-175.
- [16] Selçuk A.B. 1996. Elazığ Yöresindeki Evlerde Radon Gazı Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-78.
- [17] Espinosa G., Golarri J.L., Martinez T., Navarette M., Boggard J., Martinez G. 1996. Indoor ²²⁰Rn and ²²²Rn Concentration Measurements Inside The Teotihuacan Pyramids Using NTD and E-PERM Methodologies. *Radiation Measurements*, 40: 646-649.
- [18] Planiniç J., Faj D., Vukoviç B., Faj Z., Radoliç V., Suveljak B. 2002. Radon exposure and lung cancer. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 256: 349-352.
- [19] Kapdan E. 2009. Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 1-91.
- [20] Çıtlak K. 2018. Sakarya Üniversitesi Kampüs Bölgesinde Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Sakarya, 1-69.
- [21] Çelebi N. 1995. Çevresel Örneklerde Uranyum, Radium ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, İstanbul, 1-83.
- [22] Kumbur H., Zeren O., Köksal M., Özçınar B. 1997. İçel'de Evlerde Radon Düzeylerinin Araştırılması. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 25 (7): 25-31.
- [23] Çelebi N., Taşdelen M., Özçınar B., Kopuz G. 2003. YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesi Radon Konsantrasyon Ölçümleri. VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15- 17 Ekim, Kayseri.
- [24] Fişne A., Otken G., Çelebi N. 2005. Radon Concentration Measurements in Bituminous Coal Mines. *Radiation Protection Dosimetry*, 113 (2): 173-177.
- [25] Baldık R., AYTEKİN H., ÇELEBİ N., ATAKSOR B., TAŞDELEN M. 2006. Radon Concentration Measurements in the Amasra Coal Mine, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 118 (1): 122-125.
- [26] Yarar Y., Günaydı T., Çelebi N. 2006. Determination of Radon Concentrations of the Dikili Geothermal Area in Western Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 118 (1): 78-81.
- [27] AYTEKİN H., BALDIK R., ÇELEBİ N., ATAKSOR B., TAŞDELEN M., KOPUZ G. 2006. Radon Measurements in the Caves of Zonguldak (Turkey). *Radiation Protection Dosimetry*, 118 (1): 117-122.
- [28] Değerlier M., Çelebi N. 2008. Indoor Radon Concentrations in Adana, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 131 (2): 259-264

- [29] Aytekin H., Bayata S., Baldık R., Çelebi N. 2008. Radon Measurement in the Çatalağzı Thermal Power Plant, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 128 (2): 251-253.
- [30] Baldık R., Aytekin H., Çelebi N. 2009. Radon Fluctuations in the Armutçuk Coal Mine, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18 (1): 87-91.
- [31] Karakılıç V., Bayraktar G., Kürkçüoğlu M.E., Haner B., Yılmaz A. 2009. S.D.Ü. Bilgi Merkezi'nde Radon Ölçümleri. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 13 (3): 201-207.
- [32] Kürkçüoğlu M.E., Bayraktar G. 2012. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16 (2): 167-183.
- [33] Kürkçüoğlu M.E., Haner B., Yılmaz A., Toroğlu İ. 2009. Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon Ölçümleri. *SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 4 (2): 177-188.
- [34] George A.C. 2007. World History of Radon Research and Measurement from the Early 1900's to Today. http://www.crcpd.org/radon/Radon_Bulletin/November07RB.pdf (Erişim tarihi: 29.03.2009).
- [35] ICRP Publication 50. 1987. Lung cancer risk from indoor exposure to radon daughters. *Annals of the ICRP*, 17: 1-60.
- [36] Avşar Y. 2015. Kahramanmaraş il merkezindeki bazı ilköğretim ve anaokullarında radon gazı ölçümü. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 1-98.
- [37] Kop A. 2010. Faylarla ilişkili jeotermal alanlarda radon gazı ölçümlerinin önemine ilişkin bir örnek, Hartlap kaplıcası, Kahramanmaraş. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 23 (1): 39-52.
- [38] <http://www.turkiyerehberi.gen.tr/sehirler/book/export/html/192>.
- [39] ICRP Publication 65. 1993. Protection Against Rn-222 at Home and at Work. *Annals of the ICRP*, 23 (2).
- [40] Sannappa J., Chandrashekar M.S., Sathish L.A., Paramesh L., Venkataramaiah P. 2003. Study of background radiation dose in Mysore city. Karnataka State. India. *Radiation Measurements*, 37 (1): 55-65.
- [41] Akyıldırım H. 2005. Isparta İli'nde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [42] NCRP. 1988. Measurements of Radon and Radon Daughters in Air. Report, 97, p174.
- [43] Kürkçüoğlu M.E., Tozun F. 2015. Isparta İl Merkezindeki İş Yerlerinde Atmosferik Radon Ölçümleri. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 10 (1): 62-74.
- [44] Özkorcuklu S., Akyıldırım H., Çapalı V. 2006. Isparta İli'nde Radon Yoğunluk Ölçümleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (3): 323-327.
- [45] Kuluöztürk M.F., Büyüksaraç A., Özbey F., Yalçın S., Doğru M. 2019. Determination of indoor radon gas levels in some buildings constructed with Ahlat stone in Ahlat/Bitlis. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16: 5033-5038.
- [46] Mıhçı M., Büyüksaraç A., Aydemir A., Çelebi N. 2010. Indoor and outdoor Radon concentration measurements in Sivas, Turkey, in comparison with geological setting. *Journal of Environmental Radioactivity*, 101: 952-957.
- [47] Günay O., Aközcan S., Kulalı F. 2018. Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 13: 91-97.
- [48] Mnich Z., Karpinska M., Kapala J., Kozak K., Mazur J., Birula A., Antonowicz K. 2004. Radon concentration in hospital buildings erected during the last 40 years in Białystok. *Poland Journal of Environmental Radioactivity*, 75 (2): 225-232.

Araştırma Makalesi / Research Article

Termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen *n-ZnO/p-Si* heteroeklem kontakların elektriksel ve optiksel karakterizasyonu

Abdullah OZKARTAL*

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Van
(ORCID: 0000-0002-1556-6141)

Öz

Bu çalışmada, *n-ZnO* ince filmi hem *p-Si* yarıiletkeni ve hem de mikroskop camı üzerinde termal buharlaştırma yöntemi ile üretildi. *n-ZnO* ince filmler, UV-Vis spektroskopisi, X-ışını kırınımı (XRD) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile incelendi. *n-ZnO/p-Si* diyotların elektriksel özellikleri karanlıkta ve oda sıcaklığında, akım-voltaj (*I-V*) ve kapasitans-voltaj (*C-V*) ölçümleri ile belirlendi. Üretilen numunelerin idealite faktörü (*n*), engel yüksekliği (Φ_b) ve seri direnci (R_s), *I-V* ve *C-V* ölçümlerinden ve Cheung fonksiyonlarından hesaplandı. Ayrıca *n-ZnO/p-Si* diyotların fotodiyot özellikleri 100 mW/cm² ve AM 1.5 aydınlatma altında incelendi.

Anahtar kelimeler: Fotodiyot, *n-ZnO/p-Si* heteroeklem kontak, *ZnO* ince film, termal buharlaştırma.

Electrical and optical characterization of *n-ZnO/p-Si* heterojunction contacts produced by thermal evaporation method

Abstract

In this study, *n-ZnO* thin film was produced on both *p-Si* semiconductor and microscope glass by thermal evaporation method. *n-ZnO* thin films were analyzed by UV-Vis spectroscopy, X-ray diffraction (XRD) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The electrical properties of *n-ZnO/p-Si* diodes were investigated by current-voltage (*I-V*) and capacitance-voltage (*C-V*) measurements in the dark and at room temperature. The ideality factor (*n*), barrier height (Φ_b) and series resistance (R_s) of the produced samples were calculated from *I-V* and *C-V* measurements and Cheung functions. In addition, photodiode properties of *n-ZnO/p-Si* diodes were investigated under 100 mW/cm² and AM 1.5 illumination.

Keywords: Photodiode, *n-ZnO/p-Si* heterojunction contact, *ZnO* thin film, thermal evaporation.

1. Giriş

Güneş pilleri güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Genelde yarıiletken *p-n* kontaklardan oluşan güneş pilleri, arayüzey bölgesine kadar güneş ışığını geçirebilen yarıiletken malzemelere ihtiyaç duyar. Yüksek oranda güneş ışığını geçirme özelliğine sahip yarıiletken malzemelere güneş pillerinin pencere materyali olarak isimlendirilir. Yarıiletken metal oksit ince filmler, ışığı iyi geçiren yapısıyla diyot yapılarında pencere materyali olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik özellik taşıyan *NiO*, *ZnO*, *CuO*, *SnO₂* ve *ITO* gibi metal oksit ince filmler güneş pili üretimlerinde yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. *ZnO* metal oksiti kararlı ve etkin yapısal özelliklerinden dolayı en yoğun çalışılmış bir ince filmidir [1-17].

Metal oksit ince filmler, sol-jel, püskürtme yöntemi (spray pyrolysis), döndürerek kaplama (spin coating), rf-dc magnetron püskürtme, atomik tabaka biriktirme gibi birden çok yöntemle üretilebilmektedir. *ZnO* ince filmi bir çok materyal ile *p-n* veya Schottky diyotların yapımında çok farklı tekniklerle üretilerek incelenmiştir. *n-ZnO/p-Si* heteroeklem yapısı da püskürtme yöntemi [18-19],

*Sorumlu yazar: abdullahozkartal@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 23.06.2021, Kabul Tarihi: 01.09.2021

magnetron püskürtme yöntemi [20-24], sol-jel yöntemi [25-28], atomik tabaka biriktirme yöntemi [29-30] ve termal buharlaştırma yöntemi [31-32] ile üretilmiş ve sonuçları rapor edilmiştir.

Bu çalışmada, diğer üretim yöntemlerine göre daha kolay, basit ve ucuz bir yöntem olan termal buharlaştırma yöntemini kullandık. İstenen kalınlıkta üretilme olanağı sunan termal buharlaştırma yöntemi hedef materyale de en az zarar veren bir yöntemdir. Ayrıca kıyasla daha hassas olan organik malzemelerle de çok rahat bir şekilde kullanılabilir. Daha önce çalışılmış olan termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen *n-ZnO/p-Si* heteroeklem diyotlarda rapor edilmemiş olan fotodiyot özellikleri ve kapasitans-voltaj (*C-V*) elektriksel özellikleri bu çalışmada belirlendi ve rapor edildi. Diğer yöntemlerle üretilen diyotların özellikleri ile karşılaştırıldı ve yorumlandı.

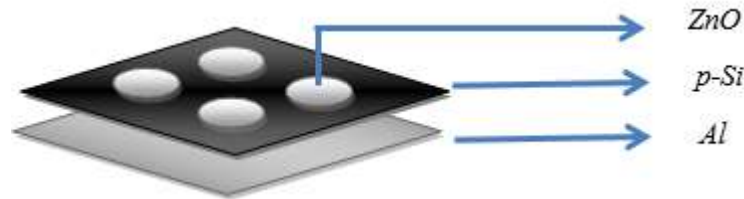
2. Materyal ve Metot

n-ZnO/p-Si heteroeklem diyotları üretiminde 450 µm kalınlığında, $\rho=1-10 \Omega \cdot \text{cm}$ öz dirençli, [100] kristal yöneliminde bor (B) katkılı, *p* tipi *Si* yarıiletken kristali kullanıldı. *Si* yarıiletken kristaller, organik ve mekanik kirliliklerden kimyasal olarak temizlemek için sırasıyla aseton ve metanolde 10 dakika süre ile ultrasonik temizleme cihazında yıkandı. Her işlemten sonra deiyonize su ile durulandı. Daha sonra örnekler sırasıyla RCA1 ($\text{NH}_4+\text{H}_2\text{O}_2+6\text{H}_2\text{O}$) ve RCA2 ($\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2+6\text{H}_2\text{O}$) çözeltilerinde 10 dakika kaynatıldı. Bu işlemlerden sonra HF:H₂O (%10 seyreltilmiş) içinde 30 sn süreyle daldırıldı ve tekrar deiyonize su ile durulanmıştır [33]. En son olarak numuneler bir nitrojen (N₂) atmosferi altında kurutuldu ve hemen ince film kaplamak için vakum cihazına (Edwards Auto, model-306) yerleştirildi.

Vakum cihazındaki basınç 1.33×10^{-6} kPa' a düştüğünde % 99,99 saflıktaki alüminyum (Al) metali 15 mm x 20 mm yüzey alana sahip *p-Si* kristalinin mat yüzeyine buharlaştırıldı. Al ile kaplanan numune vakum cihazından çıkarıldı ve omik kontak olması için 580 °C sıcaklığında ve nitrojen ortamındaki kuvars cam fırında 3 dak. süre ile ısıtılma yapıldı [33].

p-n kontak yapılmak üzere, Sigma-Aldrich'ten satın alınan % 99,99 saflıktaki çinko oksit (ZnO), hem omik kontağı yapılmış *p-Si* kristalin parlatılmış yüzeyine ve hem de temizlenmiş mikroskop camı üzerine buharlaştırıldı. ZnO ince film kalınlığı (~200 nm) vakum cihazındaki kalınlık ölçer sensör yardımı ile tesbit edilmiştir. Her biri daire şeklindeki diyotların etkin yüzey alanı $3.14 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ dir. ZnO ince filmi ile kaplanan mikroskop camlar, ZnO ince filmlerin optiksel ve yapısal analizlerinde kullanılmıştır.

n-ZnO/p-Si heteroeklem diyotların akım-voltaj (*I-V*) ölçümleri, Keithley (model 6487) pikoampermetre/voltaj kaynağı kullanılarak oda sıcaklığında, karanlıkta ve güneş simülatörü altında alınmıştır. Üretilen numunelerin şematik gösterimi Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1. *n-ZnO/p-Si/Al* yapısının şematik gösterimi

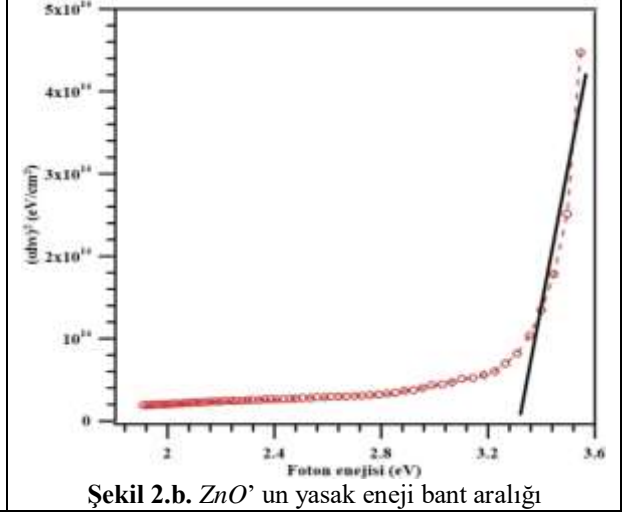
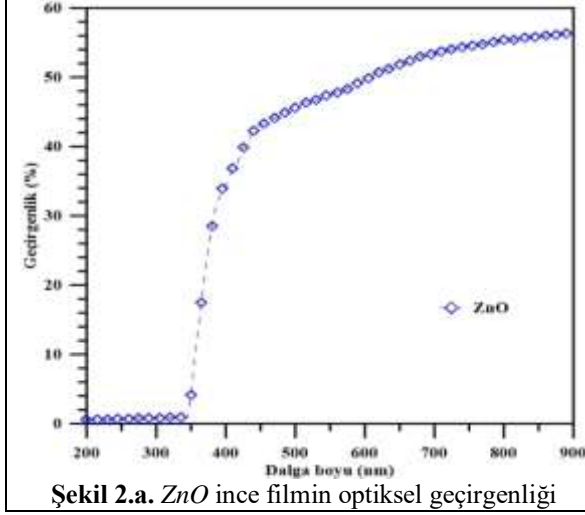
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Optiksel ve Yapısal Analiz

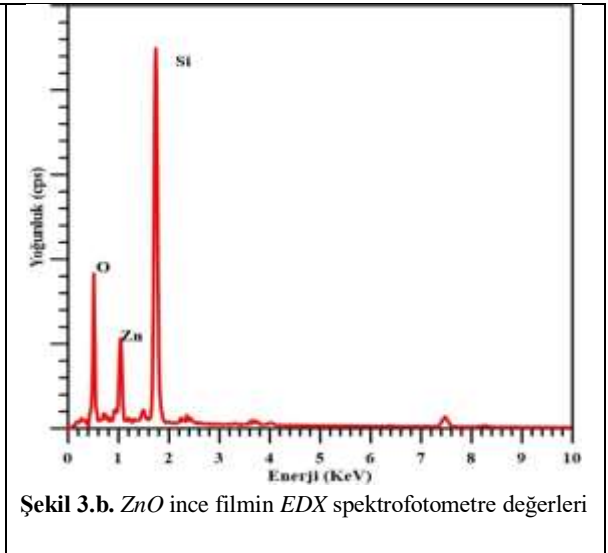
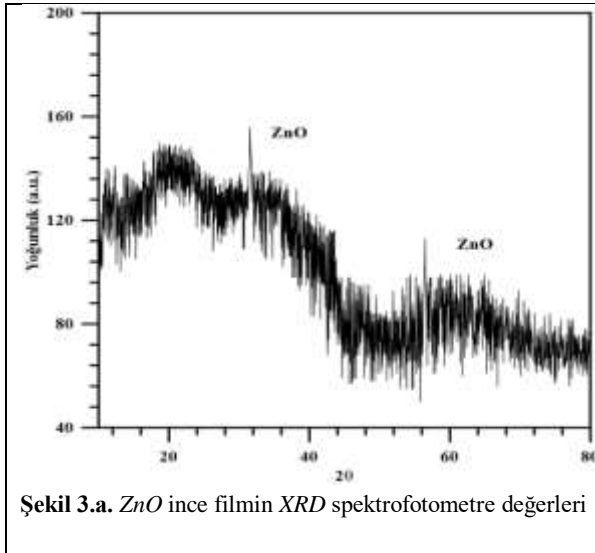
Optiksel geçirgenlik, *UV-Vis* spektrofotometresi (Shimadzu-model 2450) yardımıyla incelenmiştir. Nanometre boyutunda hassasiyetle ince film üretme kolaylığı sunan termal buharlaştırma yöntemi ile mikroskop camı üzerinde üretilen yaklaşık 200 nm kalınlığında *ZnO* ince film optiksel geçirgenlik grafiği Şekil 2.a'da gösterilmektedir. $(ah\nu)^2$ 'nin foton enerjisine $h\nu$ bağımlılığı Şekil 2.b' de verilmiştir. $(ah\nu)^2$ 'ye karşı $h\nu$ ilişkisi için doğrusal bağımlılık, *ZnO* için doğrudan izinli geçişin gerçekleştiğini gösterir. Optiksel yasak enerji bant aralığı değeri (E_g) aşağıdaki Denklem (1)' den hesaplanabilir [27].

$$\alpha hv = A(hv - E_g)^p \quad (1)$$

burada α , absorpsiyon katsayısı, A enerjiden bağımsız bir sabit ve h plank sabitidir. p üssü geçişin doğasına bağlıdır. Sırasıyla izin verilen doğrudan, izin verilen doğrudan olmayan, yasak doğrudan ve yasak doğrudan olmayan geçişler için $p = 1/2, 2, 3/2$ ve 3 [27]. ZnO 'nun izin verilen bir doğrudan bant aralığına sahip olduğu iyi bilinmektedir ve bant aralığı hesaplaması için $p=1/2$ kullanılmıştır. Buradan ZnO ince filmin E_g ' sini, 3.32 eV olarak hesaplandı. ZnO ince filmin yasak bant enerjisi, sol-gel ve püskürtme yöntemleri ile elde edilen örneklerindeğerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir [18, 27].



Cam üzerine buharlaştırılan ZnO filmlerinin X-ışını kırınım (XRD) diyagramı Şekil 3.a.' da gösterilmektedir. XRD ölçümü, ZnO ' nun kristal özelliklerini belirlemek için kullanılır. Açıkça gösteriyor ki; 2θ ' nın 34.5° (002) ve 54.5° (110)' deki zayıf ve geniş pikleri, çok zayıf bir kristallikten ziyade amorf bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.



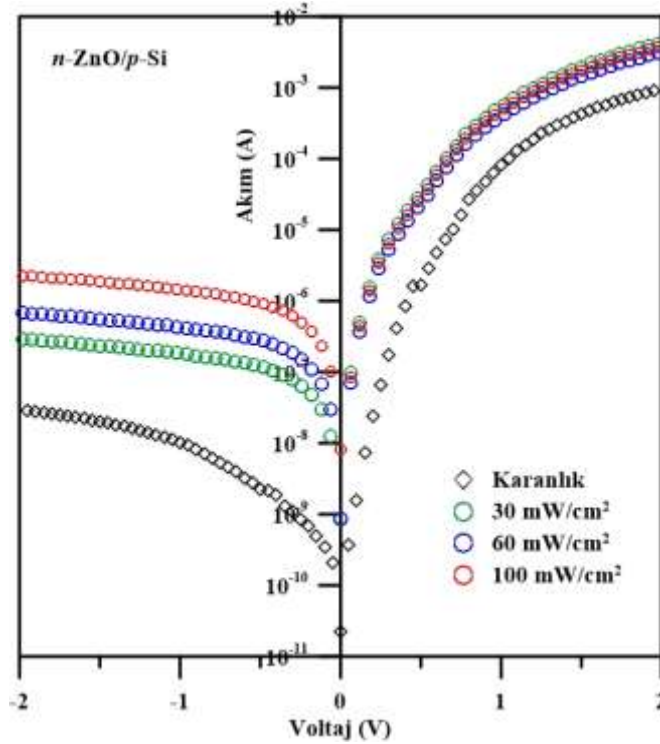
Şekil 3.b' e, ZnO ince filmi için elde edilen EDX sonuçlarını gösterir ki, çinko ve oksijen atomlarının varlığını açıkça görülmektedir. Yüksek Si piki, alt tabaka olarak kullanılan mikroskop camından kaynaklanmaktadır.

3.2. Elektriksel Analiz

Üretilen numunelerin I - V karakteristikleri literatürde Termiyonik Emisyon (TE) teorisine göre, ideal olmayan şartlarda düz besleme akımı şu şekilde ifade edilmektedir [34, 35, 36].

$$I = I_0 \left[\exp\left(-\frac{e(V-IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Burada n , idealite faktörü; k , Boltzmann sabiti; T , Kelvin cinsinden oda sıcaklığı; e , elektronun yükü ve V , diyota düz besleme olarak uygulanan voltaj; R_s , seri direnç ve I_0 , $V=0$ ' da $\ln I$ eksenini düz çizgi kesişiminden elde edilen doyma akımıdır. Üretilen numunelerin I - V grafikleri Şekil 4' te verilmiştir. Şekil 4.'ten anlaşılacağı gibi, üzerine düşen aydınlanma şiddetindeki artış ile diyotun ters beslem bölgesindeki akım yoğunluğunda dikkate değer artış oluşmaktadır. Bununla birlikte aydınlanma şiddetinin düz beslem voltaj bölgesine her hangi bir katkısının olmadığı görülmektedir.



Şekil 4. n - ZnO/p - Si diyotların $\ln I$ - V grafikleri

$$I_0 = AR^*T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \quad (2)$$

Denklem (2)'deki R^* , değeri p - Si yarıiletkeni için $32 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ olan Richardson sabitidir [37]; A , yarıçapı 1 mm olan etkin diyot alanıdır; Φ_b , diyodun engel yüksekliğidir.

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3)$$

İdealite faktörü n , Denklem (3) yardımıyla $\ln I$ - V grafiğinin düz beslem kısmındaki eğimin fitinden elde edilerek hesaplanır. İdealite faktörü metal-yarıiletken kontaklarda 1 değerine oldukça yakın olması beklenirken, p - n heteroeklem diyotlarda idealite faktörünün 1 değerinden oldukça uzaktır. Bunun nedeni olarak kontak arayüzey durumlarına, seri direncin büyüklüğüne ve arayüzey tabakalarına atfedilir. Burada da ön görüldüğü gibi n - ZnO/p - Si heteroeklem diyotların idealite faktörü 1.79 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu idealite faktörü değeri aynı yöntemle üretilmiş Sharma ve ark.'nın elde

ettiği 3.5 değerinden daha iyi bir değerdir [31]. Aynı yöntemle üretilen diğer çalışmada ise Reen ve ark. oldukça büyük olduğu için hesaplamamışlardır [32].

$$e\Phi_b = kT \cdot \ln \left(\frac{AR^*T^2}{I_0} \right) \quad (4)$$

Diyotların engel yükseklikleri Φ_b , Denklem (4) yardımıyla hesaplanmaktadır [37, 38]. *n-ZnO/p-Si* heteroeklem diyotların engel yüksekliği 0.74 eV olarak hesaplanmıştır.

Bununla birlikte, diyotların idealite faktörü, engel yükseklikleri ve seri direnç değerleri Cheung ve Cheung yöntemi ile hesaplama yapılarak sonuçların kararlılığı gösterilmiştir [39]. Cheung ve Cheung fonksiyonları Denklem (5) ve Denklem (6)' da verilmiştir;

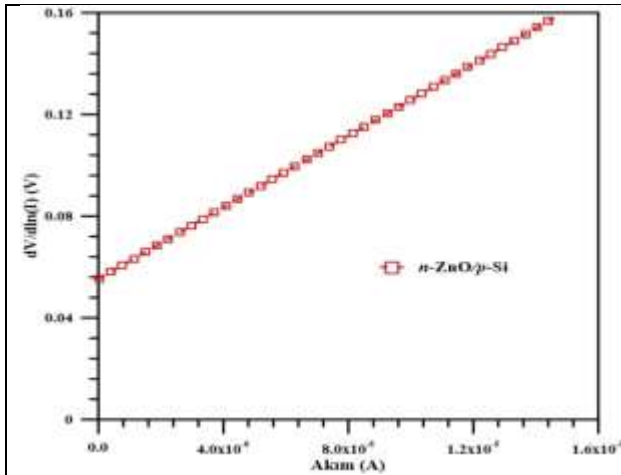
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_S \quad (5)$$

$$H(I) = n\Phi_b + IR_S \quad (6)$$

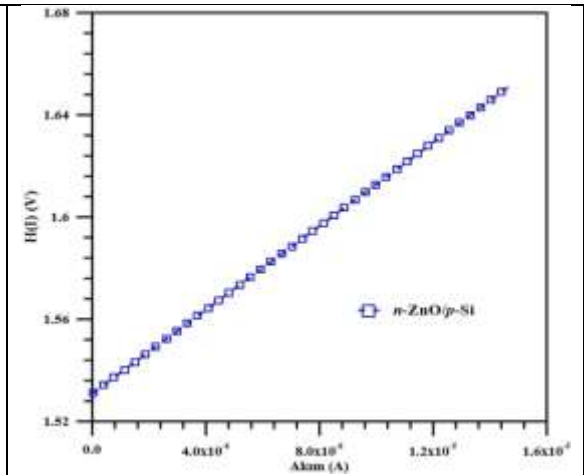
Denklem (5) ve Denklem (6)' ya göre idealite faktörü, bariyer yüksekliği ve seri dirençleri Şekil 5.a' daki $dV/d(\ln I)$ - I grafiklerinden ve Şekil 5.b' deki $H(I)$ - I grafiklerinden elde edilmiştir. Üretilen diyotların bu grafiklerden elde edilen elektriksel parametrelerin deneysel değerleri Tablo 1.' de verilmiştir.

Tablo 1. *n-ZnO/p-Si* diyotların elektriksel parametrelerin deneysel değerleri

Örnekler	n (I - V)	n (<i>Cheung</i>)	Φ_b (eV) (I - V)	Φ_b (eV) (<i>Cheung</i>)	Φ_b (eV) (C - V)	R_S (Ω) ($dV/d\ln I$)- I	R_S (Ω) ($H(I)$)- I
<i>n-ZnO/p-Si</i>	1.79	2.09	0.74	0.72	0.82	7368	8692



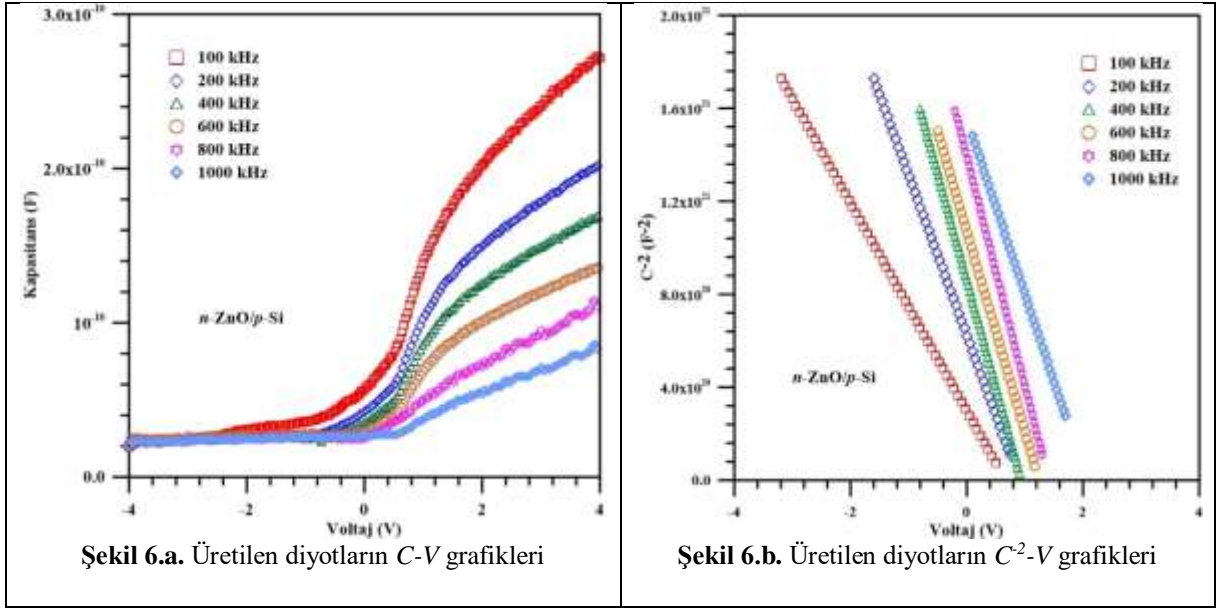
Şekil 5.a. *n-ZnO/p-Si* diyotların $dV/d(\ln I)$ - I grafiği



Şekil 5.b. *n-ZnO/p-Si* diyotların $H(I)$ - I grafiği

Bir diyotun elektriksel özelliklerini karakterize eden en temel ölçümlerinden biri de kapasitans-voltaj (C - V) ölçümüdür. C - V ölçümleri Agilent 4294 Precision Impedance Analyzer cihazı ile yapıldı.

Üretilen diyotların oda sıcaklığında ve çeşitli frekanslarda ölçülen C-V grafiği Şekil 6.a' da verilmiştir. C-V ölçümünden elde edilen C^{-2} -V grafiği de Şekil 6.b' de verilmiştir.



Şekil 6.a'da, -4 V ile +4 V aralığında *n-ZnO/p-Si* heteroeklem diyotların C-V ölçümünün ters ve düz besleme bölgesi gösterilmektedir. Şekil 6.a' dan da görüldüğü gibi düz beslem bölgesinde artan voltaj ile kapasitanslarında kendi diyot karakterlerine uygun olarak artmıştır. Tüm diyotlar genel olarak ölçülen kapasitansları uygulanan voltaja ve frekansa bağımlılık gösterir. Kapasitansın voltaja ve frekansa bağıllığı üretim şartlarında oluşan kirlilik derecelerine, yüksek seri dirence, arayüzey durumlarına ve arayüzey katmanları gibi diyotların belirli özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 6.b' de üretilen diyotların ters beslemedeki C^{-2} -V grafiğinin bir doğrusal olduğu görülmektedir. Bu doğrusallık Schottky diyot ile uyumlu olduğunu ve arayüzey tabakası teorisi ile açıklanabilmektedir [35]. Doğrultucu kontaklarda, arayüzey katmanı kapasitansı Denklem (7) ile verilmektedir [36].

$$C^{-2} = \frac{2(V_d - V)}{q\epsilon_s N_a} \quad (7)$$

Burada V_d , C^{-2} -V grafiğinin doğrusal kısmından elde edilen sıfır gerilimdeki difüzyon potansiyelidir; V , diyota uygulana gerilimdir; q , elektronun yükü; ϵ_s , *p-Si* yarıiletkeninin dielektrik sabitidir ve değeri 11.2'dir [36]; N_a , *B* katkılı *p-Si* yarıiletkeninde katkılamaya bağlı olarak oluşan akseptör yoğunluğudur ve Denklem (7) yardımıyla akseptör yoğunluğu Denklem (8) gibi hesaplanır.

$$N_a = \frac{2}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2} \frac{dV}{d(C^{-2})} \quad (8)$$

C^{-2} -V karakteristiğinden bariyer yüksekliği şu şekilde elde edilir;

$$\Phi_b = (C_2 V_d + V_p) \quad (9)$$

Burada $C_2=1/n$ ve V_p , p-tipi yarıiletkenin değerlik bandının kenarına göre elde edilen E_f 'ye eşittir. E_f , Fermi enerji seviyesidir ve Denklem (10) şeklinde hesaplanır.

$$E_f = kT \ln \left(\frac{N_c}{N_a} \right) \quad (10)$$

Burada N_c , yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durumların etkin yoğunluğu olarak adlandırılır. p -Si yarıiletken için oda sıcaklığında, $N_c = 3.35 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ [35]. C^2 - V grafiğinden elde edilen elektriksel parametreler Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Üretilen diyotların C^2 - V grafiğinden elde edilen elektriksel parametreleri

f (kHz)	V_d (V)	E_f (eV)	N_a (cm^{-3}) $\times 10^{13}$	Φ_b (eV)
100	0.67	0.30	2.73	0.67
200	0.91	0.31	1.86	0.82
400	1.17	0.32	1.41	0.97
600	1.25	0.32	1.50	1.02
800	1.41	0.32	1.31	1.11
1000	1.96	0.32	1.71	1.41

Bu çalışmanın amacı, n -ZnO/ p -Si diyotların performanslarını termal buharlaştırma yöntemi kullanarak araştırmaktır. Üretilen numunelerin I - V ve C - V ölçümlerinin grafikleri çizilmiştir. Diyotların hesaplanan elektriksel parametreleri Tablo 1. ve Tablo 2.'de gösterilmektedir. Numunelerin idealite faktörleri seri dirençleri ihmal edilerek Denklem (3)'e göre I - V grafiğinin düz besleme bölgesindeki doğrusal eğimlerinden hesaplanmıştır. Etkin engel yükseklikleri de Denklem 4. kullanılarak hesaplanmıştır. p - n diyotta arayüzey oksidasyonu ve arayüzey bölgesindeki rekombinasyon nedeniyle 1.79 olarak hesaplanmıştır. Bu değer termal buharlaştırma yöntemi ile elde edilen n -ZnO/ p -Si diyotları içinde en iyi değerdir. Ayrıca bu değer, püskürtme yöntemi [18], sol-jel yöntemi [27], atomik katman biriktirme yöntemi [29] ile uyumludur. Engel yükseklikleri de beklendiği gibi p - n yapısının 0.74 eV olarak hesaplandı. Bulunan bu idealite faktörü ve engel yükseklik değerleri literatür ile uyum içindedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen n -ZnO/ p -Si diyotların 3.13×10^4 doğrultma faktörü ile iyi bir doğrultucu özellik göstermiştir. Yöntem, film homojenliği, kalınlık kontrolü için diğer biriktirme yöntemlerine tercih edilmiştir. Bazı diyot ve fotovoltaik parametreler karanlıkta ve aydınlatma koşullarında, oda sıcaklığında hesaplanmıştır. Karanlıkta ve çeşitli aydınlatma altında ölçülen I - V değerlerinden fotodiyot özelliğe sahip olduğu anlaşılmıştır. İdealite faktörü ve engel yüksekliği sırasıyla 1.79 ve 0.74 eV olarak bulundu. Ayrıca cihazın C - V karakterizasyonları oda sıcaklığında incelenmiştir. Cihazın C - V ölçümleri, kapasitans değerlerinin frekansa bağlı olduğunu göstermiştir. Daha önce termal buharlaştırma yöntemi ile hesaplanmamış olan C - V değerleri de bu çalışma ile hesaplanmış ve rapor edilmiş oldu. Bu deneysel sonuçlar, ZnO ince film yapılarının bazı fotovoltaik ve optoelektronik uygulamalarda kullanılabileceğini göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FYL-2018-7203 proje numarası ile finansal olarak desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Bu makaledeki tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Krunks M., Mellikov E., 1995. Zinc oxide thin films by the spray pyrolysis method, *Thin Solid Films*, 270: 33-36.
- [2] Paraguay F.D., Estrada W.L., Acosta D.R.N., Andradeb E., Miki-Yoshida M., 1999. Growth, structure and optical characterization of high quality ZnO thin films obtained by spray pyrolysis, *Thin Solid Films*, 350: 192-202.
- [3] Ayouchi R., Leinena D, Martina F., Gabasa M., Dalchieleb E., Ramos-Barrado J.D., 2003. Preparation and characterization of transparent ZnO thin films obtained by spray pyrolysis, *Thin Solid Films*, 426: 68-72.
- [4] Zaier A., Meftah A., Jaber A.Y., Abdelaziz A.A., Aida M.S., 2015. Annealing effects on the structural, electrical and optical properties of ZnO thin films prepared by thermal evaporation technique, *Journal of King Saud University-Science*, 27: 356-360.
- [5] Wang Y.G., Lau S.P., Lee H.W., Yu S.F., Tay B.K., Zhang X.H., Tse K.Y., Hng H.H., 2003. Comprehensive study of ZnO films prepared by filtered cathodic vacuum arc at room temperature, *Journal of Applied Physics*, 94(3), 1597-1604.
- [6] Hames Y., Alpaslan Z., Kosemen A., San S.E., Yerli Y., 2010. Electrochemically grown ZnO nanorods for hybrid solar cell applications, *Solar Energy* 84: 426-431.
- [7] Hasim S.N.F., Abdul Hamid M.A., Shamsudin R., Jalar A., 2009. Synthesis and characterization of ZnO thin films by thermal evaporation, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 70: 1501-1504.
- [8] Abdallah B., Kakhia M., Obaide A., 2021. Morphological and structural studies of ZnO nanotube films using thermal evaporation technique, *Plasmonics*, <https://doi.org/10.1007/s11468-021-01420-x>.
- [9] Chrissanthopoulos A., Baskoutas S., Bouropoulos N., Dracopoulos V., Pouloupoulos P., Yannopoulos S.N., 2011. Synthesis and characterization of ZnO/NiO p-n heterojunctions: ZnO nanorods grown on NiO thin film by thermal evaporation, *Photonics and Nanostructures*, 9: 132-139.
- [10] Yao B.D., Chan Y.F., Wang N., 2002. Formation of ZnO nanostructures by a simple way of thermal evaporation, *Applied Physics Letters*, 81(4): 757-759.
- [11] Patel M., Kim H.S., Kim J., Yun J.H., Kim S.J., Choi E.H., Park H.H., 2017. Excitonic metal oxide heterojunction NiO/ZnO solar cells for all transparent module integration, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 170: 246-253.
- [12] Vyas S., Giri P., Singh S., Chakrabarti P., 2015. Comparative study of as-deposited ZnO thin films by thermal evaporation, pulsed laser deposition and RF sputtering methods for electronic and optoelectronic applications, *Journal of Electronic Materials*, 44(10): 3401-3407.
- [13] Bouhssira N., Abed S., Tomasella E., Cellier J., Mosbah A., Aida M.S., Jacquet M., 2006. Influence of annealing temperature on the properties of ZnO thin films deposited by thermal evaporation, *Applied Surface Science*, 252: 5594-5597.
- [14] Fouad O.A., Ismail A.A., Zaki Z.I., Mohamed R.M., 2006. Zinc oxide thin films prepared by thermal evaporation deposition and its photocatalytic activity, *Applied Catalysis B: Environmental*, 62: 144-149.
- [15] Utlu G., 2019. Structural investigation of ZnO thin films obtained by annealing after thermal evaporation, *Sakarya University Journal of Science*, 23(4): 650-656.
- [16] Herediaa E., Bojorgea C., Casanova J., Canepaa H., Craievichb A, Kellermann G., 2014. Nanostructured ZnO thin films prepared by sol-gel spin-coating, *Applied Surface Science*, 317: 19-25.
- [17] Orak I., Kocyigit A., Turut A., 2017. The surface morphology properties and respond illumination impact of ZnO/n-Si photodiode by prepared atomic layer deposition technique, *Journal of Alloys and Compounds*, 691: 873-879.
- [18] Özmen A., Aydogan Ş., Yilmaz M., 2019. Fabrication of spray derived nanostructured n-ZnO/p-Si heterojunction diode and investigation of its response to dark and light, *Ceramics International*, 45: 14794-14805.
- [19] Bedia F.Z., Bedia A., Benyoucef B., Hamzaoui S., 2014. Electrical characterization of n-ZnO/p-Si heterojunction prepared by spray pyrolysis technique, *Physics Procedia*, 55: 61-67.

- [20] Lee J.Y, Choi Y.S., Kim J.H., Park M.O., Im S., 2002. Optimizing n-ZnO/p-Si heterojunctions for photodiode applications, *Thin Solid Films*, 403: 553-557.
- [21] Jeong I.S., Kim J.H., Im S., 2003. Ultraviolet-enhanced photodiode employing n-ZnO/p-Si structure, *Applied Physics Letters*, 83: 2946-2948.
- [22] Chaabouni F., Abaab M., Rezig B., 2006. Characterization of n-ZnO/p-Si films grown by magnetron sputtering, *Superlattices and Microstructures*, 39: 171-178.
- [23] Cho S.G., Lee D.U., Pak S.W., Nahm T.U., Kim E.K., 2012. Fabrication of a n-ZnO/p-Si heterojunction diode by ultra-high vacuum magnetron sputtering, *Thin Solid Films*, 520: 5997-6000.
- [24] Tata S., Chabane L., Zebbar N., Trari M., Kechouane M., Rahal A., 2020. Study of morphological and electrical properties of the ZnO/p-Si heterojunction: Application to sensing efficiency of low concentration of ethanol vapor at room temperature, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 109: 104926.
- [25] Yakuphanoglu F., Caglar Y., Caglar M., Ilican S., 2010. ZnO/p-Si heterojunction photodiode by sol-gel deposition of nanostructure n-ZnO film on p-Si substrate, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 13: 137-140.
- [26] Aksoy S., Caglar Y., 2012. Effect of ambient temperature on electrical properties of nanostructure n-ZnO/p-Si heterojunction diode, *Superlattices and Microstructures* 51: 613-625.
- [27] Ocak Y.S., 2012. Electrical characterization of DC sputtered ZnO/p-Si heterojunction, *Journal of Alloys and Compounds* 513: 130-134.
- [28] Algün G., 2018. ZnO kaplama miktarının n-ZnO/p-Si heteroeklem güneş hücresinin verimliliğine etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 13 (2): 154-163.
- [29] Orak İ., 2016. The performances photodiode and diode of ZnO thin film by atomic layer deposition technique, *Solid State Communications*, 247: 17-22.
- [30] Kima H., Jungb M.J., Choib S., Choi B.J., 2020. ALD growth of ZnO on p-Si and electrical characterization of ZnO/p-Si heterojunctions, *Materials Today Communications*, 25: 101265.
- [31] Sharma S., Periasamy C., 2014. A study on the electrical characteristic of n-ZnO/p-Si heterojunction diode prepared by vacuum coating technique, *Superlattices and Microstructures*, 73: 12-21.
- [32] Reem Sami Ali R.S., P, Sharba K.S., Jabbar A.M., Chiad S.S., Abass K.H., Habubi N.F., 2020. Characterization of ZnO thin film/p-Si fabricated by vacuum evaporation method for solar cell applications, *NeuroQuantology*, 18 (1): 26-31.
- [33] Ozkartal A. 2019. Characterization of the ITO/p-Si/Al contacts produced by thermal evaporation. *Vacuum*, 168: 108799.
- [34] Ziel A., 1968. *Solid State Physical Electronics*, second ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- [35] Sze S.M., 1981. *Physics of Semiconductor Devices*, second ed. Wiley, New York.
- [36] Rhoderick E.H., Williams R.H., 1978. *Metal-Semiconductor Contacts*. Oxford University Press.
- [37] Ozkartal A., Temirci C., 2016. Relationship between photovoltaic and diode characteristic parameters in the Sn/p-Si Schottky type photovoltaics, *Solar Energy*, 132: 96–102.
- [36] Özmenteş R., Temirci C., Ozkartal A., Ejderha K., Yildirim N. 2018. Characterization of CuO/n-Si heterojunction solar cells produced by thermal evaporation. *Materials Science-Poland*, 36 (4): 668-674.
- [37] Cheung S.K., Cheung N.W., 1986. Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics, *Applied Physics Letters*, 49 (2): 85–90.

Araştırma Makalesi / Research Article

Bazı Mantar Türlerinin Lakkaz Aktivitelerinin Kıyaslanması ve *Clytocibe nebularis* Türünün Biyosensör Sistemlerine Uygulanabilirliğinin İncelenmesi

Engin ASAV*

*Kırklareli Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
(ORCID: 0000-0002-6232-3388)*

Öz

Lakkaz, moleküler oksijen kullanarak fenolik bileşikler yükseltgeyen ve mantarlarda yaygınca bulunan bir enzimdir. Bu çalışmada, *Stropharia aeruginosa*, *Trametes versicolor*, *Hypholoma fasciculare*, *Cantharellus cibarius*, *Clytocibe nebularis* ve *Amanita muscaria* gibi mantar türlerinin lakkaz aktivitelerinin yanı sıra toplam protein miktarlarının belirlenmesi ve kıyaslanması amaçlanmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, en yüksek lakkaz aktivitesi değerinin *Trametes versicolor* türüne, en düşük aktivite değerinin de *Amanita muscaria* türüne ait olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, *Clytocibe nebularis* ve *Amanita muscaria* türlerinin lakkaz aktivitesi ilk kez bu çalışmada rapor edilmiştir. Çalışmanın bir diğer hedefi de aktivitesi değeri görece yüksek olan ve daha önce biyosensör sistemlerinde kullanılmamış bir mantar türünün, doku homojenatı temelli bir biyosensör yapımında kullanılmasıdır. Bu bağlamda, *Clytocibe nebularis* dokusu kullanılarak geliştirilen biyosensör ile 100 – 1000 µM aralığındaki artan katekol konsantrasyonları için doğrusal bir amperometrik yanıt elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Lakkaz aktivitesi, Mantarlar, Biyosensörler

Comparison of Laccase Activities of Some Fungi and Investigation of Applicability of *Clytocibe nebularis* species to Biosensor Systems

Abstract

Laccase is an enzyme commonly found in fungi that oxidizes phenolic compounds using molecular oxygen. This study aims to determine and compare the total protein amount as well as the laccase activities of fungal species such as *Stropharia aeruginosa*, *Trametes versicolor*, *Hypholoma fasciculare*, *Cantharellus cibarius*, *Clytocibe nebularis* and *Amanita muscaria*. When the results were evaluated, it was observed that the highest laccase activity value belongs to *Trametes versicolor* species and the lowest activity value belongs to *Amanita muscaria* species. Moreover, laccase activity of *Clytocibe nebularis* and *Amanita muscaria* species was reported for the first time in this study. Another goal of the study was to use a fungal species with relatively high activity value, which has not been used in biosensor systems before, to construct a tissue homogenate-based biosensor. Therefore, a linear amperometric response was obtained for increasing catechol concentrations in the range of 100 – 1000 µM with the biosensor developed using the *Clytocibe nebularis*.

Keywords: Laccase activity, Fungi, Biosensors

1. Giriş

Dünyadaki en zengin ve çeşitli organizma gruplarından birini temsil eden mantarlar, simbiyotik ilişkiler yoluyla enerji ve besinlerin geri dönüşümünde temel bir rol oynar [1,2]. Mantarlar, bileşenlerinin besinsel özelliklerinin [3] yanı sıra antiinflamatuvar [4], nöroprotektif [5], antioksidan [6], antimikrobiyal [7] ve sitotoksik [8] etkiler gibi popüler özelliklerinden dolayı üzerinde yaygınca çalışılan organizmalardan biridir. Mantarlardan elde edilen enzimler, proteinler, toksinler ve metabolitler gibi

*Sorumlu yazar: engin.asav@klu.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.06.2021, Kabul Tarihi: 13.09.2021

materyaller; son yıllarda tıp, sanayi ve tarım gibi alanlarda kullanılmaya başlanmıştır [2]. Mantarlar; tür, iklim koşulları, toprak ve substrat tipine bağlı olarak proteaz [9], selüloz [10], ksilanaz [11], lipaz [12], polifenol oksidaz [13] ve lakkaz [14] gibi çeşitli enzim tiplerine sahiptirler.

Lakkaz enzimi (E.C 1.10.3.2), monofenoller, polifenoller, aminofenoller gibi fenolik bileşikler yükseltgerken; moleküler oksijeni de suya indirgeyen bir enzimdir [15]. Substrat spesifikliğin düşük ve birçok molekülü dönüştürebilme yeteneğinden dolayı çevresel süreçlerde, endüstride, biyosensörlerde ve biyoteknoloji uygulamalarında yaygınca kullanılan bir enzimdir [16]. Lakkaz enzimi, odunsu gövdelerde bulunan lignini parçalama yeteneğine de sahip olduğundan dolayı, mantarlarda yaygınca bulunur [17]. Ancak, lakkaz enzimini kodlayan genin, pek çok mantarda bulunduğu rapor edilmesine rağmen [18–20], bazı mantar türleri için lakkaz aktivitesi tayinine yönelik çalışmalar literatürde yer almamaktadır. Bu çalışmada yer alan *Stropharia aeruginosa* [21], *Trametes versicolor* [22], *Hypholoma fasciculare* [23], *Cantharellus cibarius* [24] türleri için lakkaz aktivitesinin varlığı rapor edilmişken; *Clytocybe nebularis* ve *Amanita muscaria* gibi türler için lakkaz aktivitesi ilk kez bu çalışmada ölçülmüştür.

Biyosensörler; enzim, nükleik asit, antikor veya doku gibi bir biyolojik tanıma/dönüştürme materyalinin elektrot, optik fiber, piezoelektrik kristal gibi bir fiziksel sinyal iletici ile birleştirilmesi sonucunda oluşmuş cihazlardır. Analiz edilecek maddenin türüne göre biyosensör tasarımında ve geliştirilmesinde farklı biyolojik tanıma bölgesi ve sinyal iletici kombinasyonu kullanılmaktadır [25]. Bu nedenle biyosensörler, tıbbi analizlerin yanı sıra gıda ve çevre analizlerinde de yaygınca kullanılmaktadır [25,26]. Mantarlar, çok farklı sayıda ve bol miktarda enzim içerdiğinden dolayı - özellikle doku-temelli biyosensör tasarımında- en çok kullanılan biyolojik materyallerden biridir [27]. Bu nedenle, fenolik bileşiklerin tayinine yönelik mantar doku-temelli biyosensörlerin tasarımında çoğunlukla *Trametes versicolor* [28] *Phanerochaete chrysosporium* [29] *Pleurotus ostreatus* [30], *Boletus edulis* [31] ve *Agaricus bisporus* [32] gibi lakkaz veya polifenol oksidaz aktivitesi görece yüksek mantarlar kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı; *Stropharia aeruginosa*, *Trametes versicolor*, *Hypholoma fasciculare*, *Cantharellus cibarius*, *Clytocybe nebularis* ve *Amanita muscaria* türlerinin lakkaz aktivitelerini belirlemek ve protein miktarlarını saptamaktır. Ayrıca lakkaz aktivitesi en yüksek olan ve daha önce biyosensör tasarımında kullanılmamış bir mantar türü ile fenolik bileşik tayinine yönelik biyosensör geliştirmek de hedeflerden biridir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyaller

2,2'-azinobis [3-etilbenzothiazolin-6-sülfonik asid] diamonyum tuzu (ABTS), sığır albümini, grafit, mineral yağ, katekol ve diğer tüm kimyasallar Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)'ten temin edilmiştir. ABTS yapılan ile lakkaz aktivitesi tayini literatürdekiyle uygun olarak 100 mM pH 4.0 sitrat tamponu ile gerçekleştirilmiştir. Bunun dışındaki diğer denemelerde 100 mM pH 7.0 dihidrojen fosfat/monohidrojen fosfat tamponu kullanılmıştır. Mantarlar, Kırklareli'nin kuzeyinde yer alan Istranca Ormanlarından 2020 Ekim-Kasım aylarında toplanmış ve kullanılabildiği kadar -80°C 'de bekletilmiştir.

Protein miktarı ve lakkaz aktivitesi gibi spektrofotometrik ölçümler, ThermoFisher Scientific (Renfrewshire, UK) marka spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Mantarların homojenizasyonunda, Potter-Elvehjem tipi bir el homojenizatörü kullanılmıştır.

Biyosensör uygulamalarında BASi® Şirketinden temin edilmiş bir karbon pasta çalışma elektrotu, Ag/AgCl referans elektrotu ve platin tel karşıt elektrotu kullanılmıştır. Biyosensör analizlerinde PalmSens BV (Utrecht, Hollanda) şirketinden temin edilmiş PalmSens3® potansiyostat ve PSTrace® yazılımı kullanılmıştır.

2.2 Mantar dokularının homojenizasyonu

Mantar dokuları, literatürde daha önce belirtilmiş bir yöntemle göre homojenize edilmiştir [31,33]. Buna göre, öncelikle her bir mantar kirliliklerin uzaklaşması için yıkanıp kurutulmuştur. Sonra her bir mantar türünden ayrı ayrı 150 mg tartılıp, el tipi homojenizatöre yerleştirilmiştir. Mantarların parçalanması ve enzimlerin açığa çıkarılması amacıyla, homojenizatöre 600 mL, 0.15 M NaCl çözeltisi eklenerek 10 dk.

boyunca homojenizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Enzimlerin denatüre olmaması ve aktivite kaybetmemesi için homojenizasyon işlemi buz ceketi içinde yapılmıştır. Sonrasında, elde edilen bulanık homojenat olası girişimleri engellemek amacı ile 8000 rpm'de 15 dk. santrifüj edildi. Santrifüj sonrasında elde edilen süpernatant protein ve lakkaz aktivitesi tayinlerinde kullanıldı. Doku temelli biyosensör yapımında ise girişim etkisi olmayacağı için homojenizasyon sonrası elde edilen sıvı kullanılmıştır.

2.3 Protein tayini

Protein tayini, literatürde yaygınca kullanılan standart Bradford yöntemi ile gerçekleştirilmiştir [34]. Sığır albümini ve Coomassie Brilliant Blue G-250 boyası kullanılarak elde edilen standart grafik yardımı ile her bir mantar süpernatantı için toplam protein miktarı tayin edildi. Elde edilen veriler, Microsoft Excel® yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.

2.4 Lakkaz aktivitesi tayini

Her bir mantar türünün lakkaz aktivitesinin belirlenmesi için, önceki mantar lakkaz aktivitesi çalışmalarında yaygınca kullanılan ABTS yöntemi kullanılmıştır [31,33,35,36]. Bu yöntemde, bir enzim ünitesi (U); sabit bir sıcaklıkta, bir dakikada 1 µmol ABTS'yi yükseltgeyen enzim miktarı olarak tanımlanır. Bu bağlamda, 25°C'de, 0,9 mL ABTS çözeltisine, mantar doku süpernatant çözeltisinden 0,1 mL ilave edilip 420 nm'de 3 dakika boyunca spektrofotometrik ölçüm alınmıştır. Ölçümler, aktivitenin gözlemlenmesi için 0. saniyeden itibaren her 30 saniyede bir absorbans değeri elde edilecek şekilde programlanmıştır. Lakkaz aktivitesi, Baltierra-Trejo ve arkadaşlarının [37] detaylı olarak incelediği aşağıdaki formüle göre yapılmıştır:

$$Hacimsel\ aktivite\ (UL^{-1}) = \frac{\Delta A \times V_t\ (mL) \times 10^6}{\epsilon \times V_s\ (mL) \times t\ (dk.)} \quad (1)$$

Bu formüllerde,

ΔA: Son absorbans değeri – Başlangıç absorbans değeri

V_t: Toplam hacim (mL)

V_s: Kullanılan süpernatant hacmi

ε: ABTS'nin 420 nm'deki molar ekstinksiyon katsayısı (36,000 L mol⁻¹ cm⁻¹)

Spesifik aktivite (U/mg) ise hacimsel aktivitenin, protein miktarına bölünmesi ile elde edilir.

2.5 Biyosensör geliştirme

Lakkaz aktivitesi belirlenen mantar türlerinden, aktivitesi en yüksek olan mantar türünün biyosensör sistemlerine uygulanabilirliğini incelemek amacı ile daha önceden denenmiş ve optimize edilmiş bir yöntem kullanılarak, doku homojenatı temelli bir biyosensör geliştirilmiştir [38–40]. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle, boşluklarında yer alabilecek olası kirliliklerin uzaklaştırılması için karbon pasta elektrot, etanol ve bidistile su ile 10 dk. boyunca ultrasonikasyon işlemine tabi tutuldu. Karbon pasta hazırlamak amacıyla, bir cam havan içerisinde 120 mg grafit tozu tartılıp üzerine 140 µL (60 mg) mineral yağ eklendi. Sonra bu karışım, düz bir metal yardımı ile homojen bir pelte haline gelene kadar karıştırılır. Potter-Elvehjem homojenizatörü ile taze hazırlanmış mantar doku homojenatından 60 µL pelte üzerine eklenir ve doku tüm pelte içerisinde yayılana kadar karıştırılır. Daha sonra, doku içeren pelte kıvamındaki grafit/mineral yağ karışımı, grafit çubuk yardımı ile çalışma elektrotunun boşluğuna dikkatli bir şekilde yerleştirilir. Elektrot yüzeyi yağlı kağıt kullanılarak pürüzsüzleştirilir. Fiziksel tutunmaları ve kirlilikleri gidermek için elektrot bidistile su ile yıkanır.

Katekol substratı için biyosensör ile alınan amperometrik ölçümler, oksijenin indirgenme potansiyeli olan -700 mV değerinde gerçekleştirilmiştir [41,42]. Farklı konsantrasyonlardaki katekol ilaveleri için, 60 saniye sonunda amperometrik sinyalde meydana gelen değişimler ölçülmüş ve bir standart grafik elde edilmiştir. Her bir katekol derişimi için ayrı ayrı ölçüm alındığından dolayı, her ölçüm öncesinde reaksiyon hücresi temizlenip elektrot 3 dakika rejenerasyona bırakılmıştır. Ayrıca geliştirilen biyosensörün, sıralı bir şekilde eklenen aynı derişimdeki katekol çözeltileri için olan cevabı

da izlenmiştir. Ölçümler, 100 mM pH 7.0 dihidrojen fosfat/monohidrojen fosfat tamponunda ve 35°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toplam protein tayini

Stropharia aeruginosa, *Trametes versicolor*, *Hypholoma fasciculare*, *Cantharellus cibarius*, *Clytocybe nebularis* ve *Amanita muscaria* türleri için Bradford yöntemi ile elde edilen protein tayini sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bradford Yöntemi ile elde edilen toplam protein miktarı

Mantar Türü	Total Protein Miktarı (mg/mL) (n=3)
<i>Stropharia aeruginosa</i>	0,496 ± 0,012
<i>Cantharellus cibarius</i>	1,187 ± 0,096
<i>Hypholoma fasciculare</i>	1,242 ± 0,102
<i>Amanita muscaria</i>	1,225 ± 0,114
<i>Trametes versicolor</i>	0,864 ± 0,084
<i>Clytocybe nebularis</i>	1,273 ± 0,096

Tablo 1’de de açıkça görüldüğü üzere, *Clytocybe nebularis* türü en yüksek protein miktarına sahipken, *Stropharia aeruginosa* en düşük protein miktarına sahip olmuştur. *Cantharellus cibarius*, *Stropharia aeruginosa* ve *Trametes versicolor*, en çok çalışılan mantar türlerinden üçü olmasına rağmen, daha çok mikrobiyoloji laboratuvarlarında besi ortamında yetiştirilerek kullanılmıştır. Protein sentezi için, besi ortamında doğal ortama kıyasla daha kontrol edilebilir düzeyde aminoasit, vitamin ve mineral bulunduğundan dolayı, bu mantarlar için ölçülen protein miktarları, bu çalışmada elde edilen sonuçlara kıyasla yüksek çıkması olağan bir durumdur [21,43–45]. Pandey ve Budhathoki tarafından yapılan benzer nitelikteki bir çalışmada *Trametes versicolor* ve *Cantharellus cibarius* için protein miktarı, sırasıyla 0,409 mg/mL ve 1,057 mg/mL olarak rapor edilmiştir [46]. Bu değerler, elde ettiğimiz protein miktarı verileri ile örtüşmektedir. Doğal *Clytocybe nebularis* ve *Hypholoma fasciculare* türleri için, protein tayini ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

3.2. Lakkaz aktivitesi tayini

Stropharia aeruginosa, *Trametes versicolor*, *Hypholoma fasciculare*, *Cantharellus cibarius*, *Clytocybe nebularis* ve *Amanita muscaria* türleri için ABTS yöntemi ile elde edilen lakkaz aktivitesi değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. ABTS yöntemi ile elde edilen lakkaz aktivite değerleri

Mantar Türü	Hacimsel aktivite (U/L) (n=3)	Spesifik aktivite (U/mg) (n=3)
<i>Stropharia aeruginosa</i>	26,546 ± 0,32	53,541 ± 0,64
<i>Cantharellus cibarius</i>	32,713 ± 0,39	27,559 ± 0,99
<i>Hypholoma fasciculare</i>	15,944 ± 0,19	12,834 ± 0,40
<i>Amanita muscaria</i>	10,764 ± 0,13	8,784 ± 0,18
<i>Trametes versicolor</i>	223,347 ± 2,68	258,407 ± 3,88
<i>Clytocybe nebularis</i>	144,542 ± 1,73	113,528 ± 1,48

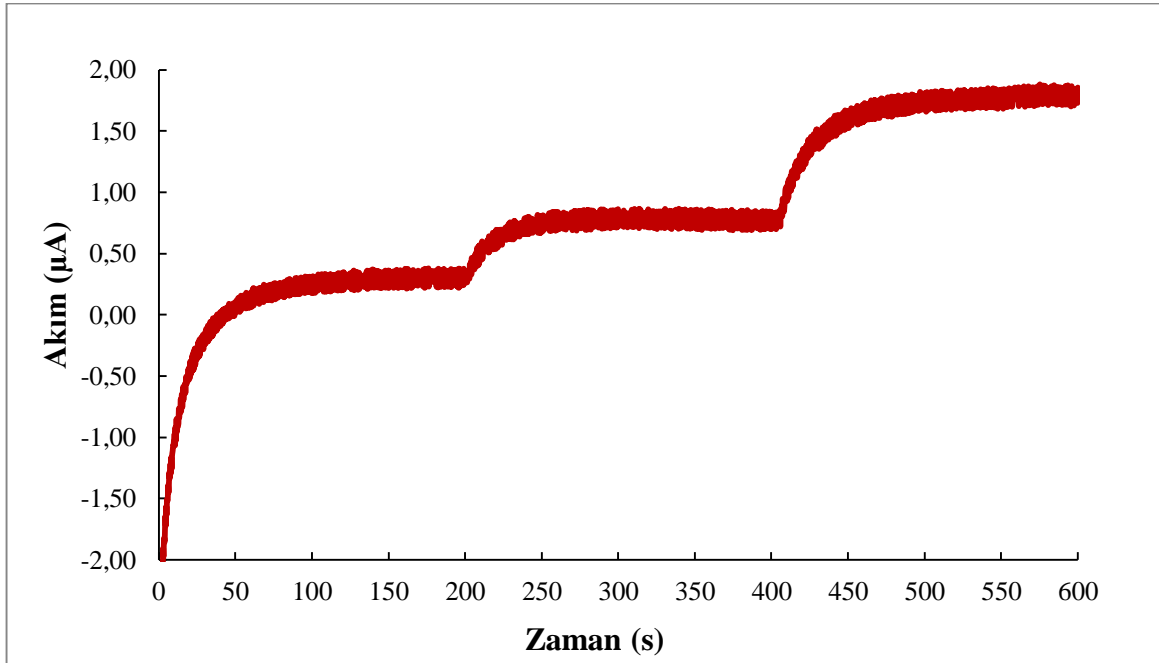
Lakkaz aktivite değerlerine bakıldığında en yüksek lakkaz aktivitesi değerinin *Trametes versicolor* türüne, en düşük aktivite değerinin de *Amanita muscaria* türüne ait olduğu gözlenmektedir. Kıyaslama yapmak amacıyla, bu mantarlar ile yapılan diğer çalışmalara bakıldığında; çoğunlukla mantarların fermentasyon ile üretildiği ve sonrasında da lakkaz enzimi için saflaştırma işlemlerinin gerçekleştirildiği açıkça gözlenmektedir [21–24]. Ayrıca bu çalışmaların bazılarında da elde edilen lakkaz miktarını arttırmak amacı ile çeşitli fenolik bileşiklerle indükleme yapılmıştır [47,48]. Bu

nedenle, bu çalışmada olduğu gibi doğal mantarlar veya onların ekstraktlarıyla elde edilen lakkaz aktivitesi değerleri ile kıyaslama yapmak daha makul olacaktır. Moon-Jong ve ark. kültür ortamında geliştirdikleri *Trametes versicolor* ekstraktı ile yaptıkları bir çalışmada total lakkaz aktivitesini 131,90 U, spesifik lakkaz aktivitesini de 437,4 U/mg olarak belirtilmiştir [49]. Daroch ve ark. yaptığı bir çalışmada ise *Stropharia aeruginosa* ekstraktı için spesifik lakkaz aktivitesi 0,60 U/mg olarak rapor edilmiştir [21]. Ng ve Wang tarafından yapılan *Cantharellus cibarius* ekstraktı ile yapılan bir çalışmada da spesifik lakkaz aktivitesi 0,65 U/mg olarak tayin edilmiştir [24]. Tablo 2'deki verilerden de görüldüğü üzere, bu çalışmada elde edilen lakkaz aktivite değerleri literatürdeki diğer çalışmalara kıyasla daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi olarak, pek çok çalışmada lakkaz aktivitesi hesabında kullanılan formülün açıkça belirtilmemesini ve farklı formüllerin kullanılmasını gösterebiliriz. Literatürde lakkaz aktivitesi hesap edilirken farklı formüller kullanılması sonucu oluşan tutarsızlıklar, hatalar ve yanlışlıklar Baltierra-Trejo ve ark. tarafından kıyaslama ve örneklerle incelenip, rapor edilmiştir [37]. Son olarak, *Amanita muscaria* ve *Clytocybe nebularis* türü mantarlar için lakkaz aktivitesi ilk kez bu çalışmada rapor edilmiştir.

3.3. Biyosensör sistemine uygulanması

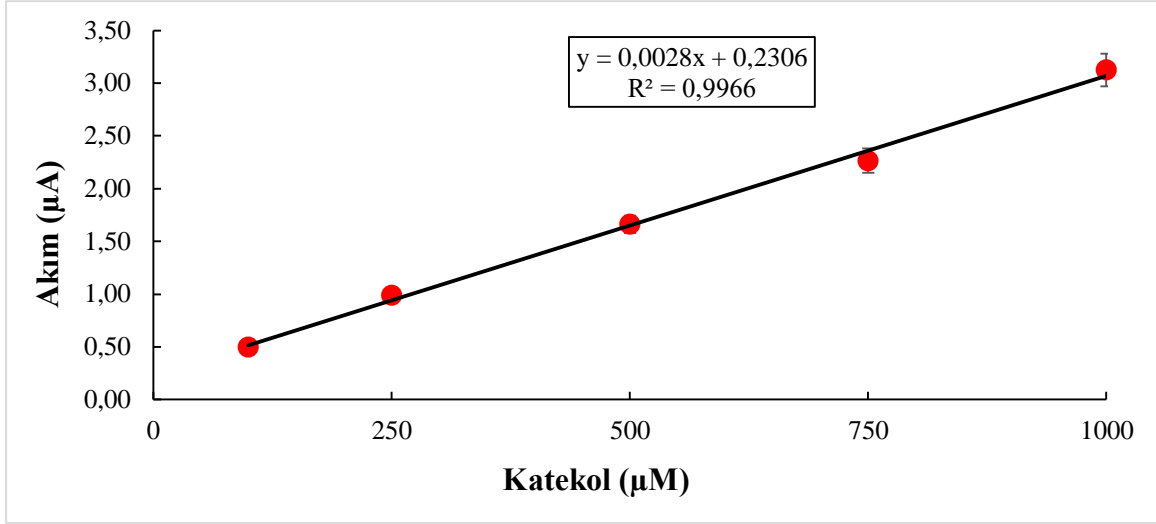
Lakkaz aktiviteleri tayin edilen mantarlara bakıldığında, aktivitesi görece yüksek ve daha önce biyosensör uygulamalarında hiç kullanılmamış bir tür olan *Clytocybe nebularis* biyosensör uygulaması için seçilmiştir.

Hazırlanan *Clytocybe nebularis* doku homojenatı temelli biyosensör ile katekol substratı için gözlenen amperometrik yanıtlar izlenerek, bir standart grafik oluşturulmuştur. Bu bağlamda, öncelikle biyosensörün amperometrik karakterini saptamak için 200. saniyede 100 μM ve 400. saniyede 200 μM katekol eklenerek amperometrik sinyaldeki değişimler izlendi. PSTrace yazılımı ile elde edilen cihaz çıktıları, Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de de görüldüğü üzere; 200. saniyede katekol eklendiğinde, geliştirilen doku temelli biyosensör hızlıca (~ 20 s) yanıt vermiş ve stabil konuma geçmiştir. Cevap süresinin kısa olması, biyosensör tasarımı ve geliştirilmesinde önemli bir parametredir.



Şekil 1. Geliştirilen *Clytocybe nebularis* doku homojenatı temelli biyosensör ile katekol substratı için elde edilen amperometrik yanıtlar.

Elde edilen amperometrik cevaplar ışığında geliştirilen biyosensör ile 100 μM , 250 μM , 500 μM , 750 μM ve 1000 μM katekol konsantrasyonları için de ayrı ayrı amperometrik ölçümler alınıp kaydedilmiştir. Katekol konsantrasyonları ile amperometrik cevaplar arasında çizilen standart grafik Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. *Clytocibe nebularis* doku homojenatı temelli biyosensör ile elde edilen katekol kalibrasyon grafiği

Şekil 2'den de görüldüğü üzere artan katekol konsantrasyonu ile amperometrik sinyal arasında iyi bir doğrusallık vardır. Bu da *Clytocibe nebularis* türü mantarın, doku temelli biyosensör uygulamalarında kullanılabilir bir mantar türü olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, birincil olarak, *Stropharia aeruginosa*, *Trametes versicolor*, *Hypholoma fasciculare*, *Cantharellus cibarius*, *Clytocibe nebularis* ve *Amanita muscaria* mantar türlerinin toplam lakkaz aktivitelerini belirleme ve toplam protein miktarlarını saptama amaçlanmıştır. Bu bağlamda lakkaz aktivitesi tayini için ABTS yöntemi, protein tayini için Bradford yöntemi kullanılmıştır. Doğal *Amanita muscaria* ve *Clytocibe nebularis* türleri için ilk kez bu çalışmada lakkaz aktivitesi ve protein tayini yapılmıştır. Bununla birlikte, *Hypholoma fasciculare* türü protein tayini de ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. Özellikle lakkaz aktivitesi görece daha yüksek olan *Clytocibe nebularis* türü, benzer nitelikteki diğer mantarlar gibi enzim saflaştırma ve eldesi, atık sulardan fenolik bileşik giderimi ve boya ağartma gibi çalışmalarda kullanılma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, *Clytocibe nebularis* türü için besi ortamında lakkaz üretimine dair çalışma bulunmadığından dolayı, bu çalışma, gelecekte yapılacak mikrobiyolojik çalışmalar için de bir kaynak niteliği oluşturmaktadır.

Çalışmanın bir diğer amacı da lakkaz aktivitesi en yüksek olan ve daha önce biyosensör tasarımında kullanılmamış bir mantar türünün biyosensör sistemlerinde kullanılabilirliğinin gösterilmesiydi. Bu bağlamda, lakkaz aktivitesi görece yüksek olan ve daha önce biyosensör sistemlerinde kullanılmamış mantar türü olan *Clytocibe nebularis*, fenolik bileşik tayinine yönelik bir biyosensör sistemi yapımında biyoaktif tabaka olarak kullanıldı. Biyosensör denemelerinde elde edilen sonuçlar; *Clytocibe nebularis* dokusunun, biyosensör tasarımında ümit vaat eden bir biyoaktif bileşen olabileceğini gösterdi. Biyosensör denemelerinde elde edilen sonuçlar ışığında yakın gelecekte yapacağımız çalışmada; *Clytocibe nebularis* dokusu kullanarak, çeşitli fenolik bileşikleri tayin edebilecek bir biyosensör geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu kapsamlı çalışmada, geliştirilen doku temelli biyosensör sisteminin optimizasyon, karakterizasyon ve validasyonu ile ilgili denemeler de gerçekleştirilecektir.

Teşekkür

Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Hülya YAĞAR ve Doç. Dr. Hakkı Mevlüt ÖZCAN'A laboratuvar olanaklarını sağladıkları için teşekkürü bir borç bilirim.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı şahsıma aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Zotti M., Persiani A.M., Ambrosio E., Vizzini A., Venturella G., Donnini D., Angelini P., Di Piazza S., Pavarino M., Lunghini D., Venanzoni R., Polemis E., Granito V.M., Maggi O., Gargano M.L., Zervakis G.I. 2013. Macrofungi as ecosystem resources: conservation versus exploitation. *Plant Biosystems*, 147 (1): 219-225.
- [2] Newbound M., Mccarthy M.A., Lebel T. 2010. Fungi and the urban environment: a review. *Landscape and Urban Planning*, 96 (3): 138-145.
- [3] Yalçın M., Akçay Ç., Düzkale Sözbir G. 2020. Meşe, kayın odunu ve fındık kabuğu atıklardan *lentinus edodes* (şitaki) mantarı üretimi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (3): 2051-2061.
- [4] Chen W.-Y., Chang C.-Y., Li J.-R., Wang J.-D., Wu C.-C., Kuan Y.-H., Liao S.-L., Wang W.-Y., Chen C.-J. 2018. Anti-inflammatory and neuroprotective effects of fungal immunomodulatory protein involving microglial inhibition. *International Journal of Molecular Sciences*, 19 (11): 3678.
- [5] Yurchenko E., Menchinskaya E., Pislyagin E., Trinh P., Ivanets E., Smetanina O., Yurchenko A. 2018. Neuroprotective activity of some marine fungal metabolites in the 6-hydroxydopamin- and paraquat-induced parkinson's disease models. *Marine Drugs*, 16 (11): 457.
- [6] Yadav M., Yadav A., Yadav J.P. 2014. In vitro antioxidant activity and total phenolic content of endophytic fungi isolated from eugenia jambolana lam. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7 (S1): 256-261.
- [7] Canlı K., Akata İ., Yetgin A., Benek A., Altuner E.M. 2020. In vitro antimicrobial activity screening of *leucoagaricus leucothites* and determination of the ethanol extract composition by gas chromatography/mass spectrometry. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (2): 1250-1257.
- [8] Vaz J.A., Almeida G.M., Ferreira I.C.F.R., Martins A., Vasconcelos M.H. 2012. *Clitocybe alexandri* extract induces cell cycle arrest and apoptosis in a lung cancer cell line: identification of phenolic acids with cytotoxic potential. *Food Chemistry*, 132 (1): 482-486.
- [9] de Souza P.M., de Assis Bittencourt M.L., Caprara C.C., de Freitas M., de Almeida R.P.C., Silveira D., Fonseca Y.M., Filho E.X.F., Pessoa Junior A., Magalhães P.O. 2015. A biotechnology perspective of fungal proteases. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46 (2): 337-346.
- [10] Ahmed A., Bibi A. 2018. Fungal cellulase; production and applications: minireview. *LIFE: International Journal of Health and Life Sciences*, 4 (1): 19-36.
- [11] Ahmed S., Riaz S., Jamil A. 2009. Molecular cloning of fungal xylanases: an overview. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84 (1): 19-35.
- [12] Singh A.K., Mukhopadhyay M. 2012. Overview of fungal lipase: a review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 166 (2): 486-520.
- [13] Marusek C.M., Trobaugh N.M., Flurkey W.H., Inlow J.K. 2006. Comparative analysis of polyphenol oxidase from plant and fungal species. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 100 (1): 108-123.
- [14] Senthivelan T., Kanagaraj J., Panda R.C. 2016. Recent trends in fungal laccase for various industrial applications: an eco-friendly approach - a review. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 21 (1): 19-38.
- [15] Wang F., Terry N., Xu L., Zhao L., Ding Z., Ma H. 2019. Fungal laccase production from lignocellulosic agricultural wastes by solid-state fermentation: a review. *Microorganisms*, 7 (12): 665.
- [16] Agrawal K., Chaturvedi V., Verma P. 2018. Fungal laccase discovered but yet undiscovered.

- Bioresources and Bioprocessing, 5 (1): 4.
- [17] Buée M., Courty P.E., Mignot D., Garbaye J. 2007. Soil niche effect on species diversity and catabolic activities in an ectomycorrhizal fungal community. *Soil Biology and Biochemistry*, 39 (8): 1947-1955.
- [18] Pointing S.B., Pelling A.L., Smith G.J.D., Hyde K.D., Reddy C.A. 2005. Screening of basidiomycetes and xylariaceous fungi for lignin peroxidase and laccase gene-specific sequences. *Mycological Research*, 109 (1): 115-124.
- [19] Luis P., Walther G., Kellner H., Martin F., Buscot F. 2004. Diversity of laccase genes from basidiomycetes in a forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 36 (7): 1025-1036.
- [20] D'Souza T.M., Boominathan K., Reddy C.A. 1996. Isolation of laccase gene-specific sequences from white rot and brown rot fungi by pcr. *Applied and Environmental Microbiology*, 62 (10): 3739-3744.
- [21] Daroch M., Houghton C.A., Moore J.K., Wilkinson M.C., Carnell A.J., Bates A.D., Iwanejko L.A. 2014. Glycosylated yellow laccases of the basidiomycete *stropharia aeruginosa*. *Enzyme and Microbial Technology*, 58-59: 1-7.
- [22] Lorenzo M., Moldes D., Rodríguez Couto S., Sanromán M.A. 2005. Inhibition of laccase activity from *trametes versicolor* by heavy metals and organic compounds. *Chemosphere*, 60 (8): 1124-1128.
- [23] Šnajdr J., Steffen K.T., Hofrichter M., Baldrian P. 2010. Transformation of ¹⁴C-labelled lignin and humic substances in forest soil by the saprobic basidiomycetes *gymnopus erythropus* and *hypholoma fasciculare*. *Soil Biology and Biochemistry*, 42 (9): 1541-1548.
- [24] Ng T.B., Wang H.X. 2004. A homodimeric laccase with unique characteristics from the yellow mushroom *cantharellus cibarius*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 313 (1): 37-41.
- [25] Tüylek Z. 2017. Biyosensörler ve nanoteknolojik etkileşim. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2): 71-80.
- [26] Çakar B. 2018. Mikrobiyal ped biyosensörü ile su toksitesi izlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2): 484-491.
- [27] Raymundo-Pereira P.A., Silva T.A., Caetano F.R., Ribovski L., Zapp E., Brondani D., Bergamini M.F., Marcolino L.H., Banks C.E., Oliveira O.N., Janegitz B.C., Fatibello-Filho O. 2020. Polyphenol oxidase-based electrochemical biosensors: a review. *Analytica Chimica Acta*, 1139: 198-221.
- [28] Haghghi B., Gorton L., Ruzgas T., Jönsson L.J. 2003. Characterization of graphite electrodes modified with laccase from *trametes versicolor* and their use for bioelectrochemical monitoring of phenolic compounds in flow injection analysis. *Analytica Chimica Acta*, 487 (1): 3-14.
- [29] Akyilmaz E., Turemis M., Yasa I. 2011. Voltammetric determination of epinephrine by white rot fungi (*phanerochaete chrysosporium me446*) cells based microbial biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, 26 (5): 2590-2594.
- [30] Leite O.D., Lupetti K.O., Fatibello-Filho O., Vieira I.C., Barbosa A. de M. 2003. Synergic effect studies of the bi-enzymatic system laccaseperoxidase in a voltammetric biosensor for catecholamines. *Talanta*, 59 (5): 889-896.
- [31] Tuncay D., Yagar H. 2020. Decolorization of reactive blue-19 textile dye by *boletus edulis* laccase immobilized onto rice husks. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17 (6): 3177-3188.
- [32] Silva L.M.C., Salgado A.M., Coelho M.A.Z. 2010. *Agaricus bisporus* as a source of tyrosinase for phenol detection for future biosensor development. *Environmental Technology*, 31 (6): 611-616.
- [33] Zhang G.Q., Wang Y.F., Zhang X.Q., Ng T.B., Wang H.X. 2010. Purification and characterization of a novel laccase from the edible mushroom *clitocybe maxima*. *Process Biochemistry*, 45 (5): 627-633.
- [34] Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72 (1-2): 248-254.
- [35] Shin K.S., Lee Y.J. 2000. Purification and characterization of a new member of the laccase family from the white-rot basidiomycete *coriolus hirsutus*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*,

- 384 (1): 109-115.
- [36] Wang H.X., Ng T.B. 2006. Purification of a laccase from fruiting bodies of the mushroom *pleurotus eryngii*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69 (5): 521-525.
- [37] Baltierra-Trejo E., Márquez-Benavides L., Sánchez-Yáñez J.M. 2015. Inconsistencies and ambiguities in calculating enzyme activity: the case of laccase. *Journal of Microbiological Methods*, 119: 126-131.
- [38] Moressi M.B., Zon A., Fernández H., Rivas G., Solis V. 1999. Amperometric quantification of alternaria mycotoxins with a mushroom tyrosinase modified carbon paste electrode. *Electrochemistry Communications*, 1 (10): 472-476.
- [39] Kozan J.V.B., Silva R.P., Serrano S.H.P., Lima A.W.O., Angnes L. 2007. Biosensing hydrogen peroxide utilizing carbon paste electrodes containing peroxidases naturally immobilized on coconut (*cocos nucifera* l.) fibers. *Analytica Chimica Acta*, 591 (2): 200-207.
- [40] Anik Ü., Çevik S. 2009. Double-walled carbon nanotube based carbon paste electrode as xanthine biosensor. *Microchimica Acta*, 166 (3-4): 209-213.
- [41] Ozcan H.M., Sagioglu A. 2014. Fresh broad (*vicia faba*) tissue homogenate-based biosensor for determination of phenolic compounds. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 42 (4): 256-261.
- [42] Odaci D., Timur S., Telefoncu A. 2008. Bacterial sensors based on chitosan matrices. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 134 (1): 89-94.
- [43] Lemieszek M.K., Nunes F.M., Marques G., Rzeski W. 2019. *Cantharellus cibarius* branched mannans inhibits colon cancer cells growth by interfering with signals transduction in nf-kb pathway. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134: 770-780.
- [44] Wang F., Hu J.H., Guo C., Liu C.Z. 2014. Enhanced laccase production by *trametes versicolor* using corn steep liquor as both nitrogen source and inducer. *Bioresource Technology*, 166: 602-605.
- [45] Lebrun J.D., Demont-Caulet N., Cheviron N., Laval K., Trinsoutrot-Gattin I., Mougin C. 2011. Secretion profiles of fungi as potential tools for metal ecotoxicity assessment: a study of enzymatic system in *trametes versicolor*. *Chemosphere*, 82 (3): 340-345.
- [46] Pandey N., Budhathoki U. 2007. Protein determination through bradford's method of nepalese mushroom. *Scientific World*, 5 (5): 85-88.
- [47] Tong P., Hong Y., Xiao Y., Zhang M., Tu X., Cui T. 2007. High production of laccase by a new basidiomycete, *trametes* sp. *Biotechnology Letters*, 29 (2): 295-301.
- [48] Xiao Y.Z., Chen Q., Hang J., Shi Y.Y., Wu J., Hong Y.Z., Wang Y.P. 2004. Selective induction, purification and characterization of a laccase isozyme from the basidiomycete *trametes* sp. ah28-2. *Mycologia*, 96 (1): 26-35.
- [49] Moon-Jeong Han, Hyoung-Tae Choi, Hong-Gyu Song 2005. Purification and characterization of laccase from the white rot fungus *trametes versicolor*. *Journal of Microbiology*, 43 (6): 555-560.

Araştırma Makalesi / Research Article

The Gray-level Co-occurrence Matrix Approach to Measure Uniformity of Fuji Prescale Pressure Sensitive Film Samples

İbrahim MUTLU*, Talip ÇELİK, Arif ÖZKAN, Yasin KİŞİOĞLU

*Kocaeli University, Department of Biomedical Engineering, Kocaeli
(ORCID: 0000-0003-3864-3725) (ORCID:0000-0003-0033-2454)
(ORCID:0000-0002-1288-6166) (ORCID:0000-0002-9819-2551)*

Abstract

Fuji scaled pressure sensitive films (FPPSF) are used in many sciences, especially for mechanical-based measurements. Since these films are paper-based sensors, the measurement values are mostly found manually after a series of processing according to the ambient conditions. The accuracy of the measurement results depends on the calibration process. However, there is no determination method regarding the accuracy of these processes in the literature. The aim of this study is to point out the subjects that may affect the accuracy, especially during the experimental calibration and to recommend a new method in order to evaluate the homogeneity in particular. To evaluate the homogeneity of the calibration data produced for this purpose, the gray level co-occurrence matrix (GLCM) was used and statistically compared with the relevant calibration curves presented in the current literature. As a result, the energy property parameter of GLCM was found to be applicable to control the image smoothness of the samples to realize the accuracy of the generated curve.

Keywords: Image Uniformity Measurement, Fujifilm Prescale Pressure Sensitive Film, Calibration

Fuji Prescale Basınca Duyarlı Film Numunelerinin Homojenliğini Ölçmek İçin Gri Düzey Eş Oluşum Matrisi

Öz

Fuji önölçekli basınca duyarlı filmler (FPPSF) özellikle mekanik tabanlı ölçümler için birçok bilimdalında kullanılmaktadır. Bu filmler kağıt tabanlı sensör olduğu için ölçüm değerleri daha çok ortam şartlarına göre manuel olarak bir dizi işlemde sonra bulunur. Ölçüm sonuçlarının doğruluğu kalibrasyon sürecine bağlıdır. Ancak literatürde bu işlemlerin doğruluğu ile ilgili herhangi bir tayin yöntemi yoktur. Bu çalışmanın amacı özellikle deneysel olarak yapılan kalibrasyon esnasında doğruluğu etkileyebilecek noktaları işaret edip özellikle homojenliği değerlendirmek için yeni bir yöntem tavsiye verilmesidir. Bu amaçla üretilen kalibrasyon verilerinde homojenliğini değerlendirmek için gri düzey eş-oluşum matrisi (GLCM) kullanılarak mevcut literatürde sunulan ilgili kalibrasyon eğrileriyle istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, GLCM'nin enerji özellik parametresi, üretilen eğrinin doğruluğunu gerçekleştirmek için örneklerin görüntü düzgünlüğünü kontrol etmek için uygulanabilir olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Resim Homojenlik Ölçümü, Fujifilm Önölçekli Basınca Duyarlı Film, Kalibrasyon.

1. Introduction

Fuji prescale pressure sensitive films (FPPSF) (Fuji Photo Film Co., Ltd., Japan) have been used to measure both the contact areas and the pressure distributions between contact surfaces in many applications such as fishing [1], automotive[2-4], industry [5, 6] and particularly biomechanics [7-17]. FPPSF consists of two paper-based sheets of which features are described in detail by Liggins et al. [24] and Muturi et al. [25]. FPPSF carries out the measurement of the contact pressure distributions and the

*Corresponding author: ibrahim.mutlu@kocaeli.edu.tr

Received: 02.08.2019, Accepted: 01.07.2021

contact areas via the intensity of red stains. FPPSF provides optical stains that can be observably converted to applied pressure itself according to the optical comparison charts supplied by the manufacturer. Contact pressure distributions between the surfaces can also be calculated using FPPSF recordings with the techniques of digital image-processing. Pressure distribution quantity is determined regarding image intensities related to contact pressures by means of a calibration procedure. The calibration stains of this calibration procedure emerge by applying loads to film samples compressed between contact flat surfaces at areas the value of which is known [24, 25]. FPPSFs can be used to determine the contact pressure distributions of many biological joints such as knee [7, 8], hip [9, 11, 16], ankle [12, 17] and wrist [10] etc. apart from their other functions. FPPSFs have some advantages for biomechanical applications, in particular, pressures between irregular contact surfaces [26]. The shapes and dimensions of FPPSFs can be designed easily by cutting in an appropriate way with the geometry of the contact areas.

Many researchers generally calibrate their FPPSFs considering calibration method developed by Liggins et al. [24] in order to compute the concentration of the red stains [11-14, 16, 24, 25, 27-29]. The calibration data are produced by applying different loads using universal testing machine and are plotted as a function of optical density. Researchers usually conduct a regression analysis to get a specific calibration curve. Many researchers report a correlation coefficient of regression analysis in their studies [1, 12, 25, 26, 29]. Measured data in mid-values of the calibration data are estimated according to the calibration curve using interpolation technique. Many factors such as sample preparation, sample collection, random errors, etc. affect the accuracy of the measured data and cause the uncertainty of the developed model. One of these factors is the uniform distribution of stains in the calibration samples. Even though sample uniformity is not discussed in the literature for FPPSF, image uniformity of calibration samples also affect the accuracy of data. In a common sense, the generated model should be defined at a 95% confidence level. Therefore, a calibration of FPPSF must be validated to confirm the measured results. The validation process should be implemented to check the accuracy with a valid curve defined depending on environmental conditions. Nevertheless, in the available literature, researchers do not validate their calibration curves gained using the FPPSFs.

In this study, a calibration curve of FPPSF is generated by performing a set of calibration tests and applying pressures between 2.5-10 MPa using a cylindrical hardened-steel punch and a smooth surface. The confirmation of the calibration curve obtained experimentally is done, since eliminating errors for the curve accuracy is of paramount importance in a subsequent study. Therefore, as a new method, the gray-level co-occurrence matrix was used to evaluate the uniformity of the sample stains for quantitative evaluation of uniform distribution of the sample stains. Also, the generated curve is compared statistically with the related literature and validated empirically.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Calibration of the FPPSF

The calibration tests using FPPSF samples are performed in this study by a polished hardened steel punch with a diameter of 30 mm and a metal plate surface to obtain uniform pressure distribution. The contact surfaces of the steel punch and metal base plate are grinded well before polishing on account of the fact that FPPSF is very sensitive to surface roughness. The apparatus of the calibration tests are shown in Fig. 1. As seen from the figure, a spherical guide in a small spherical cavity on the punch is used to avoid eccentric loading effects during the tests. These steps are taken into account to obtain uniformly distributed stains on the calibration samples. The tests are performed using a hydraulic press having a ton capacity of a load cell and the loads of 180, 270, 360, 450, 540, 630, and 720 kgf (1 kgf = 9.80 N) are applied to the samples, then made to wait and released for a 5-second per each. The stained images on the film are scanned by a scanner, (Mustek 1248UB), with a 600x600 dpi resolution as seen in Fig. 2. The tests are performed under environmental conditions of 42%±3 Rh humidity and 19±1°C temperature. Based on the calibration tests, a low-grade FPPSF with the capacity of 2.5-10 MPa is used in our biomechanical study to measure the contact areas and pressure distributions.

Undesired artefacts at the outer area of the scanned images are wiped out using an eraser tool called as “Erase Method” defined by Bachus et al. in view of the fact that the artefacts affect average values of the grayscale level as shown in Fig. 3 [30]. As seen in the figure, the pressure images are

converted to grayscale form by MATLAB software and then filtered with a 25x25 pixels averaging filter to remove noises. The noise in the pressure images is assumed to cause variations of the pixel values that are not related with the outer area pixels. The average values of the grayscale optical density are considered regardless of neighbouring pixels and plotted with respect to the applied pressure as illustrated in Fig. 4.

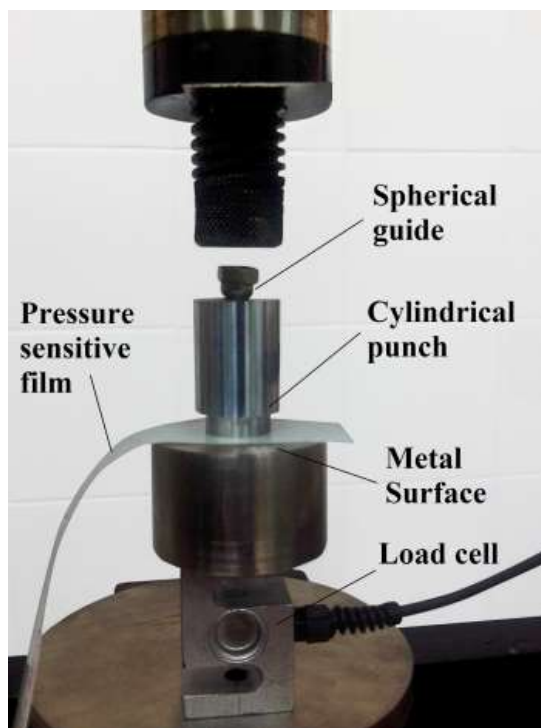


Figure 1. The compression test with a hydraulic universal press



Figure 2. The red stains images of the samples subjected to different loads



Figure 3. Obtaining the grayscale of the images using “Erase method”

2.2. Comparisons of the Calibration Curves

The calibration data for low and super-low grade FPPSF developed by researchers are extracted and plotted as a function of applied pressures as illustrated in Fig. 4 and 5, respectively [11, 14, 16, 24, 25, 27, 28]. The scanned images are converted to 8 bpp (8 bit-per-pixel) grayscale pixel values to represent the level of grayness and brightness ranging from black to white, sometimes called as monochrome. The converted digital images in the grayscale are generally defined black and white levels as respectively zero and 255 (maximum value), by researchers. In contrast, Olson et al. [16] and Devocht et al. [14]

defined black and white points as 255 and zero, respectively. Both of the data are extracted and converted into the same grayscale format in this study. Their calibration curves are generated after collecting all data using a fifth-order polynomial equation to get the best fit to the characteristic of the curves [24] given in Fig. 4 and 5. As seen, notwithstanding the same FPPSF, the calibration curves have different characteristics. Thus, calibration tests and image process techniques must be questioned for the differences among the curves.

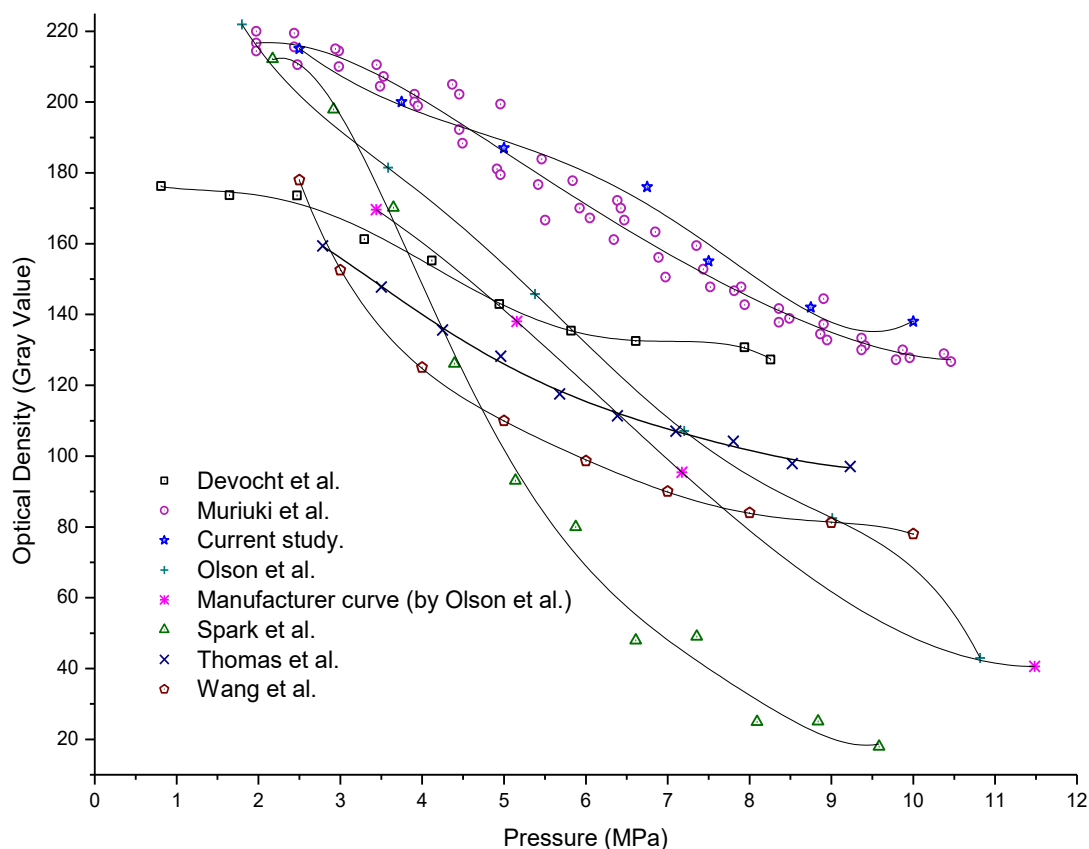


Figure 4. The generated and published calibration data for low-grade FPPSF

One of these reasons depends on environmental conditions. In Fig. 4 and 5, the calibration curves appear to be highly dependent on environmental conditions such as load-rate, ambient temperature and relative humidity which affect red stain intensity during the tests. In addition, the manufacturer of the FPPSFs provides different calibration charts based on environmental conditions [31]. Therefore it is assumed that the calibration curve obtained in this experiment is also derived and plotted as function of pressure and optical density depending on low and high ambient temperatures and humidity as given in Fig. 6 considering the manufacturer's chart. As seen in the figure, the obtained optical density values are matched with the stain density values given in the chart. These curves are plotted as a function of pressure and optical density in order to understand the temperature and humidity effects on FPPSF easily. The optical density values of the curves for low pressures are close to each other than those for high pressures. The calibration curves show different behaviours as researchers may be performed their tests under different environmental conditions. Processing parameters of the calibration tests carried out by the researchers are summarized in Table 1.

Our calibration curve is closely matched with the curve developed for 56 test data by Muriuki et al. [25] as given in Fig. 4. When compared, the calibration curve of Muriuki et al. might be regarded as a suitable curve due to plenty of data even if the environmental conditions are not stated. The accuracy of this curve is more sensitive than the others [25]. Although test conditions are unknown as listed in Table 1., calibration curves developed by Wang et al. [28], Thomas et al. [12], and Devocht et al. [14] have a similar (Fig. 6) proportionality to each other but not overlapped. This indicates that they studied under different experimental environmental conditions. Olson et al. [16] stated that their calibration curve agrees well with low-humidity conditions based upon reference data supplied by the manufacturer.

A similar proportionality can also be seen among the curves published by Spark et al. [10], Olson et al. [16], and Muriuki et al. [25] as given in Fig. 4. In addition, the curves developed in different environmental conditions by Liggins et al.[24, 27] demonstrate similar behaviour in Fig. 5.

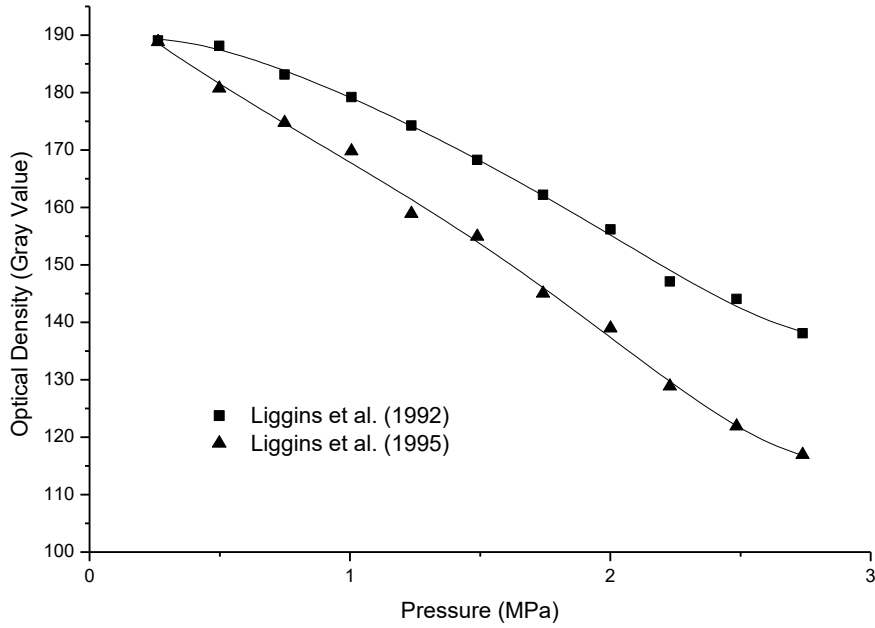


Figure 5. The published calibration data for super-low grade FPPSF

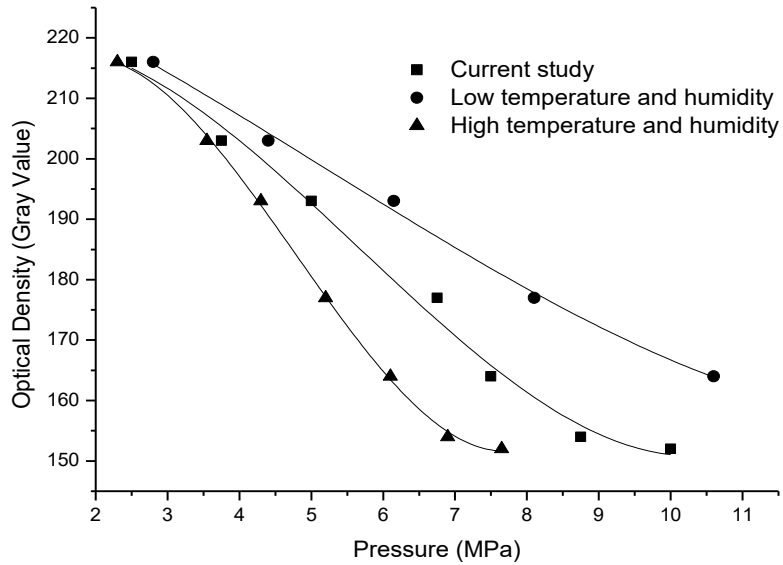


Figure 6. The calibration curves for different environmental conditions

2.3. Statistical analysis

The statistical relationships between the obtained and published curves are computed by a coefficient of regression [32], R^2 , reflecting the percentage of variability among the curves given in Fig. 4 and 5. These curves are analysed by deriving curve equation and compared statistically using SPSS software (R16). Based on the comparisons, the r^2 coefficient of our curve is complied with 95% prediction intervals of the curve published by Muriuki et al. [25]. The rest of the curves (see Fig. 4 and 5) shows significant differences ($p < 0.001$) from each other.

Table 1. Processing parameters of the experimental conditions and image acquisitions

References	Temp. °C	Humidity %	Loading Rates	Scanner Device	Resolution	Software
Liggins et al. [24]	25±3	42.5 ±3	60	CCD video camera		Image Pro II
Liggins et al. [27]	23±1	48	60	CCD video camera		Image Pro +
Muriuki et al. [25]				HpScanjet 5550 c	600 dpi	MATLAB
Current study	19±1	42% ±3	5	MUSTEK 1248UB	600 dpi	MATLAB
Spark et. al. [11]			60	HpScanjet 11cx/T		Bioquant
Olson et al. [16]	Lab. condition	35		Abaton Scan	2,95 pixel/mm	
Thomas et al. [12]			5	Densitometer FPD-305	300 dpi	
Wang et al. [28]			5		65x5 pixel/cm	
Devocht et al. [14]				Digital Camera		NIH Image 1,55

In order to provide relatively uniform stains on the FPPSF, various precautions is provided in the experimental study, such as by polishing and grinding punch and metal base to avoid poor dusting of them and by using a spherical guide in a small spherical cavity on the punch to avoid eccentric loading. Nevertheless non-uniform distribution or fluctuation in the intensity had been occurred in some sample cases and rejected for inclusion to calibration curve. The density distribution of the calculated samples was visually assessed and find acceptable relatively for the calibration curve. For quantitative evaluation of uniform distribution of the sample stains, the gray-level co-occurrence matrix was used to evaluate the uniformity of the sample stains. This matrix is a statistical method to analyse the texture of the image and sometimes called Haralick features [33]. The uniformity was measured in all samples with the energy property of this matrix using MATLAB software. The calculated values are given in Table 2. The value changes from 0 to 1 and the energy value for 1 means constant image. Also, to examine the deviation by comparing the uniformity value and the random error of data in the regression analysis, the random errors (ϵ) of data was added to Table 2. Energy indicator is a measure of uniformity of an image. A high value indicates a uniform distribution. The ideal homogeneity is represented by 1. Thus, data on the homogeneity of sample stains is obtained. Whether the sample can be used to generate the calibration curve is acquired.

Table 2. The values for image uniformity for all samples

Load (kgf)	180	270	360	450	540	630	720
Energy	0.7671	0.3886	0.5052	0.3331	0.6492	0.4016	0.5215
Random error of optical density (ϵ)	-0.1693	0.9432	-2.16	4.4517	-5.5135	-0.0246	-0.14

When the energy indicators in Table 2 are examined, it is understood that the homogeneity of samples 2 and 4, which is less than 0.5, is low. When the samples are examined visually, the accuracy of the numerical expressions is appeared.

3. Discussion

Adequate overall comparisons among the calibration curves in published article have not been made to fill the gap in literature yet. Chin et al. compared their data with the conventional calibration images provided by the manufacturer without the report of accuracy measurement [15]. Olson et al. compared their calibration curve with a curve supplied by the manufacturer [16]. The limitations in FPPSF in terms of performance and accuracy were compared with K-Scan and I-Scan systems by Harris et al. [34] and Bachus et al. [30], respectively.

Bachus et al. [30] used a calibration technique described by Liggins et al. [24] to validate their calibration data using I-scan system. Hasler et al. [26] compared their calibration curves obtained for flat and curved surfaces in stable environmental conditions. They used a non-linear least-square algorithm to fit the curves and a non-linear multiple regression model to compare statistically. Muriuki et al. [25] studied to validate the image processes of FPPSF using his own software and gained an accuracy level lower than 10%. However, no comprehensive analysis in terms of comparisons has been conducted in literature to emphasize the accuracy of calibration curves except the study of Olson et al. whose comparison is inadequate [16]. In our study, a comprehensive comparison is performed between our curve and corresponding curves published in literature. This graphical comparison may help to understand to get a desired accuracy of the calibration procedure of FPPSF to be used in a subsequent study. Therefore, the comparison and statistical analyses of the curves indicate how the environmental conditions affect the calibration curves (see Fig. 6).

Many various factors affecting the calibration curve ought to be classified in two groups. One of them can be defined as image processes such as scanning resolutions, scanner linearity, filtering effects, etc. [35, 36]. These factors absolutely affect the grayscale quality indistinguishably. The other one is related with the environmental conditions of experimental applications such as humidity, temperature and loading time [31]. In addition, polynomial regression degree of the calibration curve can affect the results [37]. The reasons of the differences among the curves (in Fig. 4 and 5) can be interpreted easily with regard to the FPPSF manual when the environmental conditions of the tests are explained in the publications. Hence, the processing parameters of the test conditions should be stated in the publications for better assessment. The curves in Fig. 6 are different from each other due to the factors mentioned above, in spite of a marginal similarity and conformity among them. For these reasons, the calibration curve for FPPSF should be validated empirically.

Liggins et al. reported a method for an analysis of stain resolution [38]. In similar study, Liggins et al. aimed to quantify the effects of an image-enhancement on the resolution properties of pressure maps [39]. Also the standard deviation of pixel-values was presented and random granularity was mentioned for the first time. This factor affects the uniformity of FPPSF. But it was not quantified. Singerman et al. introduced an experimental technique of FPPFS for use in small areas [40]. Singerman conducted the intensity frequency distribution of pixel gray levels as a statistic method. Though calculated parameters and given graphs cause us to think sample uniformity, a clear hint was not presented about the sample uniformity. In present study, we focused also sample uniformity and this factor previously was not directly stated in any paper. Non-uniform distribution is obviously seen in the second and fourth samples in visual inspection of samples in Fig 2. With a glance at image uniformity values in Table 2, the values of image uniformity results seem compatible with visual inspection. Due to this, the parameter of energy property of gray-level co-occurrence matrix can be practicable to check the image uniformity of samples. Also, the most discreteness can be seen in fourth sample that disarrayed the linearity of the calibration curve in the Fig. 4. Random error of optical density data (ϵ) can give tips for excessive discreteness. When taking a look at table 2., fourth and fifth samples was found to be highest error on the residuals. If fourth sample would be uniform, fifth sample probably could fit with calibration curve. Hence we can supposedly say that the parameter of energy property of gray-level co-occurrence matrix can be useful for determining the uniformity of samples. This parameter can make

contribution to desired accuracy of FPPSF on processing of fitting calibration curve.

4. Conclusion

The current study addresses the congruity or ratio among curves reported in literature. The results of the experimental studies are computed based on the calibrated curves of FPPSF that is fundamental for a subsequent study. Nonetheless, the published curves have no foundation in order to confirm the accuracy. The indication of this is the nonconvergency of the curves to each other. But the curves must be convergent at a minimum pressure level, at least, according to the FPPSF manual. Taking these into account, we can conclude that the ambient temperature and relative humidity play a critical role in changing the calibration curves. For these reasons, the evaluation of the contact pressure distribution and the contact area in the studies has certain deviations from a desired accuracy. In the next step, the GLMC homogeneity study should be requested from the investigators to ensure the accuracy of the results during the FPPS calibration run. Thus, reference data on the general calibration method or the uniformity of the samples can be recommended. A set of guidelines or standards for the calibration process must be set to create a precise calibration curve based on the commonalities and correlations among literature publications.

Acknowledgements

This work was supported by the Scientific Research Projects Unit of Kocaeli University under project no. 2015/098

Author's Contributions

I. Mutlu. and T. Celik performed experiments and prepared the manuscript, A. Ozkan and Y. Kisioglu analysed and discussed the manuscript.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The authors declare that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Cada G., Smith J., Busey J. 2005. Use of Pressure-Sensitive Film to Quantify Sources of Injury to Fish. *North American Journal of Fisheries Management*, 25:57-66.
- [2] Bakar A., Ouyang H., Siegel J.E. 2005. Brake pad surface topography Part I: contact pressure distribution. *SAE Technical Paper*, 2005-01-3941.
- [3] Costanzi M., Rouillard V., Cebon D. 2006. Effects of tyre contact pressure distribution on the deformation rates of pavements. *Proceedings of the 19th Symposium of the International Association for Vehicle System Dynamics: Taylor and Francis*,. p. 892-903.
- [4] Joo, B. S., Gweon, J., Park, J., Song, W., Jang, H. 2021. The effect of the mechanical property and size of the surface contacts of the brake lining on friction instability. *Tribology International*, 153, 106583.
- [5] Aymerich F, Pau M, Ginesu F. 2003. Evaluation of Nominal Contact Area and Contact Pressure Distribution in a Steel-Steel Interface by Means of Ultrasonic Techniques. *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, 46:297-305.
- [6] Lee C-Y., Lin C-S., Jian R-Q., Wen C-Y. 2006. Simulation and experimentation on the contact width and pressure distribution of lip seals. *Tribology International*, 39:915-20.

- [7] Cheng C.K, Huang C.H, Liao J.J. 2003. The influence of surgical malalignment on the contact pressures of fixed and mobile bearing knee prostheses--a biomechanical study. *Clinical Biomechanics*, 18:231-6.
- [8] Wolchok J.C., Hull M.L., Howell S.M. 1998. The effect of intersegmental knee moments on patellofemoral contact mechanics in cycling. *Journal of Biomechanics*, 31:677-83.
- [9] Konrath G.A., Hamel A.J., Olson S.A., Bay B., Sharkey N.A. 1998. The role of the acetabular labrum and the transverse acetabular ligament in load transmission in the hip. *The Journal of bone and joint surgery American volume*, 80:1781-8.
- [10] Skie M., Grothaus M., Ciocanel D., Goel V. 2007. Scaphoid excision with four-corner fusion: a biomechanical study. *Hand*, 19:4-8.
- [11] Sparks D.R., Beason D.P., Etheridge B.S., Alonso J.E., Eberhardt A.W. 2005. Contact pressures in the flexed hip joint during lateral trochanteric loading. *Journal of orthopaedic research*, 23:359-66.
- [12] Thomas J.L., Moeini R., Soileau R. 2000. The effects on subtalar contact and pressure following talonavicular and midtarsal joint arthrodesis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 39:78-88.
- [13] Field J.R., Hearn T.C., Caldwell C.B. 1998. The influence of screw torque, object radius of curvature, mode of bone plate application and bone plate design on bone-plate interface mechanics. *Injury*. 29:233-41.
- [14] Devocht J.W., Goel V.K., Zeitler D.L., Lew D. 2001. Experimental validation of a finite element model of the temporomandibular joint. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 59:775-8.
- [15] Chin M.V., Donohue J.M., Erdman A.G., Oegema T.R., Thompson R.C. 1986. Biomechanical Analysis of an Adult Canine Patella under an indirect Blunt Trauma. *ORS Trans*, 11.
- [16] Olson S.A., Bay B.K., Chapman M.W., Sharkey NA. 1995. Biomechanical consequences of fracture and repair of the posterior wall of the acetabulum. *The Journal of bone and joint surgery American volume*, 77:1184-92.
- [17] Wang C-L., Cheng C-K., Chen C-W., Lu C-M., Hang Y-S., Liu T-K. 1995. Contact areas and pressure distributions in the subtalar joint. *Journal of Biomechanics*, 28:269-79.
- [18] Horibe, Y., Matsuo, K., Ikebe, K., Minakuchi, S., Sato, Y., Sakurai, K., Ueda, T. 2021. Relationship between two pressure-sensitive films for testing reduced occlusal force in diagnostic criteria for oral hypofunction. *Gerodontology*.
- [19] Bobko, A., Edwards, G., Rodriguez, J., Southworth, T., Miller, A., Peresada, D., Goldberg, B. 2021. Effects of implant rotational malposition on contact surface area after implantation of the augmented glenoid baseplate in the setting of glenoid bone loss. *International Orthopaedics*, 1-6.
- [20] Gu, Y., Bai, Y., Xie, X. 2021. Bite Force Transducers and Measurement Devices. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 253.
- [21] Saiz, A., Delman, C. M., Haffner, M., Wann, K., McNary, S., Szabo, R. M., Bayne, C. O. 2021. The Biomechanical Effects of Simulated Radioscapholunate Fusion with Distal Scaphoidectomy, 4-Corner Fusion with Complete Scaphoidectomy, and Proximal Row Carpectomy Compared to the Native Wrist. *The Journal of Hand Surgery*.
- [22] Idris, R. I., Shoji, Y., Lim, T. W. 2021. Occlusal force and occlusal contact reestablishment with resin-bonded fixed partial dental prostheses using the Dahl concept: A clinical study. *The Journal of prosthetic dentistry*.
- [23] Ayna, M., Karayürek, F., Jepsen, S. Emmert M., Acil Y., Wiltfang J., Gülses A., 2021. Six-year clinical outcomes of implant-supported acrylic vs. ceramic superstructures according to the All-on-4 treatment concept for the rehabilitation of the edentulous maxilla. *Odontology*, 109(4), 930–940.
- [24] Liggins A.B., Stranart J.C.E., Finlay J.B., Rorabeck C.H. 1992. Calibration and Manipulation of Data from Fuji Pressure-Sensitive Film. *Clin Asp B.*, 3:61-70.
- [25] Muriuki M.G., Gilbertson L.G., Harner C.D. 2009. Characterization of the performance of a custom program for image processing of pressure sensitive film. *Journal of biomechanical engineering*, 131(1):014503.
- [26] Hasler E.M., Herzog W., Fick G.H. 1996. Appropriateness of plane pressure-sensitive film calibration for contact stress measurements in articular joints. *Clinical Biomechanics*, 11(6):358-360.

- [27] Liggins A.B., Surry K, Finlay J.B. 1995. Sealing Fuji Prescale pressure sensitive film for protection against fluid damage: the effect on its response. *Strain*, 31:57-62.
- [28] Wang C.L., Cheng C.K., Chen C.W., Lu C.M., Hang Y.S., Liu T.K. 1995. Contact areas and pressure distributions in the subtalar joint. *Journal of Biomechanics*, 28(3):269-279.
- [29] Mutlu I., Ugur L., Celik T., Buluc L., Muezzinoglu U.S., Kisioglu Y. 2014. Evaluation of contact characteristics of a patient-specific artificial dysplastic hip joint. *Acta Bioeng Biomech*, 16:111-120.
- [30] Bachus K.N., DeMarco A.L., Judd K.T., Horwitz D.S., Brodke D.S. 2006. Measuring contact area, force, and pressure for bioengineering applications: using Fuji Film and TekScan systems. *Medical Engineering & Physics*, 28:483-488.
- [31] Fuji Photo Film Co. Ltd. Pressure measuring film-FUJI prescale film instruction manual.
- [32] Introduction to SAS. UCLA: Statistical Consulting Group; 2013.
- [33] Haralick R.M, Shanmugam K., Dinstein I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Smc3:610-621.
- [34] Harris M.L., Morberg P., Bruce W.J.M., Walsh W.R. 1999. An improved method for measuring tibiofemoral contact areas in total knee arthroplasty: a comparison of K-scan sensor and Fuji film. *Journal of Biomechanics*, 32:951-958.
- [35] Balter S. 1993. Fundamental properties of digital images. *Radiographics*, 13:129-141.
- [36] Spring K.R., Russ J.C., Davidson M.W. Basic Properties of Digital Images, Concepts in Digital Imaging Technology. Hamamatsu Learning Center.
- [37] Mutlu I., Kisioglu Y. 2013. Higher order regression functions result better fit for the calibration curve. *Journal of Orthopaedic Research*, 31:1164-.
- [38] Liggins A.B., Hardie W.R., Finlay J.B. 1995. The spatial and pressure resolution of Fuji pressure-sensitive Film. *Experimental Mechanics*., 35:166-173.
- [39] Liggins A.B., Finlay J.B. 1997. Image-averaging in the analysis of data from pressure-sensitive film. *Exp Techniques*, 21:19-22.
- [40] Singerman R., Pedersen D., Brown T. 1987. Quantitation of pressure-sensitive film using digital image scanning. *Experimental Mechanics*, 27:99-105.

Araştırma Makalesi / Research Article

Characterization of Waste Tire Pyrolysis Products by GC, ICP-MS, TGA and DSC

Gediz UĞUZ¹, Abdülkadir AYANOĞLU^{2*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

²Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Mardin, Türkiye

(ORCID: 0000-0002-6796-6067) (ORCID: 0000-0002-5835-558X)

Abstract

The huge amount of waste tires (WTs) have been disposed to surroundings which cause dangerous effect on nature. Owing to recycled WTs, the pyrolysis is a good technique to dismiss harmful effect of the WTs, by converting into gas, liquid and solid. The present study has two steps of liquefaction at a batch reactor. Firstly, conversion of the WTs into gas, waste tire oil (WTO) and char. Then the WTO were blended with calcium oxide (CaO) or natural zeolite (NZ) at different ratio and pyrolyzed to obtain high quality oil, similar to gasoline fuel (GF) or diesel fuel (DF). The distillation curve is a good key to define fuel quality. Thus, 10% CaO-WTO blend curve near to the DF. Unfortunately, the mixture was distilled at 54 °C, lower than the DF. Therefore, the blend was separated into two fractions due to initial-final boiling points as 150 °C to 360 °C, named as Diesel like fuel (DLF); between 54 °C to 150 °C, called as gasoline like fuel (GLF). Finally, samples were analyzed to characterize by GC, ICP-MS, TGA and DSC for similarities of conventional fuels. The heavy metals and other elements of samples were analyzed by ICP-MS techniques. TGA is a good test to determine the oxidative and thermal stabilities of fuel while DSC was used to determine crystallization onset temperature on fuel samples. GC analysis is done for determining of gas heating value and beside gas contents which has a comprehensive with standard burnable gas. Based on GLF and DLF with unliquified gas results, all of components of products can be burned in engine without any problem.

Keywords: Waste Tire, Pyrolysis, Gasoline Like Fuel, Diesel Like Fuel, Characterization

Atık Lastik Piroliz Ürünlerinin GC, ICP-MS, TGA ve DSC tarafından karakterizasyon

Öz

Büyük miktarda atık lastik (AL) çevreye atılmakta ve doğa üzerinde tehlikeli etkilere sebep olmaktadır. AL'in geri dönüşümü için, piroliz kullanılarak atık lastiklerin gaz, sıvı ve katı ürünlere dönüştürülerek AL'nin zararlı etkilerini bertaraf etmek amacıyla kullanılan etkili bir tekniktir. Bu çalışmada, bir kesikli reaktör kullanılarak iki adımda sıvılaştırma yapılmıştır. İlk olarak, atık lastik gaza, atık lastik yağına (ALY) ve karbon siyahına dönüştürülmüştür. İkinci adımda ise ALY, farklı oranda Kalsiyum Oksit (CaO) veya Doğal Zeolit (NZ) ile karıştırılarak; benzine veya dizel benzeyen yakıt yüksek kaliteli yakıt elde etmek için piroliz edilmiştir. Distilasyon eğrisi, yakıt kalitesini tanımlamak için iyi bir referanstır. % 10CaO-ALY karışımının distilasyon eğrisi dizel yakıtla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat karışımın dizel yakıttan daha düşük olan 54 °C'de distile edilmiştir. Bu nedenle karışım, ilk-son kaynama noktalarına göre ayrıştırılarak iki fraksiyon elde edilmiştir. 54 °C ile 150 °C arasında, benzin benzeri yakıt (BBY); 150 °C ile 360 °C arasında dizel benzeri yakıt (DBY) elde edilmiştir. Elde edilen bu iki fraksiyon, geleneksel yakıtlara benzerliklerini değerlendirmek amacıyla GC, ICP-MS, TGA ve DSC teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Örneklerdeki ağır metaller ve diğer elementler ICP-MS tekniği ile analiz edilmiştir. TGA yakıtlardaki termal ve oksidasyon kararlılığını belirlemek için kullanılan iyi bir tekniktir. DSC ise yakıt örneklerindeki kristallenmeye başladığı noktanın belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. GC analizi ile gazın ısı değeri tespit edilip, bununla beraber gaz içeriği de tespit edilerek standard yanabilen gazlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar BBY ve DBY ile sıvılaşmayan gaz numune sonuçlarının motorlarda problemsiz kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık Lastik, Piroliz, Benzin Benzeri Yakıt, Dizel Benzeri Yakıt, Karakterizasyon

*Corresponding author: a.ayanoglu1@gmail.com

Received: 13.12.2020, Accepted: 01.09.2021

1. Introduction

The continuity of world has been sustained by traditional energy source however energy needs increase and standard energy resource decrease by social and political statements. [1, 2]. Therefore, plentiful resources have been to supplied instead of petroleum fuels such as waste tires, waste agriculture and etc. Some of researchers have noticed that waste material (WM) has recovered to use in broad industrial applications. [3, 4]. Due to the WT statistics of world, about 17 million tonnes were produced in a year [5]. The China discarded one third of produced tire as approximately 5.2 million tons annually [6].

In past decades, novel technologies have been developed to produce more or less products (gas, liquid, and solid) of the WTs [7]. Pyrolysis is an impression and interesting method which can be obtained high yield products with low sulfur and less nitrogen oxides ingredients in order to decompose tire polymers under high temperature at various mediums [8, 9].

Several pyrolysis types such as fixed-bed (batch), screw kiln, rotary kiln, vacuum and fluidised-bed reactors have been used for recycling materials. The target of reactor for obtaining more amount of gas or liquid or solid products according to rate of heat. Therefore, the WTs were liquified at batch reactor for more oil amount. Furthermore, this reactor have widely used because of its simple structure and easily established with low investment [10, 11]. Since 1990s, many studies have been done by different operation conditions of pyrolysis [12].

Ayanoglu and Yumrutas worked on the WTs conversion by adding various ratio of CaO for obtaining high amount of oil with low sulfur. The WTO were analyzed by chemical and physical tests to compare with standard fuels [13].

Alkhatib et. al. [14] pyrolyzed the WTs at different powers (750W, 1500W and 3000W) at reactor temperature of 500 °C. The liquids amount for both 1500W and 3000W were higher than 750W as 45% and 40%, respectively. Additionally, characteristic of liquids was similar to standard fuels.

Islam et. al. [15] worked on new application of pyrolysis by using the WTs (4 cm³ particle size) in a fixed-bed fire-tube under nitrogen gas at 475 °C. The oil properties were tested by elemental analysis, FT-IR, ¹H-NMR and GC-MS and distillation tests.

The test results gave an idea to use oil as fuel. The main goal of the study is to find similarity of DLF and GLF with GF and DF whether can be combusted in engine or not. For this reason, a detail analysis was done for WTO, DLF, GLF, GF and DF characterization in order to define organic compounds by GC, ICP-MS and FT-IR, techniques. Based on analytical tests, GLF and DLF approved to use as fuels.

2. Material and Methods

2.1. Raw Material

The WTs were supplied from Kudret Inkar Co., Adıyaman/TURKEY [16]. The metal and textile parts of the WTs were separated and further washed by water to remove other non-purities and dust, then cut in 1 mm particle size. Finally, the WTs were dried at solar to remove waters. The procedure of the WTs pyrolysis was simplified and shown at Figure 1.

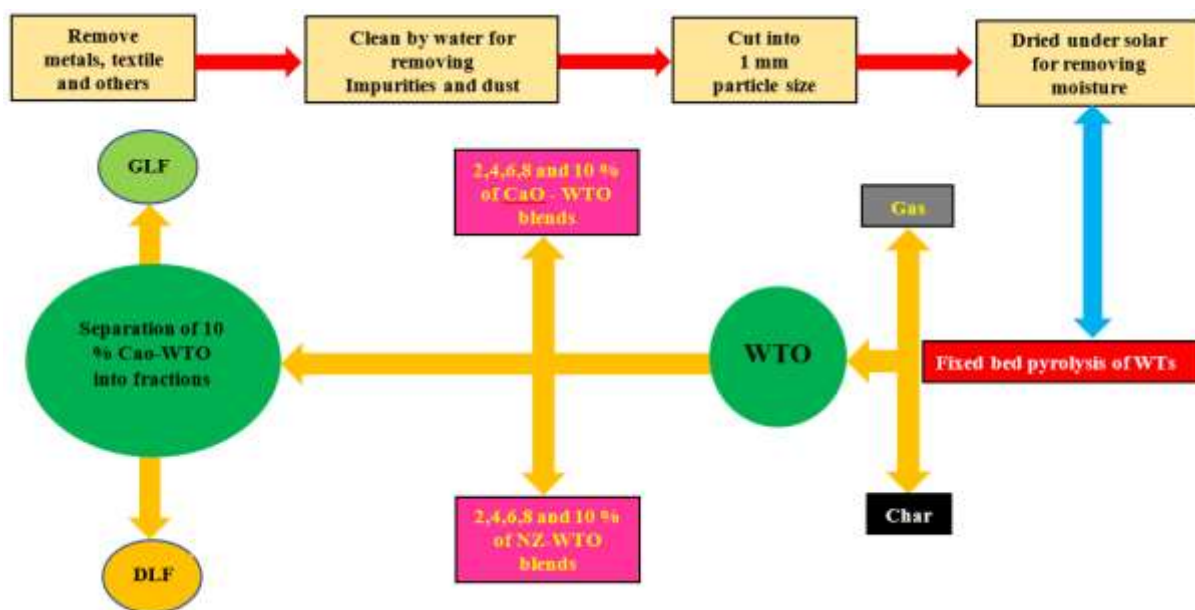


Figure 1. Procedure of the WT's pyrolysis.

2.2. Pyrolysis System

The fixed-bed pyrolysis system was equipped by reactor, control panel, thermocouple, blender, safety valve, heat exchanger and can. The reactor has a dimension $\text{Ø}30 \times 40 \text{ cm}$ with 5 cm glass wool isolation and 5 kW heater. In addition to reactor, the blender was used for homogenous temperature distribution and the thermocouple used to measure temperature which were inserted on middle of the reactor, which was shown at Figure 2.

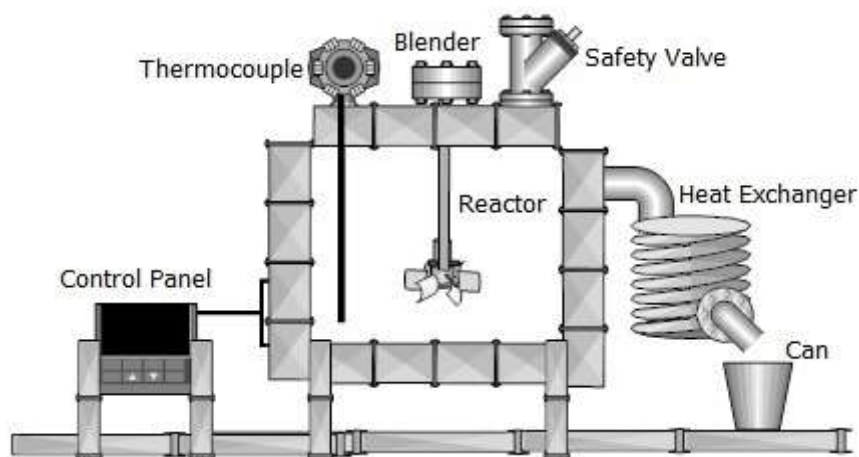


Figure 2. The pyrolysis system.

2.3. Pyrolysis Procedure

Furthermore, the pyrolysis has other contribution to decrease residual of solid by increase condensable (oil) and non-condensable (gas) fractions due to heating rates, catalysts, pressure and other parameters. [10, 17–20]. The WT's have been stored to dispose or re-cycle for minimizing harmful and polluting effects because of high amount of sulfur. Particularly, sulfur has removed by preferable catalyst as CaO [21, 22].

The WT's were pyrolyzed into gas, oil (WTO) and char at first stage of liquefaction in a fixed bed reactor by $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ under atmospheric medium. Then at second stage of pyrolysis, the WTO has exposed with 2,4,6,8 and 10 mass ratios of CaO and NZ under concurrent consistence, individually. The curve of distillation test is a good key to define fuel quality and similarities of chemicals. Thus,

the mixture of 10% CaO -WTO distillation had a good curve, near to the DF. Unfortunately, the mixture was distilled from lower temperature than the DF. Therefore, the mixture was necessary required to separated into fractions due to start temperature point of the DF which was 150 °C to end temperature point of 360 °C which was heavy part, named as Diesel like fuel (DLF). The remain liquid was distilled between 54 °C to 150 °C which was light part, called as gasoline like fuel (GLF), explained in detail in previous study [13, 23].

2.4. Statistical Analysis

The statistical analysis was used to perform by IBM SPSS Statistics 20 package program. The general application of program was used to predict (observed) or expected (measurement) data. The SPSS analysis is particularly used to determine sensitivity and accuracy of pyrolysis test.

2.5. The Gas Chromatography (GC)

The pyrolysis gas products were analyzed by Agilent GC-7890 which provided with one flame ionization detector (FID) and two thermal conductivity detector (TCD) for finding C₁-C₅ hydrocarbons, C₆/C⁺ hydrocarbons, CO₂, N₂ and H₂. The Gas chromatography (GC) has a 1 µm Carboxen, 5 packed column with 3 capillary column and a carrier gas of Helium by 30 ml/min. The sample was injected from tedlar-bag to GC. The initial temperature of oven was 60 °C (hold 1 minute), heated up to 80 °C by 20 °C/min then increased to 190 °C (hold 1.333 minute) by a heating rate of 30 °C/min then reached to 200 °C. The total analysis duration was 7 minutes. The results were determined by volumetric ratio of percentages.

2.6. Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS)

During combustion, some unburned-hydrocarbon, particles and emission gasses have been released to cause green gas effect and destroy atmosphere and environment. Due to the harmful exhaust effect, livers have been breathed which have damaged the respiratory system. The heavy metals have to constrain in a range for world life [24].

The heavy metals and other elements have analyzed by Inductively coupled plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) or Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES) or Flame atomic absorption spectroscopy (Flame AAS) or Graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GF-AAS) instrumentals in open literature. Due to analytical techniques, the ICP-MS has one of the excellent detection and give the best results in a short period with designated limits [25]. The heavy metal concentrations of aluminum (Al), arsenic (As), Cadmium (Cd), cobalt (Co), Chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), nickel (Ni), lead (Pb) and zinc (Zn) were detected by Agelan 7700A ICP-MS. The latte, sample (20 µg/L) was mixed to homogenize with nitric acid and hydrogen peroxide (HNO₃+H₂O₂,1:1 ratio) for 1 min., then inserted into a pressure-resistant polytetrafluoroethylene (PTFE) vessel. Finally, the microwave digestion system (Milestone Ethos D, Sorisole, Italy) was run at a temperature of 100 °C and hold 10 min. under 300 ml/min flow rate, then leave to cool room temperature in 60 min.

2.7. Thermogravimetric Analysis (TGA)

The fuel chemical stability defines ability of any fuel which has resistance to oxidation and chemical changes for long-time storage or long-term shipping. The main point of stability of chemical is related with unsaturated hydrocarbons of fuel which can be a reason for rise propensity of oxidation.

On the other hand, the olefin molecule is branched to react as a double bond from its midpoint which are caused to decrease stability of oxidation. The double bonds of hydrocarbons (dienes) have a distance from other compounds which are behaved like olefins in terms of oxidation stability.

The unsaturated hydrocarbons are oxidized to produce resinous materials under the effect of air and temperatures [1]. At the first stage of hydrocarbon oxidation were fastly occurred by hydroperoxides-unstable compositions interaction in different oxidation conditions. The hydroperoxides basicly reacts with noticeable alcohols (aldehydes, ketones and acids forms) at low temperatures during oxidation of

hydrocarbon fuels and define storage characteristic. The hydroperoxides of unsaturated hydrocarbons can be polymerize and react with other chemicals which give a start to form resin particles. [26].

Thermogravimetric analysis (TGA) was done to determine esters and oils by temperature rise under the medium of nitrogen or argon or oxygen or dry air, etc. with mass changes due to time control. According to decomposition or oxidation or dehydration, the substance can be defined by changes of phase and mass with structures correlation. Furthermore, TGA is a good test to determine the oxidative and thermal stabilities of fuel [27-28].

In this study, the thermogravimetric (TG) thermograms of samples were tested by Shimadzu DTG 60H thermogravimetric analyzer [29]. A 10 mg was weighed to put into platinum pan and analyzed under 100 ml/min dry air to determine the oxidative stability by temperature rise from 25 °C to 700 °C with a heat rate of 10 °C/min for 1 h [27, 29]. Finally, the chemical reactions were completed at 700 °C due to mass stability [30]. The TGA curves were also used to define the onset temperature of samples.

2.8. Differential Scanning Calorimetry (DSC)

The petroleum based fuels have non-simple compounds which are known from organic chemistry (paraffin, naphthenic and aromatic hydrocarbons, sulfur, oxygen, and nitrogen) [31]. The fuel has high freezing point due to long chain of paraffin compositions. Besides, a small amount water is dissolved in fuel which can be a crystallization at low temperature, due to crystallization of water, it has an abrasive effect on fuel system [32].

The wax appearance temperature (WAT) can be defined as crystallization onset temperature. The WAT can be also obtained by ultrasonic waves differential scanning calorimetry (DSC) and cross-polarized microscopy (CPM) with rheometry. The crystallization onset temperature ($T_{c-onset}$) is observed from heat-profile changes in which temperature starts to decrease during cooling process [33, 34]. The present work focus on crystallization onset temperature of WTO, GLF and DLF by DSC to find similarity with standard fuels. The Mettler–Toledo DSC 1 700 were run under Nitrogen gas with 50 mL/min and 8.0 ± 1.0 mg of sample weigh in aluminum pan which were heated up to 20 °C or cooled to -80 at a rate of 10 °C/min.

3. Results and Discussion

3.1. The physical properties of products

The physical test results will be declared briefly in this section. The physical properties of the WTs and its products were analyzed in previous study of Author [13]. The elemental analysis gives an information about carbon percentages of fuels which is a good indicator for heating value. The carbon percentages of WTO were as 79.49 %, near to standard fuels. However, sulfur amount was too high which need to decrease by a catalyst. Furthermore, the physical properties of the WTO were determined by 830 kg/m³ (density), 3.21 mm²/s (viscosity), 28.1 °C (flash point), and Higher Heatin Value (HHV) as 41,00 kJ/kg. Additionally, Distillation temperature at 250 °C (max. vol.) and 350°C (min. vol.) were as 60% and 80%. Due to the physical properties of WTO, the WTO had similarity to DF except flash point [13].

Thus, the properties of WTO have to upgrade with a catalyst such as CaO and NZ, which were used in a ratio of 2 to 10, by a step of 2. The distillation curves of mixture were given an idea for best result which was 10% CaO-WTO blend. Then, the 10%CaO-WTO mixture were seperated into fractions by temperature differences as 54 °C-150 °C which named as GLF and 150 °C-360°C which called DLF [13]. The elemental analysis result of carbon for GLF and DLF were as 80.44% and 81.31%. However, the sulfur of DLF was too high again, that a desulfirization process will be required. Moreover, density, flash point, and HHV of GLF and DLF were such as 740 and 825 kg/m³, 20 and 130 °C, and 42,163 and 43,214 kJ/kg. And also, the viscosity of DLF was 3.09 mm²/s. The Initial Boiling Point (IBP), 10 vol., 50 vol. and 90 vol. of GLF distillation results were as 54 %, 74 %, 121 % and 188 %. Besides, distillation temperature of DLF for 250°C (max.vol.) and 350°C (min. vol.) were as 50 % and 95 % [13]. As a conclusion, GLF and DLF physical properties were close to convetional fuels which can be burned in engines.

The high amount carbon content as C₁, C₂, C₃, C₄ and C₆ compounds were suitable to burn in heating systems [35, 36]. The non-condensable gases of Wts can be burned directly or react with catalyst to upgrade gas quality [37-38], while pyrolysis gases are generally combusted. On the other hand, the gas has available ingredients which can be produced by thermochemical methods and developed economy [39-40].

Non-condensable gas was tested due to Turkish Standards Institution standard (TSE K-13). Outlet volumetric flow rate of the gas from reactor was 204 m³/s. The condensable gas composition and heating value results have been changed due to heating rate, reactor types, raw material sizes and catalyst usage. The composition of gas products from pyrolysis were shown at Table 1. According to volumetric real gas, volumetric real gas, molar and mass of HHV and LHV of pyrolysis gas at 20 °C and 1 atm conditions were displayed at Table 2. The LHV was defined as 40.23 MJ/kg due to mass, was close to standard petroleum fuels.

Table 1. The composition of gas products from pyrolysis.

Composition	Average	Average
	Concentrations (vol%)	Concentrations (vol%)
CO ₂	9.972	<25
N ₂	0.880	<45
O ₂	0.291	<6.5
CO	2.847	---
H ₂	8.846	---
Methane	20.235	<50
Ethane	5.820	<10
Ethylene	10.714	---
Propane	3.392	<7.0
Propylene	5.416	---
i-buthane	1.457	<3.5
n-buthane	0.611	>0.35
1-buthane	0.810	---
t-2-buthane	1.011	---
iso-buthane	14.287	---
c-2-buthane	0.885	---
n-hexane	12.526	<6

Table 2. The HHV and LHV of pyrolysis gas at 20 °C and 1 atm conditions.

	HHV		LHV	
	MJ/m ³	kcal/m ³	MJ/m ³	kcal/m ³
Volumetric ideal gas	71.56	17104	66.25	15834
Volumetric real gas	72.45	17317	67.07	16031
	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol
Molar	1868.15	446.50	1593.59	380.88
	MJ/kg	kcal/kg	MJ/kg	kcal/kg
Mass	47.17	11273	40.23	9616

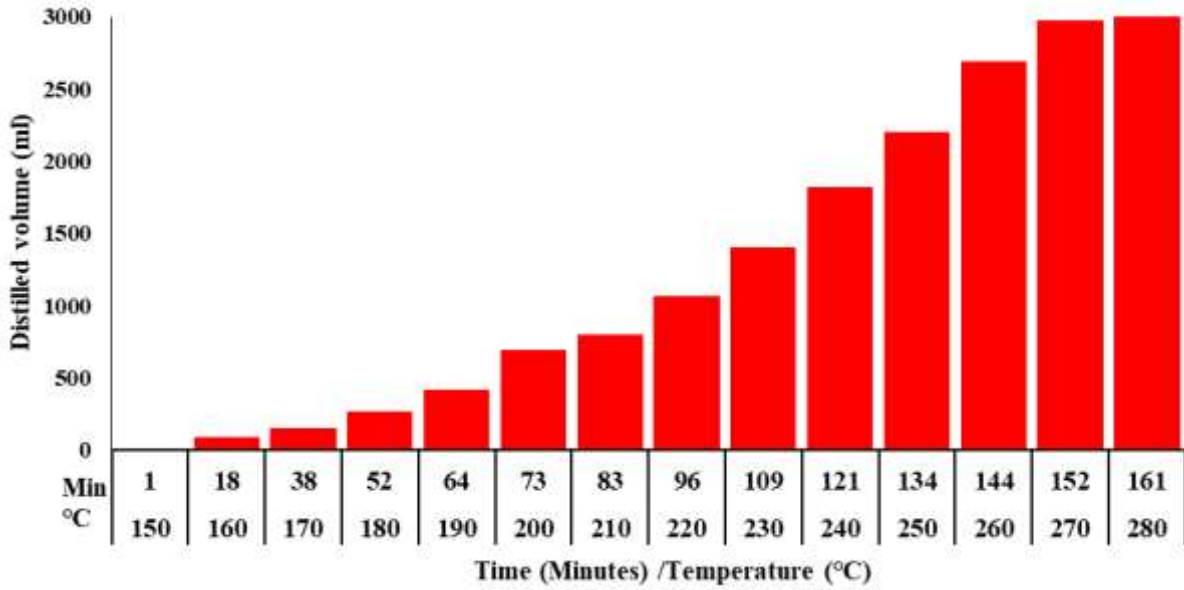


Figure 3. The distillation of GLF changes with time.

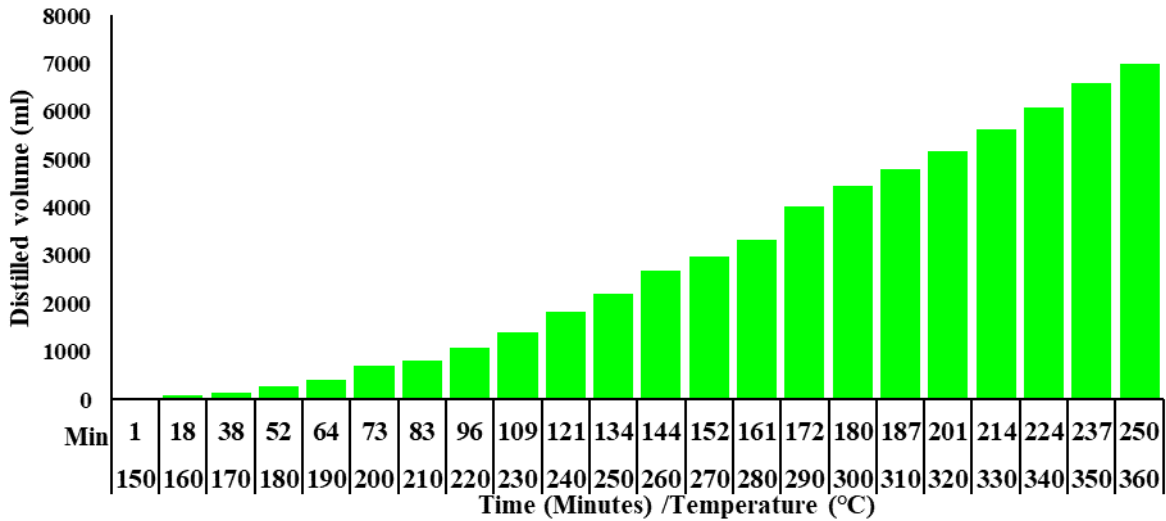


Figure 4. The distillation of DLF changes with time.

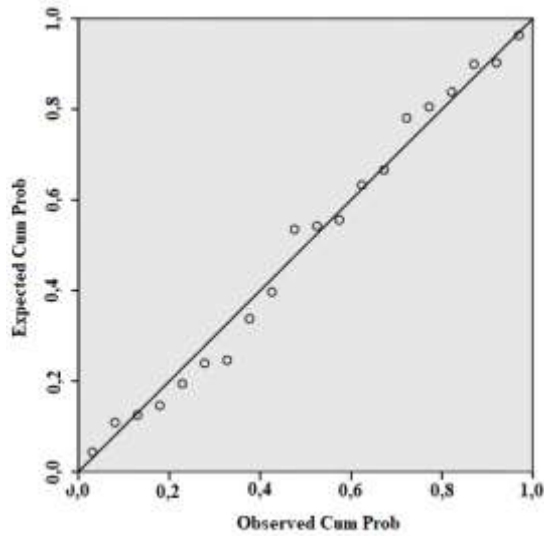


Figure 5. The SPSS analysis of 10%CaO-WTO mixture at distillation system

The conventional distillation test uses to define hydrocarbon boiling temperature point by heating sample and also use to separate vapor and liquid phases due to temperature difference. Furthermore, the distillation test are utilized to define properties of chemical compounds and their structures which give a great estimation on performances and emissions as well [41-43]. In this study, the distillation curves of GLF and DLF samples were verified with times and displayed at Figures 3 and 4.

The first fraction (GLF) of pyrolysis was started to heat up to 54 °C in 21 min to obtain first drop, then temperature increase to 150 °C in 150 min. Afterwards, the second fraction was liquified from 150 °C to 360 °C in a 250 min. The temperature increase for each 5 min. which known as heating rate. The linear correlation between time temperature were seen at Figures 3 and 4 by verification of distilled volume due to pyrolysis test.

By comparing distillation curve of GLF, was done due to ASTM D86, with first fraction pyrolysis of has a accuracy measured results. The pyrolysis distillation test of GLF and DLF were compared with sandard distilation test, by using a K45000 apparatus due to ASTM D86. The slope of curves were similar to conventional fuels. A statistical analysis was done to distinguish good case for reproducibility of 10% CaO-WTO mixture pyrolysis test. Thus, the experimental data were simulated by Regression Analysis of SPSS.

The Observed Cum Prob and Expected Cum Prob were known as experimental and training data which shown at Figure 5. By increase of distillation temperature which were cause to increase distilled volume by time. The beads were distributed around linear slope line that the pyrolysis were done in terms of accuary. The adjusted square of the correlation coefficient (R^2) was found as 0.982, close to 1 which mean high experimental accuracy.

3.2. Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS)

The heavy metals of fuel have negative and destruction effect on engine and environment. Therefore, a restriction put on heavy metal amounts by laws. The Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn were detected and tabulated at Table 3, by assitance of microwave of ICP-MS.

The amounts Fe, Cd, Pb, Al and As of samples were lower than standard fuels however Cu was close to petroleum fuels [44, 45]. As shown in Table 4, the ICP-MS results have a good agreement to literature and "Category I Waste Oil" law of Republic of Turkey (Regulation on Control of Waste Oils in Turkey). As ICP-MS test result of GLF and DLF can be burned in chamber engine without any problems for engine and have no harmful effect on enviroment.

Table 3. ICP-MS test results of WTO, DLF, DF, GLF and GF.

Pollutants(ppm)	WTO	DLF	DF [46]	GLF	GF [46]
Al	0.595	0.3180	0.0083	0.3260	0.0014
As	0.590	0.059	-	0.166	-
Cd	0.004	0.0010	0.0064	0.0010	0.0015
Co	0.001	0.0010	0.0003	<0.100	0.0002
Cr	0.260	0.0020	0.0080	0.0350	0.0019
Cu	0.274	23.022	0.0074	13.887	0.0028
Fe	2.401	0.5610	0.0089	0.7010	0.0100
Ni	1.273	<0.100	0.0064	<0.100	0.0019
Pb	0.091	0.0280	0.0066	0.0220	0.0016
Zn	8.500	2.2440	0.0520	2.1270	0.2500

Table 4. Turkey waste oil categories and their pollutant limit values [47].

Pollutants (ppm)	Allowed limit Category of waste oil		
	I	II	III
As	<5	Max.5	>5
Cd	<2	Max. 2	>2
Cl	Max. 200	Max. 2000	>2000
Cr	<10	Max. 10	>10
Pb	<100	Max. 100	>100

3.3. Thermogravimetric Analysis (TGA)

The TGA and DrTGA curves of samples were indicated oxidative degradation which were happened at a range of 23.50-570.92 °C for a single continuous step. The onset degradation temperature (T_{onset}) inform an opinion about initial boiling point with thermal stability. The T_{onset} were become higher value at low polyunsaturation for maximizing of oxidation stability. Besides, the T_{onset} were enhanced in a small range for more thermal stability [48]. In order to find out the combustion characteristics of samples were burned under air medium with 10°C/min. The combustion results of thermograms and derivative thermograms of samples were represented at Figures 6 and 7.

The onset and end temperatures and mass loss of samples were declared at Table 5 while Table 6 represented combustion reaction intervals, peak temperatures, and weightlosses of samples. The reaction ranges were exposed at 40.45-323.70°C, 29.15-290.14°C and 31.98-272.49°C for WTO, DLF and GLF respectively. While, the combustion thermograms of WTO, DLF, DF, GLF and GF were stated at weight loss of 99.75 %, 99.81 %, 99.18%, 98.77% and 98.46%, respectively. As a comparative of DLF and GLF results were close to standard petreloum which can be acceptable as alternative fuels [28].

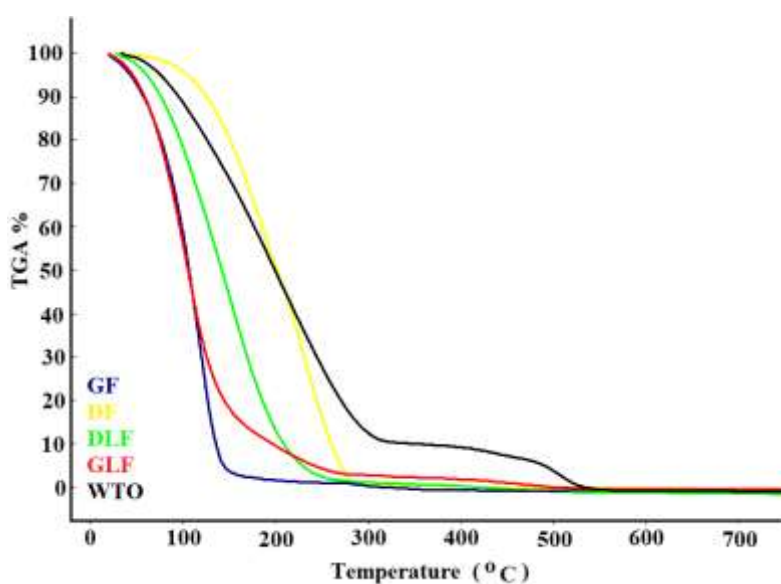


Figure 6. Thermogravimetric analyses (TGA) of WTO, DLF, DF, GLF and GF samples for oxidative stability.

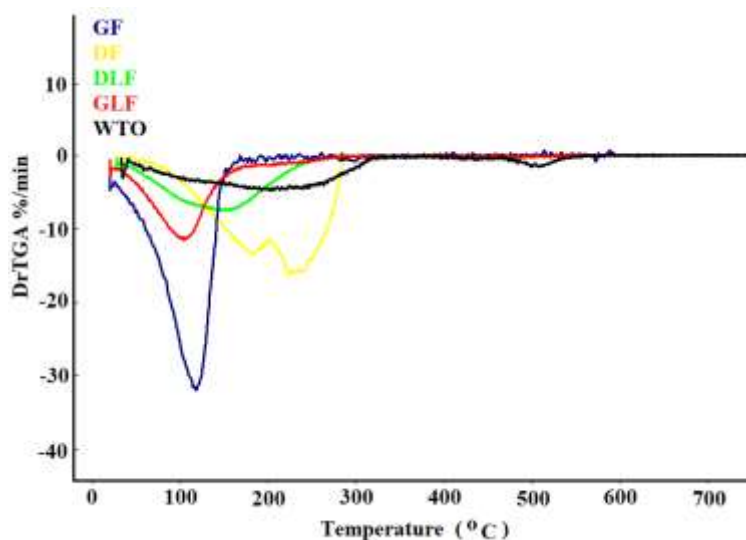


Figure 7. Derivative thermogravimetric analyses (DrTGA) of WTO, DLF, DF, GLF and GF samples for oxidative stability.

Table 5. TGA analysis of onset and end temperatures with mass loss of samples

Sample	T _{onset} (°C)	T _{end} (°C)	Weight loss (%)
WTO	34.80	570.92	99.75
DLF	28.09	309.15	99.81
DF	29.01	295.80	99.18
GLF	20.68	461.43	98.77
GF	23.50	137.00	98.46

Table 6. DrTGA analysis of combustion reaction intervals, peak temperatures, and weight losses of samples

Sample	Reaction region (°C)	Peak temperature (°C)	Weight loss (%)
WTO	40.45-323.70	200.44	50.10
DLF	31.98-272.49	149.99	55.85
DF	29.15-290.14	224.57	65.33
GLF	20.68-281.26	104.29	49.03
GF	28.09-159.12	117.80	44.47

3.4. Differential Scanning Calorimetry (DSC) Results

The Cloud Point (CP) has taken attention because of low crystallization temperature [49]. Due to temperature decrease, the temperature of fuel become lower than Cloud Point while, fuel stay stable for a certain time. However, after a period of time, the wax crystals were arranged to sink down slowly as layers into vessel bottom. Especially, the wax of heavy fuels were obviously watched by naked eyes [50].

The crystallization onset temperatures of WTO, DLF, DF, GLF and GF were as -47.11 °C, -21.31 °C, -16.84 °C, -11.31 °C and -10.97 °C, respectively which was shown at Table 7. According to the WAT, the DLF crystallizes quicker than GLF while GF and DF have a slower crystallization than others. As a consequence, DLF and GLF can be added in to petroleum fuels for decreasing cost and enrich chemical properties of fuels.

On the other hand, cold flow properties were also decrease by changing size and shape of wax crystals at freezing points. The Cloud Point can be observed by naked eyes easily in case of huge paraffins precipitation or in contrast hard to observe inversely [51]. On set crystallization temperature could be detected in an accuracy method of DSC [52].

Table 7. Crystallizations onset temperatures (°C) of WTO, DLF, DF, GLF and GF

Sample	T _{onset} (°C)
WTO	-47.11
DLF	-21.31
DF	-16.84
GLF	-11.31
GF	-10.97

4. Conclusions

The WT was converted to rich organic compounds of products by pyrolysis. Particularly, the physico-chemical properties and HHV of WTO were similar to DF. The CaO was exposed with WTO at different mass ratio to bring similarity. Then, the new products compared with diesel fuel. The 10 % CaO-WTO mixture curve was close to DF. By temperature differences, the mixture was divided into light and heavy fractions. Both of products were too close to petroleum fuels and analyzed via GC, ICP-MS, TGA and DSC which results declared below:

1. Due to TSE K-13, the WTOs' gas compounds and calorific value (LHV=40.23 MJ/kg) had close similarity to natural gas or burnable gas.

2. The distillation temperature via distilled volume with time were trained by IBM SPSS Statistics 20. R^2 were computed as $0.982 < 1$, that it refers efficiency reaction in reactor in terms of maximum accuracy.
3. The ICP-MS analysis were done for such elements as Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn which had minimum impact on engine chamber and environment. The ICP-MS results of GLF and DLF were lower than Turkish law of "Category I Waste Oil".
4. The results of TGA for WTO show that the oxidative degradation occurred in a single continuous step in the temperature range 30–570 °C with the mass losses occur at levels of 99.75%. The results of TGA for DLF, GLF, GF and DF show that the oxidative degradation occurred in a single continuous step in the temperature range 20–310 °C with the mass losses occur at levels of 99.81%. The TGA, DrTGA results of GLF and DLF were compared with other fuels that can be combust in engine.
5. Due to crystallization temperature, GLF and DLF could be put in fuels for minimize cost and cold flow properties by enrich properties of chemical at freezing points.

Acknowledgement

The authors wish to thank Tuna DEMİRÇİ, DÜBİT, Düzce University, Düzce, Turkey for the TGA Analysis.

Author's Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The authors declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Chorazy T., Čáslavský, J., Žvaková, V., Raček, J., Hlavínek, P. 2019. Characteristics of Pyrolysis Oil as Renewable Source of Chemical Materials and Alternative Fuel from the Sewage Sludge Treatment. *Waste and Biomass Valorization*, 11:4491–4505.
- [2] Lira H.N.F., Rangel E.T., Suarez P.A.Z. 2018. Diesel-Like Fuels and Lubricating Grease Preparation from an Industrial Oily Waste. *Waste and Biomass Valorization*, 9: 2459–2470.
- [3] Galvagno S., Casciaro G., Casu S., Martino M., Mingazzini C., Russo A., Portofino S. 2009. Steam gasification of tyre waste, poplar, and refuse-derived fuel: A comparative analysis. *Waste Manag*, 29: 678–689.
- [4] Vounatsos P., Atsonios K., Itskos G., Agraniotis M., Grammelis P., Kakaras E. 2016. Classification of Refuse Derived Fuel (RDF) and Model Development of a Novel Thermal Utilization Concept Through Air-Gasification. *Waste and Biomass Valorization*, 7:1297–1308.
- [5] Cheng X., Song P., Zhao X., Peng Z., Wang S. 2018. Liquefaction of ground tire rubber at low temperature. *Waste Manag*, 71:301-310.
- [6] Li Q., Li F., Meng A., Tan Z., Zhang Y. 2018. Thermolysis of scrap tire and rubber in sub/super-critical water. *Waste Manag*, 71:311-319.
- [7] Kyari M., Cunliffe A., Williams P.T. 2005. Characterization of oils, gases, and char in relation to the pyrolysis of different brands of scrap automotive tires. *Energy and Fuels*, 19:1165-1173.
- [8] Lam S.S., Chase H.A. 2012. A review on waste to energy processes using microwave pyrolysis, 5: 4209-4232.

- [9] Sienkiewicz M., Kucinska-Lipka J., Janik H., Balas A. 2012. Progress in used tyres management in the European Union: A review. *Waste Manag*, 32: 1742–1751. Williams P.T. 2013. Pyrolysis of Waste Tyres: A review. *Waste Manag*, 129:109932.
- [10] Williams P.T. 2013. Pyrolysis of waste tyres: A review. *Waste Manag*, 33:1714-1728.
- [11] Xu S., Lai D., Zeng X., Zhang L., Han Z., Cheng J., Wu R., Mašek O., Xu G. 2018. Pyrolysis characteristics of waste tire particles in fixed-bed reactor with internals. *Carbon Resour. Convers*, 1:228-237.
- [12] Gauthier-Maradei P., Tavera Ruiz C.P., Capron M. 2019. Oil and Aromatic Yield Maximization During Pyrolysis of Scrap Tire Rubber. *Waste and Biomass Valorization*, 10: 3723–3733.
- [13] Ayanoğlu A., Yumrutaş R. 2016. Production of gasoline and diesel like fuels from waste tire oil by using catalytic pyrolysis. *Energy*, 103: 456–468.
- [14] Alkhatib R., Loubar K., Awad S., Mounif E., Tazerout M. 2015. Effect of heating power on the scrap tires pyrolysis derived oil. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 116:10-17.
- [15] Islam M.R., Parveen M., Hanu H., Sarker M.R.I. 2010. Innovation in Pyrolysis Technology for Management of Scrap Tire: a Solution of Energy and Environment. *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, 1:89-96.
- [16] Ayanoğlu A., Yumrutaş R. 2016. Rotary kiln and batch pyrolysis of waste tire to produce gasoline and diesel like fuels. *Energy Convers. Manag*, 111: 261–270.
- [17] Wang W.C., Bai C.J., Lin C.T., Prakash S. 2016. Alternative fuel produced from thermal pyrolysis of waste tires and its use in a diesel engine. *Appl. Therm. Eng*, 93: 330–338.
- [18] Pedroso D.T., Kaltschmitt M. 2012. *Dichrostachys cinerea* as a possible energy crop-facts and figures. *Biomass Convers. Biorefinery*, 2: 41–51.
- [19] Martínez J.D., Murillo R., García T., Veses A. 2013. Demonstration of the waste tire pyrolysis process on pilot scale in a continuous auger reactor. *J. Hazard. Mater*, 261: 637–645.
- [20] Quek A., Balasubramanian R. 2013. Liquefaction of waste tires by pyrolysis for oil and chemicals - A review. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 101: 1–16.
- [21] İlkiliç C., Aydın H. 2011. Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine. *Fuel Process. Technol*, 92: 1129–1135.
- [22] Arpa O., Yumrutas R., Demirbas A. 2010. Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Appl. Energy*, 87: 122–127.
- [23] Arpa O., Yumrutaş R., Argunhan Z. 2010. Experimental investigation of the effects of diesel-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission. *Fuel Process. Technol*, 91: 1241–1249.
- [24] Başgel S. 2012. Petrol kökenli yakıtlarda önemli ağır metallerin analizi ve porfirine bağlı vanadyum türünün tayini, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [25] Tyler G. 2012. ICP Optical Emission Spectroscopy Technical Note 05: ICP-OES , ICP-MS and AAS Techniques Compared. 1–11.
- [26] Boryaev A.A. 2020. Development of advanced methods of determining the chemical stability of hydrocarbon fuels. *Thermochim. Acta*, 685: 178508.
- [27] Kandala H. 2009. The Study of Variations in the Properties of Biodiesel on Addition of Antioxidants.
- [28] Topa E.H. 2010. Thermal characterization and kinetics of diesel, methanol route biodiesel, canola oil and diesel-biodiesel blends at different blending rates by TGA and DSC, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [29] Dwivedi G., Sharma M.P. 2016. Experimental investigation on thermal stability of Pongamia Biodiesel by thermogravimetric analysis. *Egypt. J. Pet*, 25:33-38.
- [30] Cabral M.R.P., dos Santos S.A.L., Stropa J.M., da Silva R.C. d. L., Cardoso C.A.L., de Oliveira L.C.S., Scharf D.R., Simionatto E.L., Santiago E.F., Simionatto E. 2016. Chemical composition and thermal properties of methyl and ethyl esters prepared from *Aleurites moluccanus* (L.) Willd (Euphorbiaceae) nut oil. *Ind. Crops Prod*, 85:109-116.
- [31] Zanier A., Jäckle H.W. 1996. Heat capacity measurements of petroleum fuels by modulated DSC. *Thermochim. Acta*, 287: 203–212.
- [32] <https://www.nonachem.com/turkish/hizmetlerimiz/akaryakitlar/dizel-mazot/index.php> (Access date: 02.12.2020).

- [33] Taheri-Shakib J., Rajabi-Kochi M., Kazemzadeh E., Naderi H., Shekarifard A. 2018. A comprehensive study of the impact of wax compositions on the wax appearance temperature (WAT) of some Iranian crude oils: An experimental investigation. *J. Pet. Sci. Eng*, 165: 67–80.
- [34] Coutinho J.A.P., Dauphin C., Daridon J.L. 2000. Measurements and modelling of wax formation in diesel fuels. *Fuel*, 79: 607–616.
- [35] Miller S.J., Shah N., Huffman G.P. 2005. Conversion of waste plastic to lubricating base oil. *Energy and Fuels*, 19:1580-1586.
- [36] Wong S.L., Ngadi N., Abdullah T.A.T., Inuwa I.M. 2015. Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review, 50:1167-1180.
- [37] Kaimal V.K., Vijayabalan P. 2015. A detailed study of combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil and its blends. *Energy Convers. Manag*, 105:951-956
- [38] Lee S., Yoshida K., Yoshikawa K. 2015. Application of Waste Plastic Pyrolysis Oil in a Direct Injection Diesel Engine: For a Small Scale Non-Grid Electrification. *Energy Environ. Res*,5:18-
- [39] Scheirs J.2006. Overview of Commercial Pyrolysis Processes for Waste Plastics. In: *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*
- [40] Veksha A., Giannis A., Chang V.W.C. 2017. Conversion of non-condensable pyrolysis gases from plastics into carbon nanomaterials: Effects of feedstock and temperature. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*,124:16-24.
- [41] Boutekedjiret C., Bentahar F., Belabbes R., Bessiere J.M. 2003. Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. *Flavour Fragr. J.* 18:481-484.
- [42] Guo Z., Wang S., Gu Y., Xu G., Li X., Luo Z. 2010. Separation characteristics of biomass pyrolysis oil in molecular distillation. *Sep. Purif. Technol*,76:52-57.
- [43] De Oliveira F.S., Teixeira L.S.G., Araujo M.C.U., Korn M. 2004. Screening analysis to detect adulterations in Brazilian gasoline samples using distillation curves. *Fuel*, 83:917-924.
- [44] Sanchez-Minero F., Ancheyta J., Silva-Oliver G., Flores-Valle S. 2013. Predicting SARA composition of crude oil by means of NMR. *Fuel*, 110:318-321.
- [45] Banar M., Akyildiz V., Özkan A., Çokaygil Z., Onay Ö. 2012. Characterization of pyrolytic oil obtained from pyrolysis of TDF (Tire Derived Fuel). *Energy Convers. Manag*,62:22-30.
- [46] Takahashi J. 2013. Analysis of Trace Metallic Impurities in Hydrocarbon Fuels by ICP-MS Application note, <https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-3264EN.pdf>. (Access date: 02.12.2020).
- [47] Forest, Ministry of Environment and, Regulation on Control of Waste Oils, Ankara, Turkey (2008).
- [48] Atabani A.E., Mekaoussi M., Uguz G., Arpa O., Ayanoglu A., Shobana S. 2018. Evaluation, characterization, and engine performance of complementary fuel blends of butanol–biodiesel–diesel from *Aleurites moluccanus* as potential alternative fuels for CI engines. *Energy Environ*,0:1-30.
- [49] Gouveia L., Oliveira A., Congestri R., Bruno L., Soares A.T., Menezes R.S., Antoniosi Filho N., Tzovenis I. 2017. Biodiesel from Microalgae. In: *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts: From Feedstock Cultivation to End-Products*, 235–258.
- [50] Bennett, J. 2014. Advanced Fuel Additives for Modern Internal Combustion Engines. *Altern. Fuels Adv. Veh. Technol. Improv. Environ. Perform. Towar. Zero Carbon Transp.*, 165–194
- [51] Chen J., Li T., Han S. 2017. Impact on Diesel Fuel Crystallization of Alkyl-Methacrylate—Maleic-Anhydride—Methacrylamide Terpolymers Used as Cold-Flow Improvers. *Chem. Technol. Fuels Oils.*, 53: 436–443.
- [52] Gonnet C., Morel D., Ramamonjirina E., Serpinet J., Claudy P., Letoffé J.M. 1985. Insertion of Various Long Alkyl Chain Molecules in Brush-Type Grafted Monolayers: Chromatographic Study of the Resulting Materials. *Journal of Chromatography A.*, 330: 227-241.

Araştırma Makalesi / Research Article

Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Alan Yönlendirmeli Kontrolü ve Kontrol İçin Geliştirilen Özel Amaçlı Motor Sürücüsünün Tasarımı ve Prototip Üretimi

Hüseyin Cemre YILMAZ¹, Esra KANDEMİR BEŞER^{2*}

¹*Yılmaz Redüktör San. ve Tic. A.Ş., Atatürk Mh., Lozan Cd., 34522, İstanbul, Türkiye*

²*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-9578-3447) (ORCID: 0000-0002-4305-3415)*

Öz

Son dönemde elektrik makineleri alanında yapılan çalışmalar neticesinde popülerlik kazanan sürekli mıknatıslı senkron motorlar (SMSM), günümüzde endüstriyel uygulamalardan son kullanıcı ürünlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sürekli mıknatıslı senkron motorların uygun kontrolü ile endüstride sıklıkla karşılaşılan birçok uygulama, robotik sistemler, talaşlı imalatın temel yapı taşı haline gelmiş metal işleme tezgâhları vb. uygulamalarda, düşük hacimde yüksek performans elde etmek mümkün hale gelmiştir. Bunun yanı sıra yine endüstride karşılaşılan yüksek dinamizm ve/veya hassas pozisyon kontrolü gerektiren uygulamalarda da sıklıkla sürekli mıknatıslı senkron motorlar tercih edilmektedir. Sürekli mıknatıslı senkron motorların yüksek performanslı kontrolünü sağlamak amacıyla geliştirilen birçok yöntem bulunmakla birlikte, bunlardan en çok öne çıkan iki tanesi Alan Yönlendirmeli Kontrol ve Doğrudan Moment Kontrolü teknikleridir. Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin pozisyon geri besleme elemanı ile birlikte uygulanması durumunda çoğu uygulamada ihtiyaç duyulan yüksek kalkış momenti, düşük devirlerde yüksek hız kararlılığı ve farklı hız referans değerlerine karşı dinamik tepki ihtiyaçlarını karşılayabilmesi bu tekniğin birçok endüstriyel hız kontrol cihazında da tercih edilmesine sebep olmuştur. Bu çalışmada, alan kontrolü yapmak üzere geliştirilen mikro denetleyici tabanlı motor sürücüsü üzerinde alan yönlendirmeli kontrol tekniği uygulanarak, miline artımsal enkoder bağlı bir sürekli mıknatıslı senkron motorun hız kontrolü ve ayrıca dolaylı moment kontrolü sağlanmıştır. Hız kontrolü ve moment kontrolü yapılırken sistemin verilen referans değerlere karşı tepkisi ölçülmüştür. Yapılan ölçümler farklı kontrol parametreleri ile tekrarlanarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alan Yönlendirmeli Kontrol, Motor Sürücüsü, Hız Kontrolü, Moment Kontrolü, PI Kontrol, Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor.

Field Oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Motor and Design and Prototype Production of a Special Purpose Motor Drive

Abstract

Permanent magnet synchronous motors (PMSMs) are getting popularity thanks to too many studies in the electric machinery field, and can be used in many applications from consumer products to industry. It is possible to get high performance in small volumes with using proper permanent magnet synchronous motor control methods, in frequently encountered industry applications like robotic systems, metal processing workbenches which has become most important part of the machining processes. And also, permanent magnet synchronous motors are mostly preferred for such applications which need high dynamism and/or high precision position control in industry. Although there are many different techniques to control permanent magnet synchronous motors with high performance, in the literature Field Oriented Control and Direct Torque Control stand out. Field oriented control with position feedback sensor is able to provide high start-up torque, higher speed control accuracy at low speeds and dynamic response against to different speed set values, which are needed for most of applications, thus it is widely preferred in industrial variable speed drives. On a newly developed microcontroller based motor drive, field oriented control technique is applied to a permanent magnet synchronous motor equipped with an incremental encoder to control motor speed and torque. The response of motor against to different set points is measured while working in speed control and torque control modes. Measurements are repeated with different control parameters and the results are compared with each other.

Keywords: Field Oriented Control, Motor Drive, Speed Control, Torque Control, PI Control, Permanent Magnet Synchronous Motors.

* Sorumlu yazar: esrakandemir@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.12.2020, Kabul Tarihi: 06.08.2021

1. Giriş

Türkiye sanayisinde toplam elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %70'inin, başka bir açıdan bakılacak olursa ülke genelinde üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %36'sının elektrik motorları sistemlerinde kullanıldığı bilinmektedir [1]. Bunun yanında Türkiye sanayisinde kullanılan motorların büyük çoğunluğunun "IE1 Standart Verimlilik" ve altı verimlilik sınıfına sahip olduğu bilinmektedir [1]. Üç fazlı asenkron motorlar ile kıyaslandığında verimlilik ve hacim/güç oranı bakımından daha avantajlı olan sürekli mıknatıslı senkron motorlar (SMSM) gün geçtikçe daha fazla kullanım oranına sahip olmaktadır. SMSM'lerin bazı endüstriyel uygulamalarda özellikle tercih edilmelerinin bir sebebi de yüksek dinamizm gerektiren uygulamalarda aynı güçteki üç fazlı asenkron motorlara kıyasla daha az hacimde aynı momenti üretebilmesi ve boyutlarından ötürü daha düşük ataletle sahip olmasıdır. Ancak SMSM'ler, üç fazlı asenkron motorlarda olduğu gibi elektrik şebekesinden doğrudan yol verme metodu ile kullanılamazlar. Bu nedenle SMSM'lerin uygun biçimde çalıştırılabilmesi için özel kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Endüstriyel ürünlerde kullanım oranı göz önünde bulundurulduğunda, en popüler SMSM kontrol yöntemleri arasında Alan Yönlendirmeli Kontrol (AYK) ve Doğrudan Moment Kontrolü (DMK) sayılabilir [2,3].

Günümüzde alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin endüstriyel alanda kullanılmak üzere tasarlanan yeni ürünlerde dahi tercih ediliyor olması, bu teorinin sahada uygulanabilir ve aynı zamanda geliştirmeye açık olduğunu göstermektedir. Alan yönlendirmeli kontrol konusunda literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır [4-10]. Bu çalışmalarda genellikle DSP mikrodeneleyici tabanlı motor sürücülerini kullanılmaktadır [4, 11-14]. Son yıllarda ise alan yönlendirmeli kontrol çalışmalarında STM mikrodeneleyici tabanlı sürücülerin de ön plana çıktığı görülmektedir [15-17]. STM mikrodeneleyiciler, düşük maliyetli, düşük güç tüketimli, yüksek işlem kapasiteli olmaları ve hızlı cevap verme yetenekleri sayesinde motor sürücülerinde kullanılan pahalı işlemcilerle bir alternatif teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, alan yönlendirmeli kontrol yöntemi temel alınarak endüstriyel bir SMSM'nin hız/pozisyon geri beslemeli kapalı çevrim kontrolünü sağlamak hedeflenmiştir. Bu amaçla STM mikrodeneleyici tabanlı kontrol ünitesine sahip, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) teknolojisi kullanan özel amaçlı üç fazlı bir motor sürücüsü tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sürücü STM tabanlı olduğundan literatürdeki pahalı motor sürücülerine göre düşük maliyetli fakat alan yönlendirmeli kontrol işlemini başarıyla uygulayabilen bir alternatif olarak ortaya konmuştur. SMSM ve motor sürücüsü birlikte kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmış ve sonuçlara yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Alan yönlendirmeli kontrol metodunu gerçek bir SMSM üzerinde uygulamaya geçirebilmek ve makinanın kapalı çevrim kontrolünü gerçekleştirebilmek için ilk olarak SMSM'nin matematiksel modelinin anlaşılması gerekmektedir. Motorun matematiksel modeli kullanılan matematiksel dönüşümler sayesinde d ve q eksenli akım bileşenleri cinsinden iki fazlı rotor referans düzleminde ifade edilebilir. Alan yönlendirmeli kontrol tekniği kullanılarak çeşitli kontrolör yapıları vasıtasıyla motorun üreteceği moment veya motorun hızı kontrol edilebilmektedir. Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin gerçekleşmesinde tercih edilen modülasyon tekniği, uzay vektör modülasyonu tekniğidir. Bu teknik, motor sürücüsünün evirici devresi için kullanılmaktadır. Motor sürücü devresindeki donanım ve yazılım ile SMSM'nin alan yönlendirmeli kontrolü gerçekleştirilerek deneysel çalışmalar yapılmakta ve SMSM tasarlanan bir deney seti üzerinde test edilebilmektedir.

Bu kısımda ilk olarak SMSM'ler ile ilgili genel bilgiler verilerek makinanın matematiksel modeli oluşturulmuştur. Alan yönlendirmeli kontrol metodu anlatılarak, tasarlanan sürücü detaylı olarak ele alınmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan SMSM, motor sürücüsü prototipi ve deney seti hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar

Geçmişten günümüze elektrik makineleri alanında yapılan çalışmalar sonucunda endüstrinin kullanımına sunulmuş birçok elektrik makinesi türü mevcuttur. Mıknatıs teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile rotorunda mıknatıs malzemesinin bulunduğu SMSM'ler yüksek performans gerektiren

birçok uygulama için tercih edilmektedir. Bu makinaların yapılarında fırça ve kollektör yapısının bulunmaması, hacim başına üretilen momentin fazla olması, asenkron motorlara göre verimlerinin yüksek olması gibi birçok avantajı bulunmaktadır. SMSM'ler alternatif akım motorlarından, senkron motorlar ailesi içerisinde yer almaktadır.

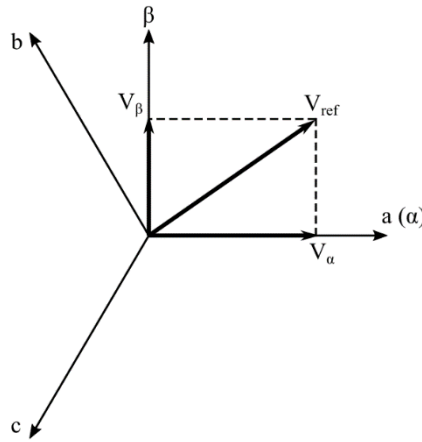
2.1.1. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Matematiksel Modeli

Sürekli mıknatıslı senkron motorların yüksek performanslı sayısal kontrolünü ve benzetim çalışmalarını gerçekleştirebilmek için motor matematiksel modelinin anlaşılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin gerçekleştirilebilmesi için, bu çalışmada üç fazlı sürekli mıknatıslı senkron motorun modeli rotor referans düzlemi temel alınarak oluşturulmuştur.

İki fazlı rotor referans düzleminde motorun matematiksel modelinin oluşturulabilmesi için bir takım matematiksel dönüşümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu dönüşümler Park dönüşümü, ters Park dönüşümü, Clarke dönüşümü ve ters Clarke dönüşümü olarak isimlendirilmektedirler.

2.1.1.1. Clarke Dönüşümü

Clarke dönüşümü, Şekil 1'de görüldüğü gibi üç fazlı bir sistemin, iki fazlı ortogonal düzlemde (stator referans düzleminde) ifade edilebilmesi için geliştirilen matematiksel bir dönüşümdür. Clarke dönüşümü, ayrıca $\alpha\beta 0$ (Alpha-Beta-Zero) dönüşümü olarak da bilinmektedir [18].



Şekil 1. Üç fazlı bir sistemin bileşke vektörünün $\alpha\beta 0$ düzleminde gösterimi

Clarke dönüşümünün genelleştirilmiş matematiksel ifadesi Denklem (1)'de gösterilmektedir [18].

$$v_{\alpha\beta 0}(t) = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a(t) \\ v_b(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.1.1.2. Ters Clarke Dönüşümü

Ters Clarke dönüşümü, iki fazlı ortogonal düzlemde (stator referans düzleminde) ifade edilen bir uzay vektörünün üç fazlı bir sistemde ifade edilebilmesi için geliştirilen matematiksel bir dönüşümdür. Ters Clarke dönüşümünün genelleştirilmiş matematiksel ifadesi Denklem (2)'de gösterilmektedir [18].

$$v_{abc}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{\alpha}(t) \\ v_{\beta}(t) \\ v_0(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.1.1.3. Park Dönüşümü

Park dönüşümü, iki fazlı ortogonal düzlemde ifade edilen bir vektörün, sabit düzlemde (rotor referans düzleminde) ifade edilebilmesi için geliştirilen matematiksel bir dönüşümdür. Park dönüşümünün genelleştirilmiş matematiksel ifadesi Denklem (3)'te gösterilmektedir [18].

$$v_{dq0}(t) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{\alpha}(t) \\ v_{\beta}(t) \\ v_0(t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

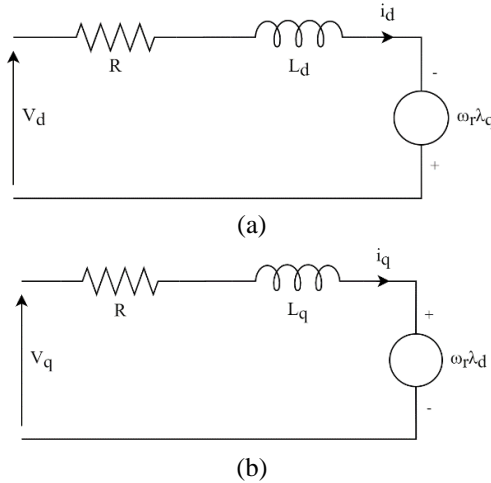
2.1.1.4. Ters Park Dönüşümü

Ters Park dönüşümü, sabit düzlemde (rotor referans düzleminde) ifade edilen bir vektörün, iki fazlı ortogonal düzlemde (stator referans düzleminde) ifade edilebilmesi için geliştirilen matematiksel bir dönüşümdür. Ters Park dönüşümünün genelleştirilmiş matematiksel ifadesi Denklem (4)'te gösterilmektedir [18].

$$v_{\alpha\beta 0}(t) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d(t) \\ v_q(t) \\ v_0(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.1.1.5. Motor Matematiksel Modeli

Sabit düzlemde (rotor referans düzleminde) motor matematiksel modelinin elde edilebilmesi için, motorun sabit düzlem d (direct) ve q (quadrature) eksenlerinde tanımlanan eşdeğer devre modellerinden yararlanılabilmektedir. Sabit düzlem d ve q eşdeğer devreleri sırasıyla Şekil 2'de gösterilmektedir [19].



Şekil 2. SSM (a) d eksenli eşdeğer devresi (b) q eksenli eşdeğer devresi

Şekil 2'de verilen d ve q eksenli eşdeğer devreleri temel alınarak ilgili çevre gerilim eşitlikleri Denklem (5) ve Denklem (6)'daki gibi bulunabilmektedir [19].

$$v_d(t) = R \cdot i_d(t) + L_d \cdot \frac{di_d}{dt} - \omega_r \cdot \lambda_q \quad (5)$$

$$v_q(t) = R \cdot i_q(t) + L_q \cdot \frac{di_q}{dt} + \omega_r \cdot \lambda_d \quad (6)$$

Gerilim denklemlerinde V_d ve V_q , d ve q eksenini stator gerilimleri, i_d ve i_q , d ve q eksenini stator akımları, L_d , L_q ve λ_d , λ_q ise sırasıyla d ve q eksenini stator endüktansları ve akılarıdır. R stator direncini, ω_r ise rotor elektriksel hızını belirtir. Ayrıca d ve q eksenini akıları Denklem (7) ve Denklem (8)'deki gibi tanımlanabilmektedir [19].

$$\lambda_d = L_d \cdot i_d + \lambda_m \quad (7)$$

$$\lambda_q = L_q \cdot i_q \quad (8)$$

d eksenini akı denklemindeki λ_m makinadaki mıknatıs akısıdır. Bunun yanında üretilen elektromanyetik momentin ifadesi (T_e) ise Denklem (9)'daki gibi tanımlanabilmektedir [3].

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot p \cdot [(\lambda_m \cdot i_q) + (L_d - L_q) \cdot (i_d \cdot i_q)] \quad (9)$$

Elektromanyetik moment denklemindeki p çift kutup sayısıdır. Ayrıca sabit akılı çalışma durumunda, i_d akımının sıfır olduğu durumda üretilen elektromanyetik momentin ifadesi Denklem (10)'daki gibi olacaktır [3]. Buna ek olarak, yüzey montaj sürekli mıknatıslı senkron motorlarda d ve q eksenini endüktanslarının birbirine eşit olması nedeniyle rotor üzerinde relüktans momenti de oluşmamaktadır.

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\lambda_m \cdot i_q) \quad (10)$$

Makina matematiksel modeli a,b,c faz sisteminden gerekli matematiksel dönüşümler kullanılarak d,q sistemine dönüştürüldüğü için model oldukça basitleşmekte ve serbest uyarmalı doğru akım motor modeline benzemektedir. Denklem (10)'dan da görüldüğü gibi motorda üretilen elektromanyetik moment i_q akımına bağlıdır.

Motorun mekanik denklemi ise Denklem (11)'deki gibi tanımlanabilmektedir [19].

$$T_e = T_L + B \cdot \omega_m + J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (11)$$

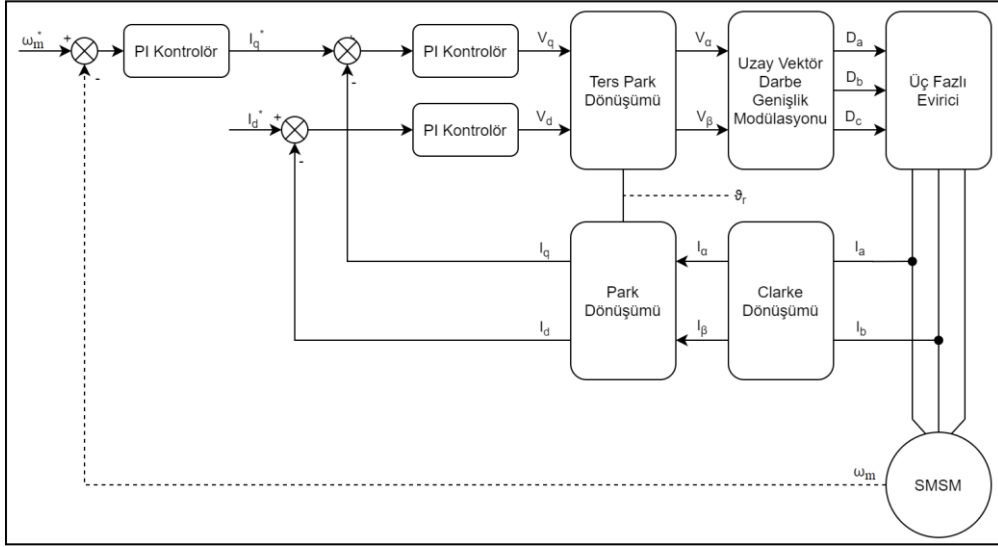
Mekanik denklemdeki T_L yük momenti, B sürtünme katsayısı, j rotor atalet momenti, $\omega_m = \omega_r/p$ ise rotor mekanik hızıdır.

2.2. Alan Yönlendirmeli Kontrol Metodu

Hareket kontrolüne ihtiyaç duyulan uygulamaların büyük çoğunluğunda elektrik motorlarından faydalanılmaktadır. Özellikle yüksek performanslı hareket kontrolü gerektiren uygulamalarda ise SMSM'ler sıklıkla tercih edilmektedir. SMSM'lerin yüksek performanslı kontrolünün sağlanabilmesi için geliştirilen kontrol tekniklerinden en popüler olanı ise alan yönlendirmeli kontroldür. Şekil 3'te alan yönlendirmeli kontrole ait prensip şeması görülmektedir [6].

Alan yönlendirmeli kontrol tekniği kullanılarak çeşitli kontrolör yapıları vasıtasıyla motorun üreteceği moment veya motorun hızı kontrol edebilir ya da sınırlandırabilir. Şekil 3'te gösterilen prensip şeması incelendiğinde, motora uygulanan gerilimin q ve d eksenini bileşenleri PI kontrolör yapıları ile değiştirilerek, motorun q ve d eksenini akımlarının kontrol edilmesinin amaçlandığı görülebilmektedir. Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinde q eksenini akımı motor tarafından üretilen moment, d eksenini akımı ise stator tarafından üretilen manyetik akıyı belirlemektedir. Bu durumda q eksenini akımını kontrol eden PI kontrolör yapısının dolaylı olarak motorun üreteceği momentini kontrol ettiği anlaşılmaktadır. Alan yönlendirmeli kontrol tekniği kullanılan bir sistemde moment kontrolü yapılmak

istendiği durumda, q eksenini akımı ayar değerinin kontrolü kullanıcıya bırakılarak, bazı özel uygulamaların gerçekleştirilebilmesi mümkün kılınmaktadır.

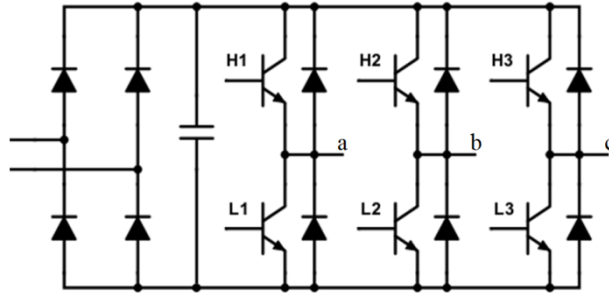


Şekil 3. Alan yönlendirmeli kontrol prensip şeması

Alan yönlendirmeli kontrolün motora uygulamak üzere ihtiyaç duyduğu değişken genlikli ve frekanslı gerilim sinyallerinin üretilebilmesi için kullanılacak olan eviricinin kontrolünde birçok farklı modülasyon tekniği kullanılabilir. Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin gerçekleştirilmesinde tercih edilen modülasyon tekniği, uzay vektör modülasyonu tekniğidir.

2.2.1. Uzay Vektör Modülasyonu

Uzay vektör modülasyonu, Şekil 4’te verilen evirici topolojisinde görülen üç faz yarım köprü anahtarlama elemanlarının iletimde veya kesimde olması durumlarına göre üretilebilecek sekiz adet gerilim vektörünün kullanılması ile evirici çıkışında istenen gerilim vektörünün elde edilmesine dayanan bir modülasyon tekniğidir [20].

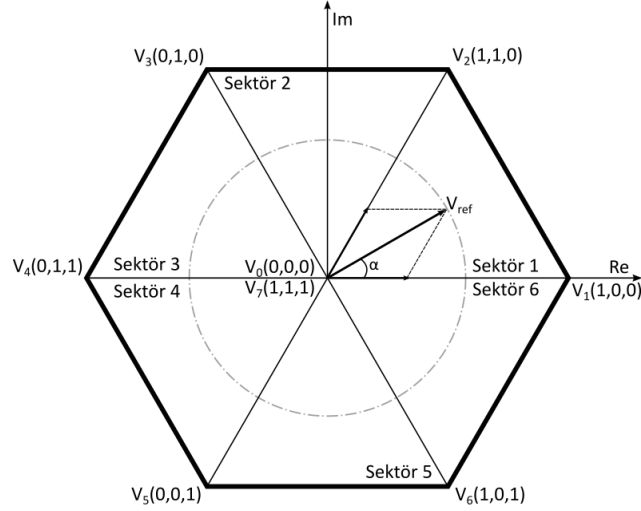


Şekil 4. 3 fazlı evirici topolojisi

2.2.1.1. Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu

Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu, darbe genişlik modülasyonu sinyallerinin doluluk-boşluk oranlarının belirlenmesinde uzay vektörlerinin uzunluklarının ve yönelim açılarının kullanılarak anahtarlama sinyallerinin üretilebilmesine olanak sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir tekniktir.

UVDGM çıkışı, üç fazlı evirici üzerindeki anahtarlama elemanlarına uygulandığında sekiz temel gerilim vektörü oluşmaktadır. Bu temel gerilim vektörleri Şekil 5’te gösterilmektedir [21].



Şekil 5. Uzay vektör modülasyonu temel gerilim vektörleri

Şekilde görülen üç fazlı evirici prensip şemasında bulunan anahtarlama elemanlarının durumlarına göre, evirici çıkışında elde edilebilecek gerilim vektörlerinin ifade edilebileceği eşitlik Denklem (12)'deki gibi tanımlanabilmektedir [22].

$$V_{ref}(H_1, H_2, H_3) = V_{da}(H_1 \cdot e^{j0} + H_2 \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} + H_3 \cdot e^{j\frac{4\pi}{3}}) \quad (12)$$

2.2.1.2. Anahtarlama Sürelerinin Hesaplanması

Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu tekniği kullanılarak ilgili referans vektörün üretilebilmesi için, referans vektörün bulunduğu sektörün belirlenmesinin ardından sektörü oluşturan temel gerilim vektörlerinin referans vektör üzerindeki ağırlıklarının hesaplanması gerekmektedir. Sektörü oluşturan iki temel gerilim vektörünün ve sıfır gerilim vektörlerinin referans vektör üzerindeki ağırlıkları hesaplanarak çıkışa ne kadar süre boyunca uygulanmaları gerektiği tespit edildikten sonra hesaplanan darbe genişlik modülasyonu doluluk oranları kullanılarak evirici çıkışında istenen referans gerilim vektörü elde edilebilecektir. Herhangi bir sektördeki referans gerilim vektörünün üretilebilmesi için gerekli anahtarlama sürelerinin hesaplanmasında kullanılacak eşitlikler Tablo 1'de, ilgili referans gerilim vektörünün üretilebilmesi için gerekli doluluk oranları eşitlikleri Tablo 2'de verilmiştir [22].

Tablo 1. Anahtarlama sürelerinin hesaplanması

Sektör	t_a	t_b
1	$\frac{V_\alpha}{V_{da}} - \frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}$
2	$\frac{V_\alpha + V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{V_\alpha}{V_{da}}$
3	$\frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}$	$-\frac{V_\alpha}{V_{da}} - \frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$
4	$-\frac{V_\alpha}{V_{da}} + \frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$-\frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}$
5	$-\frac{V_\alpha}{V_{da}} - \frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$-\frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{V_\alpha}{V_{da}}$
6	$-\frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}$	$\frac{V_\alpha}{V_{da}} + \frac{V_\beta}{V_{da}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$

Tablo 2. Faz doluluk oranlarının hesaplanması

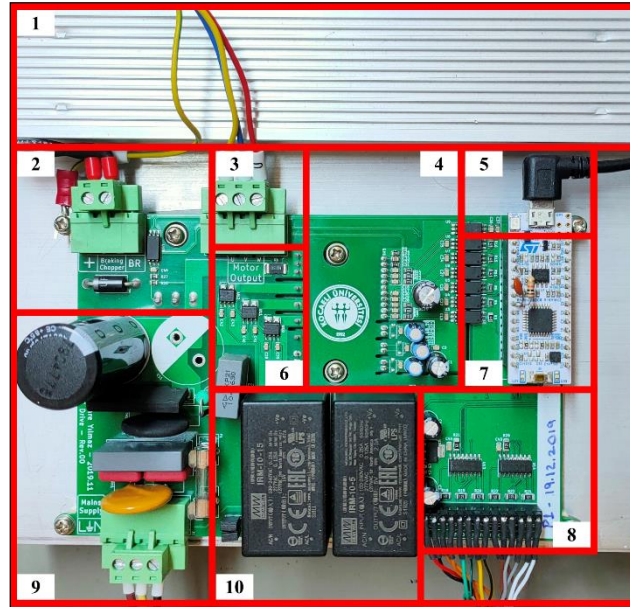
Sektör	D_a	D_b	D_c
1	$t_0/2 + t_a + t_b$	$t_0/2 + t_b$	$t_0/2$
2	$t_0/2 + t_a$	$t_0/2 + t_a + t_b$	$t_0/2$
3	$t_0/2$	$t_0/2 + t_a + t_b$	$t_0/2 + t_b$
4	$t_0/2$	$t_0/2 + t_a$	$t_0/2 + t_a + t_b$
5	$t_0/2 + t_b$	$t_0/2$	$t_0/2 + t_a + t_b$
6	$t_0/2 + t_a + t_b$	$t_0/2$	$t_0/2 + t_a$

2.3. Tasarlanan Motor Sürücü Devresi

Alan yönlendirmeli kontrolün gerçekleştirilebilmesi için SMSM'nin her bir fazına uygulanan gerilim/akım sinyalinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bir SMSM sürücüsü tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen sürücü tasarımının karşılayabilmesi gereken teknik özellikler; sistemin çalışmalar esnasında yaşanabilecek olumsuzluklara karşı kolay onarılabilir olması, harici bir yardımcı besleme kaynağına ihtiyaç duymaksızın yalnızca şebeke gerilimi ile çalışabilir olması, motorun tam yük akımlarına uygun çıkış akım kapasitelerine sahip olması, motorun aşırı yüklenme durumlarında çekebileceği muhtemel akımlara karşı belirli süreler boyunca dayanabilecek olması şeklinde sıralanabilir [22]. Ayrıca sürücünün kolay üretilebilir olması açısından yerel piyasada rahatlıkla bulunabilecek malzemeler tercih edilerek tasarlanmıştır olması da önemli bir husus olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Tasarlanan ve gerçekleştirilen motor sürücüsü giriş katı (doğrultucu kısmı), çıkış katı (evirici), dinamik frenleme kısıyıcısı, akım geri besleme katı, pozisyon geri besleme katı ve mikrodenetleyici kontrol katı kısımlarından oluşmaktadır. Şekil 6'da özel amaçlı motor sürücü prototipinin temel kısımları görülmektedir.



Şekil 6. Tasarlanan özel amaçlı motor sürücüsü prototipinin temel kısımlarının görünümü

- (1) Dinamik frenleme direnci, (2) Dinamik frenleme kısıyıcısı, yardımcı ekipmanları ve direnç bağlantı noktası, (3) Evirici çıkışı, motor bağlantı noktası, (4) Evirici güç modülü ve yardımcı devre elemanları, (5) Bilgisayar veri aktarımı ve hata ayıklama bağlantı noktası, (6) Akım geri besleme katı, (7) Mikrodenetleyici kontrol katı, (8) Pozisyon geri besleme katı, enkoder ve alan etkili sensör bağlantı noktası, (9) Giriş katı ve şebeke bağlantı noktası, (10) Yardımcı besleme anahtarlamalı güç kaynakları

2.3.1. Giriş (Doğrultucu Kısmı) Katı

Eviricinin giriş katı, tek fazlı şebeke gerilimi ile çalışmaya uygun olarak tasarlanmıştır. Alternatif akım türündeki şebeke geriliminin doğru akıma dönüştürülebilmesi için girişte 35A sürekli akım altında, 1000V gerilim seviyesinde çalışmaya uygun tam köprü diyot elemanı kullanılmıştır. Köprü diyot çıkışında üretilecek doğru akım sinyalinin düşük dalgalılık oranına sahip olacak şekilde filtrelenebilmesi için yüksek kapasite değerine sahip 400V gerilim altında çalışmaya uygun 150uF değerinde iki adet paralel bağlı elektrolitik kapasitör kullanılmıştır.

2.3.2. Çıkış (Evirici Kısmı) Katı

Eviricinin çıkış katı, üç fazlı motorlarla çalışmaya uygun olarak tasarlanmıştır. Eviricinin çıkış katında tasarım karmaşasının önüne geçmek adına tek kılıfta hem anahtarlama elemanlarını hem de anahtarlama elemanı sürücülerini barındıran güç modülü kullanılmıştır. Kullanılan ürün 450V DA gerilim seviyesinde çalışmaya uygun 600V DA gerilim seviyesine dayanıklı anahtarlama elemanları bulunduran, 20A çıkış akımı kapasitesine sahip, dâhili anahtarlama elemanı sürücülerini ve gelişmiş koruma fonksiyonları barındıran Fairchild Semiconductor firmasının ürettiği FNC42060F2 model isimli bir güç modülüdür.

Evirici çıkış katında kullanılan güç modülü ile merkezi kontrol ünitesi arasındaki sinyaller yüksek hızlı optik izolasyon elemanları ile galvanik olarak izole edilmiştir. Bahsi geçen optik izolasyon elemanları ile izole edilen sinyaller, anahtarlama elemanlarının iletme veya kesime geçmesini sağlayan darbe genişlik modülasyonu sinyalleri ve güç modülünün sağladığı hata bilgisi sinyalidir.

Bunun yanında çıkış katında oluşabilecek aşırı akım çekilmesi veya kısa devre durumlarında koruma sağlanması adına güç modülünün aşırı akım hata girişi de aktif olarak kullanılmıştır.

2.3.3. Dinamik Frenleme Kıyıcısı Tasarımı

Evirici tasarımında göz önünde bulundurulması gereken bir diğer kısım ise, sistemin ani yavaşlama ya da yerçekimine karşı çalışma durumlarında generatör olarak çalışması esnasında ortaya çıkacak olan enerjinin güç katına zarar vermeden sistemden uzaklaştırılabilmesi gerekliliğidir. Bu durumda sistemin DA bara gerilimi yükselecek ve eğer üretilen enerji gereğinden fazla ise yükselen gerilim seviyesi nedeni ile devre elemanları hasar görecektir. Bunun önüne geçilebilmesi için sistemin DA barasına paralel bağlı bir kıyıcı devresi eklenmelidir. Bu kıyıcı devresi gerektiğinde harici bir frenleme direncini devreye alarak DA bara kapasitörlerini deşarj edecek şekilde çalıştıracaktır. Bu sayede sistemin generatör olarak çalışması esnasında üretilen elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülerek sistemden uzaklaştırılmasını sağlayacaktır.

2.3.4. Akım Geri Besleme Katı Tasarımı

Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin gerçekleştirilebilmesi için motor faz akımları bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle tasarım karmaşasını azaltan ve yapısı gereği güç devresi ile kontrol devresi arasında izolasyon sağlayan alan etkili akım ölçümü elemanları kullanılmıştır. Motor üç fazlı dengeli bir yük olduğundan, yalnızca iki faz akımının ölçülmesi yeterlidir. Kullanılan akım ölçümü elemanları $\pm 5A$ ölçüm kapasitesine sahiptirler.

2.3.5. Pozisyon Geri Besleme Katı Tasarımı

Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin gerçekleştirilebilmesi için rotor pozisyonu ve rotor hızı bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan SMSM'de Tamagawa Seiki firmasının 2500PPR çözünürlüğündeki 5V DA gerilim ile çalışmaya uygun diferansiyel çıkışlı artımsal enkoder ve alan etkili geri besleme elemanı çıkışları bulunduran pozisyon geri besleme elemanı kullanılmıştır. Bu tip geri besleme elemanları, genellikle evirici çıkışı gibi yüksek frekanslı anahtarlama devreleri ile birlikte kullanıldığından, elektromanyetik gürültü kaynaklarından daha az etkilenmeleri ve ürettikleri sinyallerin bozunuma uğramaması için diferansiyel tipte çıkış verecek şekilde tasarlanmaktadır. Ancak diferansiyel

sinyaller merkezi kontrol ünitesine doğrudan uygulanamayacağından, bu sinyallerin kontrol ünitesine uygun hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle pozisyon geri besleme katı tasarımında diferansiyel sinyalleri tekil sinyallere dönüştürebilen bir entegre devre elemanı kullanılmıştır.

Kullanılan entegre devre elemanı, 32MHz frekansını aşmayan diferansiyel sinyalleri tekil sinyallere dönüştürebilmektedir.

2.3.6. Mikrodenetleyici Kontrol Katı Tasarımı

Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin uygulanabilmesi için ihtiyaç duyulan matematiksel işlem gücünü ve gerekli sinyal işleme yeteneklerini karşılamak üzere ST firmasının ürettiği ARM firmasına ait 32-bit Cortex-M4 mimarisine sahip STM32F303K8T6 mikrodenetleyici kullanılmıştır.

Temel olarak 6 farklı kısımdan oluşan motor sürücüsü, SMSM'nin alan yönlendirmeli kontrolünü yapmak üzere çalışmada kullanılan deneysel SMSM'ye uygun şekilde özel amaçlı olarak tasarlanmıştır.

2.4. Deneysel Çalışmalar

Alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin deneysel olarak gerçekleştirilmesi için var olan bir SMSM için özel amaçlı bir motor sürücüsü ve yazılımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te verilen alan yönlendirmeli kontrol tekniği prensip şemasına uygun olarak hız ve akım geri besleme sinyalleri ve referans değerler ile mikrodenetleyici kontrol katında gerekli algoritmalar oluşturulmuştur. Bu amaçla uygun faz gerilimlerini üretmek üzere motor sürücüsündeki evirici devresi UVDGM tekniği ile sürülerek deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.4.1. Deneysel SMSM

Deneysel çalışmalarda kullanılan SMSM, rotor mıknatısları yerleşimi bakımından yüzey montajlı tipte üç fazlı bir alternatif akım motorudur. Kullanılan SMSM'nin teknik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan SMSM'nin teknik özellikleri

Nominal Güç	750W
Nominal Gerilim	220V
Nominal Akım	3A
Nominal Frekans	200 Hz
Nominal Hız	3000 devir/dakika
Nominal Moment	2.39N.m
Anlık Moment	7.1N.m
Anlık Akım	9A
Moment Katsayısı	0.8N.m/A
Rotor Ataleti	0.000182kg.m ²
Rotor Kutup Sayısı	8
Rotor Mıknatıs Tipi	NdFeB
Stator Oluk Sayısı	18
Stator Sargı Direnci	2.88Ω
Stator Sargı Endüktansı	6.4mH
Elektriksel Zaman Sabiti	2.22ms
Ağırlık	2.9kg

2.4.2. Motor Sürücüsü Prototipi

Motor sürücüsü prototipi gerekli donanım ve yazılım özellikleri ile Bölüm 2.3'te anlatıldığı kısımları içerecek şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir. Sürücü prototipinin fotoğrafı Şekil 7'de görülmektedir.

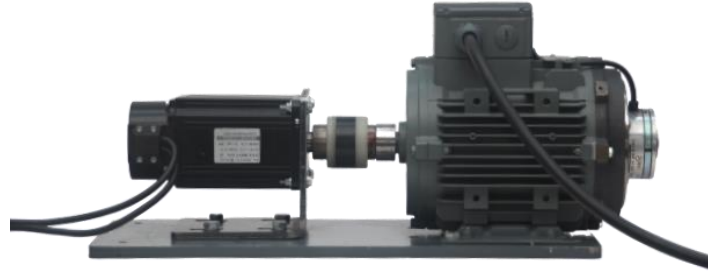


Şekil 7. Tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen özel amaçlı sürücü prototipinin genel görünüşü

2.4.3. Deney Seti

Motorun testlerini yapabilmek amacıyla bir deney düzeneği oluşturularak farklı koşullar için deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Geliştirilen deney düzeneğinde kontrolü gerçekleştirilecek olan SMSM'nin rotor miline karşıt makina olarak bir sincap kafesli asenkron makina (SKAM) bağlanmıştır. Deney setinin görünüşü Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. SMSM (solda) ve SKAM (sağda) kullanılarak geliştirilen deney düzeneği

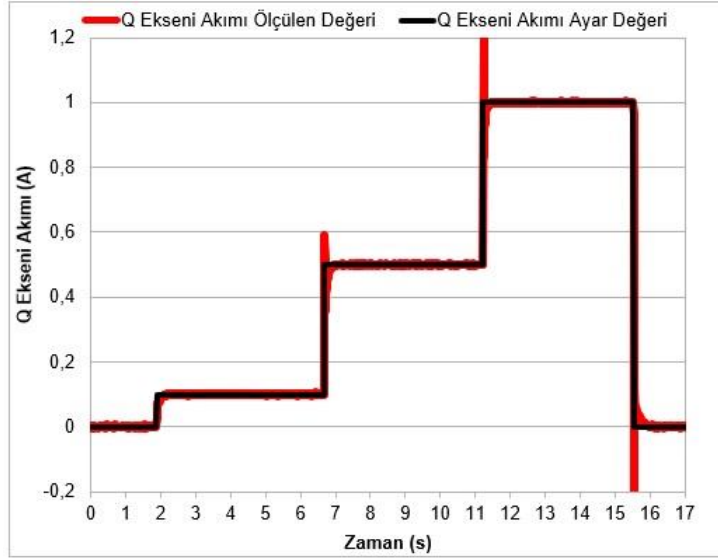
Mile doğrudan bağlı bulunan SKAM, dinamik çalışma esnasında ihtiyaç duyulacak olan yük koşullarının oluşturulabilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca buna ek olarak SKAM'nin rotor miline bağlı bulunan manyetik mekanik fren, statik çalışma esnasında ihtiyaç duyulacak olan yük koşullarını oluşturabilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Deney düzeneğinde bulunan SKAM, endüstriyel bir hız kontrol ünitesi ile birlikte generatör durumunda çalıştırılarak dinamik bir yük olarak kullanılmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Deneysel çalışmalar temel olarak belirli yük koşulları altında SMSM'nin alan yönlendirmeli kontrolünün gerçekleştirilmesi üzerine kurgulanmıştır. Deneysel çalışmalarda SMSM'nin boşa, mekanik olarak kilitli rotor durumunda ve farklı yüklenme oranlarında alan yönlendirmeli kontrol tekniği uygulanarak hız ve/veya i_q akımını kontrol ederek moment kontrolünün gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda belirli yük koşullarında elde edilen veriler zamana bağlı grafikler ve osiloskop görüntüleri kullanılarak görselleştirilmiştir.

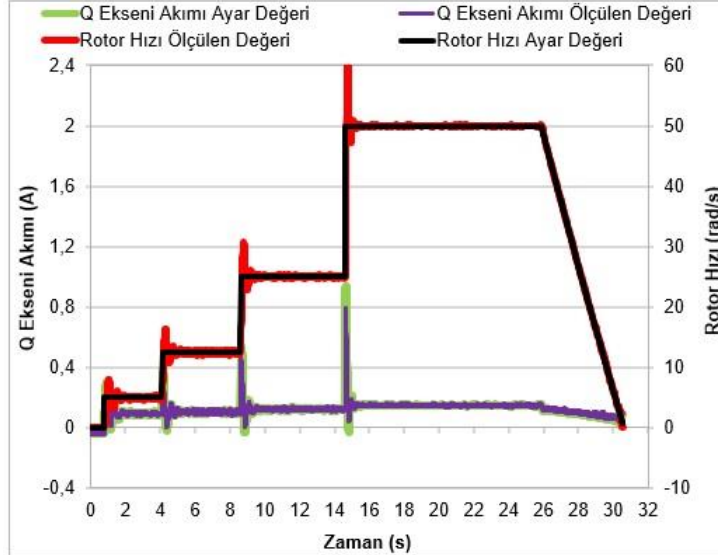
SMSM rotor mili manyetik mekanik fren vasıtası ile kilitli iken, verilen q eksenini referans değerlerine karşı elde edilen deney sonuçları Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Kilitli rotor durumunda q eksenli akımının referans değerlerinin 0,1A, 0,5A ve 1,0A yapılmasına karşılık sistemin davranışı

Şekil 9 incelendiğinde sistemin akım kontrol döngülerinin verilen referans ayar değerlerine kısa zamanda tepki verdiği ve akım değerinin verilen referans değere oturduğu görülmektedir. Böylelikle moment üreten i_q akımı kapalı çevrim olarak kontrol edilerek makinanın momenti de dolaylı olarak kontrol edilebilecektir.

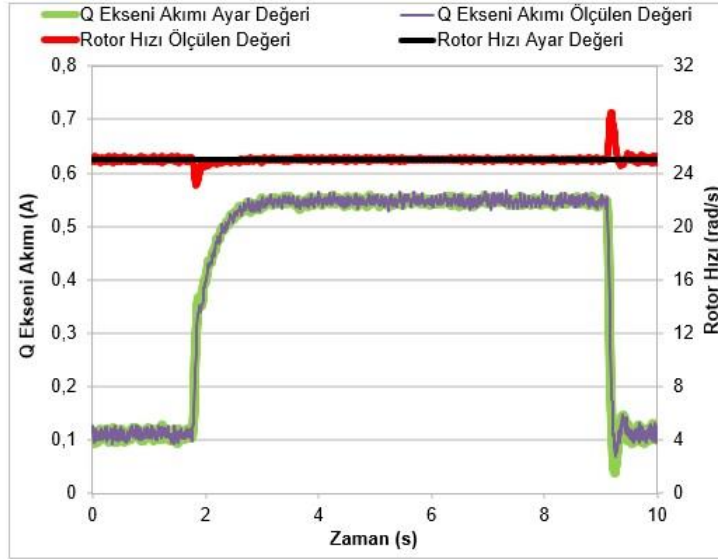
SMSM rotor mili boşta iken sisteme verilen hız kontrolü ayar değerine karşı elde edilen deney sonuçları Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. SMSM boşta iken hız kontrolü referans değerlerinin 5rad/s, 12,5rad/s, 25rad/s ve 50rad/s ayar değerlerine karşı sistemin davranışı

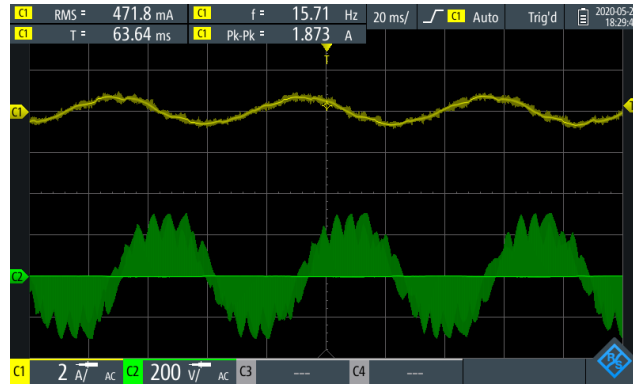
Şekil 10' dan görüldüğü gibi SMSM boşta çalışırken verilen hız referansı değerlerine hızlı bir şekilde tepki vererek motor hızı istene değere oturmaktadır.

SMSM rotor mili değişken hız kontrollü SKAM'ye bağlı iken ve belirli bir yük değeri için sisteme verilen 25rad/s hız referansına karşı elde edilen deney sonuçları Şekil 11 ve Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 11. Hız kontrolü 25rad/s ayar değerine ve yaklaşık 0,5A q eksenı akımına eş değer dinamik yüklenmeye karşı sistemin tepkisi

Şekil 11'de verilen hız referansı 25rad/s değerindedir. SMSM yüklendiğinde ve yük tekrar kaldırıldığı durumda hız yine verilen referans değeri korumaktadır.



Şekil 12. Hız kontrolü 25rad/s ayar değerine ve yaklaşık 0,5A q eksenı akımına eş değer dinamik yüklenmeye karşı motor bir faz akımını ve evirici çıkış fazları arası gerilim dalga şekilleri

Şekil 12'de 25rad/s hız referansı ve yaklaşık 0,5A q eksenı akımına eş değer bir dinamik yüklenme sonucu motor bir faz akımının ve faz arası gerilimin osiloskop görüntüsüne yer verilmiştir. Bu yüklenme durumunda, verilen hız referansına ulaşabilmek amacıyla alan yönlendirmeli kontrol tekniğinde kullanılan uzay vektör modülasyonu sonucu fazlar arası gerilimde yüksek frekanslı anahtarlama yapıldığı görülmektedir. Faz akımı ise sinüsoidaldir.

Deneyisel sonuçlar, tasarlanan STM mikrodenetleyici tabanlı motor sürücüsü ile SMSM'nin alan yönlendirmeli kontrolünün başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermiştir. Sistemin akım ve hız referanslarına oldukça dinamik cevaplar verdiği görülmektedir. Ayrıca literatürdeki DSP mikrodenetleyici tabanlı benzer sürücülere göre daha az maliyetli olması bu sürücünün avantajlarından biridir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin pozisyon geri beslemeli uygulamasının geliştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan özel amaçlı evirici tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ilgili deneysel çalışmaların tamamlanabilmesi için, kontrolü sağlanan SMSM'nin boşa ve yükte çalıştırılmasına olanak tanıyan deney düzeneği geliştirilmiştir.

Geliştirilen motor sürücüsü ve yazılım algoritması ile alan yönlendirmeli kontrol tekniği SMSM üzerine başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar, sistemin istenildiğinde i_q akımını kontrol ederek dolaylı moment kontrolü veya hız kontrolü amacıyla kullanılabilceğini göstermiştir.

Sistem, pozisyon geri besleme elemanı bulundurması nedeniyle, gerekli değişiklikler yapıldığında, yüksek kararlılıklı pozisyon kontrolü amacıyla da kullanılabilir. Sistemi pozisyon kontrolü amacıyla kullanabilmek için hız kontrol döngüsünün ayar değerinin, sisteme eklenecek pozisyon kontrol döngüsü PI kontrolörünün çıkış değerine eşitlenmesi yeterli olacaktır.

Bu uygulamalı çalışma, alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin endüstriyel hız kontrol cihazı tasarımlarında uygulanması durumunda, ihtiyaç duyulan donanımların azlığından ötürü çok yüksek maliyet artışlarına neden olmadan yüksek güvenilirlikli hız veya pozisyon kontrol sistemlerinin geliştirilebileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi için gerekli ortam ve deney ekipmanlarının sağlanmasında katkıda bulunan Yılmaz Redüktör San. ve Tic. A.Ş. firmasına teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Günaydın F.Y., Özkara Y. 2016. İmalat Sanayisinde Kullanılan Elektrik Motorları Envanteri Analiz Raporu, T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- [2] Başar M.S., Bech M.M., Andersen T.O., Scavenius P., Thomas-Basar T. 2013. Comparison of Sensorless FOC and SVM-DTFC of PMSM for Low-Speed Applications. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 14-16 Mayıs, İstanbul.
- [3] Brandstetter P., Neborak I., Kuchar M. 2017. Analysis of Steady-State Error in Torque Current Component Control of PMSM Drive. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 17 (2): 39-46.
- [4] Zhang X., Xiaohua X., Yao R. 2015. Field Oriented Control for Permanent Magnet Synchronous Motor Based on DSP Experimental Platform, The 27th Chinese Control and Decision Conference, 23-25 Mayıs, Qingdao.
- [5] Yeşilbağ E., Ergene L.T. 2014. Field Oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Motors Used in Washers. 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, 21-24 Eylül, Antalya.
- [6] Adhavan B., Kuppuswamy A., Jayabaskaran G., Jagannathan V. 2011. Field Oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) Using Fuzzy Logic Controller. *IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems*, 22-24 Eylül, Trivandrum.
- [7] Harib K.H., Khousa E.A., Ismail A. 2004. Field Oriented Motion Control of a 3-Phase Permanent Magnet Synchronous Motor. 2nd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems, 16-19 Ağustos, Sharjah.
- [8] Çelik H., Yiğit T. 2018. Field-Oriented Control of the PMSM with 2-DOF PI Controller Tuned by Using PSO. *International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing*, 28-30 Eylül, Malatya.

- [9] Wang X., Liu N., Na R. 2009. Simulation of PMSM Field-Oriented Control Based on SVPWM. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 7-11 Eylül, Dearborn.
- [10] Samat A.A.A., Ishak D., Saedin P., Iqbal S. 2012. Speed-sensorless Control of Parallel-connected PMSM Fed by a Single Inverter Using MRAS. IEEE International Power Engineering and Optimization Conference, 6-7 Haziran, Melaka.
- [11] Wang Z., Chen J., Cheng M., Chau K. T. 2016. Field-Oriented Control and Direct Torque Control for Paralleled VSIs Fed PMSM Drives with Variable Switching Frequencies. IEEE Transactions on Power Electronics, 31 (3): 2417-2428.
- [12] Lara J., Xu J., Chandra A. 2016. Effects of Rotor Position Error in the Performance of Field-Oriented-Controlled PMSM Drives for Electric Vehicle Traction Applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 63 (8): 4738-4751.
- [13] Yao H., Yan Y., Shi T., Zhang G., Wang Z., Xia C. 2021. A Novel SVPWM Scheme for Field Oriented Vector Controlled PMSM Drive System Fed by Cascaded H-Bridge Inverter. IEEE Transactions on Power Electronics, 36(8): 8988-9000.
- [14] Sun T., Liu C., Lu N., Gao D., Xu S. 2012. Design of PMSM Vector Control System Based on TMS320F2812 DSP. Proceedings of the 7th International Power Electronics and Motion Control Conference, Harbin, China.
- [15] Sang Y., Li F., Dai Y., Duan F. 2015. The Practical Control Technology Design for AC Servo Motor Based on STM32 Micro-controller, IEEE Advanced Information Technology. Electronic and Automation Control Conference, 19-20 Aralık, Chongqing, China.
- [16] Belhamel L., Buscarino A., Cucuccio A., Fortuna L., Rascona G. 2020. Model-Based Design Streamlines for STM32 Motor Control Embedded Software System. 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, 29 Haziran-2 Temmuz, Prague, Czech Republic.
- [17] Qian Z., Guo Q., Pham M. -T., Li W. 2019. Design of a Low Power Consumption Control System of Permanent Magnet Synchronous Motor for Automated Guided Vehicle. 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems, 11-14 Ağustos, Harbin, China.
- [18] Duesterhoeft W.C., Schulz M.W., Clarke E. 1951. Determination of Instantaneous Currents and Voltages by Means of Alpha, Beta, and Zero Components. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 70 (2): 1248-1255.
- [19] Pillay P., Krishnan R., 1988. Modeling of Permanent Magnet Motor Drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 35 (4): 537-541.
- [20] Zhou K., Wang D. 2002. Relationship Between Space-Vector Modulation and Three-Phase Carrier-Based PWM: A Comprehensive Analysis. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 49 (1): 186-196.
- [21] Ahmed W., Ali S. 2013. Comparative Study of SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) & SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) Based Three Phase Voltage Source Inverters for Variable Speed Drive. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 24-26 Haziran, Karachi.
- [22] Yılmaz H.C. 2020. Sürekli Mıknatıslı Motorun Alan Yönlendirmeli Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kabin Tipi Bir Ofisin Kış İklimlendirmesinde Hız ve Sıcaklık Dağılımının Sayısal İncelenmesi

Muhammed Yasin YAVUZ¹, Cengiz YILDIZ¹, Gülşah ÇAKMAK^{1*}

¹*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye*
(ORCID: 0000-0001-6868-1082)(ORCID: 0000-0003-4361-2472)(ORCID: 0000-0001-6809-2421)

Öz

Çalışma ofisi ortamlarında, gerekli konfor koşulları sağlanarak insanların rahat olabilmesi insanların sağlık ve iş performansı bakımından önem arz etmektedir. Uygulamada bu şartların en verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından iklimlendirme sistemlerinin uygun tasarlanması zorunlu olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, kış ayları için istenilen hava hızları ve sıcaklık dağılımları için menfezlerin en verimli konumu ANSYS-FLUENT programı ile simüle edilerek araştırılmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Bu amaçla kabin tipi ofis için üfleme ve egzoz menfezi yerleşimleri için dört farklı model oluşturulmuştur. Her model için iklimlendirilmiş havanın ofise giriş hızları 0.5 m/s, 1 m/s, ve 2 m/s alınarak belirlenen dış hava ortalama sıcaklıklarına göre analizler yapılmıştır. Analizde her model için sıcaklık ve hız dağılımları belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda kabin tipi ofisler için en uygun iklimlendirmenin tavandan üfleme ve yan duvarlarda egzoz menfezlerinin olduğu tasarım olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: İklimlendirme, Hız dağılımı, Sıcaklık Dağılımı, Sayısal analiz.

Numerical Analysis of Velocity and Temperature Distributions in Winter Air Conditioning of Cabin Type Offices

Abstract

It is important for people to be comfortable by providing necessary comfort conditions in working office environments in terms of health and work performance of people. In practice, it is necessary to design air conditioning systems properly in order to realize these conditions in the most efficient way. For this reason, in this study, the most efficient location of the grilles for the desired air velocities and temperature distributions for winter months was investigated by simulating with ANSYS-FLUENT program and the results were observed. For this purpose, four different models have been created for the blowing and suction vent layouts for the cabinet type office. For each model, the velocities of the conditioned air entering the office were taken as 0.5 m/s, 1 m/s and 2 m/s, and analyzes were made according to the determined average outside air temperatures. Temperature and velocity contours were determined for each model in the analysis. As a result of the study, it was seen that the most suitable air conditioning for cabin-type offices was the design with ceiling blowing and suction vents on the side walls.

Keywords Air conditioning, Velocity distribution, Temperature Distribution, Numerical analysis.

1. Giriş

Çağımızda çalışma ofislerinin konforunun, ofiste faaliyet gösteren çalışanların iş performanslarını kayda değer bir şekilde etkilediği gözlemlenmektedir. Bu sebepten ötürü çalışma ofisi yapılarında ortam şartlarının denetimi ve iklimlendirme tesisine bağlı araştırmalar günümüzde oldukça büyük bir değer kazanmıştır. Çalışma ofisi amacıyla faaliyet gösteren binalarda kullanım şekline bağlı olarak, ortamların iklimlendirme koşullarında büyük farklılıklar gözlemlenebilir. Bilgisayar sistemlerindeki ilerlemeler ve bu doğrultuda sistem analiz programlarının ileri düzeylere gelmesi iklimlendirme sistemlerinin

*Sorumlu yazar: gulcakmak@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 30/12/2020, Kabul Tarihi: 06/06/2021

bilgisayarlara taşınmasına imkân tanımıştır. İklimlendirme sistemlerinin analiz edilmesinde, test edilmesinde ve geliştirilmesinde, biçimlendirme ve benzetme metotlarının kullanılması, tasarım masraflarını düşüreceği gibi, tasarım zamanını da kayda değer biçimde kısaltacaktır. Ayrıca benzetimi yapılan sistemlerin düzenlenmesi ve veriminin de arttırılması daha rahat olacaktır. Enerji tüketiminin azaltılması amacıyla değişken hava debili iklimlendirme sistemleri önem arz etmektedir. Özellikle, mühendislik alanlarında bilgisayar kullanımının yüksek seviyelere ulaşması ile birlikte, değişken hava debili iklimlendirme sistemlerinin bilgisayar sistemlerinde analizine yönelik uygulamalar fazlalaşmıştır. Bu tarz uygulamaların sanal ortamında modelinin oluşturulması, simüle edilmesi, çözümlene ve modernleştirme çalışmaları, ilk yatırım ve işletme masraflarının sınırlandırılmasına, gözlemleme, test etme ve geliştirme aşamalarının azaltılmasına ve bu şekilde daha verimli sistemler modellenmesine ve kullanılmasına yol açacaktır.

Sempey ve arkadaşları depolama alanlarının, hastanelerin, ofislerin veya hassas alanların tasarlanmasındaki hedeflenen sıcaklık ve nem dağılımını istenilen değerlerinde sağlamak amacıyla sayısal olarak bir çalışma yapılmıştır. Klimalı odalarda düzgün sıcaklık dağılımı için bir metodoloji geliştirmişlerdir [1]. Kılıç ve arkadaşları bir klima sistemi üzerindeki türbülanslı akışın sayısal çalışmasını yapmışlardır. Üfleyicileri odanın farklı noktalara yerleştirerek, odada oturan kişiler için daha iyi bir konfor elde edebilmek için akışı analiz etmişlerdir [2].

Myhren Jonn ve arkadaşları ısı konfor açısından farklı ısıtma sistemlerinin kış koşullarında bir ofisin iç mekan iklimi üzerindeki etkisini belirlemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile inceleyerek sıcaklık gradyanlarındaki farklılıkları, hava hızı değişimini ve enerji tüketimini belirlemişlerdir [3]. Gürbüz ve arkadaşları otobüs iç başlangıç sıcaklığının üniform bir sıcaklıkla kademeli olarak 20 °C değerine düşürülmesi için gereken sürenin belirlenmesini amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Sürücü dahil 49 yolcu bulunan otobüste klima sistemi ile sağlanan basınç ve hız dağılımına bağlı termal konfor parametreleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir [4].

Karyono Tri Harso ve arkadaşları tavandan üfleli klimalı bir odada duran bir kişi için termal konfor analizi yapmışlardır. Fandan gelen hava hızı arttıkça termal konfor için istenilen ısı yükünün arttığı görülmüştür [5]. Yasuhiro Shimazaki ve arkadaşları Endonezya'da termal konfor konusunda bir saha çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan çok katlı bir ofis binasında toplamda 596 ofis çalışanı bulunmaktadır. İnsan konfor sıcaklığına odaklanılan ve insan termal indeksi hesaplanan bu çalışmada insan termal yük indeksini kullanılarak belirlenen uygun termal ortam için yapılacak kontroller insan konforu açısından değerlendirilmiştir [6].

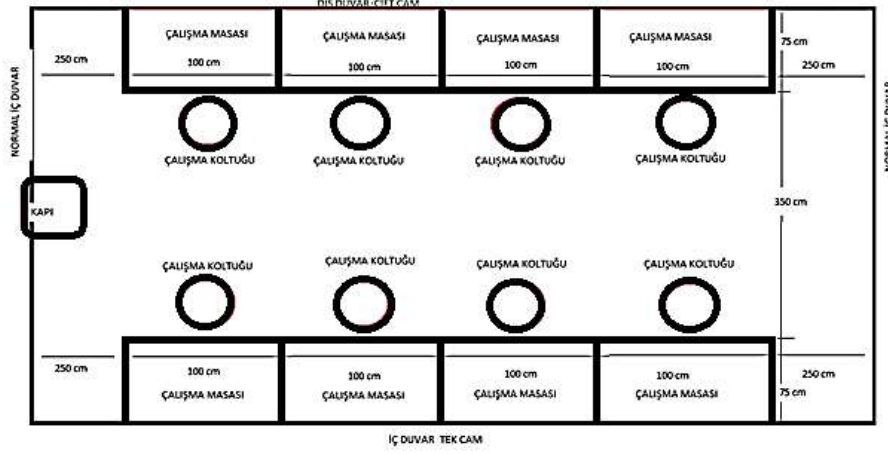
Tso ve arkadaşları ise yan duvarlarından birinde birden çok ısı kaynağı bulunan dikdörtgen prizma şeklindeki kapalı hacimde farklı akışkanların olduğunu kabul ederek doğal konveksiyonla soğutma işlemini sayısal olarak çözmüşlerdir [7]. Lin ve Armfield hem dikey silindirik şeklindeki hem de dikdörtgen şeklindeki kapalı hacimlerde geçici rejimde ısı transferini ve akışkan hareketini sayısal olarak incelemiştir. Aynı akış özellikleri dikkate alındığında dikdörtgen şeklindeki kapalı hacim için ısı sınır tabaka kalınlığının değişmediği ancak silindirik hacimde bu tabakanın silindirin üst tarafına gidildikçe kalınlaştığı gözlemlenmiştir [8]. Tric ve arkadaşları küp şeklinde ve duvarları farklı sıcaklıklarda olan kapalı hacimde doğal konveksiyondan dolayı oluşan akışkan hareketini sayısal olarak incelemişlerdir [9].

Yüce ve Pulat alttan ısıtmalı bir ofis odasında, nefes alıp verme özelliğine sahip bir termal manken modeli yardımı ile ofis odasındaki; hava dağılımını, karbondioksit bağli iç hava kalitesini ve ısı konforu sayısal olarak araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada; ofis odası geometrisi için Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi ofislerinden birinin ölçüleri kullanmışlardır. Oda içerisindeki akış üç boyutlu, zamana bağlı, türbülanslı, çok fazlı (Mixture) ve sıkıştırılabilir (ideal gaz yaklaşımı) olarak kabul etmişlerdir. Çözüm için standart k-e türbülans modeli kullanılmıştır. Ofis odasının tanımlanan sınır şartlarına göre ısı konforu ve iç hava kalitesini incelemişlerdir [10].

Bu çalışmada kabin tipi ofislerin iklimlendirilmesinde sıcaklık, hız ve basınç dağılımlarının sayısal olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak uygulamada kullanılan kabin tipi ofis seçilmiştir. Seçilen ofiste iç parametreler ve dış parametreler belirlenmiş ve buna göre farklı hava hızlarında ve farklı giriş ve çıkış menfezleri modelleri ile akış ve sıcaklık dağılımları sayısal olarak incelenmiştir. Kabin tipi ofisin modelinin simülasyonlarında FLUENT paket programı kullanılmıştır. Sonuçlar ofisin belirlenen kesitlerde hız vektörleri ve sıcaklık konturları elde edilerek yorumlanmıştır.

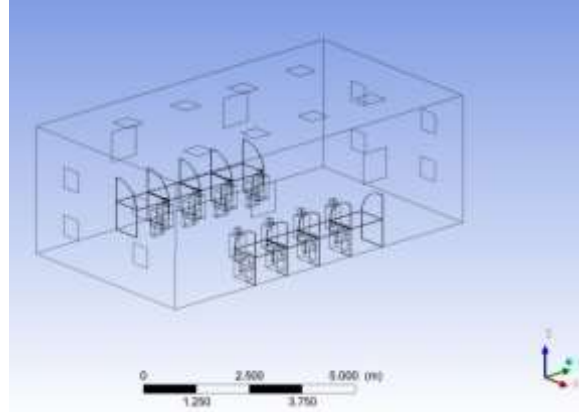
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada birçok iş merkezlerinde, kütüphanelerde, bilgisayar odalarında kullanılan kabin tipi ofis model olarak ele alınmıştır. Ele alınan ofisin boyutları 900 cm x 500 cm x 320 cm olup genel şematik görünümü Şekil 1’ de verilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan kabin tipi ofis şematik görünümü

Kabin tipi ofisin iç ortam bileşenleri olarak 8’er adet personel, çalışma masası, bilgisayar ve aydınlatma lambası bulunmaktadır. Belirtilen özelliklere göre ofisin yerleşim planı ise Şekil 2 ile verilmiştir.

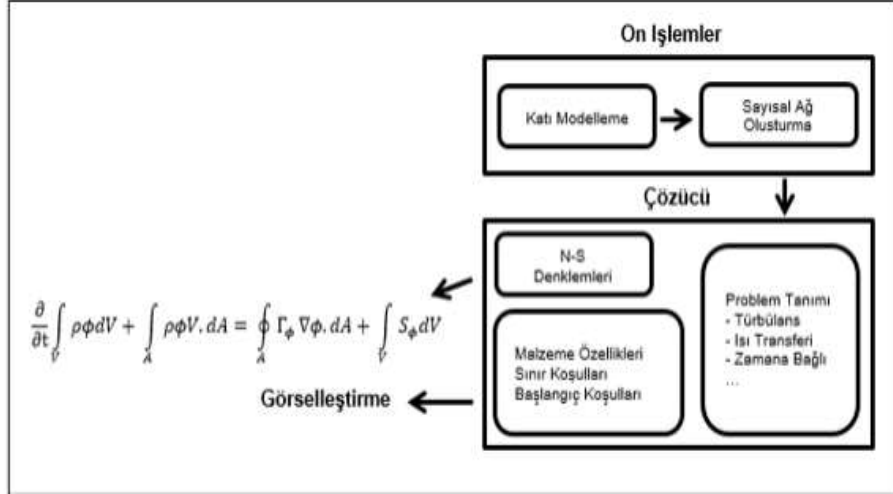


Şekil 2. Kabin tipi ofis yerleşim modeli

Ele alınan bina için çevre havası sıcaklığı $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, üfleme havası sıcaklığı $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır. Şekil 1 de görüldüğü gibi kabin tipi ofisin bir duvarı dış ortamda bulunmakta ve diğer duvarlar iç ortamdadır. Kabin tipi ofislerde çalışan ve müşterilerin görsel konforu açısından genellikle dış duvarlar camdan tasarlanmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmada da dış duvar çift cam olarak ele alınmıştır. Dış cam duvar ısı geçiş katsayısı; tek kaplamalı cam 4-12-4 mm ölçüleri ve emissivite $\leq 0,05$ ve ara boşluk dolgusu hava için $1,70\text{ W/m}^2\text{K}$ kabul edilmiştir. Ayrıca Kabin tipi ofisin iç duvar hacimlerinin, tavan ve zemin hacimlerinin ofis sıcaklıkları ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda ofisin dış duvarının dışındaki duvarlar, tavan ve zeminin tüm yüzeyleri adyabatik olarak değerlendirilmiştir. Kabin tipi klima sisteminde menfez üfleme hız değerleri için 3 farklı hız değeri seçilmiştir. Buna göre üfleme havası hızları $0,5\text{ m/s}$, 1 m/s , 2 m/s olarak alınmıştır. Belirlenen ofis için şartlandırılmış hava menfezler aracılığı ile mekâna üflenmekte ve toplayıcı menfezler ile kullanılmış hava toplanmaktadır.

2.1. Analiz Adımları

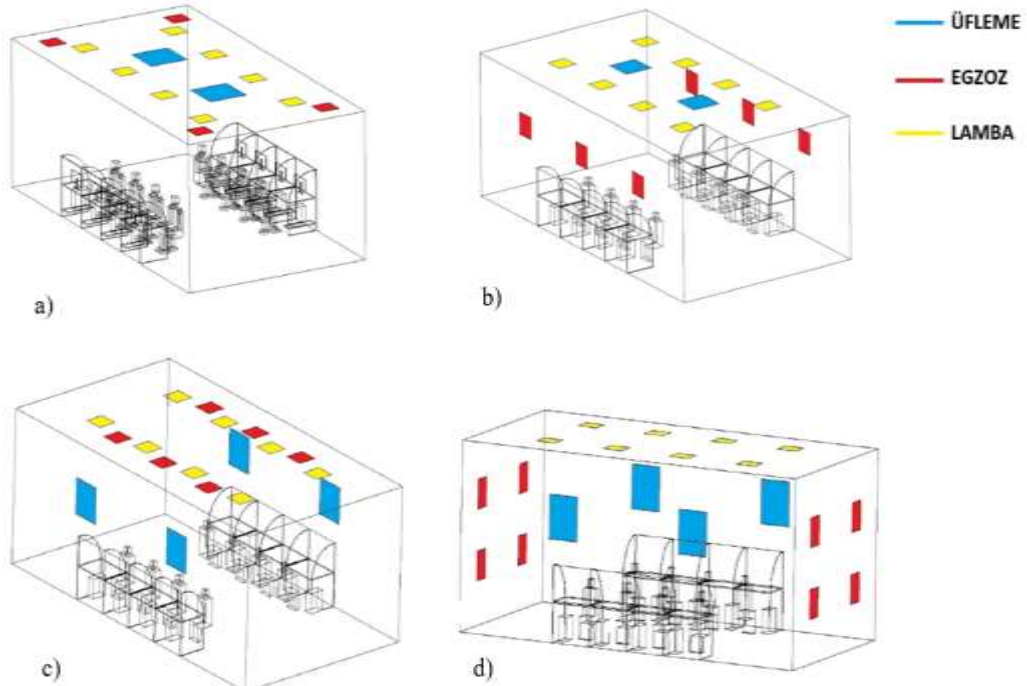
ANSYS programı kullanılarak gerçekleştirilen akışkanlar dinamiği analizlerinin, basit analiz şeması Şekil 3’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. Analiz şeması

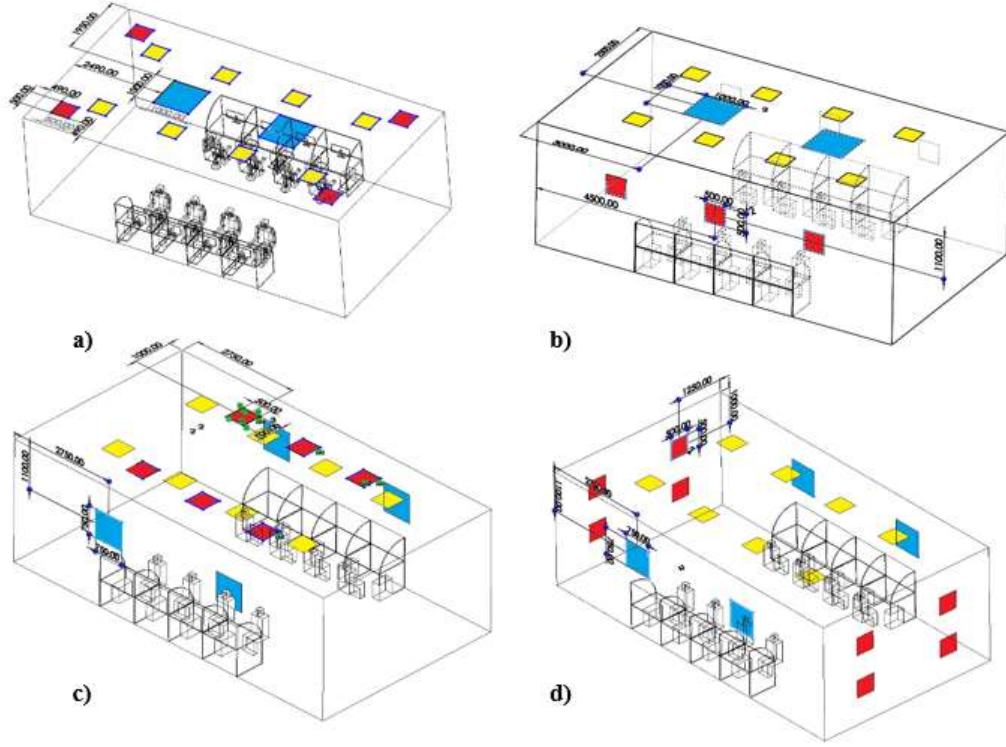
Yapılan bu analizde, seçilen çalışma ofisi için belirli kabuller yapılarak birebir ölçülerde SOLIDWORKS programı kullanılarak model oluşturulmuştur. Bu analize ofis çalışanları, ısı kaynağı olduğu düşünülen bilgisayarlar, belirli ofis mobilyaları eklenmiştir. Problemin çözümü için öncelikle hava hızlarına göre gerekli debiler belirlenmiş ve buna göre menfez boyutları ve optimum yerleşim yerleri seçilmiştir. Şekil 4a' da görüldüğü üzere üfleme ve egzoz menfezleri tavanda olacak şekilde Model 1 oluşturulmuştur. Tavanda 2 adet üfleme ve 4 adet egzoz menfezi ile birlikte 8 adet led lamba seti bulunmaktadır.

Şekil 4b' de görüldüğü gibi üfleme menfezleri tavanda, egzoz menfezleri yan duvarlarda olacak şekilde Model 2 oluşturulmuştur. Tavanda bulunan 8 adet küçük boyuttaki dikdörtgen alanlar led lamba sistemini göstermektedir. Buna göre tavandaki iki büyük menfez giriş menfezi olarak seçilmiş olup yan duvarlardakiler ise egzoz menfezi olarak belirlenmiştir. Şekil 4c' de 4 adet üfleme menfezleri yan duvarlarda 6 adet egzoz menfezleri tavanda olacak şekilde Model 3 oluşturulmuştur. Tavandaki 8 adet kutucuklar ise ışıklandırmayı göstermektedir. Şekil 4d' de üfleme menfezleri, egzoz menfezleri yan duvarlarda olacak şekilde Model 4 oluşturulmuştur. Yan duvarlarda 4 adet üfleme ve 8 adet egzoz menfez bulunmaktadır ve tavandaki bölgeler led ışıklandırmayı ifade etmektedir.



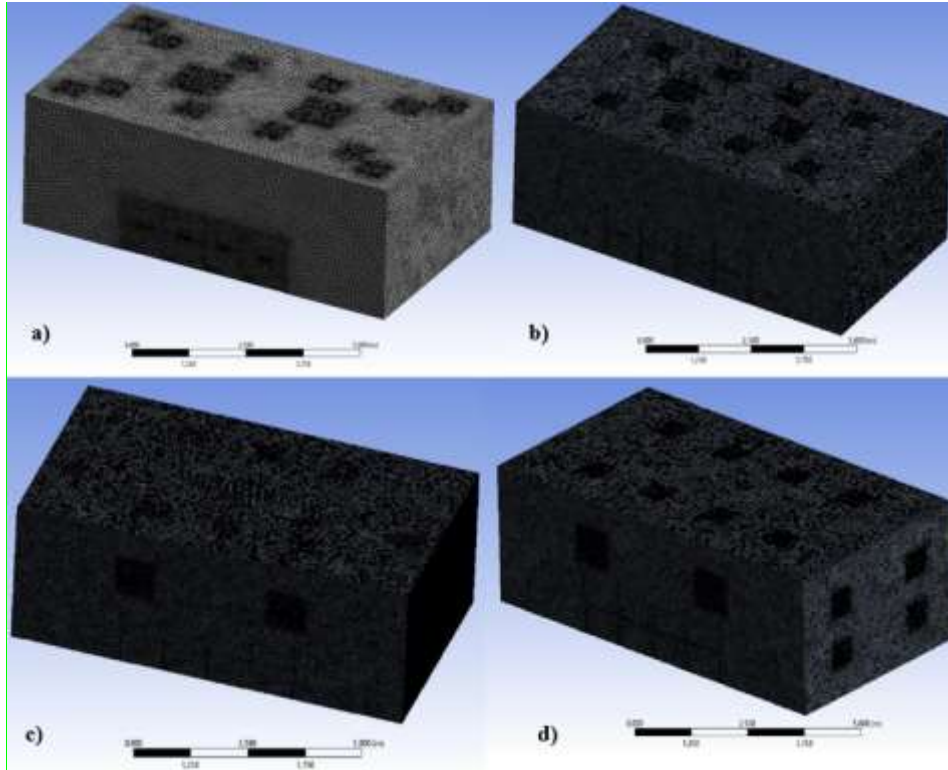
Şekil 4. Modeller için menfezlerinin yerleşim düzeni a) Model 1 b) Model 2 c) Model 3 d) Model 4

Modeller için tavan menfez konumları ve boyutları Şekil 5’ de görülmektedir. Tavandaki koyu dolgulu dikdörtgen alanlar egzoz menfezlerini diğer dikdörtgen alanlar ışıklandırmayı ifade etmektedir.



Şekil 5. Modeller için menfez konumları ve boyutları a) Model 1 b) Model 2 c) Model 3 d) Model 4

Sonlu hacimler ile ilgili yapılan sayısal çalışmalarda düzgün ve kaliteli bir ağ oluşturmak sonuçların doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Bu yüzden sayısal çalışmalarda ağ kalitesi aranmaktadır. Ancak analizi yapılan geometrilerin karmaşıklığı arttıkça bu ağ kalitesini elde etmek zorlaşmaktadır. Şekil 6’ da çalışmada kullanılan modellerin ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 6. Model ağ yapıları a) Model 1 b) Model 2 c) Model 3 d) Model 4

Bu çalışmada çözümlenmesi yapılan modellerin; düğüm ve eleman sayısı değerleri Tablo 1 de verilmiştir. Ağdan bağımsızlık çalışması kapsamında her sayısal model için üç farklı ağ yapısı kullanıldı. Farklı eleman sayılarında yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarda, ağ yapısı arttıkça sonucun küçük değerlerde değiştiği gözlemlendi. Tablo 1 de belirtilen eleman sayılı ağ yapıları en uygun sonucu veren yapılar olarak seçilerek çözümlere devam edilmiştir.

Tablo 1. Modellerin düğüm ve eleman sayıları

Model	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı
Model 1	269304	1414314
Model 2	352692	1858523
Model 3	375195	1966111
Model 4	306790	1605325

Modellemede ofisin tüm duvarlarında cidar sınır şartı ($u=0$, $v=0$) olarak verilmiştir ve üfleme menfezlerinde hava üflediği yüzeyde ise giriş sınır şartları üfleme hızları 0.5 m/s, 1 m/s, 2 m/s ve giriş sıcaklık değeri 22 °C uygulanmıştır. Çıkışta ise çıkış sınır şartı basınç değeri ($P=0$) olarak girilmiştir. Cam duvar için dış cam yüzey sıcaklığı her noktada -7 °C olarak alınmış ve diğer tüm yüzeyler adyabatik ($Q=0$) olarak değerlendirilmiştir. Oluşturulan modellere ait bilgiler ve modeller için hava girişi, hava çıkışı, dış duvar ve iç duvar ile ilgili sınır şartları Tablo 2 ve Tablo 3' te gösterilmiştir.

Tablo 2. Modellere ait sınır şartları

Modeller	Üfleme Menfezi	Egzoz Menfezi	Üfleme Hızları	Üfleme Hava Sıcaklığı	Dış Ortam Sıcaklığı	Çıkış Menfezi Basınç	İç Bitişik Duvar
	Konum	Konum	(m/s)	(°C)	(°C)	(Pa)	
Model 1	Tavanda	Tavanda	0.5 1 2	22	-7	0	Adyabatik ($Q=0$)
Model 2	Tavanda	Yan duvarlarda	0.5 1 2	22	-7	0	Adyabatik ($Q=0$)
Model 3	Yan duvarlarda	Tavanda	0.5 1 2	22	-7	0	Adyabatik ($Q=0$)
Model 4	Yan duvarlarda	Yan duvarlarda	0.5 1 2	22	-7	0	Adyabatik ($Q=0$)

Tablo 3. Sınır Şartları

	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	Basınç (Pa)	Isı Taşınım Katsayısı ($W/m^2 K$)
		0.5		
Giriş menfezi	22	1 2	-	-
Çıkış menfezi	-	-	0	-
Dış Ortam	-7	-	-	25
İç ortamdaki duvarlarının dışı	20			Adyabatik(-)

Çalışmada; Tablo 2 ve Tablo 3'te belirtilen fiziki ve sınır şartları dikkate alınarak modeller oluşturulmuştur. Tavan ve yan duvarlarda optimum menfez yerleri ve boyutlarının bulunması için tüm modellerde 1 m/s'lik hızda hesaplamalar yapılmıştır. Örnek olarak üfleme ve egzoz menfezleri tavanda olacak şekilde x_1 , x_2 , x_3 , y_1 ve y_2 optimum değerlerinin bulunması için 1 m/s'lik hızda hesaplamalar yapılarak optimum menfez aralıkları 45 cm x 49 cm (x_1 - y_1) olarak bulunmuştur (Şekil 5). Ofis için menfez sayısı değişken olmakla birlikte genel olarak toplam akış alanı dolayısıyla üfleme debisi sabit olarak kabul edilmiştir. Bu durumda oluşturulan modellerde belirlenen üç ayrı üfleme hızı için üç

farklı üfleme debisi ile çalışılmıştır. Ayrıca insanlardan gelen ısı kazancı için sadece ofiste çalışan insanlar dikkate alınmış, vücut sıcaklığı 37 °C olarak kabul edilmiş ve hafif iş yapan çalışan için duyulur ve gizli ısılar belirlenmiştir. Bilgisayar kasaları ısı değer olarak her bilgisayar için 50 W alınmıştır. Aydınlatmadan gelen ısı kazancı floransan lamba için 25 Watt/m² olarak seçilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen sınır şartları sabit olmak koşuluyla 4 farklı model için analizler yapılmış ve oda içerisindeki sıcaklık ve hız dağılımları elde edilmiştir.

3. Sayısal Yöntem

Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri tüm akışlara uygulanabilen en önemli akış denklemleridir. Süreklilik denklemi, diferansiyel boyutlardaki bir kontrol hacim içerisinde geçen akışkanın kütle korunum yasasını ifade ederken Navier-Stokes denklemleri ise Newtonun ikinci kanununun bir kontrol hacme uygulanmasıyla sonuçlanan hareket veya momentum korunum denklemleri olmaktadır. Kartezyen koordinatlarda, sabit fiziksel özelliklere sahip (izotermal), Newton tipi ve sıkıştırılmaz bir akış için süreklilik ve hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır [11].

Süreklilik Denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum Denklemleri;

$$\begin{aligned} \rho(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}) &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}) + F_x \\ \rho(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}) &= -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}) + F_y \\ \rho(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}) &= -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}) + F_z \end{aligned} \quad (2)$$

Enerji Denklemi;

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} + w \frac{\partial P}{\partial z} \right) + k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \Phi \quad (3)$$

Burada u, v ve w sırasıyla x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleridir. Bu denklemlerin tümüne birden yönetici denklemler denir. Tüm akış problemlerin çözümü bu denklem takımı ile yapılmaktadır.

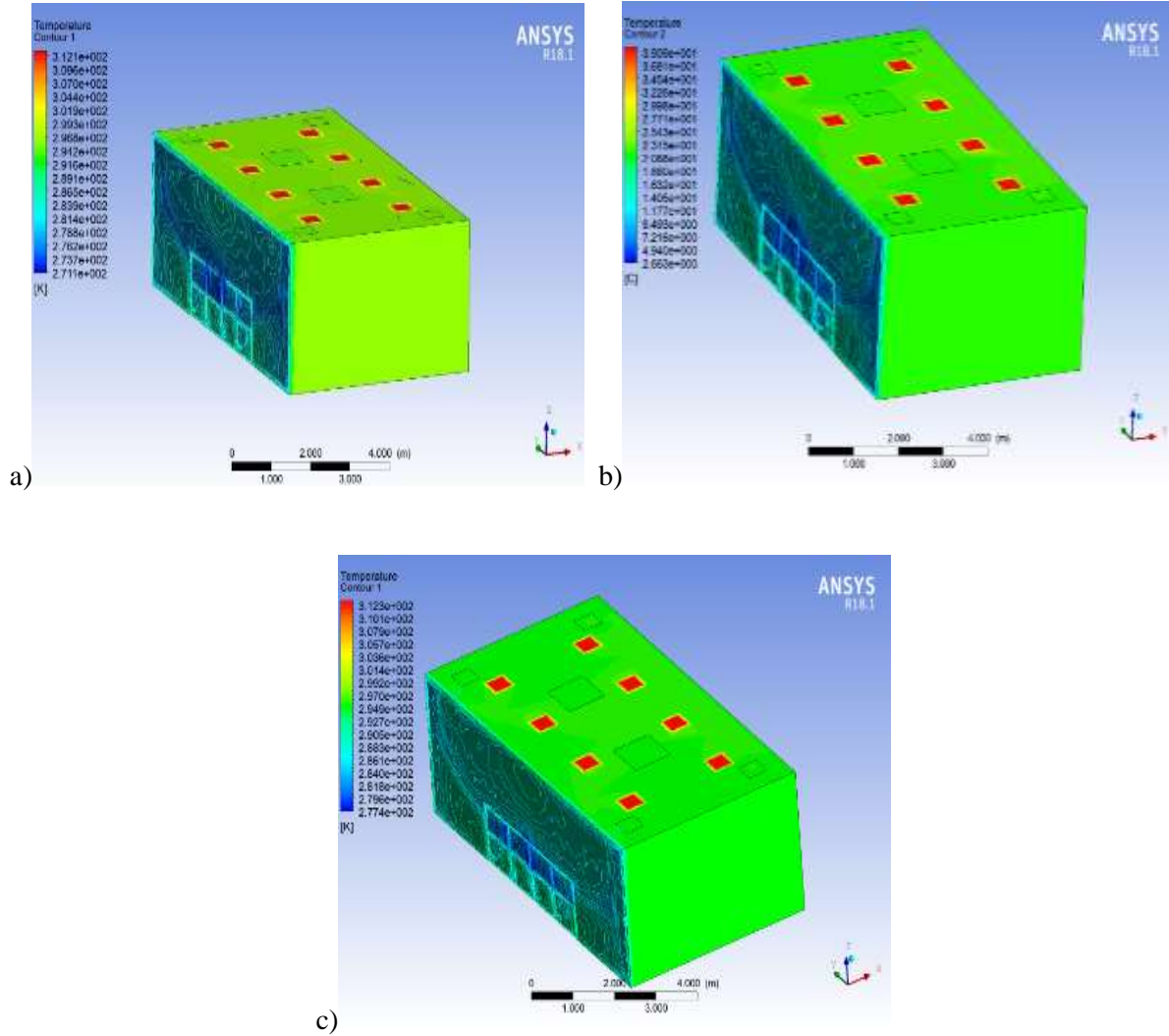
4. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Yapılan analiz sonuçlarında; Model 1 için farklı üfleme hızlarında sıcaklık ve hız konturlarının dağılımı Şekil 6 -7'de verilmiştir. Üfleme hızı 0.5m/s iken, üfleme menfezi bölgesinde sıcaklık 293 K civarında olup, ofisin alt bölgelerinde ise 291-292 K civarında bulunmaktadır. Çalışma masalarının bulunduğu bölgelerde ise sıcaklıklar 292-293 K arasında kalmıştır. Üfleme hızı 0.5 m/s iken, üfleme menfezi çıkışlarında laminer akış şartlarının oluştuğu görülmektedir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 0.30 m/s civarında, alt bölgede ise 0.05 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur.

Üfleme hızı 1m/s iken sıcaklık kontör aralığının genişlediği görülmektedir. Bu üfleme hızında üfleme menfezi bölgesinde sıcaklıklar 293 K civarında ve ofisin içinde ise sıcaklıklar 292-293 K arasında olmuştur. Üfleme hızı 1 m/s için üfleme menfezinden çıkan havanın ofisin tüm bölgelerinde dengeli bir şekilde dağıldığı, ölü bölgelerin oluşmadığı ve hava akım konturlarının oldukça yoğun bir şekilde olduğu gözlemlenmiştir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 0.55 m/s civarında, alt bölgede ise

0.20 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur. Ayrıca, egzoz menfezi giriş bölgesinde hızın arttığı ve 0.8 m/s' lik hız oluştuğu görülmektedir.

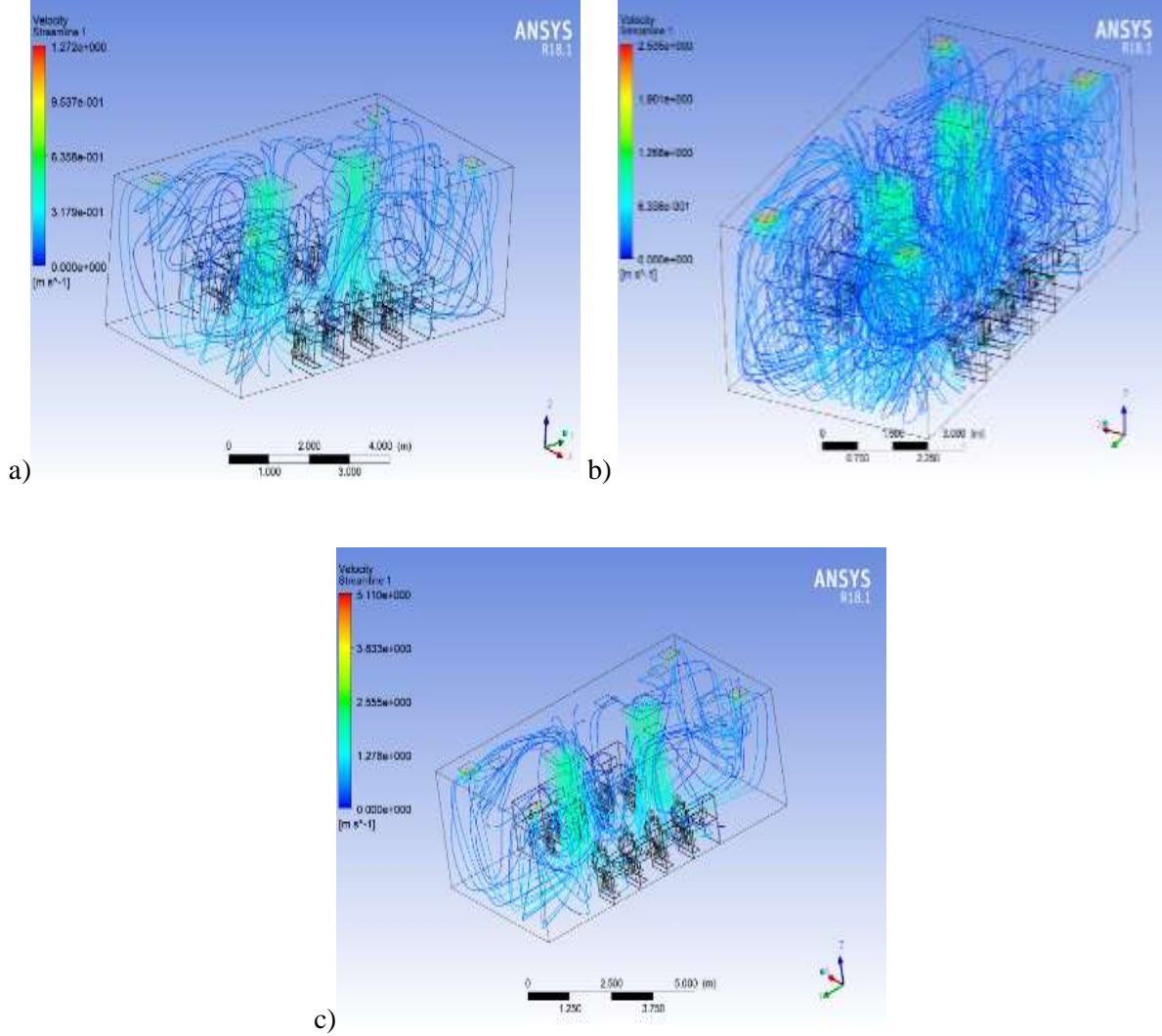
Üfleme hızı 2 m/s iken, üfleme menfezi bölgesinde sıcaklık 292 K civarında olup, ofisin alt bölgelerinde ise 291 K civarında bulunmaktadır. Çalışma masalarının bulunduğu bölgelerde de sıcaklıklar 292 K civarında kalmıştır. Üfleme hızı 2 m/s iken, üfleme menfezi çıkışlarında laminer akış şartlarının oluştuğu görülmektedir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 1.4 m/s civarında, alt bölgede ise 1.1 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur. Ayrıca, egzoz menfezi giriş bölgesinde hızın arttığı ve 1.7 m/s' lik hız oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6. Model 1 için sıcaklık konturleri a) 0.5 m/s b) 1 m/s c) 2 m/s

Model 2 için farklı üfleme hızlarında sıcaklık ve hız dağılımı Şekil 8 -9'da verilmiştir. Üfleme hızı 0.5m/s iken, üfleme menfezi bölgesinde sıcaklık 295 K civarında olup, ofisin alt bölgelerinde ise 290 K civarında bulunmaktadır. Çalışma masalarının bulunduğu bölgelerde de sıcaklıklar 292 civarında kalmıştır. Üfleme hızı 0.5 m/s iken, Model 1' deki gibi üfleme menfezi çıkışlarında laminer akış şartlarının oluştuğu görülmektedir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 0.20 m/s civarında, alt bölgede ise 0.12 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur. Ayrıca, egzoz menfezi giriş bölgesinde hızın arttığı ve 0.35-0.45 m/s' lik hız oluştuğu görülmektedir. Hız konturları üfleme menfezi bölgesinden dağılımı daha homojen ve yaygın bir şekil almıştır. Ayrıca havanın kabin iç bölgesine girişi daha belirginleşmiş ve düşük hızlarda kabin içinde havanın dağılımı Model 1'e göre daha iyi gelişmiştir. Hız değerlerinin artmasıyla kabin içi akış daha belirgin bir durum almıştır.

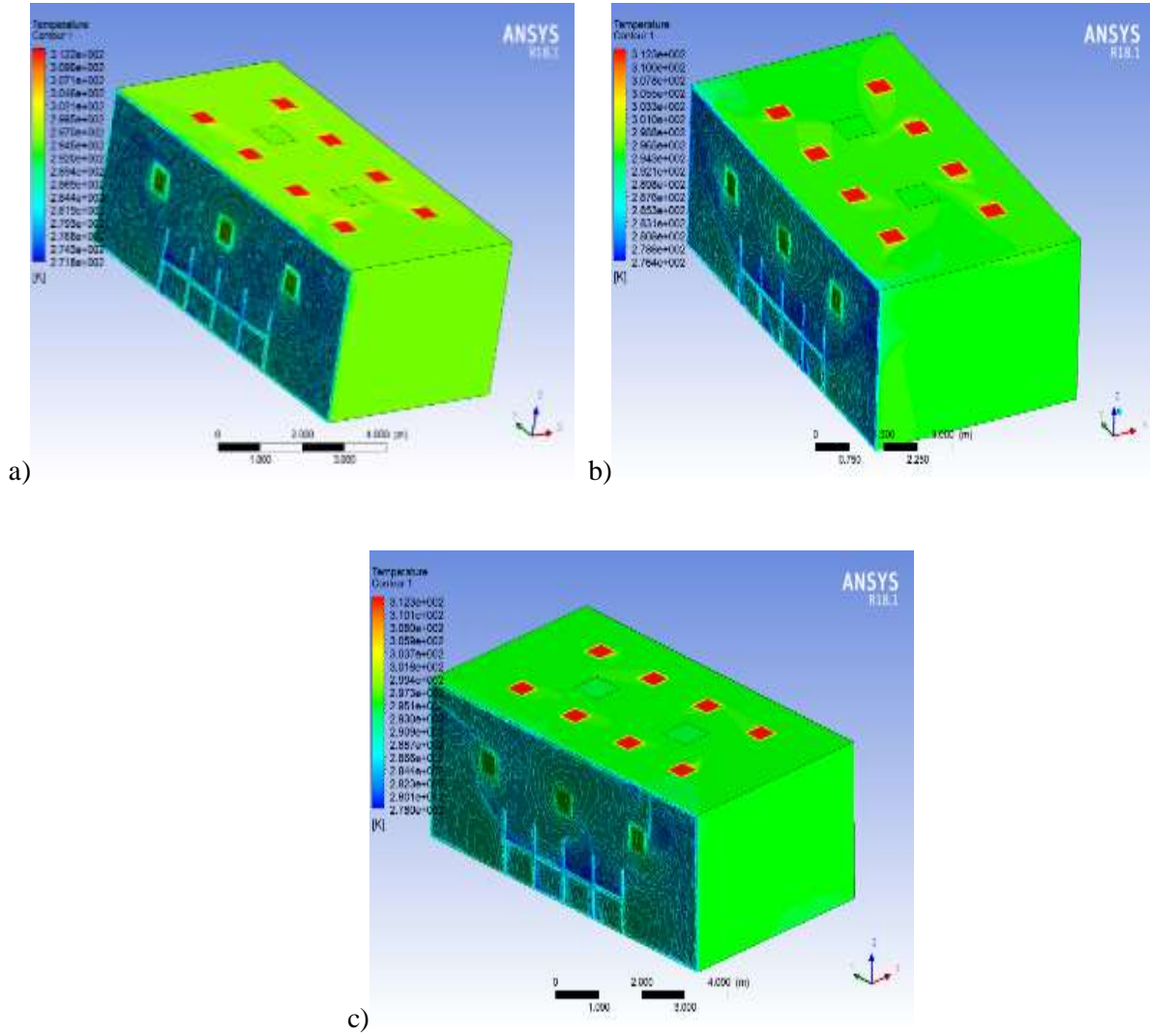
Üfleme hızı 1 m/s iken sıcaklık kontör aralığının genişlediği ve Tüm üfleme hızlarında üfleme menfezi bölgesinde sıcaklıklar 295 K civarında ve ofisin içinde ise sıcaklıklar 290-293 K arasında olmuştur. Üfleme hızı 1 m/s için üfleme menfezinden çıkan havanın ofisin tüm bölgelerinde dengeli bir şekilde dağıldığı, ölü bölgelerin oluşmadığı ve hava akım konturlarının oldukça yoğun bir şekilde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Model 1 için hız konturleri a) 0.5 m/s b) 1 m/s c) 2 m/s

Üfleme hızı 2 m/s iken, üfleme menfezi bölgesinde sıcaklık 293 K civarında olup, ofisin alt bölgelerinde ise 290 K civarında bulunmaktadır. Çalışma masalarının bulunduğu bölgelerde de sıcaklıklar 291 K civarında kalmıştır. Üfleme hızı 2 m/s iken, üfleme menfezi çıkışlarında laminer akış şartlarının oluştuğu görülmektedir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 1.42 m/s civarında, alt bölgede ise 0.96 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur. Ayrıca, egzoz menfezi giriş bölgesinde hızın arttığı ve 1.57 m/s' lik hız oluştuğu görülmektedir.

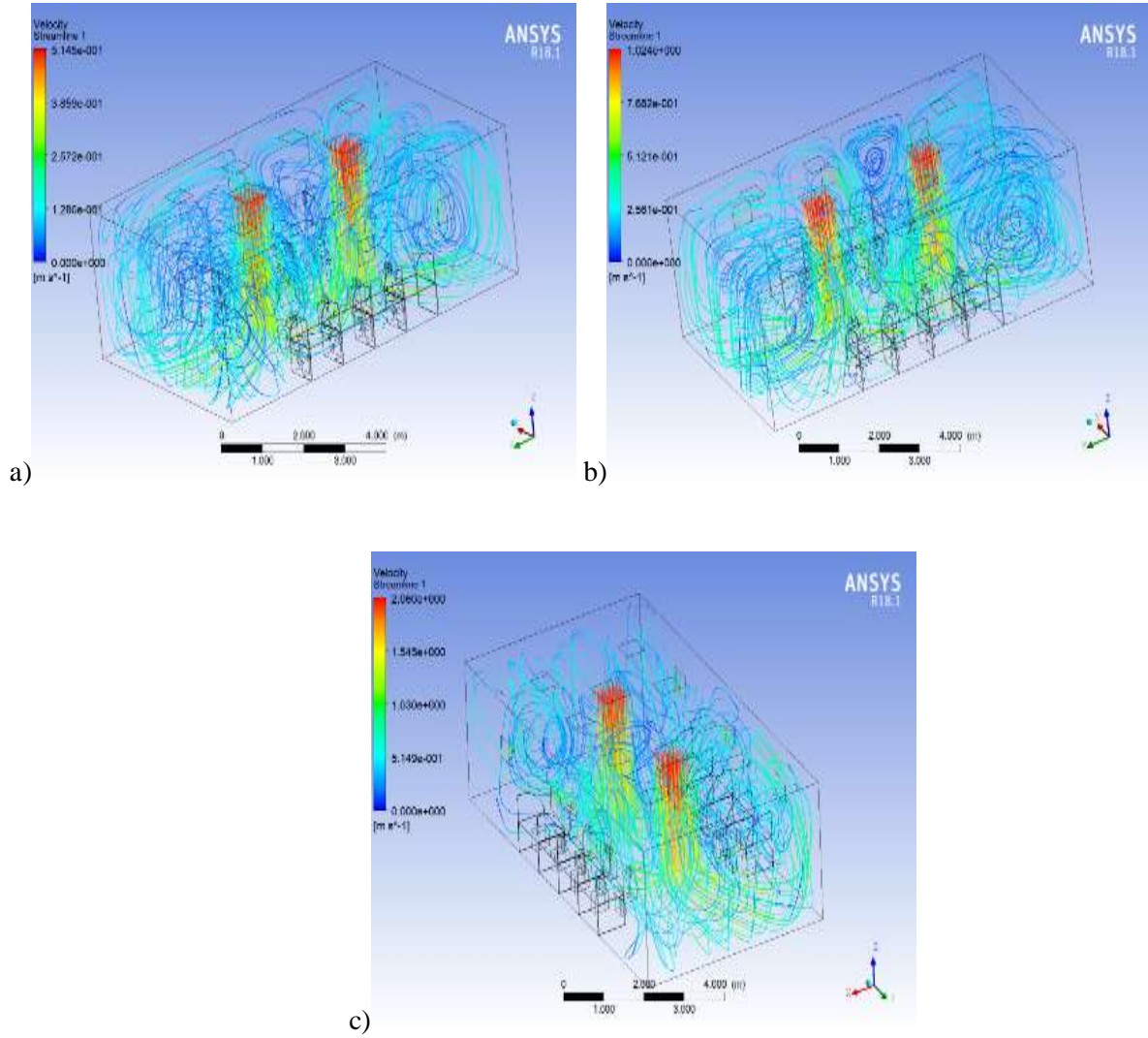
Model 3 için farklı üfleme hızlarında sıcaklık ve hız dağılımı Şekil 10 -11 'de verilmiştir. Üfleme hızı 0.5m/s iken, üfleme menfezi bölgesinde sıcaklık 295 K civarında olup, ofisin alt bölgelerinde ise 285 K civarında bulunmaktadır. Çalışma masalarının bulunduğu bölgelerde de sıcaklıklar 281 civarında kalmıştır. Üfleme hızı 0.5 m/s iken, üfleme menfezi çıkışlarında yan duvarlara doğru laminer akış şartlarının oluştuğu görülmektedir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 0.25 m/s civarında, alt bölgede ise 0.20 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur. Ayrıca, egzoz menfezi giriş bölgesinde hızın arttığı ve 0.45 m/s' lik hız oluştuğu görülmektedir.



Şekil 8. Model 2 için sıcaklık konturleri a)0.5 m/s b) 1 m/s c) 2 m/s

Üfleme hızı 1 m/s iken sıcaklık kontör aralığının genişlediği ve tüm üfleme hızlarında üfleme menfezi bölgesinde sıcaklıklar 295 K civarında ve ofisin içinde ise sıcaklıklar 280-294 K arasında olmuştur. Üfleme hızı 1 m/s için üfleme menfezinden çıkan havanın ofisin tüm bölgelerinde dengeli bir şekilde dağıldığı, ölü bölgelerin oluşmadığı ve hava akım konturlarının oldukça yoğun bir şekilde olduğu gözlemlenmiştir.

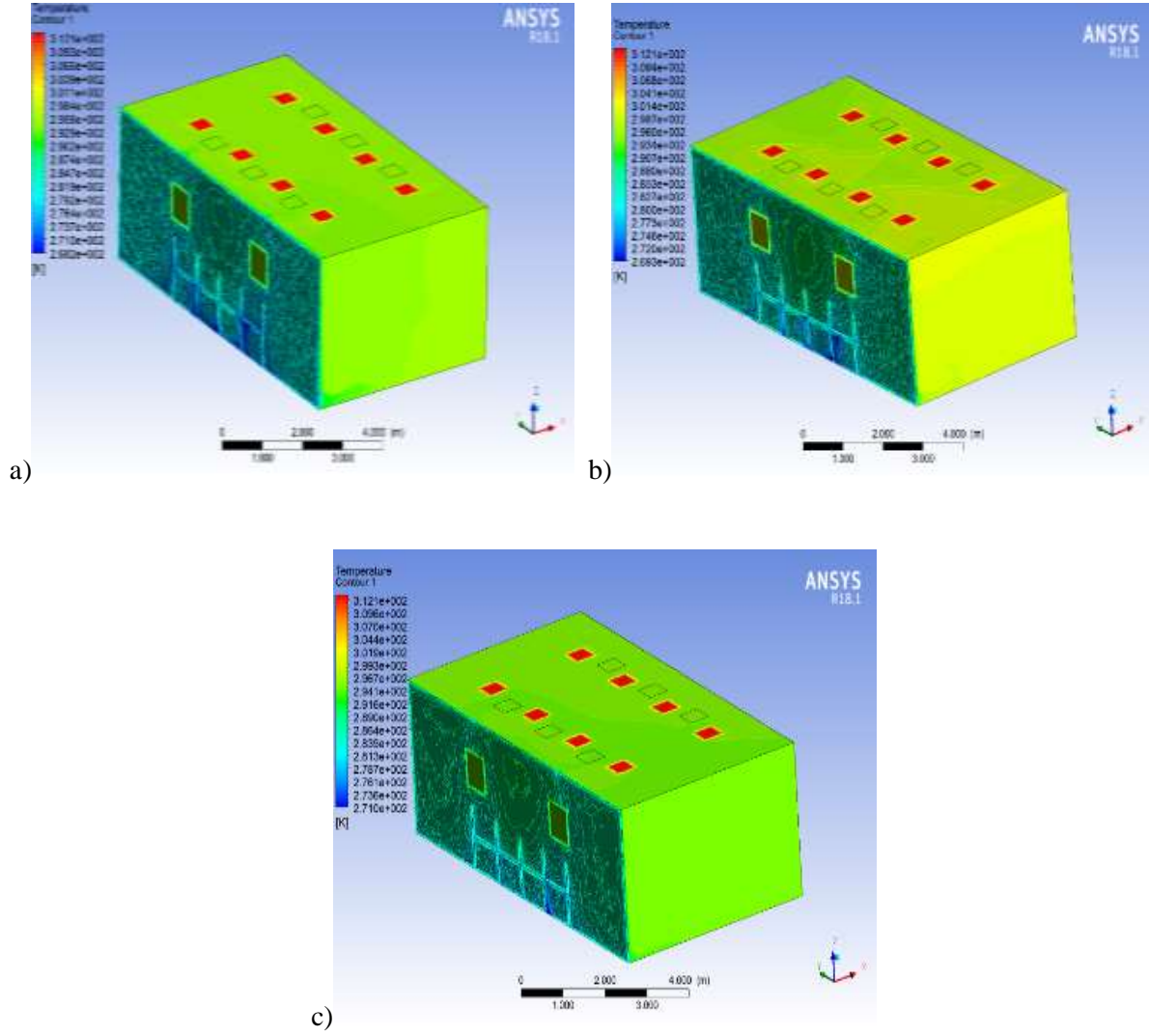
Üfleme hızı 2 m/s iken, üfleme menfezi bölgesinde sıcaklık 294 K civarında olup, ofisin alt bölgelerinde ise 283 K civarında bulunmaktadır. Çalışma masalarının bulunduğu bölgelerde de sıcaklıklar 281 K civarında kalmıştır. Üfleme hızı 2 m/s iken, üfleme menfezi çıkışlarında laminer akış şartlarının oluştuğu görülmektedir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 1.52 m/s civarında, alt bölgede ise 1.04 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur. Ayrıca, egzoz menfezi giriş bölgesinde hızın arttığı ve 1.37 m/s' lik hız oluştuğu görülmektedir.



Şekil 9. Model 2 için hız konturleri a) 0.5 m/s b) 1 m/s c) 2 m/s

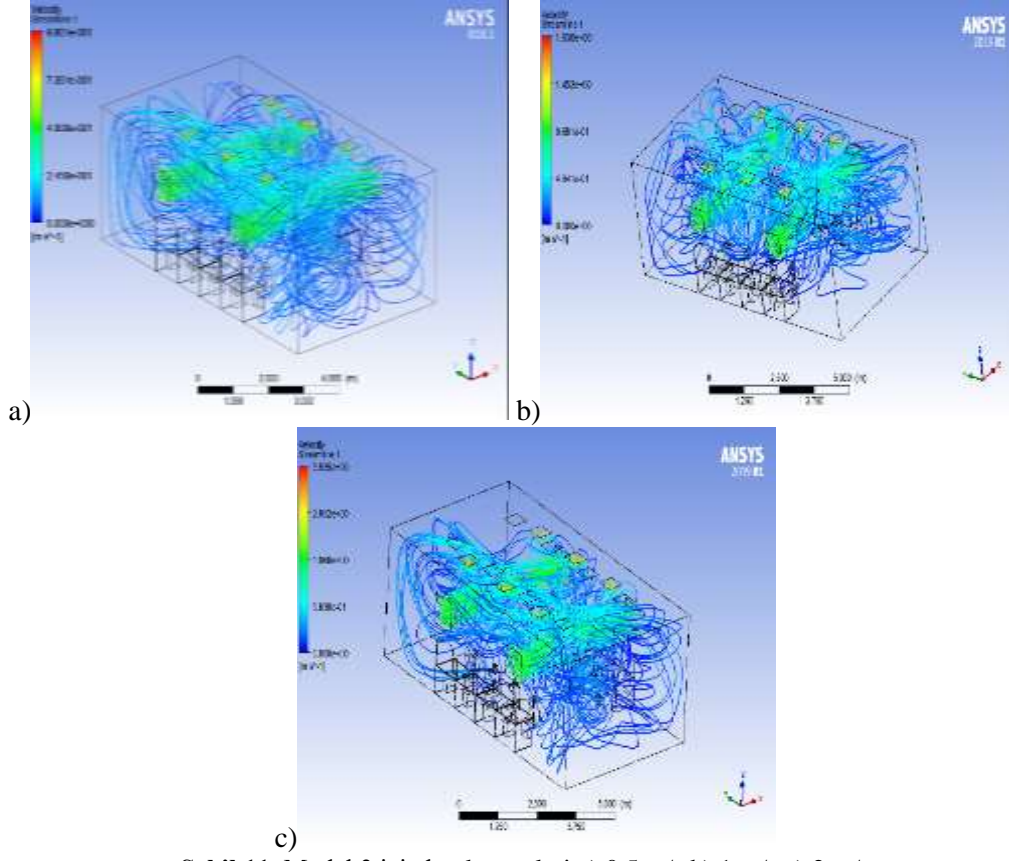
Model 4 için farklı üfleme hızlarında sıcaklık ve hız dağılımı Şekil 12 -13'de verilmiştir. Üfleme hızı 0.5m/s iken, üfleme menfezi bölgesinde sıcaklık 295 K civarında olup, ofisin alt bölgelerinde ise 292 K civarında bulunmaktadır. Çalışma masalarının bulunduğu bölgelerde de sıcaklıklar 284 civarında kalmıştır. Üfleme hızı 0.5 m/s iken, üfleme menfezi çıkışlarında yan duvarlara doğru laminar akış şartlarının oluştuğu görülmektedir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 0.25 m/s civarında, alt bölgede ise 0.22 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur. Ayrıca, egzoz menfezi giriş bölgesinde hızın arttığı ve 0.40 m/s' lik hız oluştuğu görülmektedir.

Üfleme hızı 1 m/s iken sıcaklık kontör aralığının genişlediği ve tüm üfleme hızlarında üfleme menfezi bölgesinde sıcaklıklar 295 K civarında ve ofisin içinde ise sıcaklıklar 284-294 K arasında olmuştur. Üfleme hızı 1 m/s için üfleme menfezinden çıkan havanın ofisin tüm bölgelerinde dengeli bir şekilde dağıldığı, ölü bölgelerin oluşmadığı ve hava akım konturlarının oldukça yoğun bir şekilde olduğu gözlemlenmiştir.

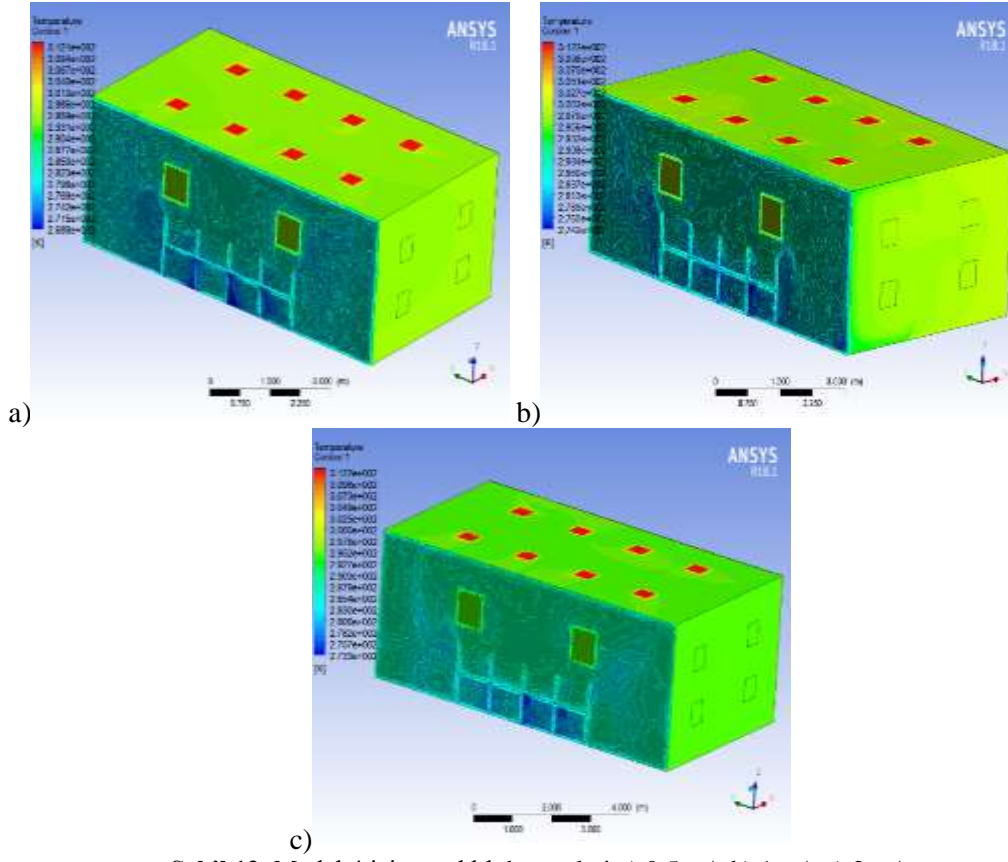


Şekil 10. Model 3 için sıcaklık konturleri a)0.5 m/s b) 1 m/s c) 2 m/s

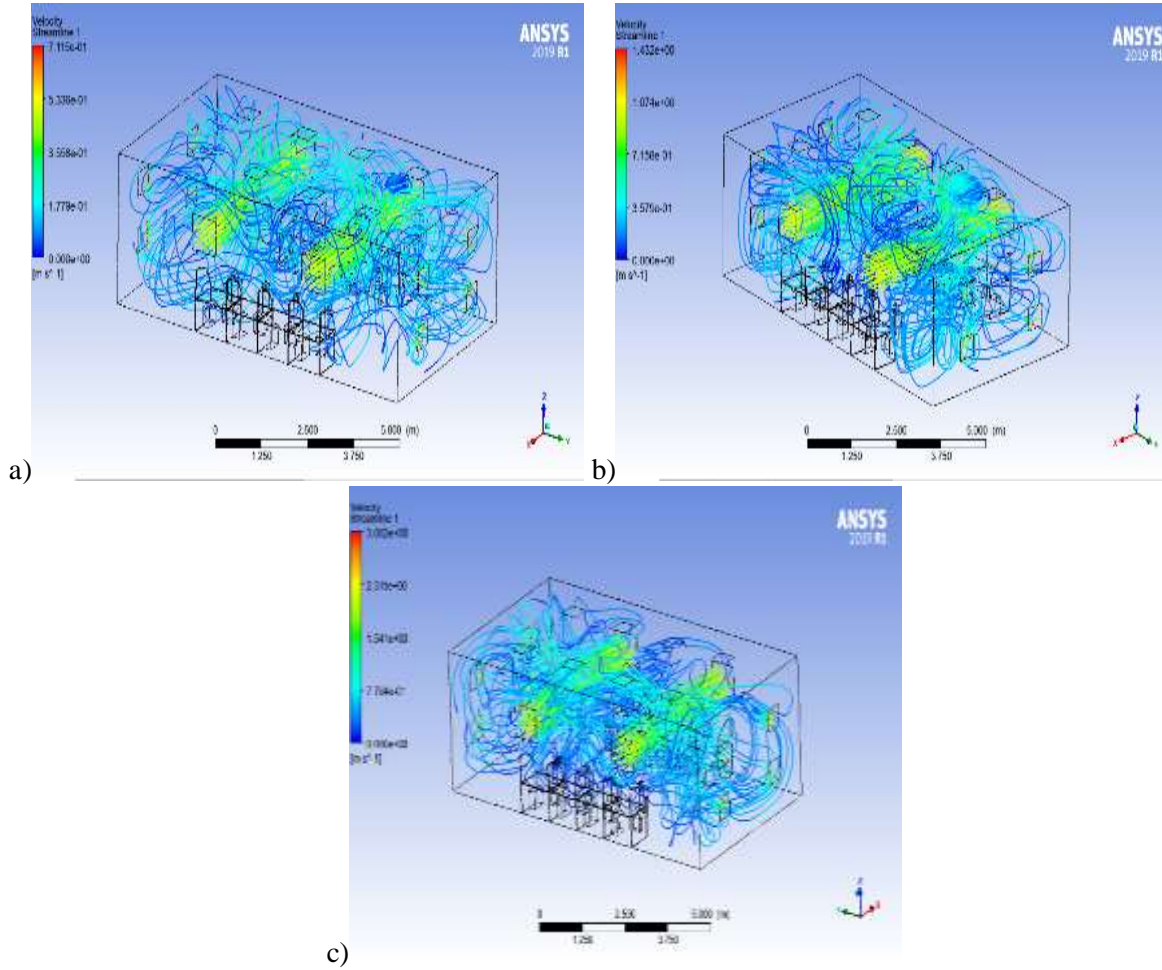
Üfleme hızı 2 m/s iken, üfleme menfezi bölgesinde sıcaklık 294 K civarında olup, ofisin alt bölgelerinde ise 287 K civarında bulunmaktadır. Çalışma masalarının bulunduğu bölgelerde de sıcaklıklar 290 K civarında kalmıştır. Üfleme hızı 2 m/s iken, üfleme menfezi çıkışlarında laminar akış şartlarının oluştuğu görülmektedir. Kabin bölgesinde üst kısımda hızın 1.45 m/s civarında, alt bölgede ise 0.97 m/s civarında düşük hızlar oluşmuştur. Ayrıca, egzoz menfezi giriş bölgesinde hızın arttığı ve 1.50 m/s' lik hız oluştuğu görülmektedir.



Şekil 11. Model 3 için hız konturleri a) 0.5 m/s b) 1 m/s c) 2 m/s



Şekil 12. Model 4 için sıcaklık konturleri a) 0.5 m/s b) 1 m/s c) 2 m/s



Şekil 13. Model 4 için hız konturları a) 0.5 m/s b) 1 m/s c) 2 m/s

5. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmada kış iklimlendirilmesinde kabin tipi ofis içindeki sıcaklık ve hız dağılımları mahaldeki konfor şartları için sayısal olarak belirlenmiştir. Ayrıca menfez konumlarının değiştirilmesi ile oluşan hava hareketi incelenmiş ve ofisin içerisinde alınan sıcaklık konturları ve hız konturları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Standard k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Ofis içi sıcaklık değeri 22 °C' lik olacak şekilde 4 farklı üfleme ve egzoz menfezlerinin yerleşimine göre ve farklı 3 üfleme hızına göre mahal içerisindeki konfor şartları elde edilmiştir. Analizler neticesinde uygun menfez konumları ile sıcaklık ve hız grafikleri ve verileri yorumlanıp üfleme hızının değişmesi durumunda sıcaklık ve hız vektörleri yorumlanmıştır.

Yapılan çözümlerinde en uygun menfez yerleştirme düzeninin tavadan üfleme ve yan duvarlarda egzoz yapılması durumu olduğu görülmüştür. Bu tasarım şartlarında oda içerisinde simetrik bir hava dağılımı oluşmuştur. Tüm modellerde havanın mahal içerisine homojen olarak dağıldığı ve kabin içerisinde ve dışında hava akış hızları rahatsız edici seviyenin altında kaldığı görülmüştür. 3 farklı hızda yapılan çözümlerde üfleme menfezi etrafında jet akış oluşmuş, kabin çevresinde genellikle 0.1 m/s' nin altında düşük hızlar oluşmuştur.

Ayrıca, sıcaklıklar açısından menfez konumlarının değişmesiyle ofis içerisindeki sıcaklık dağılımının etkilendiği belirlenmiştir. Tüm modellerde sıcaklık dağılımların konfor açısından uygun olduğu ve aşırı bir sıcaklık yoğunlaşmasının olduğu bölgenin oluşmadığı gözlenmiştir. Ayrıca, sıcaklık ve hız dağılımı ile ilişkili olarak kabin bölgesindeki konfor açısından en uygun olduğu değerler tüm üfleme hızları için Model 2 durumunda elde edilmiştir.

Kabin tipi ofislerde incelenen hava hareketi, sıcaklık dağılımının konfora etkisi birçok parametreye bağlı olup problem kompleks bir çözüm gerektirmektedir. Ofis içerisindeki ve kabin bölgesindeki akışın türbülanslı bir akış olmasından ve üç boyutlu bir çözüm gerektirdiğinden sayısal

çözümlerin çok uzun zaman almasından dolayı, parametrik çalışma yapmak zor olmaktadır. Yapılacak çalışmalarda menfez sayılarının artırılması, menfez boyutlarının değiştirilmesi ve daha farklı ve sayılardaki hızlarda farklı hava değişim sayıları ile ofis içerisinde çalışanların dışındaki insanlarda dikkate alınarak çalışmalar yapılabilir. Dolayısıyla yapılan bu çalışmanın farklı mekânların iklimlendirilmesinde istenilen konfor şartlarının sağlanması açısından özellikle kabin içi hava hızı ve sıcaklık dağılımlarına menfez yerleşiminin ve hız değerlerinin etkisini göstermesi açısından önemli bir kaynak olabilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma, “Kabin tipi ofislerin iklimlendirilmesinde hız ve sıcaklık dağılımlarının sayısal olarak incelenmesi” başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazarlar bu çalışmanın Araştırma ve Yayın Etiğine uygun olduğunu beyan ederler.

Kaynaklar

- [1] Sempey A., Inard C., Ghiaus C., Allery C. 2009. Fast simulation of Temperature Distribution in Air Conditioned Rooms by Using Proper Orthogonal Decomposition. *Building and Environment*, 44(2): 280-289.
- [2] Kılıç M., Aktaş M., Sevilgen G. 2019. Liquid Cooling Performance of the Single and Multi-Led Circuit Boards Used in Automotive Lighting Systems. 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies, 18-21 Haziran, Brac adası, 1-5.
- [3] Myhren J. A., Holmberg S. 2014. Flow Patterns and Thermal Comfort in A Room With Panel, Floor and Wall Heating. *Energy and Buildings*, 40(4): 524-536.
- [4] Gürbüz H., Akçay İ.H., Asghar H., Ali Q.A. 2016. Analysis of Bus Air Conditioning System by Finite Elements Method (ANSYS). *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 5(3):115-124.
- [5] Karyono T. H. 2015. Predicting Comfort Temperature in Indonesia, An Initial Step to Reduce Cooling Energy Consumption. *Buildings*, 5:802-813.
- [6] Yasuhiro S., Aisaka, K. 2018. Novel Thermal Analysis Model of the Foot-Shoe Sole Interface during Gait Motion.
- [7] Tso C. P., Xu G. P., Tou K.W. 1999. An Experimental Study on Forced Convection Heat Transfer from Flush-Mounted Discrete Heat Sources. *J. Heat Transfer*, 121(2): 326-332.
- [8] Lin W., Armfield S.W. 2001. Natural Convection Cooling of Rectangular and Cylindrical Containers. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 22(1): 72-81.
- [9] Tric E., Labrosse G. 2000. A First Incursion into The 3D Structure of Natural Convection of Air in a Differentially Heated Cubic Cavity, from Accurate Numerical Solutions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(21): 4043-4056.
- [10] Yüce B. E., Pulat E. 2019. Alttan Isıtma Sisteminin Kullanıldığı Bir Ofis Odasında Isıl Konfor ve İç Hava Kalitesinin Sayısal Olarak İncelenmesi. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2019, İzmir, 1094-1102.
- [11] Düz H. 2013. Giriş ve Tam Gelişmiş Akış Bölgesinde Laminar-Türbülans Geçiş Özelliklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 240s, Elazığ.

Araştırma Makalesi / Research Article

Gövde Borulu Isı Değiştiricilerinde Farklı Tip Şaşırtma Levhalarının Isı ve Akış Analizi

Tuğçe KARATAŞ*, İshak Gökhan AKSOY

*İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-5261-714X)(ORCID: 0000-0002-8798-5847)*

Öz

Gövde – boru tipi ısı değiştirici tasarımları hem analitik yöntemlerle hem de hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımları ile sayısal olarak yapılabilmektedir. Bu çalışmada model olarak küçük boyutlardaki gövde – boru tipi bir ısı değiştirici tasarlanmıştır. Modellemede bir gövde, bir boru geçişli gövde – boru tipi ısı değiştirici kullanılmıştır. Yapılan çalışmada gövde içindeki boruların yüzey sıcaklığı sabit kabul edilmiş, sadece gövde tarafı akış analizi gerçekleştirilerek, ısı taşınım katsayısı ve akış özellikleri incelenmiştir. Farklı şaşırtma levha tipleri, akış hızları, türbülans modelleri, ağ boyutları kullanılarak gövde tarafı basınç düşümleri ve ısı taşınım katsayıları için ANSYS Fluent programında HAD analizleri yapılmıştır. Tek parçalı şaşırtma levhaları için elde edilen sayısal sonuçlar Kern analitik yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tek parçalı, disk ve halka şeklindeki şaşırtma levhası kullanılan gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümü incelenmiştir. Ağ yapısının ısı transferine olan etkisi incelenip sıkı ağ yapısının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Türbülans modellerinin karşılaştırılmaları yapıp daha iyi sonuç veren $k - \epsilon$ türbülans modeli diğer analizlerde kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gövde – boru tipi ısı değiştirici, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), tek parçalı, disk ve halka şaşırtma levhası

Heat and Flow Analysis of Different Type Baffle in Shell and Tube Heat Exchanger

Abstract

Shell - tube heat exchanger designs can be performed both analytical methods and numerical methods by using the computational fluid dynamics (CFD) software. In this study, a small size shell - tube type heat exchanger was designed as a model. In the modelling, shell and tube heat exchanger with one shell pass and one tube pass was used. In the performed study, the surface temperature of the tubes in the shell was assumed to be constant, only shell side flow analysis was performed and shell side heat transfer coefficient and flow properties were investigated. CFD analysis were performed by using ANSYS Fluent to determine the pressure drop and heat transfer coefficient by using different flow velocity values, turbulence models, mesh, baffle types and numerical results obtained for single baffle were compared with Kern analytical method results. Heat convection coefficient and pressure drop were investigated in using single, disc and doughnut baffle. The effect of mesh on heat transfer was examined and it was seen that fine mesh gave better results. Comparisons of turbulence models were made and the $k - \epsilon$ turbulence model which gives better results used in all analyzes.

Keywords: Shell and tube heat exchanger, computational fluid dynamics (CFD), single, disc and doughnut baffle

1. Giriş

Isı değiştiricileri farklı sıcaklıklarda, birbirinden katı cidar ile ayrılmış iki akışkan arasındaki ısı transferini sağlayan cihazlardır. Isı değiştiricileri ısıtma, soğutma, havalandırma, ısı depolama sistemleri gibi alanlarda kullanılmaktadır. Gövde – boru tipi ısı değiştiricileri; gövde eksenine paralel olarak

* Sorumlu yazar: tugcek001@gmail.com

Geliş Tarihi: 01.02.2021, Kabul Tarihi: 17.08.2021

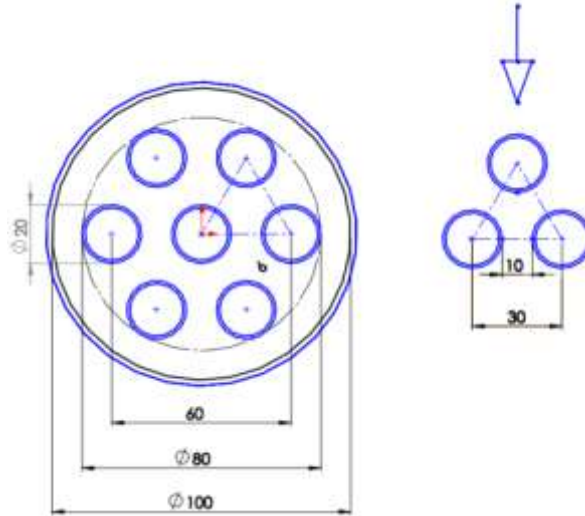
yerleştirilmiş çok sayıda borulardan oluşmaktadır. Bir akışkan boru içerisinden, diğeri boruların dışında gövde boyunca akarken ısı transferi meydana gelir. Gövde – boru tipi ısı değiştiricileri oldukça büyük ısı transfer alanına sahip olmaları, kolay temizlenebilir olma özellikleri ile tercih edilmektedir. Isı transferini iyileştirmek, borulara destek olmak, borular arasındaki uniform aralığı korumak, gövde tarafındaki akışkanı borulara göre paralel ve çapraz akmaya zorlayacak şekilde gövde içerisine şaşırtma levhaları yerleştirilir [1]. Şaşırtma levhası, akışkanın hareketini etkileyip türbülans oluşturmaktadır. Türbülansın artması ısı transferini arttırmaktadır. Gövde çapı, boru çapı, uzunluğu, şaşırtma levhası tipi, sayısı, kesme oranının birbiriyle olan kombinasyonlarıyla verimli bir ısı transferi gerçekleşecektir. Değişken parametrelerin sayısal analizleri HAD yöntemiyle yapılarak sonuçlar alınabilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle deney maliyetlerinden, zamandan tasarruf sağlanmasına rağmen, sayısal sonuçların deneysel ve analitik sonuçlarla doğrulanması gerekir. Yapılan çalışmalarda türbülans modelleri için sayısal analizler yapılmış, yapılan analizler sonucunda en uygun türbülans modeli olarak $k - \epsilon$ modeli seçilmiştir [2]. Standart $k - \epsilon$ türbülans modelinde; k : türbülans kinetik enerjisini ϵ : kinetik enerjinin yayılım hızını ifade eder. Türbülans modellerinin ısı transferindeki öneminin araştırılması yapılmış, farklı türbülans modelleri kullanılarak yapılan analizlerde $k - \epsilon$ modelinin en uygun model olduğu belirlenmiştir [3]. Şaşırtma levha tiplerinin ısı transferine etkisi araştırılmış, iki farklı şaşırtma levhası kullanılarak (perde desenli, düz) aynı şartlar altındaki sonuçlara bakılmış, perde desenli levhanın daha verimli olduğu belirlenmiştir [4]. Tek parçalı, iki parçalı, üç parçalı, helisel, flower tipi şaşırtma levhalı ısı değiştiricilerinin HAD analizi yapılarak ısı transfer katsayıları ve basınç düşümleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda tek parçalı şaşırtma levhasının en verimli olduğu ortaya çıkmıştır [5]. Şaşırtma levhalarının yatay ve dikey yerleştirilmesi incelenmiş. Yatay yerleştirilmesinin basınç düşümü ve Nusselt sayısının arttığı gözlemlenmiştir [6]. Şaşırtma levhalarının yerleştirilme açıları incelenmiş yapılan analizler sonucunda 20° 'lik açının optimum olduğu belirlenmiştir [7]. Helisel şaşırtma levhasının ısı transferine etkisi araştırılmış ve helisel tipin türbülansı arttırdığı, ısı transferini iyileştirdiği belirlenmiştir [8]. Tek parçalı, iki parçalı, disk ve halka şeklindeki şaşırtma levhalarının HAD analizleri yapılmış ve yeni geometriler üzerinde çalışmalar yapılmıştır [9]. Tek parçalı, iki parçalı, helisel şaşırtma levhaları arasında karşılaştırmalar yapılmış helisel şaşırtma levhasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [10]. Parçalı, flower, ring, trefoil hole, halka, helisel tipi şaşırtma levhaları kullanılan gövde borulu ısı değiştiricisinde en verimli levhanın helisel olduğu belirlenmiştir [11]. Şaşırtma levhalarının parçalı, helisel olarak yerleştirilmesi, şaşırtma levhaları arası mesafe HAD ve analitik yöntemlerle karşılaştırılması yapılmış helisel yerleştirilmenin parçalı şaşırtma levhasına alternatif olabileceği belirlenmiştir [12]. Boru düzenleri, kesme oranları, levha tiplerinin ısı transferine etkisi incelenmiştir, tek parçalı ve iki parçalı gibi şaşırtma levhalarından optimum olan belirlenmiştir [13]. Gövde borulu ısı değiştiricilerinde farklı tiplerde (tek parçalı, iki parçalı, dikey) şaşırtma levhaları ve farklı şaşırtma levhası kesmeleri kullanarak HAD programı ile sonuçları karşılaştırmıştır [14]. Eliptik ve parçalı şaşırtma levhalı ısı değiştiricisinin HAD ve deneysel sonuçları karşılaştırılmış eliptik levhanın daha iyi ısı transferi sağladığı görülmüştür.

Bu çalışmada katı modeli oluşturulan gövde – boru tipi ısı değiştiricilerinde tek parçalı, disk ve halka şeklindeki şaşırtma levhası kullanılmasının HAD analiz sonuçları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı hız, türbülans ve ağ yapısı kullanılan modelin hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programında sayısal analizleri yapılmıştır. Oluşturulan modelde; ağ yapıları ve sınır şartları belirlenip analiz başlatılmıştır. Model karmaşık yüzeylerden oluştuğu için ağ yapısı; tetragonal seçilmiştir. Boru yüzeyleri, gövde ayrı olarak seçilen ağ boyutlarıyla oluşturulmuştur. Ağ boyutu, ağ kalitesi değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Farklı şaşırtma levha tiplerine göre oluşturulan ağların eleman sayıları farklı çıkmıştır. Eleman sayısı; tek parçalı şaşırtma levhası için ağ boyutlarına göre 145 000 ile 2 258 426, disk ve halka şeklindeki şaşırtma levhası için 90 418 ile 2 290 870 arasında değişmektedir. Skewness oranı 0.79 ile 0.81 arasında değişmektedir. Sınır şartları: akışkanın gövde içerisine giriş sıcaklığı 300 K, giriş hızı dağılımı uniform, kaydırmazlık şartı, sabit duvar sıcaklığı 450 K, türbülans modeli standart $k - \epsilon$, malzeme olarak çelik, akışkan olarak su seçilmiş ve hız değeri değişken olarak belirlenmiştir. Çıkış basıncı 0 olarak alınıp basınç düşümü analizler sonucunda belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda değişken parametrelerin ısı transferine, ısı taşınım katsayısına, basınç düşümlerine olan etkileri incelenmiştir. Sayısal analizler ANSYS 14.5 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Tek parçalı şaşırtma levhalı ısı değiştiricisi için sayısal sonuçlar analitik (Kern) sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

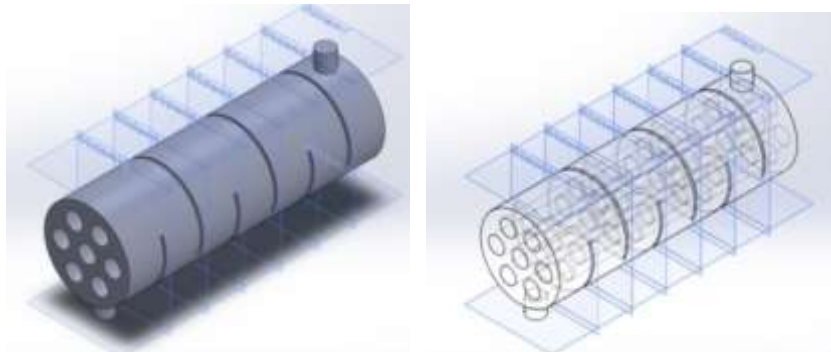
2. Materyal ve Metot

Çalışmada küçük bir gövde – boru tipi ısı değiştiricisinde; tek parçalı, disk ve halka şeklindeki şaşırtma levhaları kullanımının ısı transferine, basınç düşümüne olan etkisi incelenmiştir. Akış analizleri ANSYS Fluent programında yapılmıştır. Sayısal analizin yapılması için gerekli olan katı model (ısı değiştirici) SOLIDWORKS programında çizilmiş ve model ANSYS programına getirilmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) numerik analiz ve algoritmalar kullanılarak akışkan davranışları ile ilgili problemleri, bilgisayar simülasyonları vasıtası ile analiz edip çözme amaçlı bir mühendislik çalışmasıdır. Hesap kolaylığı sağlayan HAD programı, gövde – boru tipi ısı değiştiricilerinin de ısı analizinin yapılmasını sağlamaktadır.

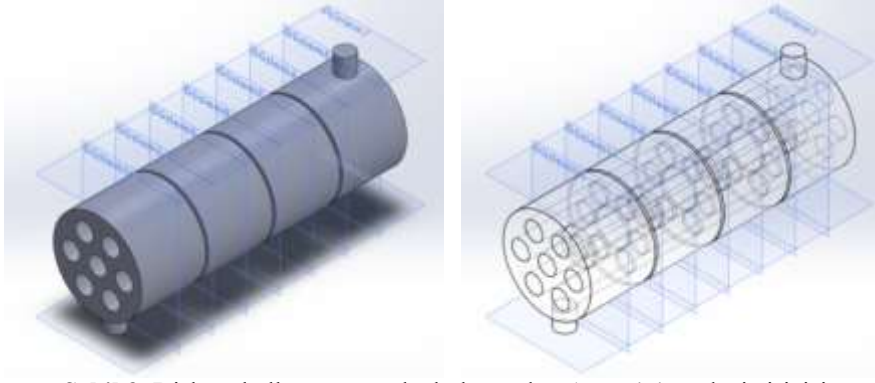
Çalışmada yedi tane borunun üçgenel düzende yerleştirildiği gövde – boru tipi ısı değiştiricisi oluşturulmuştur. İki farklı tipteki şaşırtma levhası kullanılarak oluşturulan gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin HAD analizi yapılmıştır. Şekil 1, Şekil 2’de ve Şekil 3’te boru düzeni, tek parçalı ve disk halka biçimindeki şaşırtma levhası kullanılan gövde – boru tipi ısı değiştiricilerin modellenmesi verilmiştir. Şekil 1’deki boru düzeninde 7 tane boru kullanılmıştır, Boru düzeni = Eşkenar üçgen, Şekil 4, Şekil 5’te tek parçalı (kesme oranı $B_c = \%30$), disk ve halka şaşırtma levhasının şematik resimleri verilmiştir. HAD analizleri yapılırken farklı hız, türbülans modeli, ağ yapısı, iterasyon sayısının analizi nasıl etkilendiği incelenmiştir. HAD programında iterasyon sayıları 100, 2000, 5000, 10000, 15000 alınarak analizler yapılmıştır. HAD programında farklı türbülans modelleri kullanılarak analizler yapıp türbülans modellerinin analize olan etkileri incelenmiştir. $k - \epsilon$ standart türbülans modeli analiz sonuçlarının analitik sonuçlarla daha iyi eşleştiği görülmüştür. Farklı durumlar için yapılan analizlerde $k - \epsilon$ standart türbülans modeli kullanılmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7’de farklı tiplerdeki şaşırtma levhası kullanılan ısı değiştiricisinin Fluent programında oluşturulan ağ yapısı verilmiştir. Model olarak belirlenen gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin ağ yapısı belirlenip, giriş parametreleri girilip, analize başlanmıştır. Tek parçalı şaşırtma levhasının HAD uygulamasından alınan sonuçları Kern analitik yöntemiyle karşılaştırılmıştır.



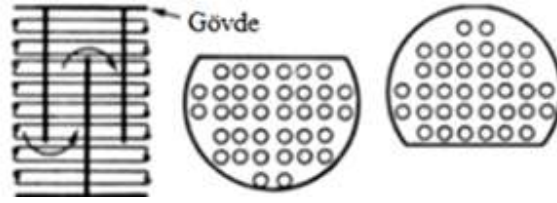
Şekil 1. Gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin boru düzeni verileri



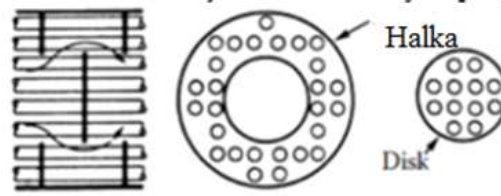
Şekil 2. Tek parçalı (altı adet) şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisi



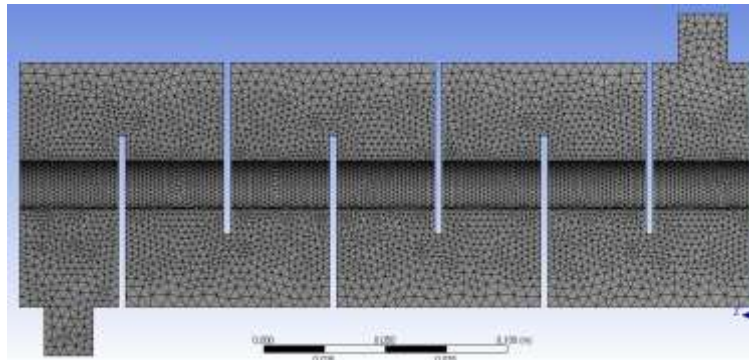
Şekil 3. Disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değıştircisi



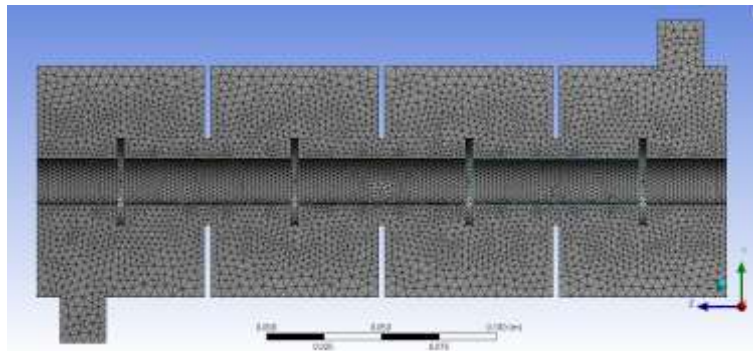
Şekil 4. Tek parçalı şaşırtma levhası



Şekil 5. Disk ve halka şaşırtma levhası



Şekil 6. Tek parçalı (6 adet) şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değıştircisinin ađ yapısı



Şekil 7. Disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değıştircisinin ađ yapısı

Tek parçalı, $B_c = \%30$ kesme oranlı, $N_b = 6$ adet şaşırtma levhasının kullanıldığı gövde – boru tipi ısı değiştiricilerinin Kern yöntemine göre ısı taşınım katsayısının hesabı aşağıda verilmiştir. Gövde tarafı ısı taşınım katsayısı için aşağıdaki korelasyon denklemi kullanılmıştır [16].

$$Nu = \frac{h_o D_e}{k} = 0.36 \left(\frac{D_e G_s}{\mu} \right)^{0.55} \left(\frac{c_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (1)$$

$$2 \times 10^3 < Re_s = \frac{G_s D_e}{\mu} < 1 \times 10^6$$

Burada, D_e gövde tarafı eşdeğer çap, G_s is gövde tarafı kütle hızı ve Re_s gövde tarafı Reynolds sayısıdır. 30° üçgen adımlı boru düzeni için eşdeğer çap ve kütle akış hızı Eşitlik (2) ve (3) de verilmiştir.

$$D_e = \frac{4 \times \text{Serbest akış alanı}}{\text{Islak çevre}} = \frac{4 \left(\frac{\sqrt{3} P_t^2}{4} \right) - \frac{\pi d_o^2}{8}}{\pi d_o / 2} \quad (2)$$

$$G_s = \frac{\dot{m}}{A_s} \quad (3)$$

Burada, d_o : boru dış çapı, P_t : boru adımı, \dot{m} : kütleli debi, A_s : gövde merkezindeki akış kesit alanıdır. Gövde merkezindeki akış kesit alanı Eşitlik (4)' de verilmiştir.

$$A_s = (D_s - N_{tc} d_o) B \quad (4)$$

Eşitlik (4) de, D_s : gövde iç çapı, N_{tc} : gövde merkezindeki boru sayısı ve B şaşırtma levha aralığı olarak tanımlanmaktadır.

Sayısal olarak HAD programından alınan sonuçlara göre, ısı değiştiricisinin ısı taşınım katsayısı ise toplam ısı geçiş katsayısı denklemi kullanılarak hesaplanabilir. Toplam ısı geçiş katsayısı denklemi ısı değiştiricilerinde,

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{d_o \cdot \ln(d_o/d_i)}{2k} + \frac{d_o}{d_i} \frac{1}{h_i} \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada, h_o ve h_i sırasıyla gövde ve boru tarafı ısı taşınım katsayısıdır. Boru yüzey sıcaklığı sabit olduğundan, ısı iletim direnci ve boru tarafı taşınım direnci (h_i) sadeleştirilirse, toplam ısı geçiş katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} \quad U = h_o \quad (6)$$

Eğer enerji ve ısı transfer denklemleri kullanılarak ısı taşınım katsayısı,

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T_s = U A \Delta T_{ln} = h_o A \Delta T_{ln} \quad (7)$$

$$h_o = \frac{Q}{A \Delta T_{ln}} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T_c}{A \Delta T_{ln}} \quad (8)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada, $\Delta T_c = T_{c2} - T_{c1}$: gövde tarafı akışkanın çıkış ve girişindeki sıcaklık farkıdır, ΔT_{ln} logaritmik ortalama sıcaklık farkı ve A toplam ısı transfer yüzey alanıdır. Yapılan sayısal hesaplamalarda HAD programından akışkanın çıkış sıcaklığı alınarak, logaritmik ortalama

sıcaklık farkı Eşitlik (9) dan hesaplanmıştır. Eşitlik (8) deki toplam ısı transfer yüzey alanı ise Eşitlik (10) da verilmiştir.

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_w - T_{c1}) - (T_w - T_{c2})}{\ln \frac{(T_w - T_{c1})}{(T_w - T_{c2})}} \quad (9)$$

$$A_o = N\pi d_o L \quad (10)$$

Burada, T_w : boru yüzey sıcaklığı, N: boru sayısı ve d_o : boru dış çapıdır.

Yapılan analitik hesaplamada, gövde tarafı akışkan su olarak alınmış, suyun çıkış sıcaklığı, boru yüzey sıcaklığı ve suyun giriş sıcaklığının aritmetik ortalaması alınarak ilk önce kabul edilmiştir. Daha sonra ortalama akışkan sıcaklığı hesaplanarak suyun termofiziksel özellikleri Excel programında özellikler için yazılan makro programlar kullanılarak interpolasyonla akışkan tablosundan hesaplanmıştır. Akışkan özellikleri ile Eşitlik (1)' den Nusselt sayısı (Nu) ve ısı taşınım katsayısı (h_o) hesaplanmıştır. Daha sonra, hesaplanan h_o değeri Eşitlik (7)' de yerine yazılarak tekrar Newton – Raphson yöntemi ile gövde tarafı akışkanın çıkış sıcaklığı hesaplanmış ve kabul edilen değerle karşılaştırılmıştır. İteratif bir işlemle hesaplar tekrarlanarak, analitik olarak suyun çıkış sıcaklığı bulunmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmalarda; tek parçalı, disk ve halka şaşırtma levhası kullanılarak oluşturulan gövde – boru tipi ısı değiştiricilerinin analiz sonuçlarının ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne olan etkileri incelenmiştir. Farklı hız, türbülans, ağ yapısı, iterasyon sayılarının ısı transferine olan etkileri incelenmiştir.

Tek parçalı, $B_c = \%30$ kesme oranlı, $N_b = 6$ adet şaşırtma levhasının kullanıldığı gövde – boru tipi ısı değiştiricilerinin Kern yöntemine göre ısı taşınım katsayısının hesabı aşağıda verilmiştir. Gövde tarafı ısı taşınım katsayısı için aşağıdaki korelasyon denklemi kullanılmıştır [16].

Yapılan analitik ve sayısal hesaplamalarda, gövde – boru tipi ısı değiştirici modeli için aşağıda verilen özellikler sabit alınmıştır:

Boru düzeni = Eşkenar üçgen, gövde çapı: $D_s = 0.100 \text{ m}$, boru çapı: $d_o = 0.020 \text{ m}$, boru sayısı: $N_T = 7$, boru geçiş sayısı: $N_P = 1$, boru uzunluğu: $L = 0.3 \text{ m}$, gövde tarafı giriş sıcaklığı: $T_{c1} = 300 \text{ K}$, boru yüzey sıcaklığı: $T_w = 450 \text{ K}$

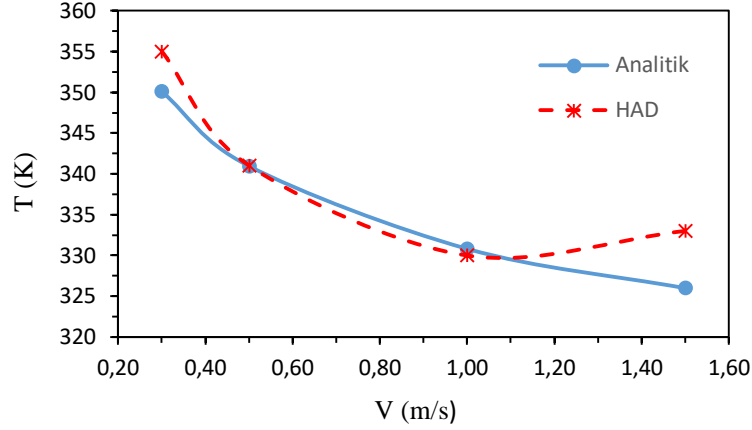
3.1. Tek Parçalı Şaşırtma Levhalı Gövde – Boru Tipi Isı Değiştiricileri

Yapılan hesaplamalarda $B_c = \%30$ kesme oranlı, $N_b = 6$ adet şaşırtma levhası kullanılarak oluşturulan tek parçalı şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştirici için analiz sonuçları sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Tek parçalı şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisi kullanılarak yapılan analizlerde türbülans modelleri, ağ yapısı, iterasyon sayısının ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne etkisi incelenmiş, optimum değerler belirlenerek diğer analizlerde o değerler kullanılmıştır.

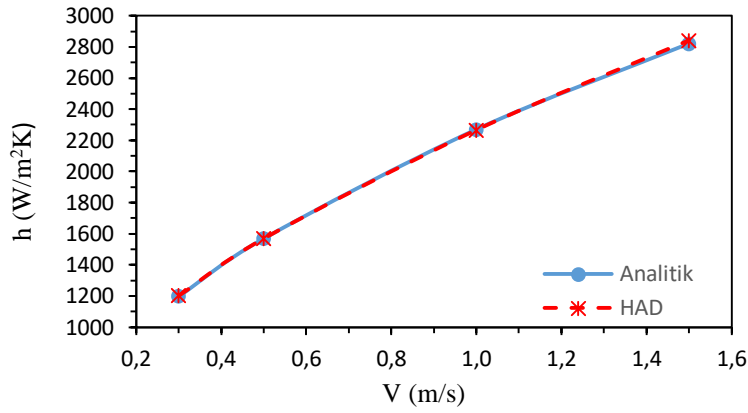
Tablo 1'de hız değerinin artması ile basınç düşümü, ısı taşınım katsayısı ve ısı transfer miktarı artmıştır, çıkış sıcaklığı azalmıştır. Sayısal ve analitik sonuçların birbirleriyle uyum gösterdiği görülmüştür. Sırasıyla Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10'da sayısal ve analitik sonuçlara göre çıkış sıcaklıkları, ısı taşınım katsayısı, basınç düşüm değişimleri verilmiştir.

Tablo 1. Farklı giriş hızına göre HAD ve Kern sonuçları ($N_b = 6$, $B_c = \%30$)

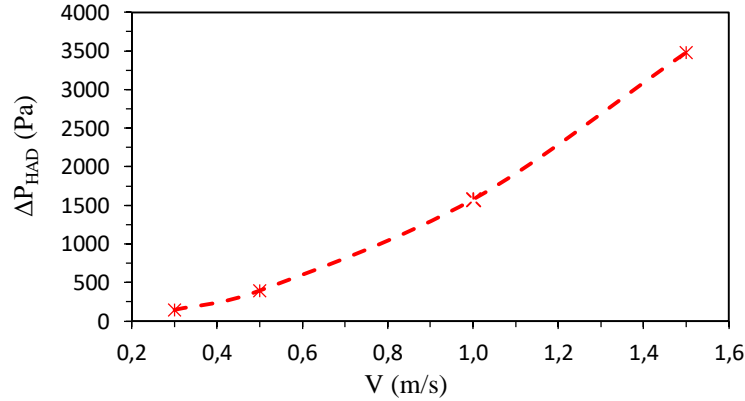
Hız (m/s)	$T_{c2,analitik}$ (K)	$T_{c2,HAD}$ (K)	$h_{analitik}$ (W/m ² K)	h_{HAD} (W/m ² K)	ΔP_{HAD} (Pa)
0.3	350.1	355	1199	1204	147
0.5	340.97	341	1570.02	1571.01	398
1.0	330.84	330	2270	2267	1578
1.5	326.01	333	2820	2841	3482



Şekil 8. Tek parçalı şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin giriş hızına göre çıkış sıcaklıkları



Şekil 9. Tek parçalı şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin giriş hızına göre ısı taşınım katsayıları



Şekil 10. Tek parçalı şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin giriş hızına göre basınç düşümleri

Tablo 2’de ağ yapısının sıkılaşması ile eleman sayısı artmış, eleman sayısının artması ile analiz süresi artmıştır. Analitik sonuçlarla HAD sonuçlarının uyumlulukları değerlendirildiğinde ağ boyutu boru yüzeyinde 0.002 m gövde içerisinde de 0.005 m alınabilir. Yapılan diğer analizlerde 0.002 - 0.005m olarak belirlenen ağ boyutu kullanılmıştır.

Tablo 2. Farklı ağ yapılarına göre HAD ve Kern sonuçları ($N_b = 6$, $B_c = \% 30$, $V = 1$ m/s)

Ağ Yapısı (m)	$T_{c2,analitik}$ (K)	$T_{c2,HAD}$ (K)	$h_{analitik}$ (W/m²K)	h_{HAD} (W/m²K)	ΔP_{HAD} (Pa)
0.002 – 0.005	330.84	330	2270	2267	1578
0.004 – 0.008	330.84	332	2270	2273	1552
Kaba ağ-düşük pürüzlülük	330.84	333	2270	2276	1529

Tablo 3'te HAD programında farklı türbülans modelleri kullanılarak, türbülans modellerinin analiz sonuçlarına etkisi incelenmiştir. $k - \varepsilon$ standart türbülans modelinde analitik ve sayısal sonuçların birbirleriyle daha uyumlu olduğu görülmüştür. Farklı durumlar için yapılan analizlerde $k - \varepsilon$ standart türbülans modeli kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3. Farklı türbülans modellerine göre HAD ve Kern sonuçları ($N_b = 6$, $B_c = \% 30$, $V = 1$ m/s)

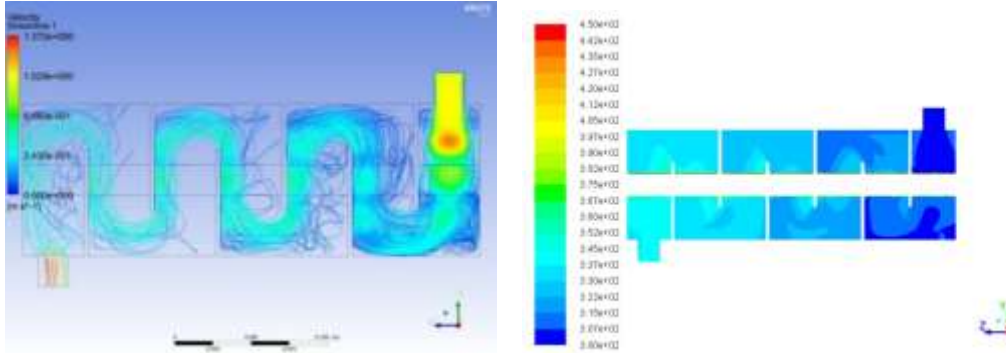
Türbülans modeli	$T_{c2,analitik}$ (K)	$T_{c2,HAD}$ (K)	$h_{analitik}$ (W/m ² K)	h_{HAD} (W/m ² K)	ΔP_{HAD} (Pa)
$k - \varepsilon$ standart	330.84	330	2270	2267	1578
$k - \varepsilon$ realizable	330.84	334	2270	2279	1542
$k - w$ standart	330.84	334	2270	2279	1463
Spalart Allmaras	330.84	329	2270	2265	1421

Tablo 4'te iterasyon sayısının artması ile analiz süreleri artmıştır. İterasyon sayısı belirli seviyeye geldikten sonra sonuçların çok fazla değişmediği ve analizin doğrulandığı görülmüştür. Yapılacak diğer analizlerde 10000 iterasyon sayısı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 4. Farklı iterasyon sayılarına göre HAD ve Kern sonuçları ($N_b = 6$, $B_c = \% 30$, $V = 1$ m/s)

İterasyon Sayısı	$T_{c2,analitik}$ (K)	$T_{c2,HAD}$ (K)	$h_{analitik}$ (W/m ² K)	h_{HAD} (W/m ² K)	ΔP_{HAD} (Pa)
100	330.84	356	2270	2337	2030
2000	330.84	334	2270	2279	1560
5000	330.84	330	2270	2267	1578
10000	330.84	334	2270	2279	1565
15000	330.84	334	2270	2279	1565

Şekil 11'de HAD programından alınan raporlara göre; tek parçalı şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin hız akım çizgileri ve sıcaklık dağılımları verilmiştir.



Şekil 11. Tek parçalı şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin hız akım çizgileri ve sıcaklık dağılımı

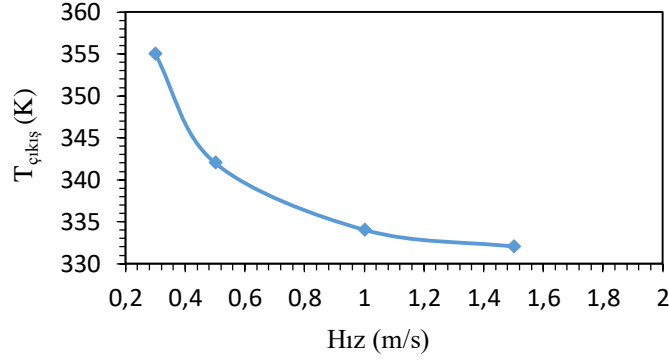
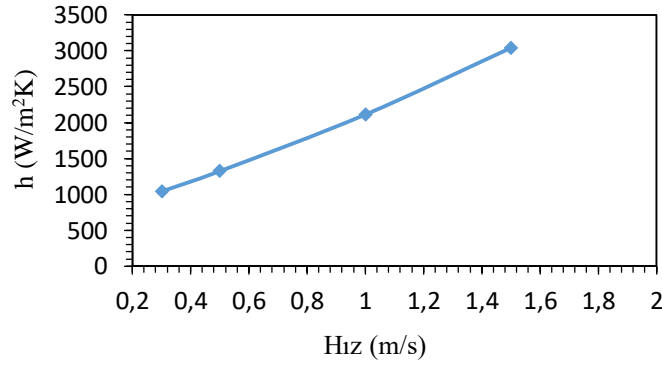
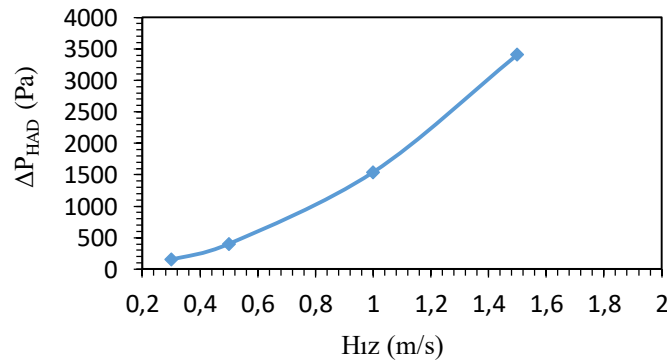
3.2. Disk ve Halka Şaşırtma Levhalı Gövde – Boru Tipi Isı Değiştiricileri

Disk ve halkalı şaşırtma levhası kullanılarak oluşturulan gövde – boru tipi ısı değiştiricisinde HAD analizleri yapılmış analiz sonuçları sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5'te giriş hızı arttıkça çıkış sıcaklığının azaldığı, ısı taşınım katsayısının ve basınç düşümünün arttığı görülmüştür. Sırasıyla Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14'de analitik sonuçlara göre çıkış sıcaklıkları, ısı taşınım katsayısı, basınç düşüm değişimleri verilmiştir. Hızın artmasıyla, çıkış sıcaklığı azalmıştır, ısı taşınım katsayısı artmıştır, basınç düşümü artmıştır.

Tablo 5. Farklı giriş hızına göre HAD

Hız (m/s)	$T_{c2,HAD}$ (K)	h_{HAD} (W/m ² K)	ΔP_{HAD} (Pa)
0.3	355	1042	147
0.5	342	1324	400
1.0	334	2111	1538
1.5	332	3038	3405

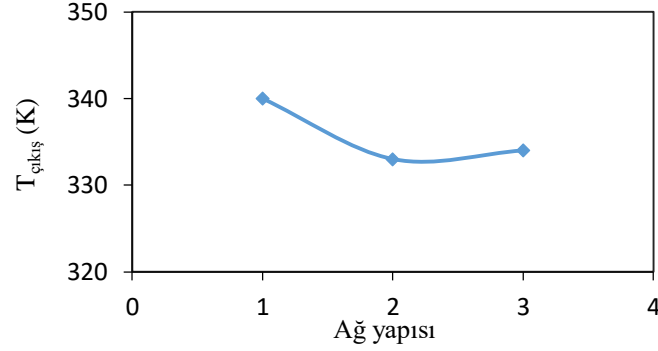
**Şekil 12.** Disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değıştiricisinin giriş hızına göre çıkış sıcaklıkları**Şekil 13.** Disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değıştiricisinin giriş hızına göre ısı taşıyım katsayıları**Şekil 14.** Disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değıştiricisinin giriş hızına göre basınç düşümleri

Tablo 6'da farklı ağ boyutlarının analize etkileri incelenmiştir. Birinci durumda (0.001 - 0.002 m) çok sıkı mesh (ağ) yapıldığı zaman analiz süresinin arttığı gözlemlenmiştir. İkinci (0.002 - 0.004 m) ve üçüncü (0.002 - 0.005 m) durumlarda analiz sonuçlarının çok fazla değışmediği görülmüştür. Yapılan diğer analizlerde üçüncü durumdaki ağ yapısı kullanılmıştır. Ağ yapısı seçimlerinde boru yüzeyi 0.002 m, gövde içeri 0.005 m alınabilir. Sırasıyla Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17'de analitik sonuçların grafiksel

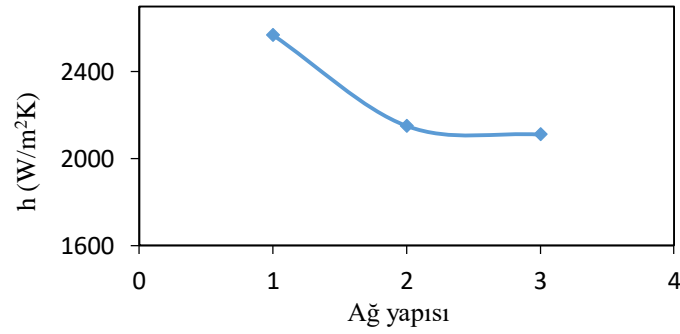
olarak değişimleri verilmiştir. Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17’de ağ yapısı sıklığı azaldıkça çıkış sıcaklığı azalmıştır, ısı taşınım katsayısı azalmıştır, basınç düşümü azalmıştır.

Tablo 6. Farklı ağ yapılarına göre HAD sonuçları ($V=1$ m/s)

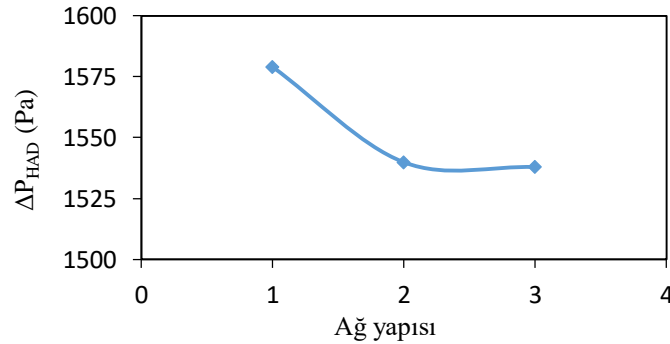
Durum No	Ağ Yapısı (m)	$T_{c2,HAD}$ (K)	h_{HAD} (W/m ² K)	ΔP_{HAD} (Pa)
1.	0.001 - 0.002	340	2570	1579
2.	0.002 - 0.004	333	2151	1540
3.	0.002 - 0.005	334	2111	1538



Şekil 15. Disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin ağ yapılarına göre çıkış sıcaklıkları

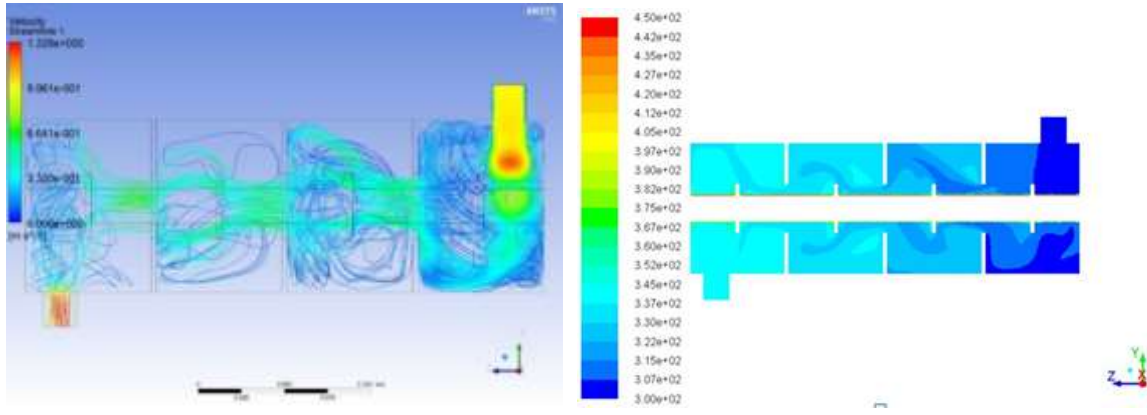


Şekil 16. Disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin ağ yapılarına göre ısı taşınım katsayıları



Şekil 17. Disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin ağ yapılarına göre basınç düşümleri

Şekil 18’de HAD programından alınan raporlara göre; disk ve halka şaşırtma levhalı gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin hız akım çizgileri ve sıcaklık dağılımları verilmiştir.

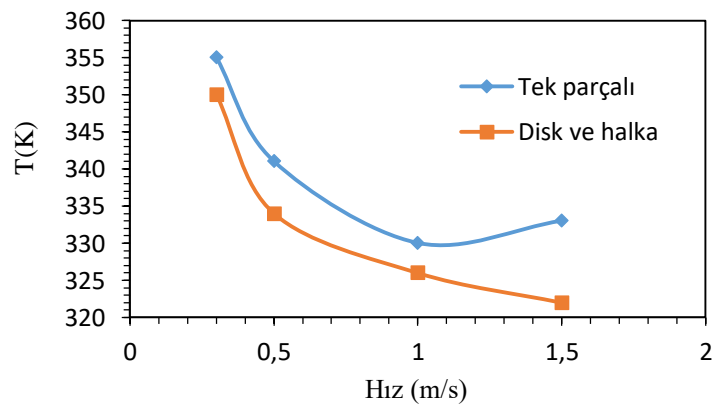


Şekil 18. Disk ve halka şaşırtma levhali gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin hız akım çizgileri ve sıcaklık dağılımı

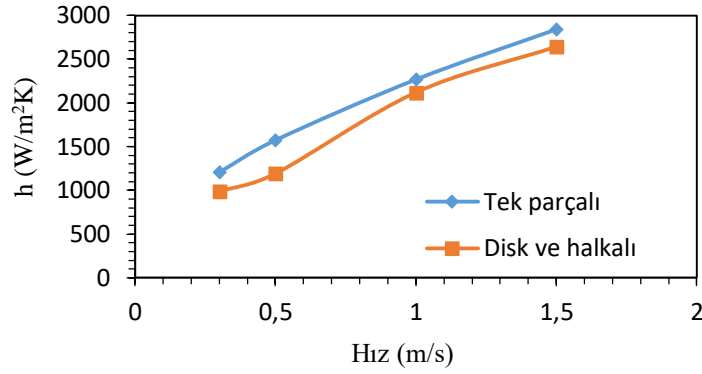
Tablo 7’de farklı tiplerdeki şaşırtma levhalarının akışa etkileri incelenmiş olup şaşırtma levha tiplerinin önemi belirlenmiştir. Sırasıyla Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21’de tek parçalı, disk ve halka biçimindeki şaşırtma levhası kullanılarak oluşturulan gövde – boru tipi ısı değiştiricilerinin farklı hız değerlerine göre çıkış sıcaklıkları, ısı taşınım katsayısı, basınç düşüm değişimleri verilmiştir. Şekil 19’da tek parçalı şaşırtma levhali ve disk halka şaşırtma levhali gövde – boru tip ısı değiştiricisinde hızın artmasıyla çıkış sıcaklığı azalmıştır. Şekil 20’de hızın artmasıyla ısı taşınım katsayısı artmıştır. Şekil 21’de hızın artmasıyla basınç düşümü artmıştır.

Tablo 7. Farklı tip şaşırtma levhalarına göre HAD sonuçları

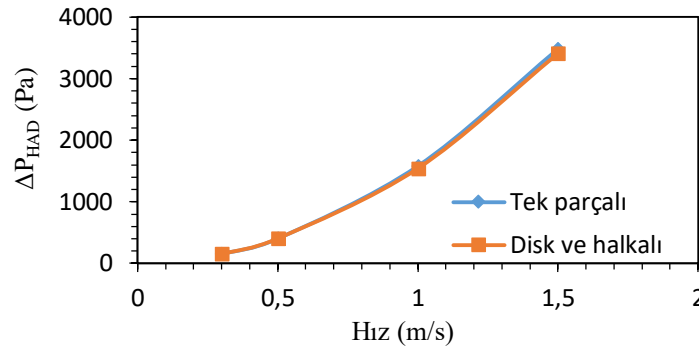
Şaşırtma Levha Tipi	Hız (m/s)	$T_{c2,HAD}$ (K)	h_{HAD} (W/m ² K)	ΔP_{HAD} (Pa)
Tek Parçalı	0.3	355	1204	147
Tek Parçalı	0.5	341	1571	398
Tek Parçalı	1.0	330	2267	1578
Tek Parçalı	1.5	333	2841	3482
Disk ve Halka	0.3	355	1042	147
Disk ve Halka	0.5	342	1324	400
Disk ve Halka	1.0	334	2111	1538
Disk ve Halka	1.5	332	3038	3405



Şekil 19. Şaşırtma levhası tiplerine ve hızlarına göre ısı çıkış sıcaklıkları



Şekil 20. Şaşırtma levhası tiplerine ve hızlarına göre ısı taşınım katsayıları



Şekil 21. Şaşırtma levhası tiplerine ve hızlarına göre basınç düşümleri

4. Sonuçlar ve Öneriler

Isı değiştiricilerinde; şaşırtma levhası eklenerek türbülans oluşturulması sağlanmaktadır. Bunun sonucunda, ısı transferinin arttığı görülmüştür. Bu çalışmada tek parçalı, disk ve halka şeklindeki şaşırtma levhası kullanılmıştır. Şaşırtma levha tiplerinin ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne olan etkisi incelenmiştir. Farklı hız, türbülans modeli, ağ yapısı, iterasyon sayıları alınarak yapılan analizlerin sonuçlarından optimum değerler belirlenmiştir. Akışkanın hız değerinin artması ile basınç düşümü, ısı taşınım katsayısı ve ısı transfer miktarı artmıştır, çıkış sıcaklığı azalmıştır. HAD programında yapılan analizlerde model üzerinde uygulanan ağ boyutunun sıkılaşması ile eleman sayısı artmıştır ve eleman sayısının artması analiz süresini de arttırmıştır. İterasyon sayısının artması ile analiz süreleri artmıştır. İterasyon sayısı belirli seviyeye geldikten sonra sonuçların fazla değişmediği görülmüş, yani analizin doğrulandığı belirlenmiştir. HAD programında farklı türbülans modelleri kullanılarak analizler yapıp türbülans modellerinin analize olan etkileri incelenmiştir. $k - \epsilon$ standart türbülans modeli analiz sonuçlarının analitik sonuçlarla daha iyi eşleştiği görülmüştür. Tek parçalı şaşırtma levhası kullanılan gövde – boru tipi ısı değiştiricisinde ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümü diğer şaşırtma levhasına göre yüksek bulunmuştur. Basınç düşümünün yüksek olması pompa gücünü ve buna bağlı olarak maliyeti artırmasından dolayı istenmeyen bir durumdur.

Disk ve halka tipi şaşırtma levhası kullanılan gövde – boru tipi ısı değiştiricisinde ise basınç düşümü tek parçalı şaşırtma levhasına göre daha düşüktür. Ayrıca, ısı taşınım katsayısı ve buna bağlı olarak çıkış sıcaklığı düşümü tek parçalı şaşırtma levhasına göre daha düşüktür.

Bu çalışmada tek parçalı şaşırtma levhası, disk ve halka şeklindeki şaşırtma levhaları kullanılarak oluşturulan gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin farklı parametrelerdeki değişimleri incelenmiştir. Gelecek çalışmalarda farklı şaşırtma levha tipleri (2 parçalı, 3 parçalı, helisel, çiçek şeklinde) kullanılarak oluşturulan gövde – boru tipi ısı değiştiricilerin analizleri yapıp, sonuçları incelenebilir. Oluşturulan model için deneysel çalışmalar yapıp, doğrulama çalışmaları yapılabilir. Bu çalışmada tek parçalı şaşırtma levhasının HAD analiz sonuçları Kern yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Gelecek çalışmalarda HAD analiz sonuçları Bell - Delaware yöntemi kullanılarak çözümler yapıp karşılaştırılabilir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Tinker T. 1951. Shell-Side Characteristics of Shell-and-Tube Heat Exchanger, Parts I, II and III. Proceedings of General Discussion on Heat Transfer. Institute of Mechanical Engineers, London, 97-116.
- [2] Anshul J., Sudarshan P. 2015. Comparative Study of Different CFD Models to Evaluate Heat Transfer and Flow Parameters in STHE. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 4(6): 536-547.
- [3] Zarko S., Gradimir I., Nenad R., Mica V., Velimir S., Goran V. 2001. Design of Shell-and-Tube Heat Exchangers by Using CFD Technique – Part One: Thermo-Hydraulic Calculation. Facta Universitatis Series, Mechanical Engineering, 1 (8): 1091-1105.
- [4] Ahmet A. 2004. Gövde Borulu Isı Değiştiricilerin Optimizasyonları ve CFD Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- [5] Aniket S. A., Sivakumar R., Anantharaman N., Vivekanandan M. 2016. CFD Simulation Study of Shell and Tube Heat Exchangers with Different Baffle Segment Configurations. Applied Thermal Engineering, 108: 999-1007.
- [6] Koorosh M. 2011. Investigation of the Effects of Baffle Orientation, Baffle Cut and Fluid Viscosity on Shell Side Pressure Drop and Heat Transfer Coefficient in an E-Type Shell and Tube Heat Exchange. Doktora Tezi, Institute for Thermodynamics and Thermal Engineering, University of Stuttgart, Germany.
- [7] Rajagopal T.K.R., Srikanth G. 2012. Shell Side Numerical Analysis of a Shell and Tube Heat Exchanger Considering the Effects of Baffle Inclination Angle on Fluid Flow. Thermal Science, 16 (4): 1165-1174.
- [8] Anil K.S.R. 2013. Shell and Tube Heat Exchanger Design Using CFD Tools. Bachelor Thesis in Chemical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela.
- [9] Dinesh B.A., Manaklal H. 2017. CFD Analysis of Shell & Tube Type Heat Exchanger with Baffles. International Journal for Research Trends and Innovation, 2 (12): 34-37.
- [10] Bichkar P., Dandgaval O., Dalvi P., Godase R., Dey T. 2018. Study of Shell and Tube Heat Exchanger with the Effect of Types of Baffles. Procedia Manufacturing, 20: 195-200.
- [11] Swapnil S.K., Shivprakash B.B. 2017. Effect of Different types of Baffles on Heat Transfer & Pressure Drop of Shell and Tube Heat Exchanger: A review. International Journal of Current Engineering and Technology, 7: 358-362.
- [12] Halil B., Gökhan S. 2018. Numerical Investigation of the Effects of Different Baffle Types on the Thermal Performance of a Shell and Tube Heat Exchanger. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 6 (3): 58-66.
- [13] Mukherjee R. 1998. Effectively Design Shell-and-Tube Heat Exchangers. Chemical Engineering Progress, 94: 21-37.
- [14] Chalwa C.K, Kadli N. 2013. Study of Variation for Pressure Drop and Temperature Distribution in a Shell and Tube Heat Exchanger in Case of Vertical Baffle. Mechanica Confab, 2 (1): 17-25.
- [15] Sandeep G.P., Shashank S.C., Muthalikdesai S.V. 2016. Experimental Investigation on Heat Transfer Performance Comparison for STHXs with Different Baffles. International Engineering Research Journal (IERJ), Special Issue, 256-262.

- [16] Kakac S, Lui H. 2002. Heat Exchangers. Selection, Rating and Thermal Design, Second Edition, Crc Press, Florida.

Araştırma Makalesi / Research Article

Zeolit Katkısının Antibakteriyel ve Kendi Kendini Temizleyen Harç Özelliklerine Etkisi

Murat GÜLDAŞ¹, Mehmet CANBAZ^{2*}, Mehmet ORHAN³

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Eskişehir, Türkiye
²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

³Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-5979-6152) (ORCID: 0000-0002-0175-6155) (ORCID: 0000-0001-8043-4148)

Öz

İnşaat sektöründe son yıllarda yapılan çalışmalarda yapıları sağlık açısından daha güvenli hale getirmek için yapı malzemelerine antibakteriyel özellik kazandırılması ve dış mekândaki korunmasız olarak dış etkilere maruz kalan yapı malzemelerine ışık etkisiyle kendi kendini temizleme yeteneği kazandırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada beyaz ve gri çimento ile üretilen harçlara antibakteriyel özellik kazandırmak amacıyla gümüş iyonları içerikli antibakteriyel toz ve antibakteriyel özellikli sıvı meralgal, kendi kendini temizleme özelliği kazandırmak için anataz ve rutil fazında titanyum dioksit tozu, iyon değişimini kolaylaştırmak için zeolit farklı oranlarda ilave edilmiştir. Karışımlardan alınan numuneler üzerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. İlave edilen katkıların fiziksel ve mekanik özelliklere etkileri belirlenmiştir. İtalyan standartlarına göre kendi kendine temizleme deneyleri ve Amerikan standartlarına göre antibakteriyel etkinlik deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ilave edilen katkıların harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine olumsuz etkileri olmadığı, titanyum dioksit tozunun kendi kendini temizlemede etkili olduğu ve antibakteriyel katkıların ise bakterilere karşı etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kendi kendini temizleme, Fotokataliz, Antibakteriyel Etkinlik, Zeolit, Harç.

Effect of Zeolite Additives on the Antibacterial and Self-Cleaning Mortar Properties

Abstract

In recent studies in the construction sector, it is aimed to give antibacterial properties to building materials in order to make the buildings safer in terms of health and to give the building materials exposed to external effects unprotected outdoors with the ability to self-clean with the effect of light. In this study, an antibacterial powder containing silver ions and liquid Mergal with antibacterial properties, titanium dioxide powder in anatase and rutile phase to give it self-cleaning properties, and zeolite in different proportions to facilitate ion exchange were added to the mortars produced with white and gray cement. Unit weight, ultrasonic pulse velocity, bending, and compressive strength tests were performed on the specimens taken from the mixtures. The effects of added additives on physical and mechanical properties were determined. Self-cleaning tests according to Italian standards and antibacterial activity determination tests were carried out according to American standards. As a result of the experiments, it has been observed that the additives added do not have negative effects on the physical and mechanical properties of the mortars, titanium dioxide powder is effective in self-cleaning and antibacterial additives can be used effectively against bacteria.

Keywords: Self-cleaning, Photocatalysis, Antibacterial Activity, Zeolite, Mortar.

1. Giriş

İnsanın dışında olan her şey olarak tanımlayabileceğimiz içinde bulunduğumuz çevre, hastalıklara neden olan en önemli nedenlerin başındaki mikroorganizmalar ile her an temasta olduğumuz ortamdır [1]. Günümüzde hayat tarzının değişmesi ve bireylerin zamanlarının büyük bir kısmını ev dışında

*Sorumlu yazar: mcanbaz@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi: 04.02.2021, Kabul Tarihi: 09.07.2021.

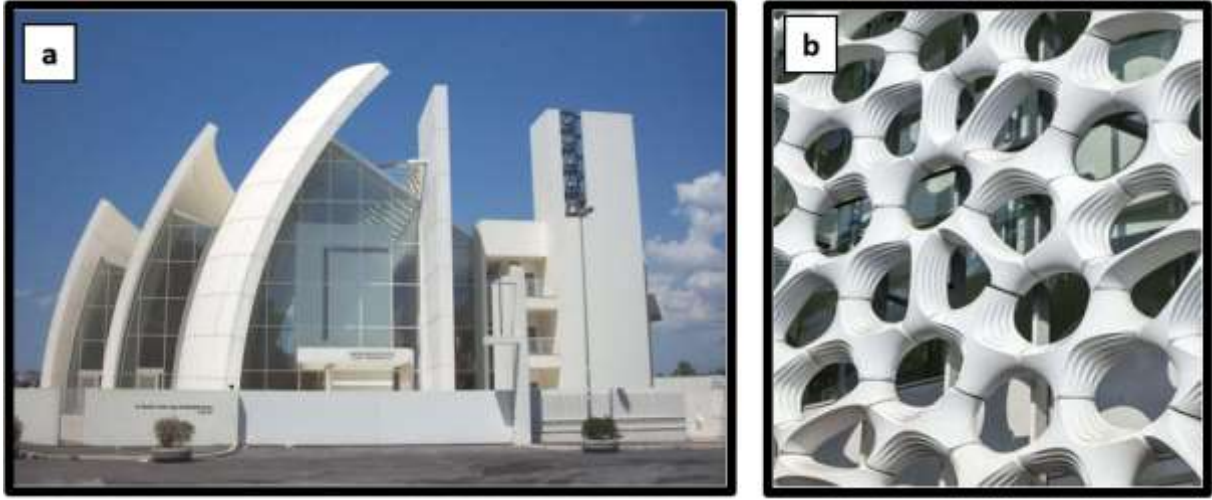
geçirmeleri, deęiřen yařam ve beslenme alıřkanlıkları ve ulařım olanakları, uluslararası seyahatler gibi faktörler, mikroorganizmaların, toplu yařam bölgelerinde kolaylıkla bireyden bireye aktarılmasına ve bulařıcı hastalıkların artmasına sebep olduęundan yařanılan ve çalıřılan ortamlarda kullanılan ürünlerde hijyenin saęlanması, hastalık oluřturabilecek mikroorganizmalardan arındırılması giderek önemli hale gelmektedir [2]. Hijyen gereken ortamlarda her ne kadar temiz tutulmaya çalıřılsa da bir süre sonra istenmeyen mikroorganizmalar tekrar çoęalmakta, insan saęlıęını tekrar tehdit etmektedir. Mikroorganizmaların tekrar çoęalmasını engellemek için betonun içyapısında deęiřiklięe gitme ve bu sayede çeřitli endüstrilerde hlihazırda elde edilmiř olan antibakteriyel özellikleri betona kazandırma fikri ortaya çıkmıřtır. Son yıllarda bu amaca yönelik olarak fotokatalitik oksidasyon, gümüř ve bazı aęır metal içeren antimikrobiyal sistemler ile ilgili çalıřmalar yürütülmekte olup, bařarılı sonuçlar elde edilmiřtir. Fotokatalitik etkiye sahip malzemelerin bařında anataz formunda titanyum dioksit (TiO_2) gelmektedir. Fotokatalitik sistemler, ultraviyoleye (UV) maruz bırakıldıęında aktif oksijen oluřumuna yol açmaktadır. Aktif oksijen, fotokatalitik malzemenin bulunduęu bölgede organik maddelerin oksitlenmesi, bakterilerin ölmesi, organik lekelerin temizlenmesi ve havadaki rahatsız edici kokuların giderilmesi gibi özelliklere sahiptir. Bu malzemelerin en etkili olduęu kullanım alanları UV ıřınımını saęlayan fotokatalitik kaplamaların hava temizleme sistemleridir. Ag^{+1} , Cu^{+2} , Zn^{+2} bilindięi üzere gibi bazı metal iyonları bakterilerin metabolizmalarına girmekte ve enzimlerini etkisiz hale getirmektedirler. Dięer bazı sistemler ise hidrojen peroksit oluřturarak bakterilerin ölmesine sebep olmaktadır. Ancak bu mekanizmalarda açıklanması gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Doęal veya insan etkisiyle ortaya çıkan kirleticiler, yapıların ve yapı malzemelerinin Őekil 1’de grldęu gibi dıř görünümlerini olumsuz yönde etkilemektedir [3].



Őekil 1. Doęal ve insan etkisi ile dıř cephelerde oluřan kirlenmeler

Çimento esaslı kompozit malzemeler daha üretilirken malzemelerin içerisine TiO_2 ilave edilerek söz konusu elemanların fotokatalitik özellik kazanması ve yüzey kirleticilerinden arınmasını saęlayan çalıřmalar bulunmaktadır [4]. Fotokatalitik özellięe sahip kendi kendini temizleme yeteneęine sahip titanyum dioksit içeren beton, harç, derz ve çimentoların bu özellikleri sayesinde bakım masrafları azalmakta ve büyük bir iř gücü ve zaman kaybı önlenebilmektedir. Fotokatalizmin kullanım alanları Fujishima ve Honda’nın 1972’de yaptıęı çalıřmada ortaya koyduęu TiO_2 ile suyun ayrıřması ve bu sayede kendi kendini temizleme fikrini ortaya ayamasından sonra dikkatleri bu yöne çekmiř ve bu fikir oldukça geliřtirilmiřtir. Fujishima ve arkadařları UV ıřık etkisinde TiO_2 ile kaplanmış yüzeyin ıslanmasındaki belirgin deęiřiklięi fark ederek yüzeyi çeřitli kirleticilerin yapıřmasından koruyabildięini keřfettiler. UV ıřık altında yüzeye gelen suyun temas açısının TiO_2 yüzeyine yerleřme eęiliminden dolayı azalması neticesinde yüzey bu ařamada hidrofobite adı verilen su geçirimsiz hale gelir. Bu hidrofobite oksidatif özelliklerin birleřmesi ile TiO_2 uygulanmıř yüzeylerin herhangi bir bakım gerekmeksizin güneř ıřıęı altında uzun süre temiz kalmasını saęlayabilmektedir. Bu özellięe

“kendi kendini temizleme özelliği” adı verilmekte olup, evlerde, elektrikli aletlerde, yollarda, tarımsal uygulamalarda, su arıtma teknolojilerinde, tekstilde ve tıpta kullanılmaktadır [5]. Nanoteknoloji ile üretilmiş betonlar kavramının içerisinde kullanılan nanoteknoloji içerisinde betona üretim aşamasında eklenen ve nanoparçacık olarak tanımlanabilecek Titanyum dioksit ve Çinko oksit bulunmasındadır. Geniş bir kullanım alanına sahip bu parçacıklar yüzeylere tabaka halinde uygulandıklarında fotokataliz ile yüzey aktivitesini artırırlar. TiO_2 fotokatalizi UV ışığı altında boşluk (h^+) ve elektron çifti (e^-) yüzeydeki H_2O ve O_2 ile reaksiyona girer. Reaksiyon sonucu hidroksit iyonu (OH^-) ve süperoksit iyonu (O_2^-) oluşur [6]. Aynı zamanda TiO_2 fotokatalizi ile hidrokarbonların CO_2 ve H_2O ayrışması da gerçekleşir ve bu oluşum kendi kendini temizleyen yüzeyler ile ilgili çalışmalarda ele alınan temel reaksiyondur. Bu zincir reaksiyonlar ile TiO_2 uygulanmış yüzeylerin maruz kaldıkları kirleticilerin yapı taşlarına ayrışması ve bu sayede temiz kalması sağlanmaktadır [7]. Şekil 2’de fotokatalitik çimento ve beton uygulamaları görülmektedir [8].



Şekil 2. Fotokatalitik beton ile üretilen Jübile Kilisesi (a), Manuel Gea Gonzalez Hastanesi (b)

Özellikle sanayi devriminden bugüne kadar geçen zamanda her geçen yıl daha da egzoz gazları, enerji santralleri, fabrikalar, petrol rafinerileri gibi kullanım alanlarında artan hidrokarbon tüketimi sonucu kontrollü ya da serbest bir şekilde doğaya salınan gazlar havayı ve çevreyi kirletmektedir. Çevresel kirlenmenin yapı ve malzemelerine olan olumsuz etkisi malzemenin görüntüsü ve yapısına etkiyerek ona zarar vermekte, görsel kirliliğin yanı sıra kullanım ömürlerini de azaltmaktadır. Bu nedenle günümüzde üzerine gelen organik bileşik bazlı kirleticileri parçalayarak görüntü ve yapısını koruyan TiO_2 katkılı yapı malzemelerinin üretimi gittikçe önemli hale gelmiştir. Yine günümüzde hijyen gerektiren ortamlara duyulan ihtiyacın artması ve sürekli yapay hijyen sağlamanın maliyetli ve düşük etkili olması sebebiyle yapılarda iç mekanlarda kullanılan yapı malzemelerinde anataz yapıda TiO_2 tozu, zeolit, gümüş iyonları içerikli antimikrobiyal toz ve antimikrobiyal özellikli sıvı meral farklı oranlarda ilavelerle numuneler üretilerek söz konusu yapı malzemelerinin antibakteriyel özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Burada zeolitler iyon değişimi ve adsorpsiyon yeteneklerinin yanı sıra katalizör olarak da kullanılabilirler [9] nedeni ile kullanılmıştır. Literatürde antibakteriyel özellik gösteren bu katkı maddesi kullanılarak antibakteriyel özellik kazandırma çalışmaları tekstilde [10, 11], film kaplama şeklinde ve temizleyici kimyasallarda yapılmışsa da doğrudan inşaat sektöründeki yapı elemanlarında yapılmamıştır. Günümüzde dünyada başta İtalya ve Japonya olmak üzere birçok gelişmiş ülkede fotokatalitik özelliğe sahip yapı malzemesi kullanılmaktadır [12]. Kendi kendini temizleyen betonlar beton yollar, parke taşları, kaldırımlar ve dış cephe kaplamaları gibi alanlarda uygulanmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır [13]. Uygulama sayısı dünyada her geçen gün artmakta olup, henüz Türkiye’de bu alanda bir uygulama mevcut değildir. Bu çalışmada dış etkilerin iç yapıya eklenen katkılar sayesinde bertaraf edilmesi ve yapı elemanına etkisinin minimumda kalmasının yanı sıra, TiO_2 katkısının çeşitli iyon takviyeleri ile antibakteriyel özellik göstermesinden hareketle bu çalışmada kendi kendini temizleyen ve ilk imalat edildiklerindeki yapısal ve fiziksel özelliklerini koruyan yapı malzemelerinin üretiminin sağlanabileceği incelenmiştir. Aynı zamanda da TiO_2 beraberinde kullanılan zeolit, gümüş iyonları içerikli antimikrobiyal toz ve anti-mikrobiyal özellikli sıvı meral sayesinde

antibakteriyel özellik gösteren yapı elemanlarının üretimi ve insan saęlıęını tehdit eden bakterilerin üreme ortamlarının ortadan kaldırılarak steril ortamlar oluřturulması amaçlanmıřtır. Bu amaçla imento miktarının %0, %1, %3, %5 oranında TiO₂ kullanılarak harçlar numuneler üretilmiřtir. Sertleřmiř zelliklerinin belirlenmesi için birim aęrlık, ultrases geçiř hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıřtır. Bu numuneler üzerinde TiO₂ ile kendi kendini temizleme özellikleri ve Ag⁺ iyonu katkılandırılarak antibakteriyel özellikleri incelenmiřtir.

2. Materyal ve Metot

Kendi kendini temizleyen ve anti bakteriyel harç üretiminde imento, agregalar, su, zeolit, antibakteriyel katkı ve TiO₂ kullanılmıřtır. Deneylerde Eskiřehir imsa imento Fabrikasında üretilen ve TS EN 197-1: 2002 standartlarında CEM I 42,5 R gri imento ve CEM I 52,5 R beyaz imento kullanılmıřtır. Bu çimentolara ait kimyasal ve mekanik zellikler Tablo 1’de verilmiřtir.

Tablo 1. Kullanılan imentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik zellikleri

Kimyasal analiz, %	GRI BEYAZ Fiziksel zellikler		GRI BEYAZ		
	CEM I	CEM I		CEM I	CEM I
SiO ₂	18.9	21.6	Yoęunluk, kg/dm ³	3.08	3.06
Al ₂ O ₃	5.15	4.05	zgl Yüzey, cm ² /g	3370	4600
Fe ₂ O ₃	3.36	0.26	Basınç Dayanımı, MPa		
CaO	63.59	65.7	2 gün	11.9	37
MgO	1.57	1.3	7 gün	26.7	50
SO ₃	2.65	3.3	28 gün	42.8	60
LOI	3.59	3.2			

Karma suyu olarak Eskiřehir normal řebeke suyu kullanılmıřtır. Tablo 2’de üretimde kullanılan řebeke suyunun kimyasal analiz özellikleri verilmiřtir.

Tablo 2. Deneydeki beton karma suyunun zellikleri

Alüminyum	(mg/l)	0,06	pH deęeri		8,00
Nitrat	(mg/l)	8,80	İletkenlik	(µg/l)	568
Nitrit	(mg/l)	0,005	Toplam organik karbon	(mg/l)	23,80
Amonyum	(mg/l)	0,07	Sertlik	(fr°)	31,43
Sülfat	(mg/l)	78	Toplam znmř madde		341
Demir	(mg/l)	0,005	Arsenik	(µg/l)	3,57

Zeolit olarak Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doęal zeolit kullanılmıřtır. Bu zeolite ait kimyasal ve mekanik zellikler Tablo 3’te verilmiřtir.

Tablo 3. Kullanılan zeolitinin kimyasal ve fiziksel zellikleri

Mineral içerięi, %		Fiziksel zellikler	
Klinoptilolit	90-95	Görünüm	Fildiři beyazı
Kimyasal analiz, %		Porozite, %	45-50
SiO ₂	65-72	Sertlik, Mohs	2-3
Al ₂ O ₃	10-12	Su emme, %	42-50
Fe ₂ O ₃	0.7-1.9	Ařınma, mg/100g	87
CaO	2.4-3.7	Yüzey alanı, m ² /g	39
MgO	0.9-1.2	pH	7-8
K ₂ O	2.5-3.8	Erime, °C	1300
LOI	9-14	Yoęunluk, kg/dm ³	2.2-2.4

Limak Trakya imento Fabrikası’na ait TSE EN 196-1’e uygun olan Rilem Cembureau standart kumu harç numune üretiminde kullanılmıřtır. Yeęenler Kimya firmasından temin edilen anataz TiO₂ ve Tronox firmasından temin edilen rutil TiO₂ kullanılmıřtır. Tablo 4’te TiO₂’lerin özellikleri gösterilmiřtir.

Tablo 4. Kullanılan TiO₂ zelikleri

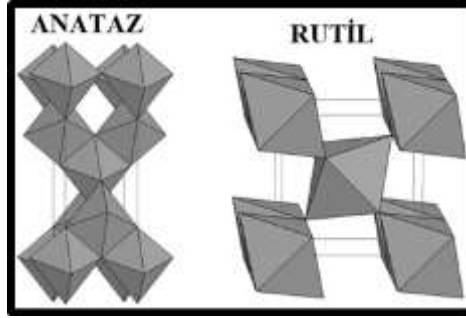
TiO ₂	İçerik, %	zgl ađırlık	Tanecik boyutu, µm	Yapı
Anataz	100	4.26	0.15	toz
Rutil	95	4.1	0.19	toz

Hrkimsa firmasından temin edilen % 16'lık antibakteriyel çözelti (mergal K14) ve Biomaster firmasından temin edilen antibakteriyel toz kullanılmıřtır. Tablo 5'te antibakteriyel katkıların özelikleri gösterilmiřtir.

Tablo 5. Kullanılan antibakteriyellerin zelikleri

	Etken madde	Yođunluk, kg/dm ³	pH	Yapı
Biomaster	Gümüř	10.5	7	beyaz toz
Mergal K14	İzotiazolin	1.02	3-5	berrak, kehribar rengi sarı sıvı

Harç retiminde bađlayıcı, su, standart kum oranları sırası ile 1, 0.5 ve 3 olarak kullanılmıřtır. Titanyum dioksit %0 ve %5 oranlarında beyaz imento ile üretilen harçlarda anataz fazında, normal Portland imentosu ile üretilen harçlarda rutil fazında kullanılmıřtır. Rutil pigmentleri yüksek kararlılık ve yüksek opaklık nedeni ile genellikle anataza tercih edilir. Ancak anataz kendini temizlemede daha çok tercih edilir [14].

**řekil 3.** Titanyum dioksinin fazları

Zeolit ise %0, %10 ve %20 oranlarında imento yerine kullanılmıřtır. Beyaz imento kullanılarak üretilen harçlarda gümüř etken maddeli antibakteriyel katkı %0 ve %0.4 oranında kullanılırken, normal Portland imentosu ile üretilen harçlarda izotiazolin etken maddeli antibakteriyel katkı %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranında kullanılmıřtır. Kullanılan malzemeler ve üretim řekil 4'te gösterilmektedir. Üretilen harçlarda 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik numuneler alınmıř ve standart kre tabi tutulmuřtur.

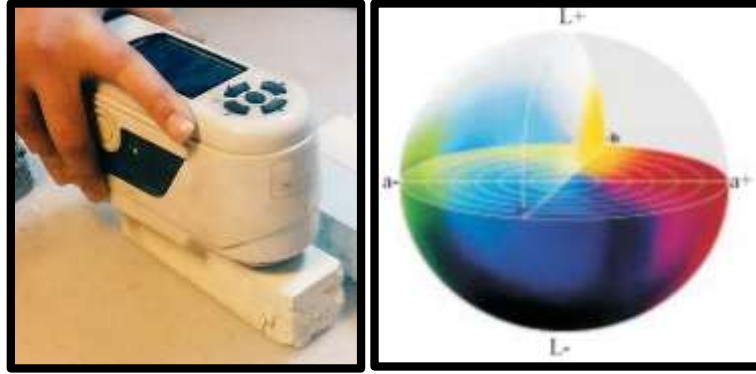
**řekil 4.** Kullanılan malzemeler ve üretim

retimden 28 gün sonra kr havuzundan çıkarılarak řekil 5'te gösterilen birim ađırlıkları, ultrases geçiř, eđilme ve basınç deneyleri yapılmıřtır. Hesaplanan birim ađırlık, ultrases geçiř hızı, eđilme ve basınç dayanımları dikkate alınarak karıřımda kullanılan zeolit, kendi kendini temizleme amaçlı kullanılan TiO₂ ve antibakteriyel katkıların harcın fiziksel ve mekanik özeliklere etkisi incelenmiřtir.



řekil 5. Numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik özellik deneyleri

Kendi kendini temizleme deneyleri (fotokataliz deneyleri) ile ilgili ulusal standardımız olmadıęı için uluslararası düzeyde bilimsel çalıřmalarda kullanılan İtalyan standartları dikkate alınmıřtır (UNI 11247:2010, UNI 11259:2008). Bu standarda göre fotokatalitik aktivite tespiti için kirletici madde olarak Rhodamine-B boyar maddesi kullanılmıřtır. Bu amaçla 0.05 g/dm^3 deriřiminde Rhodamine-B zeltisi hazırlanmıřtır. Bu zelti harç numunelerinin bir yüzü üzerinde oluřturulan $4 \times 7 \text{ cm}^2$ bir alana 0.5 cm^3 Rhodamine-B zeltisi srlmřtir. Numune zerindeki Rhodamine-B boyar maddesinin karanlık laboratuvar ortamında ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ ve %50 baęlı nem) kurumaya bırakılmıřtır. 24 saat bekletildikten sonra ilk renk ölçümleri yapılmıřtır. Renk deęerlerinin okunmasında řekil 6'da gösterilen renk ölçüm cihazı kullanılmıřtır. Her lm en az  farklı noktadan kolorimetrik okumalar yapılarak ortalamaları alınmıřtır. Bu okumada renk deęerleri L, a, b, c, h řeklinde deęerlendirilmiřtir. Burada a: kırmızı ve mor, b: mavi ve sarı, L:siyah ve beyaz (parlaklık ve aydınlık) göstermektedir. c ve h deęerleri ise renklerin renk küresi içindeki derinlikleri belirlemektedir.



řekil 6. Renk kartelası ve renk lm

İlk renk ölçümü deęerleri alındıktan sonra numuneler karanlık ortamda UV ıřık kaynaęına yaklaşık 75 cm uzaklıkta olacak řekilde dizilmiřtir. UV ıřık kaynaęı olarak 300 watt Osram marka gücünde ampül kullanılmıřtır. řekil 7'de kendi kendini temizleme deney uygulaması görülmektedir. Numuneler UV ıřık kaynaęı altında 26 saat bekletildikten sonra 26 saatlik kolorimetrik okumaları yapılmıřtır. Daha sonra numuneler 240 saat boyunca tekrar UV ıřığa maruz bırakılmıřtır. Bu süre sonrasında renk ölçüm cihazı kullanılarak 240 saatlik son kolorimetrik okumalar yapılmıřtır. Bu deneyde Rhodamine-B boyar maddesi kullanıldıęı için burada etken kolorimetrik okuma deęeri olarak kırmızı-mor renk deęiřimini gösteren a deęeri dikkate alınmıřtır. Kendi kendini temizleme sonrasındaki renk açılmalarının hesabında ilk okunan a deęerinden ($a_{(0)}$) UV ıřık kaynaęında 26 ve 240 saat bekletildikten sonra ölçülen a deęerleri ($a_{(26)}$, $a_{(son)}$) ayrı ayrı çıkartılmıřtır. Daha sonra ilk okunan a deęerine ($a_{(0)}$) blnmřtir. Elde edilen deęerlerin yüzdesi alınarak görece renk deęiřimi (R_{26} , R_{son}) hesaplanmıřtır. Karıřımlarda kullanılan anataz ve rutil fazındaki TiO_2 'in beton, harç ve derz numunelerinin kendi kendini temizlemedeki etkinlięi renk açılmaları dikkate alınarak İtalyan standartlarına göre incelenmiřtir.



Őekil 7. Numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik özellik deneyleri

Yüzeylerin antibakteriyel etkinlikleri, ASTM E2149 test yöntemine göre sayısal olarak test edilmiŐtir. ÇalıŐma sırasında, Gram-pozitif bakteri suŐu olarak Staphylococcus aureus (ATCC 6538) ve Gram-negatif bakteri suŐu olarak Escherichia coli (ATCC 35218) seçilmiŐtir. Numunelere, $1.5-3 \times 10^5$ cfu/mL yoėunlukta bakteri çözeltisi aktarılmıŐ, 37°C 'de 150 devir/dakika çalkalama hızında 24 saat süre ile inkübe edildikten sonra seri sulandırmalar yapılarak besiyerlerine ekimler yapılmıŐ ve antibakteriyel etkinlik deėeri bulunmuŐtur. KarıŐımlarda kullanılan gümüŐ ve izotiazolin etken maddeli antibakteriyel katkının harç numunelerinin antibakteriyel etkinliėi bulunan etkinlik deėerleri dikkate alınarak incelenmiŐtir.

3. Bulgular ve TartıŐma

Harç numune üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları Tablo 6'da verilmiŐtir. ÇalıŐmamızın amacı kullanılan katkıların sertleŐmiŐ harç özelliklerine bu katkıların herhangi bir olumsuz etkisi olup olmadıėı belirlenmiŐtir. Burada miktar olarak en çok kullanılan katkı zeolit olduėu için zeolitın etkisi üzerinde daha çok durulmuŐtur. Tablo 6 incelendiėinde zeolit, titanyum dioksit ve antibakteriyel katkının harın birim aėırlık, ultrases geçiŐ hızı, eėilme ve basınc dayanımı gibi özelliklerini dikkate deėer ölçüde deėiŐtirmedeėi görülmüŐtür.

Tablo 6. Normal Portland imentosu ile üretilen harç numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri

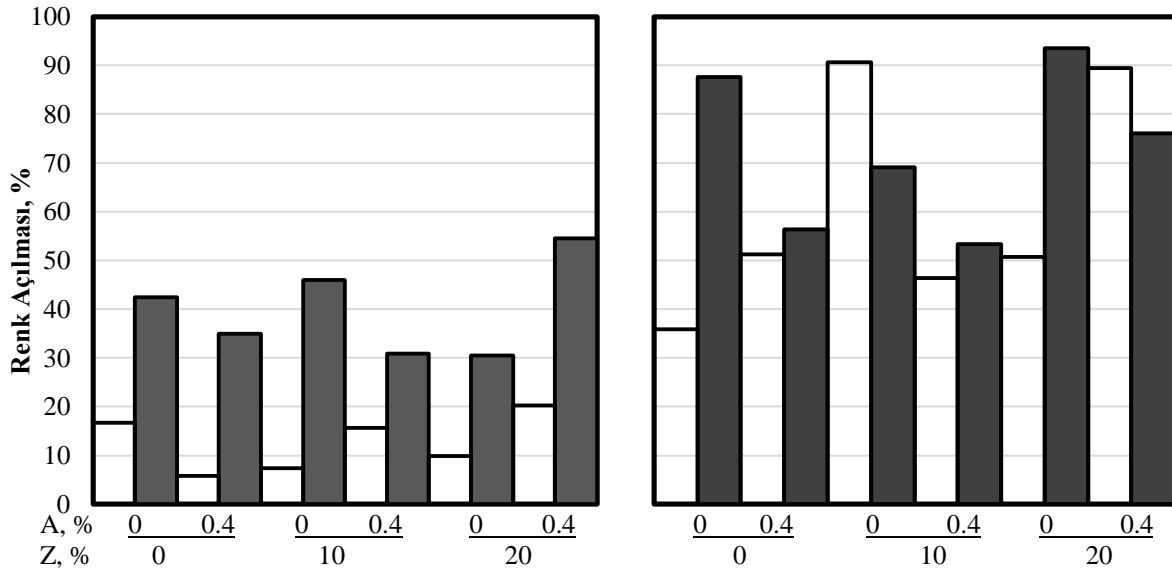
	Birim aėırlık, kg/dm ³	Ultrases geçiŐ hızı, m/sn	Eėilme Dayanımı, MPa	Basınc Dayanımı, MPa
% 0 Z + % 0 A + % 0 T	2.191	3.791	1.875	19.828
% 0 Z + % 0.2 A + % 0 T	2.258	3.544	2.227	24.469
% 0 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.195	3.604	2.227	20.141
% 0 Z + % 0.6 A + % 0 T	2.063	3.524	2.461	19.859
% 0 Z + % 0 A + % 5 T	2.221	3.712	2.930	26.156
% 0 Z + % 0.2 A + % 5 T	2.203	3.678	2.109	22.484
% 0 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.309	3.678	2.578	22.750
% 0 Z + % 0.6 A + % 5 T	2.090	3.632	2.695	19.328
% 10 Z + % 0 A + % 0 T	2.203	3.687	2.109	21.766
% 10 Z + % 0.2 A + % 0 T	2.191	3.712	2.578	29.625
% 10 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.230	3.645	2.578	21.969
% 10 Z + % 0.6 A + % 0 T	2.211	3.712	2.578	24.703
% 10 Z + % 0 A + % 5 T	2.246	3.704	2.695	26.203
% 10 Z + % 0.2 A + % 5 T	2.232	3.810	2.695	22.297
% 10 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.227	3.751	2.813	27.203
% 10 Z + % 0.6 A + % 5 T	2.012	3.249	1.758	18.563
% 20 Z + % 0 A + % 0 T	2.172	3.769	2.813	27.656
% 20 Z + % 0.2 A + % 0 T	2.160	3.563	2.227	21.516
% 20 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.203	3.751	2.461	19.125
% 20 Z + % 0.6 A + % 0 T	2.250	3.661	2.578	17.875
% 20 Z + % 0 A + % 5 T	2.203	3.869	2.578	22.344
% 20 Z + % 0.2 A + % 5 T	2.293	3.687	2.695	24.813
% 20 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.109	3.842	2.344	17.734
% 20 Z + % 0.6 A + % 5 T	2.109	3.778	2.461	20.875

Tablo 7’de beyaz imento ile üretilen harçların özelikleri gösterilmiřtir. Tablo 7 incelendiĐinde birim aĐırlıkların 2.1 ile 2.2 kg/dm³ arasında deĐiřtiĐi, ultrases geçiř hızlarının 3.4 ile 3.8 m/sn arasında deĐiřtiĐi, eĐilme dayanımlarının 1.6 ile 2.7 MPa arasında deĐiřtiĐi, basınç dayanımlarının 19 ile 31 MPa arasında deĐiřtiĐi grlmřtir. En yüksek dayanım 30.7 MPa ile % 20 zeolit, % 5 titanyum dioksid ve % 0.4 antibakteriyel katkı kullanılan numunelerde görülürken, en düřük dayanım 19.5 MPa ile sadece % 5 titanyum dioksid kullanılan numunelerde grlmřtir. Titanyum dioksid kullanımı ile basınç dayanımları % 5, zeolit kullanımı ile % 16’ya ulařan oranlarda artmıřtır.

Tablo 7. Beyaz imento ile üretilen harç numunelerin fiziksel ve mekanik zelikleri

	Birim aĐırlık, kg/dm ³	Ultrases geçiř hızı, m/sn	EĐilme Dayanımı, MPa	Basınç Dayanımı, MPa
% 0 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.203	3.653	2.344	28.266
% 0 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.109	3.437	2.695	21.250
% 0 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.188	3.760	1.992	25.828
% 0 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.133	3.730	1.875	19.484
% 10 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.176	3.365	1.641	25.016
% 10 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.160	3.670	1.758	26.203
% 10 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.207	3.774	2.109	23.047
% 10 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.176	3.509	1.758	23.203
% 20 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.180	3.616	1.758	23.734
% 20 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.129	3.666	1.992	25.328
% 20 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.137	3.575	1.641	30.703
% 20 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.121	3.695	1.758	29.438

Kendi kendini temizleme deneyi olarak Rhodamine-B kullanılarak yapılan renk açılması deĐerlerinin ölçümü ve ölçüm sonuçlarının karřılařtırmalı deĐerlendirilmesi yapılmıřtır. Renk lmleri 26 saat ve 240 saat olmak üzere iki farklı zamanda UV ışık altında bekleyen numuneler üzerinden yapılmıřtır. Anataz fazında titanyum dioksid kullanılan ve kullanılmayan beyaz imento ile üretilen harç numunelerin 26 saat UV kaynaĐı altındaki renk aımları ve 240 saat UV kaynaĐı altındaki renk aımları řekil 8’de gösterilmiřtir. řekil 8 incelendiĐinde renk aımlarının %55’e yaklařan oranlara ulařtıĐı, titanyum dioksid kullanılması durumunda renk açılmasını %40’a ulařan oranlarda arttırdıĐı grlmřtir. UV kaynaĐı altındaki bekleme süresi 240 saate ulařtıĐında renk aımları %93’e ulařırken, titanyum dioksid ilavesi renk aımlarını %50’ye ulařan oranda arttırdıĐı belirlenmiřtir.

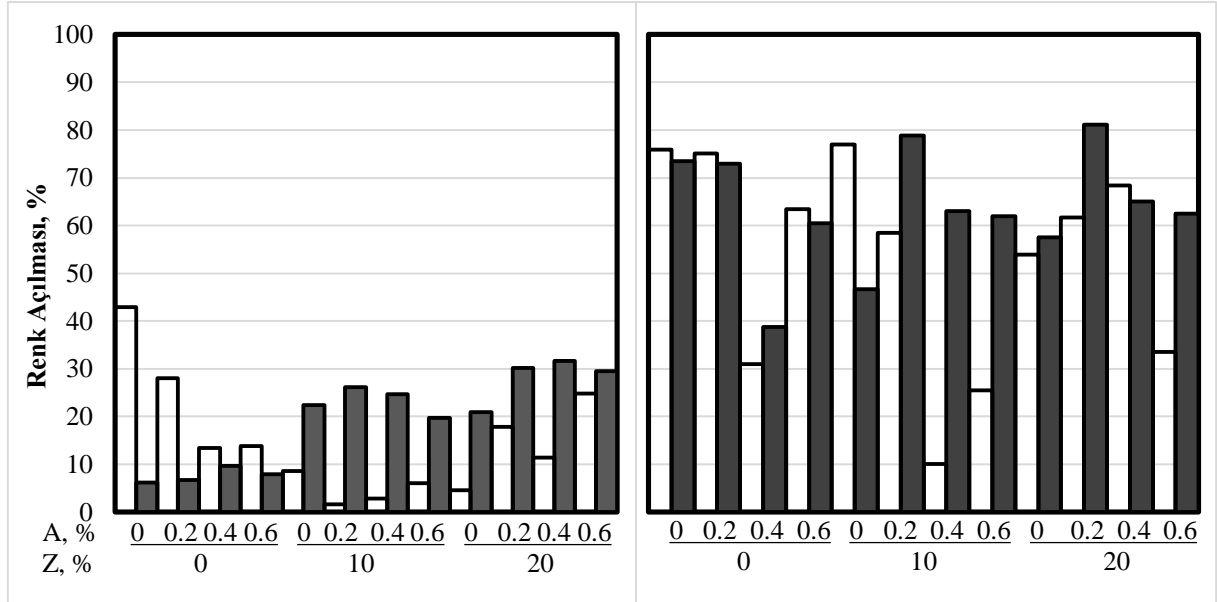


řekil 8. Beyaz imento ile üretilen harç numunelerin renk aımları



řekil 9. Rhodamine-B ile yapılan çalıřmada UV ışık altında meydana gelen renk açılması

Harç numunelerin fotokataliz sonucu meydana gelen renk açılması řekil 9'da gösterilmektedir. Fotokataliz sonucu titanyum dioksit ile kendi kendini temizleme yeteneđinin kazanıldıđı grlmřtir. Harç numunelerin 26 saat UV kaynađı altındaki renk aımları ve 240 saat UV kaynađı altındaki renk aımları řekil 10'da gösterilmiřtir. řekil 10 incelendiđinde rutil fazında titanyum dioksit kullanılmasının özelikle zeolit katılmıř numunelerin renk aımlarını %25'e ulařan oranlarda arttırdıđı grlmřtir. Iřık kaynađı altındaki bekleme süresi 240 saate ulařtıđında renk aımlarının %80 mertebesine yükseldiđi gözlenmiřtir. Zeolit ilavesi genel olarak deđiřkenlik gösterse de %50'ye ulařan oranlarda renk aımlarını arttırmıřtır.



řekil 10. Normal Portland imentosu ile üretilen harç numunelerin 26 saatlik renk aımları

Tablo 8'de harç numunelerin antibakteriyel etkinlik deđerleri verilmektedir. Tablo 8 incelendiđinde harç numunelerinin *Staphylococcus aureus* bakterisine karřı etkili olduđu görülürken, *Escherichia coli* bakterisine karřı harç üretiminde antibakteriyel katkı kullanılması gerektiđi grlmřtir.

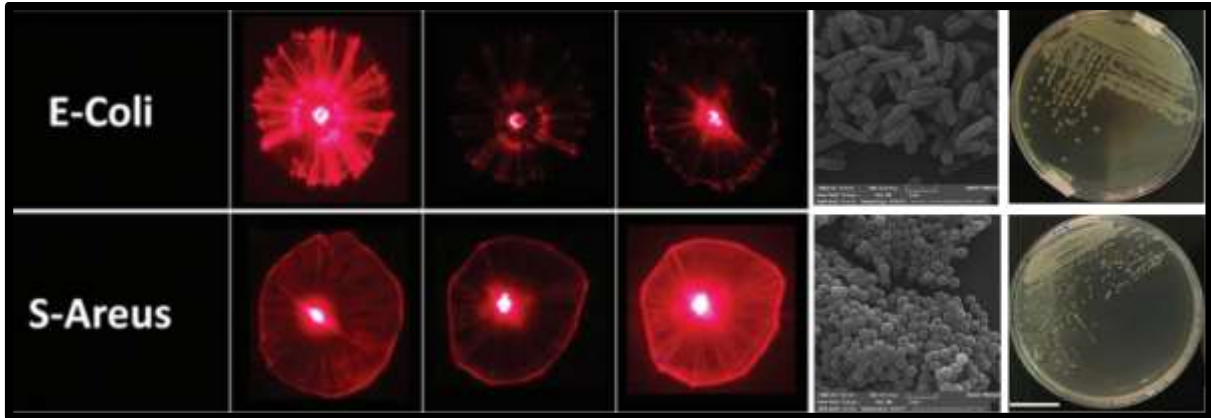
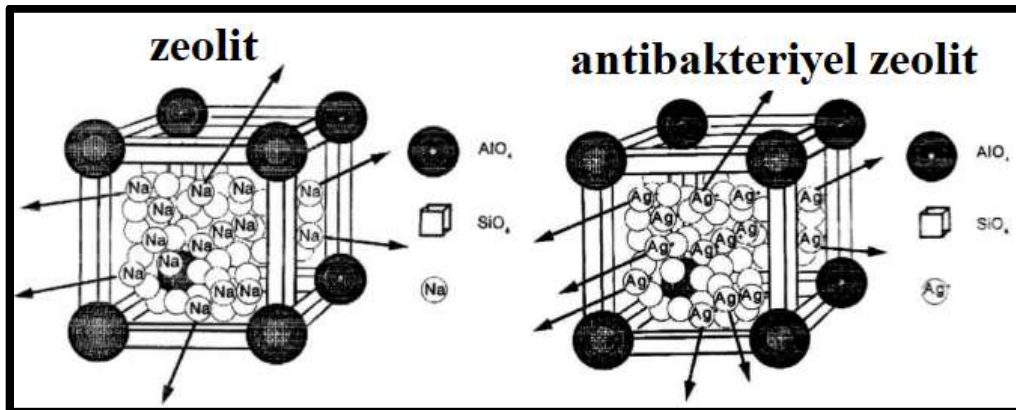
Staphylococcus aureus ve *Escherichia coli* bakterilerinin mikrografları, oluřturdukları koloniler ve desenleri (patern) řekil 11'de görülmektedir[15]. Gümüřün antibakteriyel özelliđinin sadece mikroorganizmaların gümüřü adsorbe etmelerinden kaynaklanmadıđını aynı zamanda gümüř iyonunun çözelti içinde serbestçe dolařmadıđı ve inorganik bir bileřik içine yerleřtirildiđi durumlarda da mikroorganizmaların gümüřü adsorbe etmeden de kolonileřme ve çođalma özelliklerini yitirdiklerini gözlemiřlerdir. Bu nedenle řekil 12'den de görüldüđü gibi gümüř iyonlarını sabitlemek için iyon deđiřtirme özelliđine sahip malzemeler olan zeolitlerin kullanılabileređi gözlenmiřtir[16].

Tablo 8 Harç numunelerin antibakteriyel etkinlik deęerleri

	Beyaz imento				Normal Portland imentosu			
	<i>S. aureus</i> (ATCC 6538) ^a		<i>E. coli</i> (ATCC 35218) ^b		<i>S. aureus</i> (ATCC 6538) ^a		<i>E. coli</i> (ATCC 35218) ^b	
	%	Log	%	Log	%	Log	%	Log
Kontrol	-81.25	-0.73	-2.44	-0.01	-81.25	-0.73	-2.44	-0.01
% 0 Z + % 0 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 0 Z + % 0.4 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 0 Z + % 0 A + % 5 T	-100.00	-6.30	7.32	0.03	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 0 Z + % 0.4 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 10 Z + % 0 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 10 Z + % 0.4 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 10 Z + % 0 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	34.15	0.13
% 10 Z + % 0.4 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-89.07	-0.96
% 20 Z + % 0 A + % 0 T	-100.00	-6.30	124.39	0.35	-100.00	-6.30	-98.93	-1.97
% 20 Z + % 0.4 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 20 Z + % 0 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-98.71	-1.89	-100.00	-4.64	-100.00	-5.67
% 20 Z + % 0.4 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-4.34	-100.00	-5.67

^a Her bir örneęe aktarılan bakteri konsantrasyonu, $2,00 \times 10^6$ (log 6,30) cfu*/mL olarak hesaplanmıřtır.

^b Her bir örneęe aktarılan bakteri konsantrasyonu, $4,66 \times 10^5$ (log 5,67) cfu*/mL olarak hesaplanmıřtır.

**řekil 11.** Bakterilerin kolonileřmesi**řekil 12.** Antibakteriyel etkinlikte zeolit rolü

4. Sonuç ve neriler

Yapılan alıřmalar sonucunda fiziksel ve mekanik açıdan deęerlendirildięinde harç numuneler üzerinde yapılan katkılarının dikkate deęer lde özellikleri deęiřtirmedięi, derz numuneler üzerinde yüksek zeolit kullanımının dayanımları olumsuz etkiledięi, katkılı ve katkısız beton numuneleri üzerinde ise kullanılan katkılarının birim aęırlık ve ultrases geçiř hızlarını dikkate deęer lde etkilemedięi görülürken, basıncı dayanımlarını ise düzensiz olarak deęiřtirdięi görülmüřtür.

Kolorimetrik okuma sonuçları deęerlendirildięinde tüm numuneler üzerinde TiO₂ ve zeolit kullanımın UV ışık kaynaęı altında zamanla oluřan renk açılması yönünden olumlu etkisinin bulunduęu görülmüřtür. Titanyumdioksit kullanımının %70'e yaklařan oranlarda renk açılmasına sebep olduęu, ancak %20 oranında zeolit kullanımının genel renk açılmasını arttırdıęı ancak titanyum dioksitin temizleme etkisinin düzenli olmadıęı görülmüřtür. UV kaynaęı altındaki bekleme süresi arttıęında titanyum dioksitin fotokataliz etkisinin belirginleřtięi ve zeolit ilavesi renk açılmalarına olumlu katkısının olduęu belirlenmiřtir.

Antibakteriyel aktivitenin incelenmesi konusunda ise zeolit ilavesi bulunan derz, harç ve beyaz imento ile üretilen beton numuneleri üzerinde zeolit Staphylococcus Aureus bakterisine karřı etkili olduęu görülürken, Escherichia coli bakterisine karřı antibakteriyel katkı kullanılması gerektięi görülmüřtür. Normal Portland imentosu ile üretilen beton numuneleri ise zeolit ilavesinin hem *Staphylococcus aureus* bakterisine hem de *Escherichia coli* bakterisine karřı etkili olduęu görülmüřtür.

Teřekkür

Bu alıřma Eskiřehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Arařtırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "201715D45" nolu proje kapsamında desteklenmiřtir

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eřit katkı derecede katkı saęlamıřtır.

ıkar atıřması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atıřması bulunmamaktadır.

Arařtırma ve Yayın Etięi Beyanı

Yapılan çalıřmada arařtırma ve yayın etięine uyulmuřtur.

Kaynaklar

- [1] Akdur R., l M., Iřık A., İdil A., Durmuřoęlu M., Tunçbilek A. 1998. Halk saęlıęı. Antıp Ař Tıp Kitapları ve Bilimsel Yayınlar, No:26, 53
- [2] Doęan A., Pekřen C. 2005. Metal İyon Katkılı Antimikrobiyal Malzemelerin Hastane İnfeksiyonlarını nlemede Katkıları ve Uygulamaları. 4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi kitabı, Samsun, 20-24
- [3] Ozga I., Bonazza, A., Bernardi, E., Tittarelli, F., Favoni, O., Ghedini, N., Morselli, L. & Sabbioni, C. 2011. Diagnosis of Surface Damage Induced by Air Pollution On 20th-Century Concrete Buildings. Atmospheric Environment, 45(28): 4986-4995.
- [4] Krishnan P., Zhang M.H., Yu L., Feng H. 2013. Photocatalytic Degradation of Particulate Pollutants and Self-Cleaning Performance of TiO₂-Containing Silicate Coating and Mortar. Construction and Building Materials, 44: 309-316.
- [5] Nakata K., Ochiai T., Murakami T., Fujishima A. 2012. Photoenergy Conversation with TiO₂ Photocatalysis: New materials and Recent Applications. Electrochimica Acta, 84: 103-111.
- [6] Ni M., Leung M.K., Leung D.Y., Sumathy K. 2007. A Review and Recent Developments in Photocatalytic Water-Splitting Using TiO₂ for Hdrogen Production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(3): 401-425.
- [7] Canbaz M., nverdi H.T., Balk Y. 2015. Kendi Kendini Temizleyen Derz Dolgu Malzemeleri. Uludaę Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(1): 13-24.
- [8] Orhon A.V. 2014. Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri. 7. Ulusal atı & Cephe Sempozyumu, 3-4 Nisan, İstanbul, 9.
- [9] Glen J., Zorbay F., Arslan S. 2012. Zeolitler ve kullanım alanları. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(1): 63-68.

- [10] Can C., Krl A., Ateř M. 2013. Gümüř Yüklü Zeolitlerin Pamuklu Kumařların Antibakteriyel Bitim İřleminde Kullanımı. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 23(1): 32-36.
- [11] Harımdar N., Akarşlan F. 2020. Pamuklu Kumařa Antibakteriyel Bitim Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18: 142-147.
- [12] Yüksel F.ř.K., Karagller M. 2011. Kendi Kendini Temizleyen Betonlar. *Beton 2011 Kongresi*, İstanbul, 470-480.
- [13] Akalın K.B., zmen P., Tiftikçi C., Canbaz M., Bilgiç ř., Kara ř. 2015. Beton Kaldırım Tařları ve Yol Kaplama Yüzeylerinde Meydana Gelen Kirliliklerin UV Güneř Iřınları ile Temizlenmesi. *Elektronik Mesleki Geliřim ve Arařtırma Dergisi*, 3(1): 150-161.
- [14] Kılıçođlu B. D. 2009. Nanoboyutlu TiO₂ Esaslı Antibakteriyel Kaplama. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliđi Anabilim Dalı, İstanbul, 114.
- [15] Sasanpour P., Dilmaghani-Marand A., Montazeri, H., Ivani S., Hajipour M.J., Mahmoudi M., 2019. Nanoparticles Affect Bacterial Colonies' Optical Diffraction Patterns. *Nanoscale*, 11(6): 2594-2601.
- [16] Ata U. H. 2003. Antibakteriyel Klinoptilolit. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliđi Anabilim Dalı, 61.

Araştırma Makalesi / Research Article

Silindirle Sıkıştırılmış Atık Beton Agregasının Silindirle Sıkıştırılmış Beton Üretiminde Yeniden Değerlendirilmesi

İsmail KILIÇ*, Saadet Gökçe GÖK

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-5556-512X) (ORCID: 0000-0002-7879-1610)*

Öz

Silindirle sıkıştırılmış betonlar (SSB), geleneksel betonlara göre daha yeni kullanılmaya başlanan bir yapı malzemesi olup kolay ve hızlı üretim, düşük maliyet, hammadde olarak geleneksel beton üretiminde kullanılan kaynakların kullanılabilirliği gibi avantajları açısından genellikle yol ve baraj inşaatlarında tercih edilmektedir. Geleneksel beton üretiminde olduğu gibi, SSB üretiminde de, kullanılan kaynakların korunması ve atık malzemelerin üretimde yeniden değerlendirilmesi; çevreye verilen zararın azaltılmasının yanı sıra, atık malzemelerin taşınması, depolanması ve çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi sırasında meydana gelen enerji kaybı ve maliyeti azaltmak açısından önemlidir. Bu çalışmada, silindirle sıkıştırılmış atık betonlar uygun boyutta öğütülerek yeniden SSB üretiminde kullanılmıştır. Atık agregalar iri agrega olarak %0, %50 ve %100 oranlarında kullanılmıştır. Atık agregaların haricinde iri agrega olarak dolomit agregası, ince agrega olarak doğal kum, bağlayıcı olarak CEM I 42,5R Portland çimentosu ile su/çimento (s/ç) oranı 0,36 olan SSB üretimi gerçekleştirilmiştir. SSB numuneleri üretilirken her bir kademe yaklaşık 15 saniye süreli olmak üzere iki kademede sıkıştırma gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler bir gün sonra kalıptan çıkarılmış, deney gününe kadar kür havuzunda kirece doygun suda bekletilmiştir. Üretilen betonların birim hacim ağırlık, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü ve aşınma direnci tayin edilmiştir. Deneysel çalışmanın neticesinde, atık SSB agregasının Los Angeles aşınma direnci, su emme gibi beton kalitesini belirleyen fiziksel özellikleri sağlama hususunda nispeten homojenlik sağlaması sayesinde, SSB üretiminde yeniden kullanım potansiyeli olduğu, bu şekilde yeniden değerlendirilen atık SSB agregalarının ekonomik yönden ve sürdürülebilirlik açısından katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Atık Agregası, Silindirle Sıkıştırılmış Beton, Mekanik Özellikler, Fiziksel Özellikler, Sürdürülebilirlik.

Re-evaluation of Waste Roller Compacted Concrete Aggregate in Production of Roller Compacted Concretes

Abstract

Roller compacted concrete (RCC) is generally preferred for road and dam construction due to its advantages such as ease and speed of construction, ease of raw material supply and low cost. Conservation of resources and recycling of waste materials in the production of RCC, are important in terms of reducing energy losses and costs that occur during transportation, storage and disposal of wastes. In this study, RCC waste was crushed to the required aggregate sizes and reused in the production of RCCs. Waste aggregates were used as coarse aggregates in the amount of 0%, 50% and 100%. In addition to waste RCC aggregates, dolomite aggregate was used as coarse aggregate. Natural sand was used as fine aggregate, and Portland cement CEM I 42.5R was used as binder in production of RCC with a water/cement ratio of 0.36. The unit weight, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, elastic modulus and abrasive wear resistance of the specimens were determined. As a result of the experimental study, it was concluded that the waste RCC aggregate provides relatively homogeneity in physical properties that determine concrete quality such as Los Angeles abrasion resistance and water absorption, so it has the potential to be reused in RCC production, and the re-evaluation of waste RCC aggregates can contribute for a sustainable and economical concrete production.

Keywords: Waste Aggregate, Roller Compacted Concrete, Mechanical Properties, Physical Properties, Sustainability.

*Sorumlu yazar: ismail.kilic@klu.edu.tr

Geliş Tarihi: 09.02.2021, Kabul Tarihi: 02.07.2021

1. Giriş

Silindirle sıkıştırılmış betonlar (SSB), düşük maliyet, hızlı ve kolay üretim gibi avantajlarıyla öne çıkan, geleneksel betona göre daha fazla miktarda agregaya içeren ve taze halde sıfır çökmeye sahip karışımlardır [1]. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, saha koşullarını birebir temsil eden sıkıştırma prosedürünün laboratuvar koşullarında uygulanmasının zorluğu nedeniyle, sahadan alınan ve laboratuvarında üretilen numuneler farklı mekanik özelliklere sahip olabilmektedir [2]. Silindirle sıkıştırılmış betonların farklı yükleme hızları altındaki davranışlarına yönelik çalışmalar devam etmektedir [3-5].

Çevreye verilen zararları azaltmak ve üretimin devamlılığını sağlayabilmek adına mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemelerin sürdürülebilir olması önem arz etmektedir. Sürdürülebilir bir beton üretiminin gerçekleştirilebilmesi için üretimde kullanılan çimento miktarının azaltılması, geri dönüştürülmüş agregaların kullanılması ve arıtılmış atık suların beton karışım suyu olarak kullanılması önerilmektedir [6, 7]. Silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde çimento ile birlikte yüksek miktarda uçucu kül kullanıldığında, basınç ve çekme dayanımları yüksek, yapısal uygulamalarda, yol kaplamalarında ve büyük endüstriyel zeminlerde kullanıma uygun, Portland çimentosuna alternatif malzemeler elde edilebilmektedir [8]. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, agregaya kısmi olarak uçucu kül ile değiştirildiğinde, uçucu kül miktarı arttıkça karışımın mukavemet değerleri, her yaşta, kontrol örneğine göre artmakta, beton boşluk hacminde azalma meydana gelmekte ve dürabilite özellikleri iyileşmektedir [9-11]. Sürdürülebilir beton üretimi için, atık malzemelerin agregaya ya da bağlayıcı olarak silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde değerlendirilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır [12-15].

Bu çalışmada, atık agregaların silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde yeniden değerlendirilmesiyle sürdürülebilir bir beton üretimine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Atık beton agregalarının yeniden kullanımının doğal kaynakların korunmasına yardımcı olarak ekolojik anlamda duyarlı, doğa dostu ve ekonomik bir beton üretimi konusunda fayda sağlaması beklenmektedir. Silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde, iri agregaya yerine tamamen atık beton agregası kullanıldığında bile elde edilen eğilme dayanımlarının, düşük yoğunluklu ağır vasıta trafiğinin bulunduğu yerler için yeterli olduğu, uygun çimento dozajıyla ve doğal agregaya ile birlikte kullanıldığında daha yüksek eğilme dayanımları elde edilebildiği ve bu malzemenin ağır vasıta yoğunluğunun fazla olduğu yol uygulamalarında kullanılabileceği belirtilmiştir [16].

Doğal agregalarla daha yüksek basınç dayanımları elde edilebilmesine rağmen, agregaların Los Angeles aşınma değeri, su emme miktarı ve özgül ağırlık değeri, beton kalitesine büyük ölçüde etki eder ve bu değerlerin uygun olması durumunda, geri dönüştürülmüş beton yol agregalarının silindirle sıkıştırılmış beton uygulamalarında kullanılması mümkündür [17]. İnşaat, yenileme ve yıkım sonucunda artmakta olan geri dönüştürülmüş agregalar, performanslarının ve kökenlerinin çok çeşitli olması nedeniyle, yeniden kullanımı engelleyebilecek değişken özellikler sunmaktadır [18-20]. Agregaya olarak yalnızca geri dönüştürülmüş beton agregası içeren SSB üzerinde gerçekleştirilen mekanik deneyler ve dayanıklılık testleri, bu tip betonun zamanla kabul edilebilir davranışa sahip olduğunu ve bu malzemenin alt temel inşaatı gibi yol yapım uygulamaları için uygun olduğunu göstermektedir [21].

Beton yol geri dönüştürülmüş agregaları, kaynağın göreceli homojenliğinden dolayı genellikle daha sabit özellikler sunduğundan bu atık agregaların yeniden kullanımı ve nitelendirilmesi daha kolaydır, bu malzeme, uygulamada, yol temeli inşaatlarında yer bulabilmektedir ancak çimento hamuru içeriğine bağlı olarak genellikle aşınma, yıpranma veya düşük mukavemet nedenleriyle kullanımı sınırlıdır [17].

Beton üretiminde ya da silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde atık beton agregasının kullanımına yönelik çalışmalar yaygın olmakla birlikte, geleneksel atık betonun geri dönüştürülmesiyle elde edilen agreganın uygun boyutlarda kırılması, elenmesi ve sınıflandırılması gerekliliği, atık agreganın su emme değerlerinin fazla olabilmesi, dayanım ve aşınma değerlerinin hedef kriterleri sağlayamaması gibi karşılaşılabilecek birtakım sorunlar, uygulamada bu agregaların kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu gibi olumsuz özellikler gösteren atık beton agregaları, dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. SSB, geleneksel betona kıyasla daha boşluksuz bir yapıya sahip olduğundan dayanım ve dayanıklılık özellikleri yönünden avantajlıdır. SSB'den elde edilen geri dönüşüm agregasının özellikleri daha iyi olacağından bu agregaya ile üretilen betonun kalitesinin de iyi olması beklenmektedir. SSB atık agregalarının yeniden kullanımıyla atıkların geri dönüşümü ve tekrar kazanımı, çevresel açıdan önemli faydalar sağlayacaktır.

Yol betonlarında, SSB üst kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Beton ile zemin arasında temel tabakası bulunduğundan, SSB toprak zemin ile doğrudan temas etmemektedir. Asfalt kaplamaların üst tabakasının belirli kalınlıkta kazınarak sıyırılması gibi, SSB yolların da üst tabakasının toprakla karışmadan kazınarak alınması mümkün olacaktır. Toprak ile karışan atık SSB'lerin ise yıkandıktan sonra kullanılması gerekecektir.

Silindirle sıkıştırılmış betonlar, maliyet ve hızlı üretim gibi avantajlara sahiptir. Yurtdışında özellikle son 50 yıldır yaygın olarak SSB üretimi yapılmasına rağmen, bu konu Türkiye'de nispeten yeni bir uygulama alanıdır. Ülkemizde SSB kullanımı sınırlı düzeyde olduğundan, silindirle sıkıştırılmış betonun geri dönüşümü üzerinde yapılan çalışmalar da kısıtlı seviyededir. Silindirle sıkıştırılmış beton, yol, saha betonu, baraj gibi mühendislik yapılarında kullanılabilir. Bu beton kullanım ömrünü doldurduğunda, atık SSB'nin taşınması ve bertaraf edilmesi, çevresel ve ekonomik açıdan önem arz edecektir. Servis ömrünü tamamlayan silindirle sıkıştırılmış betonlar, geri dönüşüm agregası olarak hammadde kaynağı olacağından, silindirle sıkıştırılmış beton kullanımı arttıkça, SSB atık betonunun yeniden değerlendirilmesi konusu da yaygınlaşarak önem kazanacaktır.

DeneySEL çalışmada, silindirle sıkıştırılmış atık betonlar, uygun boyutlarda kırılıp elenerek sınıflandırdıktan sonra beton üretiminde agrega olarak yeniden değerlendirilmiştir. Geri dönüştürülmüş agregalarla silindirle sıkıştırılmış beton üretimi gerçekleştirilmiş, üretilen numunelerin birim hacim ağırlık, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü ve aşınma direnci belirlenmiş, silindirle sıkıştırılmış atık beton agregasının silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde kullanım potansiyeli araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) karışımında, Pınarhisar Limak Trakya Çimento fabrikasında üretilen CEM-I 42,5 R çimentosu, Kırklareli şebeke suyu, iri agrega olarak kireçtaşı (kalker) kökenli bir taş olan dolomit ve atık SSB agregası, ince agrega olarak ise doğal kum kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun yoğunluğu $3,1 \text{ g/cm}^3$, doğal kumun yoğunluğu ise $2,72 \text{ g/cm}^3$ 'tür.

Atık agregalar, dolomit agregası kullanılarak laboratuvarında üretilen C 30/37 sınıfı SSB örneklerinin çeneli kırıcı ile agrega boyutuna getirilmesiyle elde edilmiştir. Kullanılan atık agregalar, saf dolomit agregasından farklı olarak SSB beton kırıklarından oluşmaktadır. Atık ve dolomit agregaları SSB üretiminde sadece iri agrega olarak kullanılmıştır. Atık ve dolomit agregaları karışımında kullanılmadan önce 4-8 mm, 8-12,5 mm ve 12,5-16 mm olmak üzere eleme yöntemiyle üç farklı gruba ayrılmıştır. Dolomit agregaları da aynı boyutlarda üç gruba ayrılmıştır. Bu gruplar kendi içerisinde ağırlıkça %50 oranında 4-8 mm, %40 oranında 8-12,5 mm ve %10 oranında 12,5-16 mm olmak üzere karıştırılarak karışımın iri agrega kısmı elde edilmiştir. Bu şekilde atık agrega ile dolomit agregalarının gradasyonu benzer hale getirilmiştir. SSB karışımında iri agrega yaklaşık %55, ince agrega (doğal kum) ise yaklaşık %45 oranında kullanılmıştır. Bu oranlar, SSB üretiminde agrega maksimum dane çapının (D_{maks}) daha küçük ve agrega granülometrisinin daha ince olması gerektiği için tercih edilmiştir. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo1'de verilmiştir. Tablo1'e göre atık beton agregasının su emme değerleri doğal agregaya göre yüksektir, bu durumun oluşmasında, atık agrega yüzeyinde bulunan çimento taneleri etkili olabilir. Yine de, geleneksel betonun geri dönüşümü ile elde edilen agregaların su emme değerlerine göre, silindirle sıkıştırılmış atık betonun kırılmasıyla elde edilen agregaların su emme değerlerinin daha düşük olduğu söylenebilir, burada, silindirle sıkıştırma işlemi sonucunda daha boşluksuz bir beton elde edilmesinin etkisi bulunmaktadır.

Tablo 1. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega türü	Birim hacim ağırlık (g/cm^3)	Özgül ağırlık	Su emme (%)	Los Angeles aşınma kaybı (LA) (%)
Atık	1,48	2,53	3,30	26,49
Dolomit	1,62	2,80	0,47	19,72

Çalışmalarda üç farklı SSB karışımı üretilmiş ve A, AD ve D olmak üzere kodlama yapılmıştır. Bu kodlamalarda,

A : Atık SSB agregası %100, dolomit agregası %0

AD : Atık SSB agregası %50, dolomit agregası %50

D : Atık SSB agregası %0, dolomit agregası %100 oranlarında kullanılarak üretilmiş SSB karışımını göstermektedir. Silindirle sıkıştırılmış betonlar için karışım oranları Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. SSB tasarımı

SSB kodu	Atık agregası (%)	S/Ç oranı	Su (kg)	Çimento (kg)	Doğal kum (kg)	İri agregası (kg)		
						%50 (4-8 mm)	%40 (8-12,5 mm)	%10 (12,5-16 mm)
A	100	0,36	108	300	943	557	445	111
AD	50	0,36	108	300	943	586	469	117
D	0	0,36	108	300	943	616	493	123

Her bir SSB türünde, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü tespiti için 6, aşınma direncinin tayini için 1 adet olmak üzere, 7 adet 15 cm×15 cm×15 cm küp beton numuneleri üretilmiştir. Toplamda 21 adet küp SSB numunesi üretilmiştir.

2.2. Yöntem

Atık SSB ve dolomit agregaları üzerinde agregası deneyleri yapılmış, ardından bu agregalar kullanılarak üretilen SSB numuneleri üzerinde sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Birim hacim ağırlık deneyi TS EN 1097-3 [22], agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini TS EN 1097-6 [23], agregası parçalanma direnci tayini TS EN 1097-2 [24], beton karışım hesabı TS 802 [25], taze betonda çökme deneyi TS EN 12350-2 [26], basınç dayanımının belirlenmesi TS EN 12390-3 [27], ultrases geçiş hızının belirlenmesi ASTM C 597 [28] ve aşınma direnci tayini TS EN 1342 [29] standartlarına göre yapılmıştır.

Karışım hesabında çökme sıfır olacak şekilde, beton karışımları, su/çimento oranı 0,36 olarak tasarlanmıştır. Karışımlarda su ve çimento miktarları değişmemiş, agregası miktarları ise dolomit ve atık agregalarının yoğunluk farklılığından dolayı miktarları değişkenlik göstermiştir. Agregaların suya doygun yüzey kuru durumu dikkate alınmıştır.

ASTM C 1435 [30] standardına göre silindirle sıkıştırılmış beton örneklerinin üretimi yapılmıştır. SSB numuneleri üretilirken her biri yaklaşık 15 saniye olmak üzere iki kademede sıkıştırılmıştır. Üretilen numuneler bir gün sonra kalıptan çıkarılmış, kırım günlerine kadar kür havuzunda kirece doygun suda bekletilmiştir.

Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü tespitinde Proceq marka Pundit PL-200 ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Bu testler için 15 cm×15 cm×15 cm boyutlu 28 günlük küp SSB numunelerinden yararlanılmıştır.

Aşınma direncinin belirlenmesinde, zemin kaplamalarında kullanılan doğal taş ve beton ürünlerinde aşınma direncinin belirlenmesi amacı ile tasarlanmış geniş diskli dikey aşındırma test cihazı kullanılmıştır. Cihazın 70 mm kalınlıkta bir diski mevcut olup 75 devir/dakika hızla dönmektedir. Test yapılırken aşındırıcı toz kullanılmıştır. SSB örneği yüzeyine, aşındırıcı toz ile birlikte sürtünerek dönen diskin, yüzeyde açmış olduğu oyukun alt ve üst sınır çizgileri arasındaki mesafe 0,5 mm duyarlılıkta ölçülerek deney tamamlanmıştır. Bu mesafe, oyukun derinliği ile bağlantılı olduğundan, TS EN 1342 [29] standardına uygun şekilde aşınma direnci değeri olarak alınmıştır. Ölçülen aşınma değeri, mm olarak verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Betonu oluşturan bileşenlerin kalitesi, beton kalitesine doğrudan etki etmektedir. Tablo 1’de fiziksel özellikleri verilmiş olan geri dönüştürülmüş atık SSB agregalarının su emme değerleri doğal agregalara göre yüksektir fakat normal beton atık agregasına göre SSB atık agregasının su emme değerleri daha düşüktür. Bu nedenle, geri dönüştürülmüş agregası kullanıldığında, kaynak olarak SSB kullanımının

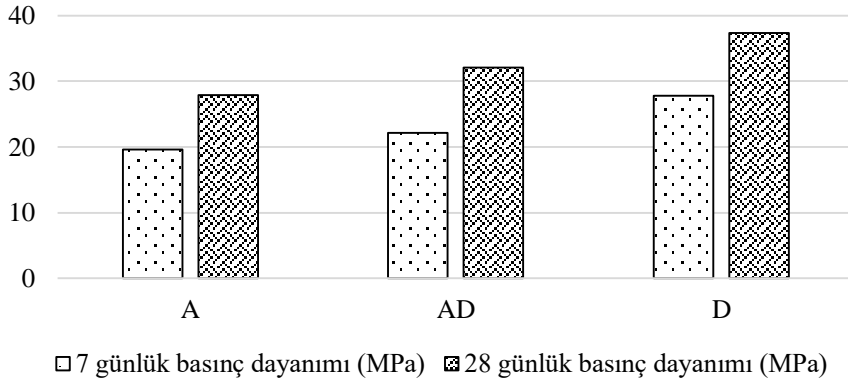
geleneksel beton kullanımına göre avantaj sağlayacağı söylenebilir. Agregaların beton üretiminde kullanılabilmesi için aşınma kaybı değerinin en fazla %50 olması gerekir. SSB geri dönüşümü sonucu elde edilen atık agregalarda Los Angeles aşınma kaybı, %26 olup önerilen sınır değere uygundur. Silindire sıkıştırılmış betonların birim hacim ağırlık, 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü ve aşınma direnci değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Silindire sıkıştırılmış betonlarda beton basınç dayanımı değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Deney sonuçları

SSB kodu	Birim hacim ağırlık (g/cm ³)	Basınç dayanımı (MPa)		Ultrases geçiş hızı (km/s)	Dinamik elastisite modülü (GPa)	Aşınma miktarı (mm)
		7 günlük	28 günlük			
A	2,12	19,6	27,9	3,64	28,83	24,5
AD	2,19	22,1	32,1	3,92	31,89	23,5
D	2,22	27,8	37,3	4,29	36,74	21,0

Birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, ultrases geçi hızı, dinamik elastisite modülü ve aşınma direnci değerlerinin en büyük olduğu numuneler %100 dolomit agregası ile üretilen numunelerdir. Bu numunelerde boşluk hacminin daha az olduğu ve bu durumun dayanım değerlerini olumlu yönde etkilediği söylenebilir. Aşınma direnci değerleri incelendiğinde, en fazla aşınmanın %100 atık agregası ile üretilen numunelerde gerçekleştiği, aşınma direncinin doğal agregası kullanılarak üretilen numunelerde en fazla olduğu görülmektedir. Bu sonucun elde edilmesinde, atık agregalarda doğal agregalara nazaran Los Angeles aşınma kaybının fazla olmasının etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, agregası ile çimento hamuru arasındaki bağın daha zayıf olması da aşınma değerlerinin daha fazla olmasına neden olabilir. Geri dönüştürülmüş agregası kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımı ve dinamik elastisite modülü, kaynak olarak kullanılan betonun su/bağlayıcı oranına, çimento dozajına, agregasının kalitesine, betonun porozitesine diğer bir ifadeyle boşluk oranına, çimento hamuru-agregası adersasına bağlıdır [31, 32].

İri agregası olarak tamamen atık agregası kullanılan numunelerde, yalnızca dolomit kullanılarak üretilen numunelere kıyasla, birim hacim ağırlık değerinde %4,50 düşüş gerçekleşmiştir. %50 atık beton agregası, %50 dolomit agregası ile üretilen numunelerde ise bu düşüş %1,35 ile sınırlı kalmıştır.



Şekil 1. Basınç dayanımı

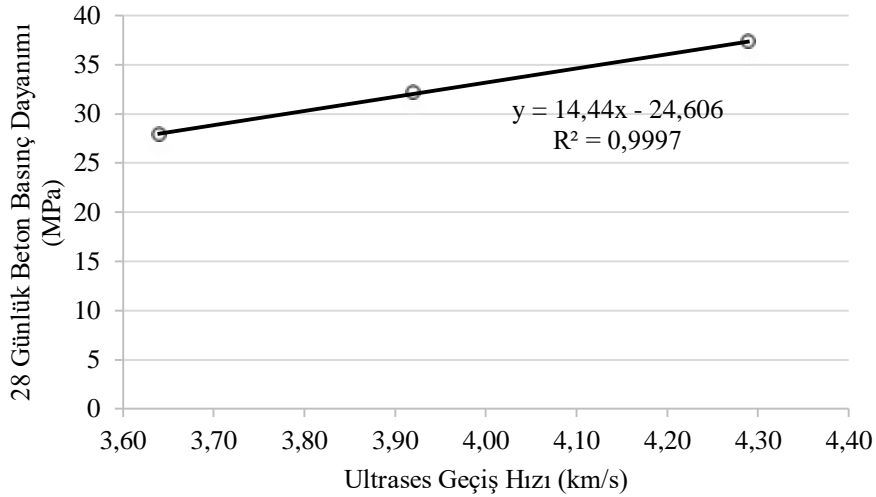
7 günlük beton basınç dayanımları kıyaslandığında, iri agregası olarak yalnızca atık agregası kullanımının, yalnızca dolomit kullanılarak üretilen numunelere göre basınç dayanımında %29,5 azalmaya neden olduğu görülmektedir. %50 atık agregası kullanımı ise 7 günlük basınç dayanımında %20,5 azalma ile sonuçlanmıştır. 28 günlük numunelerde de sonuçlar benzer eğilimdedir. İri agregası olarak %100 oranında atık agregası kullanımı, yalnızca dolomit kullanılarak üretilen numunelere kıyasla basınç dayanımında %25,2 azalmaya neden olurken %50 atık agregası kullanıldığında bu oran %13,9 olmuştur.

Ultrases geçiş hızının belirlenmesi, betondaki boşluk miktarı hakkında bilgi veren tahribatsız bir deney yöntemidir. Betondaki boşluk miktarı arttıkça, ultrases geçiş hızı azalmaktadır. Bununla birlikte, betondaki boşluk oranının artması, beton basınç dayanımında azalmaya ve dürabilite özelliklerinin olumsuz etkilenmesine neden olur. İri agregası olarak tamamen atık agregası kullanılarak üretilen SSB

numunelerde, yalnızca dolomit kullanılarak üretilen numunelere kıyasla, birim hacim ağırlık değerinde %15,15 azalma gözlenmiştir. %50 atık agregası kullanımı ile bu azalma miktarı %8,62 olmaktadır.

Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, ultrases geçiş hızı ile beton basınç dayanımı arasında Şekil 2'deki gibi doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Ultrases geçiş hızı arttıkça, diğer bir ifadeyle betondaki boşluk miktarı azaldıkça, basınç dayanımı artmaktadır. Ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki kuvvetlidir.

İri agregası olarak sadece atık agregası kullanılarak üretilen SSB numunelerde, yalnızca dolomit kullanılarak üretilen numunelere göre betonun dinamik elastisite modülünde %21,53 azalma gözlenmiştir. Doğal agregası ile birlikte %50 atık agregası kullanımı ile bu azalma, %13,20 olmuştur. Geri dönüşüm agregası geleneksel betondan elde edildiğinde, atık agregası ile üretilen betonlarda normal betonlara kıyasla dinamik elastisite modülü değeri %80'e varan oranlarda düşük olabilmektedir [33]. Bu durum göz önüne alındığında, silindirle sıkıştırılmış betonların geri dönüştürülmesinin, geri dönüştürülmüş geleneksel betona göre mekanik özelliklerde daha az bir değişim meydana getirdiği görülmektedir. Geri dönüştürülmüş SSB agregasının kalitesi, geri dönüştürülmüş normal beton agregasından daha iyi olduğundan, silindirle sıkıştırılmış betonlardan elde edilen agreganın beton özellikleri üzerindeki etkisi daha olumludur. Ayrıca, atık betonun öğütülmesi sonucunda elde edilen agreganın üzerinde bulunabilen harç kalıntıları, agreganın yassılık indeksi, yüzey pürüzlülüğü gibi yüzey özellikleri, şekli ve dokusu da üretilen beton performansı üzerinde etkili olmaktadır [34].

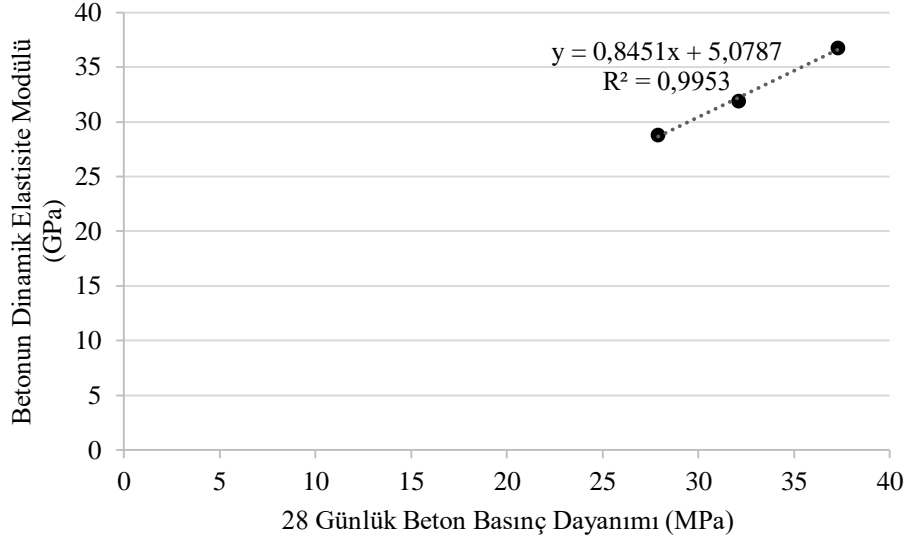


Şekil 2. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda ultrases geçiş hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki

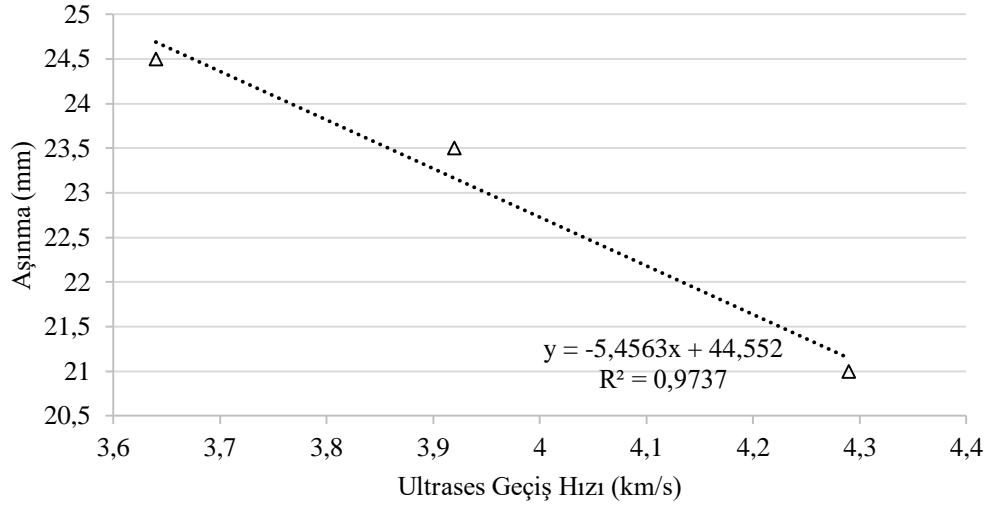
Şekil 3'te silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton basınç dayanımı ile dinamik elastisite modülünün değişimi görülmektedir. Basınç dayanımı arttıkça, dinamik elastisite modülü değerinin de arttığı görülmüştür. 28 günlük beton basınç dayanımı ile betonun dinamik elastisite modülü arasındaki ilişkinin kuvvetli olduğu söylenebilir. Betonun mekanik özellikleri yalnızca karışım oranlarından değil, kullanılan iri agreganın özelliklerinden de doğrudan etkilenmektedir, bu nedenle uygulamaya bağlı olarak hedeflenen bir beton basınç dayanımı mevcutsa, geri dönüştürülmüş agregası kullanımında bu hususa ayrıca dikkat edilmelidir [35].

Şekil 4'te ultrases geçiş hızı ile aşınma miktarı arasındaki ilişki verilmiştir. Grafikte, ultrases geçiş hızı arttıkça yani beton boşluk oranı azaldıkça, aşınma miktarının da azaldığı görülmektedir.

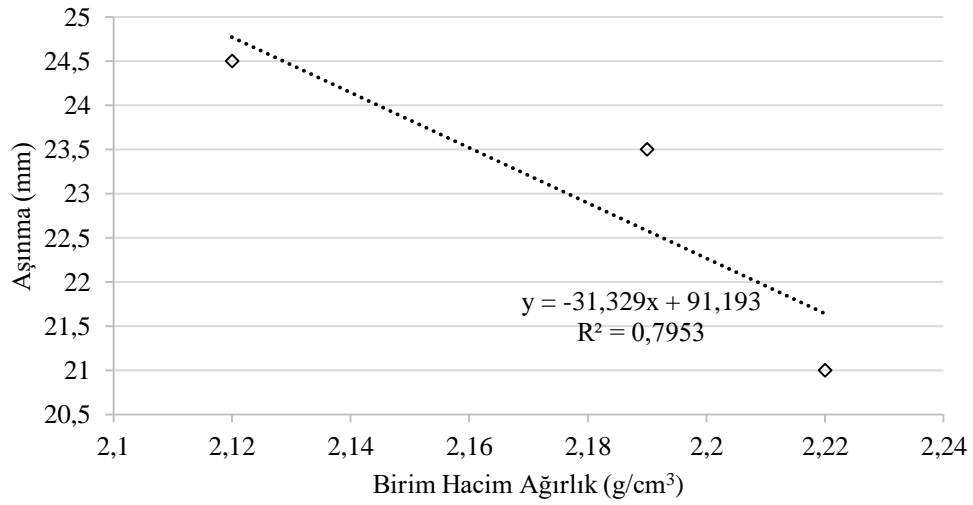
Şekil 5'te birim hacim ağırlık ile aşınma miktarının değişimi gösterilmektedir. Üretilen SSB numunelerin birim hacim ağırlığı arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır ancak bu ikisi arasındaki doğrusal ilişkinin zayıf olduğu söylenebilir. Özellikle yol inşaatı uygulamalarında, kullanılan malzemenin yüzey aşınmasının az olması gerekmektedir, ayrıca bu durum sürüş kolaylığı açısından da önemlidir. Aşınma kaybının az olmasıyla bakım-onarım maliyetleri azalacağı gibi bu onarımlar sırasında yolun trafiğe kapatılmasının yaratacağı ekonomik kayıplar da azaltılabilecektir.



Şekil 3. Silindire sıkıştırılmış betonlarda dinamik elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 4. Ultrases geçiş hızı ile aşınma miktarı arasındaki ilişki



Şekil 5. Birim hacim ağırlık ile aşınma miktarı arasındaki ilişki

Geri dönüştürülmüş agreganın birim hacim ağırlığının doğal agregadan düşük olması sebebiyle, geri dönüştürülmüş agrega ile üretilmiş örneklerin birim hacim ağırlık değerlerinin daha düşük olması beklenen bir sonuçtur. Karışımdaki atık agrega hacmi arttıkça betonun birim hacim ağırlığı azalacaktır. Bununla birlikte, atık agregaların aşınma kaybının fazla olması ve agrega-çimento aderansının daha düşük kaliteli agregalarda daha zayıf olması gibi etkenler, atık agrega ile üretilen betonların yüzey aşınmasının daha fazla olmasına sebep olmuştur. Atık betonda bulunan hidrate olmuş çimento taneleri agrega-çimento hamuru ara yüzeyini zayıflatmış olabilir. Öte yandan, bunun tam tersi sonuçların elde edildiği çalışmalar da mevcuttur [34]. Aşınma mukavemeti ile ilgili olarak doğal agrega ile üretilen referans betona göre geri dönüştürülmüş beton agregaları ile üretilen karışımların daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu belirtilmiş, atık agregalı karışımlarda aşınma etkisine bağlı olarak daha az kesit kaybı ve kütle kaybı gerçekleştiği görülmüştür [36]. Bu sonucun elde edilmesinde iri geri dönüştürülmüş agreganın hem daha yüksek su emme kapasitesine hem de daha yüksek pürüzlülüğe sahip olmasının etkili olduğu, bu durumun harç-agrega ara yüzünü daha kohezif hale getirdiği ve bu nedenle atık agregalı beton için daha iyi aşınma direnci sağlayabildiği ifade edilmiştir [34].

4. Sonuçlar

Geri dönüştürülmüş silindirle sıkıştırılmış beton agregaları, kaynağının nispeten homojen olmasından ötürü, Los Angeles aşınma direnci, su emme değeri gibi beton kalitesini doğrudan etkileyen fiziksel özelliklerde nispeten homojenlik sağladığından bu atık agreganın beton üretiminde yeniden değerlendirilmesi mümkün olabilir. Yine de atık agregaların doğal agregalara göre su emme değerlerinin ve Los Angeles aşınma değerlerinin daha fazla olduğu, atık agregalarla üretilen betonlarda dayanım, dayanıklılık, işlenebilirlik ve beton kalitesi konularında doğal agrega ile üretilen betonlara kıyasla daha fazla sorunla karşılaşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde kullanılan atık agrega miktarı arttıkça, beton basınç dayanımında düşüş, dinamik elastisite modülünde azalma ve yüzey aşınma değerinde artma gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra, atık agrega kullanımı, ultrases geçiş hızında azalma, beton boşluk hacminde ve su emme değerlerinde artış ile sonuçlanmıştır. Atık agrega kullanımıyla betonun birim hacim ağırlığı azalmaktadır. Genel olarak atık agrega kullanımı, beton özelliklerini olumsuz etkilemekle birlikte, çevresel anlamda düşünüldüğünde, doğal kaynakların korunması anlamında yarar sağlamaktadır. Bu atıkların taşınması, depolanması ve çevreye zarar vermeyecek biçimde bertaraf edilmesi gerektiğinden atık agregaların beton içinde yeniden değerlendirilmesi, söz konusu süreçte de fayda getirmektedir. Ağır vasıta yoğunluğunun düşük olduğu yerlerde, tamamen atık agrega ile üretilen beton özellikleri yeterli olabilir. Dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi açısından, atık agregaların doğal agregalar ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılması bir çözüm olarak uygulanabilir. Uygun beton tasarımıyla, atık agregaların silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde yeniden değerlendirilmesi, ekonomik ve sürdürülebilir bir beton üretimi sürecine katkı sağlayacaktır. Silindirle sıkıştırılmış atık beton agregaları ile yapılmış olan çalışmalar sınırlı olduğundan, bu konu üzerinde yapılacak araştırmaların artırılması faydalı olacaktır.

Yazarların Katkısı

İsmail KILIÇ: Analizi planlamış, tasarlamış ve veri toplamıştır. Saadet Gökçe GÖK: Veri toplamış, verilerin analizini yaparak makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

[1] Jingfu K., Chuncui H., Zhenli Z. 2009. Strength and Shrinkage Behaviors of Roller-Compacted

- Concrete with Rubber Additives. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 42 (8): 1117–1124.
- [2] Şengün E., Alam B., Sevin H. L., Aytaç A. H., Yaman İ. Ö. 2017. SSB Yolların Saha ve Laboratuvar Mekanik Performansının Karşılaştırılması. Hazır Beton Kongresi, Mayıs 2017, İstanbul.
- [3] Wang C., Chen W., Hao H., Zhang S., Song R., Wang X. 2018. Experimental Investigations of Dynamic Compressive Properties of Roller Compacted Concrete (RCC). *Construction and Building Materials*, 168: 671–682.
- [4] Wang X., Zhang S., Wang C., Liu F., Song R., Wei P. 2018b. Initial Damage Effect on Dynamic Compressive Behaviors of Roller Compacted Concrete (RCC) Under Impact Loadings. *Construction and Building Materials*, 186: 388–399.
- [5] Wang X., Zhang S., Wang C., Song R., Shang C., Fang X. 2018. Experimental Investigation of The Size Effect of Layered Roller Compacted Concrete (RCC) Under High-Strain-Rate Loading. *Construction and Building Materials*, 165: 45–57.
- [6] Arıoğlu N., Hatipoğlu D. D., Arıoğlu-Salmona M. O., Arıoğlu E. 2002. Sürdürülebilirlik Kavramı Anlayışında Beton Endüstrisinin İrdelenmesi. <https://yapimerkezi.com.tr/PdfDosyaları/ebdb652b-b1d9-4d19-af20-c28ded302fbd-7a5c3811-1160-4f5f-8669-beb507c87990.pdf>. (Erişim tarihi: 09.02.2021).
- [7] Drochytka R., Dufek Z., Michalčíková M., Hodul J. 2020. Study of Possibilities of Using Special Types of Building and Demolition Waste in Civil Engineering. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64 (1): 304–314.
- [8] Atış C. D. 2005. Strength Properties of High-Volume Fly Ash Roller Compacted and Workable Concrete, and Influence of Curing Condition. *Cement and Concrete Research*, 35 (6): 1112–1121.
- [9] Mardani-Aghabaglou A., Ramyar K. 2013. Mechanical Properties of High-Volume Fly Ash Roller Compacted Concrete Designed By Maximum Density Method. *Construction and Building Materials*, 38: 356–364.
- [10] Mardani-Aghabaglou A., Andiç-Çakır Ö., Ramyar K. 2013. Freeze-Thaw Resistance and Transport Properties of High-Volume Fly Ash Roller Compacted Concrete Designed by Maximum Density Method. *Cement and Concrete Composites*, 37 (1): 259–266.
- [11] Cao C., Sun W., Qin H. 2000. Analysis on Strength and Fly Ash Effect of Roller-Compacted Concrete with High Volume Fly Ash. *Cement and Concrete Research*, 30 (1): 71–75.
- [12] Adamu M., Mohammed B. S., Liew M. S. 2018. Mechanical Properties and Performance of High Volume Fly Ash Roller Compacted Concrete Containing Crumb Rubber and Nano Silica. *Construction and Building Materials*, 171: 521–538.
- [13] Chi M., Huang R. 2014. Effect of Circulating Fluidized Bed Combustion Ash on the Properties of Roller Compacted Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 45: 148–156.
- [14] Modarres A., Hosseini Z. 2014. Mechanical Properties of Roller Compacted Concrete Containing Rice Husk Ash with Original and Recycled Asphalt Pavement Material. *Materials and Design*, 64: 227–236.
- [15] Meddah A., Beddar M., Bali A. 2014. Use of Shredded Rubber Tire Aggregates for Roller Compacted Concrete Pavement. *Journal of Cleaner Production*, 72: 187–192.
- [16] Lopez-Uceda A., Agrela F., Cabrera M., Ayuso J., López M. 2018. Mechanical Performance of Roller Compacted Concrete with Recycled Concrete Aggregates. *Road Materials and Pavement Design*, 19 (1): 36–55.
- [17] Courard L., Michel F., Delhez P. 2010. Use of Concrete Road Recycled Aggregates for Roller Compacted Concrete. *Construction and Building Materials*, 24 (3): 390–395.
- [18] Belleflamme M. 2004. Recycled Aggregates and CE Marking, Yüksek lisans tezi, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, 145.
- [19] Levy S. M., Helene P. 2004. Durability of Recycled Aggregates Concrete: A Safe Way to Sustainable Development. *Cem Concr Res*, 34 (11): 1975–1980.
- [20] Gómez-Soberón J. 2002. Porosity of Recycled Concrete with Substitution of Recycled Concrete Aggregate: An Experimental Study. *Cem Concr Res*, 32: 1301–1311.
- [21] Debieb F., Courard L., Kenai S., Degeimbre R. 2009. Roller Compacted Concrete with Contaminated Recycled Aggregates. *Construction and Building Materials*, 23 (11): 3382–3387.

- [22] TS EN 1097-3. 1999. Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri için Deneyler - Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [23] TS EN 1097-6. 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [24] TS EN 1097-2. 2010. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler - Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [25] TS 802. 2016. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [26] TS EN 12350-2. 2010. Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [27] TS EN 12390-3. 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [28] ASTM C 597-16. 2016. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [29] TS EN 1342. 2013. Dış Zeminlere Döşenen Doğal Parke Taşları-Gerekler ve Deney Yöntemleri. TSE.
- [30] ASTM C 1435/C 1435M-20. 2020. Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete In Cylinder Molds Using A Vibrating Hammer. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [31] Özturan T. 1988. Eski Beton Kırığı Agregalı Betonlar. Yapı Malzemesi Seminerleri, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [32] Durmuş G., Şimşek O., Dayı M. 2009. Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24 (1): 183–189.
- [33] Topçu İ. B., Günçan N. F. 1995. Using Waste Concrete as Aggregate. Cement and Concrete Research, 25 (7): 1385–1390.
- [34] Matias D., De Brito J., Rosa A., Pedro D. 2013. Mechanical Properties of Concrete Produced with Recycled Coarse Aggregates – Influence of the Use of Superplasticizers. Construction and Building Materials, 44: 101–109.
- [35] Butler L., West J. S., Tighe S. L. 2013. Effect of Recycled Concrete Coarse Aggregate from Multiple Sources on the Hardened Properties of Concrete with Equivalent Compressive Strength. Construction and Building Materials, 47: 1292–1301.
- [36] Evangelista L., De Brito J. 2007. Mechanical Behaviour of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates. Cem Concr Compos, 29 (5): 397–401.

Araştırma Makalesi / Research Article

Harran Ovası Yaygın Toprak Serilerinin Su Tutma Eğrilerinin Belirlenmesi

Ali Rıza ÖZTÜRKMEN*, Emrah RAMAZANOĞLU, Murat ÇAKMAKLI, Eda ÇAKMAKLI

*Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa
(ORCID:0000-0003-0799-9825)(ORCID:0000-0002-7921-5703)
(ORCID:0000-0002-9998-5094) (ORCID:0000-0002-6842-2344)*

Öz

Harran Ovası toplam 225 000 hektarlık büyük bir tarımsal potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, Harran Ovasında yaygın olan toprak serilerinin su tutma eğrilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen veriler ve tartışmaların ışığı altında, Fatik ve Tektek dağları rezidüleri ve ova topraklarının kil mineralleri bakımından gösterdiği benzerliğe dayanarak, paligorskitin kireç taneleri içinde oluştuğunu ve bunun ayrışma sonucu toprağa karışmakta olduğu söylenebilir. Toprakta suyun tutulma basıncı bitkilerin toprak suyundan faydalanmasını direkt etkilemektedir. Bu çalışmada Harran ovasında Harran, Çekçek, Bellitaş ve İkizce olmak üzere 5 adet toprak profili açılmıştır. Toprak profillerinde yapılan tarla kapasitesi, daimi solma noktası ve yarayışlı su içerikleri analizlerinde toprakların birbirine yakın değerler belirlenmiştir. Toprak profilleri saturasyon yüzdesi ortalama değer olarak Çekçek seri %70,86, Harran 1 serisi %82.19, Harran 2 serisi %81.73, İkizce serisi %65.23 ve Bellitaş serisi 67.43 olarak belirlenmiştir. Harran Ovası topraklarının ağır bünyeli topraklar olduğu ve tarla kapasitesi bakımından ise yüksek olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Harran Ovası, Su Tutma Eğrisi, Tarla kapasitesi, Solma Noktası

Determination of Water Retention Curves of Harran Plain Common Soil Series

Abstract

Harran Plain has a great agricultural potential of 225 000 hectares in total. In the light of the data and discussions obtained from the study, it can be said that palygorskite formed in lime grains and that it was mixed with the soil as a result of decomposition, based on the similarity of the residues of Fatik and Tektek mountains and the plain soils in terms of clay minerals. In this study, it was aimed to determine the water retention curves of the soil series common in the Harran Plain. Water retention pressure in the soil directly affects the plants' utilization from soil water. In this study, 5 soil profiles were opened in the Harran plain, namely Harran, Çekçek, Bellitaş and İkizce. In the field capacity, permanent wilting point and available water content analyzes on the soil profiles, values of the soils were determined close to each other. Soil profiles saturation percentage was determined as 70.86% Çekçek series, 82.19% for Harran 1 series, 81.73% for Harran 2 series, 65.23% for İkizce series and 67.43 for Bellitas series as the average value. Harran Plain soils are determined to be heavy textured soils and high in terms of field capacity.

Keywords: Harran Plain, Water Retention Curve, Field capacity, permanent wilting point

1. Giriş

İklim değişikliği ve kuraklık dünyada artan küresel ısınmanın en büyük etkileri olarak görülmektedir. Bu nedenle doğal su kaynaklarımızın daha etkin kullanımını sağlamak amacıyla su yönetimi kavramını gündeme getirmektedir. Tarımsal sulamada kullanılan sulama suyunun etkin kullanılması suyun yönetiminde en etkili yoldur [1]. Su bitkisel üretimde önemli biri yere sahip olmakla birlikte toprak ve

* Sorumlu yazar: arozturkmen@hotmail.com

Geliş Tarihi: 09.02.2021, Kabul Tarihi: 03.05.2021

suyun etkileşiminin bilmesi bitkisel üretimde verimi etkileyen en temel unsur olarak göze çarpmaktadır. Toprak, bitkinin ihtiyaç duyduğu suyu temin ettiği alan olmakla birlikte aynı zamanda bitkiler için su depolama alanı olarak ta karşımıza çıkmaktadır. Toprağın suyu depolaması veya bitkilerin toprak suyundan etkin bir şekilde faydalanması ise toprak yapısı, toprağın porozitesi ile birlikte toprak fraksiyonlarının boyutuna göre değişkenlik göstermektedir [2]. Toprakların su içerikleri yeryüzünün karasal biyosferinin su ile birlikte enerji dengesini sağlamakta, bu denge ise iklim değişikliği karşısında yer kürenin gösterdiği en büyük direnç olmaktadır [3, 4]. Toprak su içeriği toprakların sahip olduğu derinlik ile birlikte eğitimde önemli ölçüde etkilemektedir [5]. Su toprakta bitkiler için yararlı olan bitki besin elementlerinin topraktaki davranışını ve alınabilir miktarları üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir [6]. Su dünyada tüm canlılar için mutlak ihtiyaç duyulan doğal kaynakların başında gelir. Bitkisel üretim açısından su topraktan bitki bünyesine mineral besinlerin taşınması, bitki bünyesinde organeller arasında taşınım sağlaması ve suyun varlığında bitkinin fotosentez yapabiliyor olması suyun bitkiler için hayati önem taşımasından dolayı tarımsal üretimde yüksek oranda su sarf edilmektedir [7]. Arazi koşullarında 1 ton tahıl üretimi için yaklaşık 400 ton suyun kullanıldığını bildirmişlerdir [8]. Toprak suyun hareketini ve bütçesini bilmek mühendislik çalışmalarında da büyük bir öneme sahiptir. Tarımsal sulamadan kaynaklı veya yağmur suyunun yüzeyinden toprak profiline doğru hareketi buharlaşma, drenaj veya yüzey akışı ile topraktan uzaklaşan suyun miktarını belirlemek toprakların mühendislik çalışmaları için büyük bir öneme sahiptir [9]. Toprakta suyun infiltrasyonu üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Toprak yüzeyinin kaymak tabakası bağlaması suyun infiltrasyon hızını düşürdüğü bunun için kültivatör ile kaymak tabakasının kırılması veya varsa geçirimsiz tabakanın dip kazanla ile kırılması infiltrasyon hızını arttırmaktadır [10, 11]. İnfiltrasyon hızı arazilerin farklı kullanımlar altında zamansal ve mekânsal olarak değişkenlik gösterdiği bu değişkenliğin en önemli nedenleri olarak toprakların sahip oldukları makro, mikro ve mezo gözeneklerden kaynaklandığını bildirmiştir [12]. Toprak hidrolik iletkenliği işlemeli ve işlemsiz topraklarda değişkenlik göstermektedir [13]. Toprakta sıvı fazda iki farklı tipte su hareketi gözlenmektedir. Toprakta suyun hareketi gözeneklerin tamamının akış halindeki sıvı ile dolu olup olmamasına göre doymuş ve doymuş olmayan koşullarda ifade edilmektedir (Özdemir, 1998). Toprak sıvı fazı toprakta suyun hareketi ile gözeneklerin tamamen dolmasıyla doymuş koşullar, gözeneklerin tamamen dolmamasıyla doymamış koşullar olarak iki şekilde ifade edilir [14].

Şanlıurfa ili toprakları genel olarak; kireç içeriği ve kil içeriği yüksek, organik madde seviyesi düşük, alkalın reaksiyon gösteren topraklardır [15, 16]. Kil bünyeli topraklarda porozitenin az olması toprakta suyun hareketini önemli düzeyde azaltarak toprakların yüzey akışla erozyona maruz kalmasını neden olmaktadır [17].

Bu çalışma Harran ovasında yaygın olan toprak serilerinde toprakta suyun hareketini ve toprakların nem su tutma eğrilerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

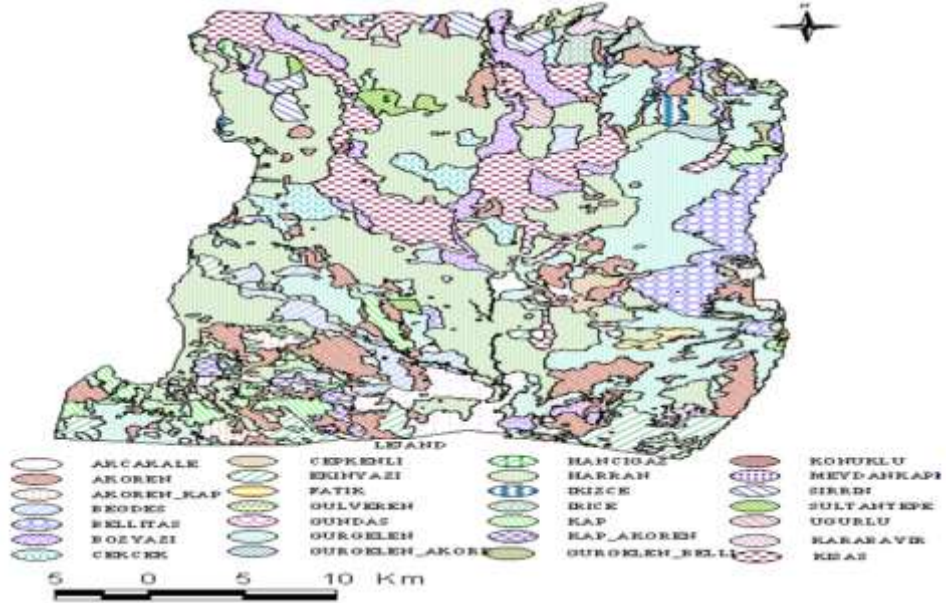
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

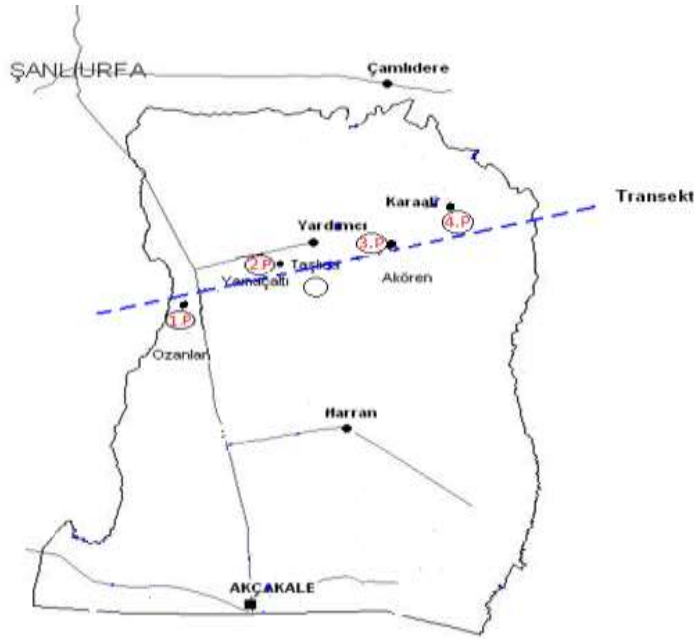
2.1.1. Çalışma Alanları

Çalışmada incelenen toprak serileri Harran Ovası Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 36° 47' ve 39° 15' doğu boylamları, 36° 40' ve 37° 41' kuzey enlemleri arasında güneyde Suriye sınırı, kuzeyde Germuş ve Şanlıurfa dağları, batısında Fatik dağları doğusunda ise Tektek dağları bulunmaktadır. Toplam 225 000 hektar olan Harran Ovasında yapılan detaylı çalışmalar sonucu 25 toprak serisi (Şekil 1) belirlemişlerdir [21].

Çalışmada Harran Ovasını temsil edecek şekil en yaygın olarak görülen Fatik – Tektek arasında bulunan yaygın toprak serilerinden 5 tanesi detaylı olarak incelenmiştir. Bunlar; Çekçek, Harran 1, Harran 2, İkizce ve Bellitaş olmak üzere 5 profil açılmış olup, horizon esasına göre 35 toprak örneği alınmıştır. Toplam 5 toprak profilinin açıldığı yerler Fatik ve Tektek Dağları arasında bir hat (transekt) oluşturmuş ve Harran Ovası haritasında gösterilmiştir (Şekil 2). Fatik – Tektek arasında bulunan yaygın toprak serilerinden 5 tanesi detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 1. Harran Ovasının toprak serileri haritası (Dinç ve ark., 1988)



Şekil 1. Toprak profili açılan noktalar

2.2. Metot

Çalışma alanından alınan toprak örnekleri 2 mm elekten geçirildikten sonra analize hazır hale getirilmiştir. Çalışma alanına ait toprakların analizleri Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme laboratuvarında yapılmıştır. Bitkiye yararlı su, tarla kapasitesi ve daima solma noktası farkından belirlenmiştir. Tarla kapasitesi belirmeme işlemi için, 1/3 atm'lik seramik levhalara 2 mm elekten elenmiş toprak doldurularak 24 saat süre ile basınçlı tencerede beklenmiştir. Toprak bünyesine bağlı olarak (18-48 saat) basınçlı tencereden çıkan atık suyun bitişiyile işlem sonlandırılır. Basınçlı tencereden alınan örnekler 24 saat süre ile 105 °C'de bekletildikten sonra yapılan tartım ile tarla kapasitesi belirlenmiştir [18, 23]. Daimi solma noktası belirmeme işlemi için, 15 atm'lik seramik levhalara 2 mm elekten elenmiş toprak doldurularak 24 saat süre ile beklenmiştir. Toprak bünyesine bağlı olarak (18-48 saat) tencereden çıkan atık suyun bitişiyile işlem sonlandırılır. Basınçlı

tencereden alınan örnekler 24 saat süre ile 105 °C’de bekletildikten sonra yapılan tartım ile daimi solma noktası belirlenmiştir [18, 22].

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada Harran Ovasında Harran 1, Harran 2, Çekçek, Bellitaş ve İkizce olmak üzere 5 adet toprak profili açılmıştır. Toprak profillerinde yapılan tarla kapasitesi, daimi solma noktası ve yarayışlı su içerikleri analizlerinde toprakların birbirine yakın değerler belirlenmiştir. Farklı basınç altında elde edilen toprakların su tutma kapasiteleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı basınç altında toprakların su tutma kapasiteleri

Toprak Serisi ve Derinlik (cm)	Satürasyon Derecesi (0 atm)	Tarla Kapasitesi (1/3 atm)	Daimi solma Noktası (15 atm)	Yarayışlı Su içeriği
Çekçek (0-15 cm)	72,04	33,41	20,83	12,58
Çekçek (15-33 cm)	65,54	36,00	18,95	17,05
Çekçek (33-55 cm)	80,71	35,49	22,72	12,77
Çekçek (55-76 cm)	94,71	37,01	23,01	14,00
Çekçek (76-100 cm)	41,30	37,23	24,60	12,63
Harran 1 (0-12 cm)	71,68	35,26	23,44	11,83
Harran 1 (12-30 cm)	72,16	38,53	24,73	13,79
Harran 1 (30-56 cm)	96,54	40,98	21,91	19,07
Harran 1 (56-86 cm)	77,79	39,95	22,19	17,76
Harran 1 (86-113 cm)	92,77	38,49	22,01	16,48
Harran 2 (0-12 cm)	71,50	35,25	25,00	10,25
Harran 2 (12-30 cm)	72,00	38,25	32,87	5,38
Harran 2 (30-66 cm)	96,50	40,76	22,03	18,73
Harran 2 (66-112 cm)	76,98	39,13	22,29	16,84
Harran 2 (112-140 cm)	91,66	38,51	21,94	16,56
İkizce (0-14 cm)	59,14	30,60	15,15	15,45
İkizce (14-30 cm)	62,13	30,13	17,98	12,15
İkizce (30-60 cm)	67,11	32,28	17,36	14,92
İkizce (60-103 cm)	72,56	32,32	17,72	14,60
Bellitaş (0-10 cm)	60,21	27,25	17,14	10,11
Bellitaş (10-28 cm)	63,33	30,31	18,16	12,15
Bellitaş (28-60 cm)	67,48	33,77	18,07	15,71
Bellitaş (60-94 cm)	72,37	32,15	20,84	11,31
Bellitaş (94-125 cm)	73,75	32,26	16,32	15,93

3.1. Çekçek Serisi

Satürasyon derecesi (0 atm) 41,30-65,54 arasında, Tarla Kapasitesi (1 atm) 33,41 – 37,23 arasında, Daimi Solma noktası (15 atm) 18,95 – 24,60 arasında değerler alırken En yüksek yarayışlı su miktarı 17,05 değeri ile 15-33 cm derinliğinde ölçülmüştür.

3.2. Harran 1 Serisi

Satürasyon derecesi (0 atm) 71,68 – 96,54 arasında, Tarla Kapasitesi (1 atm) 35,26 - 40,98 arasında, Daimi Solma noktası (15 atm) 21,91 – 24,73 arasında değerler alırken En yüksek yarayışlı su miktarı 19,07 değeri ile 30,56 cm derinliğinde ölçülmüştür (Çizelge 1).

3.3. Harran 2 Serisi

Satürasyon derecesi (0 atm) 71,50 – 96,50 arasında, Tarla Kapasitesi (1 atm) 35,25 – 40,76 arasında, Daimi Solma noktası (15 atm) 21,94 – 32,87 arasında değerler alırken en yüksek yarayışlı su miktarı 18,73 değeri ile 30 – 66 cm derinliğinde ölçülmüştür.

3.4. İkizce Serisi

Satürasyon derecesi (0 atm) 59,14 – 72,56 arasında, Tarla Kapasitesi (1 atm) 30,60 – 32,32 arasında, Daimi Solma noktası (15 atm) 15,15 – 17,98 arasında değerler alırken En yüksek yarayışlı su miktarı 15,45 değeri ile 0 – 14 cm derinliğinde ölçülmüştür (Çizelge 2).

3.5. Bellitaş Serisi

Satürasyon derecesi (0 atm) 60,21 – 73,75 arasında, Tarla Kapasitesi (1 atm) 27,25 – 33,77 arasında, Daimi Solma noktası (15 atm) 16,32 – 20,84 arasında değerler alırken En yüksek yarayışlı su miktarı 15,93 değeri ile 94 - 125 cm derinliğinde ölçülmüştür(Tablo 2).

Tablo 2. Toprak profillerinin farklı basınç altında su içerikleri

Profiller	0 atm	33 atm	500 atm	1000 atm	1500 atm
Çekçek (0-15 cm) Ap1	72,04	32,26	30,60	21,55	20,83
Çekçek (15-33 cm) A1	65,54	36,01	22,78	21,24	18,95
Çekçek (33-55 cm) Bw1	80,71	35,49	31,68	22,02	22,72
Çekçek (55-76 cm) Bw2	94,71	37,01	33,68	23,09	23,01
Çekçek (76-100 cm) Bw3	41,30	37,23	33,74	25,23	24,61
Harran 1 (0-12 cm) Ap1	71,68	35,26	31,26	23,24	23,44
Harran 1 (12-30 cm) Ap2	72,16	38,53	33,56	26,45	24,73
Harran 1 (30-56 cm) Bw1	96,54	40,98	24,52	25,82	21,91
Harran 1 (56-86 cm) Bw2	77,79	39,95	25,03	24,88	22,19
Harran 1 (86-113 cm) Bc1	92,77	38,49	23,28	25,04	22,01
Harran 2 (0-12 cm) Ap	71,50	35,01	31,20	23,01	23,20
Harran 2 (12-30 cm) A1	72,00	38,10	33,87	26,22	24,71
Harran 2 (30-66 cm) Bwk1	96,50	41,02	24,60	25,80	22,01
Harran 2 (66-112 cm) Bwk2ss	76,98	40,10	24,92	24,65	22,03
Harran 2 (112-140 cm) Bwk3	91,66	39,01	23,21	24,95	22,16
İkizce (0-14 cm) Ap1	59,14	30,61	23,40	17,77	15,15
İkizce (14-30 cm) Ap2	62,13	30,13	33,70	18,31	17,98
İkizce (30-60 cm) Bwk1	67,11	32,28	24,58	19,41	17,36
İkizce (60-103 cm) Bwk2	72,56	32,32	24,27	19,39	17,72
Bellitaş (0-10 cm) Ap1	60,21	27,25	29,16	17,54	17,14
Bellitaş (10-28 cm) Ap2	63,33	30,31	29,19	19,88	18,16
Bellitaş (28-60 cm) Bw	67,48	33,77	23,42	20,47	18,11
Bellitaş (60-94 cm) 2Bw	72,37	32,15	35,93	20,13	20,84
Bellitaş (94-125 cm) 2 BC	73,75	32,31	33,11	20,55	16,33

Harran Ovası ağır bünyeli topraklara sahip, uzun yıllardır tarım yapılan alanlardır. Bu tarımsal alanlarda 1995 yılına kadar kısmen, bu tarihten sonra ise büyük çoğunluğunun sulandığı topraklardır. Bu ovada toprak işlemenin artmasıyla toprağa su alımı kolaylaşmıştır. Ova topraklarının işlenmesinin artması, başlangıçta infiltrasyon oranını artırmaktadır. Bu arazilerde yapılan artan toprak işleme ile gözenekliliği artar ve yağmur sularının hızla emilmesini sağlar [19]. Yapılan çalışmalarda da, ilk sulama

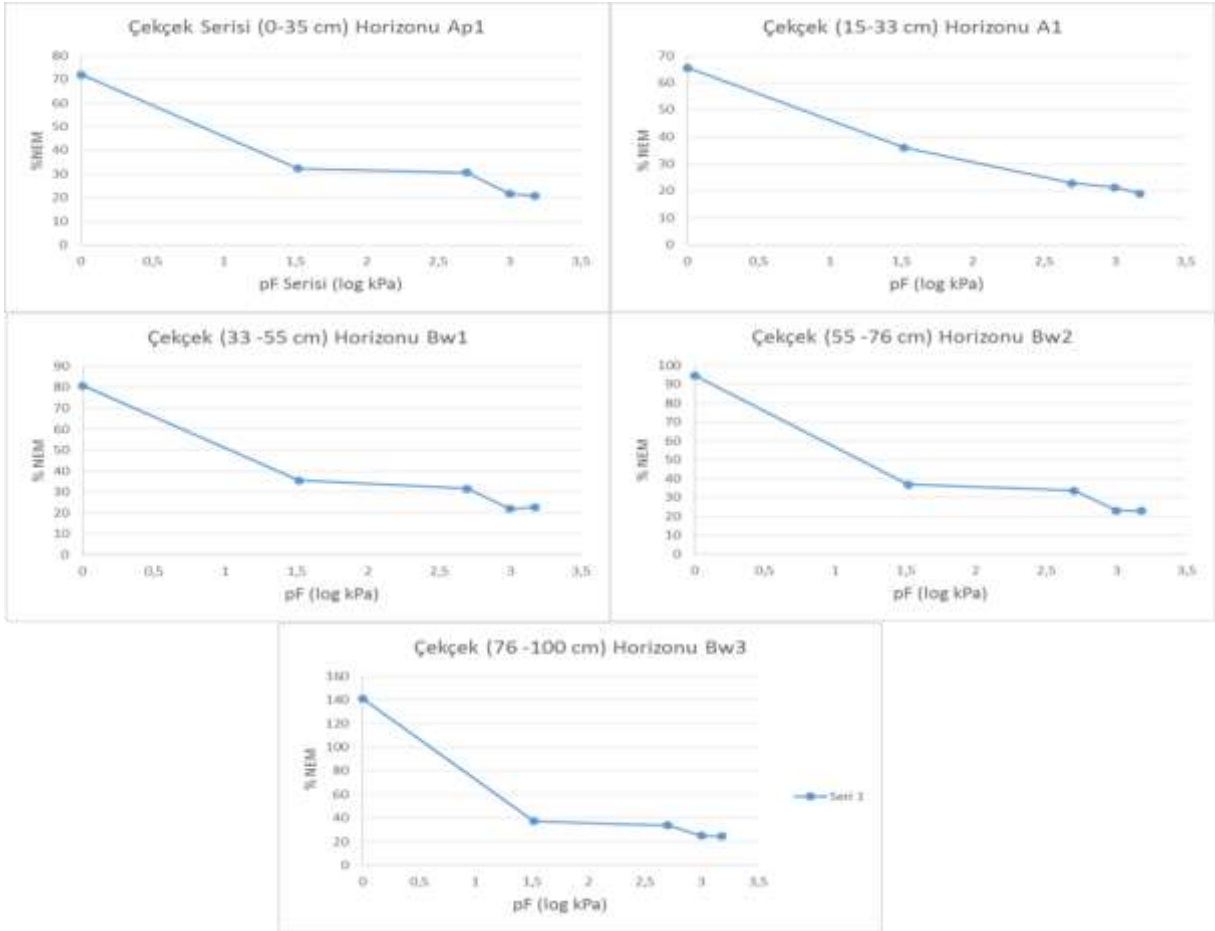
başlangıcında infiltrasyon hızının yüksek olduğunu göstermiştir. Ama kısa süre sonra; boşlukların dolması ve serbest havanın direncine bağlı olarak, infiltrasyon şiddeti hızla azalma gösterir.

Harran Ovası topraklarında, infiltrasyon hızının çok düşük olduğu, buna karşın 10 cm derinlikte toprak sürümü ile infiltrasyon oranında önemli bir artış sağlandığı belirlenmiştir. Ayrıca sürüm derinliğinin artması ile toprağın su tutma kapasitesinin de arttığı belirlenmiştir [20].

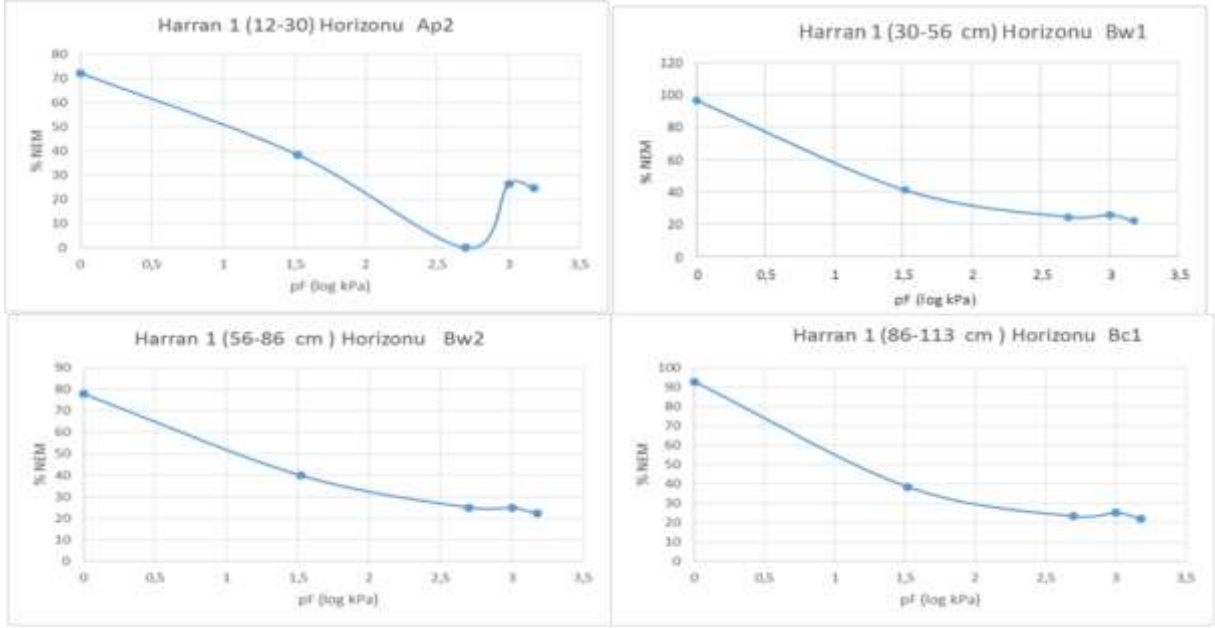
3.6. Toprak Serisinin Farklı Toprak Derinliğinde Su Tutma Eğrileri

Tarla kapasitesi; ağır bünyeli topraklar için yüksek, hafif bünyeli topraklarda düşük değerlere sahiptir. Tarla kapasitesine sahip bir toprakta toprak-nem tansiyonu (gerilimi), 1/10-2/3 atm arasında bulunmaktadır. Ağır bünyeli topraklarda tarla kapasitesine karşı gelen gerilim 2/3 atm, dolaylarındadır.

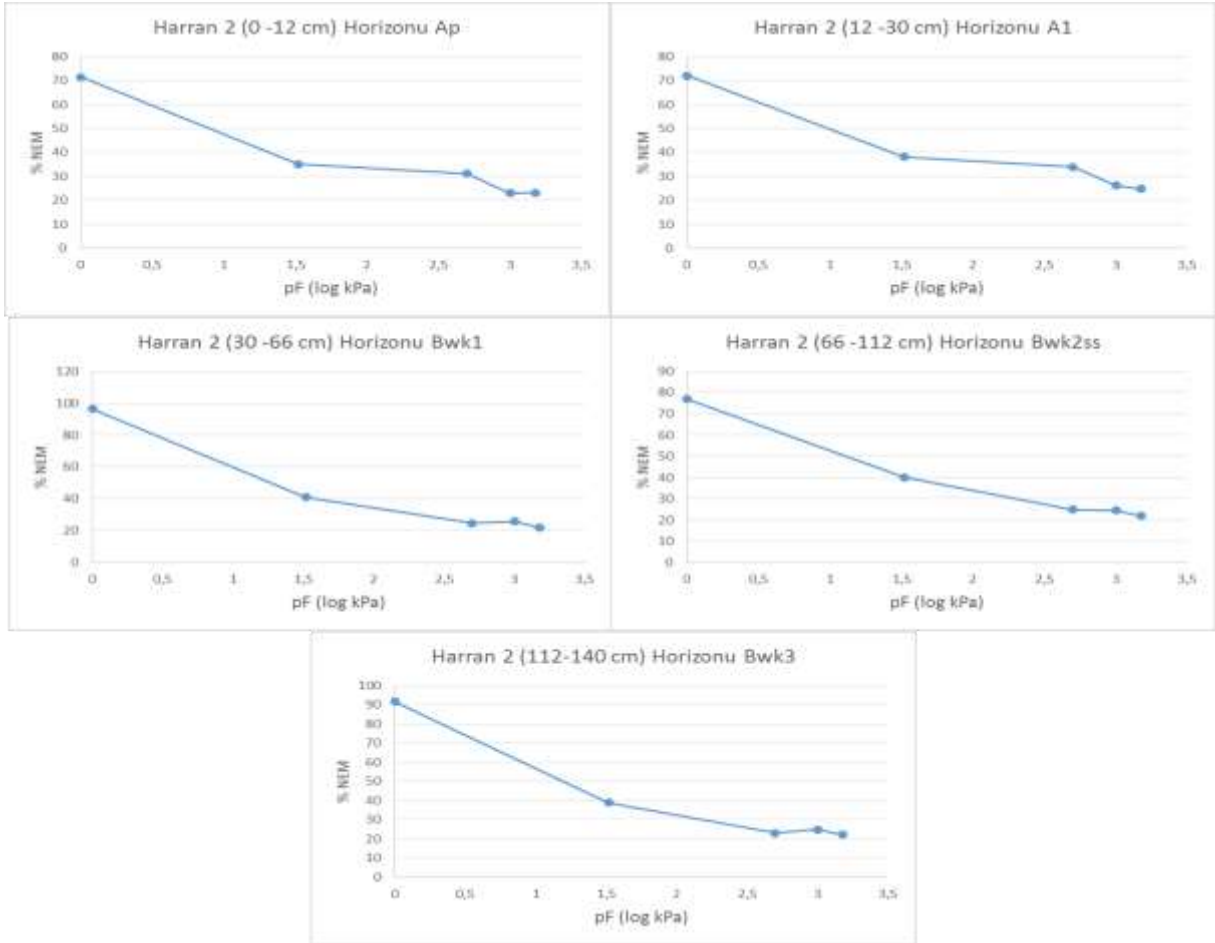
Toprağın solma noktasına karşı gelen su içeriği ağır bünyeli topraklarda yüksek, hafif bünyeli topraklarda ise düşüktür. Yine solma noktasına karşı gelen toprak-nem gerilimi 7-40 atm arasında değişir. Ağır bünyeli topraklarda toprak-nem gerilimi 40 atm dolaylarındadır. Pratik amaçlar için solma noktasına karşı gelen nem içeriği toprak daneleri tarafından 15 atm'de tutulduğu yaklaşımlı yapılmaktadır [14]. Toprak analizleri sonucunda oluşan grafiklerde de görüldüğü gibi topraklar ağır bünyeye sahip topraklardır.



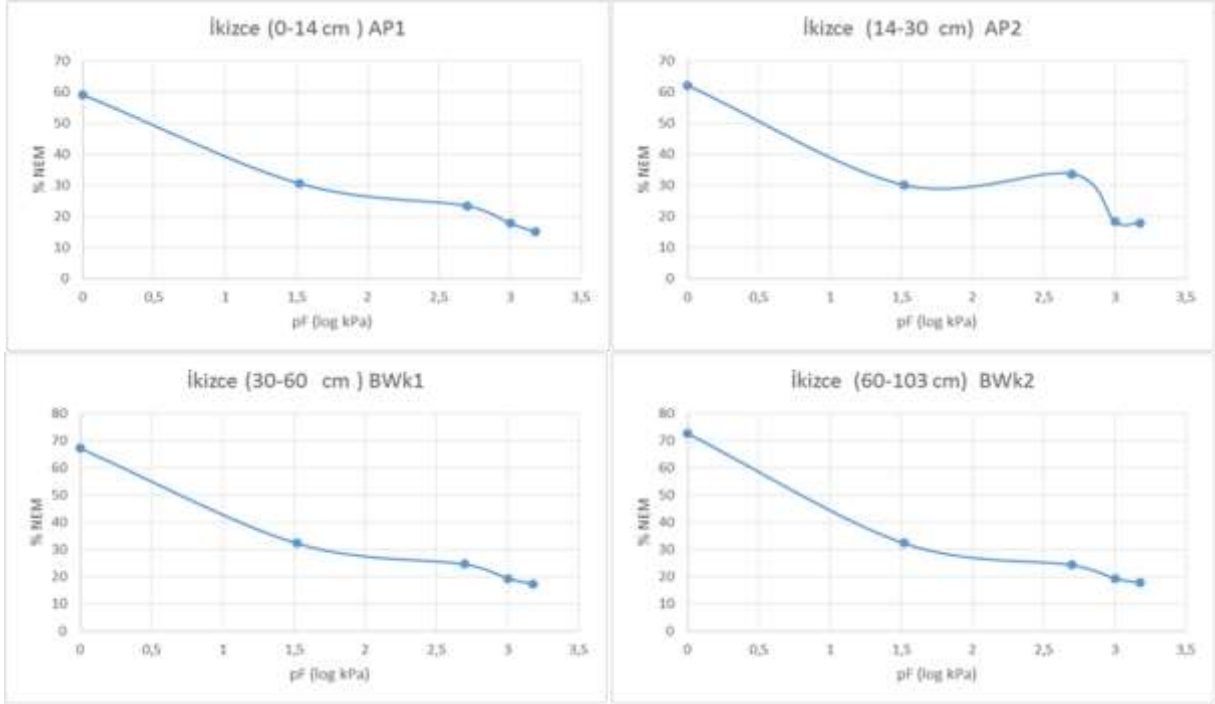
Şekil 2. Çekçek toprak serisinin farklı toprak derinliğinde su tutma eğrileri



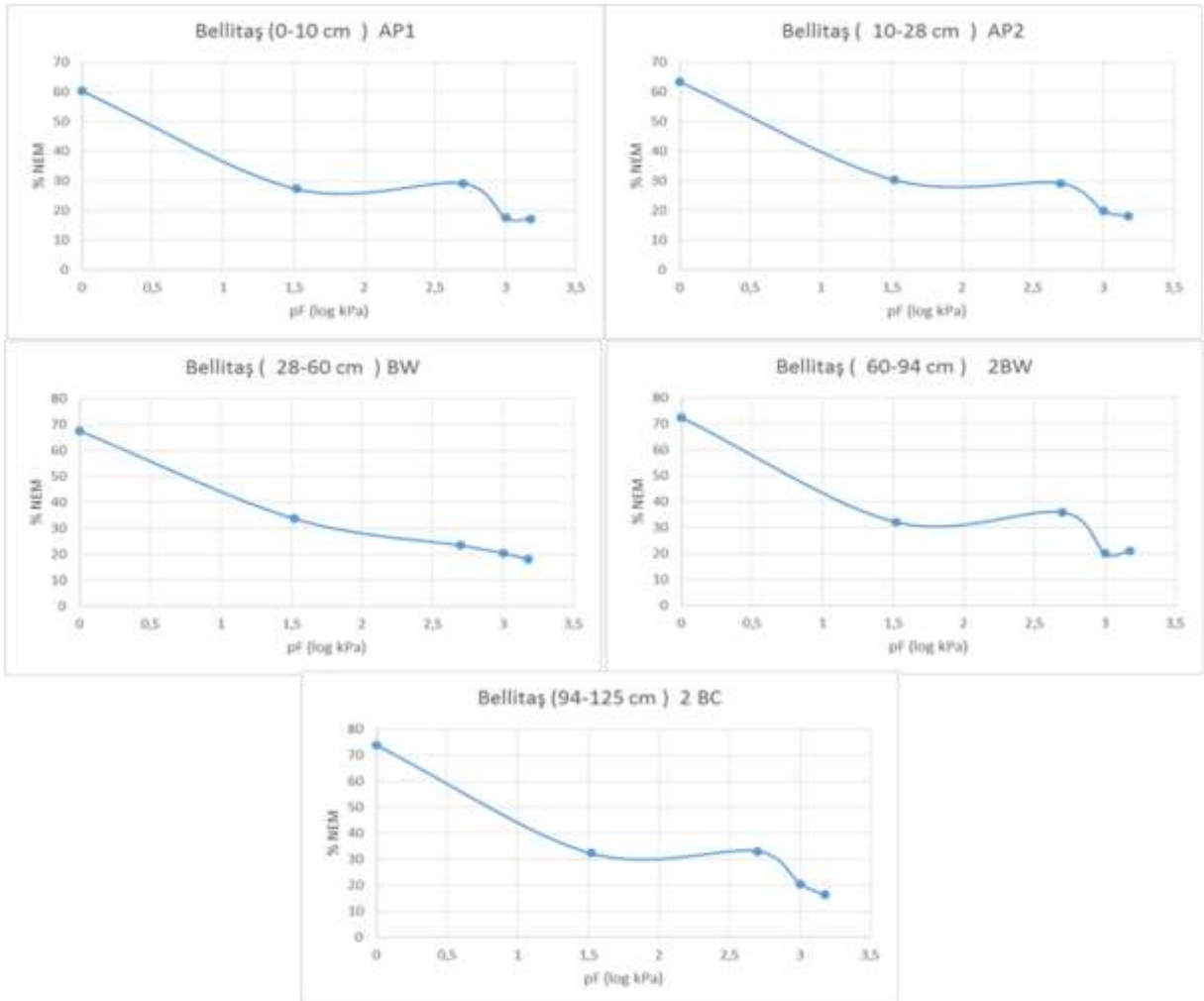
Şekil 3. Harran 1 toprak serisinin farklı toprak derinliğinde su tutma eğrileri



Şekil 4. Harran 2 toprak serisinin farklı toprak derinliğinde su tutma eğrileri



Şekil 5. İkizce toprak serisinin farklı toprak derinliğinde su tutma eğrileri



Şekil 6. Bellitaş toprak serisinin farklı toprak derinliğinde su tutma eğrileri

4. Sonuç ve Öneriler

Harran Ovasında yapılan çalışmalarda toprakların horizonlarındaki kil mineralleri dağılımlarına göre smektit ve paligorskit silikat killerinin baskın olduğu anlaşılmaktadır [21]. Türkiye’de ve dünyada kireç taşlarından oluşan toprakların çoğunda smektit baskın durumdadır [9]. Yukarıdaki verilerden de anlaşılacağı üzere kireçtaşından türeyen toprakta smektit her zaman baskın olmamakta, az miktarda bulunduğu veya hiç olmadığı durumlar da olmaktadır. Bu durumun kireçtaşının çökelme ortamıyla bağlantılı olduğu anlaşılmaktadır.

Harran Ovasında yağış 250- 400 mm arasındadır ve yüksek miktardaki kireç ve buna bağlı olarak alkali pH ve zayıf bitki örtüsü ana kayalardan gelen minerallerin diğer minerallere dönüşümünü engellemektedir. Kireçteki kalsiyumun floküle edici etkisi sonucu smektit hareketsizleşmekle birlikte profil boyunca bu mineralin miktarında değişiklikler görülmektedir. Smektitin baskın olduğu kireçli topraklarda çatlaklardan meydana gelecek olan mekanik yer değiştirme bir tarafa bırakılacak olursa, smektitin illüviyasyonla toprak profili içinde hareketi mümkün görülmemektedir.

Harran Ovasında yağışlar kuzeyden güneye doğru azalmaktadır. Ancak genelde yazlar çok sıcak ve kurak, kışları yağışlı ve serindir. Toprakların kırmızı rengi, ana materyalin özellikleri yanında uzun ve kurak yaz periyodunda meydana gelen oksidasyondan kaynaklanabileceği sanılmaktadır. Harran Ovası toprakların büyük çoğunluğunda horizonların farklılaşmasını sağlayan ana pedojenik işlemlerden birisi de kalsifikasyondur. Yağış profildeki kalsiyum karbonatı yeterince uzaklaştırmaya yetmemektedir. Ancak birçok seride sekonder kireç birikimi yine de gözlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen veriler ve tartışmaların ışığı altında, Fatik ve Tektek dağları rezidüleri ve ova topraklarının kil mineralleri bakımından gösterdiği benzerliğe dayanarak, paligorskitin kireç taneleri içinde oluştuğunu ve bunun ayrışma sonucu toprağa karışmakta olduğu söylenebilir (jeojenik). Yarı kurak iklim koşullarının da bu mineralin kararlılığının devamını sağladığı ifade edilebilir. Ancak mevcut atmosferik koşullar altında paligorskitin kararlılığının giderek bozulduğu ve zamanla smektite dönüştüğü söylenebilir.

Yazarların Katkısı

Bu makalenin yazımında tüm yazar katkı sağlamıştır. Eda ÇAKMAKLI laboratuvar çalışmalarını, Murat ÇAKMAKLI arazi çalışmalarına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Ersahin S., Karaman M. R. 2001. Estimating potential nitrate leaching in nitrogen fertilizer and irrigated tomato using the computer model NLEAP. *Agricultural water management*, 51 (1): 1-12.
- [2] Pinto M. A. B., Parfitt J. M. B., Timm, L. C., Faria, L. C., Concenço, G., Stumpf, L., Nörenberg B. G. 2020. Sprinkler irrigation in lowland rice: Crop yield and its components as a function of water availability in different phenological phases. *Field Crops Research*, 248, 107714.
- [3] Minasny B., McBratney A. B. 2018. Limited Effect of Organic Matter on Soil Available Water Capacity. *European Journal of Soil Science*, 69 (1): 39-47.
- [4] Algayer, B., Lagacherie, P., Lemaire, J. 2020. Adapting the available water capacity indicator to forest soils: An example from the Haut-Languedoc (France). *Geoderma*, 357, 113962.
- [5] Zhao J., Chen S., Hu R., Li Y. 2017. Aggregate Stability and Size Distribution of Red Soils Under Different Land Uses Integrally Regulated by Soil Organic Matter, and Iron and Aluminum Oxides. *Soil&Tillage Research*, 167: 73–79.

- [6] Ramazanoğlu E. 2019. Determination and Mapping of the Relationship between Potassium and Ammonium of Calcareous Soils with Different Moisture Content. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (7): 17-26.
- [7] Çepel A. 1993. *Toprak Su Bitki İlişkileri İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, İstanbul.*
- [8] Sutton D. B., Harmon N. P. (1973). *Ecology: selected concepts (No. 574.5 S88).*
- [9] Yeşilsoy Ş. 2002. *Toprak Bitki Su İlişkileri Ders Notları. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fak.*
- [10] Hillel D. (2012). *Applications of soil physics. Elsevier.*
- [11] Edwards W. M. 1982. Predicting Tillage Effects on Infiltration. In D.M. Kral (Ed.) *Predicting Tillage Effect on Soil Physical Properties and Processes. ASA Special Publication*, 4: 105-115.
- [12] Demiray İ. 2010. Improved Calibration of Time-Domain Reflectometry Soil Water Content Measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49(7): 660-668.
- [13] Ehlers W. 1977. Measurement and Calculation of Hydraulic Conductivity in Horizons of Tilled and Untilled Loess-Derived Soil. *Geoderma*, 19 (4): 293-306.
- [14] İpek Ş. 2006. *Sulama. Su Vakfı Kitabı, İstanbul, Türkiye.*
- [15] Öztürkmen A. R., Ramazanoğlu E., Çiçek İ. C. 2020. Şanlıurfa İli Suriç İlçesi Topraklarının Bazı Özellikleri ve Bitki Besin Elementi Kapsamlarının Belirlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (4): 1807-1815.
- [16] Öztürkmen A.R., Ramazanoğlu, E. 2020. Effect of Different Land Uses on Some Physical and Chemical Properties of Soils Originated from the Volcanic Parent Materials. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29 (12A): 11450-11460.
- [17] Öztürkmen A. R., Ramazanoğlu E., Almaca A., Çakmaklı M. 2020. Effect of Intercropping on Soil Physical and Chemical Properties in an Olive Orchard. *Applied Ecology And Environmental Research*, 18 (6): 7783-7793.
- [18] Colman E.A. 1947. A Laboratory Procedure for Determining the Field Capacity of Soils. *Soil Science*, 63, Dept. of Agriculture, USA.
- [19] Akalan İ. 1974. *Toprak ve Su Muhafazası. A.Ü.Z.F. Yayın No: 532, Ankara.*
- [20] Browning, G. M., & Norton, R. A. 1946. Tillage practices on selected soils in Iowa. *Soil Science Society of America Journal*, 10(C), 461-468.
- [21] Dinç U., Şenol S., Sayın M., Kapur S., Güzel N., Derici R., Yeşilsoy M. Ş., Yegingil İ., Sarı, M., Kaya Z., Aydın M., Kettaş F., Berkman A., Çolak A. K., Yılmaz K., Tunçgöğüs B., Çavuşgil V., Özbek H., Gülüt K. Y., Karaman C., Dinç O., Öztürk N., Kara, E. E. 1988. *Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (Gat) 1. Harran Ovası Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Tarım ve Ormancılık Grubu, Proje no: TOAG- 504, Adana, 475.*
- [22] Özkutlu F., Akkaya Ö., Ete Ö., Şahin Ö., Korkmaz K. 2015. Rize İlindeki Bazı Çay Bahçelerinin Toprak ve Yaprak Analizi ile Besin Element Düzeylerinin Belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19 (2): 94-103.
- [23] Özkutlu F., Akkaya Ö. H., Özlem, E. T. E., Akgün, M. 2016. Bazı Çay Bahçelerinin B (Bor) Beslenmesi ve Toprak Özellikleriyle İlişkilerinin Belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (1):125-135.

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigating the Effect of Masonry Infill Walls on the 2D RC Structural Systems with Asymmetry along the Elevation

İzzettin ALHALİL, M. Fethi GÜLLÜ*

*Harran University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Şanlıurfa, Turkey
(ORCID: 0000-0001-5409-1209) (ORCID: 0000-0002-6064-4719)*

Abstract

Reinforced concrete (RC) frames with unreinforced masonry infill panels are common structural building systems all over the world. Although many analytical investigations and experimental observations emphasize the contribution of masonry infills to the overall stiffness and strength of the structures, their effects are not considered by the engineers in the design and the analysis calculations. Due to the variations in the actual behavior of the infill walls and using different parameters to define the infill walls in modeling and capacity calculations, they have unpredictable effects on the global response of the structural systems. The purpose of this study is the simulation of a collapse mechanism scenario that may be developed during the earthquake through applying incremental equivalent static load. Infill panels were represented using equivalent compression diagonal struts and their effects on the behavior of RC structural systems having asymmetrical placement of unreinforced masonry infill walls along the elevation has been scrutinized. The equivalent static load was applied to the structural system in +/-X directions to focus on the effects of using only one diagonal strut. It has been observed that the influence of the infill panels on the structural system has beneficial effects in decreasing the story drift, which may be attributed to the contributory effect of the infill panels on the lateral stiffness of the structural system. Furthermore, the axial forces and bending moment diagrams have been plotted for each increment in the equivalent static load, which can give insight to understand the significance of masonry infill walls.

Keywords: Infill walls, seismic loading, equivalent diagonal strut.

Yükseklik Boyunca Asimetrik 2B Betonarme Yapısal Sistemlerde Yığma Dolgu Duvarların Etkisinin İncelenmesi

Öz

Güçlendirilmemiş yığma duvar dolgu panelleri kullanılarak oluşturulan betonarme çerçeveler, tüm dünyada yaygın olarak kullanılan yapısal sistemleridir. Birçok analitik araştırma ve deneysel gözlem, yığma dolgu duvarların yapıların genel rijitliğine ve dayanımına katkısını vurgulasa da, mühendisler tarafından tasarım ve analiz hesaplamalarında etkileri dikkate alınmamaktadır. Dolgu duvarların gerçek davranışlarında farklılıklar bulunması ve dolgu duvarları modelleme ve kapasite hesaplamalarında tanımlamak için kullanılan farklı parametreler nedeniyle, bu duvarlar yapısal sistemlerin genel tepkisi üzerinde öngörülemeyen etkilere sahiptirler. Bu çalışmanın amacı, deprem sırasında gerçekleşebilecek bir göçme mekanizması senaryosunun artımlı eşdeğer statik yük uygulanarak simülasyonudur. Dolgu duvarları eşdeğer diyagonal basınç elemanları kullanılarak temsil edilmiş ve yükseklik boyunca asimetrik olarak yerleştirilen güçlendirilmemiş yığma dolgu duvarların betonarme yapı sistem davranışı üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Sadece bir çapraz destek kullanmanın etkilerine odaklanmak için yapısal sisteme eşdeğer statik yük +/- X yönlerinde uygulanmıştır. Dolgu duvarların yapısal sistemin kat yer değiştirmelerini azaltmada faydalı etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum dolgu duvarların yapısal sistem yanal rijitliği üzerinde katkı sağlayıcı etkisine bağlanmaktadır. Ayrıca, eşdeğer statik yükteki her artış için eksenel kuvvetler ve eğilme momenti diyagramları çizilmiştir, bu da yığma dolgu duvarlarının önemini anlamak için fikir verebilir.

Anahtar Kelimeler: Dolgu duvarlar, sismik yükleme, eşdeğer diyagonal çubuk.

*Corresponding author: fethigullu@harran.edu.tr

Received: 03.03.2021, Accepted: 16.05.2021

1. Introduction

Masonry infill walls are a part of the traditional building systems used for separating the spaces in the architectural plans as well as providing acoustic and thermal insulation in the reinforced concrete (RC) structural systems. Since masonry infill walls are considered as non-structural members during the design process, most of the civil engineers do not consider the influence of them on the structural response. Recent earthquakes in the world showed that infill walls have generally beneficial effects on lateral load resisting of the structural systems, especially in high seismic regions [1-4]. The main problem in the masonry infills issue is the lack of a modeling approach that could reasonably simulate the actual behavior of the infilled frames. Infill panels are typically modeled using macro-modeling approach, which is preferred as a simple concept to predict the global behavior of the structural systems, or micro-modeling approach that may assist in predicting the local response and failure modes of the infilled frames. However, due to the requirements of supercomputers and long times for the analysis of structural systems, using micro-modeling approaches of masonry infill walls is not stated in design codes (e.g., FEMA-356, [5]).

The latest version of the Turkish Seismic Code [6] has some modifications and improvements compared to the previous version, in terms of natural vibration period [7] and soil classes [8]. These code provisions can be reliably used to evaluate the seismic performance of buildings (see also [9-11]). Masonry infill walls have been mentioned in some areas of the code, but require further updates in this regard.

Many researchers have been studied experimentally and numerically on masonry infilled steel and reinforced concrete (RC) frames to understand their mechanism through applying lateral load on the structural systems. It was first proposed to simulate the behavior of infill walls as diagonal struts in 1960s, and this approach was modified later to obtain more accurate models. It is well understood that during applying the lateral load on the structural system having infilled frames, the infill panel works in compression across two diagonal corner joints and the strut in the orthogonal direction to the first one was in tension resulting in gaps between the infill panels and the surrounding frames. According to this concept, the methodology of the diagonal compression strut was created. Also, as a prediction of the failure mechanisms, five types of failure modes (i.e., corner crushing, sliding shear, diagonal compression, diagonal cracking, and failure in frame) were presented in the literature during the assessment of the masonry infilled frames [12] which may be occurred at both infill panels and frames. Although it is commonly known that the presence of infill panels can increase the lateral stiffness of the structures, modeling of these non-structural elements is neglected in current design codes. Besides, undesirable results in seismic design (e.g., short column effects) were not considered due not to the modeling of masonry infill walls. Therefore, the contribution of infill panels should not be ignored in the design calculations. On the other hand, in performance-based design codes [5] and numerous analytical studies [13-16], using only one diagonal strut is proposed with a defined backbone curve. In seismic analysis due to the presence of an earthquake ground motion having reversed cycle loading hysteresis, these types of approaches cannot adequately predict the damage occur in the other direction [17].

Within the scope of this study, the failure mechanism that has been developed in each strut was investigated to show the gradual effect of the presence or absence of masonry infill walls during seismic loading. The effect of masonry infill walls on the global response has been represented via simplifying the envelope capacity of the single diagonal strut approach available in the literature. The earthquake scenario was defined by increasing the equivalent static load and eliminating the struts that reach the compression load capacity at each earthquake loading step. The reversed cyclic effect of the earthquake load has also been simulated by first imposing the earthquake load in one direction (+X) only on the model that has one diagonal strut for each infill wall. Secondly, the earthquake load has been applied in the opposite direction (-X) with again defining only one diagonal strut. Hence, collapse mechanisms due to reaching axial load capacity in masonry infill walls and internal forces under the earthquake scenario were presented for +X direction and -X direction. The aim of defining two earthquake scenarios in opposite directions using only one strut for simulation of masonry infill walls is to investigate the results on a 2D frame system having asymmetry along the elevation under earthquake load.

2. Analytical Modeling

2.1. Description of the Structural System

Five-bays eight-story frame was investigated in this study by using the computer software SAP2000 [18]. The 2D frame system is assumed to be in İstanbul city which has coordinates as 40.9816929° for latitude and 28.63929° for longitude. The foundation is modeled as fixed support, the soil class is ZC, and the ductility level is assumed to be high by considering $R=8$. The frame members were considered to resist the lateral load sufficiently. All columns and beams have 80×80 and 80×30 cross-sectional dimensions, respectively, and story height was defined as 3.5 m. The frame has asymmetrical bay lengths along the elevation (i.e., different span lengths were considered as shown in Figure 1) which are intentionally chosen to highlight the severe effects of infill panels on a non-symmetric structural system and to provide a widespread solution approach for such analyses. The dead load of the infill walls and the structural members with a live load has been considered as the vertical loads existing on the 2D frame system. The concrete compressive strength is defined as 25MPa and the modulus of elasticity of concrete is 30000MPa. Weight per unit volume of concrete and brick is 2500 kg/m^3 and 1922 kg/m^3 , respectively. The poisson ratios for concrete and brick are 0.2 and 0.15, respectively. All infill panels were modeled as single diagonal struts oriented opposite to the loading direction, from top left to the bottom right for the earthquake load in the +X direction, and from bottom left to the top right for the earthquake load in the -X direction, as they are assumed to carry only the compressive load. The connection between the struts and the surrounding frame members was considered pin-connection at both ends of the struts since they are only capable of carrying the applied axial load.

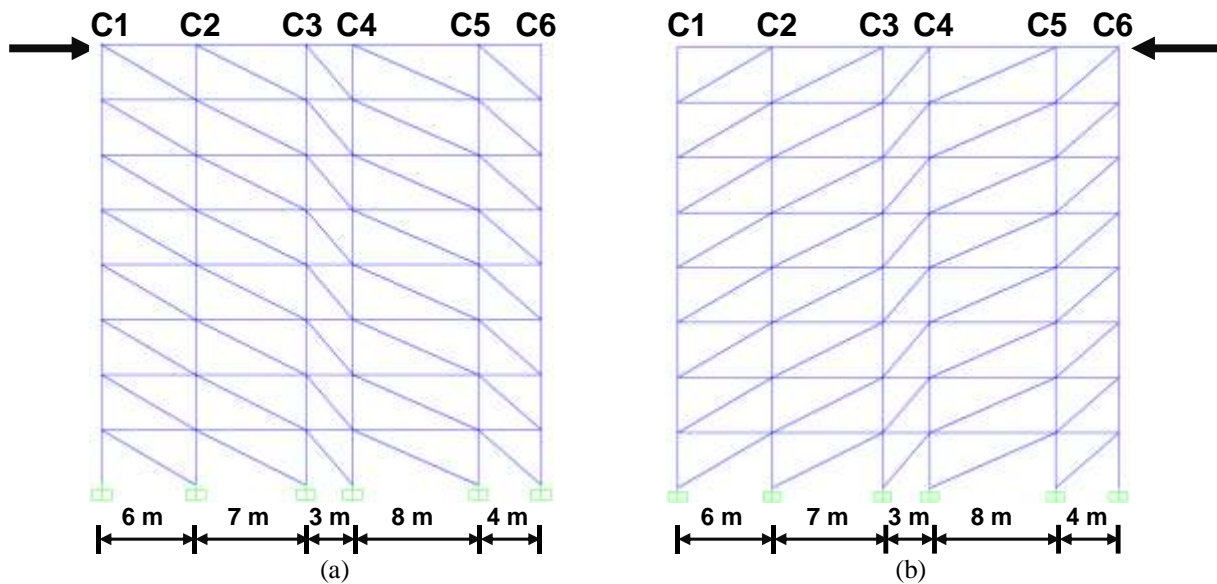


Figure 1. Model used in the analysis; (a) Earthquake load applied in +X direction, (b) Earthquake load applied in -X direction.

2.2. Diagonal Strut Definition

In literature, most researchers have been focused on the definition of the back-bone curve of the diagonal struts that have been used for simulation of masonry infill walls between frame members. Holmes [19] studied the stiffness and strength of infill panels with steel frames subjected to lateral shear force and carried out small-scale test specimens for comparison purposes. A simple procedure to determine the ultimate load and deflection in the frame was proposed. The diagonal strut width (a_{inf}) was assumed for the first time as;

$$a_{inf} = \frac{d_{inf}}{3} \quad (1)$$

where d_{inf} is the diagonal length of infill walls. The ultimate load and deflection results obtained from the proposed equations were compared with the experimental small-scale test results and had a good agreement. However, these equations were valid only for infill panels having limited aspect ratios. In the study of “Stafford et. al. [20]”, a design method based on an equivalent strut concept was developed to predict the lateral stiffness of the composite frames. The behavior of infilled frames under lateral load has been tested. The length of contact between the diagonal strut with the surrounding frame is one of the most important parameters used to determine the lateral stiffness and strength of the infill panel, which have been estimated by the following equation.

$$a_{inf} = 0.58 \left(\frac{1}{h_{inf}} \right)^{-0.445} (\lambda_h H)^{0.335} d_{inf} \left(\frac{1}{h_{inf}} \right)^{0.064} \tag{2}$$

This equation was modified later by Mainstone and Weeks [21] as shown in the equation below;

$$a_{inf} = 0.175 d_{inf} (\lambda_h H)^{-0.4} \tag{3}$$

where λ_h is the unitless parameter and can be calculated as:

$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_{inf} \times t_{inf} \times \sin(2\theta)}{4E_c \times I_c \times h_{inf}}} \tag{4}$$

In the above equations, a_{inf} is the width of the diagonal strut, I_{col} is the moment of inertia, H is the height of the column, θ is the angle between the infill length and diagonal length in radians, E_c and E_{inf} are the expected elasticity modulus of the frame and infill panel, respectively, h_{inf} is the height of the infill panel, t_{inf} is the thickness of the infill panel and d_{inf} is the diagonal length of the infill panel. To determine the width of the diagonal strut, FEMA-356 [5] use Equation 3 developed by Mainstone and Weeks [21]. Some of the other researchers [12], [22] proposed models based on single or multi-strut concepts trying to simulate the observed behavior of the diagonal strut.

In this study, the infill panels were modeled as single diagonal struts which only have axial compressive limits. The aim of using single strut only is to investigate the shortcomings of using one strut for simulation of infill walls and to show the behavioral response of the structural system which is expected to show discrepancy when the lateral load is applied in +X and -X directions. The width of the diagonal strut for each bay is presented numerically in Table 1 and plotted in Figure 2, where it was calculated according to FEMA-356 [5] equations. (as shown in Equation 3 and Equation 4). The values of the other parameters in Equations 3 and Equation 4 can be found in Table 2.

The material properties of the strut members were defined similarly to the brick masonry walls in literature, where the property of the infill wall materials and strut dimensions used in the analysis are assumed as follows. The modulus of elasticity of the masonry (E_{inf}) is 550 times the masonry prism strength f'_m , where the mean value of f'_m is 4.1 MPa, 6.6 MPa, and 7.5 MPa for prism constructed by weak, intermediate, and strong mortar, respectively [23]. In the current study the mortar was assumed to be intermediate ($f'_m = 6.6\text{MPa}$) and the modulus of elasticity of masonry was calculated as $E_{inf} = 3630\text{MPa}$. Besides, the thickness of the diagonal strut is assumed to be 135 mm for all panels.

Table 1. The width of the diagonal strut for each infill panel

Strut ID	Bay length (m)	r_{inf} (mm)	λ	θ (rad)	d_{inf} (mm)	a_{inf} (mm)
1	8	7689.6	1.446	0.359	7689.6	1161.1
2	7	6762.4	1.485	0.411	6762.4	1010.2
3	6	5859.2	1.527	0.479	5859.2	865.6
4	4	4186.9	1.600	0.700	4186.9	607.1
5	3	3482.9	1.597	0.877	3482.8	505.4

Table 2. The parameters used to calculate the width of the diagonal strut

H (mm)	$t_{inf}(mm)$	$I_c(mm^4)$	$h_{inf}(mm)$	E_{inf} (MPa)	E_c (MPa)
3500	135	3.41E+10	2700	3630	30000

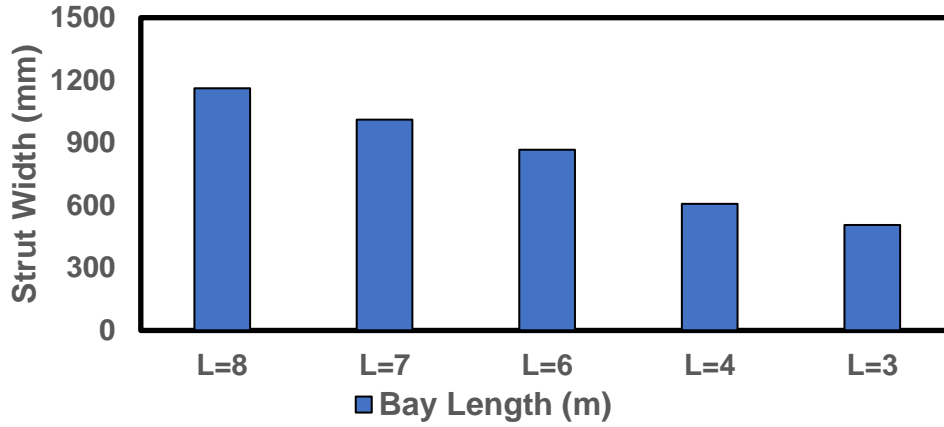


Figure 2. Diagonal strut width for each bay length

In addition to the definition of the cross-sectional dimensions of the diagonal struts, the axial load capacities of the diagonal struts have been calculated using one of the backbone curves mentioned in the literature and summarized herein. The seismic behavior of the infilled frames that had strong infill panels (i.e., infill panels constructed by strong mortar) was investigated by Panagiotakos and Fardis [24]. It was clearly shown that the strong infill wall that is generally considered as the non-structural element is effective for seismic resistance of RC frames. Panagiotakos and Fardis [25] conducted nonlinear seismic analyses, using the equivalent diagonal strut approach, which was quite simple due to being a macro modeling approach compared to the micro modeling approaches that need calculation effort and time. Tsai and Huang [26] investigated numerically the effects of masonry infill panels on the collapse mechanism of infilled RC frames with several positions of the infills in the plan and the elevation. According to their study, a new backbone curve was developed to determine the ultimate strength of the diagonal strut. Dolsek and Fajfar [27] similarly investigated a four-story RC building in case of the bare frame and infilled frame with and without openings. The infill panels were modeled using the diagonal compression strut approach for the sake of simplicity. They considered the expression proposed by Žarnić and Gostič [28] with a little simplification and suggested a new model as shown in Figure 3. The suggested model was capable of simulating the behavioral response of the experimentally observed results with good agreement. The model also provided results close to those calculated by Panagiotakos and Fardis [25]. Due to the reliability in predicting the experimental results, the backbone curve proposed by Dolsek and Fajfar [27] has already been chosen to obtain the capacity of the diagonal struts in the current study.

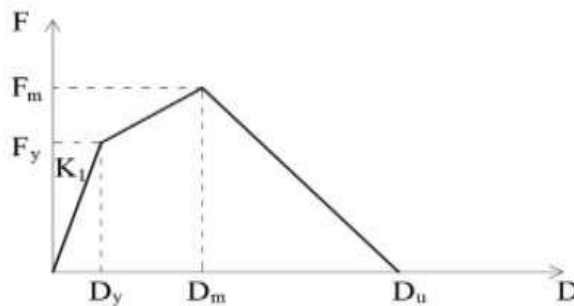


Figure 3. Force-displacement relationship for the diagonal strut [27]

In the backbone curve (Figure 3), initial stiffness was calculated as;

$$k_1 = \frac{G_w \times t_{inf} \times L_{inf}}{h_{inf}} \quad (5)$$

and the load capacity in the diagonal strut is defined as following;

$$F_m = 0.818 \left(\frac{f_{tp} \times t_{inf} \times L_{inf}}{c_1} \right) \left(1 + \sqrt{c_1^2 + 1} \right) \quad (6)$$

where,

$$c_1 = 1.925 \frac{L_{inf}}{h_{inf}} \quad (7)$$

The cracking force F_y was assumed as 60% of the maximum force F_m . The story drifts at maximum force D_m is 0.2% for infill panel without opening. The ratio between the story drifts at zero load capacity (D_u) and the maximum force (D_m) was assumed to be 5 [27]. In the above equations, t_{inf} is the thickness of the infill panel, L_{inf} is the length of the infill panel and h_{inf} is the height of the infill panel. G_w is the shear modulus of the infill panel and f_{tp} is the tensile strength of the infill panel obtained either from the diagonal tensile test or from the cyclic shear test of the masonry panel. The experimental results showed that f_{tp} value varies tremendously depending on the mechanical characteristics of the masonry material itself [28]. The tensile strength and the shear modulus of the infill panel were assumed in the current research as 0.2 MPa and 1452 MPa, respectively. Using the equation proposed by Dolsek and Fajfar [27] summarized above, the capacity of each strut was calculated and shown in Table 3.

Table 3. Capacity of the diagonal strut for each infill panel

Strut ID	Bay length (m)	Capacity (KN)
1	8	192.99
2	7	171.37
3	6	149.93
4	4	108.14
5	3	82.68

Some researchers studied on improving the seismic performance of infilled frame systems. Aksoyly and Kara [29-30] investigated RC frames strengthened by precast infill panels by conducting experimental tests on five (1:3 scaled) specimens under reversed-cyclic lateral loading and proposed a technique to improve the response of such infilled frame system. They concluded that this type of strengthening increases the stiffness, load carrying capacity, and energy dissipation capacity of the infilled frame as well as it can control the drift values within the limits.

2.3. Analysis Procedure

Analyses were conducted using the backbone curve capacity for the struts defined in the previous section with the applied equivalent static earthquake load on the frame system as per the Turkish Building Seismic Code (TBSC-2018) [6]. The analysis was divided into 10 steps in case of both +X and -X loading directions. The analysis procedure seems like a simulation of pushover analysis; however, it is a stepwise linear static analysis with scaled seismic loading for each step. The stepwise lateral loading was conducted to investigate the effect of the gradual failure of brick infill walls on the global response of the structural systems. This procedure was suggested for simulation of the infill panels even in humble linear-elastic analysis. In the first step, the frame was fully infilled, and after applying the lateral load, only one strut had reached capacity. In the second step, the strut that reached capacity in Step-1 was deleted from the model and the analysis proceeded for the remaining components. In this way, the other steps were conducted until most of the struts reached capacity. It is worth mentioning that if the applied

earthquake load did not result in reaching the capacity of new struts in any one of the steps, the earthquake load was increased using a scale factor. It may seem awkward to scale earthquake load with an ad-hoc factor, however; the earthquake load was calculated using the design earthquake ground motion according to TBSC-2018 [6], and increasing it reasonable since it is well known that the actual ground motion may be bigger than the design earthquake. In each step, earthquake load was recalculated to consider the change in the mode shapes and periods due to the effect of extracting the struts that reached axial load capacity. The story masses were kept constant to focus on the effect of fails in infill panels on the lateral stiffness of the structural system. Also, it is aimed to see the effect of diagonal struts on the columns' internal forces, the lateral stiffness of the structural system, and the natural period of the 2D frame system under an arbitrary earthquake load. This method can show the global response of infilled frame by controlling the base shear levels to get new struts that reach the axial load capacity in each step.

3. Discussion of Results

Model descriptions with the analysis procedure are summarized in the previous section. In this section analysis results with the applied stepwise earthquake static load will be discussed. As it is explained, the struts that reach the lateral load capacity were assumed as failed and eliminated from the 2D frame model. The elimination of diagonal struts at each step is shown in Figure 4 for the applied earthquake static load in +X and -X directions. In the figure, the initials S- means to the step. In common, using single strut is not capable of simulating the interaction between the infill and the surrounding frame, and the force distribution in frame elements accurately [31]. In this section, it is aimed to show the effect of using a single strut for modeling the infill walls in axial forces and bending moments of columns. The effects of deleting the struts to the natural period, drift ratios, story shear forces, and internal forces were separately discussed herein.

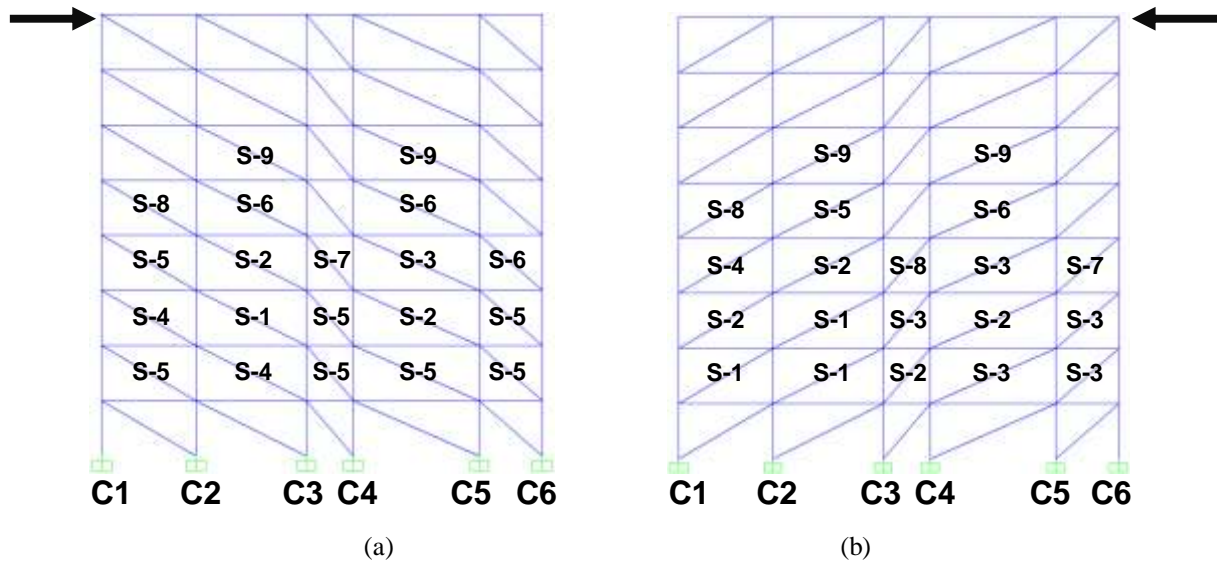


Figure 4. Step by step elimination of struts; (a) Earthquake load applied in +X direction, (b) Earthquake load applied in -X direction.

3.1. Effects of Natural Period of the 2D Frame System

The natural periods of the 2D frame system for each step are shown in Table 4 with the corresponding base shear values, where the base shear values are the same for the +X and -X loading directions. Considerable differences in the natural periods can be recognized within the step numbers; S-2, S-3, S-4, and S-5. The reason for that may be attributed to the difference in the number of struts that were deleted due to reaching capacity. In the following steps with the increase in the earthquake load, natural periods are closer to each other, since the strut eliminations have become equal. Figure 5 shows the step number vs. natural periods for each step, which again manifests significant differences at the natural

periods in the mid-steps. On the other hand, the bare frame has the greatest values of the natural period compared to the analysis for the infilled frame systems.

Table 4. Period and corresponding base shear for each step.

Step number	Base shear (kN)	Natural period (+X)	Natural period (-X)
S-1	1999.74	0.451	0.451
S-2	1981.54	0.455	0.463
S-3	1941.99	0.464	0.478
S-4	1920.41	0.473	0.494
S-5	2000.74	0.478	0.498
S-6	1986.87	0.497	0.501
S-7	2028.35	0.507	0.506
S-8	2148.01	0.508	0.507
S-9	2237.12	0.510	0.511
S10	2387.78	0.517	0.517
Bare frame	1657.3	0.539	0.539

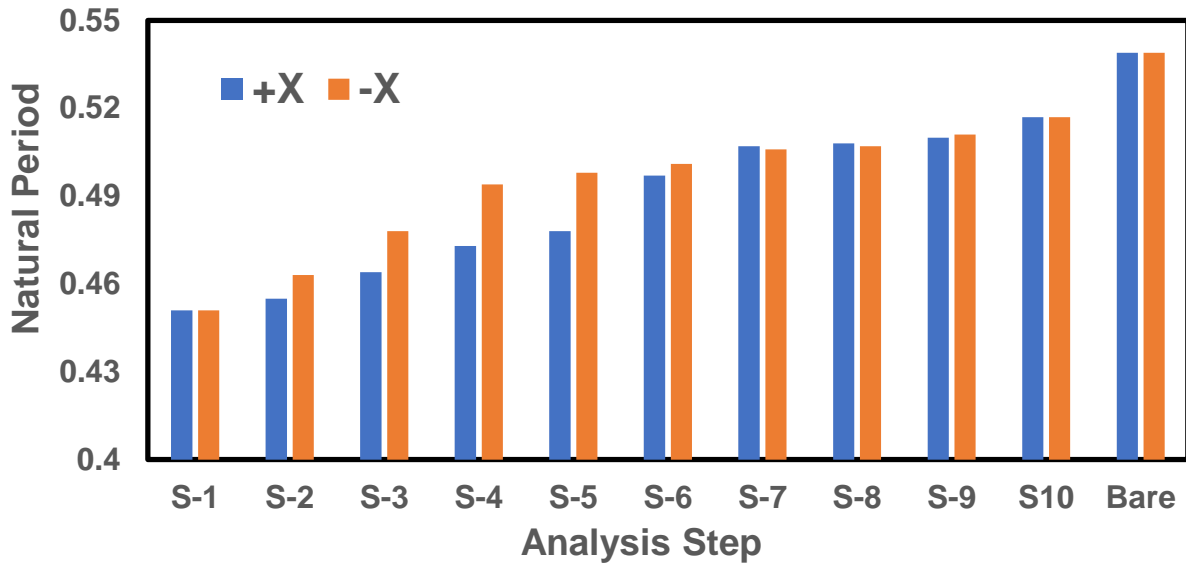


Figure 5. Natural periods for all steps in +X and -X loading directions.

3.2. Effects on the Drift Ratio

For comparison of the drift ratios for both +X and -X loading directions in the current study, the 2D frame system was also subjected to the earthquake ground motion levels that were calculated according to TBSC-2018 [6]. Four earthquake ground motion levels are defined in TBSC-2018 [6], which are DD1, DD2, DD3 and DD4. The design earthquake level of DD-2, which means to 10% probability of exceedance in 50 years (recurrence period 475 years) was first applied. In addition to the DD-2 level of the earthquake ground motion, DD-1 and DD-3 levels were also performed for 2D bare frames (B) and fully infilled frames (I). The earthquake ground motion levels were named as B-DD1, B-DD2 and B-DD3 for bare 2D frames, and I-DD1 (+X), I-DD1 (-X), I-DD2, and I-DD3 for infilled 2D frames. Infilled 2D frame case means that the lateral load was applied on the fully infilled 2D frame, then the struts that reached axial load capacity have been deleted. After removing the struts that reached the axial load capacity, lateral load with the new natural period and mode shape has been applied again and the drifts have been recorded. It can be noted that in case of I-DD1, the drift ratios show differences in +X and -X cases. Hence, the I-DD1 load cases are shown separately in Figure 6 for +X and -X loading directions. Analyses results for 10 steps are completed and the result of drift ratios vs. building height are shown in Figure 6. Since the drift ratios indicate significant differences between +X and -X loading directions, their results are presented separately in the figures. Drift ratios can show a notable difference between drifts in +X with straight lines and in -X with dashed lines. This difference seems little in the first and

the second steps; however, it has larger values in the later steps especially at the mid-height story levels where the simulated infill panels were failed due to reaching axial load capacity in the diagonal struts.

In TBSC-2018 [6], two equations (Equation 8 and Equation 9) have been defined to specify the limit of drift ratios depending on the connection details between the infill walls and the frame members. Equation 8 and Equation 9 are used to determine the drift limits for the infilled and bare frame, respectively.

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008K \quad (8)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016K \quad (9)$$

In the equations above, λ is the ratio of elastic design spectral acceleration of DD-3 to elastic design spectral acceleration of DD-2, h is the story height, $\delta_{i,\max}^x$ is the maximum story drift of i^{th} story, and K is a coefficient taken as 1 for RC buildings. These two inter-story drift (ISDR) limits were calculated for the present case study and shown as vertical lines in Figure 6. The drift ratio exceeds the limit of the infilled frame (considering the brick infill walls) in the last three steps of the analysis, while the drift ratios of the bare frame system (neglecting the brick infill walls) seem to be under the limits. The analysis results have shown that drift limits defined in TBSC-2018 [6] are sufficient for frame systems. Although the drift limits for the infilled frame system has been exceeded in the last three steps of the analysis, it is reasonable since most of the infilled walls has been reached their axial load capacity and deleted from the 2D frame system.

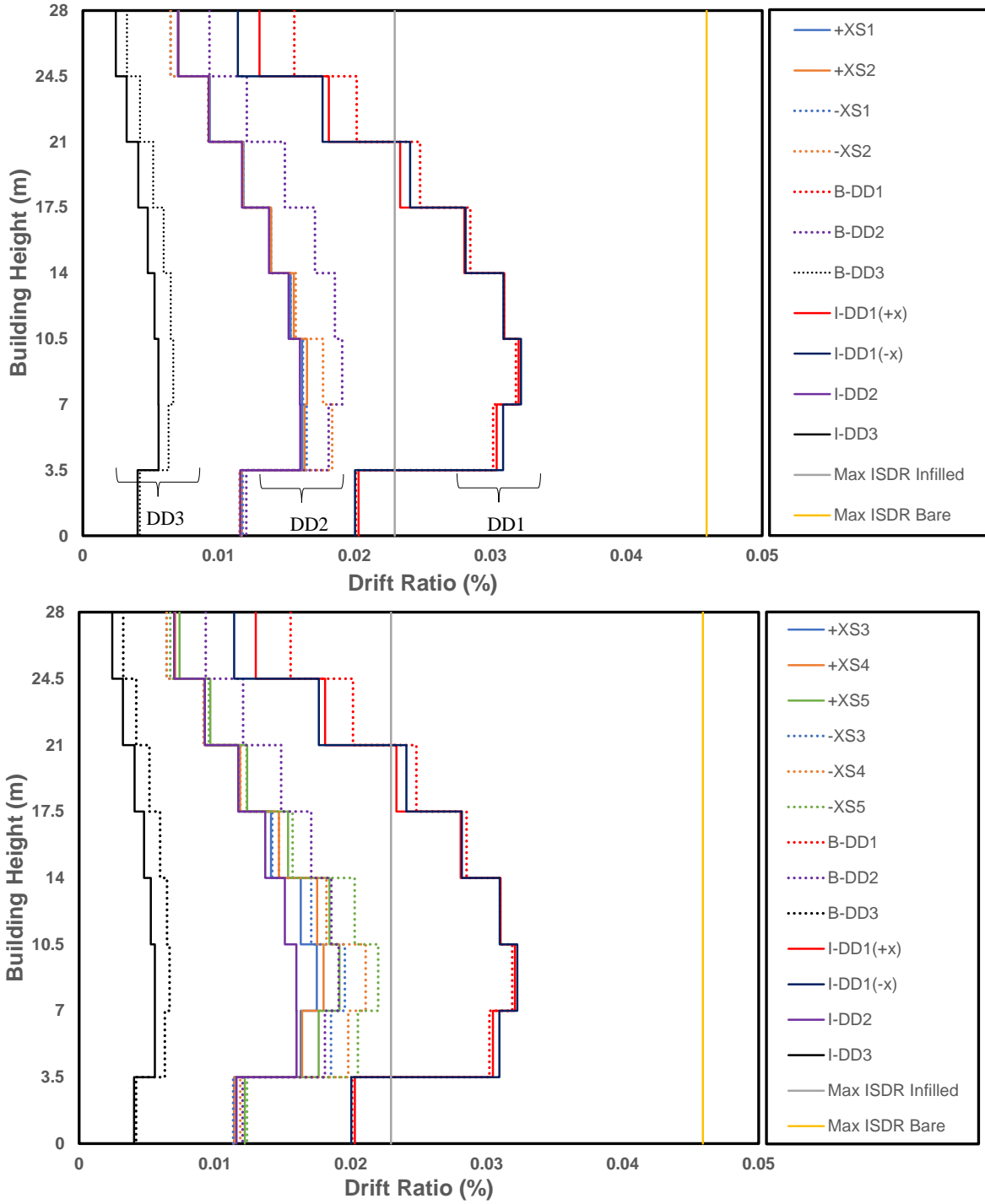


Figure 6. Drift ratios vs. Building height for all steps in +X and -X loading directions.

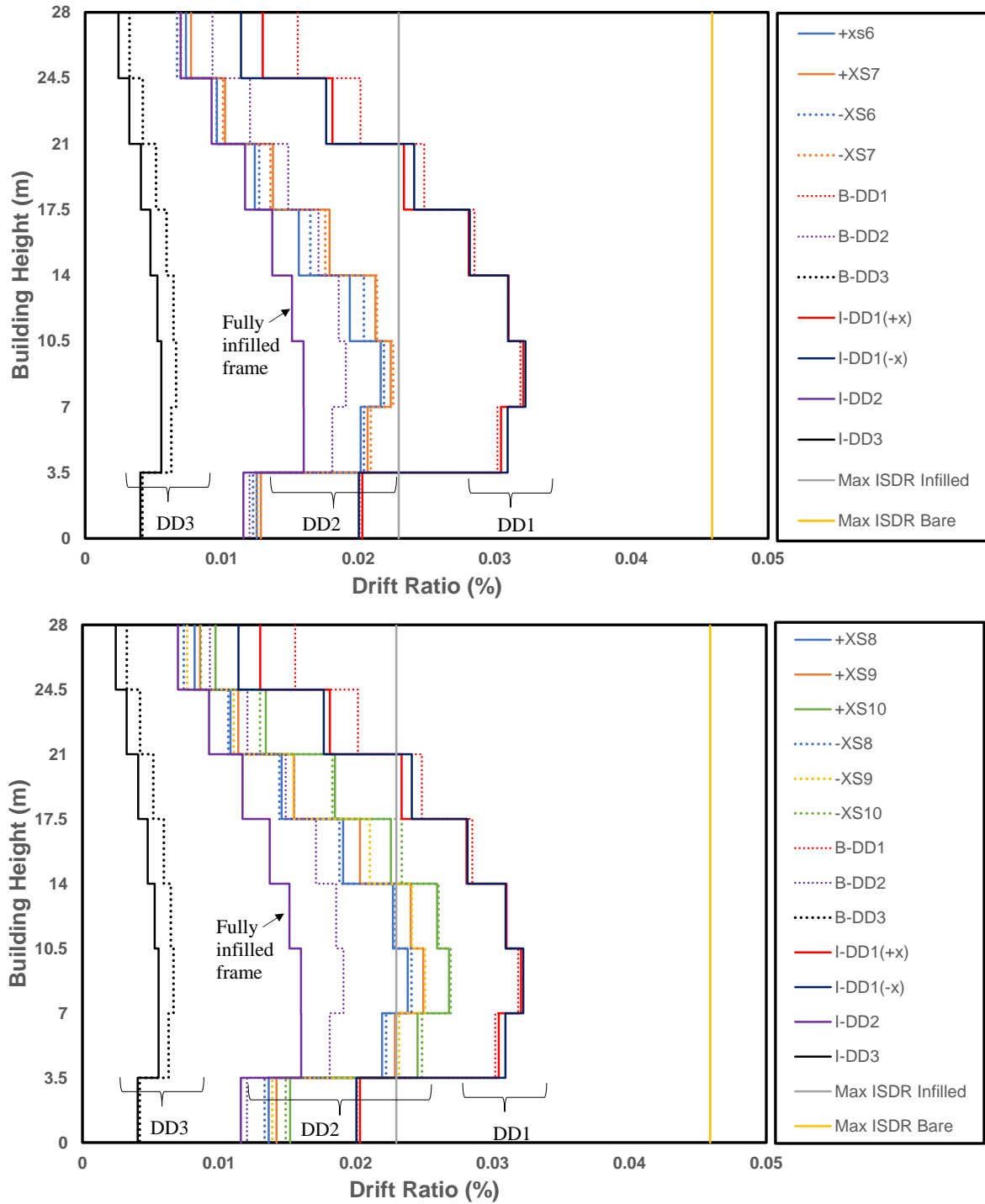


Figure 6. (Cont'd). Drift ratios vs. Building height for all steps in +X and -X loading directions.

3.3. Effects on the Story Shear Forces

Similar to the results presented for drift ratios, the story shear forces for +X and -X loading directions are presented in Figure 7. In the analysis process, although exclusion of diagonal struts due to reaching axial load capacity was different for +X and -X loading directions and natural periods was different especially in mid-steps, total base shear was enforced to be equal for both loading directions. Hence, as it is shown in Figure 7, the story shear forces for both loading directions are almost equal. However, it is worth mentioning that even for the linear analysis with the simplified approach used in this study, bare frame and infilled frame systems have considerable variations in the story shear forces and total base shear forces under the design earthquake ground motion (DD-2) and frequently observed

earthquake ground motion (DD-3). For the DD1 earthquake ground motion level, the bare and infilled frame systems have nearly equal story shear forces and total base shear forces, which may be attributed to identical behavioral responses of both frame systems under this earthquake level.

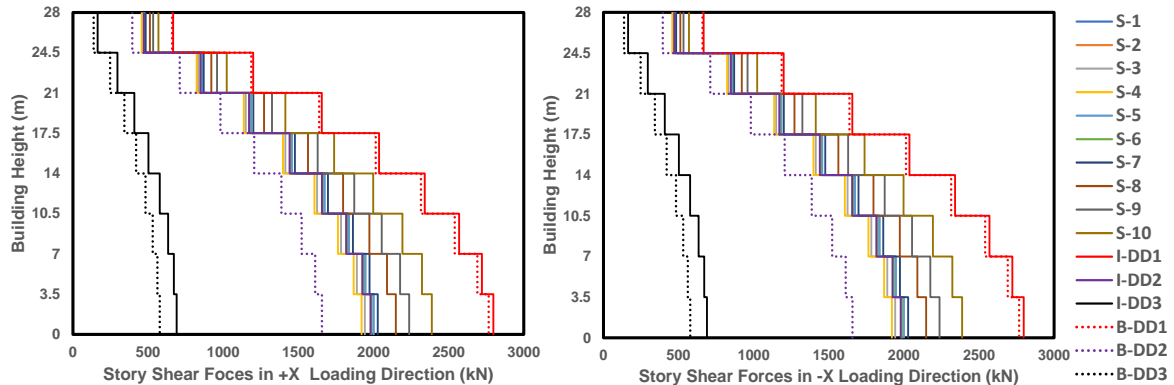


Figure 7. Story shear forces vs. Building height for all steps in +X and -X loading directions.

3.4. Effects on the Axial Forces and Bending Moment of the Columns

It is widely known that the presence or absence of infill panels can alter the axial force and bending moment distribution in the columns. The presence of the infill walls leads to a considerable effect on the axial force and bending moment interaction of the columns [32]. In the present study, the axial forces in columns have been normalized with base shear values for each step and plotted for both +X and -X loading directions in Figure 8, starting from Step-1 where just one strut at the third story has reached the axial load capacity until Step-10 where most of the struts reached the axial load capacity. Since the axial force distribution of the columns changed due to the exclusion of the struts that reached capacity, the axial compressive load in the first column increased with the higher step numbers. The column C2 is in tension in Step-1, however then, it tends to be in the compression field with the increasing step number under earthquake load in +X direction. For the earthquake load in -X direction, the axial force moved from compression to tension in column C2. There are similar trends in the normalized axial force values in the remaining columns. It is also worth mentioning that the absolute values of the axial forces on the columns differ from each other since the structural system is intentionally chosen not to be symmetrical along the elevation. Figures 9 and 10 show the normalized bending moment values at the top and bottom of the columns with the increasing step numbers along with the height of the 2D frame system. The normalized bending moment was calculated by dividing the bending moments with the total base shear and the height of the 2D frame system, which is significant to compare the results in the bending moments with neglecting the effect of the diversity in the earthquake load. With the increasing earthquake load, bending moment values also increase at the top and bottom of the columns. Comparing the bending moment plots for +X and -X loading directions at the top of the columns show similar trends at the initial and final steps; however, in the mid-steps model, results present slight diversity at the mid-stories due to extraction of diagonal struts that reached the axial load capacity. Again, similar results were obtained for the normalized bending moment values at the top of the columns (Figure 10). Due to deleting the struts, the bending moment values diverse in the mid-height of the 2D frame system between +X and -X loading directions, revealing that considering the effect of the infill walls is inevitable since they may provide either advantageous or disadvantageous effects on the structural systems under lateral loading.

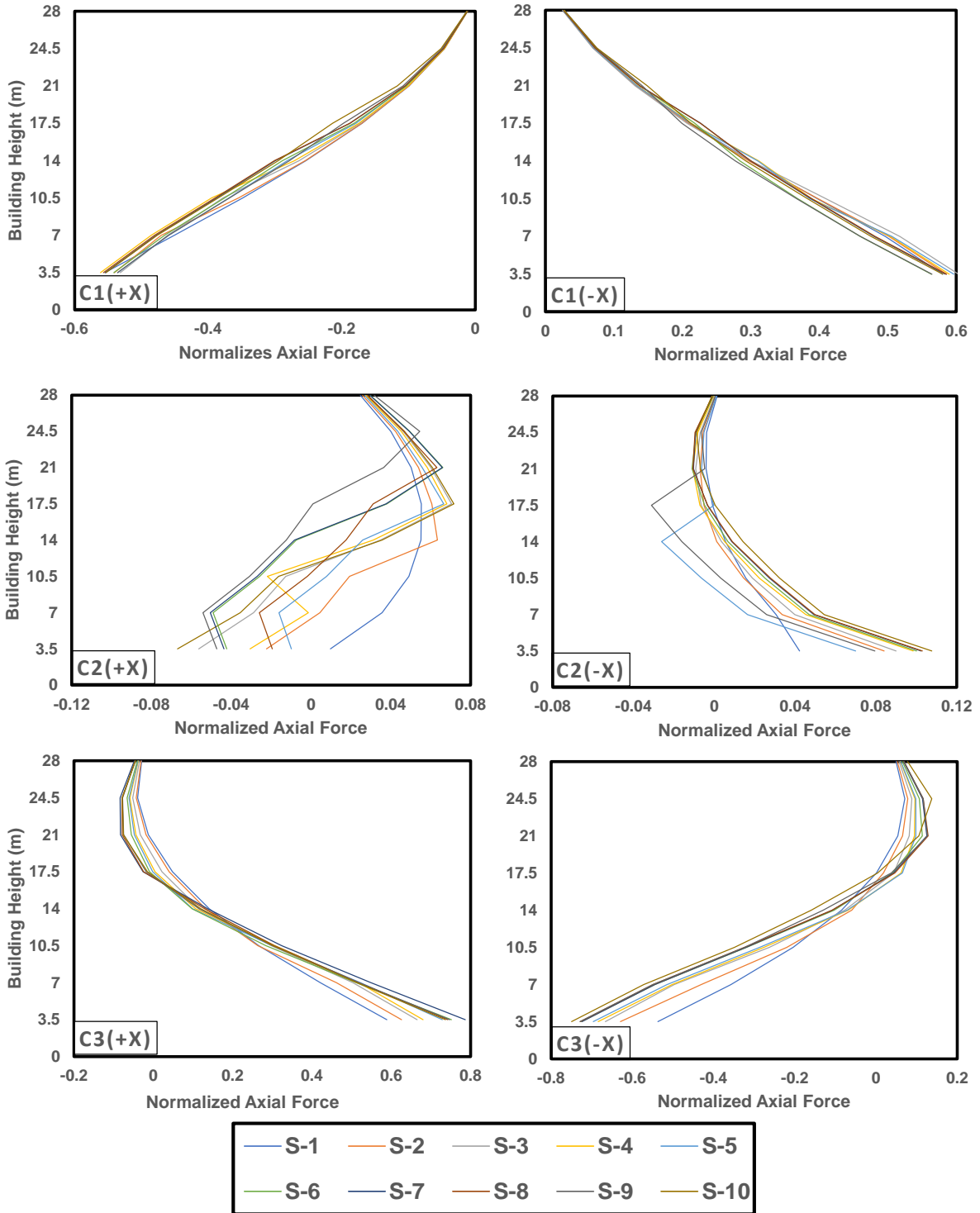


Figure 8. Normalized axial forces vs. Building height in columns for all steps in +/-X loading directions.

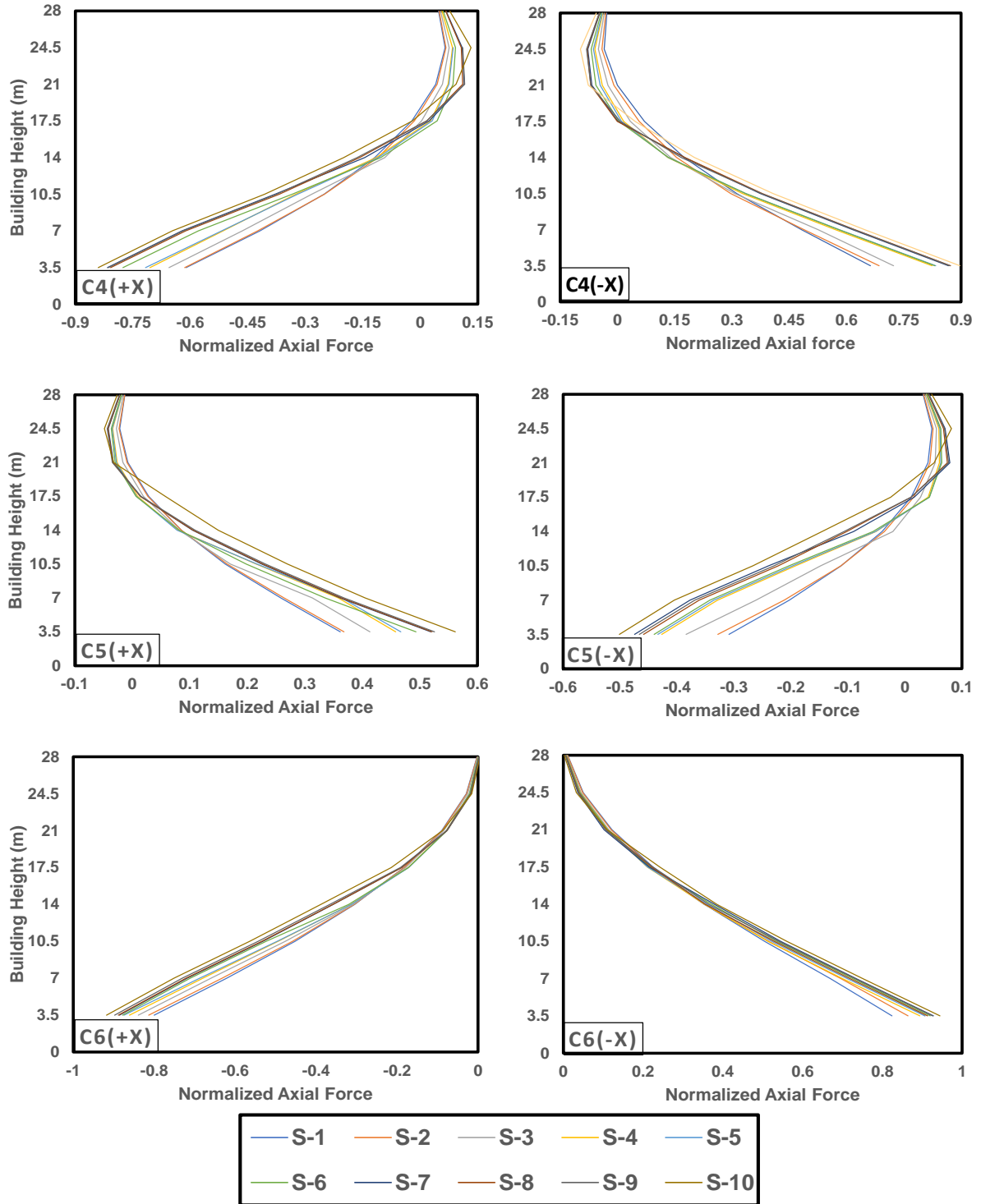


Figure 8. (cont'd). Normalized axial forces vs. Building height in columns for all steps in +/-X loading directions.

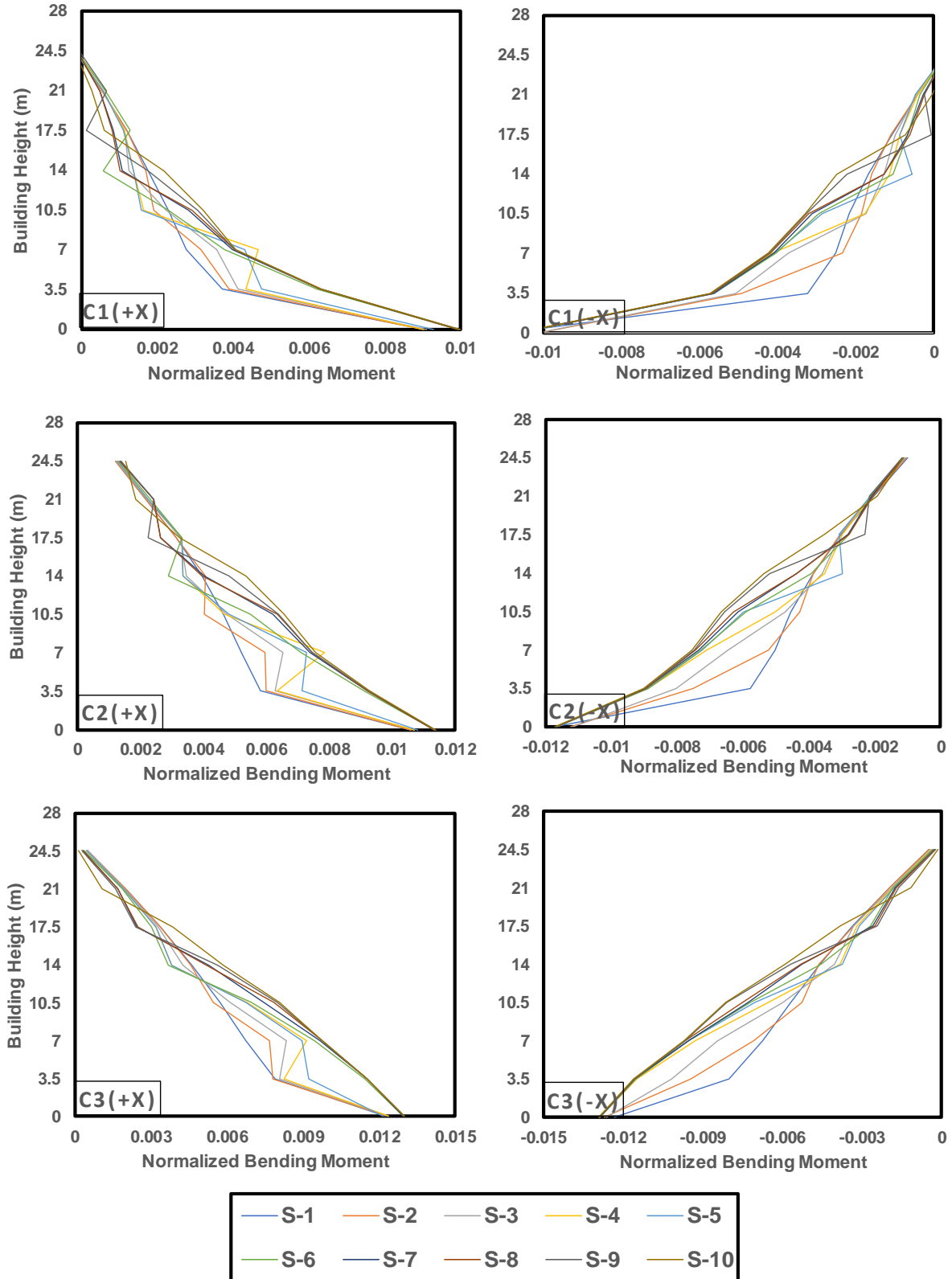


Figure 9. Normalized bending moments vs. Building height at the bottom of the columns for all steps in +/-X loading directions.

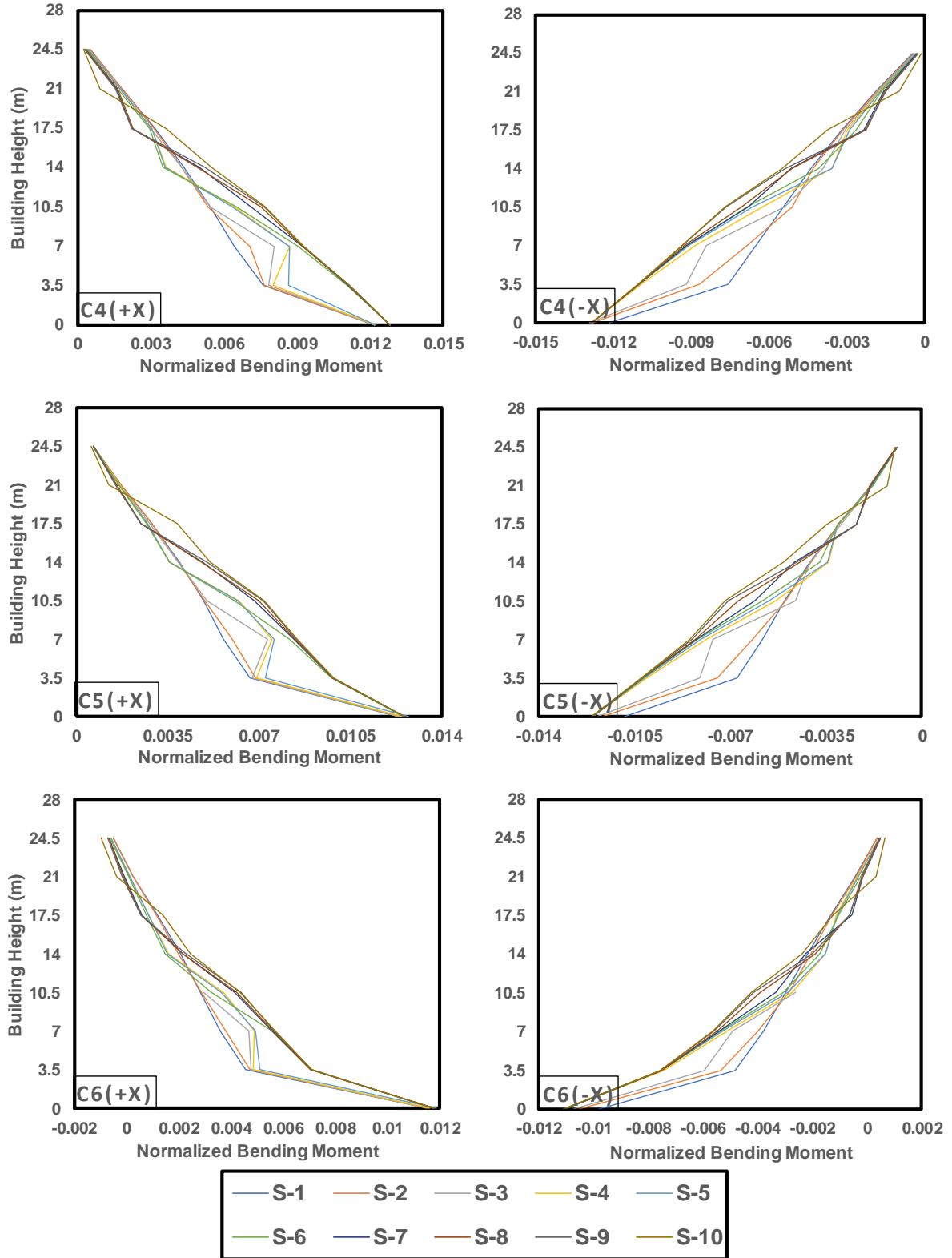


Figure 9. (cont'd). Normalized bending moments vs. Building height at the bottom of the columns for all steps in +/-X loading directions.

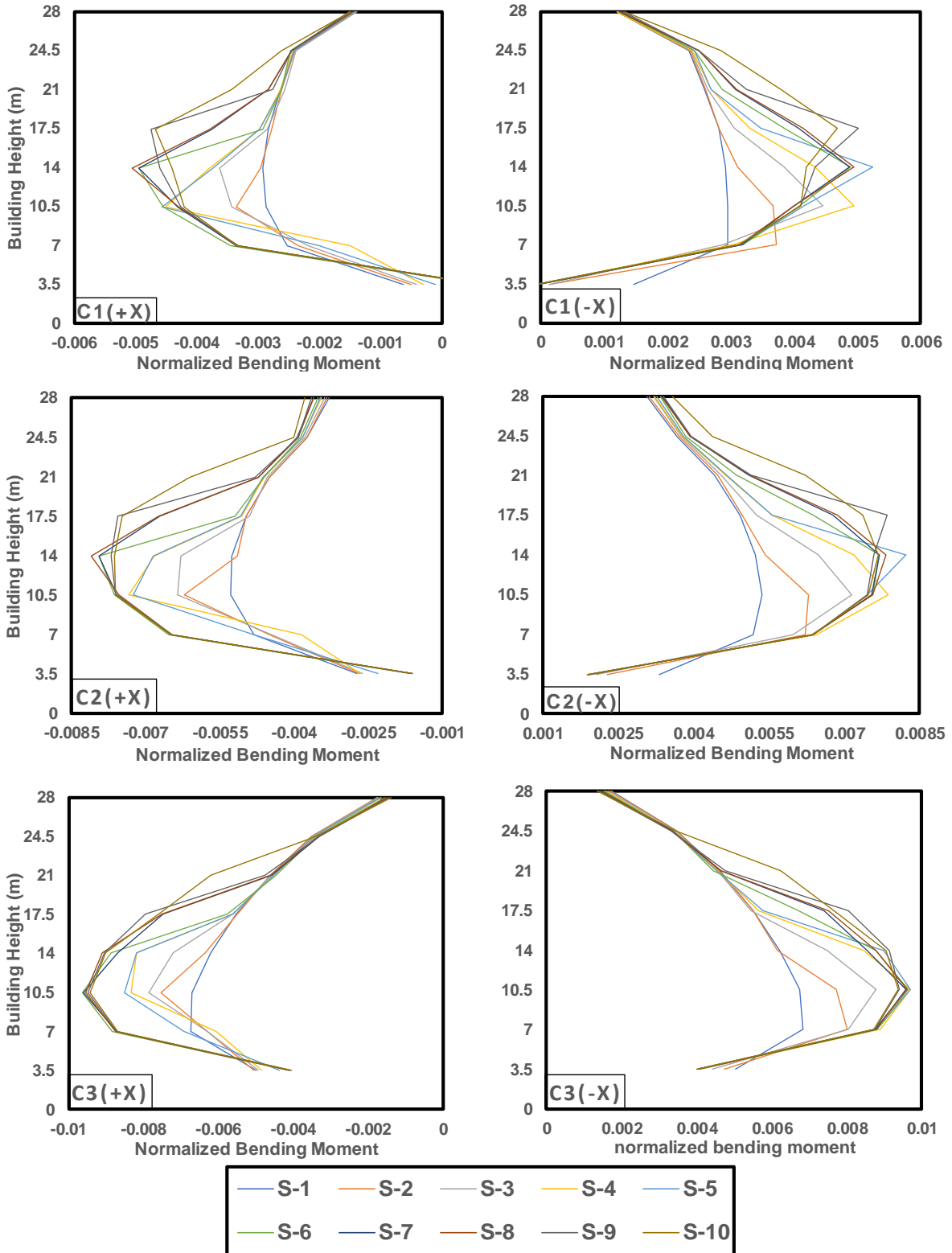


Figure 10. Normalized bending moments vs. Building height at the top of the columns for all steps in +/-X loading directions.

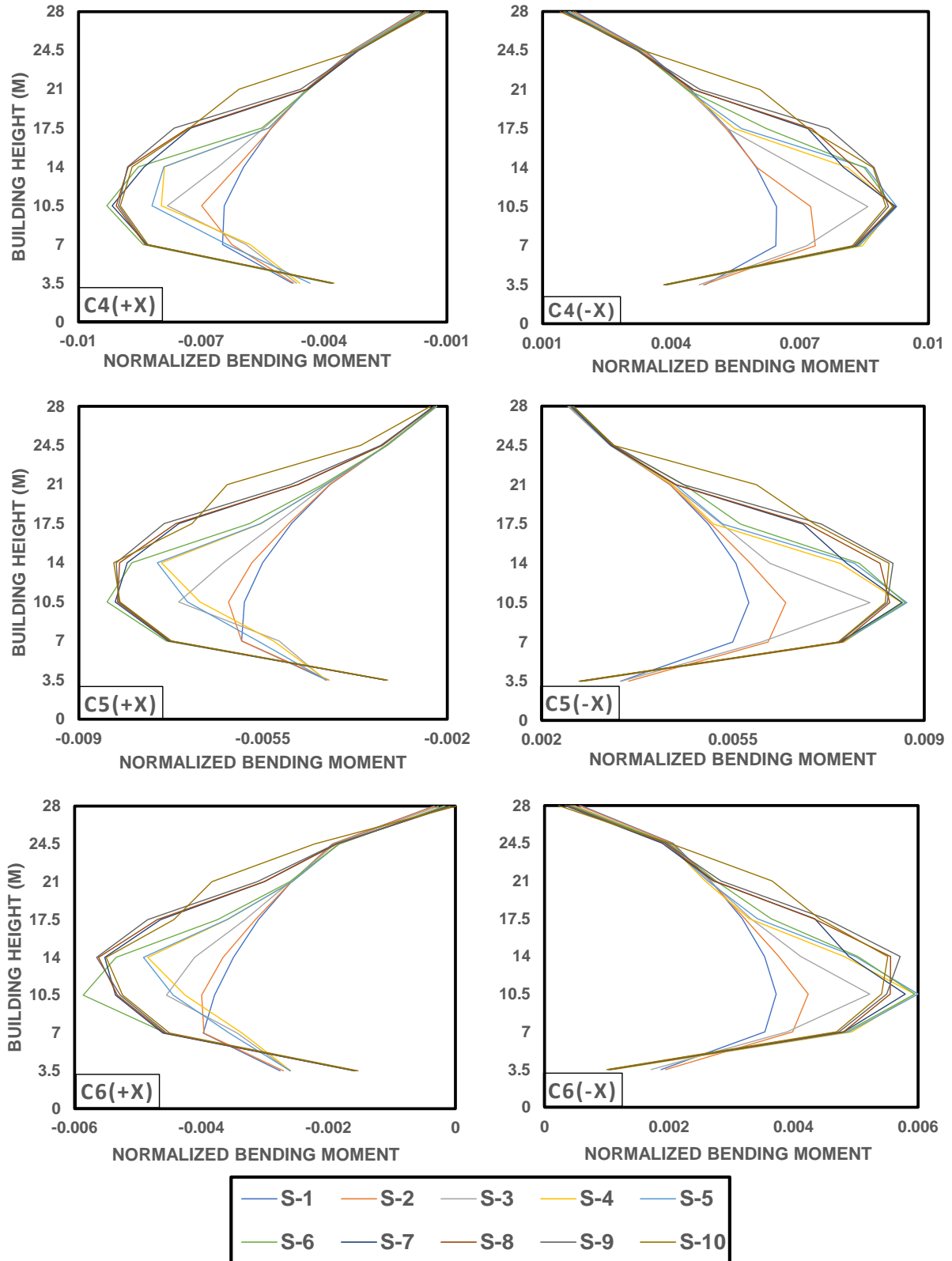


Figure 10. (cont'd). Normalized bending moments vs. Building height at the top of the columns for all steps in +/-X loading directions.

4. Conclusion

A set of analyses were carried out to investigate the effects of unreinforced masonry infill walls on the structural response of 2D frame systems. The analysis was conducted with 10 steps for +/-X loading

directions by controlling the base shear and extracting the struts that reached the axial load capacity. It was observed that the presence of unreinforced masonry infill walls has significant effects on the structural response in terms of decreasing story drifts and the natural period of the structural systems as well as affecting the interaction between the bending moments and the axial loads on the columns. Although several studies in the literature recommend using one strut [13-16] for representing the infill panels, and in code provisions [5] there is only one strut definition for simulation of the infill walls, the earthquake ground motion has an inverse loading effect which can be imposed in the model of the structural systems in both (+) and (-) directions. Within the scope of this study, the 2D frame system was intentionally selected as asymmetric along the elevation to emphasize the inadequacy of using one strut for simulation of infill panels.

Comparison between infilled frames subjected to earthquake loads in +/-X loading directions revealed that using only one strut for simulation of infill walls is not sufficient for reliable response predictions of structural systems under earthquake ground motions. Even in these two analytical results, with the same parameters except altering the direction of the struts and earthquake loading directions, there are discrepancies between axial force and bending moment distributions as well as the natural periods and story drifts due to using diagonal struts in only one direction.

It was also observed that the first strut reaches capacity at the mid-height of the 2D frame system and some of the struts in the upper levels need significant base shear values to reach their axial load capacity. Thus, the analytical procedure proposed in the present study can be conveniently used to investigate the soft-story issue in the building systems.

As it is presented in many code provisions [6], not considering the effect of the infill walls in the design of the structural systems is not sufficient for simulating the actual response of them. Considering the infill walls in each span where the infill walls exist is also not a reliable approach, since they may fail under earthquake ground motion. Although the world tends to design and analysis the structural systems under nonlinear cases, there are simply designed structural systems that can be designed under linear cases due to consideration of time and effort for the relevant project. Hence, it is simply proposed in this study that in linear seismic analysis for any earthquake load level first define an axial load capacity for each strut that may be the one that was used herein. Second, conduct the analysis and delete the struts that reach the defined axial load capacity and rerun the analysis for obtaining the final model of the structural system.

Compared to infilled frame, bare frame shows significant values of drift, moment, shear forces, and period as well as small values of axial forces in columns. Consequently, ignoring the presence of infill walls in a structural system during the seismic design process can either overestimate or underestimate the behavioral response of that system. In other words, current code provisions should focus on the consideration of not only the weight of the infill panels but also their stiffness and interaction with frames.

Author's Contribution

Two authors contributed to the study.

Statement of Conflicts of Interests

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Statement of Research and Publications Ethics

The authors declare that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Mosalam K. M., Günay S. 2015. Progressive Collapse Analysis of Reinforced Concrete Frames with Unreinforced Masonry Infill Walls Considering In-plane/Out-of-plane Interaction. *Earthquake Spectra*, 31 (2): 921-943.

- [2] Mosalam K. M., White R. N., Gergely P. 1997 (a). Seismic Evaluation of Frames with Infill Walls Using Pseudo-Dynamic Experiments. In: National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY, USA, NCEER-97-0020.
- [3] Mosalam K. M., White R. N., Gergely P. 1997 (b). Seismic Evaluation of Frames with Infill Walls Using Quasi-Static Experiments. In: National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY, USA, NCEER-97-0019.
- [4] Korkmaz K. A., Demir F., Sivri M. 2007. Earthquake Assessment of R/C Structures with Masonry Infill Walls. *International Journal of Science and Technology*, 2 (2): 155–164.
- [5] FEMA 356. 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, USA, 1–518.
- [6] Turkish Building Seismic Code. 2018. Prime Ministry, Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Ankara, 1–395.
- [7] Aksoylu C., Arslan M. H. 2019. Çerçeve+ Perde Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının TBDY-2019 Yönetmeliğine Göre Ampirik Olarak Değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 24(3), 365-382.
- [8] Aksoylu C., Mobark A., Hakan Arslan M., Hakkı Erkan İ. 2020. A Comparative Study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for Reinforced Concrete Buildings. *Revista De La Construcción*, 19(2), 282-305.
- [9] Sezer R., Aksoylu C., Kara N. 2016. Investigation of Behavior of Structures According to Different Local Site Classes for L Type Reinforced Concrete Frame Building Having A1 and A3 Irregularities. *TOJSAT*, 6(1), 21-32.
- [10] Aksoylu C., Arslan M. H. 2021. 2007 ve 2019 Deprem Yönetmeliklerinde Betonarme Binalar İçin Yer Alan Farklı Deprem Kuvveti Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 359-374.
- [11] Aksoylu C., Arslan, M. H. 2019. Çerçeve Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının Farklı Ampirik Bağıntılara Göre İrdelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 569-581.
- [12] El-Dakhkhni W. W., Elgaaly M., Hamid A. A. 2003. Three-Strut Model for Concrete Masonry-Infilled Steel Frames. *Journal of Structural Engineering*, 129 (2): 177–185.
- [13] Madan A., Reinhorn A. M., Mander J. B., Valles R. E. 1997. Modeling of Masonry Infill Panels for Structural Analysis. *Journal of Structural Engineering*, 123 (10): 1295–1302.
- [14] Mohyeddin-Kermani A., Goldsworthy H. M., Gad E. 2008. A Review of the Seismic Behaviour of RC Frames with Masonry Infill. *Australian Earthquake Engineering Society Conference*, 20-23 November, Ballarat, Victoria, 38.
- [15] Smith B. S. 1962. Lateral Stiffness of Infilled Frames. *Journal of the Structural Division*, 88 (6): 183–199.
- [16] Das D., Murty C. V. R. 2004. Brick Masonry Infills in Seismic Design of RC Framed Buildings: Part 1-Cost implications. *Indian Concrete Journal*, 78 (7): 39–44.
- [17] Rodrigues H., Varum H., Costa A. 2010. Simplified Macro-Model for Infill Masonry Panels. *Journal of Earthquake Engineering*, 14 (3): 390–416.
- [18] CSI. 2020. Integrated Software for Structural Analysis and Design. SAP2000 v22.1.0. Computers and Structures Inc. Berkeley, CA, USA.
- [19] Holmes M. 1961. Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 19 (4): 473–478.
- [20] Stafford S. B., Carter C., Mallick D. 1970. Discussion a Method of Analysis for Infilled Frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 46 (2): 229–231.
- [21] Mainstone R. J., Weeks G. A. 1970. The Influence of a Bounding Frame on the Racking Stiffnesses and Strengths of Brick Walls. *2nd International Brick Masonry Conference*, Building Research Establishment, 12-15 April, Watford, England, 165–171.
- [22] Crisafulli F. J., Carr A. J. 2007. Proposed Macro-Model for the Analysis of Infilled Frame Structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 40 (2): 69–77.
- [23] Kaushik H. B., Rai D. C., Jain S. K. 2007. Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19 (9): 728–739.
- [24] Panagiotakos T. B., Fardis M. N. 1996. Seismic Response of Infilled RC Frame Structures. *11th World Conference on Earthquake Engineering*, 23-28 June, Acapulco, Mexico, 225.

- [25] Panagiotakos T. B., Fardis M. N. 1994. Proposed Nonlinear Strut Models for Infill Panels. University of Patras, Greece, 1st Year Progress Report of HCM-PREC8 Project.
- [26] Tsai M. H., Huang T. C. 2011. Numerical Investigation on the Progressive Collapse Resistance of a RC Building with Brick Infills under Column Loss. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7 (1): 27-34.
- [27] Dolšek M., Fajfar P. 2008. The Effect of Masonry Infills on the Seismic Response of a Four-Storey Reinforced Concrete Frame - A Deterministic Assessment. *Engineering Structures*, 30 (7), 1991–2001.
- [28] Žarnić R., Gostič S. 1997. Masonry Infilled Frames As an Effective Structural Sub-Assemblage. *Seismic Design Methodologies for the next Generation of Codes*, CRC Press, Florida, USA, 335–346.
- [29] Aksoylu C., Kara N. 2020. Strengthening of RC Frames by Using High Strength Diagonal Precast Panels. *Journal of Building Engineering*, 31, 101338.
- [30] Aksoylu C., Kara N. 2019. Güçlendirme Tekniği Olarak Yeni Nesil Ön Üretimli Beton Panel Uygulamasının Araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 346-361.
- [31] Saneinejad B. A., Hobbs B. 1995. Inelastic Design of Infilled Frames. *Journal of Structural Engineering J.*, 121 (4): 634–650.
- [32] Haldar P. 2012. Modeling of URM Infills and Their Effect on Seismic Behavior of RC Frame Buildings. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 6 (1): 35–41.

Araştırma Makalesi / Research Article

Yüksek Çözünürlüklü İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntülerinden Karayolların Tespiti

Abdurahman Yasin YİĞİT^{1*}, Murat UYSAL²

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar
(ORCID: 0000-0002-9407-8022) (ORCID: 0000-0001-5202-4387)

Öz

Şehir planlaması, meteoroloji, ormancılık, madencilik, tarımsal jeoloji, peyzaj ve haritacılık gibi birçok alanda yüksek çözünürlüklü görüntülerde bulunan bilgilere çeşitli amaçlar için ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek çözünürlüğe sahip görüntülerde yoğun veriler bulunmaktadır ve bu yoğun verilerden istenen detayların otomatik veya yarı otomatik tespiti yapılacak çalışmaya; hız, maliyet ve doğruluk açısından katkı sağlamaktadır. Gelişmiş detay çıkarma yöntemleri sayesinde otomatik detay tespiti daha hızlı ve kolay hale gelmiştir. Bu çalışmada İnsansız Hava Aracı (İHA) ile görünür bölgede (kırmızı-yeşil-mavi bant) elde edilen yüksek çözünürlüklü ham veriler değerlendirilip nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile otomatik olarak karayolu tespiti yapılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemiyle; mekânsal, spektral ve bağlamsal bilgi gibi farklı nesne özelliklerine göre sınıflandırılmanın mümkün olduğu gösterilmiştir. Çalışma sonucunda, karayoluna ait ortofoto görüntüsünden nesne tabanlı yaklaşım ile tespit edilen yol ağının yer gerçeği ile ne kadar uyumlu olduğunu belirlemek için iki farklı analiz yapılmıştır. Sınıflandırma kalitesini kontrol etmek için eğitim test alanı (Training Test Area/TTA) maskesine dayalı hata matrisi yaklaşımı, hâlihazır harita ile uyumunu araştırmak için ise hata matrisi (Confusion-matrix) ile analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda kapa istatistiği 0.7958, genel doğruluk ve üretici doğruluğu ise sırasıyla 0.7520, 0.8158 hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: İHA, Yol Tespiti, Karayolu Tespiti, Detay Çıkartma, Nesne Tabanlı Sınıflandırma.

Detection of Highways from High-Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images

Abstract

Information contained in high-resolution images in many areas such as urban planning, meteorology, forestry, mining, agriculture, geology, landscaping, and land surveying is needed for various purposes. There are dense data in images with high resolution, and automatic or semi-automatic detection of the details requested from this dense data contributes to the work to be done in terms of speed, cost, and accuracy. Automatic detail detection has become faster and easier thanks to advanced detail extraction methods. In this study, high-resolution raw data obtained in the visible spectrum (red-green-blue band) with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) were evaluated and automatic road detection was made with an object-based classification approach. With the object-oriented classification method, it has been shown that it is possible to classify according to different object properties such as spatial, spectral, and contextual information. As a result of the study, two different analyzes were made to determine the compatibility of the road network detected by the object-oriented approach from the orthophoto image of the highway with the ground reality. Error matrix based on TTA mask approach was used to check the classification quality, and analysis was performed with an error matrix (Confusion matrix) to investigate its compatibility with the existing map. As a result of the analysis, the kappa statistic was 0.7958, the general accuracy and the manufacturer's accuracy were calculated as 0.7520, 0.8158, respectively.

Keywords: UAV, Road Detection, Highway Detection, Detail Extraction, Object-Based Classification.

*Sorumlu yazar: abdurahmanyasinyigit@gmail.com
Geliş Tarihi: 21.03.2021, Kabul Tarihi: 13.07.2021

1. Giriş

Düzenli bir kent yapısı oluşturmak için modern otoyollar gibi ulaşım ağlarına ihtiyaç duyulmaktadır [1, 2]. Ülkeler geliştikçe yeni ulaşım ağları yapılmakta ve bu ulaşım ağlarının haritalarının özellikle navigasyon sistemleri için güncellenmesi gerekmektedir. Klasik yöntemler ile haritaların güncellenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemlere (CBS) entegrasyonu zaman ve maliyet yönünden olumsuz etkilenmektedir. Özellikle zamandan tasarruf ve hızlı altyapı hizmetlerinin sunulması açısından yolların tespiti önemli bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu anlamda yoğun veri kümeleri içerisinde yolların çıkarımı ve sınıflandırılması önem arz etmektedir.

Teknolojinin gelişmesi ile veri toplama yöntemleri de gelişme göstermiş ve özellikle görüntü tabanlı veriler, içerisinde daha ayrıntılı bilgiler sunmaya başlamıştır [3-6]. Elde edilen verilerdeki yoğunluk, bu verilerdeki anlamlı olanların çıkarımını zorunlu kılmıştır. Önceleri, istenen detayların çıkarılması operatörler tarafından manuel olarak yapılmaktaydı. Uzun yıllardır manuel olarak yapılan bu çıkarım ve sınıflandırma işlemi gelişen detay çıkarma yöntemleri sayesinde daha hızlı ve kolay hale gelmiştir.

Birçok çalışmada düşük veya orta çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak karayolu ağlarının tespiti yapılmıştır. Ancak bu görüntülerdeki yollar genellikle bir veya iki piksel genişliğinde görünür ve bu durumdaki düşük çözünürlüklü görüntülerde bazı yollar ve patika detayları ayırt edilemez. Bu nedenle yüksek çözünürlüklü görüntülere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, bu görüntülerde küçük nesnelere gözlemlenebilir hale gelmekte ve dolayısıyla yolun tespit edilmesini etkileyen gürültü (araçlar, gölgeler, işaretler ve yollar boyunca ağaçlar) artmaktadır [7, 8]. Ayrıca yüksek çözünürlüklü görüntülerde yol hatları daha heterojen hale gelmektedir fakat çatılar ve çıplak zeminler gibi spektral olarak benzer bazı nesnelere de yol tanıma hatalarına yol açmaktadır [9]. Bu sorunların üstesinden gelmek için yüksek çözünürlüklü görüntülerden yol ağlarını çıkarmak amacıyla bazı algoritmalar önerilmiştir. Örneğin, adaptif yönlü filtreleme [10], Gauss piramidine dayanan bağlamsal bir yöntem [11], ortalama kaydırma filtresinin kullanımı [12] ve morfolojik dönüşüm [13] gibi algoritmalar geliştirilmiştir.

Bacher ve Mayer (2005) yüksek çözünürlüklü çok bantlı uydu görüntülerinden yolların çıkarılması için otomatik bir yaklaşım önermişlerdir [14]. Görüntüleri ilk önce her piksel için üyelik değerlerini içeren “yol sınıfı görüntüsü” olarak sınıflandırmışlar. Sınıflandırma sonuçları ile bir dizi geometrik kısıtlama kullanılarak Steger çizgileri yol hipotezi olarak değerlendirmişlerdir [15]. Wang vd. (2005) çok bantlı (multispektral) görüntülerden yol çıkarma yöntemlerinin, yolların tek tek piksellerin spektral özelliklerine göre diğer zemin özelliklerinden ayrılmasını kapsadığından bahsetmişler [16]. Tapan vd. (2015) çalışmalarında 30 cm çözünürlüğe sahip kızılötesi sayısal hava fotoğrafları kullanarak ormanlık alanlardaki yolları eğitilmiş bir sınıflandırma yöntemi ile otomatik olarak belirlemeye çalışmışlardır [17]. Ural vd. (2015) bir metre çözünürlüklü renkli kızılötesi ortofoto ve hava Lidar verileri kullanarak sınıflandırma yapmışlardır. Sınıflandırma işlemi için piksel tabanlı bir yaklaşımın parçası olarak destek vektör makinesi algoritması kullanmışlardır [18]. Becker vd. (2017) insansız hava aracı (İHA) fotogrametrisi verilerinden bina ve yol çıkarımı yapmışlardır ve çalışmalarında makine öğrenmesi ile otomatik detay çıkarma işlemi gerçekleştirmişlerdir [19]. Sabuncu ve Sunar (2017) deprem sonrasında afet bölgesine ait ortofotolardan yararlanarak otomatik bir şekilde nesne tabanlı yöntem kullanarak nesne çıkarımı yapmışlardır [20]. Widyaningrum ve Lindenbergh (2019) çalışmalarında hava LİDAR nokta bulutunu ortofotodan alınan renk bilgileriyle birleştirmişler ve yol ağını çıkarmak için bir metodoloji sunmuşlardır. Çalışmaları, yol ağlarının iskelet tabanlı çıkarımını kapsamaktadır. İlk olarak, zemin noktalarını zemin dışı noktalardan ayırmışlar ardından filtrelenmiş toprak noktalarını Rastgele Orman algoritmasını kullanarak yol ve yol dışı noktalara göre sınıflandırmışlar [21]. Geng vd., (2021) İnsansız Hava Aracı görüntülerinin ultra yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip olduğundan bahsetmiş. Çalışmalarında, nesne tabanlı yöntem ile sınıflandırma yapmışlar ve ultra yüksek mekânsal çözünürlüklü multispektral görüntüler ile karşılaştırmalı araştırma yapmışlardır [22]. Zeybek (2021) İHA'dan elde edilen nokta bulutu verilerinden daha fazla bilgi almak için çeşitli analizlere tabi tutuldukları için nokta bulutlarının sınıflandırılması gerektiğine değinmiştir. Nokta bulutlarının yüksek yoğunluğu nedeniyle, veri işleme ve bilgi toplama, nokta bulutlarının sınıflandırılmasını zor bir görev haline getireceğinden ve uzun zaman aldığından bahsetmiş ve bu nedenle sınıflandırma işlemi, değerli bilgiler elde etmek için optimal bir çözüm sağlayacağını aktarmıştır. Zeybek çalışmasında, sınıflandırma işlemi için tercih ettiği rastgele orman makine öğrenme algoritmasında radyometrik özellikler (Kırmızı bant, Yeşil bant ve Mavi bant) ve kovaryans özelliğinden

(eğrilik, çok değişkenlik, düzlük, doğrusallık, yüzey varyansı, anizotropi ve normalleştirilmiş arazi) türetilen geometrik özellikler uygulamıştır. Ayrıca, İHA tabanlı nokta bulutu üzerinde rastgele orman yönteminin doğruluğunu ve performansını elde etmek için önerilen metodolojinin uygulanabilirliğini test etmek için çalışmasını sunmuştur. Sınıflandırma işleminden sonra, modelden her noktaya atanan bir sınıf, referans veri sınıfı ile karşılaştırılmış ve son olarak sınıflandırmanın genel doğruluğu % 96 olarak elde edilmiş ve veri setinde Kappa endeksi % 91'e ulaşmıştır [23].

Uzaktan algılanan verilerden bilgi elde etmek için piksel tabanlı yaklaşımlar uygulanırsa yalnızca spektral bilgi kullanılır. Bu nedenle, piksel tabanlı yaklaşımlar yüksek çözünürlüklü görüntü sınıflandırmasını karşılayamaz. Bu durum zengin bilgi içeriğine sahip yüksek çözünürlüklü görüntülerde uygulanan piksel tabanlı sınıflandırma yönteminde bina, yol, park vb. kesin sınırlar içeren kentsel alanlardan hassas veri çıkarımı oldukça güçleştirir. Bu eksiklik mevcut bilgi işlem teknolojilerine bağlı olarak gelişmiş görüntü analiz ve sınıflandırma yaklaşımlarını da beraberinde getirmiştir. Dolayısıyla günümüz görüntü işleme ve uzaktan algılama teknolojilerinde, nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımları yoğunlukla kullanılmaya başlanmıştır [15, 23-26]. Nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımına göre bir nesne; benzer spektral ve mekânsal özelliklere sahip bir piksel grubu olarak tanımlanır. Bu yaklaşımda, nesnelere temsil eden segmentler; şekil, doku, komşuluk ilişkisi, morfolojik ilişkiler, alan, yükseklik değeri, mesafe, geometrik şekil, standart sapma, yoğunluk vb. değerleri kullanılarak analiz edilir ve hedef sınıflara atanır. Bu bilgilerin çoğu nesne tabanlı sınıflandırma yöntemine özgüdür, piksel tabanlı sınıflandırma yönteminde kullanılamazlar. Nesneye ait farklı özellikler kullanılarak daha doğru sınıflandırma sonuçları elde edilir [27].

Bu çalışmada İHA'dan elde edilen görüntülerden oluşturulan yüksek çözünürlüğe sahip ortofoto kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile kentsel alanlardaki yolların ve benzeri hatların belirlenen kural ve işlemler ile otomatik çıkarımı amaçlanmıştır. Alçak irtifa İHA'lar, son yıllarda, kullanıcının ilgi alanlarına göre çok açılı ve çok yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verilerini elde edebilen ve iniş yerlerinin veya bulut örtüsünün koşullarından daha az kısıtlanan rakipsiz özelliklere sahip yeni bir düşük maliyetli uzaktan algılama veri kaynağı olmuştur. Bu esneklik ve verimlilik nedeniyle, uydu verilerine iyi bir tamamlayıcı olan İHA'lardan elde edilen görüntü verilerinden yol tespitinde kullanılabilirliği bu çalışmada araştırılmıştır. Bu bağlamda çalışmanın amacı, karayolu hatlarının tespitinde İHA'dan elde edilen RGB görüntü verilerinin uygulanabilirliğini test etmektir.

İHA ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerden bilgi almak için bir nesnenin ve çevresinin mekânsal ve spektral bilgilerin kullanılması gerekir. Çalışmada; segmentasyon ve sınıflandırma için farklı parametrelerin uygulanması, kompozit ve orijinal bantların kombine kullanımı, farklı ölçek seviyelerinin seçilmesi ve kural setlerin seçiminin detay çıkartımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile tespiti yapılan yol hatlarının yer gerçeği ile ne kadar uyumlu olduğunu belirlemek için doğruluk analizi yapılmıştır. Sınıflandırma kalitesini kontrol etmek için TTA maskesine dayalı hata matrisi yaklaşımı, halihazır harita ile uyumunu araştırmak için ise hata matrisi (Confusion matrix) ile analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda, seçilen test alanlarının referans değerleri ile sınıflandırma sonucu karşılaştırılarak hata matrisi üretilmiş ve kapa istatistiği, üretici ve kullanıcı doğruluğu, hassasiyet, duyarlılık, *F1Puanı* ve özgünlük sırasıyla hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada yüksek çözünürlüklü görüntülerden üretilen ortofotolardan nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile karayolların tespiti yapılmıştır. Bu kısım Çalışma alanı, veri temini, İHA verilerinin fotogrametrik süreci, Nesne tabanlı sınıflandırma ve doğruluk analizi kısımlarından oluşmaktadır.

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Şekil 1'de gösterilen Yozgat-Sivas hattında bulunan karayolu seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

2.2. Veri Temini

Çalışmada ilk olarak Şekil 2’de verilen İHA ile yaklaşık 70 hektarlık bir alanda 215 metre yükseklikten RGB bantlara sahip S.O.D.A kamera ile görüntüler toplanmıştır. Toplam 312 fotoğraf çekilmiş olup tamamı kullanılmıştır. Araziye 16 adet yer kontrol noktası (YKN) tesis edilmiş olup YKN’ler Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Navigation Satellite System/GNSS) ile çalışan bir hassas ölçüm cihazı ile birer saat arayla 30 epok (1 epok=1sn) olacak şekilde iki kez tekrarlı olarak ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan İHA ve kameranın teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. ebee sensefly plus sabit kanatlı İHA ve S.O.D.A kamera

Tablo 1. Ebee sensefly plus sabit kanatlı İHA ve S.O.D.A. kamera teknik özellikler

Özellik	Değer
Ağırlık	1100 g
Çapraz Boyut	1100 mm
Seyir hızı	40-110 m/s
Maksimum Uçuş Süresi	Yaklaşık 50 dakika
PPK/RTK	Var
Radio link mesafesi	3 km etkili
Uydu Konumlandırma Sistemleri	Var
Kamera modeli	Sensefly S.O.D.A
Sensör tipi	R-G-B (20 mp)
Sensör boyutu	1-inch
Çözünürlük	5472x3648
Odak uzaklığı	10.6 mm

2.3. İHA Verilerinin Fotogrametrik Süreci

İHA ile çekilen görüntüler, fotogrametrik değerlendirme yazılımı ile dengelenmiştir. Dengeleme sonunda araziden ölçümü yapılan YKN'ler kullanılarak arazi koordinatlarına dönüştürülmüştür. Daha sonra çalışma alanının ortofotosu üretilmiştir.

2.3. Nesne Tabanlı Sınıflandırma

Nesne tabanlı görüntü analiz yöntemi; görüntüdeki şekil, renk, doku vb. ayırt edilebilir özelliklere göre nesnelere yakalayan bir sistem sağlar. Bu yöntem; görüntüdeki binalar, ağaçlar, yollar ve araçlar gibi çeşitli nesnelere ayırt etme imkânı sağlar. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi, segmentasyon ve sınıflandırma aşamalarını içerir. Segmentasyon süreci, görüntü üzerindeki hedef sınıfların aynı segmentte toplanmasına izin verirken ikinci aşama ise nesnelere sınıflandırılmasını gerektirir [28]. Çalışmada nesneye dayalı bir sınıflandırma yaklaşımı gerçekleştirmek için Definiens eCognition Developer [44, 45] yazılımı kullanılmıştır.

Nesne tabanlı sınıflandırmada en önemli ve ilk adım segmentasyondur. Segmentasyon, benzer spektral özelliklere sahip pikselleri gruplama ve görüntü nesnelere oluşturma işlemidir. Segmentasyonun amacı, görüntüyü farklı alt bölümlere ayırmak ve görüntüden anlamlı nesnelere oluşturmaktır [29]. Definiens yazılımında segmentasyon işleminde ölçek, şekil yoğunluk ve yumuşaklık parametreleri vardır [4]. Mümkün mertebe gerçeğe en yakın değerlerde girilmesi gereken parametreler arasında en önemlisi ölçek parametresidir. Kullanıcılar, farklı ölçeklerdeki nesnelere belirlemek için şekil ve yoğunluk faktörleri için 0 ile 1 arasında değişen ağırlıklar uygulayabilir. Bu iki parametre nesnelere homojenliğini kontrol eder. Şekil faktörü, nesnelere şekline karşı spektral homojenliği ayarlarken, yoğunluk faktörü ve pürüzsüzlüğü dengeleyen yumuşaklık faktörü, nesne şeklini pürüzsüz sınırlar ve kompakt kenarlar arasında belirler. Ayrıca, yumuşaklık ve yoğunluk toplamı bire eşit olmalıdır. Yoğunluk veya yumuşaklık yalnızca şekil faktörü sıfırdan büyük olduğunda etkilidir (Benz et al. 2004). Kullanıcının gerekli ayrıntı düzeyiyle eşleşen nesne boyutunu kontrol eden ölçek parametresi, görüntü segmentasyonunun en önemli parametresi olarak kabul edilebilir. Çalışmada segmentasyon yöntemi olarak Çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi kullanılmıştır. Çoklu çözünürlüklü segmentasyon algoritmasında görüntü nesnelere, belirli bir çözünürlük için ortalama heterojenliğe (Denklem 1) dayalı olarak küçük parçalara bölünür.

Heterojenlik kriteri (f) belirli bir eşğin altında olmalıdır. Ağırlık parametreleri W_{color} ve W_{shape} heterojenliği belirler.

$$f = W_{color} \cdot \Delta h_{color} + W_{shape} \cdot \Delta h_{shape} \quad (1)$$

$$W_{color} \in [0,1], W_{shape} + W_{color} = 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta h_{color} = \sum_c W_c \cdot (n_{merge} \cdot \sigma_{c,merge} - (n_{obj-1} \cdot \sigma_{c,obj-1} + n_{obj-2} \cdot \sigma_{c,obj-2})) \quad (3)$$

Bu denklemlerde:

W_c : c bandında ağırlık

n_{merge} : birleştirilmiş nesnedeki toplam piksel sayısı

n_{obj-1} : ilk nesnedeki toplam piksel sayısı

n_{obj-2} : ikinci nesnedeki toplam piksel sayısı

σ_c : c bandındaki standart sapma

$obj - 1$: birleştirmeden önceki nesnelere olarak tanımlanır.

$$\Delta h_{shape} = W_{compt} \cdot \Delta h_{compt} + W_{smooth} \cdot \Delta h_{smooth} \quad (4)$$

$$\Delta h_{smooth} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - \left(n_{obj-1} \cdot \frac{l_{obj-1}}{b_{obj-1}} + n_{obj-2} \cdot \frac{l_{obj-2}}{b_{obj-2}} \right) \quad (5)$$

$$\Delta h_{\text{compt}} = n_{\text{merge}} \cdot \frac{l_{\text{merge}}}{\sqrt{n_{\text{merge}}}} - \left(n_{\text{obj}-1} \cdot \frac{l_{\text{obj}-1}}{\sqrt{n_{\text{obj}-1}}} + n_{\text{obj}-2} \cdot \frac{l_{\text{obj}-2}}{\sqrt{n_{\text{obj}-2}}} \right) \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemlerde,

l: nesnenin çevresi,

b: nesne hattını çevreleyen uzunluk olarak tanımlanır.

İyi bir görüntü segmentasyonu için *wc*, *wcolor*, *wshape*, *wsmooth*, *wcompt* parametreleri gereklidir. Optimizasyon sürecini durdurmak için ölçek parametresi gereklidir. Heterojenlikteki fark (f), iki bitişik nesneyi birleştirmeden önce hesaplanır. Artış, ölçek parametresi tarafından belirlenen eşik değeri t ($t = \Psi$ (ölçek parametresi)) aştığında, nesne birleştirme işlemi durdurulur ve bölümlenme tamamlanır. Daha büyük bir ölçek parametresinin belirtilmesi, daha fazla nesnenin birleşimine yol açarak daha büyük nesnelere sonuçlanır.

Nesne bazlı sınıflandırma işleminde segmentler oluşturulduktan sonra çeşitli bant kombinasyonları oluşturulur ve objelerin karşılık gelen gri renk aralığından istenen detaylar elde edilir. Bu işlemin amacı, kullanılan bant kombinasyonlarının özelliklerini ve görüntü detaylarını ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla, literatürde birkaç grup kombinasyonu rapor edilmiştir. Çalışmada görünür dalga boylarındaki görüntüler kullanıldığından, bu bantlarla ilişkili indeksler kullanılmıştır. Literatürde en sık kullanılan indekslerden bazıları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. KYB (Kırmızı-Yeşil-Mavi/Red-Green-Blue) bant indeksleri

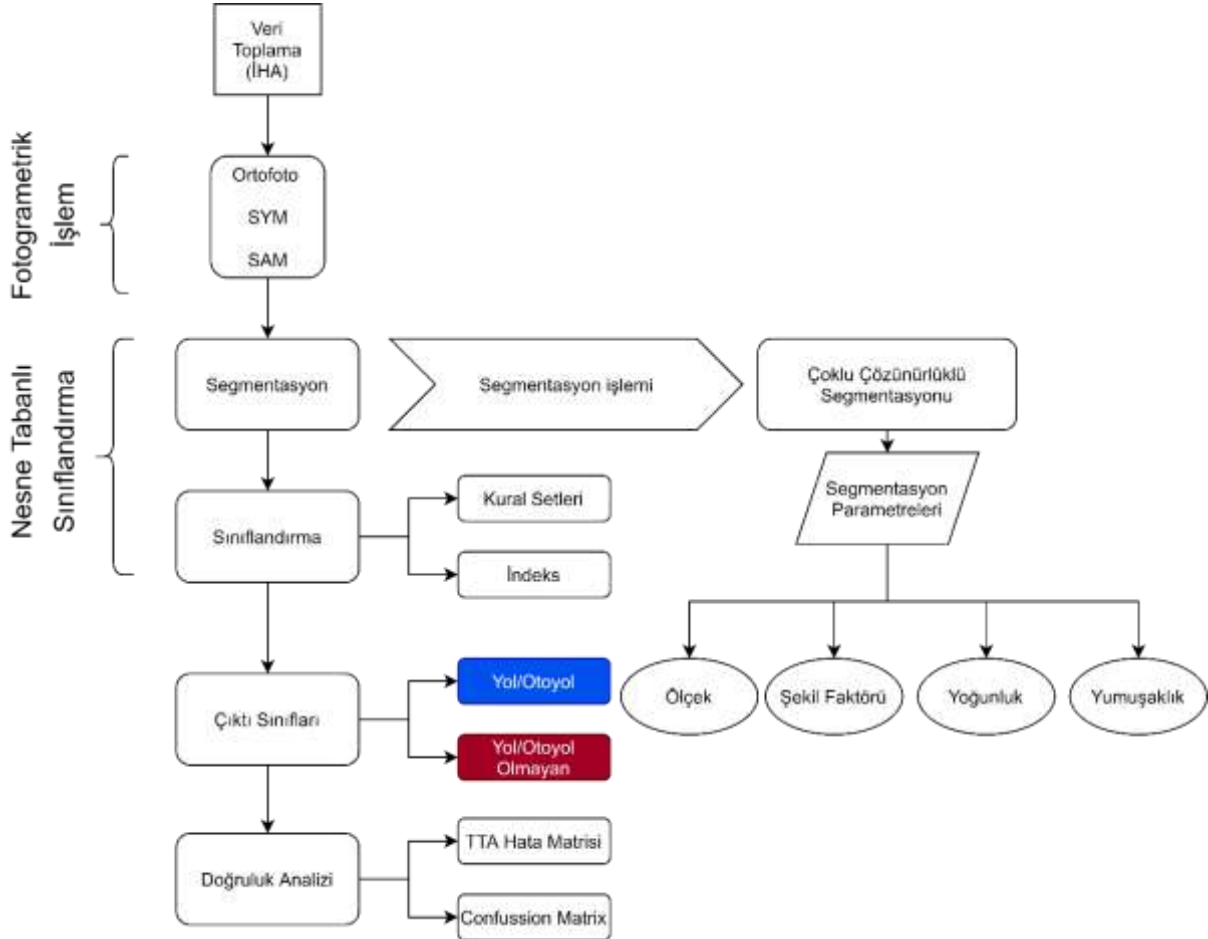
İsim	Kısaltma	Formül	Kaynak
Ortak Bantlar Oranı (Common Band Ratio)	OBO (CBR)	$(K + Y + M)/3$	[30]
Kırmızı Yeşil Bant Farkı (Red-Green Band Difference)	K-Y (R-G)	$K - Y$	[30]
Aşırı Yeşil İndeks (Excess green index)	AYI (EGI)	$(2xY) - M - K$	[31]
Yeşil Yaprak alan İndeksi (Green Leaf area index)	YYİ (GLI)	$((2xY) - M - K)/((2xY) + M + K)$	[31]
Üçgen Yeşillik İndeksi (The Triangular Greenness Index)	UYİ (TGI)	$Y - (0.39R - 0.69B)$	[31]
Yeşil Bant Oranı (Green Ratio Index)	YBO (GRI)	$Y/(M + Y + K)$	[32]
Mavi Bant Oranı (Blue Ratio Index)	MBO (BRI)	$M/(M + Y + K)$	[30]
Kırmızı Bant Oranı (Red Ratio Index)	KBO (RRI)	$K/(M + Y + K)$	[30]
Yeşil-Kırmızı Vejetasyon İndeksi (The Synthetic NDVI) (Green Red Vegetation Index)	YKVI (sNDVI GRVI)	$(Y - K)/(Y + K)$	[33]
Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi Vegetation Adjusted Reflectance Index	ABİ (VARI)	$(Y - K)/(M + Y + K)$	[34]
Aşırı kırmızı bitki örtüsü indeksi Excess red vegetation Index	AKBİ (ERVI)	$(1.4 x K) - Y$	[35]

Görüntüler anlamlı segmentlere ayrıldıktan sonra, her bir bölümün özellikleri test edilmeli ve her bir görüntü bandı ve görüntü bölümündeki her özelliğin tepkileri analiz edilmelidir. Analiz, ilişkili sınıfın ayrımını yakalayan özelliğe dayalı olarak sınıfı en iyi temsil edebilecek sınır değerlerinin belirlenmesine yol açmaktadır. Böylelikle sınıflandırma, ilgili üyelik fonksiyonunda belirlenen limitler

ile devam etmekte ve gerçek dünya koşullarını temsil eden en iyi sınıflandırma elde edilinceye kadar bu limitler araştırılmalıdır.

Çalışmada sadece yolların tespiti yapıldığı için yol nesnelere yol sınıfına, yol dışındaki nesnelere ise yol olmayan olarak sınıflandırılmıştır. Yol sınıfları belirlenirken yol dışı nesnelere kaldırılması için maskeleye yapılmıştır. Böylece, her bir nesnenin değerleri test edilmiş ve nesnelere yol dışı sınıfa atanmıştır. Segmentler sınıflara atandıktan sonra, sıkıştırılmış segment kenarlıkları ve şekilleri düzeltilmiştir.

Çalışmanın iş akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. İş akış şeması

2.5. Doğruluk analizi

Sınıflandırmadan sonra, sınıfların gerçek alanla uyumluluğunu belirlemek için doğruluk analizi yapılmalıdır. Doğruluk analizi, sınıflandırmanın doğruluğunu ve güvenilirliğini ölçmek için son adımdır. Doğruluk analizi için bir hata matrisi geliştirilmiş, kullanıcı ve üretici doğrulukları ve kapa katsayısı analiz edilmiştir. Daha sonra bu noktaların konumlarının doğruluğunu test etmek için CBS yazılımında rastgele noktalar atanmıştır. Rastgele atanacak olan noktaların sayısını belirlemek için oluşan segmentlere göre örneklem belirlenmiş ve örneklem uzayına göre nokta sayısı belirlenmiştir.

Sınıflandırma sonuçlarının validasyonu için sınıflandırma doğruluğu elde edilen sonuçları anlamak ve sonuçların karar verici mekanizmalarca kullanılabilmesi için doğru tahminler gereklidir. En yaygın doğruluk tahmin parametreleri genel doğruluk, üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve Kappa katsayısıdır [36, 37].

Genel doğruluk, doğru olarak sınıflandırılan toplam piksel veya görüntü nesnesi sayısının referans verilerindeki toplam öge sayısına bölünmesiyle hesaplanır (Denklem 7).

$$General\ doğruluk = \frac{\sum_{k=1}^n N_{k,k}}{\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^n N_{i,j})} \quad (7)$$

şeklinde olur.

Her bir kategorinin doğruluğu, bu kategoride doğru sınıflandırılmış nesnelerin sayısının karşılık gelen satır veya sütundaki eleman sayısından herhangi birine bölünmesiyle hesaplanır.

Üretici doğruluğu (Denklem 8), her kategoride doğru sınıflandırılmış piksel veya nesne sayısının, o kategori için seçilen toplam gerçek örnekleme türü sayısına (sütun toplamı) bölünmesiyle hesaplanır.

$$PAN_i = \frac{N_{i,i}}{\sum_{j=1}^n N_{i,j}} \quad (8)$$

Üretici doğruluğu denklem 8’de gösteriliği gibi hesaplanır. Burada, PAN_i (PAN= normal sınıflandırma için üretici doğruluğu), i. kategorinin üretici doğruluğu, n sınıflandırma kategori sayısını oluşturmaktadır. Üretici doğruluğu, görüntüdeki gerçek örtü tipinin ilgili sınıfa dâhil edilme başarısını gösterir.

Kullanıcı doğruluğu (Denklem 9), her kategoride doğru olarak sınıflandırılan piksel veya nesne sayısının, o kategoride sınıflandırılan toplam piksel veya nesnelerin (toplam satır) sayısına bölünmesiyle elde edilir. Bu doğruluk kriteri, ekleme hatasının bir ölçüsüdür ve belirli bir kategoride sınıflandırılan piksel veya nesnenin, gerçek dünya toprak örtüsü tipindeki kategoriyi temsil etme olasılığını ifade eder. Kullanıcı doğruluğu,

$$UAN_j = \frac{N_{j,j}}{\sum_{i=1}^n N_{j,i}} \quad (9)$$

ile hesaplanır. Burada, UAN_j (UAN= normal sınıflandırma için kullanıcı doğruluğu) kategorinin kullanıcı doğruluğudur.

Doğruluk analizi, sınıflandırma sonucunda elde edilen verilerin referans olarak kabul edilmiş olan veriler ile istatistiksel olarak karşılaştırılmasını esas alan bir doğruluk kontrol etme yöntemidir. Yapılan bu istatistiksel analizler sonucunda elde edilen hata matrisi ile sınıflandırma sonucunun sağlıklı olup olmadığı anlaşılmaktadır. Hata matrisi, 0 ile 1 arasında değişiklik gösteren kapa katsayısı (Denklem 10) ile istatistiksel olarak analiz edilir [38].

k değeri kapa katsayısını göstermek üzere,

$$k = \frac{P_0 - P_h}{1 - P_h} \quad (10)$$

ile hesaplanır.

P_0 değeri hata matrisinin köşegenlerindeki elemanların toplamının, her satır veya sütundaki elemanlarının toplamına oranlanması ile elde edilir.

$$P_h = \sum P_a(i)P(i) \quad (11)$$

P_a değeri, ayrı ayrı her bir sütunun toplamlarının, tüm sütunların toplamına bölünmesi ile bulunmaktadır.

P değeri ise, ayrı ayrı her bir satırın toplamlarının, tüm satırların toplamına bölünmesi ile bulunmaktadır [39].

Hata matrisi oluşturularak yapılan doğruluk analizinden sonra coğrafi bilgi sistemleri yazılımında yapılan nokta konum doğrulukları ile çalışmanın doğruluk (Denklem 12), hassasiyet (Denklem 13), duyarlılık (Denklem 14), F1Puanı (Denklem 15) ve özgünlük (Denklem 16) hesaplanmıştır.

Bunun için örneklem büyüklüğü incelenmiş ve gerekli olan örneklem sayısı kadar rastgele nokta atılmıştır (10112 tane). Rastgele atılan aynı noktalar, tespit edilen yolların olduğu harita üzerine de atılmıştır. İlk olarak bu işlem içinde örneklem tespit edilmiştir. Örneklem sayısı belirlendikten sonra bu sayı kadar rastgele nokta atılmıştır. Atılan bu noktaların, referans verisindeki konumlarının tespit edilen yolların oluşturduğu vektör haritadaki durumu incelenmiştir. Bunun için;

Gerçek pozitif (GP): yol noktaları doğru sınıfa (Evet)

Gerçek negatif (GN): yol olmayan noktalar yol olmayan sınıfa (Hayır)

Yanlış pozitif (YP): yol olmayan noktalar yol sınıfa (Evet)

Yanlış negatif (YN): yol olan noktalar yol olmayan sınıfa (Hayır)

$$\text{Doğruluk} = \frac{(GP+GN)}{(GP+YP+YN+GN)} \quad (12)$$

$$\text{Hassaiyet} = \frac{(GP)}{(YP+GP)} \quad (13)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{(GP)}{(GP+YN)} \quad (14)$$

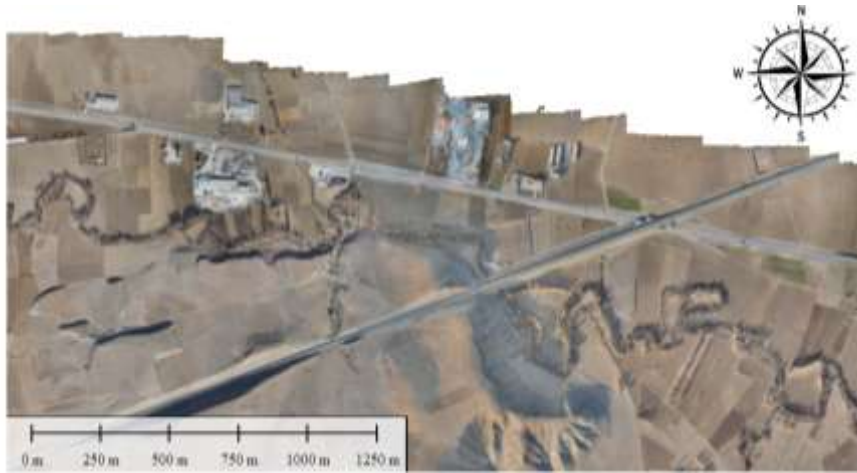
$$F_1\text{Puanı} = 2 * \frac{(\text{Hassasiyet} * \text{Duyarlılık})}{(\text{Hassasiyet} + \text{Duyarlılık})} \quad (15)$$

$$\text{Özgünlük} = \frac{(GN)}{(GN+YP)} \quad (16)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile detay tespiti çalışmaları çoğunlukla uydu görüntüleri ile yapılmaktaydı. Düşük ve orta çözünürlüklü uydu görüntüleri zayıf mekânsal çözünürlükle sınırlıdır. Bu nedenle, İHA'lar küçük alanlar için yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntüler toplamada iyi bir alternatif olmuştur. Son zamanlarda İHA'lar ile yüksek çözünürlüklü ortofotoların üretilmesi sonucunda bu görüntülerden obje tespiti çalışmalarına ağırlık verilmeye başlanmıştır. İHA görüntülerinden üretilen yüksek çözünürlüklü ortofotolardan nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile yol detaylarının tespiti amaçlanmıştır.

İHA ile çekilen görüntülerin fotogrametrik olarak dengeleme işlemi Pix4D yazılımında yapılmıştır. Dengeleme sonucunda çalışma bölgelerin ortofotoları üretilmiş (Şekil 4) ve üretilen ortofotoların yer örneklem aralığı (YÖA) 6,1 cm çözünürlüğe sahiptir.

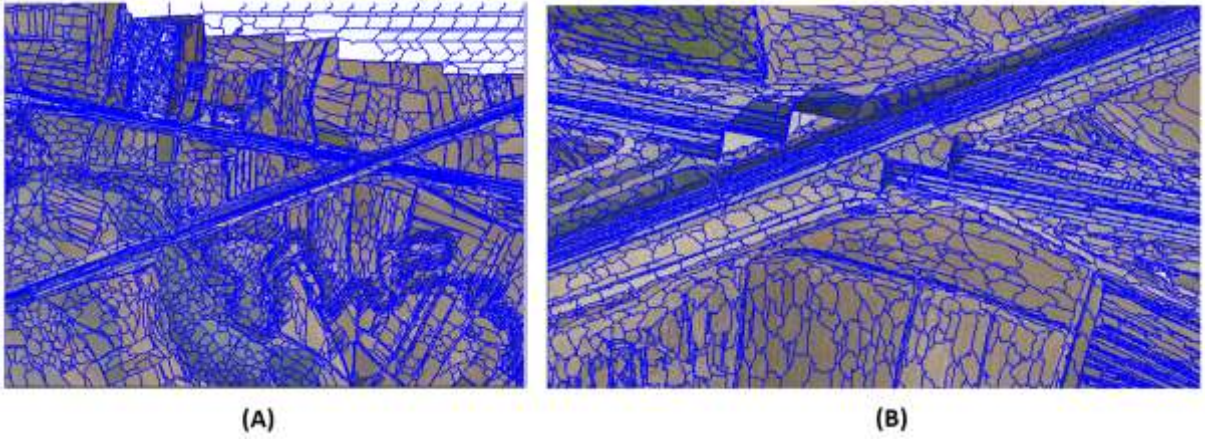


Şekil 4. Çalışma alanına ait ortofoto görüntüsü

Yüksek çözünürlüklü İHA görüntülerinden üretilen ortofotolardan nesne tabanlı sınıflandırma metodu uygulanmasında en önemli ve ilk aşama şüphesiz segmentasyon aşamasıdır. Segmentasyonu etkileyen parametrelerden (şekil-kompaktlık-ölçek) en önemlisi ölçek parametresidir.

İlk olarak ölçek parametresi sabit tutularak şekil ve kompaktlık parametreleri deneme yanılma yöntemiyle seçilmiştir. Bu sonuçların analiz edilmesiyle, şekil değişikliği parametresinin kompaktlık indeksine kıyasla segmentasyon sonuçlarının kalitesine daha duyarlı olduğu ve daha küçük bir şekil parametresinin ayarlanmasının ideal segmentasyon sonuçlarının elde edilmesinde daha kolay olduğu ortaya konulmuştur.

Şekil parametresi, daha az ağırlık şekli vermek ve görüntü segmentasyonu için spektral olarak daha homojen piksellere daha fazla dikkat vermek üzere 0.3'e ayarlanmıştır. Kompaktlık parametresi, nesnelerin kompaktlığını ve pürüzsüzlüğünü dengelemek için 0,7'e ayarlanmıştır. Farklı ölçek seviyelerini ve parametre değerlerini test ettikten ve kalitatif olarak değerlendirdikten sonra, 20'den 150'ye kadar ölçek seviyeleri denenmiş ve en uygun ölçek seviyesi 150 olarak uygun görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Segmentasyon (A: ölçek 100 – B: Ölçek 150)

Ölçek işlevindeki farklı sayılar için uygulanarak farklı nesne boyutu düzeyleri belirlenebilir. Daha yüksek ölçek (örneğin, 100) daha büyük homojen nesnelere yol açar (daha küçük bir kartografik veya haritalama ölçeğine benzer), daha az ölçek (örneğin, 10) daha küçük nesnelere (daha büyük ölçek) yol açar. Ölçek parametresinde kullanılan daha büyük bir sayı, segmentasyon prosedüründe daha düşük bir seviye olarak kabul edilir. Ölçek düzeyine ilişkin karar, hedefe ulaşmak için gereken nesnenin boyutuna bağlıdır.

Yapılan bir segmentasyon işleminin optimum düzeyde olduğunu değerlendiren en iyi ve tecrübeli kaynak şüphesiz insan gözüdür. Munoz vd. (2003), bölgeyi ve sınır bilgilerini bütünleştiren çeşitli segmentasyon yaklaşımlarının avantaj ve dezavantajlarına dikkat çekmiş ve bilgisayar görüşünün ve uygulamalarının ilerlemesi için çok önemli olan mükemmel bir segmentasyon algoritmasının olmadığını bildirmiştir [40].

Belgiu and Dragut (2014) jeo-uzamsal verilerdeki ölçek dönüşümlerini tespit etmek için yerel varyans potansiyeline dayanan yinelemeli bölümlenme için ESP2 aracını kullanmışlardır [41]. Bu araç nesne tabanlı sınıflandırmada ölçek parametresi seçiminde iyi bir uygulanabilirliğe sahip olduğu [42] belirtilse de yalnızca yarı otomatik bir ölçek parametresi seçim aracı olmaktadır. Bu araç ile lokal varyans eğrisi çok yumuşak olmaktadır ve segmentasyonun ilk parametreleri mantıksız bir şekilde ayarlanacağı için bükülme noktası belirgin olmayacaktır. Bu sebeple segmentasyon sonucu (nicel olarak çok iyi hesaplanmış olsa bile) insan gözünü yeterince memnun etmediği sürece tam olarak anlamlı sayılamaz. Burada oluşan görüntü segmentlerinin görüntü nesnelere ile benzer şekilde ve boyutta olması önemlidir. Ancak burada en az sınır yumuşatması ile görüntü nesnelere üretilmesi için karışık ve dokulaşmış verideki spektral homojenliğin ortaya çıkarılması oldukça zordur.

Bu ölçek seviyelerinin sınıflandırma için uygun olup olmadığını değerlendirmek için, ayrımcı analiz yapmak üzere 25, 50, 100, 150 ve 200 ölçeklerinde sınıf başına 10 farklı nesne seçilmiştir. Segmentlere ayrılan nesnelere, seçilen ölçek düzeylerinde görsel olarak kontrol edilmiştir ve aynı

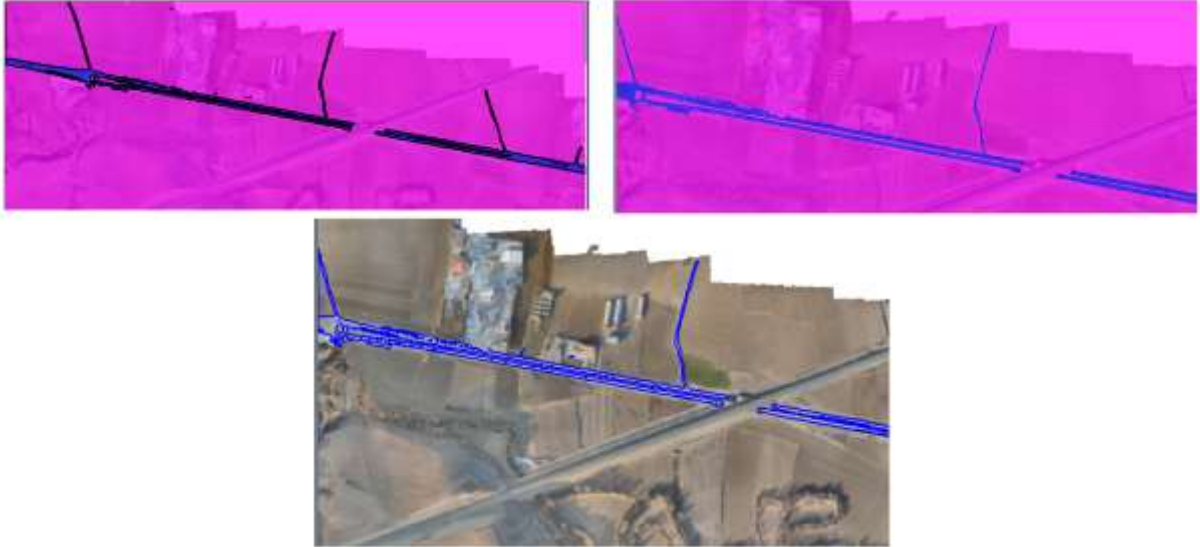
sınıflardan önemli ölçüde farklı nesnelere seçilmiştir. Seçilen sınıfların hedef nesnelere orijinal arazi örtüsü kategorileriyle aynı olmasına özen gösterilmiştir. Her bir spektral banttaki nesnelere ortalama değerlerini, etkin bir şekilde ayrılabilir olup olmadıklarını değerlendirmek için öngörücü değişkenlerin doğrusal kombinasyonlarına dayanan bir diskriminant fonksiyon oluşturmak için kullanılmıştır. Her detayın kendisine özgü bir ölçek parametresi vardır. Bundan dolayı tespit edilmesi istenilen nesneye göre segmentlerin seçilmesi önemlidir. Örneğin bina detayının çıkarımı için belirlenen ideal ölçek parametreleri daha küçük iken yol detayının çıkarımı için belirlenen ideal ölçek parametresinin daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı şekil ve kompaktlık parametreleri sabit tutularak yapılan ölçek araştırmasında veri seti için uygun ölçek değeri bulunmuştur. Uygun görülen ölçek parametresinden daha büyük değerlerde, yol üzerindeki araba gibi nesnelere yol ve zemin ile karıştığı gözlemlenmiştir. Daha küçük ölçek parametrelerinde ise küçük segmentlerin oluşmasından dolayı veri kalabalığı ortaya çıkmaktadır.

Yapılan denemelerde ölçek parametresi artırıldığında nesnelere alanlarının da arttığı görülmüştür. Şekil parametresi artırıldığında ise nesnelere büyümektedir fakat bu büyüme ile nesnelere homojenliğin azaldığı ve bir nesnenin içerisine birden fazla sınıfın dâhil olduğu görülmüştür ki bu da şekil parametresinin belirlenmesinde, nesnelere spektral özelliklerinden çok nesnelere boyut ve şekil özelliklerinden yararlandığını göstermektedir. Şekil parametresi 0,9 olarak alınan segmentasyon işleminde oluşan segmentlerde bina, yeşil alan, yol, taşıt ve toprak gibi sınıfların farklı kombinasyonlarda tek bir nesneye dâhil olduğu görülmüştür. Veri seti için segmentasyon parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Segmentasyon parametreleri

	Ölçek	Şekil	Renk	Yoğunluk	Yumuşaklık
Değer	150	0.1	0.9	0.5	0.5

Veri setinde farklı parametre gruplarını, farklı özellik uzaylarını (farklı bantlar, indeksler veya kompozit bantlar), ölçek seviyelerini ve sınıflandırma kurallarını kullanarak farklı sınıf gruplarını veya bireysel sınıfları ayrı ayrı sınıflandırdık. Kullanılan kural setleri Tablo 1’de verilmiştir. Kural setleri ile bantların ortalamaları ve en yakın komşuluk algoritmaları kullanılarak oluşturulan sınıflandırılmış görüntüler Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Sınıflandırılmış görüntü

Sınıflandırma tamamlandıktan sonra mevcut sınıfların yer gerçeği ile ne kadar uyumlu olduğunu belirlemek için tüm çalışma alanında doğruluk analizi yapılmıştır. Doğruluk analizi, sınıflandırmanın doğruluğunu ve güvenilirliğini ölçmek için gerçekleştirilen son işlem adıdır. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizi için ilk olarak eCognition yazılımının sağladığı “Test alanlarına dayalı hata matrisi (TTA/Training Test Area)” yaklaşımı kullanılmıştır. Seçilen test alanlarının referans değerleri

ile sınıflandırma sonucu karşılaştırılarak hata matrisi üretilmiş ve sınıflandırma kalitesi test edilmiştir. eCognition yazılımında doğruluk analizi sonrasında üretici ve kullanıcı doğruluğu ve Kapa istatistik değerleri hesaplanmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma metodu ile tespit edilen yolların doğruluk analizi ayrıca MapInfo yazılımında gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma verisi olarak daha önce klasik metotlarla üretilen vektör harita kullanılmış ve vektör harita referans kabul edilmiştir. Veri setine “rastgele nokta” yöntemi ile örneklem sayısı kadar noktalar atılmıştır. Rastgele üretilen noktalar ile tespit edilen yolların mekânsal doğrulukları incelenmiş ve bu amaçla; doğruluk, hassasiyet, duyarlılık, F1 puanı ve özgünlük istatistik değeri hesaplanmıştır. Her iki yazılımda doğruluk değeri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Doğruluk analizi

Yazılım	Doğruluk türü	Değer
eCognition	Üretici Doğruluğu	0.771
	Kullanıcı Doğruluğu	0.860
	Kapa	0.795
MapInfo	Doğruluk	0.752
	Hassasiyet	0.815
	Duyarlılık	0.671
	F1 puanı	0.736
	Özgünlük	0.839

Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile detay tespiti konulu benzer çalışmalar ve Tablo 3 incelendiğinde İHA’dan elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler ile sınıflandırma sonuçları memnun edici seviyededir. Fakat İHA’dan elde edilen görüntüler ile yapılan sınıflandırmanın doğruluğunu iyileştirilmesini kısıtlayan ana faktör, sadece üç bant (kırmızı, yeşil ve mavi) ile zayıf spektral özellikleridir ve her bandın gri değeri yalnızca 0 ile 255 arasında olmasıdır.

Pande-Chhetri vd. (2017) çalışmalarında yüksek çözünürlüklü İHA görüntüleri ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda sınıflandırma doğruluğu nispeten düşük olmuştur ve en yüksek genel doğruluk yalnızca %70.78 olarak bulunmuştur [43]. Tiwari vd., (2020) çalışmalarında nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile detay tespitinde çalışmadaki tüm sınıfların %60 ve üzeri doğrulukta olduğunu aktarmışlardır. Ayrıca çalışmada en yüksek doğruluk bina sınıflandırmasında yakalanırken yolların tespitinde %90 kullanıcı doğruluğu sağlanmıştır [46].

İHA RGB görüntüleri, zayıf spektral özelliklere sahip yüksek mekânsal çözünürlüğe sahiptir, İHA RGB görüntü spektral çözünürlüğünün sınırlamalarını telafi etmek için RGB görüntülerine ek olarak yakın kızıl ötesi veya kırmızı kenar bant indekslerine sahip sensörler kullanılması sonuçların iyileştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Son zamanlarda yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerindeki spektral özellikleri ve bunların renk, doku ve şekil gibi objektif özelliklerini dikkate alan nesne tabanlı sınıflandırma tekniklerinin kullanılması görüntülerinin tematik sınıflandırılmasında daha yaygın hale gelmiştir. Nesneye dayalı sınıflandırma tekniği, görüntüleri segmentasyon aşamasında benzer spektral özellikler kullanarak kümeler oluşturması ve daha sonra segmentlere ayrılan görüntünün farklı sınıflara ait örnek nesnelerin seçimi ve son olarak sınıflandırma algoritmalarını kullanarak sınıflandırmanın tamamlanması işlemlerinden oluşmaktadır.

Segmentasyon, nesne yönelimli sınıflandırmada en önemli süreçtir. Nesnelere bölerek görüntünün bölümlere ayrılmasını sağlayan parametreler genellikle kullanıcı tarafından belirlenmelidir. Ancak bu karar her çalışma alanı için özel olmalıdır. Segmentasyon sonucunda oluşturulan segmentler, sınıflandırma sonucunun doğruluğunu doğrudan etkiler. Segmentlerin yanlış oluşturulması da sınıflandırılan görüntüyü olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, bu sürecin bir sonucu olarak en ideal segmentler oluşturulmalıdır.

Nesne tabanlı sınıflandırma işleminin ikinci adımını segmentlerin sınıflara atanması işlemi oluşturmaktadır. Oluşturulan segmentleri sınıflara atamak için, görüntüleri literatürde kullanılan bant kombinasyonları ile gri renkli görüntülere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemin amacı,

görüntüdeki özellikler kullanılarak tespit edilmesi gereken sınıfın özelliklerini ortaya çıkarmaktır. Literatürde mevcut olan bant kombinasyonları, segmentasyon işlemi sonucunda ortofoto görüntüden elde edilen segmentleri sınıflara atamak için kullanılmıştır. Çeşitli bant kombinasyonları denedikten sonra birçok segmentin doğru sınıfa atandığı görülmüştür. Fakat yanlış sınıfa atanan segmentler sınıflandırmanın doğruluğunu düşürmektedir. Özellikle RGB bantların kullanıldığı çalışmalarda toprak sınıfı, yol sınıfı ile daha fazla karışmaktadır. Bunun temel nedeni olarak ortofoto görüntüsü sınıflandırmasında sadece üç bant kullanılması gösterilebilir. RGB bantlara ek olarak yakın kızılötesi ve kırmızı kenar bantların kullanılması ile sınıflandırmanın doğruluğunun artacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda, nesne tabanlı sınıflandırma metodu ile ana yollarda başarılı, tali yollarda orta derecede başarılı iken toprak yollarda başarısız olunmuştur. Yapılaşmanın az, yeşil alanların bol olduğu alanlarda yolların yüksek doğrulukta tespit edildiği görülmüştür. Yapılaşmanın düzgün ve fazla olduğu alanlarda düzensiz yapılaşmaya göre tali yolların tespitinin daha başarılı olduğu görülmüştür. Ağaçların az olduğu alanlarda ana yollar, düzgün yapılaşmış kentsel alanlarda ise tali yollar nesne tabanlı yaklaşım ile etkili bir şekilde çıkarılabilmektedir. Yapılaşmanın seyrek, ağaçların ise yolları kapattığı alanlarda nesne tabanlı yaklaşımın başarısız olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak toprak yollar ile ham arazi örtüsünün aynı spektral yansıma değerlerine sahip olması ve toprak yollar üzerinde bulunan otsu nesnelerin bulunması, toprak yolların nesne yönelimli bir yaklaşımla çıkarılmasında olumsuz etkiye sebep olduğu gözlemlenmiştir. Ortofoto görüntüdeki asfalt yol ile aynı spektral yansıma değerleri içeren özellikle beton çatılı binalar hem segmentasyonun kalitesini hem de sınıflandırmayı olumsuz etkilemektedir. Bu problemler uygun özellik ve farklı kurallar kullanılarak giderilmeye çalışılmıştır.

Uzun yıllardır kullanılan piksel tabanlı sınıflandırma yönteminin yerini alan nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde segmentasyon işleminin yapılması, nesnelerin sınıflandırılmasında önemli bir etkiye sahiptir. Nesne tabanlı sınıflandırma yazılımı olan Definiens eCognition ile yapılan sınıflandırma süreci daha hızlı ve güncellenebilir bir şekilde gerçekleşmektedir. Ayrıca yapılan yanlışlıklar ya da hatalı sınıf atamaları hızlı bir şekilde düzeltilebilir ve sınıflandırma sonucu vektör formata çevrilerek coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilebilir. Nesne tabanlı yöntemle yüksek çözünürlüklü görüntülerden elde edilen vektör veriler, harita üretim uygulamalarında kullanım amacına göre referans veri olarak kullanılabilir. Örneğin bu verileri; yasadışı, çarpık ve hızlı yapılaşmanın kontrolü için bir referans haritası olarak kullanmak mümkündür.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Çelik C. 2007. AB ulaştırma politikasına uyum sürecinde Türkiye’de kara ulaşımı trafik güvenliği. Doktora tezi, Bahçe şehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 175.
- [2] Ozan C. 2012. İyileştirilmiş pekiştirmeli öğrenme yöntemi ve dinamik yükleme ile kentiçi ulaşım ağlarının tasarımı, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 186.
- [3] Demirel A.Ş. 2010. Sayısal görüntü arşivi bilgi sistemi. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 96.
- [4] Kavzoglu T., Yıldız M. 2014. Parameter-based performance analysis of object-based image analysis using aerial and quikbird-2 images. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-7: 31-37.

- [5] Demir İ., 2012. Hadoop tabanlı büyük ölçekli görüntü işleme altyapısı. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 87.
- [6] Polat N., Kaya Y. 2021. Çok Bantlı Uydu Görüntüleriyle Orman Yangınlarının Belirlenmesi ve Hasar Tespiti. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 23(1).
- [7] Huang X., Zhang L. 2009. Road centreline extraction from high-resolution imagery based on multiscale structural features and support vector machines. *International Journal of Remote Sensing*, 30: 1977–1987.
- [8] Polat N., Kaya Y. 2021. Investigation of the Performance of Different Pixel-Based Classification Methods in Land Use/Land Cover (LULC) Determination. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 1-6.
- [9] Bergsjö J. 2014. Object based change detection in urban area using KTH-SEG. Bachelor Thesis, Kth Royal Institute Of Technology, Stockholm.
- [10] Gamba P., Dell'Acqua F., Lisini G. 2006. Improving urban road extraction in high-resolution images exploiting directional filtering, perceptual grouping, and simple topological concepts. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 3: 387-391.
- [11] Binaghi E., Gallo I., Pepe M. 2003. A cognitive pyramid for contextual classification of remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 2906–2922.
- [12] Long H., Zhao Z. 2005. Urban road extraction from high-resolution optical satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 4907-4921.
- [13] Zhu C., Shi W., Pesaresi M., Liu L., Chen X., King B. 2005. The recognition of road network from high-resolution satellite remotely sensed data using image morphological characteristics. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 5493-5508.
- [14] Polat, N., & Uysal, M. (2020). An investigation of tree extraction from UAV-based photogrammetric dense point cloud. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(17): 1-8.
- [15] Bacher U., Mayer H. 2005. Automatic road extraction from multispectral high resolution satellite images. *IAPRS*, 36, Vienna, Austria, August 29-30: 2005.
- [16] Wang R. Hu Y., Zhang X. 2005. Extraction of road networks using pan-sharpened multispectral and panchromatic quickbird images. *Geomatica*, 59 (3): 1-28.
- [17] Tapan K.S., Bölme M., Eker O. 2015. Görüntülerden sınıflandırma yöntemlerini kullanarak detayların otomatik olarak belirlenmesi: renkli kızılötesi hava fotoğraflarından ormanlık alanlarda yolların belirlenmesi için bir sınıflandırma uygulaması, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, Konya.
- [18] Ural S., Shana J., Romeroa M.A., Tarkoa A. 2015. Road and roadside feature extraction using imagery and lidar data for transportation operation. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-3/W4: 239-246.
- [19] Becker C., H'ani N., Rosinskaya E., d'Angelo E., Strecha C. 2017. Classification of aerial photogrammetric 3D point clouds. *arXiv:1705.08374v1*.
- [20] Sabuncu A., Sunar F. 2017. Ortofotolar ile nesne tabanlı görüntü sınıflandırma uygulaması: Van-erciş depremi örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1: 1-8.
- [21] Widyaningrum E., Lindenbergh R.C. 2019. Skeleton-based automatic road network extraction from an orthophoto colored point cloud. *The 40th Asian onference on Remote Sensing (ACRS 2019)*, Daejeon, Korea.
- [22] Geng R., Jin S., Fu B., Wang B. 2021. Object-Based Wetland Classification Using Multi-Feature Combination of Ultra-High Spatial Resolution Multispectral Images. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1-27.
- [23] Zeybek M. 2021. Classification of UAV point clouds by random forest machine learning algorithm. *Turkish Journal of Engineering*, 5(2): 48-57
- [24] Marangoz A.M. 2009. Uydu görüntülerinden kentsel ayrıntıların nesne-tabanlı sınıflandırma yöntemiyle belirlenmesi ve CBS ortamında bütünleştirilmesi, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 133.
- [25] Bilgilioğlu B.B. 2015. Uzaktan algılanmış görüntülerden faydalınalarak nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile kent merkezlerindeki detayların çıkarımı ve yorumlanması. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 79.

- [26] Kaya Y., Polat N. 2020. Investigation Of Phenological Stages of Wheat Plant Using Vegetation Index. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1): 24-28.
- [27] Hoffman R., Jain A.K. 1987. Segmentation and classification of range images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 9: 608–620.
- [28] Kaya Y., Polat N. 2021. Bitki İndeksleri Kullanarak Buğday Bitkisinin Rekolte Tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(1): 99-110.
- [29] Baatz M., Schäpe A. 1999. Object-oriented and multiscale image analysis in semantic networks. In: *Proc. Of the 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing*, August 16th-20th, Enschede. ITC.
- [30] Çömert R., Matcı D.K., Avdan U. 2017. Yıkılmış Binaların Nesne Tabanlı Sınıflandırma ile İnsansız Hava Aracı Verilerinden Tespit Edilmesi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- [31] Woebbecke D.M., Meyer G.E., Von B.K., Mortensen D.A. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Trans. ASAE* 38: 259-269.
- [32] Sonnentag O., Hufkens K., Teshera-Sterne C., Young A.M., Friedl M., Braswell B. H., et al. 2012. Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152: 159–177.
- [33] Motohka T., Nasahara K.N., Oguma H., Tsuchida S. 2010. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, 2: 2369-2387.
- [34] Gitelson A.Y., Kaufman Y.J., Merzylak M. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from eos-modis. *Remote Sensing of Environment*, 58: 289-298.
- [35] Mao W., Wang Y., Wang Y. 2003. Real-time detection of between-row weeds using machine vision, In 2003 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [36] Lu D., Mausel P., Brondi'zio E., Moran E. 2004. Change detection techniques. *INT. J. Remote Sensing*, 25 (12): 2365-2407.
- [37] Yiğit A.Y., Uysal M. 2020. Automatic road detection from orthophoto images. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (1): 10-17.
- [38] Çölkesen İ., Sesli F.A. 2007. Kıyı çizgisinde meydana gelen zamansal değişimlerin bilgi teknolojileri ile belirlenmesi: Trabzon örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon*.
- [39] Musaoğlu N. 1999. Elektro-optik ve aktif mikrodalga algılayıcılardan elde edilen uydu verilerinden orman alanlarında meşcere tiplerinin ve yetiştirme ortamı birimlerinin belirlenme olanakları, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 127.
- [40] Muñoz N., Bosch F.X., De Sanjosé S., Herrero R., Castellsagué X., Shah K.V., Meijer C.J. 2003. Epidemiologic classification of human papillomavirus types associated with cervical cancer. *New England journal of medicine*, 348 (6): 518-527.
- [41] Belgiu M., Draagut L. 2016. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114: 24-31.
- [42] Tian Y., Jia M., Wang Z., Mao D., Du B., Wang C. 2020. Monitoring invasion process of *Spartina alterniflora* by seasonal Sentinel-2 imagery and an object-based random forest classification. *Remote Sensing*, 12 (9): 1383.
- [43] Pande-Chhetri R., Abd-Elrahman A., Liu T., Morton J., Wilhelm V.L. 2017. Object-based classification of wetland vegetation using very high-resolution unmanned air system imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1): 564-576.
- [44] Definiens. 2008. Definiens Developer 7.0. User Guide, Munich, Germany.
- [45] Definiens. 2012. Definiens Developer XD 2.0.4. Reference Book, Definiens AG München, Germany.
- [46] Tiwari A., Sharma S.K., Dixit A., Mishra V. 2020. UAV Remote Sensing for Campus Monitoring: A Comparative Evaluation of Nearest Neighbor and Rule-Based Classification. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-13.

Araştırma Makalesi / Research Article

Lisanslı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Yatırımının Finansal Analizi: Van İli Örneği

Mehmet YALILI*

*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara
(ORCID: 0000-0002-6636-833X)*

Öz

Bu çalışmada, lisanslı ve şebekeye bağlı 1 MW gücündeki fotovoltaik GES yatırımının günümüz ekonomik koşullarına göre finansal analizi yapılarak yatırımın kârlı olup olmadığı incelenmiştir. Bu kapsamda öncelikle ülkemiz güneş enerjisi potansiyel atlasından faydalanılarak Van ili Edremit ilçesinin GES kurulumu için uygunluğu değerlendirilmiş ve arazi seçimi yapılmıştır. Enerji hesaplamalarının yapılmasında PVGIS çevrim içi veri tabanından yararlanılmış ve seçilen arazi için yıllık elektrik üretim miktarı hesaplanmıştır. Yatırımın ekonomik ömrü olan 25 yıl boyunca panel veriminde yıllık %0.7 oranında lineer düşüş olacağı varsayılmıştır. Yatırımın fayda ve masraf unsurları, her birine karşılık gelen güncel yatırım maliyetleri belirtilerek detaylı şekilde açıklanmıştır. Yatırımın tamamen öz sermaye veya on yıl geri ödemeli TurSEFF yenilenebilir enerji kredisi ile yapılması durumları için geri ödeme süresi (GÖS), net bugünkü değer (NBD), iç kârlılık oranı (İKO) ve fayda/masraf oranı (FMO) yöntemleri kullanılarak finansal analiz gerçekleştirilmiştir. Mevcut alım garantisi fiyatları ile serbest piyasada gerçekleşen elektrik satış fiyatları (piyasa takas fiyatı) esas alınarak yapılan değerlendirmeye göre, %10 kâr payı beklentisi altında yatırımın öz sermaye ile yapılması halinde NBD pozitif, FMO 1'den büyük ve İKO %22.35 olarak hesaplanmış, bu durumda yatırımın geri ödeme süresi 4 yıl olarak bulunmuştur. Yatırım maliyetlerinin kredi ile karşılanması halinde ise NBD negatif olarak hesaplanmış, ayrıca FMO 0.928, İKO %6.76 ve geri ödeme süresi 9 yıl olarak bulunmuştur. Finansal analize örnek olarak seçilen Van ilinde gerçekleştirilen 1 MW GES yatırımının öz sermaye ile yapılması halinde kabul edilebileceği, ilk yatırım maliyetlerinin tamamen kredi ile karşılanması halinde ise yatırımın yapılabilir olmadığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, finansal analiz, PVGIS, fizibilite çalışması, lisanslı üretim.

Financial Analysis of Licensed Solar PV Investment: A Case Study of Van Province

Abstract

In this study, financial analysis of the licensed and grid-connected 1 MW photovoltaic solar power plant investment according to today's economic conditions was made and it was examined whether the investment is profitable or not. First of all, the suitability of the Edremit district of Van province for the solar PV installation was evaluated by using our country's solar energy potential map, and land selection was made accordingly. PVGIS online database was used for energy calculations, and the annual electricity generation for the selected land was calculated. It is assumed that the efficiency of solar PV panels will decrease linearly by 0.7 percent per year over the course of the investment's economic life of 25 years. The investment's benefit and cost elements were thoroughly outlined, including current investment costs corresponding to each item. For cases where the investment is made entirely with equity capital or a TurSEFF renewable energy loan with a ten-year repayment term, financial analysis was performed using methods of payback period (PBP), net present value (NPV), internal rate of return (IRR), and benefit cost ratio (BCR). According to the analysis based on current purchase guarantee and market clearing prices, if the investment is made with equity and a 10% profit margin is anticipated, the NPV is positive, the BCR is greater than 1 and the IRR is 22.35 percent. The investment's payback period was found to be 4 years in this case. However, if the loan covers the investment costs, the NPV is negative, the BCR is 0.928, the IRR is 6.76 percent, and the payback period is 9 years. The evaluation of the 1 MW SPP investment conducted in Van province, which was chosen as a case study for financial analysis, concluded that an affirmative investment decision could be made if the investment was made with equity capital, and that if the investment was entirely funded by loan, the investment could not be deemed feasible.

Keywords: Solar energy, financial analysis, PVGIS, feasibility study, licensed electricity generation.

*Sorumlu yazar: mehmetyalili@hotmail.com

Geliş Tarihi: 22.03.2021, Kabul Tarihi: 13.07.2021

1. Giriş

Güneş enerjisi kaynağını güneşten alan ve güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon reaksiyonu sonucu açığa çıkan radyasyon (ışınım) enerjisidir. Atmosfer dolayısıyla bu enerjinin yeryüzüne ulaşan miktarı 0-1100 W/m² arasında değişmektedir. Dünyada güneş enerjisinden elektrik üretiminde faydalanılması konusunda özellikle 1970'lerden itibaren çalışmalar hız kazanmıştır. Ayrıca, yaşanan teknolojik gelişmeler ve maliyetlerdeki düşüşler ile küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi sebepler doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan ve temiz enerji olarak nitelenen güneş enerjisinin önemi gün geçtikçe artmıştır. Güneş enerji santrallerinin (GES) kurulumu hidroelektrik, rüzgâr ve jeotermal enerji santrallerine kıyasla daha kısa sürede tamamlanabilmekte ve bu santraller kurulumundan sonra daha düşük maliyetle işletilebilmektedir [1].

Türkiye 36° - 42° kuzey paralelleri arasında orta kuşakta yer almakta olup güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkeler arasındadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından hazırlanan Türkiye'de 1988-2017 yılları arasında gerçekleşen ortalama günlük güneşlenme sürelerinin dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Türkiye'de ortalama en yüksek günlük güneşlenme süresi Temmuz ayında yaklaşık 11.3 saat/gün iken en düşük güneşlenme süresi ise Aralık ayında 3.5 saat/gün şeklinde gerçekleşmiştir [2]. Şekil 1 incelendiğinde, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz kıyıları ile Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan illerin, diğer coğrafi bölgelerde yer alan illere kıyasla daha yüksek ortalama günlük güneşlenme sürelerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye'nin 1988-2017 yılları arasındaki yıllık ortalama günlük güneşlenme süreleri (saat/gün)

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerine göre; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741.07 saat/yıl, ortalama günlük toplam güneşlenme süresi 7.5 saat/gün, ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti 1527.46 kWh/m²-yıl ve ortalama günlük toplam ışınım şiddeti 4.18 kWh/m²-gün şeklindedir [3].

Güneş enerjisinden elektrik üretimine olan talep, güneş enerjisinin temiz, yerli ve yenilenebilir kaynak olması, enerjide dışa bağımlılığı azaltıcı ve karbon salımını düşürücü etkileri dolayısıyla tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızla artmaktadır. Ocak 2021 sonu itibarıyla Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı toplam kurulu gücü 6805.8 MW'a ve Türkiye'nin toplam kurulu gücü içindeki payı %7.1 seviyesine ulaşmıştır [4]. Türkiye'de güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisleri lisanslı üretim, lisanssız üretim veya yenilenebilir enerji kaynak alanları (YEKA) modeli kapsamında kurulabilmektedir [5]. Lisanslı üretim ve YEKA modeline göre güneş enerji santrali kurabilmek amacıyla sisteme bağlantı kapasitesi elde edenleri belirlemek amacıyla sırasıyla Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından kapasite tahsis yarışmaları ve ETKB tarafından YEKA ihaleleri uygulanmakta olup bu yarışmaları kazanan tüzel kişilere üretim tesislerini kurabilmek amacıyla Enerji Piyasası Düzenleme

Kurumu (EPDK) tarafından Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği kapsamında önlisans ve akabinde üretim lisansı verilmektedir. Lisanssız üretim içinse herhangi bir yarışma sistemi bulunmamakta, ilgili başvurular Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği uyarınca sonuçlandırılmaktadır.

Ülkemizde mevcut durumda kurulu ve işletmede olan GES'lerin %93,4'ünü lisanssız üretim kapsamındaki santraller oluşturmakta olup lisanslı üretim faaliyeti gösteren GES'ler, YEKA modeli kapsamındaki Karapınar YEKA-1 GES projesi de dâhil olmak üzere 38 adet ve 445.9 MW kurulu gücündedir [6]. Lisanslı üretim tesislerinin kurulumu, lisanssız üretim modeline kıyasla idari süreçlerin daha fazla olması ve mevzuat kaynaklı yükümlülüklerin yerine getirilmesi zorunluluğu nedeniyle daha uzun sürebilmektedir. Dolayısıyla öncelikle öz tüketimin karşılanarak ihtiyaç fazlası elektriğin sisteme verilmesi amacıyla kurulacak GES'lerin lisanssız üretim modeli kapsamında; şebekeye bağlı olarak çalışacak orta ve büyük ölçekli GES'lerin ise lisanslı üretim modeli kapsamında gerçekleştirilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Güneş enerjisi kaynak potansiyelinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve santral kurulumlarına ilişkin çeşitli akademik çalışmalar yürütülmüştür. Bu kapsamda yapılan bir çalışmada [7], Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde 1 MW gücündeki GES yatırımının ekonomik analizi PVsyst programı yardımıyla yapılmış, polikristal ve monokristal panellerin kullanılması durumları karşılaştırılarak monokristal panellerle kurulan santralin 30 yıllık ekonomik ömrü boyunca polikristal panellere göre daha yüksek kazanç sağlayacağı ancak kurulum maliyetinin daha fazla olacağı görülmüştür. Yapılan diğer bir çalışmada [8], Van ilinin güneş enerjisi potansiyeli incelenerek mevcut durum hakkında detaylı bilgilere yer verilmiş ve çeşitli uygulama örnekleri gösterilerek güneş enerjisinden yararlanma oranının artırılması için çeşitli değerlendirme ve öngörülerde bulunulmuştur. Başka bir çalışmada [9], Sivas ilinin beş farklı ilçesinde 10 MW kurulu gücünde GES kurulumu monokristal ve polikristal paneller kullanılarak PVsyst programı yardımıyla gerçekleştirilmiş, yatırımın banka kredisi kullanılarak ve kullanılmadan yapılması durumları ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Diğer bir çalışmada [10], Aydın ili Çine ilçesinde 1 MW gücünde bir güneş enerji santrali kurulumunun ekonomik analizi, enerji hesaplamaları PVSOL programı kullanılarak gerçekleştirilmiş, yatırımın geri ödeme süresi ve iç karlılık oranı hesaplanmıştır. Başka bir çalışmada [11], şebekeye bağlı 1220 MW gücündeki bir güneş enerji santralinin Burdur gölü civarında uygulanabilirliği değerlendirilmiş, bu kurulumun ülke ekonomisine ve yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu güce büyük oranda katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Bir diğer çalışmada [12], mevcut durumda işletmede olan ve elektrik üretimi gerçekleştirilen 200 kWp gücündeki bir güneş enerji santralinin PVsyst programı ile simülasyonu gerçekleştirilerek gerçek elektrik üretim verileri ile karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, gerçek üretim değerleri ile PVsyst simülasyonu ile elde edilen sonuçlar arasında %0.56 oranında oldukça az bir fark olduğu görülmüştür. Yapılan başka bir çalışmada [13], Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanılma oranını belirleyici kriterler kapsamlı şekilde incelenmiş, Karabük ilindeki güneş enerji santrali kurulumlarının mevcut durumu açıklanarak gelecekte bu santrallerin yaygınlaşması için çeşitli değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bir diğer çalışmada [14], rüzgar ve güneş enerjisine dayalı potansiyelin belirlenmesi, santrallerin elektrik üretimi ve ekonomik analizinin yapılması için web tabanlı bir yazılım geliştirilmiş ve örnek olarak Bartın ili Amasra ilçesinde 600 kW gücünde bir rüzgar türbini kurulumu ile 100 kWp gücünde panel kurulumu halinde üretilecek elektrik miktarı, yatırımın geri ödeme süresi ile kâr miktarları hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır. Diğer bir araştırmada [15], Sinop ilinin güneş enerjisi potansiyeli ile Almanya'nın güneş enerjisi potansiyeli ve uygulamaları çeşitli ulusal ve uluslararası veriler yardımıyla kıyaslanarak sonuçlar üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bir diğer çalışmada [16], fotovoltaik çatı GES uygulamasında üretilen elektrik enerjisi miktarı belirlenip yatırımın finansal analizi gerçekleştirilirken başka bir çalışmada [17] ise Uşak ilinde güneş enerji santrali kurulumu için yasal süreçler, kurulum aşamaları ve finansman modelleri detaylı şekilde incelenerek yapılan SWOT analizi ile GES kurulumu için en uygun arazi seçimi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada ise Van ili Edremit ilçesinde seçilen bir arazi üzerinde, lisanslı üretim kapsamında 1 MW kurulu gücündeki bir örnek GES kurulumunun fizibilite analizi yapılarak tüm kurulum süreçleri detaylı şekilde incelenmiş ve yatırımın güncel ekonomik koşullar, güncel mevzuat ve destek mekanizmaları çerçevesinde, santralin ekonomik ömrü boyunca kazançlı olup olmayacağı değerlendirilmiştir. Ayrıca yatırımın öz sermaye veya banka kredisi kullanılarak yapılması durumları için hesaplamalar ayrı ayrı gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar ve yatırımın geri ödeme süreleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada PVGIS çevrim içi veri tabanı kullanılarak seçilen arazinin coğrafi

koordinatlarına göre aylık ve yıllık elektrik üretim miktarları hesaplanmış ve bu kapsamda yatırımın net bugünkü değer, iç kârlılık oranı, fayda/masraf oranı ve geri ödeme süresi yöntemlerine göre finansal analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, lisanslı bir GES yatırımının finansal analizinin elektrik piyasasına ilişkin güncel mevzuat, tarifeler ve alım garantisi mekanizması, elektrik enerjisi spot piyasasında gerçekleşen piyasa takas fiyatları ve güncel ekipman, kurulum, işletme ve bakım maliyetleri esas alınarak gerçekleştirilmesi, Van ili örneğinin incelenmesi, enerji analizinde PVGIS veri tabanının kullanılması ve dört farklı yatırım değerlendirme yönteminin yatırım maliyetinin öz sermaye veya kredi ile karşılanması senaryoları altında eş zamanlı uygulanarak sonuçların karşılaştırılması bakımından alanında özgün bir yapıttır. Bu çalışma sonucunda Van ilinde lisanslı üretim kapsamında yapılacak bir GES yatırımının kurulum ve işletme maliyetine, getiri oranına ve yatırımın geri ödeme süresine ilişkin elde edilen sonuçlar; farklı bölgelerde çeşitli enerji analiz programları, üretim modelleri (lisanssız, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız) veya farklı finansal analiz yöntemleri kullanılarak yapılacak GES yatırım değerlendirme çalışmalarından elde edilecek sonuçlar ile karşılaştırma yapılmasına olanak sağlayacaktır.

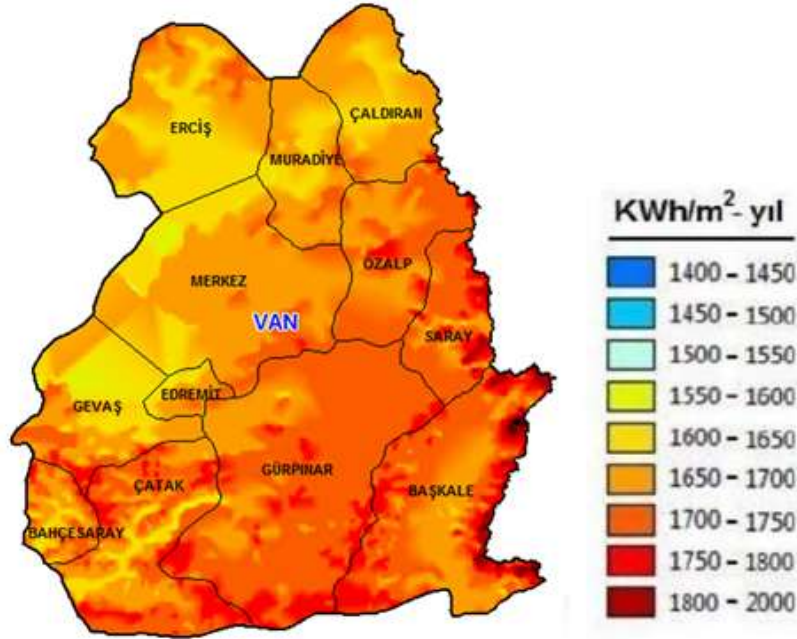
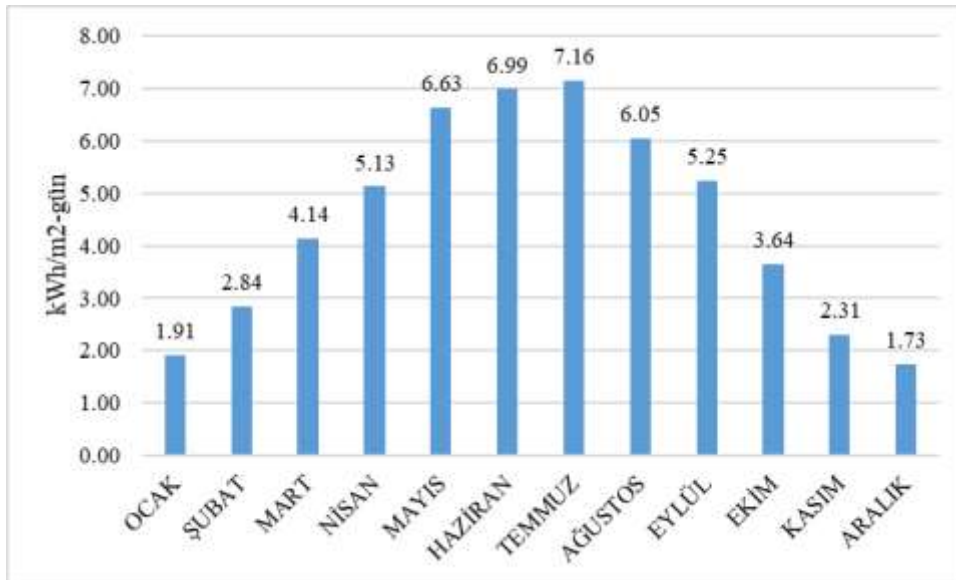
2. Materyal ve Metot

Bu bölümde GES yatırımının finansal analizinin gerçekleştirilmesi için sırasıyla, proje için uygun arazi seçimi, aylık ışınım miktarları ile aylık ve yıllık elektrik enerjisi üretim miktarlarının PVGIS yardımıyla hesaplanması, yatırımın fayda ve masraf kalemleri, finansal analizde kullanılan yöntemler ve çalışmada yapılan kabuller kapsamlı şekilde açıklanmıştır.

2.1. Van ilinin coğrafi özellikleri ve proje için uygun arazi seçimi

Bir GES yatırımı için en önemli aşama santralin kurulacağı bölgenin ve arazinin seçilmesidir. Bu bağlamda, öncelikle Türkiye'nin güneşlenme sürelerini gösteren Şekil 1'deki haritaya göre seçilen Van ilinin GES kurulumu için uygunluğu incelenmiştir.

Van ili Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan toplam 21,334 km² yüzölçümüne ve toplam 1,136,157 nüfusa sahip Türkiye'nin 19 uncu ve bulunduğu bölgenin en kalabalık şehridir. Anadolu'nun en büyük kapalı havzası olan Van Gölü çevresinin toprakları verimli ve akarsular bakımından zengin olup bu bölgede iklim koşulları da oldukça elverişlidir. Van ilinin ortalama rakımı 1730 metredir. Van ilinde en yüksek ortalama sıcaklık Temmuz ayında 22.2 °C iken en düşük ortalama sıcaklık Ocak ayında -3.5 °C olarak gerçekleşmiştir [18]. Güneş panellerinin birbiriyle verimlilik açısından karşılaştırılmasında standart test değeri olarak 25 °C panel sıcaklığı, 1000 W/m² güneş radyasyonu ve 1.5 AM hava kütle katsayısı kabul edilir. Sıcaklık artışı modül çıkış geriliminde düşüşe, elektrik enerjisi üretiminde azalmaya ve panel yüzeylerinde bozunmaya yol açar. Dolayısıyla, panel yüzey sıcaklığı arttıkça güneş panellerinin verimi azalmaktadır. Bu nedenle, GES kurulacak bölgenin hava sıcaklık ortalaması da oldukça önemli olup panellerin aşırı ısınmaya maruz kalmaması için doğal hava soğutma ya da cebri hava soğutma sistemi kurulması uygun görülmektedir [19, 34]. Van ilinde yıl boyunca çok yüksek sıcaklıklar görülmediğinden güneş panellerinin daha yüksek verimle çalışması açısından GES kurulumu için uygun bir iklime sahip olduğu söylenebilir. Panel verimini önemli derecede etkileyen bir diğer faktör panel yüzeyinin kirlenmesi veya çevresel faktörler (yağış, ağaç yaprakları, kuş pisliği vb.) nedeniyle kısmen gölgelenmesi ya da tamamen kapanmasıdır. Örneğin kar yağışı halinde panellerin üzerinin kısmen ya da tamamen karla kaplanması durumunda, modülün P-V ve I-V eğrileri önemli ölçüde değişir, sadece elektrik enerjisinin üretildiği ünitenin verimi düşmekle kalmaz diğer üniteler de bu durumdan etkilenir ve modülün toplam çıkış gücünde düşüş yaşanır. Sonuç olarak güneş panelleri düşük hava sıcaklıklarında, açık havalarda ve yüksek güneş radyasyonuna sahip ortamlarda daha yüksek verimle çalışmakta, kar yağışı veya çevresel faktörlerden kaynaklı kısmi/tam gölgelenme durumlarında panel veriminde ciddi oranda düşüş yaşanmaktadır. Bu nedenle panel yüzeylerinin sıklıkla temizlenmesi panel veriminin artırılması açısından oldukça önemlidir [35]. Van ilinin yıllık ve günlük ortalama radyasyon değerleri Şekil 2 (a) ve Şekil 2 (b)'de gösterilmiştir.

Şekil 2. (a) Van ili yıllık radyasyon değerleri (kWh/m²-yıl) [20]Şekil 2. (b) Van ili günlük ortalama radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [20]

Şekil 2 (a) ve Şekil 2 (b) ile MGM tarafından sunulan istatistiklere göre, Van ilinin yıllık güneşlenme süresi 3070 saat/yıl; metrekareye düşen yıllık radyasyon miktarı ise 1652 kWh/m²-yıl'dır [21]. Türkiye ortalamalarının sırasıyla 2741.07 saat/yıl ve 1527.46 kWh/m²-yıl olduğu göz önüne alındığında Van ilinin GES yatırımı için uygun bir il olduğu görülmektedir.

Yatırımın yapılacağı uygun arazi seçimi için değerlendirilmesi gereken başlıca ölçütler şu şekildedir [22]:

- Seçilecek arazinin eğimi,
- Seçilecek arazinin özellikleri,
- Seçilecek araziye ulaşım yolu olup olmadığı,
- DSİ sulama programı dışında olması,
- Tarım dışı statüsünde olması,
- Maden arazisi statüsünde olmaması,
- Arazinin toprak türü,
- Çevresinde gölgelenmeye sebebiyet verecek engel bulunmaması,
- Dağıtım şebekesine yakınlığı,

- h) Güney cepheye dönük olması
- ı) Bölgedeki hava şartlarının uygunluğu (aşırı rüzgâr, kar, sis ve toza maruz kalmaması)

Van ilinin ilçeleri gerek yıllık güneşlenme süreleri gerek yukarıda belirtilen kriterler bakımından Google Earth üzerinden incelenmiştir. Özellikle güney cephe ve eğimli arazi seçilmeye çalışılmış ve ulaşım yolu ile trafo merkezine yakınlığı da gözetilmiştir. 1 MW GES yatırımı için yaklaşık 20 dönüm (20,000 m²) arazi gerekmekte olup üzerinde GES yatırımı yapılabilecek bu büyüklükte arazi bakımından Edremit ilçesi uygun görülmüştür. Proje için seçilen arazi Şekil 3 (a)'da gösterilmiş olup tamamı mera bölgesinde yer almakta ve mutlak tarım arazisi statüsünde bulunmamaktadır. Bu bakımdan GES kurulumu için İl Çevre ve Şehircilik Genel Müdürlüğünden mera faaliyeti amaç dışı kullanım izni alınması gerekmektedir. Ayrıca seçilen arazinin bitişiğinden D300 Bitlis-Van karayolu geçmektedir. Proje arazisi 38.364 Enlem (Latitude) ve 43.209 Boylam (Longitude) koordinatlarında yer almakta olup büyüklüğü 20,000 m²'dir.



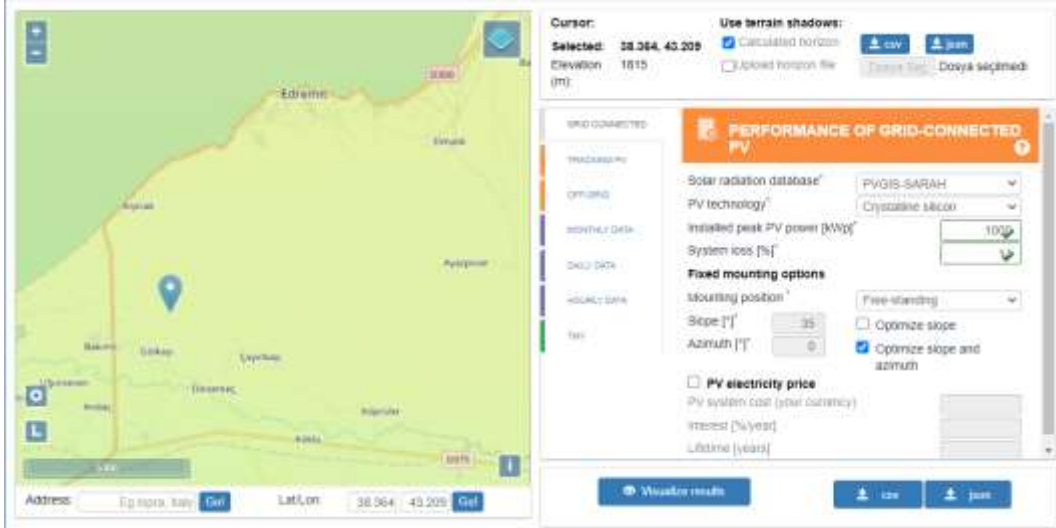
Şekil 3. (a) Seçilen arazinin görünümü (b) Seçilen arazi ile Engil TM arasındaki mesafe

Bu çalışmada, GES yatırımının lisanslı üretim faaliyeti kapsamında yapılacağı ve üretilen elektriğin tamamının şebekeye verileceği kabul edilmiştir. Bu bağlamda, yatırımın yapılacağı arazinin yakınlarında bulunan projenin bağlantısının yapılabileceği trafo merkezleri için TEİAŞ ve Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş. internet sayfaları incelenmiş olup santral sahasına yaklaşık 3 km uzaklıkta Engil TM bulunduğu görülmüştür. Engil TM ile seçilen arazi arasındaki mesafe Şekil 3 (b)'de gösterilmiştir. Yatırımın yapılan GES projesinin 1 MW Kurulu güce sahip olması ve 10 MW'tan az olması dolayısıyla orta gerilimden sisteme bağlantısının yapılması uygun olacaktır. Bu bakımdan, 1 MW GES projesinin bağlantısının “Engil TM'nin OG barasına” yapılacağı varsayılmıştır.

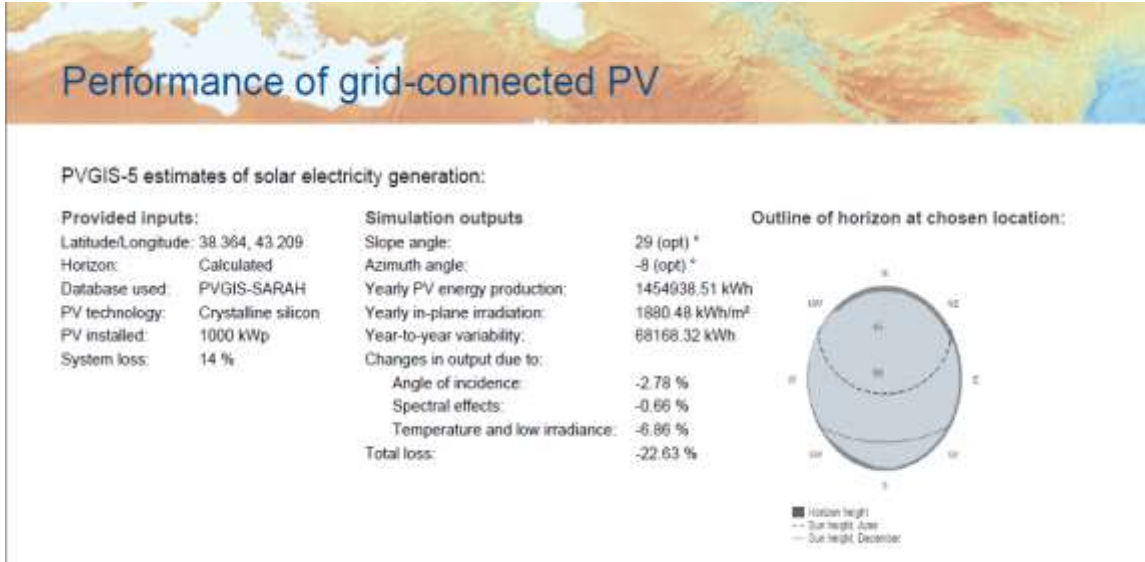
2.2. PVGIS ile enerji hesaplamalarının yapılması

Güneş enerji sistemlerinin analizinin, simülasyonunun ve enerji hesaplamalarının yapılmasında PVSOL, PVsyst, Polysun, Helioscope, PVGIS gibi programlar kullanılmaktadır [23]. Bu çalışmada, dünya üzerindeki herhangi bir koordinat bilgisine göre meteorolojik verilere sahip olan ve panel çeşitlerine göre elektrik üretim miktarı ile radyasyon miktarlarının hesaplanması gibi çeşitli analizlerin yapılabildiği PVGIS çevrim içi veri tabanı kullanılmıştır.

PVGIS programında seçilen arazinin koordinatlarına göre m² başına düşen aylık radyasyon miktarları ile yıllık elektrik üretim miktarları hesaplanmıştır. PVGIS internet sayfasında “Performance of Grid-Connected PV (Şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerji santrali performansı)” modülü kullanılarak seçilen arazinin koordinatları ile fotovoltaik panel özellikleri girilmiştir. Veri giriş ekranına ilişkin bilgiler Şekil 4'te gösterilmiştir. GES projesi için monokristal fotovoltaik güneş panelleri seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar özet halinde Şekil 5'te, aylık elektrik üretim miktarları Şekil 6'da ve aylık radyasyon miktarları Şekil 7'de sunulmuştur.



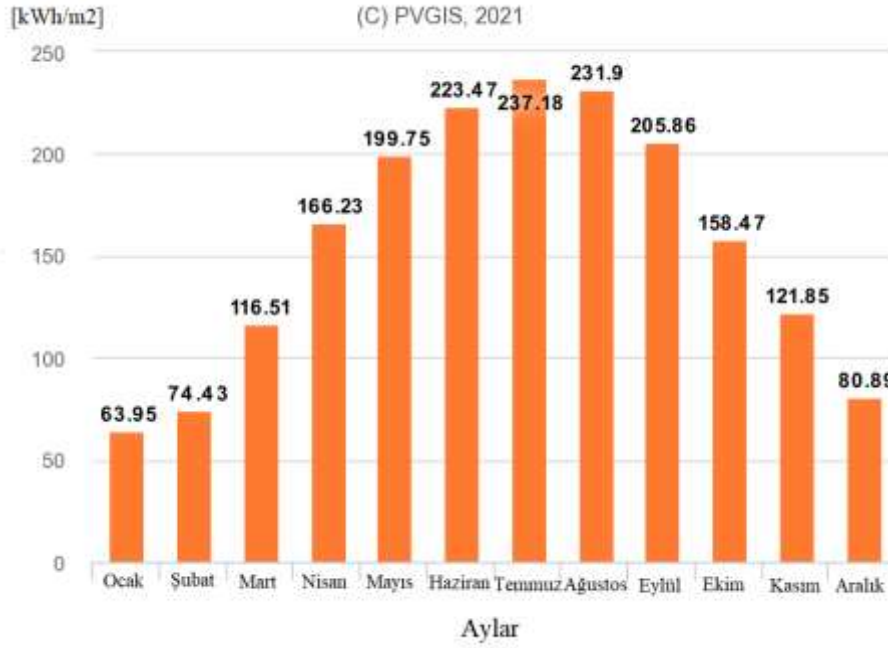
Şekil 4. PVGIS veri giriş ekran görüntüsü



Şekil 5. Seçilen arazi için PVGIS analiz sonuçlarının özet raporu



Şekil 6. Seçilen arazi için aylık elektrik üretim miktarları (kWh)



Şekil 7. Seçilen arazi için m² başına düşen aylık radyasyon miktarları (kWh/m²)

Şekil 5'te görüleceği üzere, PVGIS'te yapılan analiz sonucunda yıllık elektrik üretim miktarı 1,454,938.51 kWh olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik güneş panellerinin ekonomik ömrü boyunca (20-25 süre) yıllar içerisindeki bozulmaya bağlı olarak her yıl çıkış gücünde lineer bir düşüş yaşanacağı varsayılarak ekipman garantisi sunulmaktadır. Bu çerçevede, tasarımda panel veriminin her yıl %0.7 azalacağı kabul edilmiş ve panellerin 25 yıllık ekonomik ömrü boyunca santralde elde edilecek elektrik üretim miktarları hesaplanarak Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Santralde 25 yıl boyunca üretilen elektrik enerjisi miktarları (kWh)

Yıl	Panel Verimi	Elektrik Ürt. Mik. (kWh)	Yıl	Panel Verimi	Elektrik Ürt. Mik. (kWh)
1	%100.0	1,454,938.51	14	%90.9	1,327,959.62
2	%99.3	1,444,753.94	15	%90.2	1,318,663.90
3	%98.6	1,434,640.66	16	%89.5	1,309,433.26
4	%97.9	1,424,598.18	17	%88.8	1,300,267.22
5	%97.2	1,414,625.99	18	%88.1	1,291,165.35
6	%96.5	1,404,723.61	19	%87.4	1,282,127.20
7	%95.8	1,394,890.54	20	%86.7	1,273,152.30
8	%95.1	1,385,126.31	21	%86.0	1,264,240.24
9	%94.4	1,375,430.43	22	%85.3	1,255,390.56
10	%93.7	1,365,802.41	23	%84.6	1,246,602.82
11	%93.0	1,356,241.80	24	%83.9	1,237,876.60
12	%92.3	1,346,748.10	25	%83.2	1,229,211.47
13	%91.6	1,337,320.87	TOPLAM		33,475,931.89

Tablo-1'de hesaplanan elektrik üretim miktarları; mevsimsel değişikliklere, kışın yoğun yaşanıp yaşanmamasına, panellerin bakım ve onarımının sık ve düzenli yapılmasına, kullanılan güneş panellerinin çeşidi ve kalitesine, panel yüzeylerinin sıklıkla temizlenmesine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle santralde üretilen elektrik enerjisi miktarlarında yıllar içerisinde ciddi

oranda düşüş yaşanmaması için ekipman bakım, onarım ve değişiminin düzenli aralıklarla yapılması oldukça önemli bir husustur.

2.3. GES yatırımının fayda ve maliyet unsurları

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanununun eki I sayılı cetvele göre, güneş enerjisine dayalı lisanslı elektrik üretim tesislerinin 30/06/2021 tarihine kadar işletmeye girmeleri halinde, bu santrallerden üretilen elektrik enerjisi için 10 yıl boyunca YEK Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında 13.3 ABD Doları cent/kWh fiyattan alım garantisi sağlanmaktadır [24]. Yatırımı yapılan 1 MW güneş enerji santralının işletmeye girdiği tarihten itibaren ilk 10 yıl boyunca santralde üretilen elektriğin YEKDEM kapsamında 13.3 ABD Doları cent/kWh fiyattan satılacağı kabul edilmiş, geriye kalan 15 yıl boyunca ise serbest piyasada son beş yılın (2016-2020) ortalama piyasa takas fiyatı (4.5 ABD Doları cent/kWh) [25] üzerinden satışının yapılacağı varsayılmıştır.

Bir diğer fayda kalemi ise yatırımın hurda değeridir. Hurda değeri, bir yatırımın ekonomik ömrü sonundaki satış değeri olarak tanımlanmakta olup tüm makine ve ekipmanların kullanım sonrası değerini ifade eder [26]. 1 MW GES yatırımının hurda değerinin ekipman maliyetlerinin %30'u olacağı kabul edilmiştir.

Projenin maliyet unsurları ise arazi bedeli, kullanılacak ekipman maliyetleri, diğer ilk yatırım maliyetleri ile yıllara bağlı değişen işletme ve bakım maliyetleri şeklinde sınıflandırılmıştır.

Projenin kurulacağı arazinin satın alınacağı varsayılmıştır. Seçilen arazinin bulunduğu bölgedeki arazi fiyatları çeşitli arazi satış platformları ile Van ili Edremit Belediyesi internet sayfasından araştırılmış olup GES kurulumuna uygun m² başına ortalama arazi fiyatının 20 TL/m² olduğu görülmüştür. Proje için seçilen arazi 20,000 m² olduğundan arazi bedeli 400,000 TL ve ABD Doları cinsinden 26 Şubat 2021 tarihli satış bazlı dolar kuru USD/TRY 7.4 [27] olarak kabul edildiğinde 54,054 ABD Doları olarak hesaplanmıştır.

Güneş enerji santrali için temel unsurlar olan solar panel, invertör, montaj sistemleri, solar kablolar vb. ekipmanlar hakkında güneş enerji sistemlerinin projelendirilmesi, satışı ve kurulumu ile ilgili çeşitli firmalarla görüşülerek 2021 yılı için güncel fiyat bilgileri alınmıştır. Edinilen bilgiler çerçevesinde, fotovoltaik güneş paneli ve invertör için 2021 yılı satış fiyatları alınmış olup diğer ekipmanlar için ortalama fiyat bilgileri kullanılmıştır. Kurulacak ekipmanların tamamının Türkiye'de üretildiği kabul edilerek nakliye maliyeti ayrı bir kalem olarak diğer yatırım maliyetleri altında değerlendirilmiştir.

1 MW GES kurulumu için gerekli ekipmanlar ve ABD Doları cinsinden fiyatları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 1 MW GES kurulumu için gerekli ekipman ve fiyatları [28, 29]

Ekipman	Açıklama	Tutar (ABD Doları)
Fotovoltaik Güneş Paneli (Monokristal silikon yapılı)	2,500 adet 400 Watt, 47.95 V LEXRON marka, Monokristal 72 hücreli	300,000
İnvertör	200 adet, 5 kW, GoodWe marka	45,000
Kontrol ve İzleme Sistemi (SCADA)	4 adet	200,000
Sabit Montaj Yapısı	1 set	
DC Kablo	21,000 m	
AC Kablo	3,750 m	
Toplama Panosu	1 set	
Tel Çit ve Dikenli Tel	750 m	
Peyzaj ve Toprak İşleri	1,500 m ³	
Paratoner ve Topraklama Sistemleri (Aktif paratoner başlığı, 6 m direk, 2×50 mm ² bakır iniş iletkeni, 3 m boru)	1 set	
Video Güvenlik ve Kamera Sistemleri (8 kamera (Dış mekân, analog HD, NVR kayıt cihazı (4 TB HDD), 24" ekran, kablo)	1 set	

Trafo, Köşk ve Hücreler, ENH İşleri	1 set	
Çift Yönlü Sayaç	1 adet	
Tek yönlü sayaç (3 fazlı)	1 adet	
Kablo Tava Sistemleri	800 kg	
Solar kablo (kırmızı ve mavi)	1x6 mm ² PVI1-F solar kablo 6000 m	
5×16 mm ² NYY	400 m	
3×35 / 16 mm ² XLPE kablo (36 KV)	3000 m	
35'lik ve 16'lık XLPE kablo başlığı	426 ve 142 adet	
OG+AG harici pano	70 adet	
100×10 mm ² bakır baralı modüler hücre	1 adet	
1250 A yük ayırıcılı akım ve gerilim ölçü modüler hücresi	1 adet	
1250 kesicili trafo koruma modüler hücre	1 adet	
1250 A kesicili giriş çıkış modüler hücre	1 adet	
Beton Köşk	5 m, çatılı	
10 kVA kuru tip trafo	71 adet	
4x63 A TMS+KAKR (300 mA)	104 adet	
3×63 A NH sigorta ve taşıyıcısı	74 adet	
0,28 kV, 100 kA B+C parafudur (AG)	71 adet	
OG parafudur	1 takım	
Topraklama kazığı (65x65x7) 1.5 m uzunluğunda	225 adet	
Galvanizli şerit iletken (30×3.5 mm)	600 m	
1×16 mm ² NYAF topraklama kablosu	500 m	
Fotovoltaik panel konstrüksiyon	1 sistem	
Saha aydınlatma ekipmanları	1 takım	
Toplam		545,000

Tablo-2'de yer verilen ekipman ve teçhizatlar 1 MW GES yatırımlarının tümünde genel olarak yer alması gereken unsurlardan oluşmaktadır. Ancak kurulum yapılacak arazinin yapısına, cephesine, panel çeşidine veya bağlantı karakteristiğine göre farklılık gösterebilmektedir.

Santral kurulumu için mühendislik, kurulum ve inşaat (Engineering, Procurement and Construction-EPC Company) firmalarıyla anlaşılabilirliği gibi, kurulum, inşaat ve montaj işleri ayrıca bir inşaat firması tarafından da yapılabilir. EPC şirketi, projenin tüm ekipmanlarının temininden santralin işletmeye alındığı ana kadar anahtar teslim kurulumunu gerçekleştirir. Bu çalışmada, kurulum ve montaj işlemlerinin ayrı bir inşaat firması tarafından yapılacağı varsayılarak ekipman maliyetleri kurulum maliyetlerinden ayrı olarak dikkate alınmıştır. Ekipman maliyetleri dışındaki diğer ilk yatırım maliyet unsurları, santral kurulumunu gerçekleştiren şirketler ile yapılan görüşmeler ve pazar araştırması neticesinde belirlenerek Tablo 3'te gösterilmiştir. Lisanslı GES yatırımı için Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğine göre anonim veya limited şirket kurulması zorunludur. Ayrıca santralin SCADA izleme sisteminin de içerisinde yer alacağı idari bina ve otopark, bahçe, yemekhane vb. gereksinimler için sosyal alan inşası gerekmekte olup bu unsurlara diğer ilk yatırım maliyetleri içerisinde yer verilmiştir. Buna ilaveten, Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği uyarınca inşaat aşamasına geçmeden önce gerekli izinlerin alınması için verilen önlisans süresi içerisinde tamamlanması gereken imar planlarının onaylanması, ÇED kararının alınması, proje onayı gibi idari işlemler için oluşacak maliyet kalemlerine de Tablo-3'te ayrıca yer verilmiştir. Santralin ulusal şebekeye bağlantısını sağlayacak olan Engil TM'ye kadar olan 3 km'lik mesafedeki enerji nakil hattının (ENH) Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği kapsamında dağıtım şirketi Vangölü Elektrik

Dağıtım A.Ş. tarafından yapılacağı ve şirket tarafından sadece bağlantı ve sistem kullanım bedeli ödeneceği varsayılmış, bu nedenle bağlantı hattı tesisi diğer yatırım maliyetleri arasında sayılmamıştır.

Tablo 3. Diğer ilk yatırım maliyet unsurları

Maliyet Unsuru	Tutar (ABD Doları)
Proje ve fizibilite raporu hazırlama	2,000
Santral sahasına ve santral içi ulaşım yollarının inşası, inşaat, nakliye, montaj ve kurulum maliyetleri	10,000
Şirket kurulum maliyeti	4,000
İdari bina ve sosyal alan inşası	5,000
İdari süreçlerle ilgili masraflar (lisans alma bedeli, proje onay ve kabul işlemleri, imar ve ÇED kararı)	3,000
Toplam	24,000

İlk yatırım maliyetlerinin yanı sıra, santralin işletiminde yatırımın ekonomik ömrü boyunca her yıl tekrar eden işletme ve bakım masrafları oluşmaktadır. Bu maliyet unsurlarına ilişkin açıklamalar ile tutarları Tablo 4'te gösterilmiştir. Söz konusu maliyetlerin, yıllık enflasyon oranı ile kurdaki değişimleri dengeleyecek şekilde her yıl %3 oranında artacağı varsayılmıştır.

Tablo 4. Yıllık işletme ve bakım maliyet unsurları

Maliyet Unsuru	Açıklama	Tutar (ABD Doları)
Yıllık işçilik giderleri	Santral Van ilinde kurulacağı için kış mevsiminde yoğun kar ve tozlanma yaşanabilecek, güvenlik/arıza durumları için daha fazla güvenlik personeli çalıştırılması gerekebilecektir. Bu bağlamda en az 2 mühendis ve 3 teknik eleman istihdam edileceği varsayılmıştır.	10,000 (1. yıl maliyeti)
İşletme, bakım ve onarım giderleri	Santralde arıza ve fazla miktarda verim düşümü yaşanmaması için her yıl bakım ve onarım yapılacağı düşünüldüğü için yıllık maliyet olarak hesaplanmıştır.	5,000 (1. yıl maliyeti)
GES sigorta bedeli	Yangın, hırsızlık, doğal afetler, terör, kötü niyetli hareketler, elektronik cihaz ve makine kırılmasına bağlı kâr kayıplarını önlemek amacıyla santrallerde “all risk inşaat sigortası” yapılması zorunludur. Bu maliyet kalemi de yıllık olarak hesaplanmıştır.	4,000 (1. yıl maliyeti)
Dağıtım sistem kullanım bedeli	EPDK tarafından yayımlanan 2021 yılı 1. çeyrek tarife tablosuna göre üreticiler için veriş yönünde tek terimli dağıtım tarifesi 2.722 kr/kWh'dir [30]. Bir yıllık ödenmesi gereken bedel, 1. yıl elektrik üretim miktarına göre hesaplanmıştır. Tarifelerdeki yıllık artışı enflasyon oranının dengeleyeceği varsayılmıştır.	5,351 (1. yıl maliyeti)
Ticari, teknik ve şirket faaliyetine bağlı işlem maliyetleri	Şirketin santralin işletiminden ve elektrik üretim faaliyetinden kaynaklı çeşitli ticari ve teknik maliyetlerini kapsamaktadır.	2,000 (1. yıl maliyeti)
Diğer giderler	Beklenmedik durumlara bağlı santral işletiminde yıllık ilave maliyetler oluşabileceği kabul edilerek bu başlık altında değerlendirilmiştir.	2,500 (1. yıl maliyeti)
1. Yıl Toplam		28,851 (1. yıl maliyeti)

2.4. Finansal analizde kullanılan yöntemler

Projelerin finansal açıdan değerlendirilmesi ve yatırım kararının alınmasında yararlanılan statik (paranın zaman değerini dikkate almayan) ve dinamik (paranın zaman değerini dikkate alan) yöntemler mevcuttur [31]. Bu çalışmada statik yöntemlerden geri ödeme süresi (GÖS) yöntemi; dinamik yöntemlerden ise net bugünkü değer (NBD), iç kârlılık (verimlilik) oranı (İKO) ve fayda/masraf oranı (FMO) yöntemleri kullanılarak yatırımın finansal açıdan kârlılığı değerlendirilmiştir.

2.4.1. Geri ödeme süresi yöntemi

Bu yöntemde göre yatırımın geri ödeme süresi, yıllık net kâr tutarları toplamının ilk yatırım maliyetlerine eşitlendiği ve pozitif net getiri elde edilmeye başlandığı yıl olarak hesaplanmaktadır [31]. Yıllar itibarıyla toplanan yıllık kazanç tutarlarının ilk yatırım maliyetini karşıladığı yıl yatırımın geri ödeme süresini göstermektedir.

Bu çalışmada yıllık amortisman payı, güneş enerji santralinde kullanılan ekipman verimi yıllık %0.7 oranında azalacak şekilde hesaplanarak dolaylı olarak yıllık kazanç tutarında düşüş şeklinde hesaplamaya dâhil edilmiştir. GES'lerde ortalama 5-7 yıllık geri ödeme süreleri normal olarak kabul edilmekle birlikte 2020 yılı itibarıyla bu sürenin 4 yıla kadar indiği görülmektedir [32].

$$GÖS = \frac{\text{Yatırım tutarı}}{\text{Yıllık ortalama net kâr}} \quad (1)$$

2.4.2. Net bugünkü değer yöntemi

Paranın zaman değerini dikkate alan bu yöntemde göre net bugünkü değer (NBD), yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı kazançların bugünkü değerleri toplamı ile yatırım maliyetlerinin bugünkü değerleri toplamı arasındaki farkı ifade etmekte olup aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır [26].

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{M_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

Bu formülde geçen,

- t : Yatırım süresi içerisindeki ilgili takvim yılını,
- i : Kabul edilen iskonto oranını,
- n : Yatırımın ekonomik ömrünü,
- F_t : t. yıldaki kazanç tutarını,
- M_t : t. yıldaki maliyet tutarını

göstermektedir. NBD'nin pozitif bir değer olarak hesaplanması yatırımın kârlı olduğunu, negatif olması elde edilen kazançların yatırım için katlanılan maliyetleri karşılamadığını göstermekte; NBD'nin 0 olması ise yatırım sonucunda ne kâr ne de zarar elde edildiğini yani kazançların toplam maliyetlere denk geldiği durumu temsil etmektedir [26]. Bu çalışmada, yatırımdan beklenen kâr payı (kabul edilebilir iskonto oranı) %10 olarak alınmıştır.

2.4.3. İç kârlılık (verimlilik) oranı yöntemi

İç kârlılık oranı, bir yatırımın fayda ve masraf unsurlarına göre hesaplanan net bugünkü değerini sifıra eşitleyen iskonto oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, yatırımın ekonomik ömrü boyunca getirilerinin bugünkü değerleri toplamını maliyetlerinin bugünkü değerleri toplamına eşitleyen iskonto oranıdır [26]. İç kârlılık oranı, net bugünkü değer yönteminde belirtilen formül ve kısaltmalar doğrultusunda aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{M_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

Burada iskonto oranı (i) yerine fayda ve masrafların bugünkü değerlerini eşitleyen iç karlılık oranını temsil eden "r" kullanılır ve faydaların bugünkü değerini masrafların bugünkü değerine eşitleyecek şekilde deneme yanılma yoluyla bulunur [31]. Hesaplanan iç kârlılık oranından daha yüksek orandaki iskonto oranlarında yatırımın NBD'si negatife dönerken daha düşük iskonto oranlarında yatırımın NBD'si artmakta yani yatırım daha kârlı hale gelmektedir. Bu bağlamda, İKO'nun yatırımcı tarafından kabul edilebilir iskonto oranından daha yüksek çıkması durumunda yatırım kararı verilmesi uygun olup tam tersi durumda ise yatırım kârlı olmayacağından yatırım kararının reddedilmesi gerekmektedir.

2.4.4. Fayda/Masraf oranı yöntemi

Bu yöntemde fayda/masraf oranı (FMO), yatırımın ekonomik ömrü boyunca getiri tutarlarının bugünkü değerleri toplamının yatırım maliyetlerinin bugünkü değerleri toplamına bölünmesi suretiyle aşağıda verilen formüle göre hesaplanır [31].

$$FMO = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{M_t}{(1+i)^t}} \quad (4)$$

Fayda/masraf oranının 1'den büyük veya 1'den küçük olması durumlarına göre değerlendirme yapılır. FMO 1'den büyük ise yatırım kârlı olarak görülmekte, 1'den küçükse yatırım kararının reddedilmesi gerekmektedir. FMO'nun 1'e eşit çıkması durumu yatırımın ekonomik ömrü boyunca ne kâr ne zarar getireceğini yani toplam kazançların toplam maliyetlere denk geleceğini göstermektedir. Yatırımcı, kabul edilebilir iskonto oranı esas alınarak hesaplanan FMO'ya göre yatırımı gerçekleştirme veya gerçekleştirilmeme kararı verir.

2.4.5. Yatırımın öz sermaye veya kredi ile yapılması

Günümüzde yenilenebilir enerji yatırımları tamamen öz sermaye ile yapılabileceği gibi kısmi veya tamamen kredi ile de yapılabilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, yatırımın tamamen öz sermaye ile veya tamamen kredi ile karşılandığı iki farklı durum için GES yatırımının yukarıda belirtilen yöntemlere göre finansal analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İlk yatırım maliyetlerinin öz sermaye ile karşılanması halinde, yıllık işletme ve bakım masrafları haricindeki ilk yatırım maliyetleri yatırımın başında harcanmaktadır. Yatırımın kredi ile yapılacak olması halinde ise hesaplanan ilk yatırım maliyeti tutarının, Türkiye Sürdürülebilir Enerji Finansman Programının (TurSEFF) yenilenebilir enerji kredisi programı kapsamında 1 MW GES yatırımı için 10 yıl süreli yıllık %5 faiz oranıyla alınan kredi ile karşılanacağı kabul edilmiştir [26, 33]. 10 yıl süreli alınacak kredinin yıllık eşit tutardaki geri ödeme miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [26].

$$P = A \times \frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1} \quad (5)$$

Bu formülde geçen,

- P : 10 yıl eşit taksitle çekilen kredinin geri ödeme taksit tutarını,
A : Kredi çekilen ilk yatırım maliyeti tutarını,
n : Kredi geri ödeme süresini,
i : Kredi yıllık faiz oranını

ifade etmektedir. İlk yatırım maliyetleri toplamı olan 623,054 ABD Doları tutarında çekilen TurSEFF kredisi için yıllık geri ödeme taksit tutarı 80,688 ABD Doları olarak hesaplanmıştır. Kredi geri ödeme taksitlerinin yatırımın ilk yılı sonunda başlayacağı kabul edilmiştir.

2.5. Finansal analizde yapılan kabuller

Bu çalışma kapsamında, Van ili Edremit ilçesinde yapılması planlanan 1 MW lisanslı GES yatırımının finansal analizinde ve kurulum aşamasında maliyete etki edecek hususlara ilişkin yapılan kabuller Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. GES kurulumunda yapılan kabuller

Santralin kurulu gücü	1 MW
Santralin faaliyet türü	Lisanslı üretim, şebekeye OG baradan bağlı, yarışmasız olarak bağlantı bölgesi bazında tekli başvuru (GES Katkı Payı ödemesi bulunmamaktadır)
Santralin ekonomik ömrü	25 yıl
Santralde kullanılan güneş paneli türü	400 kWp, 72 hücreli, monokristal
Yatırımın hurda değeri	Doğrudan yatırım (ekipman) maliyetinin %30'u
Santralin güç değerinde (veriminde) yıllık azalma oranı	%0.7
Finansal analizde kullanılan para birimi	ABD Doları
Finansal analizde kullanılan yöntemler	Net bugünkü değer İç kârlılık oranı Fayda/Masraf oranı Geri ödeme süresi
Elektrik alım fiyatı	İlk 10 yıl: 13.3 ABD Doları cent/kWh 11.-25. yıl: Son 5 yılın Piyasa Takas Fiyatı ortalaması olan 4.5 ABD Doları cent/kWh
Değişken maliyetlerin yıllık artış oranı	%3
İskonto oranı	%10
Kredi seçeneği ve faiz oranı	TurSEFF Yenilenebilir Enerji Kredisi, 10 yıl eşit taksitle geri ödemeli, yıllık %5 faiz oranı
Santral sahasına ulaşım yolları	Santralin kurulacağı arazinin bitişiğinden D300 Bitlis-Van karayolu geçmektedir, bu bakımdan gerekli teçhizatın santrale taşınmasında ulaşımın elverişli olduğu ancak karayolunu santral sahasına bağlayan yollarda küçük çaplı iyileştirme yapılması gerektiği kabul edilmiş ve diğer ilk yatırım maliyet unsuru olarak eklenmiştir.
Arazi yapısının GES kurulumuna uygunluğu	Santralin kurulacağı arazi güney cepheye dönük olup arazi yapısının GES inşasına uygun olduğu ve ilave maliyet oluşturmayacağı kabul edilmiştir.
Santralin ulusal elektrik şebekesine bağlantısı	Santralin Engil TM'nin OG barasına bağlanacağı ve bağlantı için inşa edilmesi gereken 3 km uzunluğundaki enerji nakil hattının Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği kapsamında bölgede görevli dağıtım şirketi Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından tesis edileceği, şirket tarafından yalnızca bağlantı ve sistem kullanım bedeli ödeneceği varsayılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

1 MW lisanslı ve şebekeye bağlı GES yatırımının öz sermaye ile yapılması durumu ile tamamen kredi ile yapılması durumlarına ilişkin nakit akış diyagramları sırasıyla Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmiştir. Söz konusu tablolarda, fayda ve masraf tutarları ABD Doları para birimi cinsinden verilmiştir. Nakit akış çizelgelerinde 0. yıl yatırıma başlandığı yılı temsil etmekte olup 1. yılda elektrik üretimine

başlanacağı kabul edilmiştir. Tablolarda verilen tutarlar, 25 yıl olarak belirlenen GES yatırımının ekonomik ömrü boyunca, daha önce açıklanan kabuller doğrultusunda yıllık elektrik üretim miktarındaki azalma, alım garantisinin sona erdiği 10. yıldan sonraki elektrik enerjisi satış fiyatı, yıllık enflasyon oranındaki artış vb. kabullerine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 6. Yatırımın öz sermaye ile yapılması durumunda nakit akış çizelgesi

Yıllar	Faydalar		Faydaların Bugünkü Değeri	Masraflar				Masrafların Bugünkü Değeri
	Yıllık kazanç	Hurda Değeri		Arazi Bedeli	Ekipman Maliyetleri	Diğer İlk Yatırım Maliyetleri	İşletme ve Bakım Maliyetleri	
0	0			54,054	545,000	24,000	0	623,054
1	193,507		175,915				28,851	26,228
2	192,152		158,804				29,717	24,559
3	190,807		143,356				30,608	22,996
4	189,472		129,412				31,526	21,533
5	188,145		116,823				32,472	20,163
6	186,828		105,460				33,446	18,880
7	185,520		95,201				34,450	17,678
8	184,222		85,941				35,483	16,553
9	182,932		77,581				36,548	15,500
10	181,652		70,035				37,644	14,513
11	61,031		21,391				38,773	13,590
12	60,604		19,310				39,937	12,725
13	60,179		17,432				41,135	11,915
14	59,758		15,736				42,369	11,157
15	59,340		14,205				43,640	10,447
16	58,924		12,824				44,949	9,782
17	58,512		11,576				46,297	9,160
18	58,102		10,450				47,686	8,577
19	57,696		9,434				49,117	8,031
20	57,292		8,516				50,590	7,520
21	56,891		7,688				52,108	7,041
22	56,493		6,940				53,671	6,593
23	56,097		6,265				55,281	6,174
24	55,704		5,655				56,940	5,781
25	55,315	163,500	20,196				58,648	5,413
TOPLAM	2,910,676		1,346,146		623,054		1,051,886	955,563

Tablo 7. Yatırımın kredi ile yapılması durumunda nakit akış çizelgesi

Yıllar	Faydalar		Faydaların Bugünkü Değeri	Masraflar					Masrafların Bugünkü Değeri
	Yıllık kazanç	Hurda Değeri		Arazi Bedeli	Ekipman Maliyetleri	Diğer İlk Yatırım Maliyetleri	Kredi Taksitleri	İşletme ve Bakım Maliyetleri	
0	0			54,054	545,000	24,000	0	0	623,054
1	193,507		175,915				80,688	28,851	99,581
2	192,152		158,804				80,688	29,717	91,244
3	190,807		143,356				80,688	30,608	83,619
4	189,472		129,412				80,688	31,526	76,644
5	188,145		116,823				80,688	32,472	70,264
6	186,828		105,460				80,688	33,446	64,426
7	185,520		95,201				80,688	34,450	59,084
8	184,222		85,941				80,688	35,483	54,195
9	182,932		77,581				80,688	36,548	49,719
10	181,652		70,035				80,688	37,644	45,622
11	61,031		21,391					38,773	13,590
12	60,604		19,310					39,937	12,725
13	60,179		17,432					41,135	11,915
14	59,758		15,736					42,369	11,157
15	59,340		14,205					43,640	10,447
16	58,924		12,824					44,949	9,782
17	58,512		11,576					46,297	9,160
18	58,102		10,450					47,686	8,577
19	57,696		9,434					49,117	8,031
20	57,292		8,516					50,590	7,520
21	56,891		7,688					52,108	7,041
22	56,493		6,940					53,671	6,593
23	56,097		6,265					55,281	6,174
24	55,704		5,655					56,940	5,781
25	55,315	163,500	20,196					58,648	5,413
TOPLAM	2,910,676		1,346,146				806,883	1,051,886	1,451,358

Her iki senaryoda, yatırımın net bugünkü değeri faydaların bugünkü değerinden masrafların bugünkü değerleri çıkartılarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, fayda/masraf oranları faydaların bugünkü değerlerinin masrafların bugünkü değerlerine bölünmesi suretiyle bulunmuştur. Faydaların bugünkü değerini masrafların bugünkü değerine eşitleyen iç kârlılık oranları ise NBD'si pozitif olan öz sermaye senaryosu için Excel programında iskonto oranının artırılması, NBD'si negatif olan kredi senaryosu içinse azaltılması suretiyle hesaplanmıştır.

Yatırımın öz sermaye veya kredi ile yapılması durumları için projenin geri ödeme süreleri hesaplanmış olup Tablo 8'de gösterilmiştir. Bu yöntem paranın zaman değerini dikkate almayan bir yaklaşımla basit şekilde yıllık getiri miktarının yatırım maliyetlerini karşıladığı yılı ifade etmektedir. Yatırımın öz sermaye ile yapılması durumunda yatırımın 4. senede sermaye maliyetlerini geri ödediği ve pozitif net kâr sağladığı görülmüştür. Yatırımın kredi ile yapılması halinde ise geri ödeme süresi 9 yıla çıkmaktadır.

Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilen nakit akış çizelgelerinden faydalanılarak yatırımın öz sermaye veya kredi ile yapılması durumları için net bugünkü değer, iç kârlılık oranı ve fayda/masraf oranları hesaplanmış olup elde edilen sonuçlara Tablo 9'da yer verilmiştir.

Tablo 8. Yatırımın öz sermaye veya kredi ile yapılması durumunda geri ödeme süreleri

Öz Sermaye ile Yatırımın Geri Ödeme Süresi				Kredi ile Yatırımın Geri Ödeme Süresi			
Yıllar	Fayda	Masraf	Net Kâr	Yıllar	Fayda	Masraf	Net Kâr
0		623.054	-623.054	0		623.054	-623.054
1	193.507	28.851	-458.398	1	193.507	109.539	-539.087
2	192.152	29.717	-295.962	2	192.152	110.405	-457.339
3	190.807	30.608	-135.763	3	190.807	111.296	-377.828
4	189.472	31.526	22.182	4	189.472	112.215	-300.571
5	188.145	32.472	177.855	5	188.145	113.160	-225.586
6	186.828	33.446	331.237	6	186.828	114.135	-152.893
7	185.520	34.450	482.308	7	185.520	115.138	-82.510
8	184.222	35.483	631.047	8	184.222	116.171	-14.460
9	182.932	36.548	777.431	9	182.932	117.236	51.236
10	181.652	37.644	921.439	10	181.652	118.332	114.556

Tablo 9. Finansal analiz sonuçları

	Yatırımın Öz Sermaye ile Yapılması	Yatırımın Kredi ile Yapılması
Net Bugünkü Değer	390,583 ABD Doları	-105,212 ABD Doları
İç Kârlılık Oranı	%22.35	%6.76
Fayda/Masraf Oranı	1.409	0.928
Geri Ödeme Süresi	4 Yıl	9 Yıl

Tablo 9’da yer verilen finansal analiz sonuçları incelendiğinde, Van ili Edremit ilçesinde yapılması planlanan 1 MW lisanslı GES yatırımın maliyetlerinin tamamen öz sermaye ile karşılanması durumunda, yatırımın net bugünkü değerinin pozitif bir değer olduğu, iç kârlılık oranının seçilen %10 iskonto (verim) oranının 2 katından daha fazla olarak hesaplandığı, bu durumda yatırımdan %22.35 orana kadar kâr sağlama beklentisi altında yatırımın kârlı olarak değerlendirilebileceği, fayda/masraf oranının da 1’den büyük bir değer olduğu ve geri ödeme süresinin 4 yıl olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu kapsamda, mevcut ilk yatırım maliyetleri, elektrik satış fiyatları, ekonomik koşullar ile getiri oranları göz önünde bulundurulduğunda söz konusu GES yatırımının öz sermaye ile yapılmasının oldukça kârlı bir yatırım olduğu sonucuna varılmaktadır.

Aynı yatırımın 10 yıl geri ödemeli TurSEFF yenilenebilir enerji kredisi ile yapılması halinde ise yatırımın net bugünkü değeri negatif olarak bulunmuş, aynı zamanda kazanç ve maliyetlerin bugünkü değerlerini eşitleyen iç kârlılık oranı ise kabul edilen %10 iskonto oranından daha düşük olacak şekilde %6.76 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yatırımın fayda/masraf oranı 1’den küçük ve yatırımın geri ödeme süresi de 9 yıl olarak GES yatırımları için günümüz koşullarında yatırım yapılabilir kabul edilen geri ödeme sürelerinden daha uzun hesaplanmıştır. Bu bağlamda, söz konusu yatırımın beklenen kâr payına göre tamamen kredi ile yapılması kârlı bir yatırım olarak değerlendirilmemektedir. Diğer taraftan, 1 MW GES yatırımı için gerekli sermaye maliyetinin bir kısmının öz sermaye ile kalan kısmının ise kredi ile karşılanması da sıklıkla karşılaşılan bir uygulamadır. Yatırımın bu şekilde yapılması halinde belirli bir iskonto oranına kadar yatırım kârlı şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Yatırım kararının verilmesinde, yatırımcının kâr oranı beklentisi ve ekonomik durumu, yatırım yapılacak bölge ve arazinin yatırıma uygunluğu, ekipman maliyetleri gibi birçok etken bulunmakla beraber bu çalışmada kullanılan finansal analiz yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Dolayısıyla özellikle yenilenebilir enerjiye dayalı yatırım kararı verilmesinde, net bugünkü değer, iç kârlılık oranı, fayda/masraf oranı gibi paranın zaman değerini dikkate alan finansal analiz yöntemlerinden etkin bir şekilde faydalanılabileceği ve yatırım kararının verilebilmesine esas doğru sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Güneş enerji santrali yatırımları, kaynak potansiyelinin yüksekliği, görece olarak kurulum kolaylığı ve işletme-bakım maliyetlerinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha düşük seviyelerde olması dolayısıyla ülkemizde özellikle son beş yıl içerisinde büyük ivme kazanmış ve ülkemizin yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu gücünün artışına büyük katkı sağlamıştır. Bu artışta, lisanssız üretim kapsamında kurulan küçük ölçekli GES yatırımları en büyük paya sahiptir. Ayrıca 600 MW bağlantı kapasitesi için yapılan GES ön lisans yarışmaları kapsamındaki projeler ile önümüzdeki süreçte daha da yaygınlaşacağı öngörülen YEKA modeli kapsamındaki projelerin de önemli bir yere sahip olduğu vurgulanmalıdır. GES kurulumu için ülkemizde yatırımcılar tarafından oldukça yüksek bir talep bulunmakta, dolayısıyla yeterli kâr getirisi sağlayan yatırım açısından verimli projelerin hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, yıllık güneşlenme süresi bakımından GES kurulumu için uygun olduğu değerlendirilen Van ili Edremit ilçesinde 1 MW kurulu gücünde lisanslı GES yatırımının PVGIS çevrim içi veri tabanı kullanılarak enerji hesaplamaları yapılmış, akabinde farklı yöntemlere dayalı finansal analizi gerçekleştirilerek projenin ekonomik açıdan yatırım yapılabilir olup olmadığı incelenmiştir.

İlk olarak bölgenin güneş enerjisi potansiyeli değerlendirilerek yatırım için uygun arazi seçimi yapılmış, sonrasında PVGIS çevrim içi veri tabanından faydalanılarak seçilen arazinin koordinat bilgilerine göre yıllık elektrik üretim miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca piyasa araştırmaları sonucunda içinde bulunduğumuz yıla ilişkin ekipman ve diğer maliyet unsurları belirlenmiştir.

Sonraki bölümde yatırımın finansal analizinin yapılmasında kullanılan geri ödeme süresi, net bugünkü değer, iç kârlılık oranı ve fayda/masraf oranı yöntemlerinin esasları açıklanmış ve yatırımın finansal analiz çalışması, ilk yatırım maliyetlerinin öz sermaye veya TurSEFF yenilenebilir enerji kredisi ile karşılanmasına ilişkin iki farklı senaryo altında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan finansal değerlendirme neticesinde, yatırımın tamamının öz sermaye ile yapılması durumunda; yatırımın net bugünkü değerinin pozitif olduğu, iç kârlılık oranının %22.35 olduğu, fayda/masraf oranının ise 1.409 olduğu görülmüş ve yatırımın kârlı olacağı tespit edilmiştir. İlk yatırım maliyetlerinin kredi ile karşılanması durumunda ise %10 kâr getirisi beklentisi altında yatırımın kabul edilebilir olmadığı, santralin ekonomik ömrü boyunca kazançların maliyetleri karşılamayacağı sonucuna varılmıştır. Bu durumda yatırımın, ancak kâr beklentisinin %6.76'dan daha düşük olduğu koşullarda kârlı hale geleceği görülmüştür.

GES yatırımının geri ödeme süresi ise ilk yatırım maliyetlerinin öz sermaye ile karşılanması durumunda 4 yıl olurken kredi ile karşılanması durumunda 9 yıl olarak hesaplanmıştır. GES yatırımının saha, çatı gibi uygulama farklılıklarına, lisanslı veya lisanssız üretim kapsamında yapılıp yapılmamasına, tesisin kurulu gücüne veya kurulduğu yere göre geri ödeme süresi farklılık göstermekle birlikte GES yatırımı için 4 ila 7 yıl arasındaki geri ödeme süreleri günümüz koşullarında yatırım yapılabilir olarak nitelendirilmektedir. Bu çerçevede, ilk yatırım maliyetlerinin öz sermaye ile karşılanması halinde geri ödeme süresinin 4 yıl olduğu görüldüğünden yatırım yapılabilir sayılmakta, yatırım maliyetlerinin kredi ile karşılanması halinde ise 9 yıllık geri ödeme süresi yatırımın kârlı olmayacağını göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen finansal analiz sonuçları, genel anlamda santralde kullanılan güneş panellerinin teknoloji türüne, birim yüzeye düşen radyasyon (ışınım) miktarına ve panel verimine bağlı yıllık elektrik üretim miktarına, ilk yatırım maliyet tutarlarına ve elektrik satış fiyatına göre büyük oranda değişmektedir. Güneş enerjisine dayalı lisanslı üretim kapsamındaki santraller için mevcut alım garantisi fiyatı olan 13.3 ABD Doları cent/kWh, 30/06/2021 tarihine kadar işletmeye girecek üretim tesisleri için işletmeye giriş tarihinden itibaren 10 yıl süreyle geçerlidir. Diğer taraftan, 29/01/2021 tarihli ve 3453 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı ile 01/07/2021 tarihinden 31/12/2025 tarihine kadar işletmeye girecek güneş enerjisine dayalı lisanslı faaliyette bulunan santraller için yeni alım garantisi fiyatının 32 kuruş/kWh (4.32 ABD Doları cent/kWh, 26 Şubat 2021 tarihli satış bazlı dolar kuru USD/TRY 7.4 [27]'e göre) ile başlayarak üçer aylık dönemler halinde güncellenmesine karar verilmiştir. Buna göre, piyasada artan rekabet koşulları ile kurulum maliyetlerindeki düşüşe bağlı olarak elektrik alım garantisi fiyatının da düşmesi, yatırımın kazanç oranlarını ve analiz sonuçlarını değiştirebilecek, dolayısıyla yatırım kararlarını büyük oranda etkileyebilecektir. Buradan hareketle, yaşanan teknolojik gelişmelerin, piyasa koşullarının ve arz-talep dengesinin yatırım kararı alınmasında büyük önemi olduğunu vurgulamakta fayda vardır.

Yapılan bu çalışmanın, güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu Van ilinde gerçekleştirilmesi planlanan 1 MW lisanslı GES yatırımının ekonomik açıdan kârlı olup olmadığına günümüz ekonomik koşulları altında incelenmesiyle, farklı illerde ve farklı uygulamalar kapsamında yapılacak GES yatırım analizi çalışmalarıyla karşılaştırma imkânı sunacağı ve çeşitli simülasyon programları ile yapılabilecek GES yatırım değerlendirmelerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı sorumlu yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmaya dair herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi, 2021. Güneş. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Erişim tarihi: 27.02.2021).
- [2] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021. Türkiye Ortalama Güneşlenme Süresi (1988-2017). <https://mgm.gov.tr/kurumci/turkiye-guneslenme-suresi.aspx> (Erişim tarihi: 27.02.2021).
- [3] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2018. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim tarihi: 27.02.2021).
- [4] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, Santral Kurulu Güç Raporları, 2021. Ocak 2021 Kurulu Güç Raporu. <https://www.teias.gov.tr/TR-kurulu-guc-raporlari> (Erişim tarihi: 27.02.2021).
- [5] E-mevzuat, 2021. 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6446&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (Erişim tarihi: 27.02.2021).
- [6] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2021. Elektrik Piyasası Üretim Lisansları. <http://lisans.epdk.gov.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretim/elektrikUretimOzetSorgula.xhtml> (Erişim tarihi: 27.02.2021).
- [7] Sarı V., Özyiğit F.Y. 2020. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Santralının Ekonomik Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 22 (65), 517-526.
- [8] Rüstemli S., Dinçer F. 2011. Van İli Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Enerjisinin Mevcut Durumu ve Geleceği. Yüzüncüyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16 (1): 22-33.
- [9] Sarı V., Özyiğit F.Y. 2020. Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 20: 425-437.
- [10] Bayrakçı H.C., Gezer T. 2019. Bir Güneş Enerjisi Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği. Teknik Bilimler Dergisi, 9 (2): 46-54.
- [11] Kırbaş İ., Çifci A. 2019. Feasibility Study of a Solar Power Plant Installation: A Case Study of Lake Burdur, Turkey. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (3): 830-835.
- [12] Demiryürek H.K., Arifoğlu U., Bolat M. 2020. Lebit Enerji Güneş Santralının Pvsyst Programı İle Analizi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 9 (3): 1351-1363.
- [13] Oral M. 2020. Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: Case of Karabük province. International Journal of Geography and Geography Education (IGGE), 42: 482-503.
- [14] Arıkan Y., Çam E. 2017. Rüzgar ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Fizibilite Analizlerinin Web Tabanında Gerçekleştirilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 9 (1).
- [15] Alcan Y., Demir M., Duman S. 2018. Sinop İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Ülkemiz Ve Almanya İle Karşılaştırarak İncelenmesi. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 5 (1): 35-44.

- [16] Üçgül İ., Tüysüzöğlü E., Yakut M.Z. 2014. PV Çatı Uygulaması İçin Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18 (2): 1-6.
- [17] Taktak F., İli M. 2018. Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. Geomatik Dergisi, 3 (1): 1-21.
- [18] Anonim, 2021. Van ili. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Van> (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [19] European Commission Joint Research Center Institute for Energy, 2010. Guidelines for PV Power Measurement in Industry. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC57794/eur-24359-en.pdf> (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [20] Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), 2021. Van ili Global Radyasyon Değerleri. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/65.aspx> (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [21] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021. Van ili Ölçüm İstatistikleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=VAN> (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [22] Ceylan E. 2021. Güneş Enerji Santrali Fizibilite Raporu-Kayseri örneği. <http://makale.eceylan.com/wp-content/uploads/2015/03/G%C3%BCne%C5%9F-Enerji-Santrali-Fizibilite-Raporu.pdf> (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [23] Ceylan O., Taşdelen K. 2018. Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18: 895-903.
- [24] E-mevzuat, 2021. 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5346&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [25] EPİAŞ, 2021. Şeffaflık Platformu, Piyasa Takas Fiyatı. <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/piyasalar/gop/ptf.xhtml> (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [26] Kahraman M.Ü. 2018. Kütahya Bölgesi Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyellerinin Tekno-Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 1-135.
- [27] Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, 2021. 26.02.2021 Günü Saat 15:30'da Belirlenen Gösterge Niteliğindeki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Kurları https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/kurlar_tr.html (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [28] Solar Enerji, 2021. 1 MW GES Santrali Kurulum Maliyeti. https://www.powerenerji.com/1-mw-gunes-enerji-santrali-ges-kurulu-maliyeti-aylik-yillik-geliri.html#1_Mw_Guumlne351_Enerji_Santrali_Kurulucak_304lin_Guumlne351enme_De287erleri (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [29] SMA Solar Technology, 2021. <https://www.sma.com.tr/> (Erişim tarihi: 28.02.2021).
- [30] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2021. Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tabloları> (Erişim tarihi: 06.03.2021).
- [31] Gedik T., Akyüz K.C., Akyüz İ. 2005. Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi (İç Karlılık Oranı ve Net Bugünkü Değer Yöntemlerinin İncelenmesi. ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7 (7): 51-61.
- [32] Şenoğlu G. (2020). GES yatırımlarında geri dönüş süresi 4 yıla indi. Solar Energy Systems Magazine. <https://www.gesdergisi.com/ges-yatirimlarında-geri-donus-suresi-4-yıla-indi/> (Erişim tarihi: 21.03.2021).
- [33] TurSEFF Yenilenebilir Enerji Finansmanı, (2021). <https://www.turseff.org/solution/yenilenebilir-enerji-finansmani?ref=yenilenebilir-enerji-finansmani> (Erişim tarihi: 21.03.2021).
- [34] Başay V., Eken R., Yılmaz G. 2019. Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Güneş Enerjisi Santralinde Fotovoltaik Modüllerin Yaşlanması Araştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24 (2): 325-336.
- [35] Adak S., Cangi H., Yılmaz A.S. 2019. Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 11 (1): 316-327.

Araştırma Makalesi / Research Article

Yatay Toprak Isı Değiştiricilerdeki Basınç Kayıplarının İki Boyutlu Bilgisayar Simülasyonları ile Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirilmesi

Azam AMETİ, Adil DEĞİRMENCİ, Mehmet Ekrem ÇAKMAK*

*Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova
(ORCID: 0000-0002-2854-3141) (ORCID: 0000-0002-9037-6428) (ORCID: 0000-0002-4073-096X)*

Öz

Bu çalışmada yedi farklı geometrik tasarıma sahip yatay toprak ısı değiştiricilerin enerji verimini etkileyen basınç kayıpları bilgisayar destekli simülasyonlar aracılığı ile incelenmiştir. 30 m²'lik (6mx5m) bir bahçe alanında kullanılmak üzere tasarlanan modeller, denklemlerin hesaplama kolaylığı açısından, iki boyutlu olarak oluşturulmuştur. Her bir tasarım ısı değişim yüzey alanları, basınç kayıpları ve enerji verimlilikleri açısından karşılaştırılmıştır. Enerji verimlilikleri açısından karşılaştırılmaları ısı değişim yüzey alanlarının basınç kayıplarına oranı olarak tabir edilen enerji kazanım oranı değerleri üzerinden yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında Tasarım-6'nın en yüksek ısı değişim yüzey alanına (6,9681m²), en düşük basınç kaybına (88,9790kPa) ve aynı zamanda en yüksek enerji kazanım oranına sahip olduğu (0,0783m²kPa⁻¹) görülmüştür. Her ne kadar diğer tasarımlara göre Tasarım-6 en enerji verimli gözükse de işletim ve bakım açısından değerlendirildiklerinde diğer tasarımlar yek pare olarak kullanılabilirlerken Tasarım-6'nın çok fazla bağlantı elemanı içermesinden dolayı pratik kullanımının riskli olduğu düşünülmektedir. Sonuçların projenin geliştirilmeye devam edilmesi açısından çok verimli olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Enerji verimliliği, basınç kaybı, modelleme, benzetim, toprak ısı değiştirici

Energy Efficiency Assessment of Pressure Losses in Horizontal Ground Heat Exchangers with Two-Dimensional Computational Simulations

Abstract

In this study horizontal ground heat exchangers with seven different geometric patterns were investigated for their energy efficiencies using computational simulations. The geometric patterns were designed to fit in a garden area of 30 m² (6mx5m) and the models were constructed two-dimensionally for the ease of computational calculations. The designs were compared to each other in terms of heat exchange surface areas, pressure losses, and energy efficiencies. To better facilitate the energy efficiency comparison of the designs the energy gains ratio (EGR) was used. It was described as the ratio of heat exchange surface area to pressure loss. The results showed that the Design-6 had the highest heat exchange surface area (6.9681m²), the lowest pressure loss (88.9790kPa), as well as the highest EGR value of 0.0783 m² kPa⁻¹. However, since the Design-6 was designed to have too many pipe joints, whereas the other designs might be used as intact pipeline, the practical use of the Design-6 was thought to be risky from the operational maintenance point of view. The results were promising to help improving the project.

Keywords: Energy efficiency, pressure loss, modeling, simulation, ground heat exchanger

1. Giriş

Dünya genelinde ülkelerin enerji ithalatlarını düşürmek için başvurdukları en vaat edici yöntem enerji verimliliğidir [1-3]. Bu bakımdan enerji verimliliği bir nevi enerji kaynağı olarak kabul edilebilir. Dünya genelinde evsel enerji tüketiminin, özellikle kış aylarında, ısıtma kaynaklı olduğu hesaplanmaktadır. Kış

*Sorumlu yazar: mehmet.cakmak@yalova.edu.tr
Geliş Tarihi: 28.03.2021, Kabul Tarihi: 12.08.2021

aylarında ısıtma verimliliğini artırmak için önerilen önemli sistemlerden biri de toprak kaynaklı ısı pompalarıdır [4-7].

Bu sistemler sayesinde toprak yüzeyine ulaşan güneş ışınlarının toprağa aktardığı termal enerji, toprağın içinde hapsolmek yerine, ekonomik kullanımına sunulabilmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompaları hakkında yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır ama yaygın kullanımının sağlanması halen tam olarak sağlanamamıştır. Yaygın kullanımın sağlanması önündeki en büyük sınırlama bu sistemlerin kullanılacakları yere göre özel olarak tasarlanmaları gerekliliğidir. Tasarımı en çok zorlayan nokta ise ısı pompasının ana elemanı olan ve enerjiyi topraktan alabilmesini sağlayan ısı değiştiricilerinin seçimidir [4-11]. Toprak ısı değiştiricilerin seçimi kurulacakları alanın büyüklüğüne, iklim şartlarına ve toprağın özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Emsalleri arasından kurulum maliyetinin düşük olması açısından yaygın kullanıma en uygun olduğu düşünülen yatay-sığ serimli toprak ısı değiştiricilerdir. Ama halen bu tip ısı değiştiricilerin kullanılacakları bölge iklimine ve uygulama alanının büyüklüğüne uygun olarak tasarlanabilmeleri için pratik yöntemler geliştirmeye çalışılmaktadır [4-11]. Geleneksel tasarım yöntemi olan deneysel inceleme (pilot ölçekli deneysel tasarım gibi) hem maliyetli hem de uzun zaman almaktadır. Deneysel tasarım yöntemlerine alternatif olarak, özellikle son yirmi yıllık süre içerisinde bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişime bağlı olarak, bilgisayar destekli simülasyonlar toprak ısı değiştiricilerin tasarımı sürecinde en çok tercih edilmeye başlanan bir yöntem olmuştur [8-11]. Ama maalesef tasarım açısından son kullanıcı olarak kabul edebileceğimiz perakende satıcının sistemin kurulacağı yere özgü ısı değiştirici tasarım yapabilmesi için bilgisayar destekli simülasyonların pratik kullanımları hakkında yeterli çalışma yoktur [8-11, 14-17].

Yatay-sarmal tip toprak ısı değiştirici tasarımında dikkat edilecek iki nokta vardır; birincisi ısı değiştirici içerisindeki taşıyıcı akışkanın hareketi için gerekli pompalama gücü, ikincisi ise ısı değişim yüzey alanıdır. Yüksek ısı değişim yüzey alanı daha fazla ısı değişim potansiyeli sağlamaktadır. Bununla birlikte uygun pompalama gücünün hesaplanması için ısı değiştirici boru hattı üzerinde oluşan basınç kayıpları da bilinmelidir. Basınç kayıpları belki kurulum alan kısıtlaması olmayan uygulamalar için önemli olmayabilir ama kısıtlı alan içerisinde kurulması planlanan sistemlerde kullanılan sarmal tip ısı değiştirici tasarımlarında enerji verimliliğini etkileyen baş etken basınç kayıplarıdır [11-15].

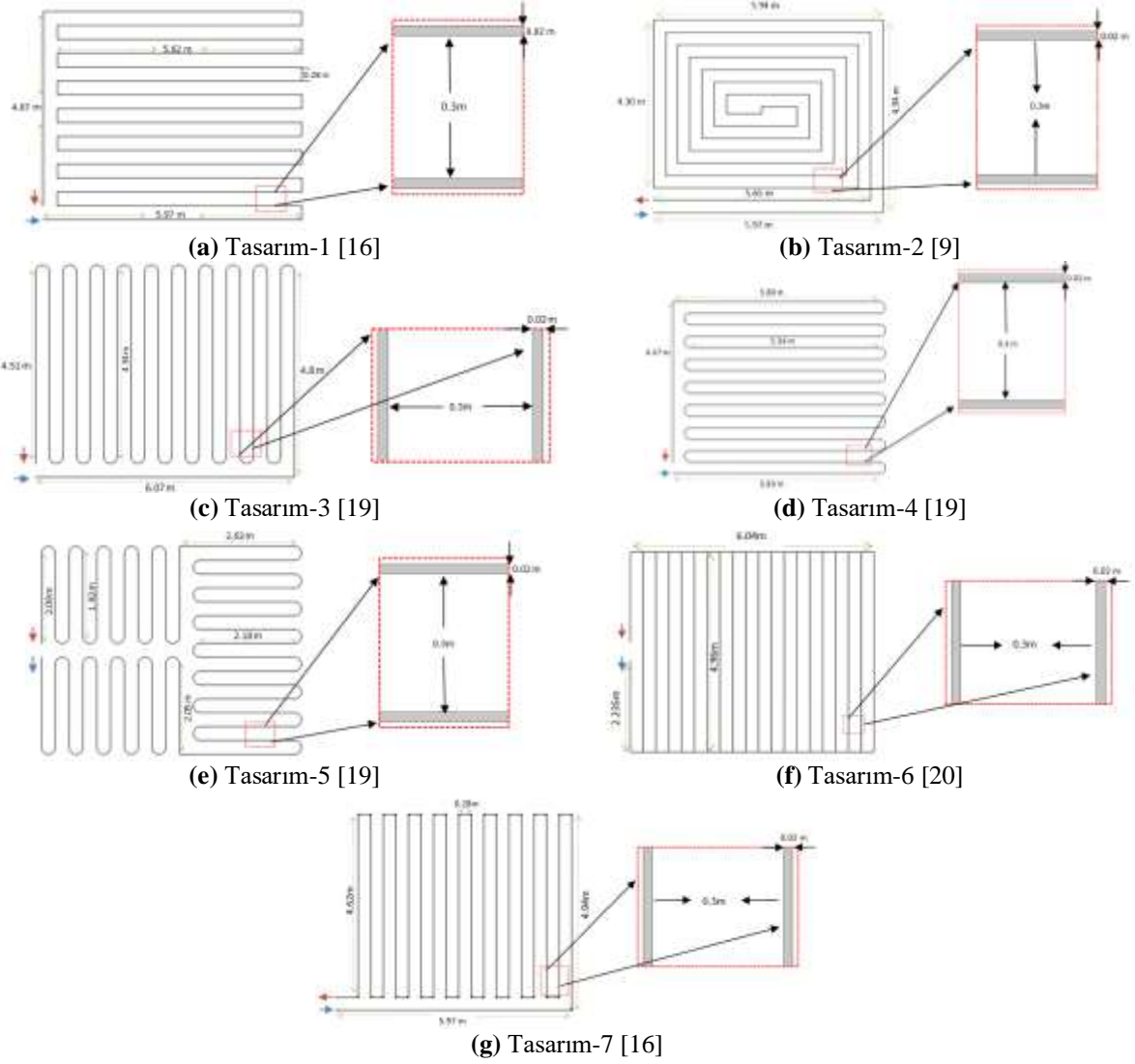
İşte bu çalışmada yatay-sarmal tip toprak ısı değiştiricilerin tasarımlarında ve uygulamalarında bilgisayar destekli simülasyonların kullanılmalarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması amacıyla 30 m²'lik bir bahçe alanı içerisine kurulması tasarlanan yedi farklı ısı değiştirici arasından en yüksek enerji verimli olanının simülasyonlar aracılığı ile bulunması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Modellerin geometrik tasarımları

Tasarlanan yedi farklı yatay-sarmal tip toprak ısı değiştiricilerin, apartman bahçesi gibi, alan kısıtlaması olan bölgelerde evsel kullanım (domestic use) için kullanılabilmesi düşünülerek yaklaşık 30m²'lik (6m x 5m) kısıtlı bir toprak alanı üzerine kurulumları planlanmıştır (Şekil 1). Böyle bir seçim yapılmasının nedeni ise bu tür sistemlerin yaygın kullanımında alan kısıtlamasına rağmen kullanılabilirliklerinin ortaya konulmak istenmesidir. Burada önemle belirtmek gerekir ki geometriler tasarlanırken daha önceden yapılmış bazı çalışmalardan yararlanılmış olsa da tüm tasarımlarda özgün değişiklikler gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Böyle bir alan için kullanılması en verimli geometrik tasarımı bulmak için kullanılan bütün parametreler daha önce yapılmış çalışmalar tarafından önerilen değerlerin içerisinde kalması sağlanmıştır [7,8,10,11]. Slinky olarak tabir edilen ve içiçe geçen dairesel borulardan oluşan tasarıma alan kısıtlaması sebebi ile yer verilmemiştir. Çünkü bu tür tasarımlar için önerilen hendek uzunluğu 10 metreden az olmamakta ve döngü çapların da 0,8 metreden az olmaması önerildiği için tasarımlara eklenmemiştir [8, 14, 16, 18].

Tasarımlar yapılırken borular arasındaki mesafe 0,3 metre olacak şekilde ayarlanmıştır ki bu miktar topraktan verimli bir şekilde ısı kazanımının gerçekleşmesini için diğer çalışmalar tarafından önerilen en küçük miktardır [7,8,10,11]. Tasarımlarda boru çapı 0,02 metre olarak alınmıştır [8,18].



Şekil 1. Çalışmada kullanılan model tasarımları

2.2. Sayısal modelin oluşturulması

Tasarımlarda akışkanın (Tablo 1) basınç dağılımını hesaplamak için Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri (Eşitlik 1 ve 2) iki boyutlu olarak COMSOL (ver.5.2) programı yardımı ile çözülmüştür.

Tablo 1. Kullanılan akışkanın termal özellikleri [21]

Materyal	Yoğunluk (kg.m^{-3})	Özgül Isı ($\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)	Isıl iletkenlik ($\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$)	Dinamik vizkozite (Pa.s)
Su (20 °C)	998	4182	0,598	$1,002 \times 10^{-3}$

Akış rejimi geçiş bölgesinde (transitional flow) kabul edilmiştir. Isı değiştiricilerin girişine sınır koşulu olarak basınç tanımlanmıştır. Basınç olarak tanımlanmasının sebebi basınç kaybının doğrudan gözlemlenmek istenmesidir. Girişteki akış basıncı (gauge-çalışma basıncı) ise 100 kPa olarak kabul edilmiştir. Bu yüksek değer seçilmesinin temel nedeni akış sırasında gerçekleşecek olan kayıpların anlaşılır bir şekilde görülmesidir. Çünkü denenen daha düşük giriş basınçlarında anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Boruların iç cidarlarına kaymama (no-slip, $u=0$) sınır koşulu tanımlanmıştır (Tablo 2).

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{u} \quad (1)$$

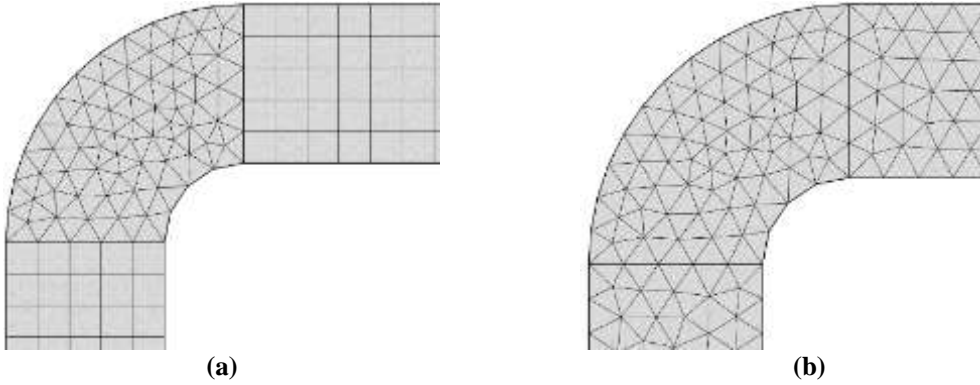
$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (2)$$

Tablo 2. Çalışmada tanımlanan sınır koşullar

Boyut (Dimension)	Sınır Şartları (Boundary Conditions)
2-D (x, y)	- Giriş Basıncı (Pressure) = 100 kPa - Çıkış Basıncı (Pressure) = 0 kPa - Cidar kaymama koşulu (No-Slip)

2.3. Ağ (mesh) yapısının belirlenmesi

Başlangıçta çözümde yakınsamayı elde etmek için Şekil 2’de görüldüğü gibi iki farklı ağ (mesh) yapısı sisteme tanımlanarak farklı yapıdaki ağlarında çözüme etkisi incelenmiştir. Çözümü kolaylaştırmak için önce düz boru bölgelerine tek düze (uniform) dikdörtgenel, akışın daha karmaşık olduğu tahmin edilen dirseklere ise üçgenel ağ tanımlandı (Şekil 2.a). Bu sayede COMSOL programının çözümü daha kolay yakınsaması ve bilgisayarın daha kısa sürede çözüm üretmesi planlandı ama en iyi ağ sisteminin tamamen üçgenel ağ elemanlarından oluşturulması ile elde edileceği görüldü. Sonuçta bütün tasarımlara yaklaşık olarak aynı eleman sayısındaki üçgenel ağ yapısı atandı (Şekil 2.b). Ağ yapısından bağımsız sonuçlar ve hesaplama kolaylığı açısından en uygun (optimum) ağ eleman sayısı 200 bin civarında bulunmuştur. Hesaplamalar dört adet fiziksel, dört adet sanal işlemciye sahip intel-i7 işlemcili ve 16 GB RAM belleğe sahip bilgisayar ile yapılmıştır. En uygun ağ yapısının saptanması yaklaşık bir aylık bir çalışma sonucu bulunduktan sonra her bir tasarım için hesaplar 1 ile 5 dakika arasında vakit almıştır.

**Şekil 2.** Denenen ağ (mesh) yapıları

3. Bulgular ve Tartışma

Tasarımlara ait ısı değişim yüzey alanları teorik olarak, tasarımlarda meydana gelen basınç kayıpları da COMSOL programı yardımı ile sayısal (numerical) olarak hesaplanmıştır. Sonuçları daha anlamlı olarak karşılaştırabilmek için “enerji kazanım oranı (EKO)” olarak tabir edilen bir değer kullanılmıştır. Bu oran (EKO) ısı değişim yüzey alanlarının basınç kayıplarına oranını temsil etmektedir (Eşitlik 3).

$$EKO = \frac{\text{Isı Değişim Yüzey Alanı (m}^2\text{)}}{\text{Basınç Kaybı (kPa)}} \quad (3)$$

3.1. Isı değişim yüzey alanları açısından değerlendirme

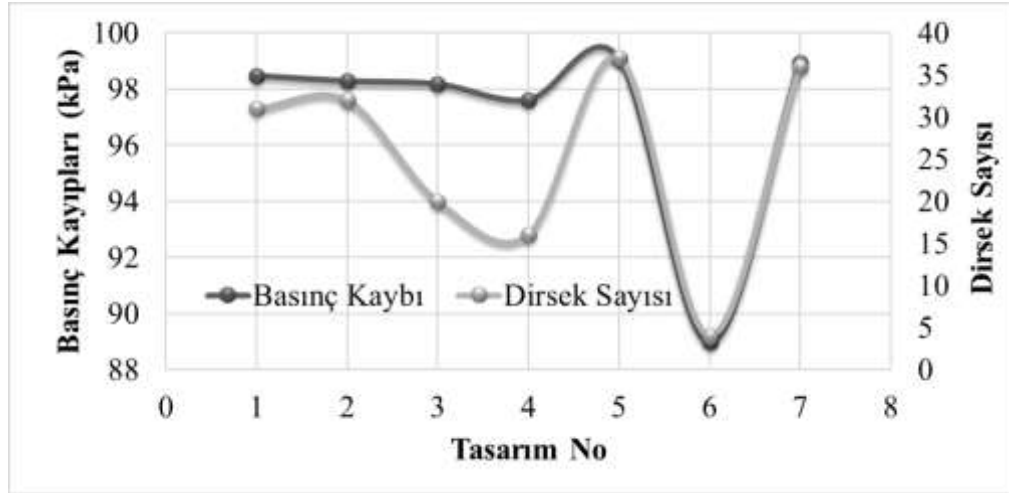
Isı değişim yüzey alanının artması ile ısı kazanımı da artar. Buna bağlı olarak, hesaplanan ısı değişim yüzey alanları en yüksekten küçüğe sıralandığında Tasarım-6, Tasarım-2, Tasarım-3, Tasarım-1, Tasarım-4, Tasarım-5 ve Tasarım-7 olduğu görülmüştür (Tablo 3).

Tablo 3. Sonuçlar

	Isı Değişim Yüzey Alanı (m ²)	Basınç Kaybı (kPa)	Enerji Kazanım Oranı (m ² /kPa)	Toplam Boru Uzunlukları (m)	Dirsek Sayısı
Tasarım-1	6,2988	98,4740	0,0640	100,25	31
Tasarım-2	6,4909	98,2788	0,0660	103,30	32
Tasarım-3	6,4748	98,1746	0,0660	103,05	20
Tasarım-4	6,1827	97,6076	0,0633	98,40	16
Tasarım-5	6,1436	99,0874	0,0620	97,78	37
Tasarım-6	6,9681	88,9790	0,0783	110,90	4
Tasarım-7	6,1154	98,9376	0,0618	97,33	36

3.2. Basınç kayıpları açısından değerlendirme

Bilindiği üzere yerel basınç kayıplarını etkileyen önemli parametrelerden biri dirsek sayısıdır. Bu yüzden de en düşük basınç kaybını beklediği gibi en az dirsek sayısına sahip olan Tasarım-6 vermiştir (Şekil 3). Burada şunu belirtmek gerekir ki birbirine paralel olan boruların ana giriş dağıtım borusuna ve çıkış borusuna bağlantıları T bağlantı (tee joint) olarak adlandırılır ve dirseğe göre basınç kayıpları daha azdır. Bu sebeple Tasarım-6'nın dört adet dirseğe sahip olduğu söylenebilir.

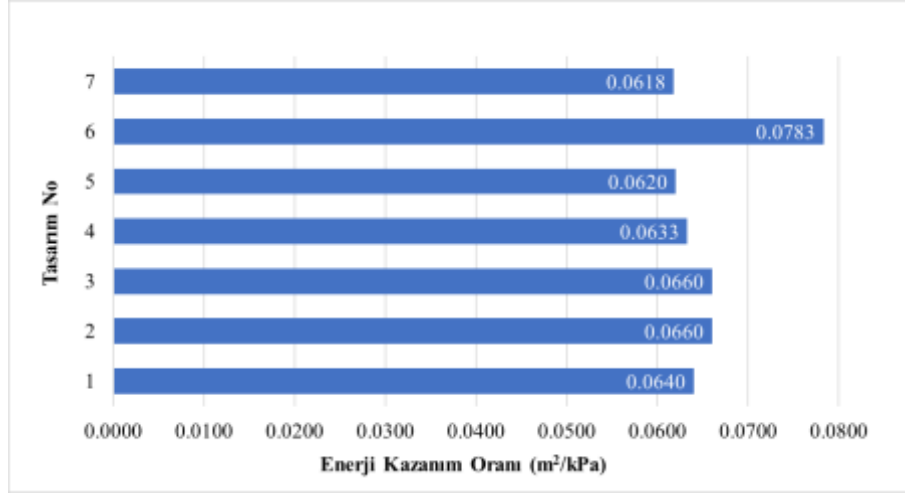


Şekil 3. Dirsek sayısı ile basınç kayıplarının karşılaştırılması

Bunun yanında en fazla dirsek sayısına sahip Tasarım-5 ise en yüksek basınç kaybı gerçekleşmiştir. Ancak basınç kayıplarının sadece dirsek sayısından etkilenmediğini söylemek için Tasarım-1 ve Tasarım-2'ye bakılabilir. Bu ikisi karşılaştırıldığında, Tasarım-2'nin toplam boru uzunluğunun daha fazla olması (yaklaşık olarak 3,15 metre daha uzun) ve kullanılan dirsek sayısının 1 adet fazla olmasına rağmen basınç kaybı Tasarım-1'e kıyasla daha azdır (Çizelge 3 ve Şekil 3). Bu iki tasarım arasındaki farkın Tasarım-2'deki dirseklerin daha kavisli (yumuşak kenarlı) olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

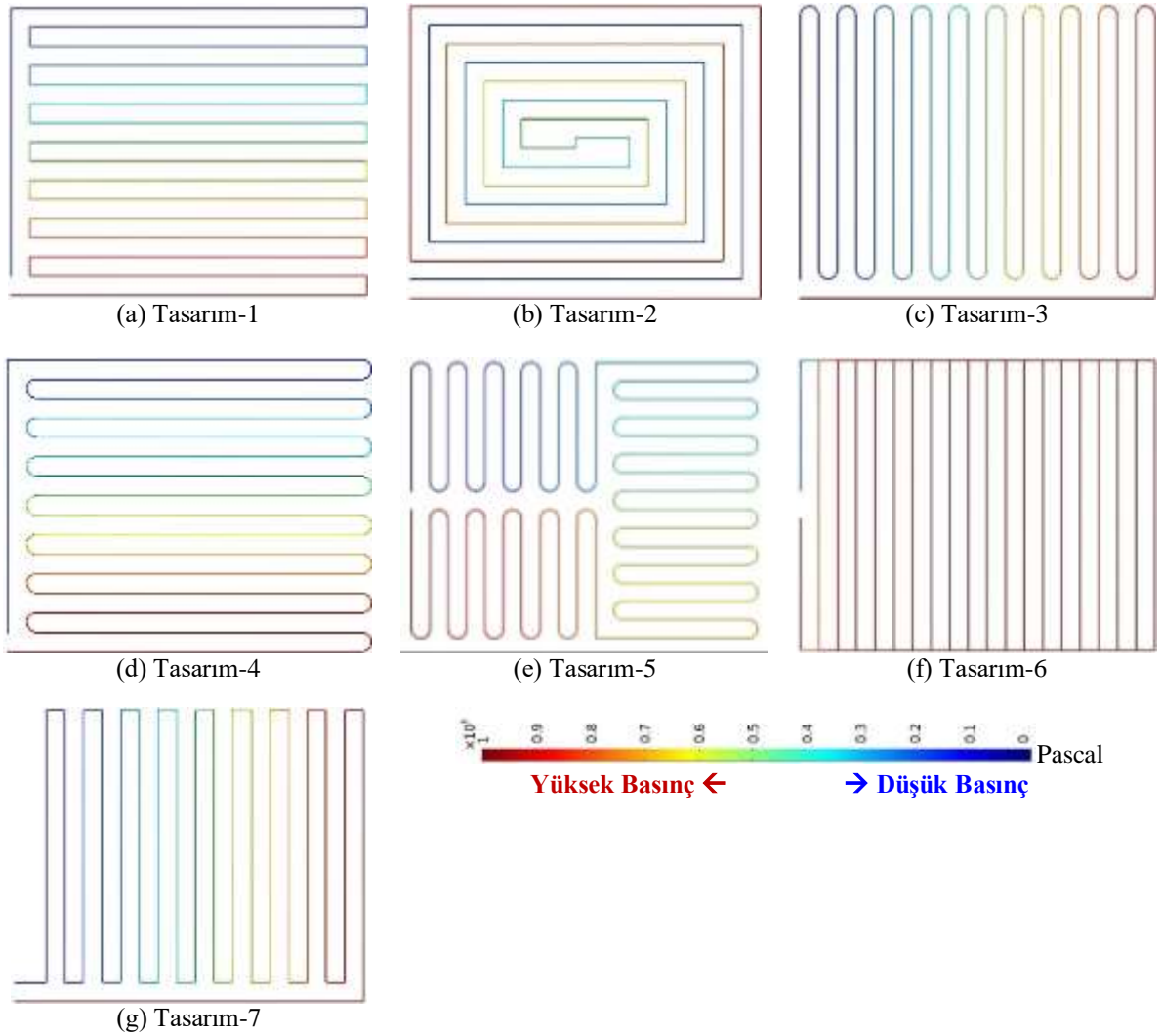
3.3. Enerji kazanım oranı açısından değerlendirme

Tasarımların enerji verimliliği açısından (Şekil 4) karşılaştırılmalarında Enerji Kazanım Oranı olarak tabir edilen değer kullanıldı (Eşitlik 3) ve en verimli sonucu Tasarım-6 (0.0783m².kPa⁻¹) gösterdiği bulundu.



Şekil 4. Tasarımların enerji kazanım oranları (EKO)

Tasarımlar arasında ısı değişim yüzey alanı bakımından en yüksek değere sahip olan Tasarım-6, basınç dağılımları incelendiğinde de en düzgün akışkan dağılımına sahip olmasıyla diğer tasarımlara göre daha verimli çalışacağı tahmin edilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Sayısal olarak hesaplanan basınç dağılımları

3.4. Benzer tasarımların karşılaştırılması

Isı değiştirici tasarımları yapılırken belirlenmiş olan 30m²'lik (6m×5m) kurulum alanının dışına çıkılmamasına büyük önem gösterilmiştir. Modellere bakıldığında Tasarım-1 ile Tasarım-7 ve Tasarım-3 ile Tasarım-4 birbirlerine benzemektedir (Şekil 5). Ancak basınç kayıpları incelendiğinde tasarımlar arasındaki farklar görülmüştür. Tasarım-1 ve Tasarım-4'te ısı değiştirici boruları 6 metrelik genişliğe paralel yerleştirilirken, Tasarım-3 ve Tasarım-7 bu genişliğe dikey (y-ekseni) olarak yerleştirilmiştir. Boruları yatay (x-ekseni) olarak yerleştirmek boruların daha uzun olmasını sağlayarak daha az dirsek sayısına ihtiyaç duyulmasına olanak vermiştir (Çizelge 3).

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada en verimli sistemlerin Tasarım-6, Tasarım-2 ve Tasarım-3 oldukları bulunmuştur.

Her ne kadar diğer tasarımlara göre Tasarım-6 en enerji verimli gözükse de işletim ve bakım açısından bir değerlendirilme yapılırsa Tasarım-2 ve Tasarım-3 yek pare (intact body) olarak kullanılabilirlerken Tasarım-6'nın çok fazla bağlantı elemanı içermesinden dolayı (sızdırma problemi gibi) pratik kullanımının riskli olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada tasarımların karşılaştırılması iki boyutlu benzetimler (simulation) üzerinden yapılmış ve iki boyutlu yaklaşımın yeterli olabileceğine dair güven verici sonuçlar elde edilmiştir. Fakat yine de tasarımların üç boyutlu olarak incelenmesi ve bu çalışma ile kıyaslanması gerekmektedir. Bu sayede hassas ve yoğun ağ yapısı oluşturulması daha kolay olan iki boyutlu simülasyonların kullanım güvenilirlikleri de net olarak ortaya konmuş olabilecektir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar (Eklenen kaynaklar gösterildi ve kaynakların atf sırası değiştirildi)

- [1] Doğan H., Yılankırkan N. 2015. Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 3 (1): 375-384.
- [2] Kesicki F., Yanagisawa A. 2015. Modelling the Potential for Industrial Energy Efficiency in IEA's World Energy Outlook. Energy Efficiency, 8 (1): 155-169.
- [3] Economidou M., Todeschi V., Bertoldi P., Agostino D., Zangheri P., Castellazzi L. 2020. Review of 50 years of EU Energy Efficiency Policies for Buildings. Energy and Buildings, 225: 110322.
- [4] Staffell I., Brett D., Brandon N., Hawkes A. 2012. A Review of Domestic Heat Pumps. Energy & Environmental Science, 5 (11): 9291-9306.
- [5] Gan G. 2018. Dynamic Thermal Performance of Horizontal Ground Source Heat Pumps. The Impact of Coupled Heat and Moisture Transfer. Energy, 152: 877-887.
- [6] Liu X., Lu S., Hughes P., Cai Z. 2015. A Comparative Study of the Status of GSHP Applications in the United States and China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48: 558-570.
- [7] Sarbu I., Sebarchievici C. 2014. General Review of Ground-Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling of Buildings. Energy and Buildings, 70: 441-454.
- [8] Banks D. 2012. An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling. Wiley-Blackwell Baskı No:2, United Kingdom.

- [9] Karakoyun Y., Açıkgöz Ö., Dalkılıç A.S., Yumurtacı Z. 2020. An Experimental Investigation on Radiant Floor Heating Systems at Various Operating Conditions. *Journal of Thermal Engineering*, 6 (5): 751-771.
- [10] Esen H., İnallı M., Esen M., 2007. Numerical and Experimental Analysis of a Horizontal Ground-Coupled Heat Pump System. *Building and Environment*, 42: 1126-1134.
- [11] Hepbaşlı A., Hancıoğlu E. 2001. Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Testi ve Fizibilitesi. V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 3-6 Ekim 2001, İzmir.
- [12] Soğancı S., Tutkun M.O. 2019. Akış Analizleri (CFD) ve Mühendislik Süreçlerine Katkıları. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2019, İzmir.
- [13] Bhutta M.M., Hayat N., Bashir M.H., Khan A.R., Khan S., Ahmad K.N. 2012. CFD Applications in Various Heat Exchangers Design: A Review. *Applied Thermal Engineering*, 32: 1-12.
- [14] Yoon S., Kim M.J., Jeon J.S., Jung Y.B. 2021. Significance Evaluation of Performance Factors on Horizontal Spiral-Coil Ground Heat Exchangers. *Journal of Building Engineering*, 35: 102044.
- [15] Pu L., Xu L., Qi D., Li Y., 2019. A Novel Tree-Shaped Ground Heat Exchanger for GSHPs in Severely Cold Regions. *Applied Thermal Engineering*, 146: 278-287.
- [16] Fujii H., Nishi K., Komaniwa Y., Chou N. 2012. Numerical Modeling of Slinky-Coil Horizontal Ground Heat Exchangers. *Geothermics*, 41: 55– 62.
- [17] Xiong Z., Fisher D. E., Spitler J.D. 2015. Development and Validation of a Slinky™ Ground Heat Exchanger Model. *Applied Energy*, 141:57-69.
- [18] Chong C.S.A., Gan G., Verhoef A., Garcia G.R., Vidale P.L. 2003. Simulation of Thermal Performance of Horizontal Slinky-Loop Heat Exchangers for Ground Source Heat Pumps. *Applied Energy*, 104:603-610.
- [19] Mirzamanadi R., Hagentoft C.E., Johansson P. 2020. Coupling a Hydronic Heating Pavement to a Horizontal Ground Heat Exchanger for Harvesting Solar Energy and Heating Road Surfaces. *Renewable Energy*, 147: 447-463.
- [20] Anonim, 2010. Geothermal Communities, https://geothermalcommunities.eu/assets/presentation/5.Course_GT.pdf (Erişim Tarihi: 18.03.2021)
- [21] Çengel Y., Ghajar A. 2019. Isı ve Kütle Transferi Esasları ve Uygulamaları. Palme Yayınevi Baskı No:4, s. 878, Ankara-Türkiye.

Araştırma Makalesi / Research Article

The Assessment of H₂S Emission from Araç Stream, in Karabük

Kadir ULUTAŞ*, Ayhan KOCAMAN, Rahman ÇALHAN

*Karabuk University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, 78050, Karabuk, Turkey
(ORCID: 0000-0002-2931-3559) (ORCID: 0000-0002-1597-7936) (ORCID: 0000-0002-3894-8468)*

Abstract

Odor pollution is an important type of pollution that is subject to complaints in terms of quality of life and health. Since the odor perception is a sensorial process that occurs naturally with breathing, it is difficult to avoid when exposed. H₂S is one of the main sources of odor pollution and wastewater reservoir, estuarine and polluted river or waterways are among the most suitable areas for H₂S formation. The aim of this study is to determine the changes in H₂S concentrations on Araç Stream. Therefore, in this study, H₂S concentrations were determined instantaneously by using portable handheld gas monitors in air samples from the surface of Araç Stream at 15 points within the boundaries of Karabük city, and at the same time, pH and temperature values were determined. According to results, there were statistically significant differences in the H₂S and pH values between the sampling points ($p < 0.05$). H₂S concentration decreased in the order according to the sampling points as SP10 < SP1 < SP11 < SP2 < SP12 < SP3 < SP13 < SP14 < SP7 < SP8 < SP9 < SP15 < SP4 < SP5 < SP6. The highest level was determined after the industrial zone and the lowest levels were determined at the furthest point from the city center and industrial facilities. The results were shown in a map by using ArcMap program of ArcGIS software package.

Keywords: Odor pollution, H₂S, Araç Stream, Karabük.

Karabük Araç Çayı kaynaklı H₂S Emisyonunun Değerlendirilmesi

Öz

Koku kirliliği, yaşam kalitesi ve sağlık açısından şikâyet konusu olan önemli bir kirlilik türüdür. Koku algısı, nefes alma ile doğal olarak oluşan duyuşsal bir süreç olduğundan, maruz kaldığında kaçınılması zordur. H₂S, koku kirliliğinin ana kaynaklarından biridir ve atık su rezervuarı, nehir ağzı ve kirlili nehir veya suyolları H₂S oluşumu için en uygun alanlar arasındadır. Bu çalışmanın amacı Araç Çayı üzerindeki H₂S konsantrasyonlarındaki değişiklikleri belirlemektir. Bu nedenle bu çalışmada Karabük ili sınırları içerisinde 15 noktada Araç Çayı yüzeyinden alınan hava örneklerinde portatif el tipi gaz monitörleri kullanılarak anlık H₂S konsantrasyonları belirlenmiş ve aynı zamanda pH ve sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre örnekleme noktaları arasında H₂S ve pH değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar vardı ($p < 0,05$). H₂S konsantrasyonu, örnekleme noktalarına göre sırasıyla SP10 < SP1 < SP11 < SP2 < SP12 < SP3 < SP13 < SP14 < SP7 < SP8 < SP9 < SP15 < SP4 < SP5 < SP6 olarak azalmıştır. En yüksek seviye sanayi bölgesinden sonra, en düşük seviyeler ise şehir merkezi ve sanayi tesislerine en uzak olan noktada belirlenmiştir. Sonuçlar ArcGIS yazılım paketinin ArcMap programı kullanılarak bir haritada gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Koku kirliliği, H₂S, Araç Çayı, Karabük.

1. Introduction

Many people experience difficulties in terms of health and living comfort both in the workplace and in residential areas when exposed to different levels of hydrogen sulfide (H₂S) emissions that is the main sources of odor [1, 2]. H₂S is one of many airborne pollutants emitted by different sources such as rayon production, livestock feedlots, hog production facilities, meat processing plants, wastewater treatment

*Corresponding author: kadirulutas@karabuk.edu.tr

Received: 30.03.2021, Accepted: 12.08.2021

plants, pulp and paper industry, oil and gas refining processes [3], concentrated animal feeding operations [4], wastewater sources [5], river estuary [6] and polluted river or streams [7].

Water, one of the major components of life-support environment that is part of earth is vital necessity for ecosystem [8]. However, decrease in the quality of water resources is one of the most crucial problems that negatively affect human health and quality of life. In general, water resources are polluted as a result of anthropogenic activities due to the discharge of untreated domestic and industrial wastewater, population growth, pesticides and fertilizers, organic and inorganic wastes, urban development and poor water resource management systems [7, 9, 10]. Especially the discharge of sewage system and industrial wastewater directly to the receiving water sources reduces the water quality and causes odor problems.

H₂S is one of the most important compounds that cause odor and has very serious health effects. H₂S is a colorless, flammable gas and has a strong odor of rotten eggs [3, 11]. In nature H₂S produced by decaying organic matter, is formed by the reduction of sulfate to hydrogen sulfide gas with bacteria under anaerobic conditions in septic or sewer systems [11]. H₂S can cause eye irritation, upper respiratory tract irritation, respiratory failure, and histopathological changes in the nasal cavity. It may also affect the nervous system, cardiac and vascular function, and blood pressure [3].

Since the odor perception is subjective, the odor threshold of H₂S varies between 0.01-0.3 ppm. While 1-5 ppm H₂S is a moderately offensive odor level, it may cause nausea, tearing in the eyes, headache, or sleep loss with prolonged exposure. Eye damage, indigestion and loss of appetite may occur if exposed to 20-50 ppm H₂S on a few days. Severe eye damage and lung irritation, sudden loss of consciousness within 30 minutes; and death can occur within 4-8 hours when exposed to a concentration of 500 ppm H₂S [12, 13]. Inhalation of H₂S concentrations greater than 1000 ppm may be fatal in both humans and animals within seconds or minutes [11].

It is a fact that due to the developing industry and diversified economic activities, increasing population, the spread of irrigated agriculture, the increase in chemical fertilizers and other pesticides, both the amount of water and the water quality will be affected more negatively in the future. Thus, in this study, the H₂S pollutant formed in Araç Stream in Karabük was evaluated. The pollution load that increases due to the human activities of the stream reaches its maximum level at the Karabük outlet. Iron and steel plants, rolling mills, wastes from other industries, pesticides, domestic wastes and untreated wastewater cause the increase in pollution in the stream [14].

In addition, the pollution in the stream has caused fish deaths and annoying odors to reach serious levels [15]. However, since there is no study in the literature that determines the pollution level in Araç Stream, especially in terms of H₂S, this study will fill this gap. For these reasons, the aim of this study is to determine the H₂S concentration by sampling on the surface of the Araç Stream at 15 different points and perform spatial distributions of H₂S by ArcMap program of ArcGIS software package.

2. Material and Method

2.1. Study Area

The parts of the Araç and Soğanlı Streams within the borders of Karabük constitute the study area. Araç Stream subject to this research is located in North of Turkey Western Black Sea region, between South slope of Kure Mountains and North slopes of Ilgaz Mountains [14]. The source of the Araç Stream is the northern slopes of the Ilgaz Mountains. The total length of the Araç Stream is 150 km, the length within Karabük is 73 km and flow rate is 18.714 m³/sec. Soğanlı Stream originating from the southwest of Gerede. merges with Araç Stream in Karabük and takes the name Yenice River. The total length of Soğanlı Stream is 70 km, the length within Karabük is 32 km and flow rate is 28.066 m³/sec [16].

2.2. Sampling Strategy and Analysis of H₂S

It was thought that H₂S formation would be high in September due to the fact that the air temperature is above seasonal values. For this reason, although it is seen as the weak point of the study, the samples were collected one time on 14-15 September 2020. A total of 13 samples were collected from the 35 km long section of the Araç Stream. On the other hand, 2 samples were collected from Soğanlı Stream at a

distance approximately 5 km before merging with Ara Stream. A total of 15 samples were collected at distances ranging from 0.5-10 km. Sampling points (SP) are shown in Figure 1. Air sample was taken from the water surface by using apparatus with a 25 cm diameter as a flux chamber, and highly sensitive digital portable measuring devices with 550 ml/min flow rate (GEOTECH BIOGAS 5000 - Portable Gas Analyzer) were used for H₂S measurement. Measurements were carried out using portable pH meter to determine the water pH value. Water temperatures were determined using a mercury thermometer. All measurements were carried out instantaneously at the sampling points and recorded. The results were shown in a map by using ArcMap program of ArcGIS software package.



Figure 1. Sampling points

2.3. Statistical Analyses

IBM SPSS 22 statistic Data Editor was used in the statistical analysis of the results obtained. The Levene trial was used for normal distribution and homogeneity of deviations, so that the mean values of the H₂S (ppm) variables taken at various pollution points along the Ara Stream and the statistical differences between pollution points are revealed. Following this, an ANOVA test was performed as there were more than two groups. Differences between measured H₂S values at 15 different points were tested using Duncan's multiple comparison analysis. In the analyses, the α significance level was evaluated at 0.05.

2.4. Spatial Distribution

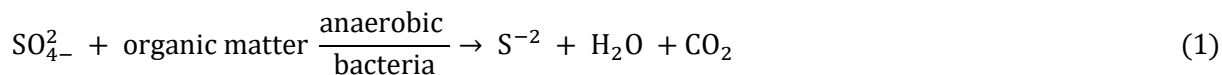
Geographical information system programs such as ArcGIS provide visual information about pollution sources and impact areas. ArcMap program of ArcGIS software package was used to create a digital map by using values of H₂S, pH and temperature. The coordinates of the sampling points were recorded while the samples were collected to create the distribution map. Grid, a raster GIS file format, was used to record the interpolation using the data at the sampling points. Topographic maps, satellite images and similar data of the study area were collected using GIS software GeoMedia and ArcGIS. Thus, an updatable database was created by entering the database [17].

3. Results and Discussion

H₂S is typically produced as a result of the degradation of sulfur-containing organic materials by bacterial activity [18]. However, parameters such as pH, temperature, BOD, COD and DO are important variables in this process. Dissolved oxygen is necessary for organisms in metabolic processes. The amount of oxygen required by organisms in the aerobic metabolic process is represented by BOD, and the amount of chemical oxygen required for the decomposition of organic matter by chemical reaction is represented by COD. COD is also used to estimate the amount of organic matter in water [19]. In aquatic environments such as coastal areas and ports close to cities, low dissolved oxygen levels are observed due to the biological oxygen demand resulting from seasonal temperature changes [20]. The low dissolved oxygen level leads to the conversion of the aerobic environment to the anaerobic environment [19], which is a suitable environment for the formation of H₂S. Temperature is an important parameter in the H₂S formation process due to its significant effect on DO and bacterial activity. As the temperature increases, the volatility of the liquid increases and at the same time the activities of bacteria

in the anaerobic environment increase. It also contributes to the anaerobicity of the environment as oxygen is less soluble at high temperatures.

Sulfate ion is one of the important anions found in natural waters and wastewater. Since sulfate is used as an electron acceptor for biochemical oxidations catalyzed by anaerobic bacteria in the absence of dissolved oxygen and nitrate, the sulfate ion is reduced to HS^- ion and S^{-2} ion under anaerobic conditions to form hydrogen sulfide (Equation 1-3).



Different pH levels affect the equilibrium reaction between H_2S , HS^- and S^{-2} . For example, if the pH level is 9 and above, most of the reduced sulfur is in the form of HS^- and S^{-2} ions, and the amount of H_2S is low. On the contrary, if the pH level is 9 and below, the equilibrium shifts towards the formation of un-ionized H_2S and the amount of H_2S increases [21].

Therefore, in order to determine H_2S , pH and temperature values, on-site measurements were carried out instantaneously triplicate at each point. Measurement results were given in Table 1.

Table 1. Values of H_2S , pH ve Temperature

Points	Coordinates		Description	H_2S (ppm)	pH	T (°C)
	Latitude	Longitude				
SP1	41.2035	32.9045	There are no industrial facilities or heavy pollutant sources	1.00	7.71	19.00
SP2	41.2151	32.7703	There are no industrial facilities or heavy pollutant sources but within the residential areas	2.33	8.15	25.00
SP3	41.2136	32.7571	There is a residential area, restaurant and shopping center. Agricultural activities are also carried out	3.00	8.52	24.00
SP4	41.2158	32.7372	It is close to the residential area and poultry farm activity	3.67	8.41	25.00
SP5	42.2219	32.7129	There is no residential area and pollution source	4.00	7.81	23.50
SP6	41.2219	32.7129	It is located after the industrial site, textile production and residential area	5.33	8.10	24.00
SP7	41.2115	32.6646	There is intensive greenhouse activities, residential area and dormitory building	3.33	8.24	28.00
SP8	41.2078	32.641	There are not residential areas however, there are university and small iron and steel production facilities	3.33	8.19	24.50
SP9	41.2006	32.6302	There are not many residential areas, however greenhouse cultivation activities are carried out	3.33	7.85	24.00
SP10	41.1652	32.6434	It is located before the city center of Karabük and the big iron and steel industry facility	0.67	8.10	24.00
SP11	41.1893	32.6192	It is located after the heavy iron and steel making industry	2.00	8.17	24.00
SP12	41.1923	32.6084	It is the first point after the merger of Soğanlı and Araç Stream	2.67	8.17	27.00
SP13	41.172	32.583	Planned residential area is the majority in this area and there is no sources of serious pollution	3.00	8.01	25.00
SP14	41.1691	32.579	It is located before an integrated meat facility	3.00	8.03	27.00
SP15	41.1594	32.5592	It is located after the wastewater treatment plant	3.33	7.90	24.50

According to the results, the lowest concentration of H_2S were obtained at SP1 and SP10 as 1 ppm and 0.67 ppm respectively. SP1 was at the beginning position of the Araç Stream at the Karabük provincial border. When this point was investigated, it was seen that there were no industrial facilities

or heavy pollutant sources nearby. SP10 was located before the city center of Karabük and the big iron and steel industry facility. In addition, it is thought that this point remained cleaner due to the presence of a dam 3.22 km before this point. The fact that both points were cleaner than the others is expected as they did not interact with the pollutant sources.

The third lowest H₂S concentration was at SP2, approximately 10 km from SP1. Although there is no industrial facility and heavy pollutant source between both points, SP2 is within the residential areas. At this point, the H₂S concentration increased 133% compared to the first point. SP3 is 11.26 km from SP1 and 1.26 km from SP2. This point is located in the area where facilities such as residential area, restaurant and shopping mall are located. In addition, agricultural activities are carried out around it. At this point, H₂S concentration increased by 29% and 200%, respectively, compared to SP2 and SP1. SP4 is 13.05 km from SP1 and 1.79 km from SP3. SP4 has a higher potential for pollution than the previous point, as it is close to the residential area and poultry farm activity. At this point, H₂S concentration increased by 22% and 267%, respectively, compared to SP3 and SP1. SP5 is 15.43 km from SP1 and 2.38 km from SP4. When examined between two points, it is seen that there is no residential area. In addition, there is no factor to increase the pollution level. Therefore, there is no serious difference between the two points. At this point, H₂S concentration increased by 9% and 300%, respectively, compared to SP4 and SP1. Sampling point 6 is located after the industrial site, textile production and residential area. SP6 is 18.06 km from SP1 and 2.63 km from SP5. The highest concentration of H₂S was determined at the this sampling point. At this point, H₂S concentration increased by 33% and 433%, respectively, compared to SP5 and SP1. SP7 is 21.52 km from SP1 and 3.46 km from SP6. It is seen that there is intensive greenhouse activities, residential area and dormitory building in this area. SP7 has H₂S lower concentration of than the previous point. At this point, H₂S concentration decreased by -38% and increased by 233%, respectively, compared to SP6 and SP1. SP8 is 25.19 km from SP1 and 3.67 km from SP7. There are not residential areas however, there are university and small iron and steel production facilities. SP8 has the same concentration of H₂S as the previous point. At this point, H₂S concentration increased by 0% and 233%, respectively, compared to SP7 and SP1. SP9 is 26.42 km from SP1 and 1.23 km from SP8. Although there are not many residential areas, greenhouse cultivation activities are carried out. In addition, landscaping were made on along the stream in this area. This situation causes no change in SP9 has the same concentration of H₂S as the previous point. At this point, H₂S concentration increased by 0% and 233%, respectively, compared to SP8 and SP1. SP11 is located after the heavy iron and steel making industry, and SP11 is 4.52 km from SP10 on the Soğanlı Stream. This sampling point is the second point on the Soğanlı Stream and the last sampling point before joining the Araç Stream. It is seen that the H₂S concentration at this point is higher than SP10. At this point, H₂S concentration increased by 199%, compared to SP10. SP12 is 28.02 km from SP1, 5.18 km from SP10. At SP12 that is the first point after the merger of Soğanlı and Araç Streams H₂S concentration is 2.67 ppm. This result is higher than SP11 (2.00 ppm) on the Soğanlı Stream however, lower than the SP9 (3.33 ppm) on the Araç Stream. SP13 is 3.94 km from SP12. Planned residential area is the majority in this area and there is no sources of serious pollution. At this point, H₂S concentration increased by 12% compared to SP12. The distance between SP14 and SP13 is 0.5 km. Between these two points there is only an integrated meat facility. Although an increase in pollution is expected with this facility, fortunately there is no difference in concentration (3.00 ppm) between the two points. The distance between SP15 and SP14 is 2.18 km. The last sampling point is located after the wastewater treatment plant. At this point, H₂S concentration increased by 11% compared to SP14.

The H₂S in gaseous form on the surface of Araç Stream passed into the atmosphere and dispersed. The spatial distribution map was prepared to show affect area of H₂S using ArcMap program of ArcGIS software package. (Figure 2). As seen in Figure 2, the effect of topography and meteorological conditions is not seen in distribution map. Meteorological, topographic and emission information are used in the air quality modeling system created with the mathematical simulation of real weather conditions in the AERMOD program. With the modeling, the change in the concentrations of the pollutants emitted from the source can be seen according to the meteorological and topographic

changes in the study area [22]. Therefore, it will be beneficial to use the AERMOD program to create a more precise distribution map.

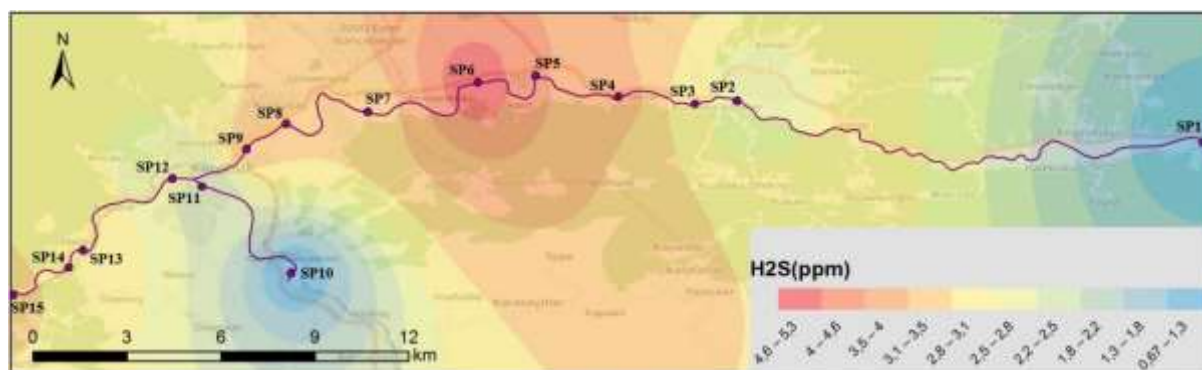


Figure 2. Distribution map of H₂S

Based on the Levene test, the hypothesis that the variances were equal was confirmed, $F(14,30)=256.155$, $P=0.673$ ($p>0.05$) (Table 2). This is because the mean values of the H₂S (ppm) variables of different pollution points along the Araç Stream and the statistical differences between the pollution points. In the ANOVA test of group differences, the difference between points was very significant at level $P<0.001$ (Table 3). In Duncan's multiple comparison analysis, there is no significant difference between the mean H₂S levels at SP7, SP8, SP9 measured at 15 different points. And SP3, SP13, SP14 points, there is no significant difference among H₂S levels. However, it is clear that there is a significant difference between the other points measured according to the Duncan test and between points SP3, SP7, SP8, SP9, SP13, SP14 (Table 4).

Table 2. Levene Statistic Homogeneity Test

H ₂ S (ppm)			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
0.789	14	30	0.673

Table 3. ANOVA Testing of Levels of H₂S (ppm) between Points

	n	df	F	Sig.
Between Groups	15	14	256.155	0.000
Within Groups	3	30		
Total	45	44		

Table 4. Duncan multi comparison test

Points	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
H ₂ S(ppm) Mean±Std	1±0.05	2.33±0.2	3±0.15	3.67±0.2	4±0.1
Groups	h	f	e	c	b
Points	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10
H ₂ S(ppm) Mean±Std	5.33±0.1	3.33±0.1	3.33±0.2	3.33±0.1	0.67±0.02
Groups	a	d	d	d	i
Points	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15
H ₂ S(ppm) Mean±Std	2±0.1	2.67±0.1	3±0.05	3±0.1	3.23±0.1
Groups	g	e	e	e	d

$P<0.05$

According to the statistical analysis, statistically significant differences were found between the sampling points in H₂S and pH values using the SPSS Statistics program ($p < 0.05$) but were not found for temperature. This result shows the effect of the properties of the sampling points on H₂S and pH. Spatial distribution map of temperature and pH values is shown in Figure 3 and 4.



Figure 3. Temperature values ($^{\circ}\text{C}$)



Figure 4. pH values

It has been stated in the study by Wiener et al. that many rivers empty into the Mexican port and the Gulf of Mexico is one of the world's largest oil producing areas. It was also emphasized in the study that H_2S formation is affected by the oxygen content of the water [20]. It has been reported in the study by Isworo et al. that Indonesian State Oil Company activity produces waste that allows pollution of the Donan river. The values of the pollutant parameters were determined to reveal the pollution level of the study area. BOD, COD, DO levels were found in the range of 5.5-7.2 ppm, 33.64-33.73, 6.01-5.90 ppm, respectively. In addition H_2S concentration was determined as 0.2 ppm [19]. In the study conducted by Ogbemudia and Ita [6] in Lower Stubbs Creek, Qua Iboe River Estuary, Nigeria air quality was assessed with samples taken from 5 different points using portable hand held gas monitors for atmospheric gases. The concentration of H_2S ranges from 0.6 ppm to 0.9 ppm, with an average of 0.77 ppm. H_2S values in both studies were found to be lower. In study by Moreno-Silva et al. [5] different H_2S emission sources were evaluated and simulated in order to determine the odor effect of the Munas reservoir in Colombia. Flux chamber was used in the study and it was figured out that in critical conditions Munas reservoir can cause an atmospheric concentration of 4 ppm H_2S in reservoir-surrounding urban region. This result was in the H_2S level range (0.67-5.33 ppm) in present study due to the similarity of the method and study area. In another study by Antai et al. [23] changes in air quality was assessed in wet season in Eleme, Rivers State, Nigeria and the average concentration of H_2S was recorded as 0.37 ppm. Because the study was conducted in the rainy season, lower results may have been obtained. In the study conducted by Novita et al. [7], the water quality of the Bedadung River in Jember Regency, East Java, Indonesia was evaluated with samples taken from 5 different points, and the average concentration of H_2S was determined as $0,035 \text{ mg/dm}^3$. In a study conducted in 1998, the average sulfur concentration in river waters was found to be 180 mg/L. The irritating odors caused by especially H_2S continued until the first half of 2001 where streams carried untreated domestic and industrial wastewater to İzmir Bay [24, 25]. Rim-Rukeh found H_2S concentration in the vicinity of dump site fires in the range of 3.4 to 7.7 ppm [26]. The average H_2S concentration in present study is also within this range.

Since H_2S formation is affected by water or wastewater properties such as BOD, COD, DO, pH and temperature, as well as environmental conditions such as untreated industrial or domestic wastes, and use of area such as industrial, residential or agricultural, different or close concentrations of H_2S can be detected in each study. As different land uses change the originality of the land structure [27],

anthropogenic activities can also disrupt the structure of water and air. In this study area, there are many different anthropogenic activities such as agriculture, iron and steel industry, vehicle repair, institutional, domestic and livestock. For example, livestock is one of the most important sources of H₂S. Animal waste can be a source of H₂S as a result of the degradation of biosolids, including manure and feed [28]. In addition, wastewater greatly contributes to the formation of H₂S as a result of decomposition of organic matter by microorganisms in anaerobic conditions [29]. Moreover, industrial activities can also cause H₂S pollution [30], especially in food, rubber and leather industries, odor pollution arising from raw materials and processes can be observed [31]. Although it is at a very low level compared to other emission sources, solid waste landfills are among the most important H₂S sources [32]. Finally, H₂S is also associated with agricultural processes [33] due to the decay of the organic structure of agricultural wastes in aqueous environments such as streams. Therefore, different or close concentrations of H₂S were determined both between sampling points and other studies depending on anthropogenic activities.

4. Conclusion and Recommendations

In this study, the differences in atmospheric H₂S concentration along Araç Stream were determined. In addition, the spatial distribution of H₂S emissions from Araç Stream was shown in this study.

- It has been observed that closeness of residential areas, industrial sites, agricultural and industrial activities cause an increase in H₂S concentration.
- Statistically significant differences were found between the sampling points in H₂S and pH values using the SPSS Statistics program ($p < 0.05$), but were not found for temperature.
- In particular, it was observed that the H₂S level was higher at the sampling points after the places where the untreated water was given to the Araç Stream.
- It was determined that the measurements were above the odor threshold value.
- In addition, since the H₂S concentrations are generally between 1-5 ppm, prolonged exposure may adversely affect health and quality of life.
- Since there are no topographic and meteorological effects in the spatial distribution map by ArcMap program of ArcGIS software package, it will be useful to use programs such as AERMOD to create a more precise distribution map.

H₂S has not been measured in Araç Stream before. For this reason, it can be used as an important data source in the evaluations to be made about whether the pollution load will increase in the future. It is also expected to contribute to the literature as a data source that can be used for comparison in similar studies conducted in different streams. As a result, it was observed that H₂S was spread from the Araç Stream but was not effective in residential areas due to atmospheric dispersion. However, it is obvious that it may cause problems in the future unless the necessary measures are taken. Therefore, tight control should be applied and sources of pollutants given to the Stream should be prevented.

Author's Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The authors declare that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Hussien B. M., Rabeea M. A., Farhan M. M. 2020. Characterization and behavior of Hydrogen Sulfide plumes released from active sulfide-tar springs, Hit-Iraq. Atmospheric Pollution Research, 11 (5): 894-902.

- [2] Ulutaş K., Pekey H., Demir S., Dinçer F. 2017. Determination of odor levels in wastewater treatment plants by olfactometric method. *Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 19 (57): 867-877.
- [3] Woodall G. M., Smith R. L., Granville, G. C. 2005. Proceedings of the hydrogen sulfide health research and risk assessment symposium October 31-November 2, 2000. *Inhalation toxicology*, 17 (11): 593-639.
- [4] Pavilonis B. T., O'Shaughnessy P. T., Altmaier R., Metwali N., Thorne P. S. 2013. Passive monitors to measure hydrogen sulfide near concentrated animal feeding operations. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15 (6): 1271-1278.
- [5] Moreno-Silva C., Calvo D. C., Torres N., Ayala L., Gaitán M., González L., Rincón P., Susa M. R. 2020. Hydrogen sulphide emissions and dispersion modelling from a wastewater reservoir using flux chamber measurements and AERMOD® simulations. *Atmospheric Environment*, 224: 117263.
- [6] Ogbemudia F. O., Ita R. E. 2020. Assessment of Air Quality and Meteorological Variables in Lower Stubbs Creek, Qua Iboe River Estuary, Nigeria. *World News of Natural Sciences*, 28: 121-130.
- [7] Novita E., Pradana H. A., Purnomo B. H., Puspitasari A. I. 2020. River water quality assessment in East Java, Indonesia. *Journal of Water and Land Development*, 135-141.
- [8] Odum E. P. 1997. *Ecology: a bridge between science and society*. Sinauer Associates Incorporated, Sunderland, 1-330.
- [9] Huang J., Yin H., Chapra S.C., Zhou Q. 2017. Modelling dissolved oxygen depression in an urban river in China, *Water*, 9: 1-19.
- [10] Water pollution from agriculture: A global review, Rome-Colombo, 2017. <http://www.fao.org/3/i7754e/i7754e.pdf> (Available: 29.02.2021).
- [11] Toxicological review of hydrogen sulfide, 2003. EPA/635/R-03/005 Washington, DC https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0061tr.pdf (Available: 29.02.2021).
- [12] Guidotti T.L. 2010. Hydrogen sulfide: advances in understanding human toxicity, *International journal of toxicology*, 29 (6): 569-581.
- [13] Guidotti T.L. 1996. Hydrogen sulfide, *Occup Med.*, 46 (5): 367-371.
- [14] Polat N. 2019. Araç çayı havzası'nın uygulamalı hidrografyası. Master Thesis, Karabük University, Karabük.
- [15] Karabük'te toplu balık ölümleri, 2018. <https://tv.haberturk.com/tv/burasi-turkiye/video/karabukte-toplu-balik-olumleri-cok-sayida-balik-karaya-vurdu/496426> (Available: 29.02.2021).
- [16] Çevre Durum Raporu, 2013. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Karabük.
- [17] Özen F. 2019. Evaluation of soil fertility in citrus planted areas by geostatistics analysis method. *Eurasian Journal of Soil Science*, (4): 351-363.
- [18] Ölmez S.S. 2008. Odour control in wastewater treatment plants using ozonation and chemical scrubbing. (Master Thesis, Marmara University, Istanbul).
- [19] Isworo S, Oetari P.S, Indah N.A. 2017. Water Quality Status of River Donan due to Operational Refinery Pertamina Unit IV Cilacap-Central Java-Indonesia. *Asian Journal of Biology*, 1-10.
- [20] Wiener M.S, Salas B.V, Quintero-Nunez M, Zlatev R. 2006. Effect of H₂S on corrosion in polluted waters: a review. *Corrosion engineering, science and technology*, 41 (3): 221-227.
- [21] Sawyer C.N, Mc Cartey T.L, Parkin G.S. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering*, 5th edition.; Mc Graw-Hill International Editions, New York, USA.
- [22] Jesse L, Cristiane L, Michael A.J. 2015. AERMOD View User Guide, Lakes Environmental, Kanada.
- [23] Antai R.E, Osuji L.C, Obafemi A.A, Onojake M. 2020. Assessment of Changes in Air Quality in Wet Season: A Case Study of Eleme, Rivers State, Nigeria, *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 14 (5): 10-21.
- [24] Muezzinoglu A. 2003. A study of volatile organic sulfur emissions causing urban odors. *Chemosphere*, 51 (4): 245-252.
- [25] Muezzinoglu A, Odabasi M, Onat L. 2001. Volatile organic compounds in the air of İzmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 35 (4): 753-760.

- [26] Rim-Rukeh A. 2014. An assessment of the contribution of municipal solid waste dump sites fire to atmospheric pollution. *Open Journal of Air Pollution*, 3 (03): 53.
- [27] Verma A, Kumar R, Yadav S. 2020. Distribution, pollution levels, toxicity, and health risk assessment of metals in surface dust from Bhiwadi industrial area in North India. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26 (8): 2091-2111.
- [28] Schiffman S.S, Bennett J.L, Raymer J.H. 2001. Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108 (3): 213-240.
- [29] Jeon E.C, Son H.K, Sa J.H. 2009. Emission characteristics and factors of selected odorous compounds at a wastewater treatment plant. *Sensors*, 9 (1): 311-326.
- [30] Dincer F. 2007. Characteristic and Chemistry of Odors from Selected Industrial Facilities in Izmir (Doctoral dissertation, Ph. D Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir).
- [31] Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Yönetmeliği. T.C Resmi Gazete. 19 Temmuz 2013 tarih, Sayı:28712.
- [32] Saral A, Demir S, Yıldız Ş. 2009. Assessment of odorous VOCs released from a main MSW landfill site in Istanbul-Turkey via a modelling approach. *Journal of Hazardous Materials*, 168 (1): 338-345.
- [33] Rappert S, Müller R. 2005. Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Management*, 25 (9): 887-907.

Araştırma Makalesi / Research Article

Eklemeli İmalat Yöntemi ile Optimum Düz Dişli Çark Tasarımı ve Üretimi

Oğuz DOĞAN*, Muhammed Safa KAMER

*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Kahramanmaraş, Turkey
(ORCID: 0000-0003-4203-8237) (ORCID: 0000-0003-3852-1031)*

Öz

Dişli çarklar endüstride en çok kullanılan güç aktarma organı olarak karşımıza çıkmaktadır. Güç aktarımının olduğu hemen her yerde ilk sırada kullandıklarından dolayı, üzerlerinde buldukları makinelerin toplam ağırlıklarını önemli ölçüde arttırmaktadırlar. Bu nedenle dişli geometrisi üzerinde gerçekleştirilecek hafifletme çalışmaları ile birlikte daha hafif ve sürdürülebilir makine tasarımları gerçekleştirilebilecektir. Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ve topoloji optimizasyonu yöntemleri kullanılarak, hafif yenilikçi ve sürdürülebilir bir dişli çark tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle standart bir dişli geometrisi oluşturulmuştur. Ardından standart dişli çarka topoloji optimizasyonu uygulanarak optimum malzeme dağılımı belirlenmiştir. Elde edilen malzeme dağılımı, üretilebilirlik ve mukavemet kısıtları dikkate alınarak yeni bir dişli çark tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan yeni ve standart dişliye birim yükler uygulanarak, dişli çarkların mukavemet performansları test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ardından tasarlanan standart ve optimize edilmiş dişli çarklar üç boyutlu yazdırma yöntemi ile üretilmiş ve kütle değişimleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, standart dişli çarka göre % 30 oranında hafifletme sağlanırken, gerilme değerlerinde ise %15'lik bir artış gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Düz dişli çarklar, Topoloji optimizasyonu, Eklemeli imalat yöntemi

Optimum Spur Gear Design and Production with Additive Manufacturing Method

Abstract

Gears are the most used powertrain elements in the industry. They significantly increase the total weight of the machines on which they are mounted, since they are used in the first place in almost every place where there is power transmission occur. For this reason, lighter and more sustainable machine designs will be able to be realized with the lightening studies to be carried out on the gear geometry. In this study, a lightweight, innovative and sustainable gear design has been implemented by using additive manufacturing and topology optimization methods. At first standard gear geometry has been created. Then, the optimum material distribution is determined by applying topology optimization to the standard gear. Considering the material distribution form the topology optimization, manufacturability and strength constraints, a novel gear design has been performed. The strength performances of gears are tested and compared by applying unit loads to the designed new and standard gear, then, designed standard and optimized gears are produced by 3D printing method and mass changes are measured. As a result of the study, 30% mass reduction is achieved however; the stress values are increase 15% compared to the standard gear.

Keywords: Spur gears, Topology optimization, Additive manufacturing

1. Giriş

Dişli çarklar diğer güç aktarma organları ile karşılaştırıldığında, yüksek mukavemet, sabit çevrim oranı, geniş sıcaklık aralığında çalışma, yüksek güç aktarma avantajlarından dolayı endüstride mikro elektromekanik sistemlerden, rüzgâr türbinlerine, hava ve uzay taşıtlarına kadar yaygın olarak

* Sorumlu yazar: oguzdogan@ksu.edu.tr

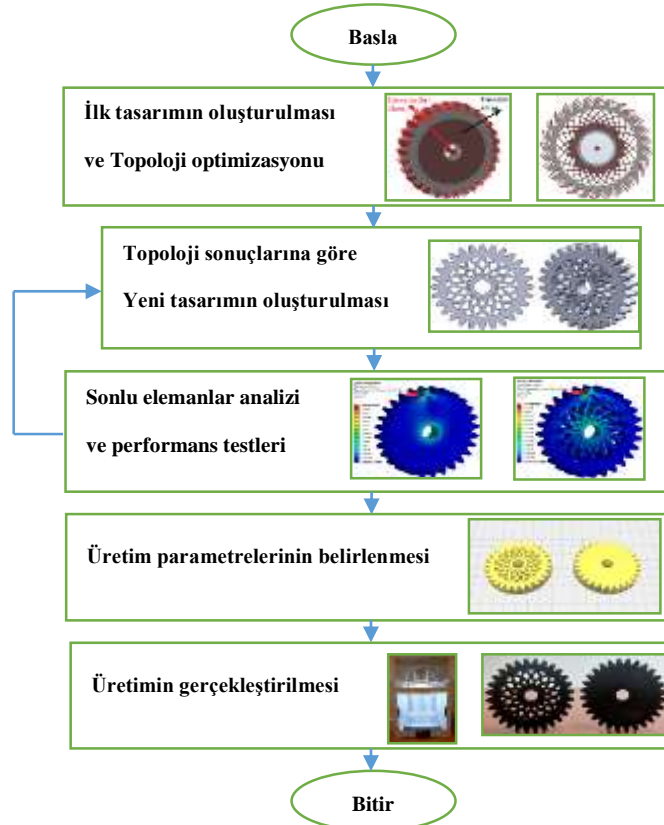
Geliş Tarihi: 09.04.2021, Kabul Tarihi: 09.06.2021

kullanılmaktadır. Dişli çarklar standartlaşmış boyut ve hesap yöntemine sahip makine elemanları olmasına rağmen günümüzde üzerinde en çok araştırmanın yapıldığı makine elemanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni dişli çarkların daha dayanıklı, uzun ömürlü, verimli, az hacimli, hafif, sessiz çalışma gibi talepleri karşılamak için tasarlanmak istenmesidir.

Dişli çarklar güç aktarma organının kütlesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle aktarılabilecek güce göre en küçük ve en hafif dişli çark tasarımının yapılması gerekmektedir. Literatür incelendiğinde dişli kutusu ve dişli çarkların hafifletilmesi üzerine birçok çalışma mevcuttur [1-6]. Bu çalışmaların büyük çoğunluğunda farklı optimizasyon yöntemlerinin kullanılmıştır. Bu yöntemlerden en önemlisinin ise topoloji optimizasyonu olduğu görülmektedir.

Topoloji optimizasyonu temelde, bir eleman üzerine gelen yükler ve kısıtlar doğrultusunda o elemanı olabildiğince en hafif, diğer taraftan en rijit yapan malzeme dağılımının belirlenmesine yarayan bir yöntemdir. Topoloji optimizasyonu birçok yapısal problemin boyutsal iyileştirmenin yapıldığı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde çok farklı elemanların topoloji optimizasyonu ile boyutsal olarak iyileştirildiği görülmektedir [7-8]. Ancak bu yöntemde elde edilen malzeme dağılımları bazı durumlarda geleneksel yöntemlerle üretilemeyecek kadar karmaşık yapıda olduğu görülmektedir. Bu nedenle son yıllarda bu tarz yapıların üretiminde yeni sayılabilecek bir yöntem olan eklemeli üretim yöntemine geçilmiştir.

Eklemeli imalat yöntemi son on yıl içerisinde hızla gelişen yeni bir üretim yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Eklemeli imalat yönteminde üç boyutlu olarak tasarlanan ürün geometrisi, geleneksel yöntemlerden farklı olarak katmanlar şeklinde ürünün inşa edilmesi prensibine dayanır. Bu nedenle geleneksel üretim yöntemleri ile üretilemeyecek veya üretimi çok pahalı olan ürünler ucuz ve kolay bir şekilde üretilmektedir [9]. Ayrıca bu yöntemle malzeme israfının da önüne geçilmektedir. Son yıllarda, eklemeli imalat, özel küçük parti üretimi veya prototipleme için güvenilir bir üretim yöntemi haline gelmiştir ve CAD tasarımlarının gerçeğe dönüştürülmesini hızlandırmıştır.



Şekil 1. Bu çalışmada izlenen akış diyagramı

Eklemeli imalat yöntemi güvenilir bir yöntem olmak ile birlikte, tasarım hazırlık sürelerini kısaltır ve geleneksel yöntemlerle üretilmesi oldukça zor olan geometrilerin üretimini basit ve ucuz hale getirmektedir. Bu yönüyle de geleneksel makine mühendisliğinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır

[10-12]. Eklemeli imalat yöntemi özellikle 1000 adet altı özel dişli çark üretimleri için günümüzde maliyet bakımından en uygun üretim yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Eklemeli imalat yöntem ile dişli çark üretiminin gerçekleştirildiği birçok çalışma bulunmaktadır [13].

Bu çalışmada, topoloji optimizasyonu ve üç boyutlu üretim yöntemi kullanılarak hafifletilmiş yenilikçi ve sürdürülebilir bir dişli tasarım süreci detaylı olarak anlatılmaktadır. Öncelikle standart bir dişli geometrisinden yararlanılarak topoloji optimizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen malzeme dağılımına göre, yeni tasarım dişli geometrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni ve eski dişli geometrileri için sonlu elemanlar analiz yöntemi ile performans kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Performans olarak yeterli bulunan dişli çarklar üretim parametrelerinin belirlenmesinin ardından üç boyutlu yazdırma yöntemi ile üretilmiştir. Bu çalışmada izlenen akış diyagramı Şekil 1’de gösterilmektedir. Akış diyagramı incelendiğinde, ilk tasarım ve topoloji optimizasyonun ardından, yeni dişli gövde tasarımı gerçekleştirilmiştir. Akabinde sonlu elemanlar testleri ile tasarlanan yeni ve eski standart dişli çarkın mukavemet özellikleri belirlenmiş son aşamada ise üç boyutlu yazdırma tekniği ile tasarlanan dişli çarklar üretilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve sonlu elemanlar analizi (FEA) endüstrinin çok farklı alanlarında ürün tasarımı, optimizasyonu ve doğrulama aşamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ise özellikle son yıllarda metal üretim kabiliyetlerinin artması ile birlikte endüstride hızla kullanım alanı artmaktadır. Bu çalışmada, optimum boyutlara sahip dişli çark tasarımının gerçekleştirilebilmesi için öncelikle, topoloji optimizasyonu tekniği kullanılarak en uygun malzeme dağılım yapısı elde edilmiştir. Elde edilen malzeme dağılım deseninden yararlanılarak üç boyutlu yazıcılar ile üretilebilir yeni tasarıma geçilmiştir. Yeni tasarım sonlu elemanlar analizi performans testine tabi tutulmuştur. Performans testinden başarı ile geçen optimum boyutlara sahip dişli geometrisi üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilmiştir.

2.1. Düz Dişli Çarklar için Topoloji Optimizasyonu Modeli

Topoloji optimizasyonu yöntemi, bir makine elemanı, yapı veya sistem üzerine gelen yükler altında o makine elemanı veya yapı için, optimum malzeme dağılımının bulunmasını sağlar. Topoloji optimizasyonun amacı yüklemeler altında, parça rijitliği en üst düzeye çıkartarak parçanın kütlelerinin en aza indirilmesidir. Bu çalışmada topoloji optimizasyonu, geleneksel yöntemlerle üretilen bir dişli çarkın, mukavemet değerlerinden feragat etmeden gövde tasarımının değiştirilmesi ile hafif ve yenilikçi ve üç boyutlu üretim teknikleri ile üretilebilen bir dişli çarkın tasarımında kullanılmıştır.

Topoloji optimizasyonunun gerçekleştirilebilmesi için öncelikle mevcut sistemlerde kullanılan standart bir dişli tasarımı oluşturulmuştur. Tablo 1’de bu çalışmada kullanılan standart dişli çark tasarım parametreleri ayrıntılı olarak verilmektedir.

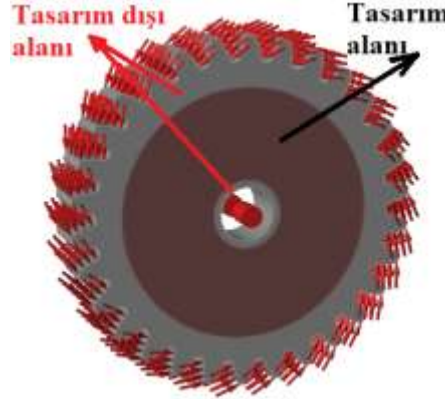
Tablo 1. Dişli tasarım parametreleri

Modül (m) / (mm)	2
Diş sayısı	28
Diş başı faktörü (h_a)	1*m
Diş dibi faktörü (h_f)	1,25*m
Diş genişliği (b) / (mm)	10
Kesici takım uç yarıçapı (ρ_f)	Tam yuvarlak uçlu takım
Topoloji tasarım dışı alanı rim kalınlığı	2,25*m

Topoloji optimizasyonu yapılırken yapı üzerindeki tüm bölgelerden malzeme çıkarımının yapılması doğru bir yaklaşım değildir. Yüklemeler ve mesnetlerin uygulandığı, bölgeler ile kritik öneme sahip bölgelerin topoloji alanı dışında bırakılması gerekmektedir. Bu nedenle topoloji optimizasyonu gerçekleştirilirken topoloji tasarım alanı ve tasarım dışı alanların belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, dişli çarkın dış yüzeylerinden başlayarak 2,25*m rim kalınlığına kadar olan kısım ile merkez bölgesindeki 3 mm kalınlığındaki bölge tasarım dışı alan olarak tanımlanmıştır. Geriye kalan iç bölgeler

ise tasarım alanı olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilecek olan topoloji optimizasyonu sadece bu alan içerisinde meydana gelecektir.

Topoloji optimizasyonu çalışmalarında uygulanan yüklerinin büyüklüklerinin malzeme dağılımı ile doğrudan ilişkisi bulunmadığından dönme yönüne göre tek taraftan olmak üzere sabit birim yükleme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca dişli çarkın mil bağlantı bölgesi altı serbestlik derecesi sıfır olacak şekilde belirlenmiştir. Şekil 2’de topoloji optimizasyonu için sınır şartları gösterilmektedir.



Şekil 2. Topoloji optimizasyonu sınır şartları

Üretilebilirlik topoloji optimizasyonu için ana kısıtlamalardan bir tanesidir. Bu nedenle topoloji tasarımında üretilebilirlik kriterleri altında revize edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, üretim metodu olarak eklemeli imalat yöntemi kullanıldığından topoloji optimizasyonu sınır şartları belirlenirken üretilebilirlik kısıdı olarak sadece simetri tanımlaması yapılmıştır. Optimizasyon probleminin amacı maksimum rijitlik olarak belirlenmiştir. Ayrıca tasarım alanı için %50 hacim azaltılması kısıt olarak tanımlanmıştır. Topoloji optimizasyonu problemi Solidthinking Inspire paket programı kullanılarak tanımlanmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

2.2. Optimize Edilmiş Dişli için Gerçekleştirilen Performans Analizleri

Topoloji optimizasyonu sonucunda yeniden tasarlanan dişli çark ile standart dişli çark arasındaki mukavemet ve kütle açısından performans kıyaslamasının yapılması için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak birim yük altında her iki dişli çarkta oluşan gerilme değerleri kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada ANSYS Workbench 19.1 sonlu elemanlar paket programının static – structural modülü analizlerde kullanılmıştır. Genel sonlu elemanlar analiz prosedürü incelendiğinde öncelikle analiz edilecek elemanların 3D CAD geometrilerinin oluşturulması gerekmektedir. Analizlerde kullanılacak dişli çarkların CAD geometrileri Solidworks programında oluşturularak ANSYS programına aktarılmıştır.

Tablo 2. PLA malzemesi için analizlerde kullanılan mekanik özellikler

Elastisite Modülü (MPa)	2400
Poisson Oranı	0,35
Özkütke (g/cm ³)	1,24
Akma Gerilmesi (MPa)	49,5
Kopma Gerilmesi (MPa)	45,6

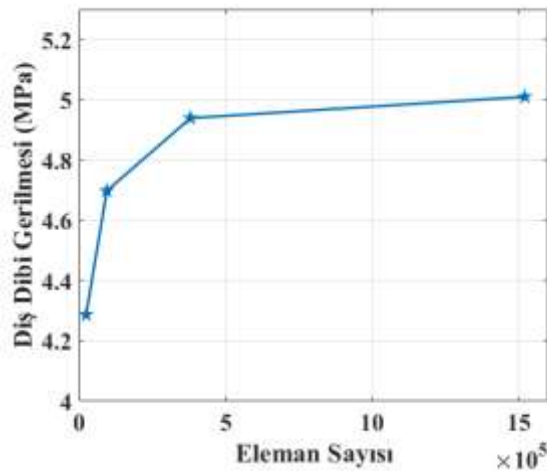
Sonlu elemanlar analiz prosedürünün ikinci adımı olarak tasarımları tamamlanan dişli çarkların malzeme tanımları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada üretilen dişli çarkların malzemesi PLA (Polylactic acid) olarak belirlendiğinden analizlerde de PLA malzemesinin mekanik özellikleri kullanılmıştır. Yapısal statik analizlerde eğer akma değerinin üzerine çıkmıyorsa sadece elastisite modülü ve poisson oranı değerlerinin tanımlanması yeterli olacaktır. Ancak, analizi yapılan eleman üzerinde herhangi bir hasar olup olmadığını tespit etmek için akma ve kopma gerilmesi bilgilerine ihtiyaç olmaktadır. PLA malzemesi için bu çalışmada kullanılan mekanik özellikler tablo 2’de verilmektedir.

Sonlu elemanlar analizinin en önemli aşamalarından bir tanesi de ağ yapısının tanımlanmasıdır. Ağ yapısının yanlış tanımlanması durumunda, elde edilecek olan sonuçta doğrudan yanlış olacaktır. Bu nedenle sonlu elemanlar analizleri yapılırken ağ yapısının doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Yapısal analizlerde ANSYS Workbench ortamında birbirinden farklı eleman tipleri bulunmaktadır. Yapısal analizlerde geometrinin müsaade etmesi durumunda, hexahedral eleman tipinin kullanılması bazı çalışmalarda önerilmektedir [7]. Ancak analizi yapılacak eleman geometrisinin karmaşık olduğu durumlarda tetrahedral veya bu iki eleman tipinin karışımı olarak da ağ yapısının oluşturulması mümkün olacaktır. Dişli çark geometrisi çok karmaşık detaylara sahip olmadığından bu çalışmada hexahedral eleman tipi ağ yapısında kullanılmıştır. Tanımlanan ağ yapısı yaklaşık olarak 380000 eleman ve 647000 düğüm noktasının bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Şekil 3’de bu çalışmada kullanılan ağ yapısının genel görünümü verilmektedir. Optimize edilmiş dişli çark geometrisinin bir miktar farklı olmasından dolayı eleman ve düğüm noktası sayısında bir miktar azalma söz konusudur ancak genel eleman büyüklüğü ve sıklığı her iki analizde de aynıdır.



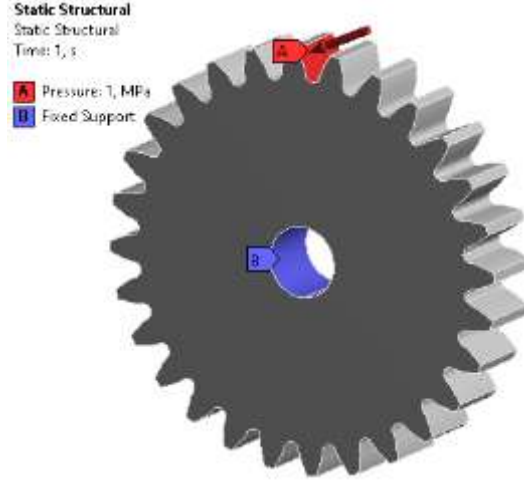
Şekil 3. Sonlu elemanlar ağ yapısı

Ağ yapısı belirlenirken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi de sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçların ağdan bağımsız olarak doğru sonuçlar verdiğini gösterilmesi gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulan ağ yapısı için ağdan bağımsızlık çalışması (mesh yakınsaması çalışması) yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada içi dolu standart dişli çark için ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Şekil 4 incelendiğinde, dört farklı eleman boyutu için elde edilen toplam eleman sayısı (24000 – 95000 – 380000 – 1500000) ve her bir durum için elde edilen maksimum dış dibi gerilmesi değişimi gösterilmektedir. 24000 ve 95000 elemanın olduğu durumlar için elde edilen gerilme değeri arasındaki fark oldukça yüksek olmasına rağmen, 380000 eleman ile 1500000 eleman arasındaki farkın oldukça az olduğu görülmektedir. Bu nedenle 380000 eleman ve üzeri eleman sayılarında sonuç ağdan bağımsız hale gelmektedir. Bu nedenle hem hızlı çözüm hem de bilgisayar belleğinde az yer kaplaması bakımından 380000 elemana sahip eleman boyutu analizlerde kullanılmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen ağdan bağımsızlık çalışması Şekil 4’ te gösterilmektedir.



Şekil 4. Ağdan bağımsızlık çalışması sonuçları

Ağ yapısının doğru bir şekilde tanımlanmasından sonra, sonlu elemanlar analizinin sınır şartları tanımlanmıştır. Bu çalışmada, standart bir dişli çark ile gövdesi optimize edilmiş dişli çark arasındaki gerilme değişimleri incelendiği için birim yük altındaki değişimler dikkat alınmıştır. Bu nedenle şekil 5’ de gösterildiği gibi dişli çarkın bir dişi üzerinden yüzeye dik olacak şekilde 1 MPa ‘lık bir basınç uygulanmış ve dişlinin mil ile temas eden noktaları ise altı serbestlik derecesi sıfır olacak şekilde sabitlenmiştir.



Şekil 5. Sonlu elemanlar analizi sınır şartları

Malzeme, ağ yapısı ve sınır şartlarının tanımlanmasının ardından, sonlu elemanlar analiz modeli çözüme bırakılmıştır. Analiz tipi statik yapısal analiz olduğu için çözüm oldukça kısa bir süre içerisinde elde edilmiştir. Çözüm 2 adet Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 işlemciye ve 64 GB RAM’e sahip bir iş istasyonunun yaklaşık olarak 30sn’ de çözüme ulaşmıştır. Yapısal statik analizde sistem üzerinden tüm kuvvet ve momentlerin toplamı, reaksiyon kuvvetlerine ve momentlerine eşittir. Sonlu elemanlar modeli bu koşulu model üzerinde bulunan tüm düğüm noktaları için ayrı ayrı çözerek sonuçları hesaplar. Yapısal statik analizde çözülen temel sonlu elemanlar denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$[F] = [K][u] \quad (1)$$

Burada $[F]$ toplam yük vektörü, $[K]$ rijitlik matrisi ve $[u]$ yer değiştirme vektörüdür. F değerleri uygulanan yükler ve sabitlemeler ile hesaplanır. K ise malzeme ile tanımlanan elastisite modülü değerinden elde edilir. Sonlu elemanlar çözücüsü yukarıdaki denklemden u (gerinim) değerlerini hesaplar. Ardından Hooke yasası, sonlu eleman modelinin gerilim dağılımını hesaplamak için kullanılır. Basit şekli ile Hooke yasası aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$[\sigma] = [E][\varepsilon] \quad (2)$$

Burada σ gerilme, E elastisite modülü ve ε ise hesaplanan gerinim değerleridir. Hooke yasası kullanılarak model üzerinde meydana gelen gerilme değerleri her bir eleman için ayrı ayrı hesaplanır.

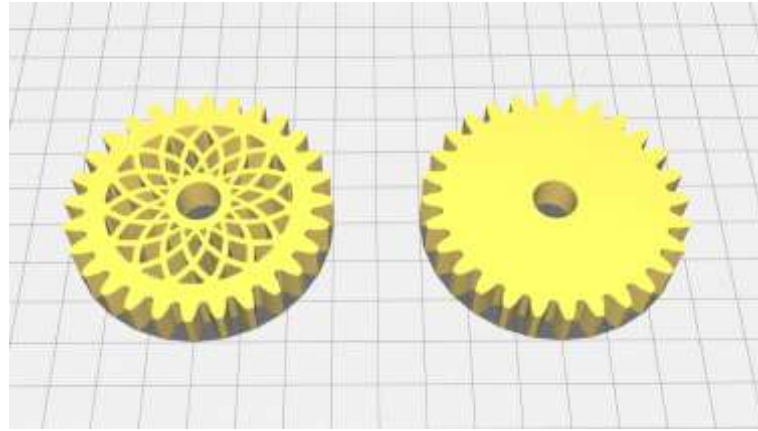
2.3. Eklemeli İmalat Yöntemi ile Dişli Üretimi

Üç boyutlu yazıcıların günlük hayatta kullanımının artması ile birlikte eklemeli imalat yönteminin kullanım oranı gün geçtikçe artmaktadır. Eklemeli imalat temel olarak yazıcı mantığı ile çalışan yeni bir üretim yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Eklemeli imalat yöntemi, üretilecek olan elemanın katmanlar halinde bir bütün olarak üretilmesine imkân sağlar. Bu sayede, geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor hatta imkânsız denebilecek tasarım üretilmektedir. Karmaşık iç kanallara sahip elemanların da kolayca üretilebilmesinden dolayı eklemeli imalat yöntemi bu çalışmada optimizasyon sonucu elde edilen dişli geometrisinin üretiminde kullanılmıştır.



Şekil 6. Ultimaker S5 3D yazıcı

Bu çalışmada Ultimaker S5 üç boyutlu yazıcı dişli çark üretimlerinde kullanılmıştır. Şekil 6' da Ultimaker S5 yazıcısının genel görünümü gösterilmektedir. Ultimaker S5 yazıcısı çift nozul sistemi sayesinde üretim esnasında destek gerekli noktalara suda çözünen PVA malzemenin kullanılması ile elle ulaşılamayacak noktalardaki boşlukları hassas bir şekilde üretme yeteneğine sahiptir. Üretilen parça suda bekletilerek, PVA malzemesinin suda çözünmesi sağlanmakta ve elle ulaşılamayacak noktalardaki destekler kolaylıkla parça üzerinden uzaklaştırılmaktadır.



Şekil 7. CURA programında dişli çarkların konumlandırılması

Eklemeli imalat yönteminin ilk aşaması üretilecek parçaların CAD geometrilerinin oluşturulmasıdır. Topoloji optimizasyonu sunucunda önerilen malzeme dağılımına göre optimum geometriye sahip dişli çarklar Solidworks ortamında tasarlanmıştır. Tasarlanan geometriler stl. dosya formatında, CURA programına aktarılmaktadır. CURA programında, üç boyutlu üretim parametreleriyle birlikte üretilecek parçaların yazıcı üzerindeki konumları duruş açıları vb. parametrelerde belirlenmektedir. Ayrıca nozulun takip edileceği koordinatlar yine CURA programında dilimleme işlemi ile oluşturulmaktadır. Şekil 7'de bu çalışmada üretilen dişli çarkların CURA programındaki konumlandırılması gösterilmektedir. Tablo 3'te ise bu çalışmada kullanılan PLA malzemesi için temel üç boyutlu üretim parametreleri verilmektedir. Bu parametrelerin dışında CURA programının ara yüzünden onlarca farklı yazdırma parametresi kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, yazdırma parametrelerinin doğru seçilmesidir. Aksi halde istenilen boyut hassasiyeti yakalanmayacaktır.

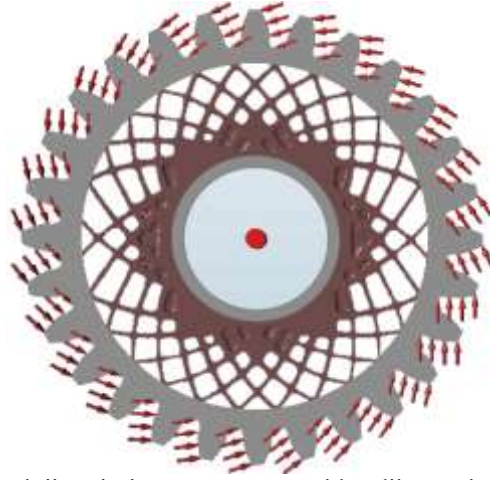
Tablo 3. Temel üç boyutlu üretim parametreleri

Üretim Parametresi	
Yazdırma hızı	70 mm /s
Nozul çapı	0.4 mm
Yazdırma sıcaklığı	205 °C
İlk yazdırma sıcaklığı	195 °C
Tabla sıcaklığı	60 °C
İç dolgu oranı	% 100

3. Bulgular ve Tartışma

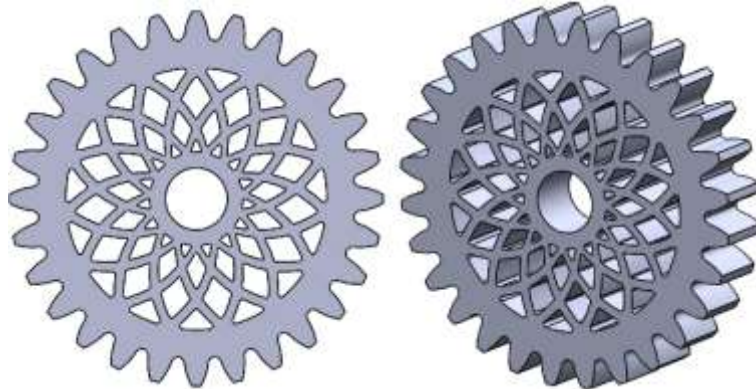
3.1. Topoloji Optimizasyonu Sonuçları

% 50 hacim azaltılması için topoloji optimizasyonunun sonucu Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde önerilen şeklin geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmesinin mümkün olmadığı görülmektedir. Ayrıca dişlinin sabit bırakılan rim bölgesi ile gövde arasındaki bağlantı noktalarının çok ince olduğu görülmektedir. Buda mukavemet açısından sorun oluşturacaktır. Bu nedenle önerilen tasarımın tekrardan ele alınarak güncellenmesi gerekmektedir.



Şekil 8. Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen malzeme dağılımı

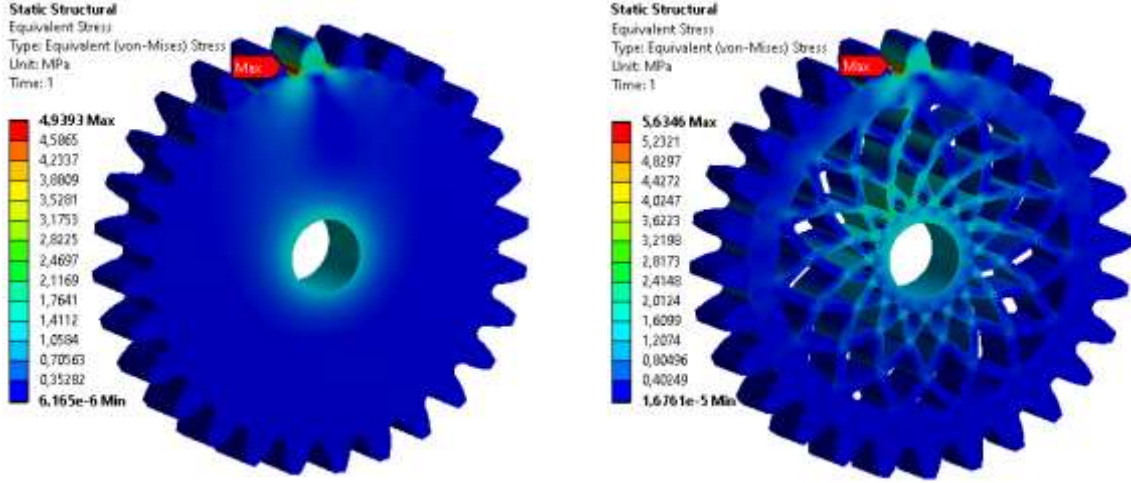
Topoloji optimizasyonu yöntemi tasarımcıya temel olarak yeni bir tasarımın oluşturulması için bir tasarım taslağı görevi gören sonuçlar vermektedir. Tasarımcı topoloji optimizasyonu sonucunda elde edilen malzeme dağılımından ilham alarak, mukavemet açısından sorun oluşturmayacak ve üretilebilir tasarım oluşturması gerekmektedir. Bu doğrultuda şekil 8' deki optimum malzeme dağılımından yararlanılarak şekil 9' daki tasarıma geçilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde geliştirilen yeni dişli gövdesi tasarımın, topoloji optimizasyonu sonucunda olduğu gibi oldukça karmaşık ve geleneksel yöntemlerle üretilmeyeceği görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada üretilen dişli çarklar için eklemeli üretim yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 9. Topoloji optimizasyonu sonucunda tasarlanan optimum geometriye sahip dişli tasarımı

3.2. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Yapısal statik analizler sonucunda elde edilen gerilme dağılımları Şekil 10’ da gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, maksimum gerilmenin her iki durum için de dış dibi bölgesinde olduğu görülmektedir. İçi dolu standart dişli çark için birim yükleme altında 4,9393 MPa’ lık bir gerilme değerinin olduğu tespit edilirken, optimize edilerek hafifletilmiş dişli çarkta ise gerilme değerinin bir miktar artarak 5,6346 MPa değerine ulaştığı görülmektedir. Ayrıca optimize edilmiş dişli gövdesinde de bir miktar gerilmenin olduğu görülmektedir. Ancak bu gerilme değeri dişli geometrisine herhangi bir zarar verecek büyüklüklere ulaşamayacaktır. Genel olarak değerlendirildiğinde, optimize edilmiş dişli çark üzerinde oluşan gerilme değerleri yaklaşık olarak %14 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. Sonlu elemanlar sonucu elde edilen gerilme dağılımları

3.3. Eklemeli Üretim Sonuçları ve Kıyaslanması

Şekil 11’ de üç boyutlu yazdırma işlemi sonucunda üretilen optimize edilmiş ve standart dişli çarkların genel görünümü gösterilmektedir. Eklemeli üretim sayesinde geleneksel yöntemlerle üretilmesi hemen hemen çok zor hatta imkânsız denilebilecek hafifletilmiş bir dişli tasarımı kolaylıkla üretilmiştir.



Şekil 11. PLA malzemesinden üretilen optimize edilmiş ve standart düz dişliler

Tablo 4. PLA malzemesi için analizlerde kullanılan mekanik özellikler

	İlk Tasarımı	Optimize Edilmiş Tasarımı	% Değişim
Kütle (g)	30,01	21,47	-28,45
Gerilme (MPa)	4,939	5,634	+14,07

Üretilen dişli çarkların kütle özelliklerinin değerlendirilmesi için her iki dişli çark da hassas terazi ile tartılarak kütleleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, içi dolu standart dişli çarkın kütlesi 30,01g

gelirken optimize edilmiş tasarımın kütlesi 21,47g gelmektedir. Yeni tasarımın yaklaşık olarak %30 daha hafif olduğu ancak mukavemet bakımından ise %15 daha kötü performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Dayanımın her ne kadar % 15 civarında kötüleşme durumu söz konusu ise de kütledeki üçte bir oranındaki azalış yeni tasarım dişliyi değerli kılmaktadır. Bu tip bir tasarımın metal olarak dişlilerde kullanılacağı düşünürse %15 lik bir gerilme artışın kütle kazanımlarına göre çok daha önemsiz olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle geliştirilen yeni içyapının sadece plastik dişliler için değil metal dişliler içinde kullanılması ile sürdürülebilir tasarımlar oluşturulabilecektir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ve topoloji optimizasyonu yöntemleri kullanılarak, hafifletilmiş, sürdürülebilir ve yenilikçi bir dişli tasarımı gerçekleştirilmiştir. Öncelikle standart boyutlara sahip bir dişli geometrisinin topoloji optimizasyonu yöntemi ile optimum malzeme dağılımı belirlenmiş ardından bu dağılımdan hareketle yeni dişli geometrisi tasarlanmıştır. Tasarlanan yeni ve standart dişli geometrileri ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak statik mukavemet analizleri gerçekleştirilmiş ve mukavemet açısından performansları kıyaslanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise tasarlanan standart ve optimize edilmiş dişli çarklar eklemeli imalat yöntemi ile üretilerek kütle değişimleri incelenmiştir. Sonuç olarak mukavemet açısından yaklaşık olarak %15 daha kötü ancak kütle açısından yaklaşık %30 hafifletilmiş bir dişli geometrisi elde edilmiştir.

Bu çalışmanın ardından, elde edilen yeni tasarımın metal üç boyutlu yazıcılar ile üretilerek, gerçek uygulama alanlarında kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, yeni tasarımın dinamik performansı çeşitli bilgisayar modelleri veya deneyler ile araştırmaya açıktır.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi Tarafından 2020 / 7 – 17 M. Numaralı proje ile desteklenmektedir. Yazarlar Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi'ne teşekkürlerini sunmaktadır.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Mura A., Cura F., Pasculli L. 2018. Optimisation Methodology For Lightweight Gears To Be Produced By Additive Manufacturing Techniques. Proc IMechE Part C: J Mechanical Engineering Science, 232 (19) : 3515-3523.
- [2] Yang G., Zhang J., Zhang Q., Wei X. 2014. Research On Lightweight Optimization Design For Gear Box. 7th International Conference Intelligent Robotics and Applications, 17 – 20 Aralık 2014, Guangzhou, 576-585.
- [3] Shah C., Thigale S., Shah R. 2018. Optimizing Weight of a Gear Using Topology Optimization. International Journal of Science, Engineering and Technology Research, 7 (6) : 403-406.
- [4] Petel M., Valiulla H., Khatod V., Chaudhary B., Gondalia V. 2019. Topology Optimization of Automotive Gear using FEA. International Journal of Recent Technology and Engineering, 8 (4) : 1079-1084.

- [5] Ramadani R., Belsak A. Kegl M. Predan J. Pehan S. 2018. Topology Optimization Based Design of Lightweight and Low Vibration Gear Bodies. *Int J. Simul. Model*, 17 (1) : 92-104.
- [6] Liang M., Hu J., Li S., Chen Z. 2018. Topology Optimization of Transmission Gearbox under Multiple Working Loads. *Advances in Mechanical Engineering*, 10 (11): 1-7.
- [7] Dogan O., Karpat F., Yuce C., Kaya N., Yavuz N., Sen H. 2016. A novel design procedure for tractor clutch fingers by using optimization and response surface methods. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30 (6): 2615-2625.
- [8] Kaya N., Karen İ., Öztürk F. 2010. Re-Design of a Failed Clutch Fork Using Topology and Shape Optimization by the Response Surface Method, *Materials and Design*, 31: 3008-3014.
- [9] Yaykaşlı H., Kamer M.S., Akay O.E., Kaya A. 2019. Tabla Isıtımlı 3 Boyutlu Yazıcı ile Farklı Yazdırma Hızlarında Üretilen PLA Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *International Symposium on Advanced Engineering Technologies*, 2-4 Mayıs 2019, Kahramanmaraş, 1194-1199.
- [10] Kamer M.S., Yaykaşlı H., Temiz Ş., Kaya, A. 2019. 3 Boyutlu Yazıcı ile Farklı Renklerde ABS ve PLA Filamentler Kullanılarak Üretilen Çekme Numunelerinin İncelenmesi. 3. Uluslararası Matematik – Mühendislik – Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, 29 Kasım – 1 Aralık 2019, Şanlıurfa, 420 – 426.
- [11] Tatlı O., Özgül H.G. 2020. Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, İmalatı Ve Dolgu Geometrisinin Mekanik Özelliklere Etkisi. *International Journal of Surveys, Engineering, Technology*, 13 – 24.
- [12] Solmaz M.Y., Çelik E. 2018. 3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yüğü Altındaki Performanslarının Araştırılması. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 30 (1): 277-286.
- [13] Uzun M., Gür Y., Usca Ü.A. 2018. Manufacturing of new type curvilinear tooth profiled involute gears using 3D printing. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 20 (1): 278-286.

Araştırma Makalesi / Research Article

Yeni Yapılacak Betonarme Bir Binanın TBDY 2018'e göre Deprem Performansının Belirlenmesi

Tolunay İBİŞ¹, Hakan ULUTAŞ^{2*}

¹Yüksek İnşaat Mühendisi, 16290, Bursa

²Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur
(ORCID: 0000-0003-2687-258X) (ORCID: 0000-0003-1721-7268)

Öz

Bu çalışmada, tasarımı TBDY (2018)'e göre yapılan ve yapımı devam eden betonarme bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Binanın doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden tek modlu statik itme analizi ile performans düzeyi belirlenmiştir. Elde edilen performans analizinin sonucu TBDY 2018'de verilen hedef performans seviyesi ile kıyaslanmıştır. Bina daha yapım aşamasında olduğundan yeni yapılacak bir bina gibi değerlendirilip performans analizi bu kapsamda yapılmıştır. Kesitlerin moment eğrilik analizleri ile plastik mafsallık özelliklerinin belirlenmesi için SAP 2000'in "Section Designer" arayüzünde faydalanılmıştır. Yapılan statik itme analizi sonucu kolon ve betonarme perdelerde herhangi bir hasar meydana gelmemiş, kirişlerin ise bazıları belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmadığı için bina performans seviyesi kiriş hasarlarına bakılarak karar verilmiştir. Binanın yönetmelikte verilen hedef performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tek modlu statik itme analizi, Yeni betonarme bina, TBDY 2018, Performans analizi, Deprem güvenliği.

Determining the Seismic Performance of a New Reinforced Concrete Building According to Turkish Seismic Code 2018

Abstract

In this study, the Project data were obtained in order to investigate a reinforced concrete building whose design was made according to Turkish Seismic Code (TSC-2018) and whose construction continues. The performance level of the building was determined by using static single-mode pushover analysis, one of the nonlinear evaluation methods. The result of the obtained performance analysis has been compared with the target performance level given in the Turkish Seismic Code. Since the building is still under construction, it is evaluated as a new building and performance analysis has been made within this scope. Plastic hinge properties was determined in SAP 2000's Section Designer interface by using moment curvature analysis of sections. As a result of the static single-mode pushover analysis), no damage occurred on the columns and reinforced concrete walls, and some of the beams remained in the obvious damage zone. Since there was no damage to the vertical bearing elements, the building performance level was decided by looking at the beam damages. It has been determined that the building achieved the target performance level given in Turkish Seismic Code.

Keywords: Static single-mode pushover analysis, New reinforced concrete building, TSC 2018, Performance analysis, Seismic safety.

1. Giriş

Ülkemiz, aktif bir deprem kuşağı olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunduğu ve jeolojik oluşumunu geç tamamlamış genç bir ana karaya sahip olmasından dolayı sıklıkla deprem hareketlerine maruz kalmaktadır[1]. Meydana gelen bu depremlerin sebep olduğu can ve maddi kayıplar depreme dayanıklı yapı tasarımını ve mevcut yapıların deprem performansı değerlendirmesini her geçen gün daha da önemli hale getirmiştir. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilk olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde, 1996 yılında çıkan Betonarme Binaların Sismik Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi

*Sorumlu yazar: hakannulutas@gmail.com

Geliş Tarihi: 12.04.2021, Kabul Tarihi: 09.06.2021

(ATC 40) [2] ve 2000 yılında yayınlanan Binaların Sismik İyileştirilmesi için Önstandart ve Açıklamalar (FEMA 356) [3] gibi standartlarda geniş bir şekilde yer almıştır [4]. Ülkemizde ise mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesi kavramı il olarak 2007 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) [5]'nin 7. Bölümünde yer almıştır. DBYBHY (2007) [5] yalnız mevcut binaların deprem performansını kapsamaktaydı. Yeni yapılacak binaların deprem performansının belirlenmesi kavramı ise il kez 1 Ocak 2019 tarihi ile yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) [6] içerisinde yer almıştır.

Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi üzerine literatürde birçok çalışma olup bunların büyük bir kısmı DBYBHY (2007) [5]'e göre yapılmıştır [4, 7-13]. TBDY (2018) [6]'in yürürlüğe girmesi ile birlikte bu yönetmelikte verilen esaslara göre de binaların performans değerlendirmesi üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bunlardan, Kap vd. [14], 1999 Marmara ve Düzce depremlerinden etkilenmiş mevcut bir okul binasının TBDY (2018) [6]'e göre deprem performans analizini yaparak binadaki taşıyıcı elemanların kapasitelerini belirlemişlerdir. Kürkçü [15] tarafından yapılan tez çalışmasında, 20 katlı betonarme bir yapının TBDY (2018) [6]'e göre tasarımı ve deprem performansı zaman tanım alanında hesap yöntemi ile belirlenmiştir. Akçora [16] tarafından yapılan tez çalışmasında, 30 katlı betonarme yüksek bir bina Türkiye Bina Deprem yönetmeliğine göre incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda kesitler için elde edilen plastik şekil değiştirme ve dönme değerleri TBDY (2018) [6]'de verilen sınırları sağladığı belirlenmiştir. Çapa [17], 3, 5 ve 7 katlı 3 adet model bina oluşturmuş, bu binaların deprem performanslarını TBDY (2018) [6]'de verilen doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlemiş, elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırmıştır.

Bu çalışmada, yeni yapılacak betonarme bir binanın deprem performansının doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden tek modlu statik itme analizi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Binanın performansının belirlenebilmesi için kesitlerin moment eğrilik analizleri ile plastik mafsallık özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için SAP 2000 [18]'in "Section Designer" arayüzünden faydalanılmıştır. Yapılan analiz sonucu kolon, kiriş ve betonarme perdelerde meydana gelen hasarlardan faydalanarak bina performans düzeyi belirlenmiştir. Elde edilen performans analizinin sonucu TBDY (2018) [6]'de verilen hedef performans seviyesi ile kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Mevcut veya yeni yapılacak betonarme binaların performans seviyesinin belirlenmesi için TBDY (2018) [6]'de doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan olmak üzere iki yöntem önerilmektedir. Doğrusal elastik hesap yönteminde dayanım esaslı çözüm yapılırken, doğrusal elastik olmayan hesap yönteminde şekil değiştirme ve yer değiştirme odaklı çözüm yapılmaktadır. Bu çalışmada incelenen binanın performansı doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden tek modlu itme yöntemi ile yapılmıştır.

2.1. Kesit Hasar Durumları

TBDY (2018) [6]'de sünek elemanlar için kesit düzeyinde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) olmak üzere üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Kesitteki sınırlı miktarda elastik ötesi davranış sınırlı hasarla, kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranış kontrollü hasarla, ileri düzeyde elastik ötesi davranış ise göçme öncesi hasarla ifade edilmektedir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar bu sınıflandırmaya dahil edilmez.

2.2. Kesit Hasar Sınırları

TBDY (2018) [6]'de yayılı ve yığılı plastik davranış modellerine bağlı olarak kesit hasar sınırları verilmiştir. Yayılı plastik davranış modelinde şekil değiştirmeye bağlı hasar sınırları, yığılı plastik davranış modelinde ise plastik dönme kapasitesine bağlı hasar sınırları verilmiştir. Bu çalışmada çubuk eleman olarak modellenen kolon, kiriş ve betonarme perdelerde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak yığılı plastik davranış (plastik mafsallık) modeli kullanılmıştır. Sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi hasar (GÖ) durumları için yığılı plastik davranış modeline göre verilen hasar sınırları Tablo 1'de verilmiştir.

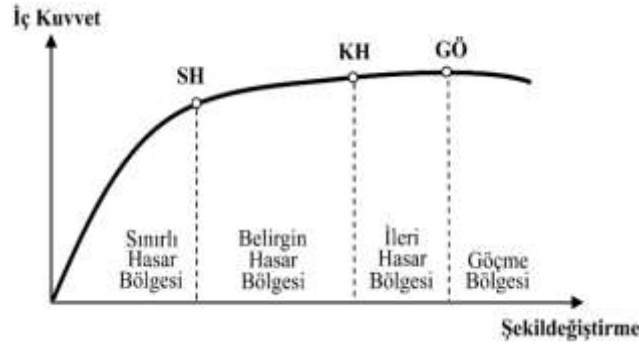
Tablo 1. Hasar durumlarına göre dönme kapasitesi sınırları [6]

Hasar sınırı	Plastik Dönme Sınırı(θ_p)
GÖ	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left((\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right)$
KH	$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)}$
SH	$\theta_p^{(SH)} = 0$

Tablo 1’de ϕ_u ile verilen kesitteki göçme öncesi toplam eğriliği; ϕ_y , plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini; L_s , kesme açıklığını; L_p , plastik mafsal boyunu; d_b , ise düğüm noktasındaki donatıların ortalama çapını ifade etmektedir. Bu çalışmada, kesme açıklığı (L_s) kolon ve kirişlerde net açıklığın yarısı, betonarme perdelerde ise her katın tabanından perde tepesine olan uzaklığın yarısı olarak alınmıştır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)’nun yarısına eşit alınmıştır.

2.3. Kesit Hasar Bölgeleri

TBDY (2018) [6]’de Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi, İleri Hasar Bölgesi ve Göçme bölgesi olmak üzere 4 hasar bölgesi tanımlanmıştır. Elemanın hangi hasar bölgesinde kaldığına elemanın kritik kesitindeki hasara bakarak karar verilir. Eğer elemanın hasarı, sınırlı hasara ulaşamamışsa sınırlı Hasar bölgesinde, sınırlı ile kontrollü hasar arasında ise belirgin hasar bölgesinde, kontrollü hasar ile göçme öncesi arasında ise ileri hasar bölgesinde, göçme öncesi hasar sınırını aşmışsa göçme bölgesindedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kesit hasar bölgeleri [6]

2.4. Performans Düzeyleri

TBDY (2018) [6]’de betonarme yapılar için Kesintisiz Kullanım(KK) performans düzeyi, Sınırlı Hasar(SH) performans düzeyi, Kontrollü Hasar(KH) performans düzeyi, Göçmenin Önlenmesi(GÖ) performans düzeyi olmak üzere 4 performans düzeyi verilmiştir. Bu dört performans düzeyinden herhangi birini sağlayamayan binalar Göçme Durumu’ndadır.

2.4.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi

Kesintisiz Kullanım(KK) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma ifade etmektedir.

2.4.2. Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının sınırlı düzeyde hasar görmesi veya doğrusal olmayan davranışın sınırlı kalmasını ifade eden performans düzeyidir. TBDY (2018) [6]’e göre binanın performans seviyesinin sınırlı hasar olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin en fazla %20’si *belirgin hasar bölgesi*’ne geçebilir.

- Düşey taşıyıcı elemanların tamamı *sınırlı hasar bölgesi* içerisinde bulunmak zorundadır.
- Gevrek hasar gören elemanlar var ise, bu elemanların güçlendirilmesi gerekmektedir.

2.4.3. Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının can güvenliğini sağlayacak şekilde çok ağır olmayan hasar görmesi veya meydana gelen hasarın onarılabilir olması durumunu ifade eder. TBDY 2018'e göre binanın performans seviyesinin kontrollü hasar olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin için en fazla %35'lik kısmı *ileri hasar bölgesi*' ne geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler bu yüzdelik hesabında işleme dâhil edilmez.
- *İleri hasar bölgesi* 'nde bulunun düşey taşıyıcı elemanların, her kat için düşey taşıyıcı elemanlar tarafından karşılanan kesme kuvvetine toplam katkısı %20' den daha az olmalıdır. En son kat için ise *ileri hasar bölgesi* 'ne geçen düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvveti, yine son katta bulunan düşey taşıyıcı elemanların toplam kesme kuvvetine oranı en fazla %40 olmalıdır.
- Diğer kalan tüm taşıyıcı elemanlar *sınırlı hasar bölgesi* veya *belirgin hasar bölgesi* 'ndedir. Ancak, binanın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin her ikisi birden *belirgin hasar bölgesi* 'ni aşan düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetinin, aynı kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetine oranı %30'un altında olması gerekir.

2.4.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının ileri düzey hasar gördüğü göçme öncesi durumu ifade etmektedir. TBDY (2018) [6]'e göre binanın performans seviyesinin göçmenin önlenmesi olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin için en fazla %20 lik kısmı *göçme bölgesi* ' ne geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler bu yüzdelik hesabında işleme dâhil edilmez.
- Diğer tüm taşıyıcı elemanlar *sınırlı hasar bölgesi*, *belirgin hasar bölgesi* veya *ileri hasar bölgesi* 'ndedir. Ancak, Binanın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin her ikisi birden *belirgin hasar bölgesi* 'ni aşan düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetinin, aynı kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetine oranı %30'un altında olması gerekir.
- Göçme öncesi performans düzeyindeki bir binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

2.4.5. Göçme durumu

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi'ni sağlayamayan binalar göçme durumu'ndadır. Göçme durumundaki bir binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

2.5. Bina Performans Hedefleri

TBDY 2018'de yeni yapılacak binaların sağlamları gereken performans hedefleri deprem tasarım sınıflarına göre Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca bu tabloda binanın performans hedefinin belirlenmesinde uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları da belirtilmiştir.

Tablo 2. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları [6]

Deprem Yer Hareket Düzeyi	DTS=1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2		DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

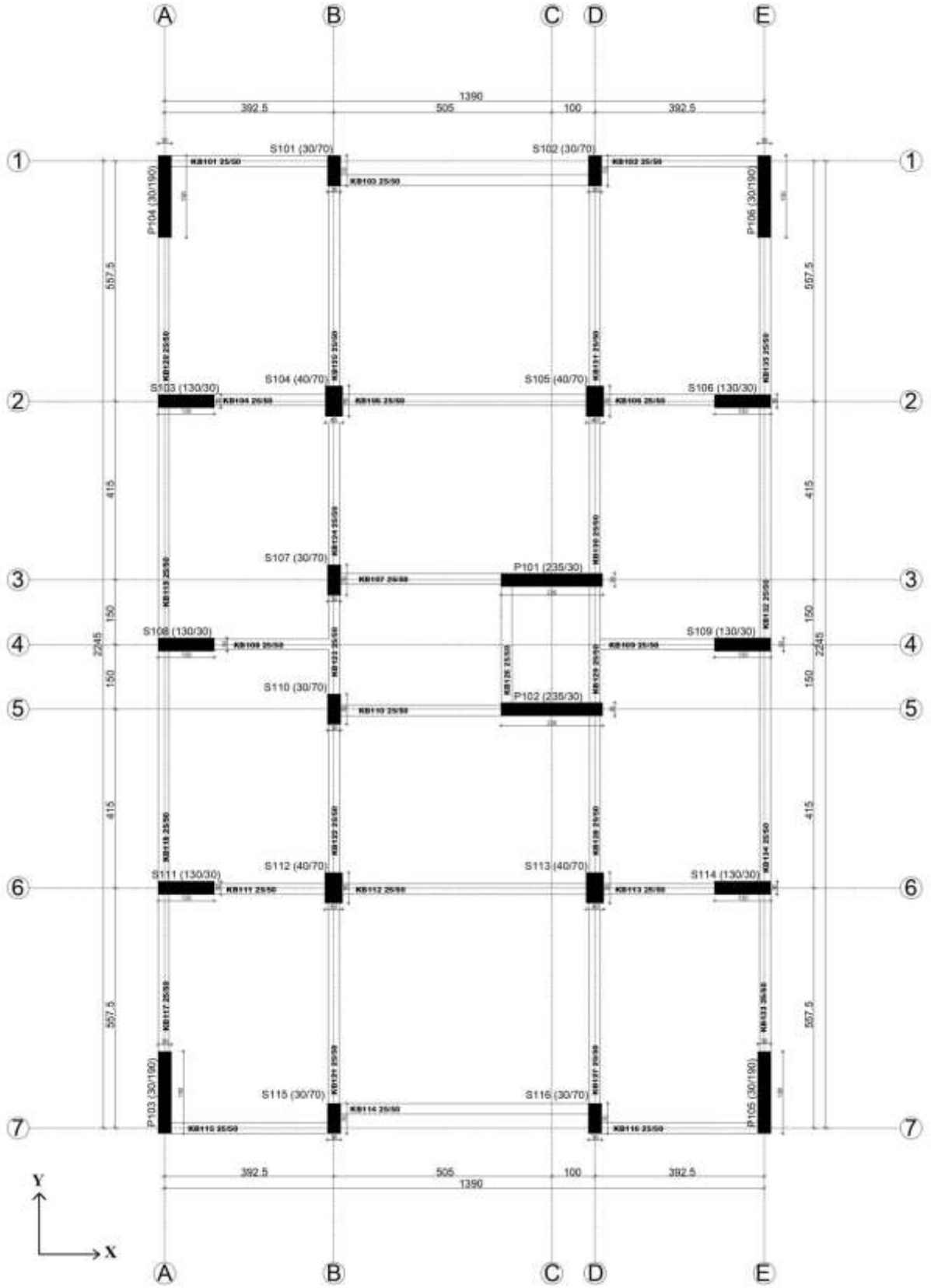
⁽¹⁾ BYS > 3 olan binalarda, ⁽²⁾ BYS = 2,3 olan binalarda uygulanacaktır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, yeni yapılacak 8 katlı betonarme bir binanın deprem performansı incelenmiştir. Bu kapsamda Bursa ili Yıldırım ilçesinde bulunan ve TBDY (2018) [6]'e göre tasarlanıp yapımına devam edilen bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Binanın genel özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Kat sayısı: 8
- Kat yüksekliği (h): 2.8 m
- Yapı toplam yüksekliği: 22.4 m
- Yapı taban alanı: 312 m^2
- Yapı Kullanım Amacı: Konut
- Beton sınıfı: C35
- Donatısı sınıfı: S420
- Yerel zemin sınıfı: ZD

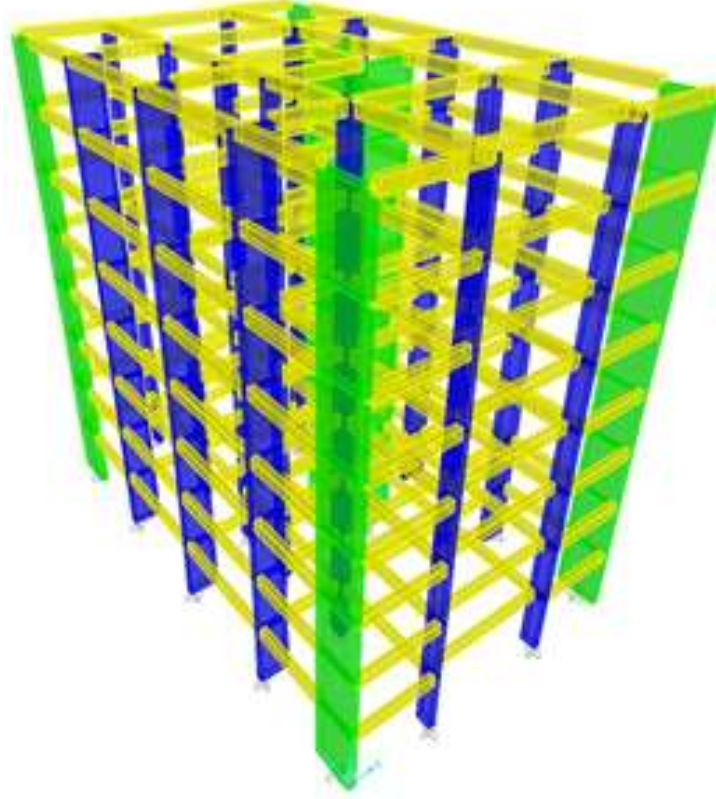
X eksenine göre simetrik olan binanın kalıp planı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Tüm katların kalıp planı

3.1. Analiz Modelinin Oluşturulması

İncelenen binanın 3D modeli, SAP 2000 v21. [18] programı ile oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Binanın SAP 2000’de oluşturulan modeli

3.2. Kesitlerin Plastik Mafsal Özelliklerinin Oluşturulması

Taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelecek hasarların tespit edilebilmesi için bu elemanların plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Kesitlerin plastik mafsal özelliklerinin belirlenebilmesi için ise her bir kesitin moment eğrilik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada kesitlerin moment eğrilik analizleri SAP 2000 programında “Section Designer” arayüzünde yapılmıştır.

3.2.1. Doğrusal olmayan malzemenin modellenmesi

TBDY 2018’ in 5.4.1.5 (b) maddesine göre yeni yapılacak olan yapılarda *Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım* yaklaşımında beton ve donatının beklenen ortalama dayanımları kullanılmalıdır. Beton ve donatının beklenen ortalama dayanımları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Malzemelerin beklenen ortalama dayanımları [6]

Beton	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Donatı Çeliği	$f_{ye} = 1.2f_{yk}$

Burada, f_{ce} ; betonun ortalama basınç dayanımını, f_{ck} ; beton karakteristik basınç dayanımı, f_{yk} ; donatı çeliği karakteristik akma dayanımını, f_{ye} ; donatı çeliğinin ortalama basınç dayanımını ifade etmektedir.

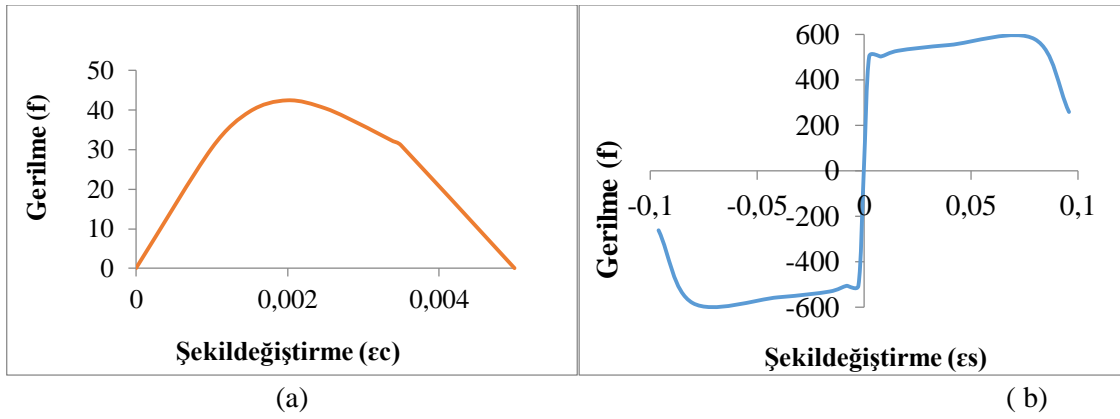
Moment eğrilik analizlerinde kullanılan beton ile donatının özellikleri Tablo 4’te verilmiştir. Donatı çeliğinin bu özelliklerinin belirlenmesinde TBDY 2018 [6] Tablo 5A.1.’den faydalanılmıştır.

Tablo 4. Beton ve donatının özellikleri

Beton	f_{ck} : 35 N/mm ²
	$f_{ce} = 1.3 \times 35 = 45.5$ N/mm ²
	E_c : $3250 \sqrt{45.5} + 14000 = 35922.45$ N/mm ²
Donatı	$f_{ye} = 1.2 \times 420 = 504$ N/mm ²
	E_s : 200000 N/mm ²
	ϵ_{sy} : 0.0021
	ϵ_s : 0.008
	ϵ_s : 0.08
	f_{su} : 504 N/mm ²
	f_{su} : $1.15 \times 504 = 580$ N/mm ²

Burada, E_c ; betonun elastik modülünü, E_s ; donatı çeliğinin elastik modülünü, ϵ_{sy} ; donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesini, ϵ_{sh} ; donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesini, f_{sy} ; donatı çeliğinin akma dayanımını, f_{su} ; donatı çeliğinin kopma dayanımını ifade etmektedir.

Tablo 4'te verilen özelliklere bağlı olarak sargısız beton ile donatı için oluşturulan gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

**Şekil 4.** Sargısız beton(a) ile donatının (b) gerilme-şekil değiştirme diyagramı

3.2.2. Kiriş kesitlerinin plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi

Kesitlerin plastik mafsal özellikleri, enine ve boyuna donatı, kesit boyutları ve açıklık mesafesine bağlı olarak değişmektedir. Bu özellikleri aynı olan kirişlere bir tip kesit ismi verilmiştir. İncelenen binada 9 farklı tip kesit vardır. Her tip kiriş için B1'den B9'a kadar isim verilmiştir. Kiriş tip kesitlerinin özellikleri Tablo 5'te verilmiştir. Kiriş özellikleri katlara göre değişiklik göstermediğinden tabloda sadece 1. katın kirişleri yazılmıştır.

Tablo 5. Kiriş tip kesitleri ve bilgileri

Kesit Tipi	Kiriş Adı	b x h (cm)	Net Açıklık (m)	Boy	Donatı Bilgileri		
					Alt Donatı	Üst Donatı	Enine Donatı
B1	K101-K102-K115-K116	25x50	3.60		2Ø12+2Ø14	2Ø12+2Ø14	8Ø/9
B2	K103-K105-K112-K114		5.75		2Ø14+2Ø16	5Ø14	
B3	K104-K106-K108-K109-K111-K113		2.60		2Ø12+2Ø16	2Ø12+3Ø16	
B4	K107-K110		3.70		4Ø12	2Ø12+3Ø14	
B5	K117-K120-K133-K135-K122-K124-K128-K130		3.65		2Ø12+2Ø16	2Ø14+2Ø16	
B6	K121-K125-K127-K131		4.65		4Ø16	2Ø14+3Ø16	
B7	K118-K119-K132-K134		5.35		1Ø14+2Ø16	3Ø14	
B8	K126-K129		2.70		1Ø14+2Ø16	3Ø12	
B9	K123		2.30		2Ø14+2Ø16	5Ø12	

Yapılan moment eğrilik analizi sonucu 9 tip kesitin her birinin akma eğrilikleri (ϕ_y), göçme öncesi eğrilikleri (ϕ_u), akma momentleri (M_y) ve göçme öncesi momentleri (M_u) elde edilmiştir. Kirişler için bulunan bu değerlerde akma yüzeyi olarak 0° ve 180° için hesaplama yapılmıştır. B2 tip kirişinin moment eğrilik analizi sonucu elde edilen değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. B2 tip kirişin eğrilik analizi değerleri

Kiriş Tipi	Akma Yüzeyi	ϕ_y (m^{-1})	M_y (kNm)	ϕ_u (m^{-1})	M_u (kNm)
B2	0°	0.00807	173.4675	0.1865	180.0126
	180°	0.00823	187.4965	0.1868	194.8395

Tablo 6'da yer alan değerler dikkate alınarak sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar durumlarının her biri için plastik dönme sınır değerleri hesaplanmıştır. 0° akma yüzeyi için hesaplanan plastik dönme sınır değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right)$$

B2 tip kirişinin net uzunluğu $5.75 \Rightarrow L_s = 5.75/2 = 2.875$ m

$L_p = h/2 = 0.50/2 = 0.25$ m

$d_b = 0.015$ mm

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((0.1865 - 0.00807) 0.25 \left(1 - 0.5 \frac{0.25}{2.875} \right) + 4.5 \times 0.1865 \times 0.015 \right)$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 0.036839 \text{ rad}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times 0.036839 = 0.02762925 \text{ rad}$$

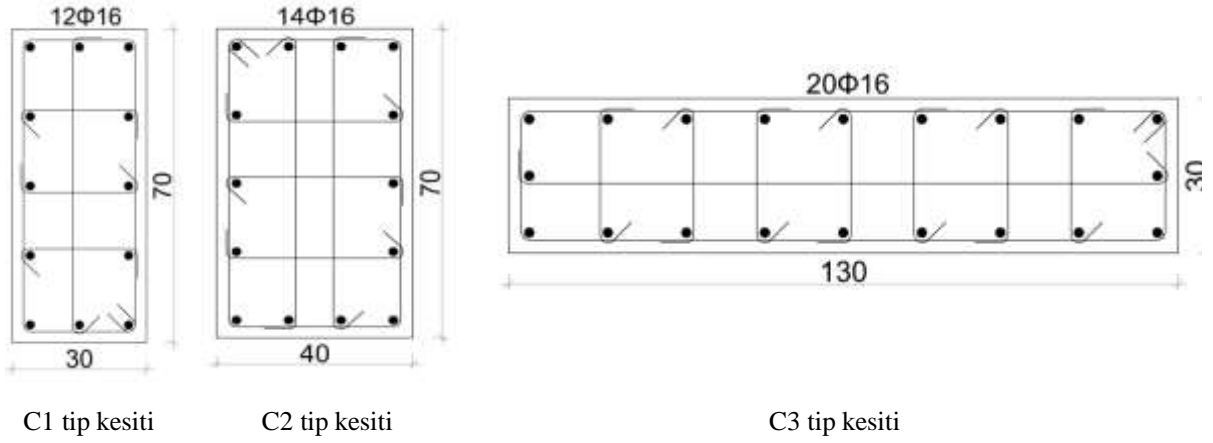
$$\theta_p^{(SH)} = 0$$

3.2.3. Kolon ve betonarme perde kesitlerinin plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi

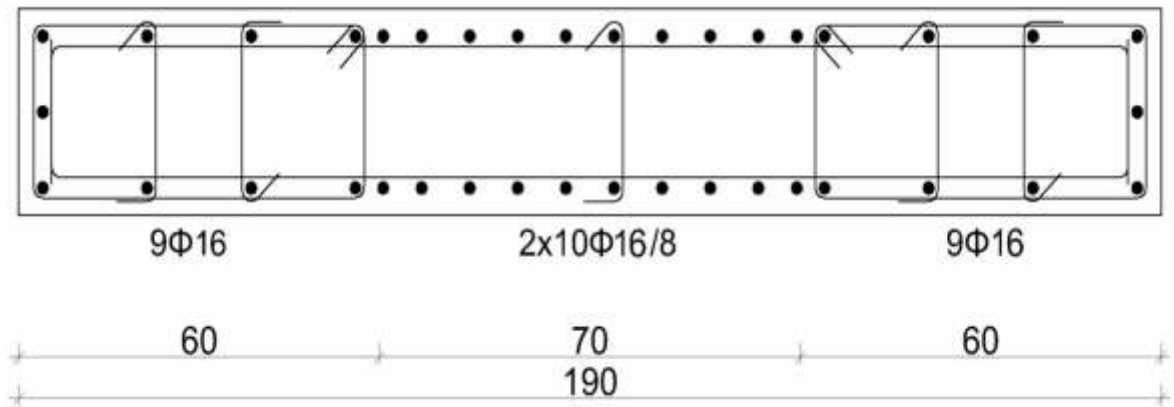
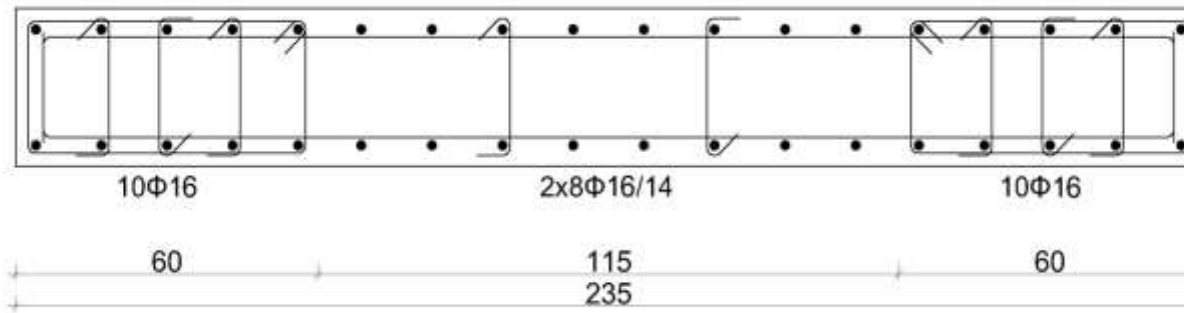
Kolon ve betonarme perdelerde de kirişlere benzer olarak enine ve boyuna donatı, kesit boyutları ve açıklık mesafesine göre tip kesit adlandırılması yapılmıştır. Kolonlar için kesit tipleri C harfi ile betonarme perdeler için W ile oluşturulmuştur. İncelenen binada 3 tip kolon, 2 tip betonarme perde kesiti bulunmaktadır. Kolon ve betonarme perde tip kesitlerinin özellikleri Tablo 7'de kesitleri ise Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 7. Kolon ve betonarme perde kesitlerinin özellikleri

Kesit Tipi	Kolonlar	b x h	Sıklaştırma Bölgesi Enine Donatısı
C1	S101-S102-S107-S110-S115-S116	30x70	8Ø/8
C2	S104-S105-S112-S113	40x70	8Ø/8
C3	S103-S106-S111-S114	130x30	8Ø/8
W1	P101-P102	235x30	8Ø/8
W2	P103-P104-P105-P106	30x190	8Ø/8



Şekil 5a. Kolon tip kesitleri



Şekil 5b. Betonarme perde tip kesitleri

Kolon ve betonarme perdelerin moment eğrilik bağıntılarının elde edilmesinde kirişlerden farklı olarak aksel yük seviyesi de dikkate alınmıştır. Kesitlerin moment-eğrilik analizleri 9 adet aksel yük altında yapılmıştır. Moment-eğrilik analizleri 0^0 ve 90^0 olmak üzere 2 doğrultu için yapılmıştır. M2 eğilme doğrultusu için 0^0 'dan elde edilen moment-eğrilik değerleri, M3 eğilme doğrultusu için 90^0 'dan elde edilen moment-eğrilik değerleri kullanılmıştır. C1 tip kolon kesiti için yapılan moment eğrilik analizi sonucu elde edilen akma eğrilikleri (ϕ_y), göçme öncesi eğrilikler (ϕ_u), akma momentleri (M_y) ve göçme öncesi momentler (M_u) aksel yük seviyesi ve akma yüzeyine bağlı olarak Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. C1 tip kolonun moment eğrilik analizi sonuçları

Kolon Tipi	P (kN)	Akma Yüzeyi	ϕ_y (m^{-1})	M_y (kNm)	ϕ_u (m^{-1})	M_u (kNm)	L_p
C1	-7395	0°	0.01130	309.9739	0.0538	191.0999	0.15
		90°	0.00462	742.3118	0.0218	498.7976	0.35
	-6660	0°	0.01270	354.8609	0.0588	258.9297	0.15
		90°	0.00513	844.2299	0.0237	660.5676	0.35
	-5465	0°	0.01550	402.6571	0.0696	342.0784	0.15
		90°	0.00622	947.5434	0.0283	833.8808	0.35
	-4207	0°	0.01970	426.003	0.0901	368.5381	0.15
		90°	0.00784	989.0779	0.0354	906.8484	0.35
	-2740	0°	0.01930	387.7868	0.1233	358.2386	0.15
		90°	0.00773	903.8282	0.0496	871.159	0.35
	-2078	0°	0.01740	341.1767	0.1592	332.1316	0.15
		90°	0.00741	820.0568	0.0622	801.6431	0.35
	-1352	0°	0.01640	291.697	0.2255	288.9669	0.15
		90°	0.00714	701.7643	0.0789	695.2434	0.35
	-643.388	0°	0.01570	230.6674	0.3682	233.4912	0.15
		90°	0.00703	562.7579	0.1122	569.9397	0.35
	226.1852	0°	0.01480	135.1166	0.341	138.3892	0.15
		90°	0.00728	342.0772	0.1318	359.3741	0.35

Moment eğrilik analiz sonuçlarından faydalanarak kesit hasar sınırlarına tekabül eden plastik dönme sınır değerleri hesaplanmıştır. C1 tipi kesitinin 0° akma yüzeyi için 7395 kN eksenel yük altında plastik dönme sınır değerleri aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right)$$

$$L_s = 2.30/2 = 1.15 \text{ m}$$

$$L_p = h/2 = 0.30/2 = 0.15 \text{ m}$$

$$d_b = 0.016$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((0.0538 - 0.01130) 0.15 \left(1 - 0.5 \frac{0.15}{1.15} \right) + 4.5 \times 0.0538 \times 0.016 \right)$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 0.006555$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times 0.006555 = 0.0049162$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0$$

3.2.4. Plastik mafsal kesitlerinin oluşturulması

Her bir taşıyıcı elemanın plastik mafsal özellikleri belirlendikten sonra kiriş, kolon ve betonarme perdeler için plastik mafsal kesitleri oluşturulmuştur. Kirişler için eksenel kuvvet ihmal edildiğinden bu kesitlerin modellenmesinde M3 plastik mafsalı kullanılmıştır. Kolon ve betonarme perde kesitlerine eğilme momenti ile birlikte eksenel kuvvet de etki ettiği için bu kesitler için P-M2-M3 plastik mafsalı kullanılmıştır. Kolon ve betonarme perde kesitleri için ayrıca 0°, 45° ve 90° olmak üzere 3 adet akma yüzeyi tanımlanması da yapılmıştır. Plastik mafsal kesitleri tanımlandıktan sonra bu kesitlerin binanın 3D modelinde bulunan ilgili kesitlere atanmıştır. Kolon ve kiriş elemanlarının her iki ucuna plastik mafsal atanmıştır. Perdelerde ise sadece elemanın alt ucuna plastik mafsal atanmıştır.

3.3. Etkin Kesit Rijitliklerinin Hesaplanması

TBDY (2018) [6]'e göre yeni yapılacak binalarda yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş ve betonarme perdelerin etkin kesit rijitlikleri Denklem 1'e göre belirlenmektedir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3} \quad (1)$$

Burada, M_y ; çubuk elemanların uç bölgelerindeki plastik mafsalların etkin akma momentlerinin ortalamasını, θ_y ; çubuk elemanların uç bölgelerindeki plastik mafsalların akma dönmelerinin ortalamasını ifade etmektedir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının etkin akma momentleri (M_y) moment eğrilik analizi ile belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının akma dönmeleri (θ_y) ise Denklem 2 ile belirlenmektedir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2)$$

Burada, ϕ_y plastik mafsalsındaki etkin akma eğriliğini ifade etmektedir. η katsayısı ise kiriş ve kolonlarda 1, perdelerde 0.5 alınmaktadır.

- Kirişlerin Etkin Kesit Rijitliği

B2 tip kiriş kesitinin etkin kesit rijitlik çarpanı aşağıda hesaplanmıştır. Kirişin moment eğrilik analizi sonuçları Tablo 6'dan alınmıştır.

- 0° Akma yüzeyi için;

Kirişin net boyu 5.75 m $\Rightarrow L_s = 5.75/2 = 2.875$ m

$M_y = 173.4675$ kNm

$\phi_y = 0.00807$ rad/m

$d_b = 0.0015$ m

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}}$$

$$\theta_y = \frac{0.00807 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.5}{2.875}\right) + \frac{0.00807 \times 0.0015 \times 504}{8\sqrt{45.5}}$$

$$\theta_y = 0.01075 \text{ rad}$$

- 180° Akma yüzeyi için;

$M_y = 187.4965$ kNm

$\phi_y = 0.00823$ rad/m

$d_b = 0.0015$ m

$$\theta_y = \frac{0.00823 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.5}{2.875}\right) + \frac{0.00823 \times 0.0015 \times 504}{8\sqrt{45.5}}$$

$$\theta_y = 0.01093 \text{ rad}$$

$$M_{y,ort} = \frac{173.4375 + 187.4965}{2} = 180.482 \text{ kNm}$$

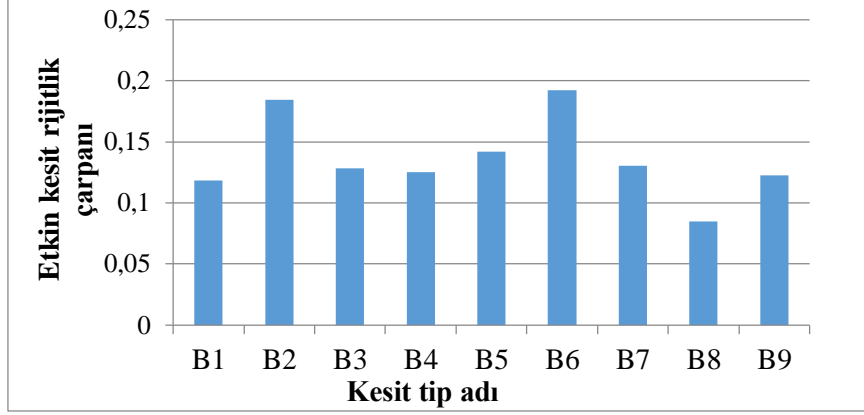
$$\theta_{y,ort} = \frac{0.01075 + 0.01093}{2} = 0.01084 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{180.482}{0.01084} \times \frac{2.875}{3} = 15954.78 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kesit Brüt Rijitliği} = (EI)_o = 86529.32 \text{ kNm}^2$$

$$\frac{(EI)_e}{(EI)_o} = 0.184386$$

Diğer tip kiriş kesitleri için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Kirişlerin etkin kesit rijitlik çarpanları

- Kolon ve betonarme perdelerin etkin kesit rijitliği

Düşey taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitliklerinin hesabı için ise bina önce $G+nQ$ kombinasyonu altında analize tabi tutulmuştur. Burada; G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, n hareketli yük azaltma katsayısını göstermektedir. Her bir düşey taşıyıcı elemanda bu yük birleşimi altında meydana gelen eksenel yük değeri belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının etkin akma momentleri (M_y) ve plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğrilikleri (ϕ_y) elde edilen bu eksenel yük altında yapılan Moment eğrilik analizleri ile belirlenmiştir. C3 Tip kolon kesiti içinde yer alan S103-S106-S111-S114 kolonları ile S108-S109 kolonlarının yapı içindeki konumları farklı olduğundan bu kolonlardan $G+nQ$ yük birleşimi altında elde edilecek olan eksenel yük değerleri farklı olacaktır. Eksenel yük değerleri farklı olması da etkin kesit rijitlik çarpanını da değiştirecektir. Bu yüzden etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi aşamasında S103-S106-S111-S114 kolonları C3_1 tip kolon olarak, S108-S109 kolonları ise C3_2 tip kolon olarak adlandırılmıştır. $G+nQ$ yük birleşimi altında her kat için tip kesite bağlı olarak elde edilen eksenel yük değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. $G+0.3Q$ yük birleşimi altında kolon/perdelerde oluşan eksenel kuvvetler (kN)

Kesit Tipi	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat	6. Kat	7. Kat	8. kat
C1	-1222.5	-1061.5	-902.12	-743.65	-586.04	-429.09	-272.52	-116.75
C2	-2040.5	-1768.5	-1502.4	-1240.1	-980.93	-724.48	-469.64	-217.45
C3_1	-1250.3	-1096.7	-939.89	-781.13	-620.65	-458.79	-296.16	-131.85
C3_2	-1443.2	-1261.1	-1078.0	-894.09	-709.50	-524.4	-338.91	-153.20
W1	-2067.5	-1812.3	-1554.4	-1293.8	-1031.1	-766.85	-501.32	-234.95
W2	-1022.1	-898.50	-771.61	-642.85	-512.43	-380.7	-248.17	-114.22

C1 tipi bir kolonun 1.kat için 0^0 Akma yüzeyinin etkin kesit rijitlik çarpanının hesaplanması aşağıda yapılmıştır. Kolonun etkin akma momentleri(M_y) ve etkin akma eğrilikleri(ϕ_y) 1222.5 kN eksenel yük altında yapılan moment eğrilik analizleri ile belirlenmiştir

Kolonun net boyu 2.30 m $\Rightarrow L_s = 2.30/2 = 1.15$ m

$M_y = 281.7803$ kNm

$\phi_y = 0.01630$ rad/m

$d_b = 0.0016$ m

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}}$$

$$\theta_y = \frac{0.01630 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.3}{1.15}\right) + \frac{0.01630 \times 0.0016 \times 504}{8\sqrt{45.5}}$$

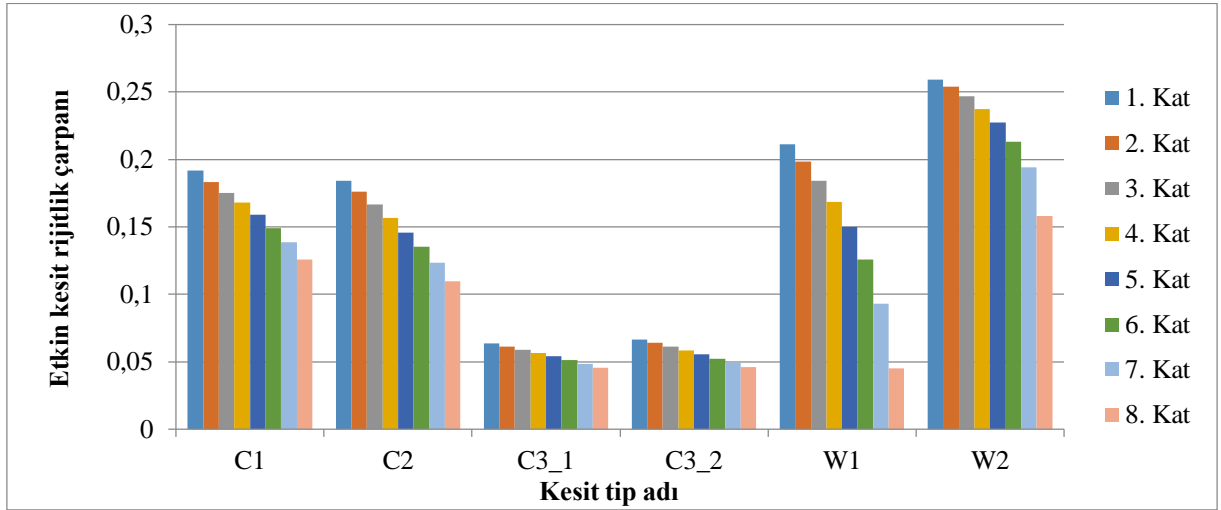
$$\theta_y = 0.010771 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{281.7803}{0.010771} \times \frac{1.15}{3} = 10028.3 \text{ kNm}^2$$

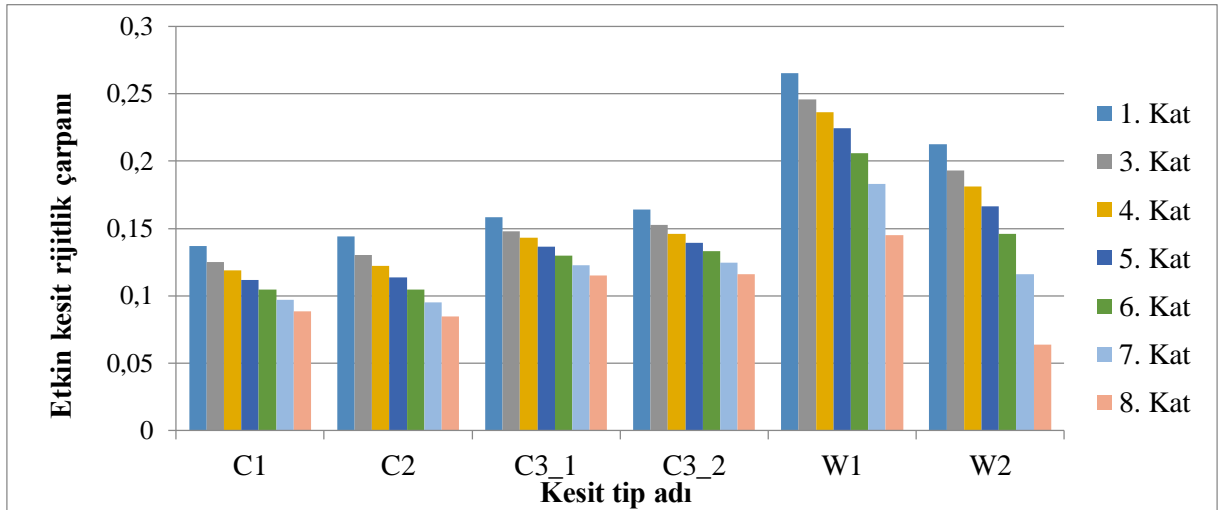
$$X \text{ doğrultusu Kesit Brüt Rijitliği} = (EI)_x = 52332.93 \text{ kNm}^2$$

$$\frac{(EI)_e}{(EI)_x} = \mathbf{0.192}$$

Diğer tip kolon ve betonarme perde kesitleri için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7a. Kolon ve perdelerin X doğrultusu için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları



Şekil 7b. Kolon ve perdelerin Y doğrultusu için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları

3.4. Tek Modlu Statik İtme Analizinin Tanımlanması

TBDY 2018 [6]'e göre statik itme analizinden önce statik düşey yüklerin hesaplanarak yapıya artımsal olarak uygulanması gerekmektedir. Doğrusal olmayan statik hesap olan bu yöntemle bulunan şekil değiştirme ve iç kuvvet değerleri yatay deprem hesabının başlangıç adımı olarak kullanılmalıdır. Statik itme analizinin başlangıç adımı olan statik düşey yükler Denklem 3 ile hesaplanmaktadır.

$$G + nQ + 0.3E_d^{(Z)} \quad (3)$$

Burada, $E_d^{(Z)}$ ise düşey deprem etkisini ifade etmektedir. Düşey deprem etkisi ($E_d^{(Z)}$) Denklem 4 ile elde edilmektedir.

$$E_d^{(Z)} = (2/3) S_{DS} G \quad (4)$$

Burada; S_{DS} binanın kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir. Binaın bulunduğu konum, yer hareket düzeyi ve zemin sınıfına göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından alınmaktadır. Denklem 4 ile elde edilen $E_d^{(Z)}$, Denklem 3'te yerine koyulursa Denklem 5 elde edilir.

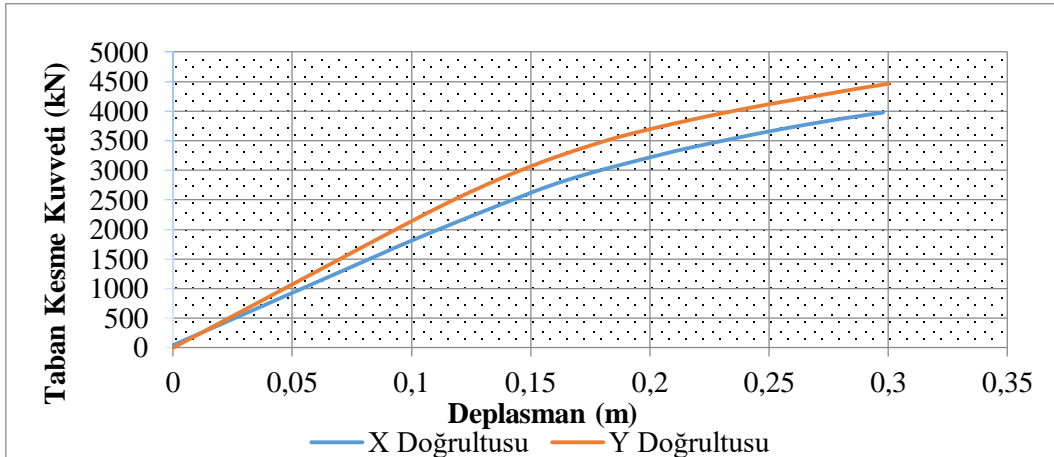
$$G(1 + 0.2 \times S_{DS}) + nQ \quad (5)$$

Konut türü binalar için n değeri 0.3 alınmalıdır. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) için ise hedef performans seviyesi için gerekli yer hareket düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Yeni yapılacak bir binanın hedef performans seviyesi Tablo 2'e göre belirlenmektedir. Tablo 2'de yer alan Deprem Tasarım sınıfı ise DD-2 deprem düzeyine için S_{DS} değerine göre belirlenmektedir. Binaın bulunduğu konum, DD-2 deprem yer hareket düzeyi ve ZD zemin sınıfına göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından $S_{DS} = 0.973$ olarak elde edilmiştir. TBDY 2018 [6] de yer alan Tablo 3.2'e göre konut türü bir binanın $S_{DS} = 0.973$ için $DTS=1$ olmaktadır. Bu durumda Tablo 2'e göre binanın hedef performans seviyesi $DTS=1$ için DD-2 deprem yer hareket düzeyine göre Kontrolü Hasar(KH)'dır. DD-2 deprem düzeyi için S_{DS} değeri ile n değerleri Denklem 5'te yerlerine yazılırsa Denklem 6 elde edilir.

$$1.195G + 0.3Q \quad (6)$$

Denklem 6.14'de yer alan G ve Q yüklerinin önündeki katsayılar SAP 2000'de tanımlanan statik düşey yüklemenin scale faktörleri olarak kullanılmıştır

Sabit tek modlu itme analizi, deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde yük artımı prensibine dayanmaktadır. İncelenen binanın her bir katına, ilgili doğrultunun mod şekli genliği ile katlara ait kütlelerin çarpımıyla elde edilen değerlere göre yatay yükler uygulanmış, yapılan statik itme analizi sonucu Şekil 8'de verilen kapasite eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 8. Binaın her iki doğrultusunun kapasite eğrileri

3.5. Hedef Deplasman Seviyesinin Belirlenmesi

Binaın taşıyıcı elemanlarında meydana gelecek hasarların belirlenmesi için binanın her iki doğrultuda hedef deplasman seviyesine kadar statik itme analizine tabi tutulması gerekir. Hedef deplasman seviyesinin belirlenmesi için kapasite eğrisi ile talep spektrumu aynı grafikte kesiştirilmelidir. Kapasite

eğrisi ile talep spektrumunun eksen takımları aynı olmadığından öncelikle kapasite eğrisinin eksen takımının koordinatlarının dönüştürülmesi gereklidir. Kapasite eğrisinin eksen takımının koordinatlarının değiştirilmesi ile modal kapasite eğrisi oluşturulur. Eksen takımının dönüştürülmesi ile spektral ivme (S_a) ve spektral yer değiştirme (S_d) eksenleri elde edilir. Eksen dönüştürme işlemi hakkında detaylı bilgilendirme TBDY 2018 [6] 5B.1. maddesinde bulunmaktadır. Eksen takımının dönüştürülmesi için gerekli parametreler Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Modal kapasite eğrisinin elde edilmesi için gerekli veriler

Yön	Kat	Kat Kütleli kNs ² /m	Mod şekli genliği (m)	M_1 (kNs ² m)	L_{x1} (kNs ²)	$\Gamma_1^{(X)}$ (1/m)	M_{x1} (kNs ² /m)
X	1	4026.19	0.001461	1.024	49.212	48.065	2365.345
	2	4026.19	0.004827				
	3	4026.19	0.00919				
	4	4026.19	0.013903				
	5	4026.19	0.018483				
	6	4026.19	0.022573				
	7	4026.19	0.02592				
	8	3340.118	0.028387				
Y	1	4026.19	0.001556	1.021	49.444	48.438	2394.989
	2	4026.19	0.005069				
	3	4026.19	0.009513				
	4	4026.19	0.014204				
	5	4026.19	0.018667				
	6	4026.19	0.022572				
	7	4026.19	0.025702				
	8	3340.118	0.027953				

Modal kapasite eğrisinden çizilen başlangıç teğetinin talep spektrumunu kestiği nokta elastik tasarım spektral yer değiştirme $S_{de}(T_1)$ olarak ifade edilmektedir. X ve Y doğrultularının her biri için elastik tasarım spektral yer değiştirmeler elde edilmiştir. Talep ve kapasite spektrumlarının ikisi de elastik tabanlı olduğundan modal kapasite eğrisinden çizilen başlangıç teğetinin talep spektrumunu kestiği noktayı her zaman doğrusal olmayan spektral yer değiştirme $S_{di}(T_1)$ olarak ifade etmek doğru olmayacaktır. Denklem 7 ile de anlaşılacağı üzere elastik tasarım spektral yer değiştirmeden doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeye geçiş için C_R dönüştürme katsayısı kullanılmaktadır.

$$S_{di1} = C_{R1}S_{de1} \quad (7)$$

C_R dönüştürme katsayısı ile ilgili detaylı işlemler TBDY 2018 [6]’in 5B.3. maddesinde bulunmaktadır. X ve Y doğrultularının her ikisinde de hakim titreşim periyod S_{DS}/S_{D1} değerinden büyük olduğu için yönetmelik gereği C_R dönüştürme katsayısı her iki doğrultuda da 1 alınmıştır. Bu durumda her iki doğrultuda da elastik tasarım spektral yer değiştirme doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirmeye eşit çıkmıştır [$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) = S_{de}(T_1)$]. Elde edilen $d_{1,max}^{(X)}$ değeri Denklem 8’de yerine koyularak hedef yer değiştirme istemi ($u_{Nx1}^{(X)}$) elde edilmiştir.

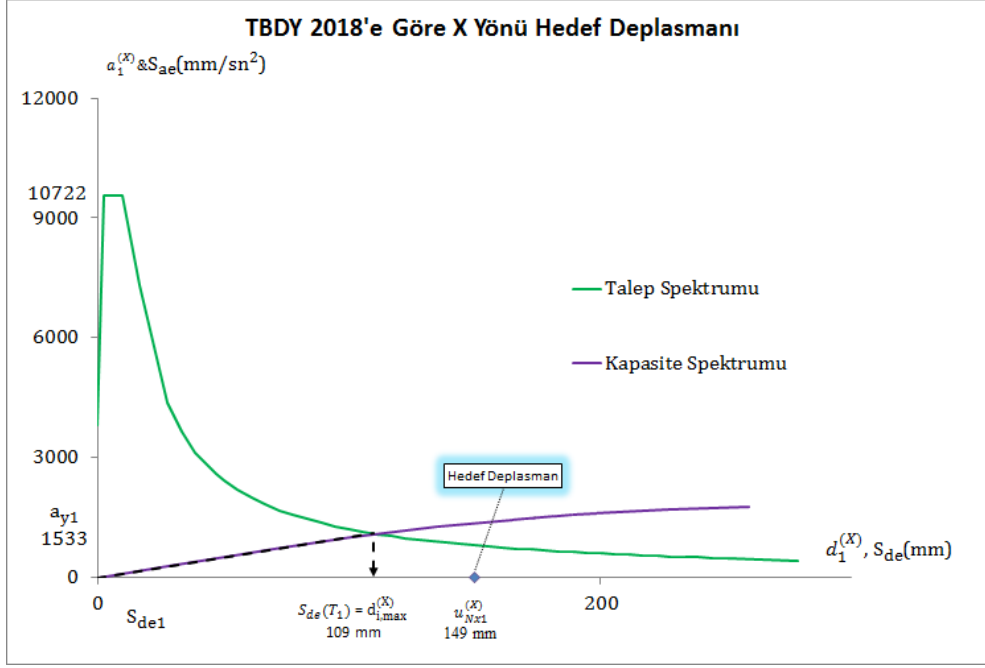
$$u_{Nx1}^{(X)} = \Phi_{Nx1}\Gamma_1^{(X)}d_{1,max}^{(X)} \quad (8)$$

X ve Y doğrultularının hedef deplasman istemlerinin elde edilmesi için gerekli yardımcı veriler ile bu verilerin kullanılmasıyla elde edilen hedef deplasmanlar istemleri Tablo 11’de verilmiştir.

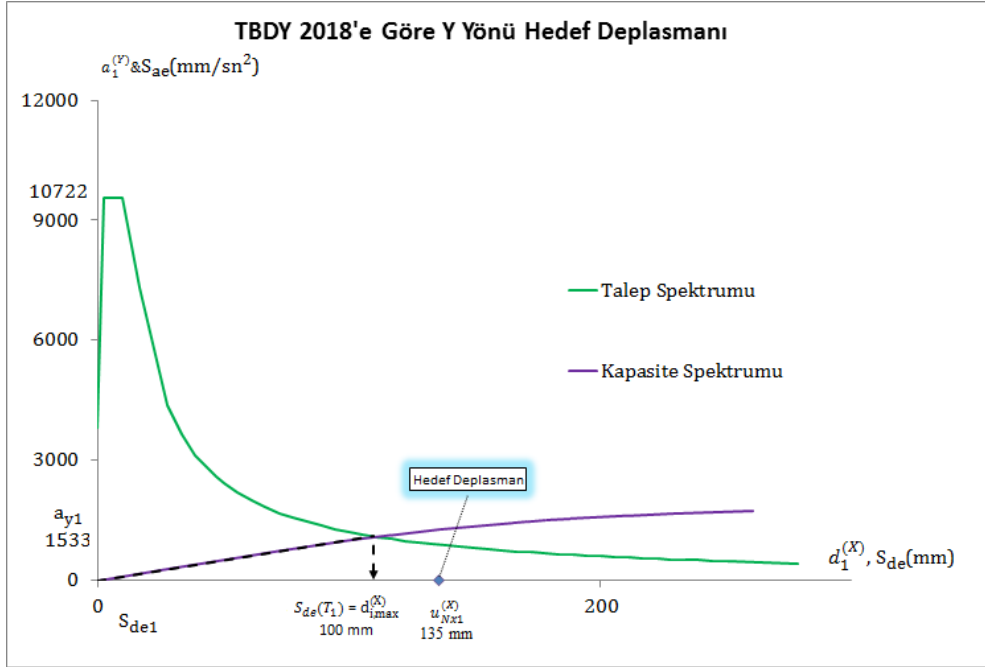
Tablo 11. Hedef deplasman istemleri

Doğrultu	$S_{de}(T_1)$ (mm)	$d_{1,max}^{(X)}$ (mm)	Φ_{Nx1}	$\Gamma_1^{(X)}$	$u_{Nx1}^{(X)}$ (mm)
X	109.6	109.6	0.028387	48.065	149
Y	100.19	100.19	0.027953	48.438	135

X ve Y doğrultularının hedef deplasman istemlerinin elde edilmesinde kullanılan grafikler Şekil 9'da verilmiştir.



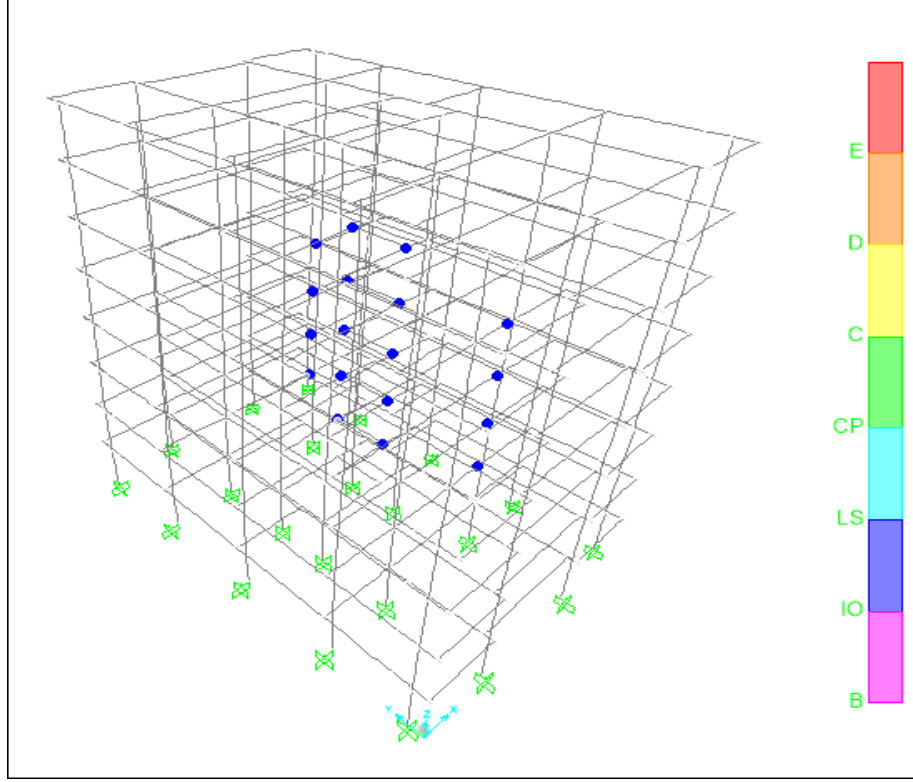
Şekil 9a. X doğrultusunun hedef deplasman isteminin belirlenmesi



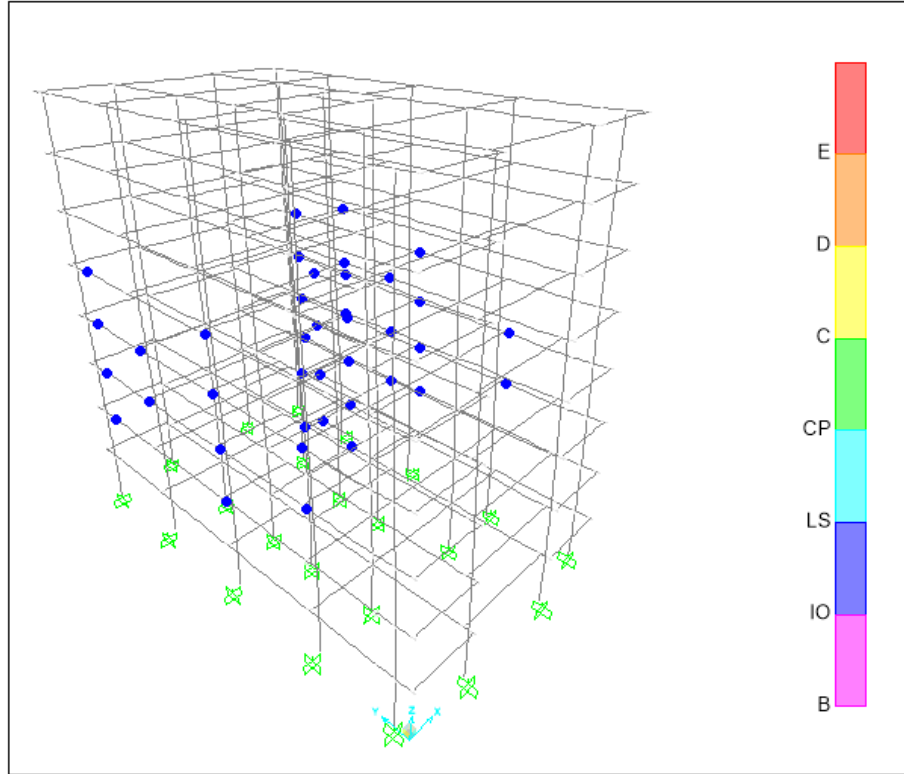
Şekil 9b. Y doğrultusunun hedef deplasman isteminin belirlenmesi

3.6. Tek Modlu Statik İtme Analizinin Yapılması

İncelenen binanın X ve Y doğrultularının her biri için hedef deplasman seviyesine kadar sabit tek modlu statik itme analizi yapılmıştır. Böylece her bir taşıyıcı elemanda meydana gelen hasarla belirlenmiştir (Şekil 10).



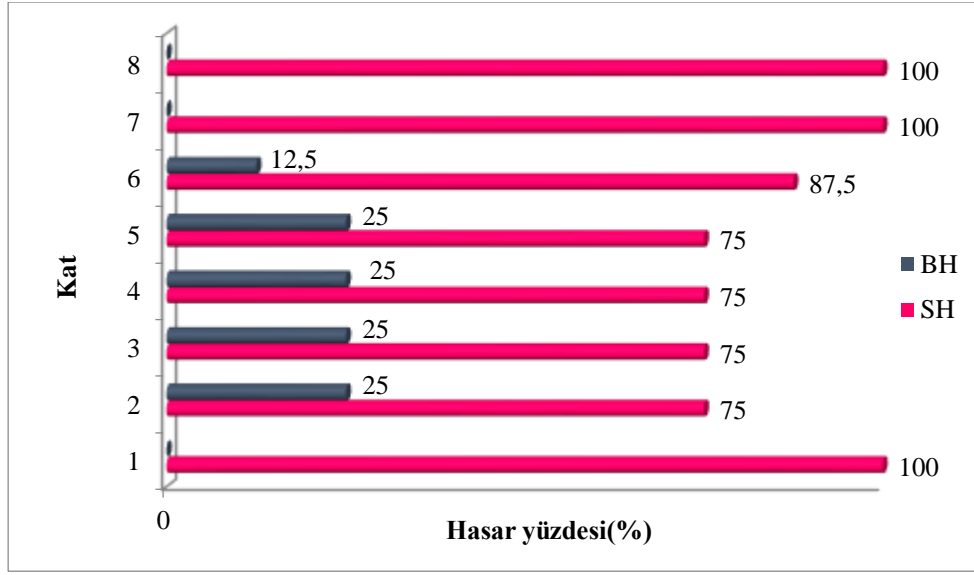
Şekil 10a. X doğrultusunda yapılan itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar



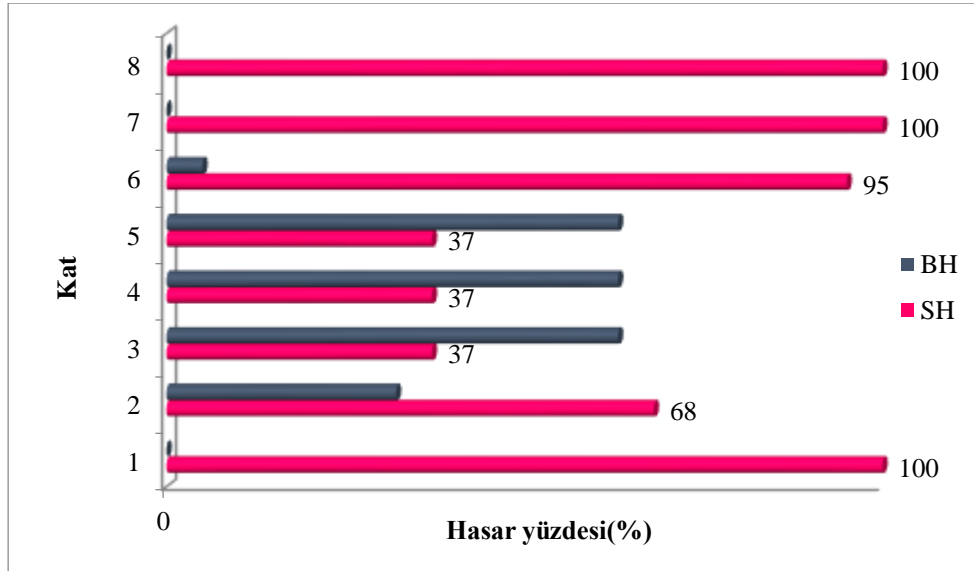
Şekil 10a. X doğrultusunda yapılan itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar

Şekil 10 incelendiğinde tüm katlarda tüm düşey taşıyıcı elemanlarda herhangi bir hasar meydana gelmediği görülmektedir. Kirişlerdeki hasar incelendiğinde ise bazı kirişlerin belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Mafsallaşma renginin mavi olması ilgili elemandaki hasarın sınırlı hasar sınırını aştığı ve belirgin hasar bölgesinde kaldığını göstermektedir. Bina'nın performans seviyesinin belirlenmesi için kat ve doğru'lu bazında belirgin hasar bölgesine geçen kirişlerin oransal olarak

belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 11a'da X doğrultusu için Şekil 11b'de ise Y doğrultusu için katlara göre girişlerin yüzdelik olarak ne kadarının hangi hasar bölgesinde kaldığını görülmektedir.



Şekil 11a. X doğrultusu için yüzdelik olarak giriş hasar bölgeleri



Şekil 11b. Y doğrultusu için yüzdelik olarak giriş hasar bölgeleri

Düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmadığı için bina performans seviyesi giriş hasarlarına bakılarak karar verilmiştir. TBDY 2018 [6]'e göre binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, belirgin hasar bölgesi'ne geçen giriş sayısı ilgili doğrultudaki toplam girişlerin %20'sine eşit veya altında ise ilgili katın performans düzeyi Sınırlı'dır. 1., 6., 7. ve 8. katlarda her iki doğrultuda da belirgin hasar bölgesindeki girişlerin yüzdesi 20'nin altında kalmaktadır. Dolayısı ile 1., 6., 7. ve 8. katlar *Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde*'dir. 2., 3., 4., 5. katlar da ise her iki doğrultuda da belirgin hasar bölgesi'ne geçen giriş sayısı ilgili doğrultudaki toplam girişlerin %20'sinden fazladır ama ileri hasar bölgesine geçen giriş yoktur. Dolayısıyla 2., 3., 4., 5. katlar *Kontrollü Hasar Performans Düzeyi*'ndedir.

Tüm katlar içindeki en elverişsiz performans düzeyi binanın performans düzeyi olarak belirlenir. Bu durumda bina *Kontrollü Hasar Performans Düzeyi*'ndedir. TBDY 2018'e göre binanın hedef performans seviyesi DD-2 deprem düzeyi için *Kontrollü Hasar Performans Düzeyi* olması gerekmektedir. Bina yönetmelikte verilen hedef performans seviyesini sağlamaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, TBDY (2018) [6]'e göre tasarlanan ve yapımına devam edilen betonarme bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Binanın doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinde tek modlu itme analizi ile performans analizi yapılmıştır. Bina daha yapım aşamasında olduğundan yeni yapılacak bir bina gibi değerlendirilip performans analizi bu kapsamda yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yeni yapılacak binaların deprem performansının belirlenmesinde, mevcut binaların performansının belirlenmesine göre en belirgin farklardan biri etkin kesit çarpanları ile ilgilidir. Mevcut binalarda çubuk eleman olarak modellenen kiriş, kolon ve betonarme perdeler için eksenel etkin kesit çarpanları sırasıyla 0.35, 0.7 ve 0.5 iken, yeni yapılan binalarda elemanların her birinin etkin kesit çarpanları için moment eğrilik analizinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada kirişlerin etkin kesit çarpanları 0.0848-0.1921 arasında, kolonların etkin kesit çarpanları 0.0455-0.1916 arasında, betonarme perdelerin etkin kesit çarpanları ise 0.0452-0.2653 arasında çıkmıştır.
- Yapılan tek modlu itme analizi sonucu kolon ve betonarme perdelerde herhangi bir hasar meydana gelmediği, kirişlerin ise bazılarının belirgin hasar bölgesinde kaldığı belirlenmiştir.
- Düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmadığı için bina performans seviyesi kiriş hasarlarına bakılarak karar verilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucu 1., 6., 7. ve 8. katların Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde, 2., 3., 4. Ve 5. katların ise Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu belirlenmiştir.
- Tüm katlar içindeki en elverişsiz performans düzeyi, binanın performans düzeyi olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla binanın Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu tespit edilmiştir.
- TBDY 2018'e göre binanın DD-2 deprem düzeyi için Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'ni sağlaması gerekmektedir. Bina yönetmelikte verilen hedef performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.
- Binanın betonarme perde elemanlarının kalıp planında uygun yerlerde simetrik ve düzenli bir şekilde yerleştirilmesi düşey taşıyıcı elemanların hasar görmemesinde ve binanın hedef performans seviyesini sağlamasında etkili olduğu söylenebilir.
- TBDY (2018) [6]'in yeni bir yönetmelik olması sebebiyle gerek özel gerekse kamuda çalışan mühendisler için bazı kavramların örneklerle açıklanması ihtiyacını doğurmaktadır. Bu çalışma ile yeni deprem yönetmeliğinin kavranabilmesi noktasında karşılaşılabilecek problemlere ışık tutması amaçlanmıştır. Yönetmeliğin farklı bölümleri için de bu tür çalışmaların yapılması nitelikli mühendis sayısını artıracığı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Yalın M. 2020. Mevcut Bir Okul Binasının Deprem Performansının 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine göre Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, 1-175.

- [2] ATC 40. 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California, ABD.
- [3] FEMA 356. 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- [4] Turkey A., Guler K. 2017. Bir Okul Binasının Tasarımı ve Deprem Performansının Değerlendirilmesi. International Journal of Innovative Engineering Applications, 1 (2): 27-37.
- [5] DBYBHY 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [6] TBDY 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [7] Dilmaç H., Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. 2018. An Evaluation on Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(Ek Sayı 1): 224-237.
- [8] Gündoğay A., Tekeli H., Ulutaş H. 2019. Mevcut Atölye Binalarının Deprem Güvenliğinin İncelenmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 10 (2): 755-768.
- [9] Dilmaç H. 2020. Preliminary Assessment Approach to Predict Seismic Vulnerability of Existing Low and Mid-Rise RC Buildings. Bulletin of Earthquake Engineering, 75 (2): 211-227.
- [10] Özdemir M., Işık E., Ülker E. 2016. Farklı Kat Adetlerine Sahip Betonarme Binaların Performans Değerlendirilmesi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 5 (2): 183-190.
- [11] Ulutaş H., Dilmaç H., Tekeli H., Demir F. 2019. Mevcut Okul Türü Binaların Deprem Güvenliğinin Pratik Bir Şeklide Belirlenmesi için Bir Yaklaşım: ATI. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23 (2): 329-337.
- [12] Dilmaç H., Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. 2018. The investigation of seismic performance of existing RC buildings with and without infill walls. Computers and Concrete, 22 (5): 439-447. DOI: 10.12989/cac.2018.22.5.000
- [13] Işık E., Öztürk G. 2017. Betonarme Binalarda Kat Yüksekliğinin Yapı Performansına Etkisi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (1) : 299-305.
- [14] Kap T., Özgün E., Uzunoğlu M. M. 2019. Betonarme Bir Okul Binasının 2018 Deprem Yönetmeliğine göre İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (1): 1140-1150.
- [15] Kürkçü F. 2020. 20 Katlı Betonarme Bir Yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre Tasarımı ve Deprem Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-237.
- [16] Akçora A. A. 2020. Betonarme Yüksek Binaların 2018 Yılı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre İncelenmesi: 30 Katlı Bina Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1-161.
- [17] Çapa Y. U. 2020. Kat Adetleri Farklı Betonarme Binaların Deprem Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 1-113.
- [18] SAP2000. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

Araştırma Makalesi / Research Article

TBDY-2018'deki Yerel Zemin Koşullarının Çelik Yapı Deprem Davranışına Etkisi Üzerine Bir Çalışma

Fatma Ülker PEKER^{1*}, Ercan IŞIK²

¹Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya

²Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis
(ORCID: 0000-0002-0805-4367) (ORCID: 0000-0001-8057-065X)

Öz

Depremlerin, yapılar üzerindeki etkilerini azaltmak adına yapı-zemin-deprem etkileşiminin gerçekçi olarak ortaya konulabilmesi önemlidir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan beş farklı yerel zemin koşulu dikkate alınarak sekiz katlı örnek bir çelik yapı için yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu güncel yönetmelik ile birlikte bölgesel bazda kullanılan tasarım spektrumları yerini sahaya özgü spektrumlara bırakmıştır. Bu değişimin yapısal analizlere etkisini koymak adına, 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) (Mw=6.8) depremin en çok etkilediği iki yerleşim birimi olan Sivrice (Elazığ) ve Pütürge (Malatya) için elde edilen tasarım spektrumları kullanılarak, her iki yerleşim birimi için de yerel zemin koşulları için analizler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca iki yerleşim biriminin de içerisinde yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesinin depremselliği ve son deprem hakkında bilgiler verilmiştir. Bu çalışma sahaya özgü tasarım spektrumlarının ve yerel zemin koşullarının çelik yapılarındaki etkisini ortaya koymak adına yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yerel zemin koşullar, sahaya özgü, spektrum, çelik, TBDY-2018

A Study on the Effect of Local Soil Conditions in TBDY-2018 on Earthquake Behavior of Steel Structure

Abstract

It is important to be able to demonstrate the structure-ground-earthquake interaction realistically in order to reduce the effects of earthquakes on buildings. In this study, structural analysis was performed for a sample of 8-storey steel structure by using five different local ground conditions that given in Turkish Building Earthquake Code. Site-specific earthquake spectra were started to use instead of design spectra based on regional basis with updated code. Analyses for local soil conditions were carried out separately by using the design spectra obtained for Sivrice (Elazığ) and Pütürge (Malatya), which are the two most affected settlements by the 24 January 2020 Sivrice (Elazığ) (Mw = 6.8) earthquake, in order to show the effect of this change on the structural analysis. In the study, information about the seismicity of the Eastern Anatolia Region in which two settlements are located and the last earthquake were also given. This study was conducted to reveal the effect of site-specific design spectra and local ground conditions on steel structures.

Keywords: Local soil conditions, site-specific, spectra, steel, TBEC-2018

1. Giriş

Depremlerin sıkça yaşanması bu konu hakkında yapılan çalışmaların önemini artırmaktadır. Deprem tehlikesi, belirli bir bölgede ve belli bir zaman diliminde olası depremden dolayı hasar ve can kaybı oluşturabilecek yer hareketinin meydana gelme ihtimalidir. Deprem riski, deprem nedeni ile oluşabilecek mal ve can kaybı ile hasar ihtimali olarak tanımlanabilir [1-4]. Deprem etkisindeki yapıların tasarım ve değerlendirmesinde bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu faktörlerin her birinin birbirleri ile karşılıklı

*Sorumlu yazar: fatma.peker@ozal.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.04.2021, Kabul Tarihi: 09.06.2021

etkileşimi hem deprem ile ilgili parametreleri hem de yapısal analiz sonuçlarını etkileyecektir [5, 6]. Son olarak meydana gelen Sivrice (Elazığ) ($M_w=6.7$) ve 2020 Ege Denizi (İzmir) ($M_w=6.9$) depremleri hem depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri hem de deprem tehlike haritalarının önemini bir kez daha ortaya koymuştur.

Türkiye’de 1945, 1947, 1963, 1972 ve 1996 yenilenen deprem tehlike haritaları son olarak 2018 tarihinde güncellenmiş ve 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Son harita haricindeki tüm haritalar bölgesel risk tabanlı hazırlanmıştır. Yeni harita en güncel deprem kaynak parametreleri, deprem katalogları ve yeni nesil matematiksel modeller dikkate alınarak çok daha fazla ve ayrıntılı veriyle hazırlanmıştır. Yeni haritada, bir önceki haritadan farklı olarak deprem bölgeleri yerine en büyük yer ivmesi değerleri gösterilmiş ve “deprem bölgesi” kavramı ortadan kaldırılmıştır [7-9]. Bununla birlikte deprem tehlikesi artık coğrafi konuma özel olarak hesaplanmaya başlanmıştır [10,11]. Bu haritanın yanı sıra depreme dayanıklı yapı yönetmeliği 2018 tarihinde güncellenmiş ve 2019 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikteki önemli değişikliklerden biri yerel zemin koşullarında olmuştur. Farklı zemin grup ve sınıfları birleştirilerek yerel zemin sınıfı olarak tek bir başlık altında birleştirilmiştir.

Yerel zemin koşullarının, yapıların sismik davranışını doğrudan etkilediği bilinen bir gerçektir [12]. Tasarım spektrumu, yerel zemin koşulları ve bölgenin sismisite unsurları birleştirilerek elde edilebilir. Yerel zemin koşulları, tasarım spektrumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Tasarım spektrumlarındaki farklılıklar yapıların hedef yer değiştirme değerlerini doğrudan etkilemektedir [13-17]. Hedef yer değiştirmelerin karşılanmadığı yapılarda öngörülen performans ve hasar düzeylerinin sağlanması mümkün olamayabilir [18]. Dolayısı ile yapıların tasarım ve değerlendirilmesinin gerçekçi olabilmesi yerel zemin koşullarının ve bölgenin sismik karakteristiklerinin doğru olarak bilinmesine bağlıdır. Bu çalışma kapsamında güncel deprem yönetmeliğinde yer alan beş farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Tasarım spektrumlarının yapısal analizlere etkisini ortaya koymak adına da Sivrice ve Pütürge gibi iki farklı yerleşim birimi seçilmiştir.

Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan ve deprem riski yüksek yerleşim birimlerinden olan Sivrice ve Pütürge ilçeleri özelinde, TBDY-2018’de verilen yerel zemin koşulları dikkate alınarak örnek bir çelik yapı için farklı yüklemeler altında analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bu iki yerleşim biriminin yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesinin depremselliği ve 2020 Sivrice (Elazığ) depremi hakkında bilgiler verilmiştir. Örnek olarak seçilen çelik yapı için farklı yüklemeler altında yapısal analizler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki yerleşim birimi için tasarım depremi olarak göz önüne yer hareket düzeyi tasarım spektrumları yerel zemin koşullarının değişimine göre elde edilmiştir. Elde edilen tasarım spektrumları kullanılarak her iki yerleşim birimi için yapısal analizler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Çalışma hem yerel zemin koşullarının çelik yapıların analizlerine etkisini hem de farklı coğrafi konumlardaki etkisini ortaya koymaktadır. Sahaya özgü tasarım spektrumları ve yerel zemin sınıfları değişken olarak seçilerek elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Hem yerel zemin koşullarının hem de tasarım spektrumlarının farklılaşması yapı analizlerini doğrudan etkilemektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında öncelikle dikkate alınan iki yerleşim biriminin yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesinin depremselliği hakkında bilgiler verilmiştir. Bu bölümde ayrıca bu iki yerleşim biriminin maruz kaldığı en güncel deprem olan 24 Ocak 2020 Sivrice_(Elazığ) ($M_w=6.8$) depremi hakkında da bilgiler verilmiştir. Ayrıca güncel yönetmelik ile birlikte kullanımı zorunlu olan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları interaktif web deprem uygulaması kullanılarak her iki yerleşim birimi için deprem parametreleri ve tasarım spektrumları elde edilmiştir.

2.1. Doğu Anadolu Bölgesinin Depremselliği

Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye’de sismik aktivitenin yoğun olarak yaşandığı bölgelerden biridir. Özellikle Bingöl iline bağlı Karlıova ilçesi, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonunun (DAFZ) birleşme noktasına karşılık gelmektedir. Kıta içi transform faylar niteliğinde bu iki fayın Anadolu levhasını sınırladığı ve bunlar arasında çapraz fay sistemlerinin gelişmiş olduğu bu alan Türkiye’de diri fay uzunluğunun en fazla olduğu bölgedir (Şekil 1). Bölgenin baskın fay mekanizmaları Bitlis Kenet Kuşağı, KAFZ ve DAFZ ile ifade edilebilmektedir [19-22]. Bu bölge içerisinde yer alan, 24.01.2020 tarihinde Elazığ (Sivrice)’da meydana gelen $M_w=6.8$ büyüklüğündeki deprem dikkatleri

2.3. Tasarım Spektrumlarının Elde Edilmesi

Yeni deprem yönetmeliği ile geometrik konuma özel tasarım spektrumları kullanılmaya başlanmıştır. Yapıların deprem yükleri altındaki hesaplamaları için birtakım parametrelere ihtiyaç duyulmakta olup bu değerler, 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile beraber oluşturulan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması yardımı ile elde edilebilmektedir [40, 41]. Bu çalışma da öngörülen uygulama kullanılarak Sivrice ve Pütürge olmak üzere iki farklı coğrafik konum dikkate alınmıştır. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak parametre değerleri farklı yer hareket düzeylerine göre hesaplanmıştır. Dikkate alınan iki coğrafik konum rastgele seçilmiş olup değerler elde edilmiştir. Dört farklı deprem yer hareket düzeyi ve beş farklı zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Bu çalışma kapsamında seçilen her iki geometrik konum için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, yerel zemin etki katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik spektrum eğrisi için hesaplamalar yapılmıştır. İnteraktif Web Uygulamasında dikkate alınan sismik tehlike haritası Şekil 3'te gösterilmiştir



Şekil 3. Türkiye sismik tehlike haritası [41]

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018), deprem yer hareket düzeyi önceki yönetmeliklerden farklı olarak dört farklı şekilde ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında da kullanılan deprem yer hareket düzeyleri Tablo 4'te verilmiştir. Dört farklı deprem yer hareket düzeyi için deprem parametre değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 4. Deprem yer hareketi düzeyleri [40]

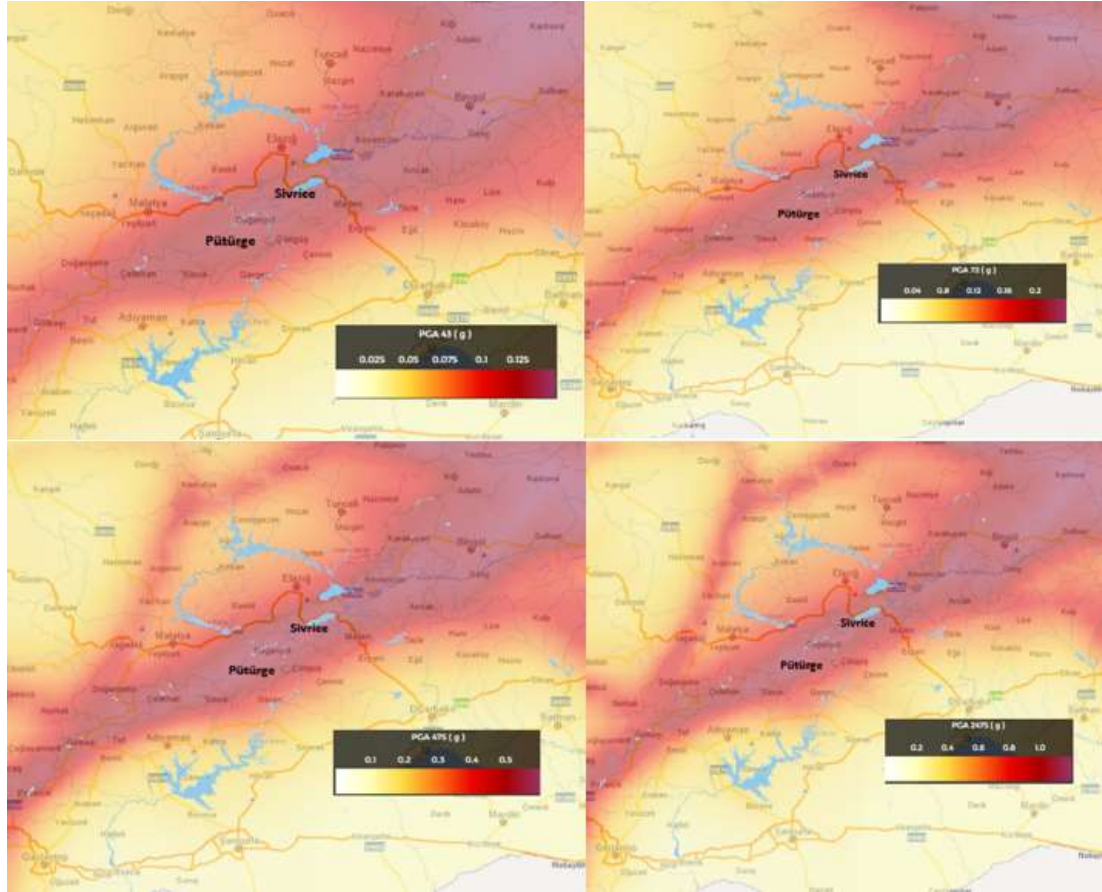
Deprem Düzeyi	Tekrarlanma Periyodu	Aşılma Olasılığı (50 yılda)	Tanımı
DD-1	2475	0.02	En büyük deprem yer hareketi
DD-2	475	0.1	Standart tasarım deprem yer hareketi
DD-3	72	0.5	Sık deprem yer hareketi
DD-4	43	0.68	Servis deprem hareketi

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak Sivrice ve Pütürge için dikkate alınan konumların her biri için farklı deprem yer hareket düzeyleri için en büyük yer ivmesi (P_{GA}), en büyük yer hızı (P_{GV}) değerlerinin karşılaştırılması Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Farklı aşılma olasılıkları için elde edilen PGA ve PGV değerleri

İlçe	En büyük yer ivmesi (g) 50 yılda aşılma olasılığı				En büyük yer hızı (cm/s)-PGV 50 yılda aşılma olasılığı			
	2%	10%	50%	68%	2%	10%	50%	68%
Sivrice	1.165	0.665	0.250	0.149	94.266	52.212	13.765	7.456
Pütürge	1.144	0.652	0.225	0.137	80.305	43.977	12.012	6.659

Çalışmada dikkate alınan konumlar için uygulama üzerinden elde edilen farklı aşılma olasılıkları için en büyük yer ivme haritaları Şekil 4'te gösterilmiştir.

**Şekil 4.** Farklı aşılma olasılıkları için en büyük ivme değerlerini gösteren haritalar

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması [41] kullanılarak Sivrice ve Pütürge için farklı deprem yer hareket düzeyleri için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s), 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1), değerlerinin karşılaştırılması Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Farklı aşılma olasılıkları için elde edilen S_s ve S_1 değerleri

İlçe	Kısa periyot ivme katsayısı (S_s) 50 yılda aşılma olasılığı				1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1) 50 yılda aşılma olasılığı			
	2%	10%	50%	68%	2%	10%	50%	68%
Sivrice	2.913	1.604	0.578	0.339	0.819	0.419	0.132	0.074
Pütürge	2.884	1.580	0.521	0.314	0.785	0.406	0.116	0.066

Bir önceki deprem yönetmeliğinde zemin grup ve sınıfları ayrı ayrı ifade edilirken güncel yönetmelik ile zemin sınıf ve grupları birleştirilmiştir. Güncel deprem yönetmeliğinde yer alan zemin sınıfları ve özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Yerel zemin sınıfları [40]

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması [41] kullanılarak TBDY-2018’de yer alan dört farklı yer hareket düzeyi ve beş farklı yerel zemin sınıfı değişken olarak seçilerek deprem parametreleri ve tasarım spektrumları uygulama üzerinden ayrı ayrı elde edilmiştir. Yerel zemin etki katsayıları (F_s ve F_1), tasarım spektral ivme katsayıları (kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ile 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}) ve yatay ile düşey elastik spektrum değerleri ayrı ayrı elde edilmiştir. Farklı yer hareket düzeyleri ve zemin sınıfları için elde edilen değerlerin karşılaştırılması Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Deprem parametre değerlerinin farklı yer hareketleri ve zemin sınıfları için karşılaştırılması

Zemin Sınıfı	Parametre	DD-1		DD-2		DD-3		DD-4	
		Sivrice	Pütürge	Sivrice	Pütürge	Sivrice	Pütürge	Sivrice	Pütürge
ZA	F_s	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
	F_1	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
	S_{DS}	2.330	2.307	1.283	1.264	0.462	0.417	0.271	0.251
	S_{D1}	0.655	0.628	0.335	0.325	0.106	0.093	0.059	0.053
	T_A	0.056	0.054	0.052	0.051	0.046	0.045	0.044	0.042
	T_B	0.281	0.272	0.261	0.257	0.228	0.223	0.218	0.210
	T_{AD}	0.019	0.018	0.017	0.017	0.015	0.015	0.015	0.014
	T_{BD}	0.094	0.091	0.087	0.086	0.076	0.074	0.073	0.070
ZB	F_s	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
	F_1	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
	S_{DS}	2.622	2.596	1.444	1.422	0.520	0.469	0.305	0.283
	S_{D1}	0.655	0.628	0.335	0.325	0.106	0.093	0.059	0.053
	T_A	0.050	0.048	0.046	0.046	0.041	0.040	0.039	0.037
	T_B	0.250	0.242	0.232	0.228	0.203	0.198	0.194	0.187
	T_{AD}	0.017	0.016	0.015	0.015	0.014	0.013	0.013	0.012
	T_{BD}	0.083	0.081	0.077	0.076	0.068	0.066	0.065	0.062
ZC	F_s	1.200	1.200	1.200	1.200	1.269	1.290	1.300	1.300
	F_1	1.400	1.400	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
	S_{DS}	3.496	3.461	1.925	1.896	0.733	0.673	0.441	0.408
	S_{D1}	1.147	1.099	0.628	0.609	0.198	0.174	0.111	0.099
	T_A	0.066	0.064	0.065	0.064	0.054	0.052	0.050	0.049
	T_B	0.328	0.318	0.327	0.321	0.270	0.259	0.252	0.243

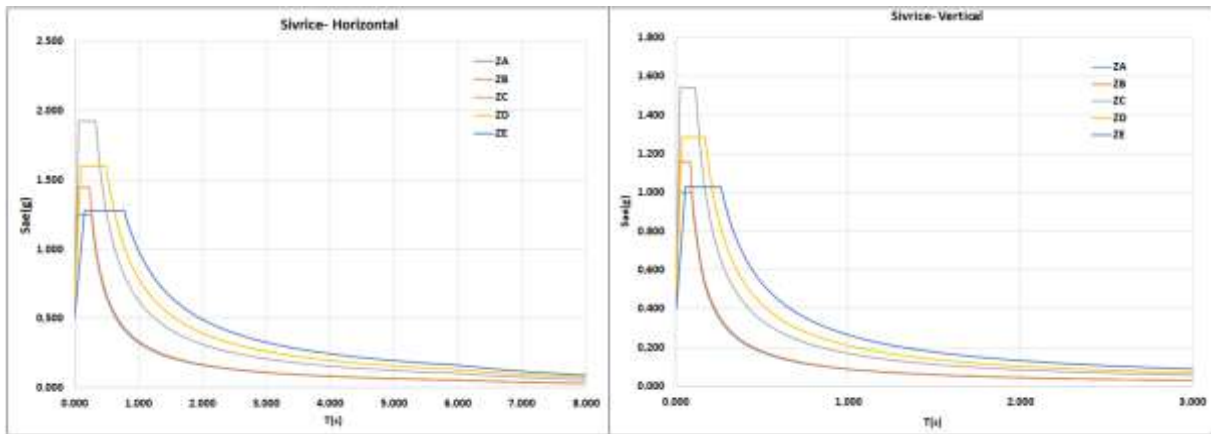
ZD	T _{AD}	0.022	0.021	0.022	0.021	0.018	0.017	0.017	0.016
	T _{BD}	0.109	0.106	0.109	0.107	0.090	0.086	0.084	0.081
	F _S	1.000	1.000	1.000	1.000	1.338	1.383	1.529	1.549
	F _I	1.700	1.700	1.881	1.894	2.336	2.368	2.400	2.400
	S _{DS}	2.913	2.884	1.604	1.580	0.773	0.721	0.518	0.486
	S _{DI}	1.392	1.335	0.788	0.769	0.308	0.275	0.178	0.158
	T _A	0.096	0.093	0.098	0.097	0.080	0.076	0.069	0.065
	T _B	0.478	0.463	0.491	0.487	0.399	0.381	0.343	0.326
	T _{AD}	0.032	0.031	0.033	0.032	0.027	0.025	0.023	0.022
	T _{BD}	0.159	0.154	0.164	0.162	0.133	0.127	0.114	0.109
ZE	F _S	0.800	0.800	0.800	0.800	1.575	1.666	2.151	2.221
	F _I	2.000	2.000	2.362	2.338	3.912	4.056	4.200	4.200
	S _{DS}	2.330	2.307	1.283	1.264	0.910	0.868	0.729	0.697
	S _{DI}	1.638	1.570	0.990	0.970	0.516	0.470	0.311	0.277
	T _A	0.141	0.136	0.154	0.153	0.113	0.108	0.085	0.080
	T _B	0.703	0.680	0.771	0.767	0.567	0.542	0.426	0.398
	T _{AD}	0.047	0.045	0.051	0.051	0.038	0.036	0.028	0.027
	T _{BD}	0.234	0.227	0.257	0.256	0.189	0.181	0.142	0.133

Spektral ivme katsayılarının karşılaştırılması sadece DD-2 yer hareket düzeyine göre yapılmıştır. Bunun sebebi bir önceki deprem yönetmeliğinde sadece tekrarlanma periyodu 475 yıl, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareket düzeyinin kullanılmasıdır. Bu yer hareket düzeyi dikkate alınarak, spektral ivme katsayılarının son iki deprem yönetmeliğine göre karşılaştırılması Tablo 9'da gösterilmiştir.

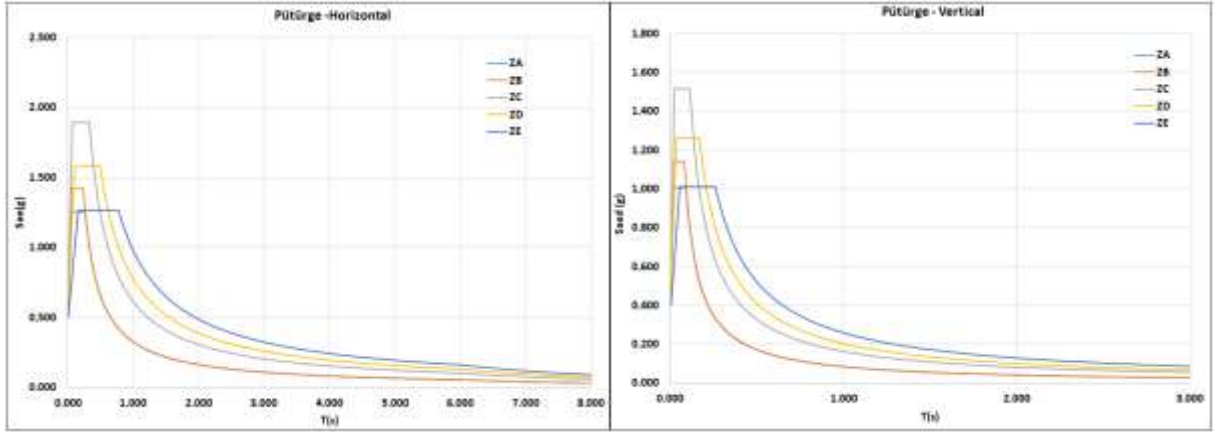
Tablo 9. Spektral ivme katsayılarının farklı zemin türleri ile karşılaştırılması

DD-2 Yerleşim birimi	TBDY -2018										Tüm Zemin sınıfları DBYBHY- 2007	
	Z _A	Z _B	Z _C	Z _D	Z _E	S _{DS}	0.40S _{DS}	S _{DS}	0.40S _{DS}	S _{DS}	0.40S _{DS}	
Pütürge	1.264	0.506	1.422	0.569	1.896	0.759	1.580	0.632	1.264	0.506	1.00	0.40
Sivrice	1.283	0.513	1.444	0.578	1.925	0.770	1.604	0.624	1.283	0.513	1.00	0.40

Farklı zemin grupları için elde edilen yatay ve düşey tasarım spektrumlarının karşılaştırılması Sivrice için Şekil 5, Pütürge için Şekil 6'da verilmiştir.



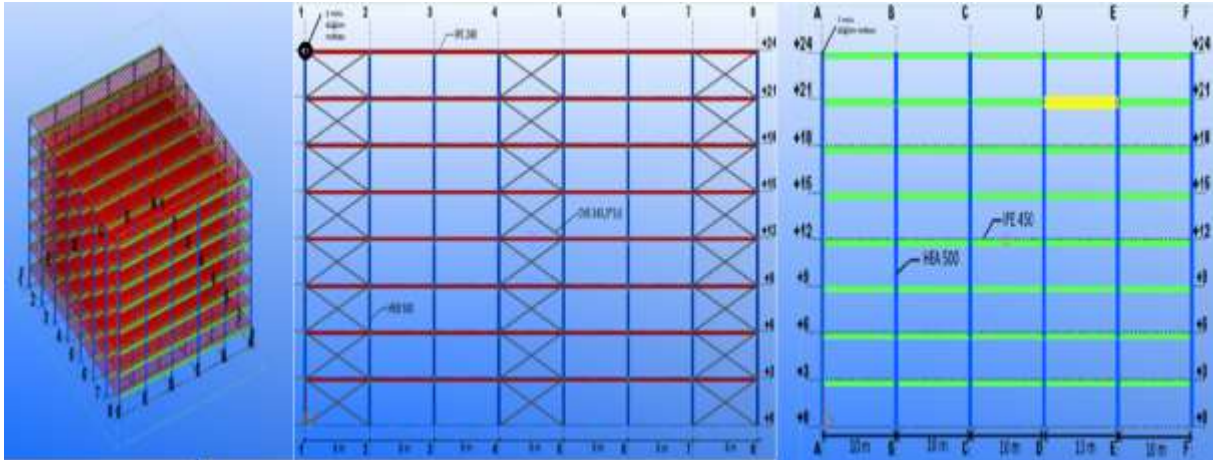
Şekil 5. Sivrice için farklı zemin sınıfları için DD-2 için elde edilen spektrumların karşılaştırılması



Şekil 6. Pütürge için farklı zemin sınıfları için DD-2 için elde edilen spektrumların karşılaştırılması

2.4. Örnek Çelik Yapı Özellikleri

Yapısal analizlerde yaygın olarak kullanılan SAP2000 yazılımı [42] ile analizler yapılmıştır. Bu yazılımın seçilmesindeki neden, güncel olan TBDY-2018 bu yazılıma entegre edilmesidir. Böylece yapıların deprem analizinde TBDY-2018'e uygun olarak dinamik analiz yapılmakta, hassas ve kesin sonuçlar elde edilmektedir. Bu çalışma kapsamında Sivrice ve Pütürge için interaktif web deprem uygulamasından elde edilen tasarım spektrumları kullanılarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak seçilen sekiz katlı çelik karkas bir bina dikkate alınmış olup kat yükseklikleri birbirine eşit olarak alınmıştır. Yapı x yönünde 5 açıklıklı ve her bir açıklığı 10m, y yönünde ise 7 açıklıklı ve her bir açıklığı 8m olarak boyutlandırılmıştır. Yapı yüksekliği 24 m olup, kat yüksekliği 3m'dir. Bu yapıya ait 2 ve 3 boyutu yapısal modeller Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Çelik yapı için elde edilen 2 ve 3 boyutlu modeller

Deprem etkisini güvenle karşılamak üzere, çelik çerçevelerin zayıf yönünde çapraz elemanlar yerleştirilmiştir. Çelik yapının ana kirişlerinde IPE450, kolonlarında HEB500, çaprazlarında TUBO-D114.3X3.6 ve tali kirişlerinde ise IPE240 profilleri seçilmiştir. Yapının tasarımında, "2016-Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik" [43] kriterleri göz önüne alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Yapısal analizler sonucu örnek olarak seçilen çelik yapı doğal titreşim periyodu 1.947s olarak hesaplanmıştır. X, Y ve Z yönündeki farklı deprem yüklemelerinden dolayı 2 nolu düğüm noktasında elde edilen yer değiştirme ve dönme değerleri Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Farklı yüklemeler altında farklı zemin koşulları için elde edilen yer değiştirme ve dönme değerleri

Yerleşim Birimi	Zemin sınıfı	Nokta	Yükleme Durumu	U _x (m)	U _y (m)	U _z (m)	R _x (Radyan)	R _y (Radyan)	R _z (Radyan)
Sivrice	ZA	2	EX	0.074896	0.005976	0.000654	-0.000121	0.001371	-0.000239
	ZB	2	EX	0.084258	0.006723	0.000735	-0.000136	0.001542	-0.000269
	ZC	2	EX	0.094695	0.007556	0.000826	-0.000153	0.001733	-0.000302
	ZD	2	EX	0.112344	0.008964	0.00098	-0.000181	0.002056	-0.000359
	ZE	2	EX	0.11891	0.009488	0.001038	-0.000192	0.002177	-0.00038
	ZA	2	EY	0.005976	0.034084	0.001191	-0.000686	0.000108	0.000213
	ZB	2	EY	0.006723	0.038344	0.001339	-0.000771	0.000121	0.00024
	ZC	2	EY	0.010694	0.060993	0.002131	-0.001227	0.000192	0.000382
	ZD	2	EY	0.013411	0.076485	0.002672	-0.001539	0.000241	0.000479
	ZE	2	EY	0.01684	0.096043	0.003355	-0.001932	0.000303	0.000601
Pütürge	ZA	2	EX	0.073775	0.005887	0.000644	-0.000119	0.00135	-0.000235
	ZB	2	EX	0.082997	0.006623	0.000724	-0.000134	0.001519	-0.000265
	ZC	2	EX	0.092392	0.007372	0.000806	-0.000149	0.001691	-0.000295
	ZD	2	EX	0.110663	0.00883	0.000966	-0.000179	0.002026	-0.000353
	ZE	2	EX	0.116489	0.009295	0.001017	-0.000188	0.002132	-0.000372
	ZA	2	EY	0.005887	0.033574	0.001173	-0.000675	0.000106	0.00021
	ZB	2	EY	0.006623	0.037771	0.001319	-0.00076	0.000119	0.000237
	ZC	2	EY	0.010363	0.0591	0.002065	-0.001189	0.000186	0.00037
	ZD	2	EY	0.013084	0.074624	0.002607	-0.001501	0.000235	0.000467
	ZE	2	EY	0.016497	0.094088	0.003287	-0.001893	0.000297	0.000589

X ve Y doğrultularında statik itme analiz sonucu elde edilen yer değiştirme ve dönme değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Yerdeğiştirme ve dönme değerleri

Yerleşim Birimi	Zemin sınıfı	Nokta	Yükleme Durumu	U _x (m)	U _y (m)	U _z (m)	R _x (Radyan)	R _y (Radyan)	R _z (Radyan)
Sivrice	ZA	2	SPECX	0.026625	7.02E-11	0.00016	6.057E-11	0.00065	1.549E-12
	ZB	2	SPECX	0.026626	7.22E-11	0.00016	6.084E-11	0.000654	1.594E-12
	ZC	2	SPECX	0.049919	1.19E-10	0.0003	1.121E-10	0.001199	2.632E-12
	ZD	2	SPECX	0.062578	1.28E-10	0.000376	1.378E-10	0.001421	2.861E-12
	ZE	2	SPECX	0.078386	1.23E-10	0.000463	1.34E-10	0.001584	2.868E-12
	ZA	2	SPECY	3.32E-10	0.030008	0.001057	0.000695	6.19E-06	9.571E-12
	ZB	2	SPECY	3.35E-10	0.03001	0.001057	0.000699	6.28E-06	9.616E-12
	ZC	2	SPECY	6.35E-10	0.056302	0.001995	0.001298	0.000011	1.867E-11
	ZD	2	SPECY	6.87E-10	0.07045	0.002452	0.001499	0.000012	1.968E-11
	ZE	2	SPECY	5.77E-10	0.088196	0.002987	0.001679	9.7E-06	1.586E-11
Pütürge	ZA	2	SPECX	0.025799	6.85E-11	0.000155	5.876E-11	0.00063	1.514E-12
	ZB	2	SPECX	0.02580	7.02E-11	0.000155	5.898E-11	0.000635	1.55E-12
	ZC	2	SPECX	0.048371	1.16E-10	0.000291	1.088E-10	0.001165	2.569E-12
	ZD	2	SPECX	0.061056	1.25E-10	0.000367	1.345E-10	0.001388	2.799E-12
	ZE	2	SPECX	0.076793	1.21E-10	0.000453	1.32E-10	0.001555	2.819E-12
	ZA	2	SPECY	3.23E-10	0.029078	0.001024	0.000674	6.01E-06	9.287E-12
	ZB	2	SPECY	3.24E-10	0.029079	0.001024	0.000678	6.1E-06	9.323E-12
	ZC	2	SPECY	6.19E-10	0.05456	0.001934	0.001262	0.000011	1.819E-11
	ZD	2	SPECY	6.75E-10	0.068743	0.002395	0.001468	0.000011	1.939E-11
	ZE	2	SPECY	5.69E-10	0.086402	0.002927	0.001646	9.55E-06	1.562E-11

Bir önceki deprem yönetmeliğinde verilen tasarım spektrum kullanılarak elde edilen yer değiştirme ve dönme değerleri Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. DBYBHY-2007 için elde edilen yerdeğiştirme ve dönmeler

Yerleşim Birimi	Zemin Sınıfı	Nokta	Yükleme Durumu	U _x (m)	U _y (m)	U _z (m)	R _x (Radyan)	R _y (Radyan)	R _z (Radyan)
Sivrice-Pütürge	Z1	2	SPECX	0.001733	3.24E-12	0.00001	3.069E-12	0.000037	7.388E-14
	Z2	2	SPECX	0.002182	3.76E-12	0.000013	3.827E-12	0.000045	8.685E-14
	Z3	2	SPECX	0.003017	4.78E-12	0.000018	5.218E-12	0.000061	1.11E-13
	Z4	2	SPECX	0.004166	5.19E-12	0.000024	5.312E-12	0.000077	1.287E-13
	Z1	2	SPECY	2.51E-11	0.002959	0.000102	0.000061	4.51E-07	7.192E-13
	Z2	2	SPECY	3.11E-11	0.003725	0.000128	0.000076	5.4E-07	8.96E-13
	Z3	2	SPECY	3.6E-11	0.005145	0.000175	0.000099	5.99E-07	9.872E-13
	Z4	2	SPECY	3.61E-11	0.007109	0.000239	0.000131	6.34E-07	9.964E-13

X, Y ve Z doğrultularında statik yüklemeye sonucu TBDY-2018’de verilen yerel zemin koşulları için elde edilen global taban kesme kuvvet ve moment değerleri Tablo 13’te gösterilmiştir.

Tablo 13. Yerel zemin koşulları için elde edilen kuvvet ve moment değerleri

Yerleşim Birimi	Zemin Sınıfı	Yükleme Durumu	Global F _x (kN)	Global F _y (kN)	Global F _z (kN)	Global M _x (kN-m)	Global M _y (kN-m)	Global M _z (kN-m)
Sivrice	ZA	EX	-4650.315	-7.39E-13	7.85E-13	-1.40E-10	-80430.249	143229.7
		EY	9.95E-12	-4650.315	-2.00E-11	80430.2491	8.04E-10	-127883.7
	ZB	EX	-5231.604	-7.598E-13	4.995E-13	-1.621E-10	-90484.03	161133.41
		EY	1.119E-11	-5231.604	-1.905E-11	90484.0302	7.581E-10	-143869.1
	ZC	EX	-5879.689	-9.376E-13	4.067E-12	-9.361E-11	-101693.09	181094.43
		EY	2.242E-11	-10435.35	-4.11E-11	180486.336	1.662E-09	-286972.3
	ZD	EX	-6975.472	-1.018E-12	2.694E-12	-1.473E-10	-120645.37	214844.55
		EY	1.774E-11	-8321.656	-3.282E-11	143928.497	1.315E-09	-228845.5
ZE	EX	-7383.214	-1.055E-12	2.265E-12	-2.112E-10	-127697.54	227403	
	EY	2.804E-11	-13103.83	-4.881E-11	226639.407	1.909E-09	-360355.4	
Pütürge	ZA	EX	-4580.734	-7.303E-13	6.243E-13	-1.062E-10	-79226.804	141086.61
		EY	9.822E-12	-4580.734	-1.712E-11	79226.8039	7.307E-10	-125970.2
	ZB	EX	-5153.326	-8.278E-13	1.873E-12	-1.222E-10	-89130.154	158722.44
		EY	1.107E-11	-5153.326	-1.912E-11	89130.1544	8.083E-10	-141716.5
	ZC	EX	-5736.64	-8.919E-13	3.3E-12	-1.313E-10	-99218.95	176688.5
		EY	2.195E-11	-10181.46	-3.796E-11	176095.2	1.534E-09	-279990.4
	ZD	EX	-6871.101	-1.016E-12	4.049E-12	-1.199E-10	-118840.21	211629.91
		EY	1.722E-11	-8063.466	-2.868E-11	139462.935	1.352E-09	-221745.3
ZE	EX	-7232.891	-1.128E-12	3.585E-12	-1.416E-10	-125097.6	222773.04	
	EY	2.773E-11	-12837.03	-4.709E-11	222024.993	1.799E-09	-353018.5	

Farklı yerel zemin koşulları için yapısal analizler sonucu elde edilen periyod değerleri ve ivme değerlerinin karşılaştırılması Tablo 14’de yapılmıştır.

Tablo 14. Periyot ve ivme değerlerinin karşılaştırılması

Yerleşim Birimi	Zemin sınıfı	Periyot (s)	Sönüm Oranı	U _x Acc (m/s ²)	U _y Acc (m/s ²)	U _x Amp (m)
Sivrice	ZA	1.94659	0.05	0.21163	0.33859	17.437015
	ZB	1.94659	0.05	0.21163	0.63485	17.437015
	ZC	1.94659	0.05	0.3968	0.63485	32.694403
	ZD	1.94659	0.05	0.49759	0.79611	40.998782
	ZE	1.94659	0.05	0.62483	0.99968	51.482787
Pütürge	ZA	1.94659	0.05	0.20506	0.32808	16.89601
	ZB	1.94659	0.05	0.20506	0.61516	16.89601
	ZC	1.94659	0.05	0.38449	0.61516	31.680018
	ZD	1.94659	0.05	0.48548	0.77674	40.001303
	ZE	1.94659	0.05	0.61211	0.97933	50.434589

4. Sonuç ve Öneriler

Zaman içerisinde farklı sebeplerden dolayı depreme dayanıklı yapı tasarım kurallarında değişimler kaçınılmaz olmaktadır. Türkiye’de de son güncellenme 2018 yılında yapılmıştır. Bu çalışma ile 2018 yılında güncellenen ve 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Yönetmeliğinde yer alan beş farklı yerel zemin sınıfı için örnek bir çelik yapı için yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yönetmelik ile birlikte sahaya özgü tasarım spektrumlarının kullanılmasında zorunlu bir hale gelmiştir. Bu çalışmada ayrıca deprensellik açısından riskli olan iki farklı yerleşim birimi için elde edilen tasarım spektrumlarının değişimi de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde güncellemelerin yapı-deprem ilişkisi açısından önemli kazanımlar içerdiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Her iki yerleşim birimi için seçilen örnek çelik yapının özellikleri değişmediği için doğal titreşim periyodu tüm yerel zemin sınıflarında aynı değeri almıştır. X ve Y doğrultularında sadece deprem kuvvetlerinin etkimesi durumunda yerel zemin koşulları zayıfladıkça yer değiştirme değerleri artmıştır. Daha sağlam zeminlerde dönme açısı azalım göstermektedir. PGA değeri daha yüksek olan Sivrice için elde edilen yer değiştirme ve dönme değerleri, daha düşük PGA değerine sahip Pütürge için elde edilen yer değiştirme ve dönme değerlerinden aynı zemin sınıfları için daha büyük çıkmıştır. Önceki yönetmelikte aynı deprem bölgesinde yer alan ve aynı tasarım spektrumun kullanılması bu sonuçların aynı çıkmasına neden olacaktır. Bu da sahaya özgü tasarım spektrumlarının gerekliliğini ortaya koymak adına elde edilen önemli sonuçlardan biridir. Bu sonuçlar statik itme analizlerinden elde edilen sonuçlar için geçerliliğini korumuştur. Bir önceki yönetmelik için hesaplanan yer değiştirme ve dönme değerleri her iki yerleşim birimi için eşit, güncel yönetmeliğe göre ise daha düşük değerler almıştır. Bu da yeni deprem yönetmeliğinin yapıların daha sünek davranmasını öngörmesinden kaynaklanmaktadır. Yani güncel yönetmelik yapılara daha fazla hareket etme kabiliyeti sunmaktadır.

Yapıda oluşacak iç kuvvetler, yerel zemin koşulları kötüleştikçe artış göstermiştir. Hem kuvvetler hem de momentler önemli bir ölçüde değişim göstermiştir. Bu da yerel zemin koşullarının önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Ayrıca yapıda seçilen bir nokta için elde edilen ivme değerleri de yerel zemin koşullarına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu durum PGA değerinin yüksek olduğu yerleşim biriminde aynı zemin ve aynı nokta için daha yüksek değerlerin oluşmasına neden olmuştur.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Çetin K., Yunatçı A. 2007. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleriyle Tümüleştirilmiş, Sahaya Özel Sismik Tepki ve Zemin Sıvılaşması Değerlendirmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye.
- [2] Cornell C.A. 1968. Engineering Seismic Risk Analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 58 (5): 1583-1606.
- [3] McGuire R.K. 2004. Seismic Hazard And Risk Analysis. Earthquake Engineering Research Institute.
- [4] Işık E., Sağır Ç., Tozlu Z., Ustaoglu Ü.S. 2019. Determination of Urban Earthquake Risk for Kırşehir, Turkey. Earth Sciences Research Journal, 23 (3): 237-247.
- [5] Karaşin İ.B., Işık E., Demirci A., Aydın M.C. 2020. Coğrafi Konuma Özel Tasarım Spektrumlarının Betonarme Yapı Performansına Etkisi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11 (3): 1319-1330.
- [6] Işık E., İkinci Y.L., Sayıl N., Büyüksaraç A., Aydın M.C. 2021. Time-dependent Model for Earthquake Occurrence and Effects of Design Spectra on Structural Performance: a Case Study from the North Anatolian Fault Zone, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 30 (2): 215-234.
- [7] Akkar S., Kale Ö., Yakut A., Ceken U. 2018. Ground-Motion Characterization for the Probabilistic Seismic Hazard Assessment in Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 16 (8): 3439-3463.
- [8] Akkar S., Eroğlu Azak T., Çan T., Çeken U., Demircioğlu M.B., Duman T., Zülfikar, Ö. 2014. Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi. AFAD, Proje No: UDAP-Ç-13-06.
- [9] Özmen B. 2012. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 55 (1): 43-55.
- [10] Çeken U., Dalyan İ., Kılıç N., Köksal T.S., Tekin B.M. 2017. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. 4. In Proceedings of the International Earthquake Engineering and Seismology Conference, Bucharest, Romania.
- [11] Işık E., Büyüksaraç A., İkinci Y.L., Aydın M.C., Harirchian E. 2020. The Effect of Site-Specific Design Spectrum on Earthquake-Building Parameters: A Case Study from the Marmara Region (NW Turkey). Applied Sciences, 10 (20): 7247.
- [12] Borcherdt R.D., Glassmoyer G. 1992. On the Characteristics of Local Geology and their Influence on Ground Motions Generated by the Loma Prieta Earthquake in the San Francisco Bay Region, California. Bulletin of the Seismological Society of America, 82 (2): 603-641.
- [13] Calvi G.M. 2018. Revisiting Design Earthquake Spectra. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 47 (13): 2627-2643.
- [14] Işık E., Kutanis M., Bal İ.E. 2016. Displacement of the Buildings According to Site-specific Earthquake Spectra. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 60 (1): 37-43.
- [15] Chávez-García F.J., Monsalve Jaramillo H., Gómez Cano M., Vila Ortega J.J., 2018. Vulnerability and Site Effects in Earthquake Disasters in Armenia (Colombia). I—Site Effects. Geosciences, 8 (7): 254.
- [16] Strukar K., Sipos T.K., Jelec M., Hadzima-Nyarko M. 2019. Efficient Damage Assessment For Selected Earthquake Records Based on Spectral Matching. Earthquake and Structures 17: 271-282.
- [17] Kutanis M., Ulutaş H., Işık E. 2018. PSHA of Van Province for Performance Assessment Using Spectrally Matched Strong Ground Motion Records. Journal of Earth System Science, 127 (7):99.
- [18] Işık E., Kutanis M. 2015. Determination of Local Site-Specific Spectra Using Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Bitlis Province, Turkey. Earth Sciences Research Journal, 19 (2): 129-134.

- [19] Bulut F. 2017. Doğu Anadolu Fayı boyunca Sismik ve A-sismik Tektonik Hareketler: Hazar Gölü Doğu'sunda Sismik Boşluk mu yoksa Krip mi? Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1): 257-263.
- [20] Lei J., Zhao D. 2007. Teleseismic Evidence for a Break-off Subducting Slab under Eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 257 (1-2): 14-28.
- [21] Nalbant S.S., McCloskey J., Steacy S., Barka A.A. 2002. Stress Accumulation and Increased Seismic Risk in Eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195 (3-4): 291-298.
- [22] Utkucu M., Durmuş H., Yalçın H., Budakoğlu E., Işık E. 2013. Coulomb Static Stress Changes before and after the 23 October 2011 Van, Eastern Turkey, Earthquake (M_W= 7.1): Implications for the Earthquake Hazard Mitigation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(7):1889-1902.
- [23] Okay A.I., Tüysüz O. 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. *Geol. Soc. Lond.* 156: 475-515.
- [24] USGS, 2010. Porphyry Copper Assessment of the Tethys Region of Western and Southern Asia; Scientific Investigations Report 2010-5090-V; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 2010.
- [25] İkinci Y.L., Ertekin C., Yiğitbaş E. 2013. On the Effectiveness of Directional Derivative Based Filters on Gravity Anomalies for Source Edge Approximation: Synthetic Simulations and a case Study from the Aegean Graben System (Western Anatolia, Turkey). *Journal of Geophysics and Engineering*, 10(3):035005.
- [26] İkinci Y.L., Yiğitbaş E. 2015. Interpretation of Gravity Anomalies to Delineate Some Structural Features of Biga and Gelibolu Peninsulas, and their Surroundings (North-west Turkey). *Geodinamica Acta*, 27(4):300-319.
- [27] Kalafat D. 1998. Anadolu'nun Tektonik Yapıların Deprem Mekanizmaları Açısından İrdelenmesi. *Deprem Araştırma Bülteni*, 25 (77): 1-217.
- [28] Utkucu M., Pınar A., Alptekin Ö. 2003. Uzak Alan P dalga Şekillerinin Sonlu-Fay Ters Çözümünden 22 Mayıs 1971 Bingöl Depremi Kırılma Sürecinin İncelenmesi. *Yerbilimleri*, 24 (28): 65-79.
- [29] Arpat E., Şaroğlu F. 1972. Doğu Anadolu Fayı ile İlgili Bazı Gözlemler ve Düşünceler. *MTA Dergisi*, 78: 33-39.
- [30] Haktanır T., Elcuman H. 2007. Bingöl İli ve Çevresinde Kaydedilmiş Yıllık Ekstrem Depremlerin İstatistiksel frekans Analizi ve Yörenin Depremselliği. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Türkiye*.
- [31] Aksoy E., Inceoz M., Koçyiğit A. 2007. Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16 (3): 319-338.
- [32] Isik E., Aydın M.C., Buyuksarac A. 2020. 24 January 2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake Damages and Determination of Earthquake Parameters in the Region. *Earthquakes and Structures*, 19 (2): 145-156.
- [33] AFAD, 2020. <https://www.afad.gov.tr/basin-duyurusu---30-elazig-ve-malatyada-mudahale-ve-iyilestirme-calismalari-suruyor>. (Accessed 02 February 2020).
- [34] Duman T.Y., Emre Ö. 2013. The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics. In A.H.F. Robertson, O. Parlak, & U.C. Ünlügenç (Eds.), *Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region*, 372, 495–529. Geological Society, London, Special Publications.
- [35] <https://deprem.afad.gov.tr/tarihseldepremler>. (Accessed 02 February 2020).
- [36] [http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri /tarihsel-depremler/](http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/tarihsel-depremler/)(Accessed 02 February 2020).
- [37] Köküm M., Özçelik F. 2020. A Case Study on Reassessment of Historical Earthquakes: 1789 Palu (Elazığ) Earthquake, Eastern Anatolia, Turkey. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 161: 157-170.
- [38] Sancar T., Akyuz H.S. 2014. Paleoseismology of the Ilipinar Segment (Karlıova, Bingöl), The North Anatolian Fault Zone. *Türkiye Jeoloji Bulteni-Geological Bulletin of Turkey*, 57(2):35-52.
- [39] KOERİ, 2020. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/24-ocak-sivrice-elazig-depremi-2/> (Accessed 02 February 2020).
- [40] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

- [41] Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/> ,2018.
- [42] Computer and Structures Inc. 2004: SAP 2000 V14.0.0 (Software), Berkeley, CA.
- [43] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (RG no. 29614), Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2016.

Araştırma Makalesi / Research Article

Determining of Aircraft Engine Greenhouse Gas (CO₂, CH₄ and N₂O) Emissions from the Landing and Take-Off Operations Around the Airport Area

Halil Yalçın AKDENİZ*

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü,
Eskişehir
(ORCID: 0000-0003-2101-6151)*

Abstract

Recently, environmental concerns arising from aviation activities have increased, and studies on the environmental aspect of aircraft operations within the concept of sustainable and cleaner aviation have become one of the important research topics. In this study, the greenhouse gas (GHG) Emissions, namely CO₂, CH₄, and N₂O pollutants emitted to the environment during the landing and take-off operations in the International Eskişehir Hasan Polatkan Airport (LTBY) of aircraft engines were analyzed with the help of predictive approaches. Additionally, the average jet-fuel consumptions of these aircraft were determined. Calculations were performed in point of the method of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and performed with the Tier-2 predictive approach. According to results, it has been obtained that the Airbus 321 (A-321) series aircraft has the highest pollution with a value of 762495 kg/y of GHG. Furthermore, it has been observed that approximately 1127710 kg/y of CO₂, 48.14 kg/year of CH₄, and 39.77 kg/y of N₂O were released into the environment. On the other hand, the total value of jet-fuel consumption during the landing and take-off operations of these aircraft is calculated to be an average of 357500 kg/y. In this regard, it has been determined that the Boeing B767-300 series aircraft (B763) is the most inefficient type of aircraft depending on the fuel consumption by performing a correlation between the parameters of average jet-fuel consumption and total landing and take-off count.

Keywords: Aircraft Engines, Aviation Emissions, Greenhouse Gases (GHG), Landing-Take-Off Cycle, Environmental Impact, Sustainable Aviation.

Havalimanı Bölgesinde İniş ve Kalkış Operasyonlarından Kaynaklanan Uçak Motoru Sera Gazı (CO₂, CH₄ ve N₂O) Emisyonlarının Belirlenmesi

Öz

Son zamanlarda havacılık faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel kaygılar artmış ve sürdürülebilir ve daha temiz havacılık konsepti içerisinde havacılığın çevresel boyutuna yönelik olarak yapılan çalışmalar önemli araştırma konularından birisi haline gelmiştir. Bu çalışmada, Uluslararası Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı'nda (LTBY) iniş ve kalkış operasyonları sırasında uçak motorlarından çevreye yayılan ve sera gazı emisyonları olarak bilinen CO₂, CH₄ ve N₂O kirleticileri, tahmin yaklaşımları yardımıyla analiz edilmiştir. Ek olarak, incelemeye konu uçakların uçuşun bu fazında toplamda yaklaşık jet yakıtı tüketim değerleri incelenmiştir. Hesaplamalar, IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) yöntemi ışığında ve Tier-2 tahmin yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Airbus 321 (A-321) serisi uçakların toplamda 762495 kg/yıl sera gazı emisyonu salınım değeri ile en yüksek kirliliğe sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca incelemeye konu uçaklardan iniş ve kalkış operasyonları neticesinde çevreye yaklaşık olarak 1127710 kg/yıl karbondioksit (CO₂), 48.14 kg/yıl metan (CH₄) ve 39.77 kg/yıl diazot monoksit (N₂O) salındığı görülmüştür. Öte yandan bu uçakların iniş-kalkış operasyonları sırasında jet yakıtı tüketiminin toplam değeri yaklaşık olarak 357 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda, ortalama Jet yakıtı tüketimi ile toplam iniş kalkış operasyonu sayıları arasında korelasyon kurularak Boeing B767-300 (B763) serisi uçağın hesaplanmış olan yakıt tüketim performansına bağlı olarak en verimsiz uçak tipi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Uçak Motorları, Havacılık Emisyonları, Sera Gazları, İniş-Kalkış Döngüsü, Çevresel Etki, Sürdürülebilir Havacılık.

*Corresponding author: hyakdeniz26@gmail.com

Received: 30.04.2021, Accepted: 02.07.2021

1. Introduction

In recent years, the share of the aviation industry in the world economy has increased and airline traffic has increased significantly. For example, in the period between 1989 and 2009, the total planned airline traffic grew by an annual average of 4.4%. In 2009, approximately 2.3 billion passengers and 38 million tons of cargo were transported by airlines around the world [1, 2]. It is known that approximately 32 million people are working in the aviation sector in the world, and the aviation industry has a size of 3.6 billion dollars [3,4]. The aviation industry accounts for 2% of overall CO₂ pollutants, also it is predicted that this value will reach 3% by 2050 [4, 5]. In addition to some negative environmental effects brought about by this growth in the aviation sector, it also has several adverse effects on human health, directly or indirectly. Concepts such as emission and noise can be given as examples [6, 7].

The environmental impacts of aircraft-induced emissions are categorized in two different ways. One of them is the landing and take-off cycle called LTO. The landing and take-off cycle includes four phases of flight. These are taxi, take-off, climb and approach phases. This cycle includes aircraft movements up to 915 meters above the ground. The effect of emissions from aircraft around the airports is largely due to this cycle. Another way to examine the environmental impact of aircraft emissions is the cruise phase of flight. Cruise is a flat flight mode that takes place above 915 meters altitude. Cruise emissions directly cause climate change, stratospheric ozone, which is one of the layers of the atmosphere, and UV radiations [8-10]. Different types of exhaust emissions and pollutants are released into the atmosphere during the landing and take-off cycle from aircraft. It is known as CO₂, H₂O, NO_x, SO_x, CO, HC, VOC, NMVOC, and other gases and particulates. CO₂, CH₄ N₂O gases, which are called greenhouse gas emissions, are among the gases released [11-15].

In the literature, it has been observed that studies on aircraft emissions have become widespread in recent years. Kaygusuz [16] has identified in his 2001 study of air for his release during take-off and landing cycle emissions of NO_x and CO emissions that form part 0.25%-0.3% of total emissions in Turkey.

Tokuslu [17] estimated NO_x, CO, and HC pollutants at Tbilisi International Airport in Georgia from aircraft during the LTO cycles for the year 2018. The author used the International Civil Aviation Organization (ICAO) engine exhaust emission databank to calculate aircraft-induced emissions in his study. According to the results of the study, the total aircraft emissions during the LTO cycle were estimated to be 428.78 t/year (20.24 t/year for HC, 161.21 t/year for CO, and 247.33 t/year for NO_x.) at the airport examined. The author argued that the international flight operations were made up of 99% of all flights in terms of total LTO emissions.

Pecorari et al. [14] analyzed the CO, HC, and NO_x emissions from aircraft with the help of the Lagrangian particle method. Uygur and Ozgunoglu [15] examined the CO₂, NMVOC, CH₄ N₂O, NO_x, CO, and SO₂ gaseous generated during the LTO cycles of aircrafts at Kahramanmaraş Airport in 2016. According to the results of the examination, they determined that the type of aircraft that generates the most emission is Airbus 320 (A320). Kumas et al. [18] determined the CO₂ emission amount for 2017 at Muğla Dalaman Airport as 93410.750 tons per year as a result of their calculations. Yılmaz [19] calculated the NO_x, HC, and CO emissions at Kayseri Airport during the landing and take-off cycles of the aircraft in 2010 in parallel with the emission inventory of ICAO and stated that a total of 177.90 tons of emission was emitted to the environment in 2010.

Rismann et al. [20] analyzed by using the model of Advanced Transportation Modeling System, Emission, Response and Reactions of Atmospheric Matter (AMSTERDAM), to analyze the emissions resulting from the landing and take-off cycle at Atlanta Airport (USA).

Dong et al. [21] assessed whether flight frequency has substantial effects on air pollution depending on the monthly data of aircraft movements from 59 airports in China for about 4 years by using the two-way fixed effects model.

In another paper, Phoenix et al. [22] evaluated the global effects of aviation non-LTO emissions on surface air quality for present-day and mid-century (2050) using the Community Atmosphere Model with Chemistry, version 5 (CAM5). Besides, they examined the aviation effect at mid-century with two fuel scenarios, a biofuel, and a fossil fuel. Yang et al. [23] estimated the emissions of air pollutants from aircraft and other sources at Beijing Capital International Airport using aircraft using meteorological data.

In the study, the emitted GHG emissions to the environment during the landing and take-off cycle of the aircraft with used jet-fuel at International Eskisehir Hasan Polatkan Airport (LTBY) are analyzed with the help of predictive approaches. Thirteen different types of aircraft are examined in the analyses. Also, the total average jet-fuel consumptions of these thirteen different types of aircraft are determined. Additionally, by correlating the count of LTO cycles and total fuel consumption, the aircraft type that is the most efficient and inefficient in fuel consumption is determined among the analyzed aircraft types. In this study, different from some previous studies, it is aimed to analyze aviation-induced emissions by considering the more diversity of different types of aircraft. In this manner, it is purposed to make a helpful contribution to the aviation-induced emission literature in terms of different aircraft types. Besides, international flights are also analyzed in addition to the emission evaluations of local-scale flight operations at an airport.

2. Material and Method

2.1. The LTO Cycle and GHG Emissions

An aircraft maintains its flight in two general modes. One of them is the landing-take-off cycle that takes place below 915 meters (3000 feet) and includes taxi, take-off, climb, and landing phases, while the other is the cruise mode, which is called flat flight and is outside the landing-take-off cycle above 915 meters [4, 24]. A visualized information about the landing and take-off cycle of flight, which includes various maneuvers of an aircraft, is given in Figure 1.



Figure 1. LTO cycle of flight [25].

Approximately 10% of all aircraft emissions, excluding HC and CO₂ emissions, are emitted at ground level and during the LTO cycle. Almost 30% of the total HC and CO₂ emissions emitted by the aircraft are emitted in this cycle [4, 26].

Greenhouse gases (GHG) compose a group of gases leading to climate change and global warming. The Kyoto Protocol, an environmental agreement signed by many parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in 1997 to curb global warming, includes six greenhouse gases: nitrous oxide (N₂O), methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂), and sulphur hexafluoride (SF₆). It is possible to compare them and to determine their individual and total contribution to global warming by converting them to carbon dioxide (or CO₂) equivalents [27].

2.2. Method and Analyses

The approach of IPCC, which are concepts that called the Tier methodologies in the assessment of the parameters such as combustion technology, conditions of combustion, standards of emissions resulting from combustion, characteristics of the fuel used in combustion, in emission calculations related to the transportation sector. In the methodology of Tier-1, the emission generated by aircraft landing-take-off and cruise activities in aviation is obtained by multiplying the amount of fuel consumed by aircraft with average emission factors. The equation for the related calculation method is given in Equation (1) [15, 28].

$$\text{Emission Amount (y)} = EI \times FC \quad (1)$$

Where EI denotes the Emission Index which is specifically related to the type of pollutant gas, the unit of this parameter is kg/LTO, the FC represents the fuel consumption of an aircraft operating the LTO cycle of flight, the unit of this parameter is kg, and y is the yearly emission value. In the methodology of Tier-2, the landing and take-off cycle emissions of the aircraft are estimated according to Equation (2).

$$LTO \text{ Emissions } (y) = LTO \text{ Count} \times EI \quad (2)$$

Where, while the $LTO \text{ Count}$ demonstrates the number of total Landing and Take-off cycles of an aircraft, EI indicates that the emission index which is specifically related to the type of pollutant gas, unit is kg/LTO. In the Tier-2 method, the type of fuel used by aircraft is critical, and according to this method, emission investigations of aircraft using only jet fuel are performed. The aircraft types examined in the study and the values of the GHG emission index are given in Table 1 [15, 28].

Table 1. Examined aircraft types and their GHG emission indexes (EI)

Aircraft type	Aircraft model	CO ₂ – EI (kg/LTO)	CH ₄ – EI (kg/LTO)	N ₂ O – EI (kg/LTO)
A319	Airbus A319	2310	0.06	0.1
A320	Airbus A320	2440	0.06	0.1
A321	Airbus A321	3020	0.14	0.1
B734	Boeing 737-400	2480	0.08	0.1
B738	Boeing 737-800	2780	0.07	0.1
B763	Boeing 767-300	5610	0.12	0.2
C25A	CESSNA 525A Citation CJ2	1070	0.33	0.03
B38M	Boeing 737-MAX 8	2780	0.07	0.1
C56X	CESSNA 560X Citation Excel	1070	0.33	0.03
GLF4	Gulfstream 4	2160	0.14	0.1
C680	CESSNA Citation Sovereign 680	1070	0.33	0.03
CRJ2	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-200	1070	0.33	0.03
MD82	McDonnell Douglas MD82	3180	0.19	0.1

In Table 1, calculations for thirteen aircraft for which GHG emission indexes are given were determined by the IPCC method and performed with the help of the Tier-2 method. The total LTO cycles of these aircraft in one year are given in Table 2. Flight data of aircraft were obtained from Eskişehir Technical University. The analysis and matching of aircraft types were performed. Besides domestic flights, international flights are also included in the calculations.

Table 2. Aircraft type and LTO count

Aircraft type	Aircraft model	LTO Count
A319	Airbus A319	1
A320	Airbus A320	64
A321	Airbus A321	167
B734	Boeing 737-400	6
B738	Boeing 737-800	125
B763	Boeing 767-300	1
C25A	CESSNA 525A Citation CJ2	3
B38M	Boeing 737-MAX 8	21
C56X	CESSNA 560X Citation Excel	17
GLF4	Gulfstream 4	2
C680	CESSNA Citation Sovereign 680	8
CRJ2	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-200	1
MD82	McDonnell Douglas	1

3. Results and Discussion

The estimated GHG emission results with the aid of the Tier-2 method are given in Tables 3-5. Accordingly, the obtained yearly CO₂ emissions based on the aircraft types and their LTO cycles are given in Table 3.

Table 3. Results of emitted CO₂ emissions

Aircraft type	Aircraft model	LTO Count	CO ₂ (kg/y)
A319	Airbus A319	1	2310
A320	Airbus A320	64	156160
A321	Airbus A321	167	504340
B734	Boeing 737-400	6	14880
B738	Boeing 737-800	125	347500
B763	Boeing 767-300	1	5610
C25A	CESSNA 525A Citation CJ2	3	3210
B38M	Boeing 737-MAX 8	21	58380
C56X	CESSNA 560X Citation Excel	17	18190
GLF4	Gulfstream 4	2	4320
C680	CESSNA Citation Sovereign 680	8	8560
CRJ2	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-200	1	1070
MD82	McDonnell Douglas	1	3180

According to Table 3, the amount of the CO₂ emissions are estimated to be 156160 kg/y for the A320, 504340 kg/y for the A321, 14880 kg/y for the B734, 347500 kg/y for the B738, 58380 kg/y for the B38M, and 18190 kg/y for the C56X types of aircraft. Also, it is revealed that these aircrafts have the major portion of CO₂ emission amount of total amount.

The variation of total CO₂ values by aircraft types is plotted in Figure 2.

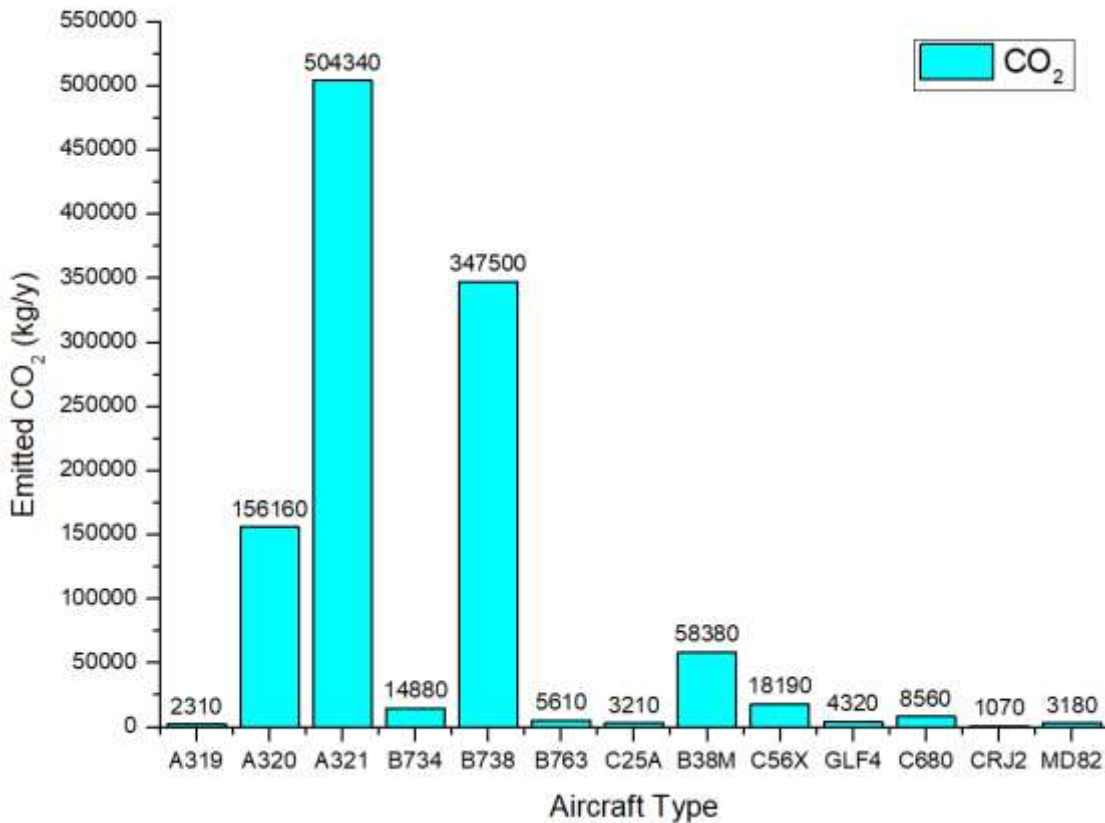


Figure 2. Decomposition of CO₂ emissions based on the aircraft types

According to the plotted graph in Figure 2, the total CO₂ emissions in the period examined are found to be 1127710 kg/y. The highest CO₂ emissions are found to be 504340 kg/y for A321 series aircraft. One of the main reasons for this can be considered to have the maximum LTO count with a value of 167 of A321 series aircraft. Also, the CRJ2 series aircraft has the minimum CO₂ emissions among the other ones with a value of 1070 kg/y.

The obtained yearly CH₄ emissions based on the aircraft types and their LTO cycles are presented in Table 4.

Table 4. Results of emitted CH₄ emissions

Aircraft type	Aircraft model	LTO Count	CH ₄ (kg/y)
A319	Airbus A319	1	0.06
A320	Airbus A320	64	3.84
A321	Airbus A321	167	23.38
B734	Boeing 737-400	6	0.48
B738	Boeing 737-800	125	8.75
B763	Boeing 767-300	1	0.12
C25A	CESSNA 525A Citation CJ2	3	0.99
B38M	Boeing 737-MAX 8	21	1.47
C56X	CESSNA 560X Citation Excel	17	5.61
GLF4	Gulfstream 4	2	0.28
C680	CESSNA Citation Sovereign 680	8	2.64
CRJ2	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-200	1	0.33
MD82	McDonnell Douglas	1	0.19

According to Table 4, the CH₄ emissions are calculated to be 3.84 kg/y for the A320, 23.38 kg/y for the A321, 0.48 kg/y for the B734, 8.75 kg/y for the B738, 1.47 kg/y for the B38M, 5.61 kg/y for the C56X, and 2.64 kg/y for the C680 types of aircraft.

The variation of total CH₄ emissions by aircraft types is graphed in Figure 3.

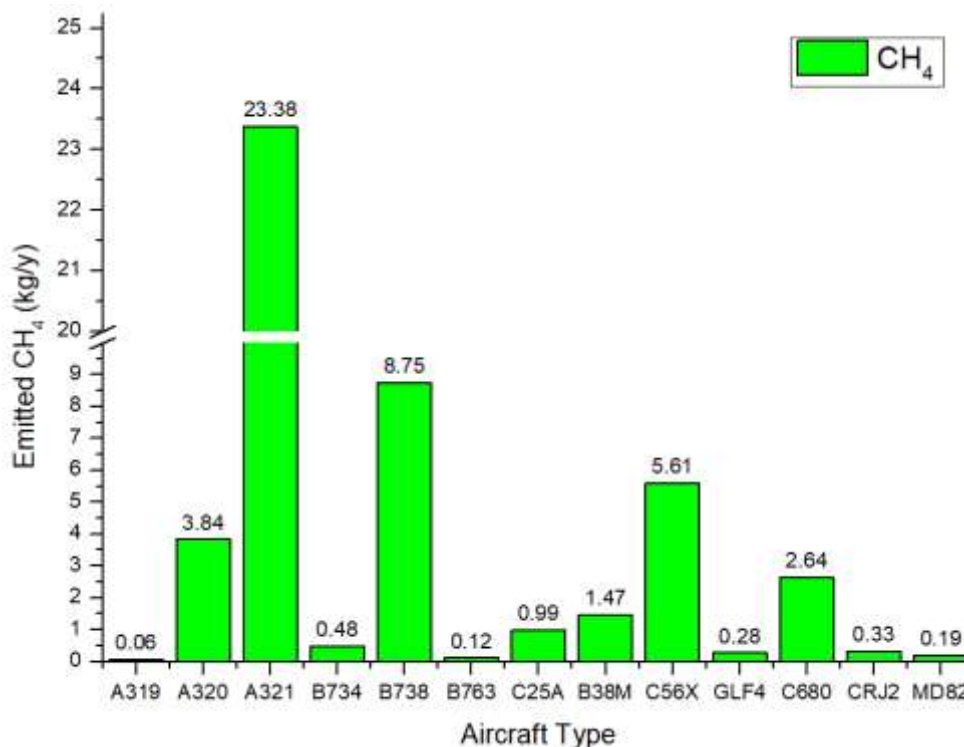


Figure 3. Decomposition of CH₄ emissions based on the aircraft types

Figure 3 denotes that as expected, the A321 series aircraft emitted the most CH₄ emissions with a value of 23.38 kg/y due to the maximum LTO count. The total CH₄ emission in the period examined

is found to be 48.14 kg/y. Besides, the A319 series aircraft has the minimum emitted CH₄ emissions among the other ones with a value of 0.06 kg/y.

The obtained yearly N₂O emissions based on the aircraft types and their LTO cycles are demonstrated in Table 5.

Table 5. Results of emitted N₂O emissions

Aircraft type	Aircraft model	LTO Count	N ₂ O (kg/y)
A319	Airbus A319	1	0.1
A320	Airbus A320	64	6.4
A321	Airbus A321	167	16.7
B734	Boeing 737-400	6	0.6
B738	Boeing 737-800	125	12.5
B763	Boeing 767-300	1	0.2
C25A	CESSNA 525A Citation CJ2	3	0.09
B38M	Boeing 737-MAX 8	21	2.1
C56X	CESSNA 560X Citation Excel	17	0.51
GLF4	Gulfstream 4	2	0.2
C680	CESSNA Citation Sovereign 680	8	0.24
CRJ2	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-200	1	0.03
MD82	McDonnell Douglas	1	0.1

According to Table 5, the N₂O emissions are computed to be 6.4 kg/y for the A320, 16.7 kg/y for the A321, 12.5 kg/y for the B738, 2.1 kg/y for the B38M types of aircraft.

The variation of total N₂O emissions by aircraft types is graphed in Figure 4.

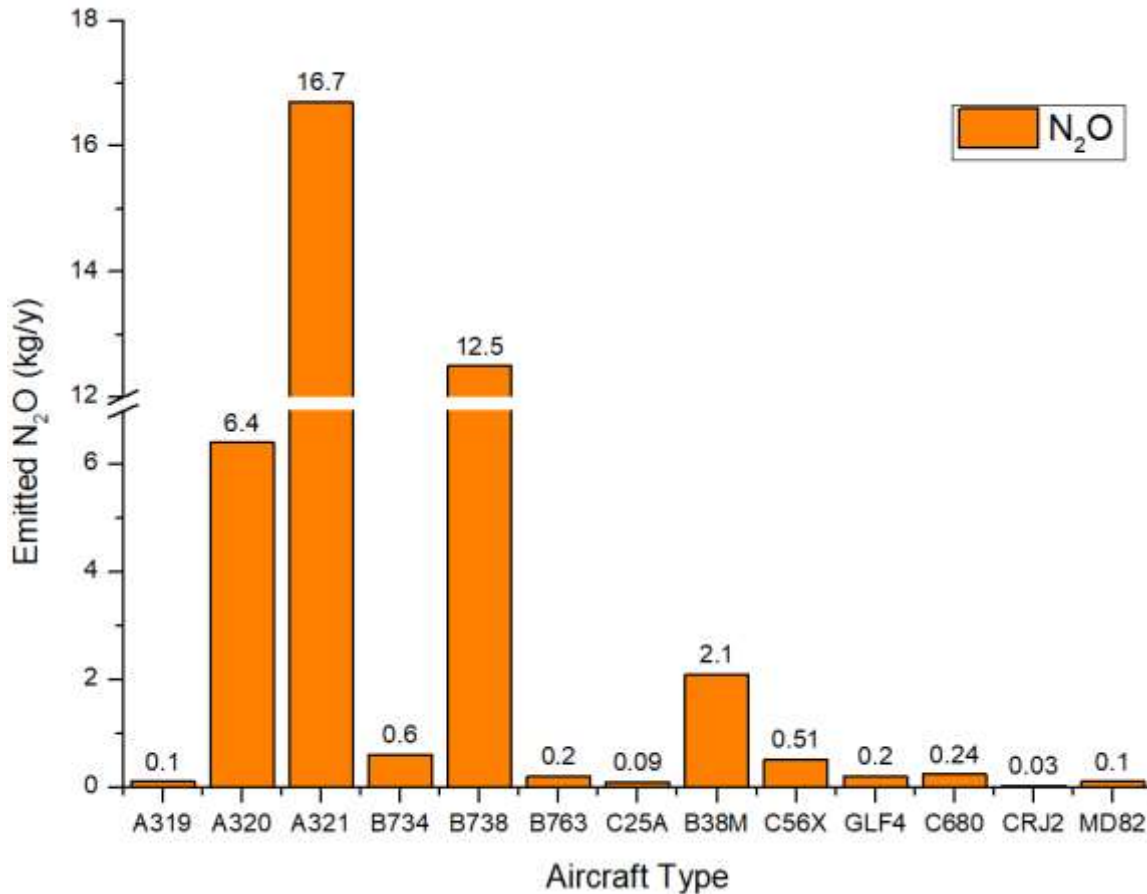


Figure 4. Decomposition of N₂O emissions based on the aircraft types

Figure 4 specifies that when the LTO count is maximum, the A321 series aircraft peaks in terms of N₂O emissions, as with the CO₂ and CH₄ change trend. The A321 series aircraft emitted 16.4 kg/y of N₂O. It is followed by B738 series aircraft with a value of 12.5 kg/y and A320 series aircraft with a value of 6.4 kg/y, respectively. Moreover, the CRJ2 series aircraft has the minimum N₂O emissions among the other ones with a value of 0.03 kg/y. The total N₂O emissions in the period examined are found to be 39.77 kg/y.

When the overall results are reviewed, whereas the MD82 series aircraft has the lowest LTO count, the aircraft emitted a relatively high rate of GHG emissions. One of the main reasons for this can be considered to have the high rate GHG emission indexes with a value of 3180 for CO₂, 0.19 for CH₄, and 0.1 for N₂O of MD82 series aircraft. Similarly, while the CO₂, CH₄, and N₂O emission indexes relatively lower than the Boeing 763 and MD82 series aircraft, the A321 is the highest pollutant aircraft in the period examined because the aircraft has a maximum LTO count. Besides, local and small scale Since the examined airport is local and small in scale and the movement counts of the aircraft are relatively low, the emission values are lower than the other airports in this sense. However, the sustainability of these results and even their reduction is very important in terms of the environmental dimension of aviation.

On the other hand, the total jet-fuel consumption of these aircraft from LTO operations in the period examined was found to be approximately 357500 kg/y. The decompositions of total jet-fuel consumption by aircraft types are given in Table 6 and Figure 5.

Table 6. The variation of Jet fuel consumption values

Aircraft type	Aircraft model	Jet-Fuel Consumption (kg/y)
A319	Airbus A319	730
A320	Airbus A320	49280
A321	Airbus A321	160320
B734	Boeing 737-400	4680
B738	Boeing 737-800	110000
B763	Boeing 767-300	1780
C25A	CESSNA 525A Citation CJ2	1020
B38M	Boeing 737-MAX 8	18480
C56X	CESSNA 560X Citation Excel	5780
GLF4	Gulfstream 4	1360
C680	CESSNA Citation Sovereign 680	2720
CRJ2	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-200	340
MD82	McDonnell Douglas	1010

Figure 5 indicates that the A321 series aircraft burned 160320 kg/y of jet fuel. It is followed by B738 series aircraft with a value of 110000 kg/y and A320 series aircraft with a value of 49280 kg/y, respectively. Also, in this period, the jet fuel consumption of B38M, C56X, B734, C680, and MD82 aircrafts are calculated as 18480 kg/y, 5780 kg/y, 4680 kg/y, 2720 kg/y, and 1010 kg/y, respectively. As can be clearly seen that the A321 series aircraft is the most fuel-consuming aircraft among the other ones. One of the main reasons for this result is that the aircraft has 167 LTO.

Average jet-fuel consumption efficiencies are estimated for each of these aircraft based on the LTO operations and calculated jet-fuel consumption values. Average Jet-fuel consumption efficiencies of the aircraft types under-investigated are graphed in Figure 6.

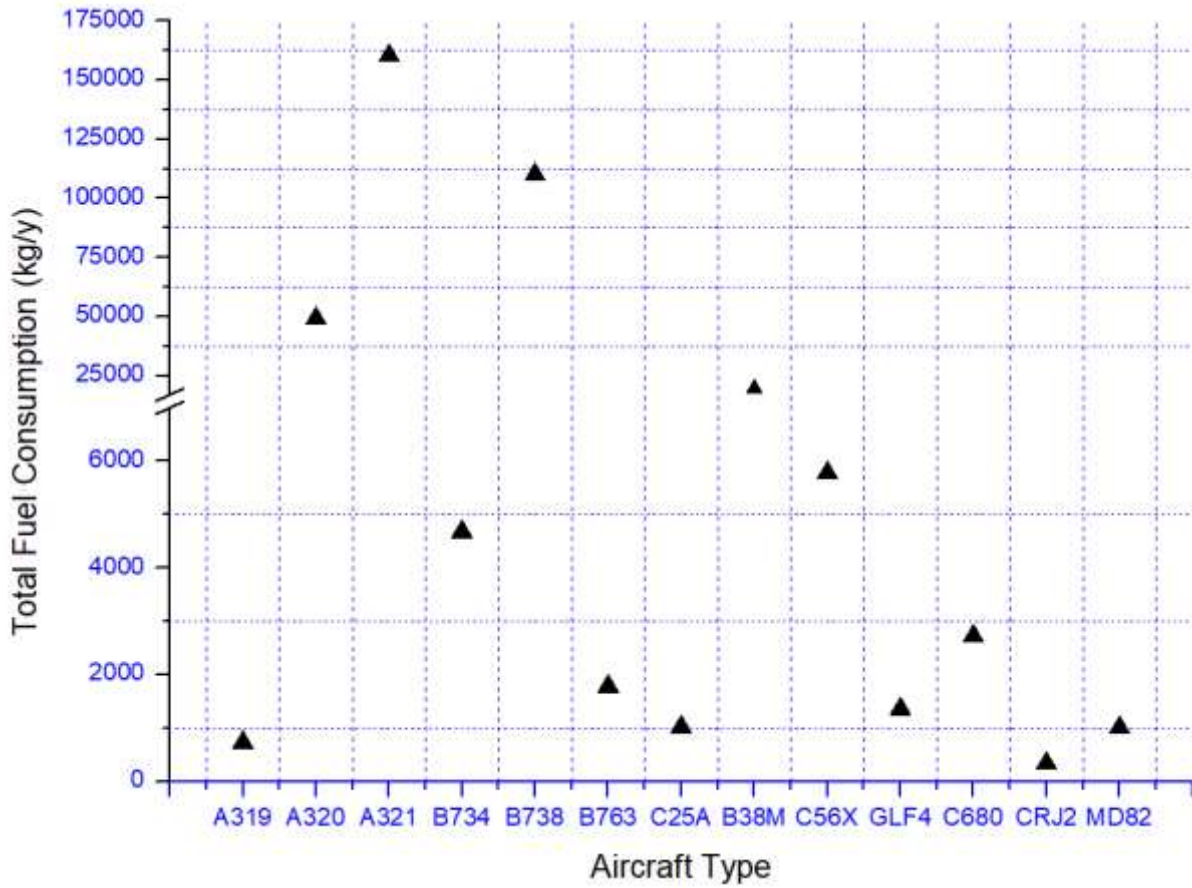


Figure 5. Jet-fuel consumption based on the aircraft types of under-investigated period

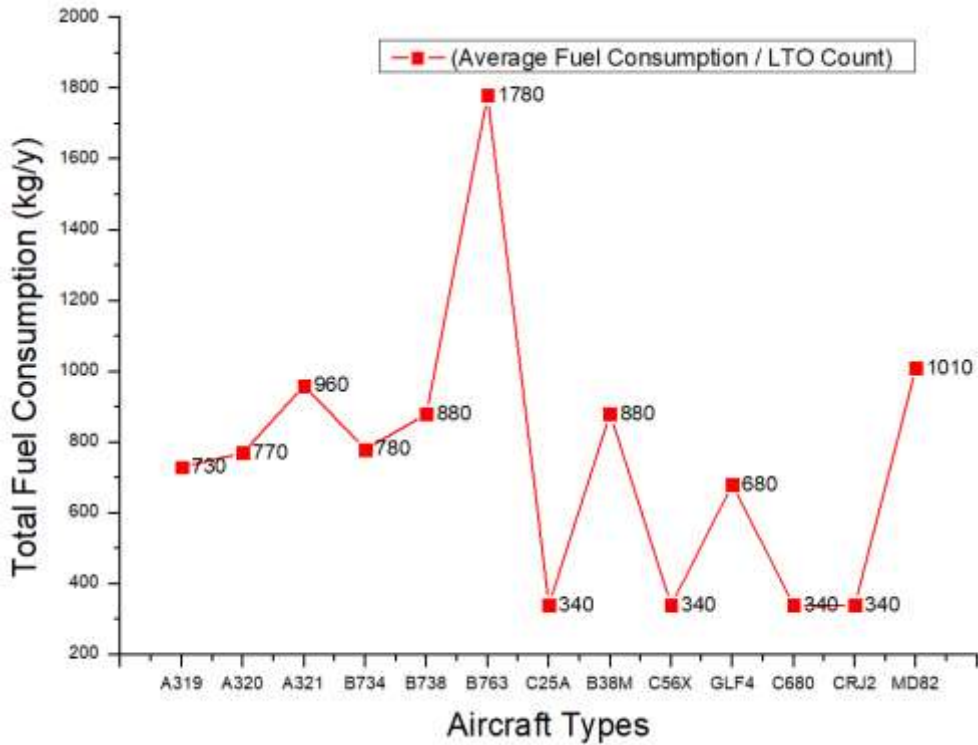


Figure 6. Aircraft engine fuel efficiencies based on the correlation between the count of LTO cycles and total fuel consumption values

According to the plotted graph in Figure 6, for the specified parameter which is the ratio of average jet-fuel consumption to LTO count, the B767-300 series aircraft (B763) is the most inefficient aircraft in terms of fuel consumption efficiency at the end of LTO operations in the period examined and among the aircraft types examined. This is followed by the MD82 series aircraft. Contrary to this trend, it can be concluded that although the B763 has low LTO, the C680, CRJ2, C25A and C56X aircraft are more fuel efficient at almost similar LTOs in view of only this parameter.

4. Conclusion

In the present research, the GHG emissions gases emitted to the atmosphere from the landing and take-off cycle operations of thirteen different types of aircraft at a small-scale airport operating international flights were investigated. The main results of the current study can be summarized as follows:

- It was revealed that Airbus 321 (A321) was the highest GHG generating aircraft type in the period examined. Although the A321's CO₂, N₂O, and CH₄ emission indexes are lower than the Boeing 763 (B763) series and MD82 type aircraft, the A321's maximum LTO count has led to this result. It has been found that the aircraft, whose emissions are examined, burned approximately 357500 kg/y of jet fuel in this period.

- Finally, for the specified parameter which is the ratio of average jet-fuel consumption to LTO count, the B767-300 series aircraft (B763) is the most inefficient aircraft in terms of fuel consumption efficiency at the end of LTO operations in the period examined and among the aircraft types examined.

In the coming years, with the increasing of yearly operations at airports worldwide, greenhouse gaseous are expected to rise. It is necessary to take measures to the regulations that prioritize issues such as the gradual decrease of fossil fuels and global climate change, to spread more electric or fully electric aircraft with hybrid propulsion systems, and to minimize both fuel efficiency and environmental impact of aircraft.

In this study, real-time values were used for all computations. The current study and its results will be a key reference for future implementations of aviation-induced emission estimation procedures. Also, for a future study, the author suggests and considers detailed investigating the potential environmental, economical, ecological-cost effects of aviation-induced emissions.

Authors' Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Yilmaz I., Ilbas M., Tastan M., Tarhan C. 2012. Investigation of hydrogen usage in the aviation industry. *Energy Conversion and Management*, 63: 63-69.
- [2] Balli O., Hepbasli A. 2013. Energetic and exergetic analyses of a T56 turboprop engine. *Energy Conversion and Management*, 73: 106-120.
- [3] Álvarez M.J.G., Yan W. 2013. Is Environmental Innovation Worth It? The Case of the Civil Aviation Industry of Emerging Markets. In: *Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World*, 415: 294-301.
- [4] Norton T.M. 2014. Aircraft Greenhouse Gas Emissions during the Landing and Takeoff Cycle at Bay Area Airports. Master's dissertation, University of San Francisco, San Fransisco, 1-45.

- [5] Metz B., Davidson O., Swart R., Pan J. 2001. *Climate Change 2001: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Third Assessment [TAR] Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, New York: Cambridge University Press.
- [6] Waitz I., Townsend J., Cutcher-Gershenfeld J., Greitzer E., Kerrebrock J. 2004. *Aviation and the environment: A national vision statement, the framework for goals and recommended actions. Partnership for AiR transportation noise and emissions reduction. Massachusetts Institute Technology, 03-C-NE-MIT, 2004.*
- [7] Mahashabde A., Wolfe P., Ashok A., Dorbian C., He Q., Fan A., Lukachko S., Mozdzanowska A., Wollersheim C., Barrett S.R.H., Locke M., Waitz I.A. 2011. *Assessing the environmental impacts of aircraft noise and emissions. Progress in Aerospace Sciences, 47: 15-52.*
- [8] Kurniawan J.S., Khardi S. 2011. *2011. Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports. Environmental Impact Assessment Review, 31: 240-252.*
- [9] Ekici S., Yalin G., Altuntas O., Karakoc T.H. 2013. *Calculation of HC, CO, and NO_x from civil aviation in Turkey in 2012. International Journal of Environmental Pollution, 53: 232-244.*
- [10] Altuntas O. 2014. *Calculation of domestic flight-caused global warming potential from aircraft emissions in Turkish airports. International Journal of Global Warming, 6: 367-379.*
- [11] Kesgin U. 2006. *Aircraft emissions at Turkish airports. Energy, 31: 372-384.*
- [12] Unger N., Zhao Y., Dang H. 2013. *Mid-21st century chemical forcing of climate by the civil aviation sector: Future Aviation Chemical Climate Forcing. Geophysical Research Letters, 40: 641-645.*
- [13] Song S.-K., Shon Z.-H., Kang Y.-H. 2015. *Comparison of impacts of aircraft emissions within the boundary layer on the regional ozone in South Korea. Atmospheric Environment, 117: 169-179.*
- [14] Pecorari E., Mantovani A., Franceschini C., Bassano D., Palmeri L., Rampazzo G. 2016. *Analysis of the effects of meteorology on aircraft exhaust dispersion and deposition using a Lagrangian particle model. Sciences Total Environment, 541: 839-856.*
- [15] Babaoğlu N., Ozgunoğlu K. 2017. *Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20: 24-30.*
- [16] Kaygusuz K. 2003. *Energy policy and climate change in Turkey. Energy Conversion and Management, 44: 1671-1688.*
- [17] Tokuslu A. 2020. *Estimation of aircraft emissions at Georgian international airport. Energy, 206: 118-219.*
- [18] Akyuz A.Ö., Kumas K., Inan O., Gungor A. 2019. *Muğla Hava Trafikinin Karbon Ayak İzi Açısından İncelenmesi. Academic Platform Journal of Engineering and Sciences, 7: 291-297.*
- [19] Yılmaz I. 2017. *Emissions from passenger aircraft at Kayseri Airport, Turkey. Journal of Air Transport Management, 58: 176-182.*
- [20] Rissman J., Arunachalam S., BenDor T., West J.J. 2013. *Equity and health impacts of aircraft emissions at the Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport. Landscape and Urban Planning, 120: 234-247.*
- [21] Dong Q., Chen F., Chen Z. 2020. *Airports and air pollutions: Empirical evidence from China. Transport Policy, 99: 385-395.*
- [22] Phoenix D., Khodayari A., Wuebbles D., Stewart K. 2019. *Aviation impact on air quality present-day and mid-century simulated in the Community Atmosphere Model (CAM). Atmospheric Environment, 196: 125-132.*
- [23] Yang X., Cheng S., Lang J., Xu R., Lv Z. 2018. *Characterization of aircraft emissions and air quality impacts of an international airport. Journal of Environmental Sciences, 72: 198-207.*
- [24] Altuntas O., Karakoc T.H. 2011. *Türkiye'deki Bazı Hava Alanlarında İç Hat Uçuşları İçin Uçak Seçiminde Çevresel Etkilerin Göz Önünde Bulundurulmasının İncelenmesi. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 5: 11-18.*
- [25] Kafali, H. and Altuntas, O. 2020. *The analysis of emission values from commercial flights at Dalaman international airport Turkey. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 92 (10): 1451-1457.*

- [26] FAA. 2005. Aviation and Emissions: Office of Environment and Energy. Federal Aviation Administration, FAA.
- [27] EC. 2021. European Commission: Shedding Light on Energy on the EU.
- [28] Eggleston S., Buendia L., Miawa K., Ngara T., Tanabe K. 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, IGES Publishers, Japan, 1-1988.

Araştırma Makalesi / Research Article

Benzinli Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılan Sodyum Borhidrür Katkılı Metanol-Benzin Karışımli Yakıtların Performans ve Emisyon Analizi

Ahmet YAKIN^{1*}, Rasim BEHÇET²

¹Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar Ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Van

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya
(ORCID: 0000-0001-6716-2811) (ORCID: 0000-0002-6897-3066)

Öz

Taşıtlarda kullanılan fosil kökenli yakıtların yakın gelecekte tükenerek olması, yerel olmaması, çevre ve insan sağlığı açısından zararlı etkilere sahip olmaları gibi nedenlerden dolayı alternatif yakıtlar gündeme gelmiştir. Hidrojen, biyoyakıtlar ve alkoller (etanol, metanol, butanol vb.), yenilenebilir, yerel, temiz ve çevreye duyarlı alternatif yakıtlardır. Bu çalışmada, saf benzin, MB15 karışım yakıtı (hacimsel olarak % 15 metanol ve %85 benzin) ve MSB15 karışım yakıtı (hacimsel olarak %15 sodyum borhidrür katkılı metanol çözeltisi ve %85 benzin)'ndan oluşan üç çeşit yakıt benzinli bir motorda test edilerek yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Motor test sonuçlarından elde edilen değerler birbirleri ile karşılaştırıldığında, saf benzine göre MB15 ve MSB15 karışım yakıtların CO emisyonları sırasıyla % 63.17 ve % 52.65 azalırken, HC emisyonları sırasıyla % 15; % 31.42 artmıştır. Ayrıca MB15 ve MSB15 karışım yakıtların motor momenti saf benzine göre sırasıyla % 0.95 ve % 2.24 artma meydana geldiği, özgül yakıt tüketiminde ise sırasıyla % 3.27 ve % 7.52 artma meydana gelmiştir. MB15 ve MSB15 karışım yakıtlarının motor gücü de saf benzin yakıtlı motor gücüne göre sırasıyla % 1.18 ve % 3.04 artmıştır.

Anahtar kelimeler: Metanol, Sodyum Borhidrür, Benzinli motor, Performans, Egzoz Emisyonu.

Performance and Emission Analysis of Sodium Borohydride Additive Methanol-Gasoline Blended Fuels Used as Fuel in a Gasoline Engine

Abstract

As the fossil fuels used in vehicles will be depleted in the near future due to not being local, having harmful effects on the environment and human health, alternative fuels have come to the fore due. Hydrogen, biofuels and alcohols (ethanol, methanol, butanol, etc.) are renewable, local, clean and environmentally friendly alternative fuels. In this study, three types of fuel consisting of pure gasoline, MB15 mixed fuel (15% methanol and 85% gasoline by volume) and MSB15 mixed fuel (15% sodium borohydride added methanol solution and 85% gasoline by volume) were tested in a gasoline engine. The effects of fuels on engine performance and exhaust emissions have been experimentally investigated. When the values obtained from the engine test results are compared with each other, the CO emissions of MB15 and MSB15 blended fuels decreased by 63.17% and 52.65%, respectively, while the HC emissions were 15%; Increased by 31.42%. In addition to engine torque of MB15 and MSB15 mixed fuels increased by 0.95% and 2.24%, respectively, compared to pure gasoline, specific fuel consumption increased by 3.27% and 7.52%, respectively. Engine power of MB15 and MSB15 mixed fuels increased by 1.18% and 3.04%, respectively, compared to pure gasoline engine power.

Keywords: Methanol, Sodium Borohydride, Gasoline engine, Performance, Exhaust Emission

1. Giriş

Taşıt kullanımında yakıt ekonomisi ve motor performansı önemli kriterler arasındadır. Teknolojideki ilerlemeler yakıt ekonomisini ve taşıt güvenliğini ön plana aldığında yeni teknolojiye sahip ulaşım araçlarını da beraberinde getirmiştir. Hem küresel ısınmanın önüne geçmek hem de günümüz araçlarında kullanılan fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek çevreye duyarlı, temiz ve yenilenebilir yakıtlar elde etmek için bilim adamları, yoğun bir çaba sarf etmektedirler. İçten yanmalı motorlarda fosil kökenli yakıtların yerine kullanılabilecek yakıtlardan biride alkol türevli yakıtlardır. Günümüzde

*Sorumlu yazar: ahmetyakin@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 30.04.2021, Kabul Tarihi: 05.07.2021

taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonları azaltmak amacıyla en çok kullanılan yakıtlar arasında etanol ve metanol yer almaktadır.

Fosil kökenli yakıt olan petrolün tüketiminin artmasına paralel olarak hem fiyatlarındaki artış hem de çevreye verdiği zararlardan dolayı alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasını zorunlu kılmaktadır [1-3]. Alkoller, benzin yakıtının oktan sayısını arttırarak zararlı egzoz emisyonlarını da azaltmaktadırlar. Bundan dolayı benzine alternatif yakıt olarak veya katkı maddesi olarak düşünülmektedir [4-5]. Benzin (C_8H_{18}) yakıtında hem oktan sayısını arttırmak hem de zararlı egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi amacıyla kullanılan katkı maddelerinin başında oksitleyici olarak da bilinen hafif alkoller (metanol, etanol vb.) gelmektedir [6-12]. Etanol (C_2H_6O) ve metanol (CH_3OH), hem saf halde hem de benzine belirli oranlarda ilave edilerek benzinli motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarını düşürmekle kalmayıp aynı zamanda yanma verimi ve motor performansını arttırabilmektedir. Alkoller, içerisinde bulundukları oksijen miktarının yüksek olması, gizli buharlaşma ısısı, alev hızı ve tam yanma gibi olumlu özelliklerinden dolayı benzinli motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan yakıt olarak kullanılmaktadırlar [13-16].

Benzin (B100), etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının benzinli motora sahip bir araçta yakıt olarak kullanıldığı çalışmada [17], araç performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Şasi dinamometresinde yapılan deney sonuçlarına göre, benzin ile çalışan araca göre, alkol-benzin karışımları ile çalışan aracın tekerlek gücü ve özgül yakıt tüketimi (ÖYT)'de hafif bir artış meydana geldiği gözlenmiştir. Taşıtlarda kullanılan yakıtların özelliklerini iyileştirmek ve bu yakıtların çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak amacı ile son zamanlarda birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Hsieh ve arkadaşları [18], farklı oranlardaki etanol-benzin karışımlarını benzinli bir motorda test ederek karışım yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişler. Elde edilen test sonuçlarına göre karışım içerisindeki etanol miktarının artması ile motor torku ve özgül yakıt tüketimi artarken karışım içerisindeki etanol miktarının artması ile oluşan fakir karışımdan dolayı yanmamış HC (hidrokarbon) ve CO (karbon monoksit) emisyonlarının azaldığı gözlenmiştir. Rong-Horng ve arkadaşlarının içten yanmalı benzinli bir motorda yaptıkları çalışmada test motorunda yakıt olarak etanol-benzin karışımı yakıt kullanmışlardır. Karışım yakıtın test motorunun ilk çalışmasında meydana gelen emisyonların üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre etanol oranının %20'den fazla olması motorun ilk çalışma emisyonunu (CO, HC) önemli ölçüde azaltmaktadır [19].

Araştırma oktan sayısı değeri 123 ve motor oktan sayısı değeri 96 olan ve oktan arttırıcı olarak benzin içerisine hacimsel olarak 10'un altında katılan veya hacimsel olarak %85 oranında alternatif yakıt olarak da kullanılan etanol, tarımsal ürünlerin, (şeker kamışı, şeker pancarı, mısır nişastası gibi kolayca şekere dönüştürülebilen ürünler) fermantasyonundan türetilen renksiz organik bir sıvı olarak tanımlanırken methanol, benzin içerisine oktan arttırıcı ve oksijenat olarak karıştırılır. Metanoldeki en büyük problem, faz ayrışmasıdır. Metanol su ile oldukça yüksek çözünürlüğü bulunan sıvı organik bir bileşiktir.. Methanol-Benzin karışımlarında faz ayrışması sorununu çözmek için veya karışımı tek fazda tutabilmek için TBA (Tertiary-Butyl Alcohol) kullanılmaktadır [20].

Bu çalışmada, %15 metanol ve %85 benzin homojen olarak karıştırılarak, MB15 olarak adlandırılan yakıt ile %15 metanol içerisinde çözünmüş sodyum borhidrür çözeltisi % 85 benzin ile homojen olarak karıştırılmasıyla MSB15 olarak adlandırılan karışım yakıt elde edilmiştir. Benzin, MB15 ve MSB15 yakıtları tek silindirli ve su soğutmalı benzinli bir motorda önce benzin yakıtı olmak üzere test edilerek yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sodyum Borhidrür ($NaBH_4$)

Kimyasal formülü $NaBH_4$ şeklinde olan sodyum borhidrür, günümüzde içerisinde bulundurduğu hidrojen nedeniyle hidrojen depolama ve taşıma sistemlerinin oluşturulmasında büyük bir öneme sahiptir. Hidrojen üretimi için yüksek seviyede hidrojen depolama yoğunluğuna sahip olan saf $NaBH_4$ ağırlıkça %10.8 hidrojen içermektedir [21]. Tablo 2'de $NaBH_4$ 'ün fiziksel özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2. Sodyum bor hidrürün fiziksel özellikleri[22].

Yakıt özellikleri	Sodyum Borhidrür
Formülü	NaBH ₄
Yakıt ağırlığı (g/mol)	37.84
Teorik H ₂ içeriği, % (ağırlıkça)	10.6
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik (a=6.15 Å)
Kaynama noktası, °C	505
Bozunma sıcaklığı, °C	315
Erime noktası, °C (2-6 atm H ₂ basıncında)	500
Bozunma sıcaklığı, °C (vakum altında)	400
Oluşum entalpisi (25 °C), kJ/mol	-188.6
Oluşum Gibbs enerjisi (25 °C), kJ/mol	-123.9
Entropi, J.mol ⁻¹ .K ⁻¹	101.3
Isı kapasitesi (25 °C), J.K ⁻¹ .h	86.8

2.2. Metanol

Benzine göre ısı değeri düşük, saydam, renksiz, kendi kendine tutuşma eğilimi düşük, kokusu hafif, buharlaşma ısısı yüksek olan metanol, soğukta ilk hareketi zorlaştırmasına karşın volümetrik verimi artırır özelliğindedir. Ayrıca metanolün nem tutma özelliğine dolayı içerisinde bulunabilecek su nedeniyle yakıt sistemlerinde korozyona neden olabilmektedir. Benzinli motorlarda metanol yakıt olarak kullanıldığında, metanolün kendi kendine tutuşma direnci sayesinde sıkıştırma oranının artmasına imkân sağlamaktadır. Benzinli motorlarda, emme supabına gerek duyulmadan metanol silindir içerisine doğrudan püskürtülebilmektedir. Metanolün oktan sayısının yüksek olması nedeniyle sıkıştırma basıncının düşük olması durumlarında bile püskürtmede bir problem oluşturmamaktadır. Metanolün bu özelliklerinden dolayı yakıt sistemi basit ve ucuz olsa bile değişik motor yüklerinde motorun verimli olarak çalıştırılabilmesi mümkündür [23].

2.3. NaBH₄ Katkılı Karışım Yakıtlar

Bu çalışmada, içten yanmalı benzinli motorlarda kullanılan yakıtlara alternatif olabilecek düşük emisyonlu karışım yakıtların üretilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda benzinli bir motorda test etmek amacıyla sodyum bor hidrür, metanol ve benzinden oluşan üç farklı hammadde kullanılarak, Şekil 1 de gösterildiği gibi karışım yakıtlar (MB15, MSB15) oluşturulmuştur.



Şekil 1. Karışım yakıtların akış diyagramı

Elde edilen karışım yakıt maliyet bakımından yeniden değerlendirilerek maliyet ile ilgili gerekli hesaplamalar yapılmış olup karışım yakıtın maliyeti için yaklaşık olarak 7.98 TL'ye denk gelen bir fiyat elde edilmiştir. Güncel benzin fiyatlarının 8.13 TL olduğu göz önünde bulundurulduğunda karışım yakıtın benzine göre daha düşük fiyatta olduğu görülmektedir.

2.4. Motor Deneyleri

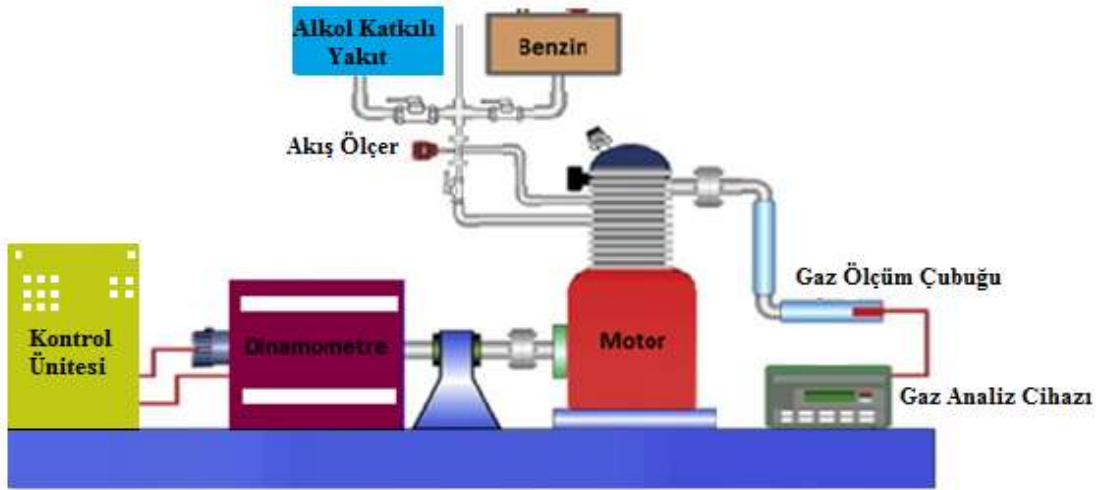
Deneyler, Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır. Deneysel çalışma için tek silindirli, buji ateşlemeli, su soğutmalı deney motoru kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Deneylerin yapılışı şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Test motoru önce benzinle çalıştırılarak motor kararlı rejime geldikten sonra deneyler yapılmaya başlanmıştır ve her deney 3 kez tekrarlanarak elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Deneysel çalışma, motor tam yükte ve 1400 ile 3000 d/d arasında değişen motor hızlarında yapılmıştır.

Tablo 1. Test motorunun özellikleri

Özellik	Motor
Marka	Ricardo Hydra
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma oranı	10:1
Maksimum hız (min^{-1})	5400
Maksimum güç (kW)	15kW, 5400 1/min de
Minimum hız (min^{-1})	1200
Silindir çapı (mm)	80.26
Silindir kurs (mm)	88.90
Supap sistemi	Üstten kamlı iki supap
Yakıt sistemi	Port tipi enjeksiyon
Soğutma sistemi	Sıvı soğutmalı

Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2’de verilmiştir. Deneylerde motor performansının ölçülmesi için 6500d/d motor devrinde 30kW gücü da absorbe edebilen, McClure marka elektrikli tip dinamometre kullanılmıştır. Test sisteminde yakıt tüketimi, analog olarak kayıt edilmiş ancak motor momenti ve motor yağ sıcaklığı, egzoz sıcaklığı dijital olarak kayıt edilmiştir. Yakıt deposu 0.01g hassasiyetindeki terazi üzerine yerleştirilmiş ve motorun 60 saniyede tükettiği yakıt verisi kaydedilmiştir.



Şekil 2. Deney Düzeneği

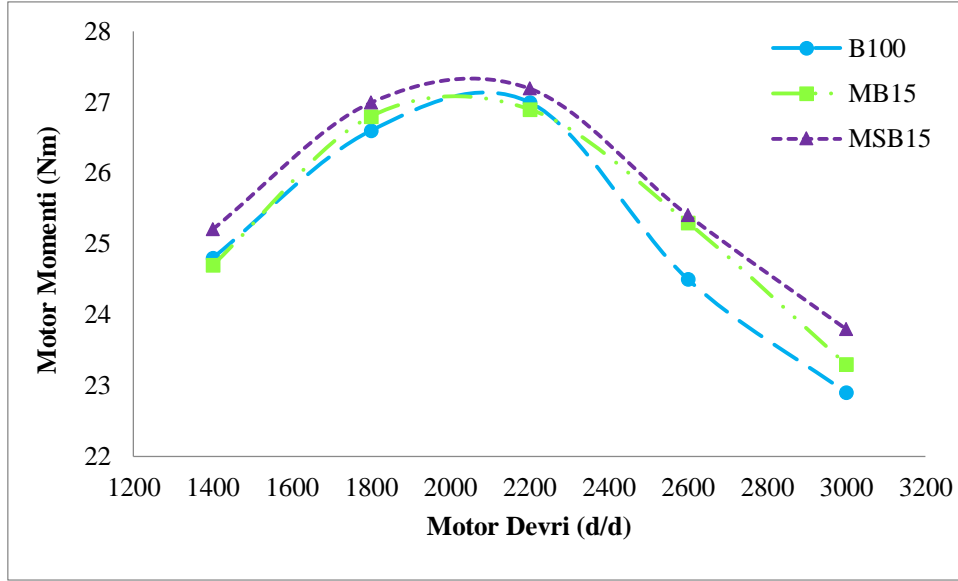
Test yakıtlarının egzoz emisyonlarını ölçmek için teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiş olan BEA 060 Model egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır.

Tablo 2. Egzoz gazı analiz cihazının özellikleri

Parametre	Ölçme aralığı	Hassasiyet
CO (%) (karbon monoksit)	0-10	0.001
CO ₂ (%) (karbon dioksit)	0-18	0.01
HC (ppm) (hidrokarbon)	0-9999	1ppm
O ₂ (%) (oksijen)	0-22	0.01
NOx (ppm) (azot oksit)	0-5000	1ppm
Lambda	0.5-9.9999	

3. Bulgular ve Tartışma

Taşıtın hareket halinde iken karşılaştığı iç ve dış direnç kuvvetlerini yenmesi ve taşıtın çabucak hızlanabilmesi için ilk harekette momentin yüksek olması istenir

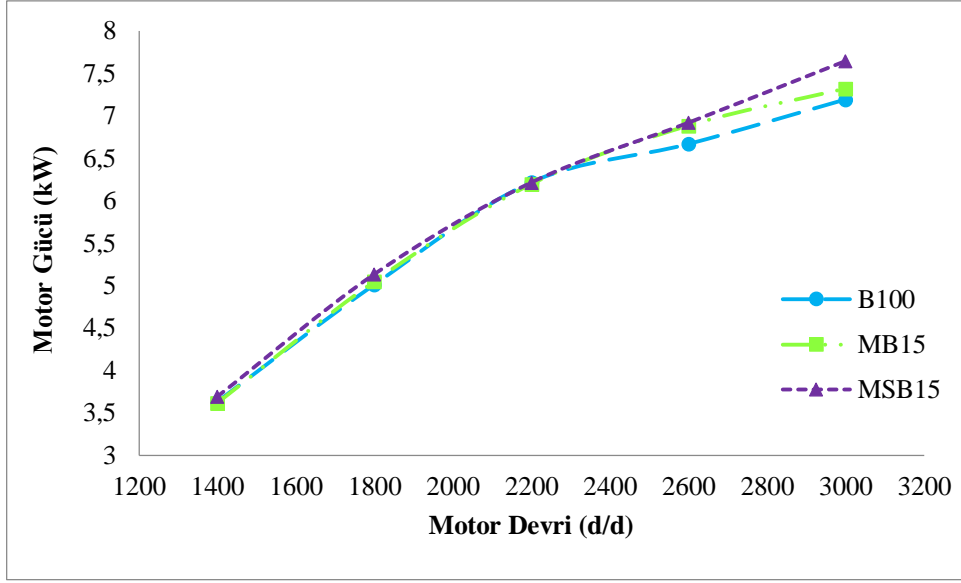


Şekil 3. Motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

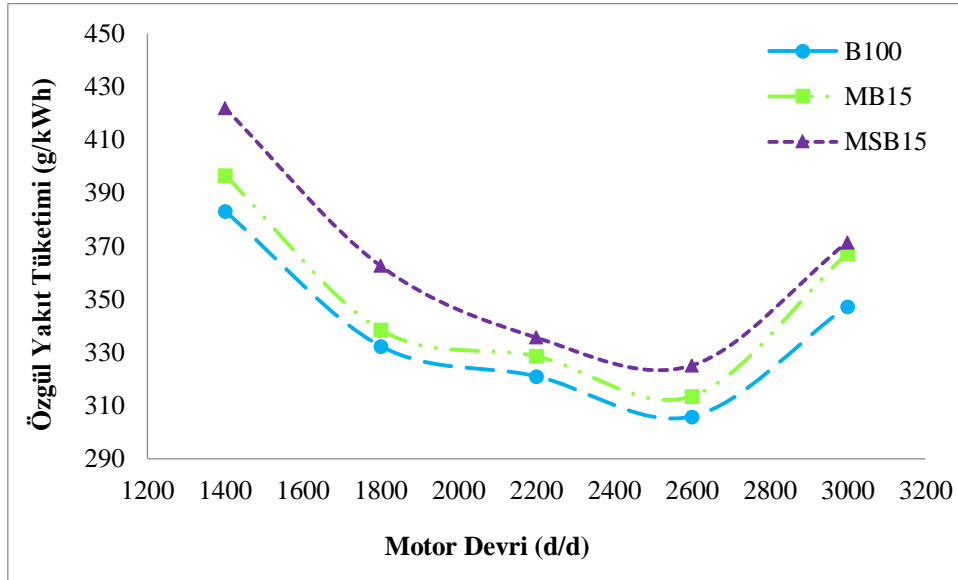
Şekil 3 incelendiğinde MB15 ve MSB15 yakıtlarından elde edilen momentler B100 yakıtından elde edilen momente göre daha yüksektir. Tüm motor devirleri için MSB15 yakıtının momentini, B100 ve MB15 yakıtlarının momentine göre daha yüksek olmuştur. Motor hızı arttıkça taşıt için gerekli olan motor gücü artacağından motor momentini de azalır. Şekilden de görüldüğü gibi düşük motor hızlarında motor torku 2000 d/d'ya kadar artmakta ve bu devirden sonra motor hızı arttıkça bütün test yakıtları için motor momentini azalmıştır. Alkollerin gizli buharlaşma ısıları ve oksijen içeriğinin yüksek olması, ayrıca volümetrik verimin iyileşmesinden dolayı MB15 ve MSB15 karışım yakıtlar benzine nazaran daha yüksek tork değeri göstermiştir. Literatürde incelendiğinde, alkol-benzin karışımları ile ilgili yapılan çalışmalar[24] da görüleceği gibi yüksek oktan sayısına sahip olan alkoller, tutuşma gecikmesinden dolayı silindirlerdeki ısı transferi miktarının azalması nedeniyle benzine nazaran alkol katkılı yakıtların motor momentini artmaktadır.

Şekil 4'de motor gücünün motor devrine bağlı değişimi görülmektedir. Farklı devir sayılarındaki test yakıtları birbirleri ile kıyaslandığında tüm test yakıtların motor güçleri 2400 devire kadar fazla bir değişim göstermezken bu devirden sonra farklılıklar meydana gelmiştir. Tüm motor devirlerinin ortalaması alındığında MB15 karışım yakıtın motor gücü B100 yakıtına göre %1.18 artarken MSB15 sodyum bor hidrür katkılı karışım yakıtın motor gücünde de % 3.04 artma meydana gelmiştir. Motor gücü en yüksek 3000d/d da MB15 yakıtının kullanılmasıyla 7.32 kW olarak tespit edilmiştir. Motor hızının artması ile motor gücünde meydana gelen artmanın nedeni tam yük altında ateşleme avansının artırılması ve benzin içerisine katılan metanol oranının artması ile yanmanın iyileşmesi ve motor çıkış gücünün de artmış olmasına bağlanabilir[25].

Şekil 5 de test yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor hızına göre değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi en düşük özgül yakıt tüketimi 2600d/d da B100 yakıtıyla gerçekleşirken en yüksek ÖYT MSB15 yakıtı ile gerçekleşmiştir. Tüm motor hızlarındaki yakıt tüketimlerinin ortalaması alınıp B100 yakıtı ile kıyaslandığında MB15 ve MSB15 karışım yakıtların özgül yakıt tüketimi B100 yakıtına göre sırasıyla % 3.27 ve % 7.52 artmıştır. Alkol-benzin karışımli yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin benzine göre yüksek olmasının nedeni, alkol katkılı yakıtların benzine göre daha düşük ısı değerlere sahip olmalarıdır[16].

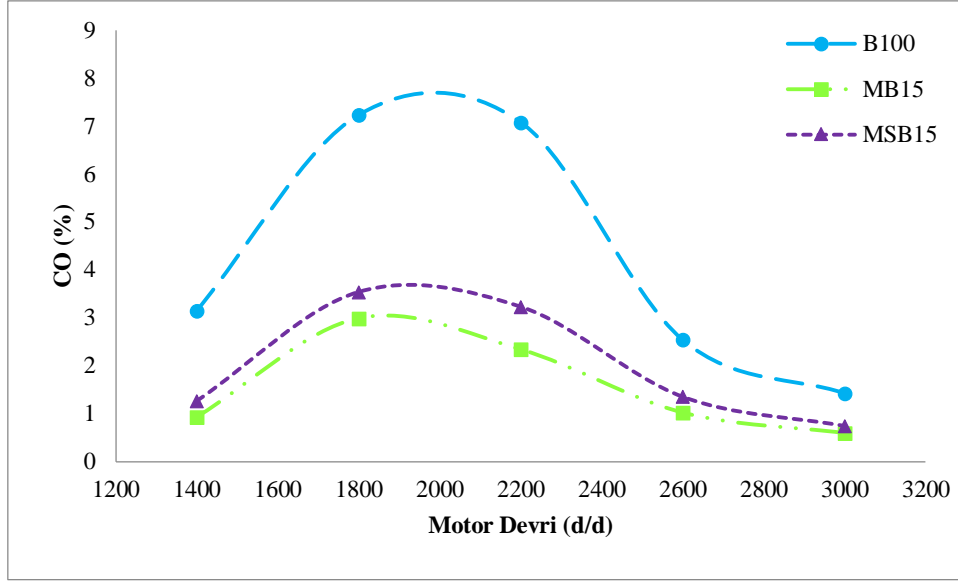


Şekil 4. Motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

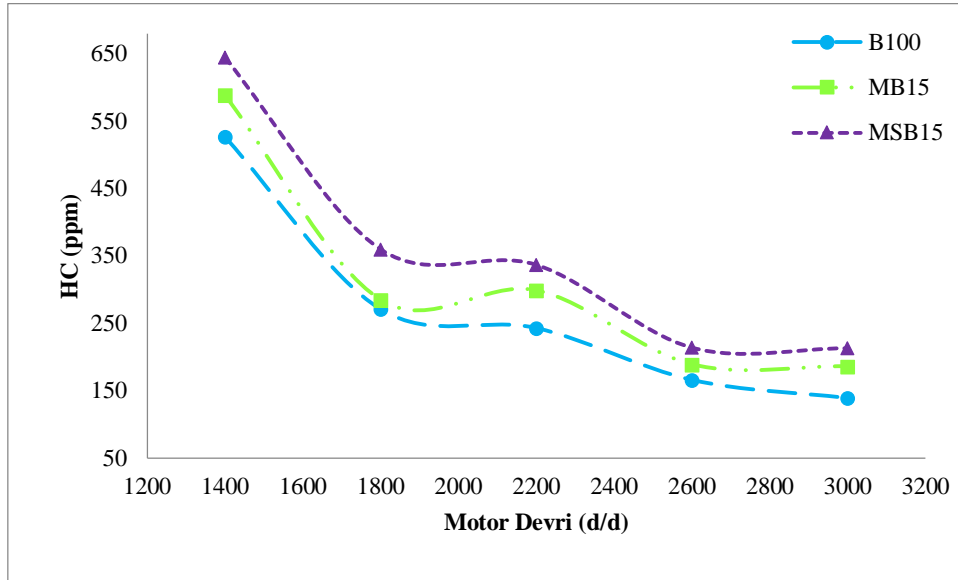


Şekil 5. Özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

CO, HC ve NO_x göre motorlu taşıtlar tarafından çevreye daha fazla bırakılan bir emisyon olup bu emisyonu üreten başlıca kirletici kaynaklar arasında motorlu taşıtlar %66 oranla ilk sırada yer almaktadır. CO emisyonu, hava/yakıt karışımındaki yetersiz oksijenden dolayı karbonun tamamı oksitlenemediğinden dolayı ortaya çıkan bir kirleticidir [23]. Şekil 6'da test yakıtlarına ait CO emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi görülmektedir. Tüm motor devirlerinde en yüksek CO emisyonları deney motorunun benzin ile çalıştırılması ile elde edilmiştir. Karışım yakıtların CO emisyonları benzin ile kıyaslandığında, benzinli çalışmaya göre CO emisyonu bütün motor devirlerinde azalmıştır. CO emisyonu en az MSB15 yakıtı ile elde edilirken en fazla CO emisyonu B100 yakıtı ile elde edilmiştir. Alkol türevli yakıtlarda, metanolün karbon sayısı saf benzine göre daha az olması ve yapısında oksijen barındırması gibi sebeplerden dolayı CO emisyonları azalmaktadır. Dolayısıyla silindir içerisindeki alkol katkılı yakıtlarda bulunan metanolün yapısında bulundurduğu O₂ yanmanın tam olarak gerçekleşmesini sağlamaktadır [26-27].



Şekil 6. CO'nun motor devrine bağlı değişimi



Şekil 7. HC'nun motor devrine bağlı değişimi

HC emisyonlarının oluşmasında, silindir cidarlarındaki yağ tabakası, yanma odasındaki karbon birikintileri, alevlerin yanma yüzeyinde sönmesi, fakir veya zengin karışımlar sonucunda oluşan eksik yanma gibi olaylarının tümü etkili faktörlerdir[28]. HC emisyonları, hem zengin karışımda tam yanmanın oluşabilmesi için yeterli miktarda oksijen olmadığından hem de fakir karışımda düşük alevin yayılması nedeniyle yakıt tam olarak yanmadan dışarı atıldığından artmaktadır [29]. Şekil 7'de motor devrine göre test yakıtların HC emisyonlarının değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde, MB15 ve MSB15 karışım yakıtların HC emisyonu B100 yakıtına göre daha yüksek elde edilmiştir. Tüm motor hızlarında MB15 ve MSB15 karışım yakıtların HC emisyonları B100 yakıtının HC emisyonuna göre artmıştır. En yüksek HC emisyonu 1400d/d motor devrinde MSB15 yakıtı gerçekleşirken en düşük HC emisyonu 3000 d/d motor devrinde B100 yakıtı ile elde edilmiştir. HC emisyonların artma nedenleri karışım yakıt viskozitelerinin artmasından dolayı yanmanın kötüleşmesi ve zengin karışımda motor yükünü artırması olarak sıralanabilir[30].

4. Sonuç ve Öneriler

Metanol-benzin ve NaBH₄ katkılı metanol-benzin karışımli yakıtların deney motorunda test edilmesi ile elde edilen sonuçlar dikkate alındığında; MB15 ve MSB15 karışım yakıtların motor momenti benzine

göre artmıştır. Tüm motor devirlerinde ölçülen momentlerin ortalaması alındığında meydana gelen artış miktarı MB15 ve MSB15 karışım yakıtlarda sırasıyla %0.95 ve % 2.24 olmuştur. Düşük motor devirlerinde tüm test yakıtların motor gücü artarken yüksek motor hızlarında benzine göre karışım yakıtların motor gücü artış göstermiştir. Motor tam gaz altında çalışırken minimum özgül yakıt tüketimi 2600 d/d'da B100 yakıtının kullanılmasıyla gerçekleşirken aynı motor devrinde MB15 ve MSB15 karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri B100 yakıtına göre sırasıyla % 3.27 ve % 7.52 artmıştır. Ayrıca MB15 ve MSB15 karışım yakıtların egzoz emisyonları benzinli motorun emisyonları ile karşılaştırıldığında, CO emisyonları benzine göre sırasıyla % 63.17 ve % 52.65 azalırken HC emisyonları benzine göre %15 ve %31.42 artış göstermiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Çelikten İ., Mutlu E., Solmaz H. 2012. Variation of performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel, rapeseed oil and hazelnut oil methyl ester blends. *Renewable Energy*, 48: 122-126.
- [2] Kosar M., Ozdalyan Bulent., Celik M.B. 2011. The usage of hydrogen for improving emissions and fuel consumption in a small gasoline engine. *Journal of Thermal Science and Technology*, 31 (2): 101-108.
- [3] Schifter I., Diaz L., Rodriguez R., Gomez J.P., Gonzalez U. 2011. Combustion and emissions behaviour for ethanol-gasoline blends in a single cylinder engine. *Fuel*, 90: 3586-3592.
- [4] İcingür Y., Calam A. 2012. The effects of the blends of fusel oil and gasoline on performance and emissions in a spark ignition engine. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (1): 143-149.
- [5] Calam A., İcingür Y., Solmaz H., & Yamık H. 2015. A comparison of engine performance and the emission of fusel oil and gasoline mixtures at different ignition timings. *International journal of green energy*, 12 (8): 767-772.
- [6] Kumar S., Cho J.H., Park J., Moon I. 2013. Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 46-72.
- [7] Goldanica A., Faravelli T., Ranzi E., Dagaut P., Cathonnet M. 1998. Oxidation of oxygenated octane improvers: MTBE, ETBE, DIPE and TAME. *The Combustion Institute*, 27 (1): 353-360.
- [8] Morganti K., Foong T.M., Brear M.J., Silva G., Yang Y., Dryer F. 2013. The research and motor octane numbers of liquefied petroleum gas. *Fuel*, 108: 797- 811.
- [9] Foong T.M., Morganti K., Brear M.J., Silva G., Yang Y., Dryer F. 2014. The octane numbers of ethanol blended with gasoline and its surrogates. *Fuel*, 115: 727-739.
- [10] Kish S.S., Rashidi A., Aghabozorg H. R., Moradi L. 2010. Increasing the octane number of gasoline using functionalized carbon nanotubes. *Applied Surface Science*, 256: 3472-3477.
- [11] İcingür Y., Dost A. 2006. Experimental investigation of effects of propane/butane ratio on performance and emission in a spark ignition engine. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21 (2): 303-309.
- [12] Çelik M.B., Çolak A. 2008. The use of pure ethanol as alternative fuel in a spark ignition engine. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (3): 619-626.

- [13] Badwal S.P.S., Giddey S., Kulkarni A., Goel J., Basu S. 2015. Direct ethanol fuel cells for transport and stationary applications – a comprehensive review, *Appl. Energy*, 145: 80–103.
- [14] Balki M.K., Sayın C., Canakci M. 2014. The effect of different alcohol fuels on the performance, emissions and combustion characteristic of a gasoline engine, *Fuel*, 115: 901-906.
- [15] Demirbas A. 2007. Progress and recent trends in biofuels. *Prog Energy Combust Sci* 33: 1–8.
- [16] Eyidogan M., Canakci M., Ozsezen A.N., Alptekin E., Turkcan A., Kilicaslan I. 2011. Investigation of the effect, of ethanol–gasoline and methanol-gasoline blends on the combustion parameters and exhaust emissions of a spark ignition engine. *J Fac Eng Arch Gazi Univ.* 26 (3): 499-507.
- [17] Ozsezen A.N., Canakci M. 2011. Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle. *Energy*, 36 (5): 2447-52.
- [18] Hsieh W.D., Chen R.H., Wu T.L., Lin T.H. 2002. Engine performance and pollution emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuel. *Atmos Environ.* 36 (3): 403-10.
- [19] Chen R. H., Chiang L. B., Chen C. N., Lin T. H., Cold-start emissions of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuel, *Applied Thermal Engineering*, 31 (2011) 1463-1467.
- [20] Ayhan V. 2006. Metanol-benzin karışımlarının MgOZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-115.
- [21] Yılmaz A., Şevik S. 2017. Sodyum Borhidrür (NaBH₄) Destekli Bir Hidrojen/Hava PEM Yakıt Hücresi İle Elektrik Üretiminin Deneysel Analizi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7: 2/2.
- [22] Bilici M.S.Ü., 2004. Sodyum Borhidrür Üretim Yöntemleri, II. Uluslararası Bor sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir, 119-125.
- [23] Yılmaz İ., Benli M. 2009. Metanolün Taşıtlarda Enerji Kaynağı Olarak Farklı Kullanım Yöntemlerinin İncelenmesi, *Mühendis ve Makine*, 50: 596.
- [24] Masum B.M., Kalam M.A., Masjuki H.H., Palash S.M., Fattah I.M.R. 2014. Performance and Emission Analysis of a Multi Cylinder Gasoline Engine Operating at Different Alcohol–Gasoline Blends, *RSC Advances*, 4: 27898-27904.
- [25] Shenghua L., Cuty Clemente E.R., Tiegang H., Yanjv W. 2007. Study of Spark Ignition Engine Fueled with Methanol/gasoline Fuel Blends”, *Applied Thermal Engineering*, 27: 1904-1910.
- [26] Ajav E.A., Akingbehin O.A. 2002. A Study of Some Fuel Properties of Local Ethanol Blended with Diesel Fuel. *Ibadan University Technology Faculty*, Nijerya.
- [27] Eyidoğan M. 2008. Etanol-Benzin ve Metanol-Benzin Karışımlarının Buji Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Karakteristiği ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 26-27.
- [28] Wu C.W., Chen R.H., Pu J.Y., Lin T.H. 2004. The Influence of Air-Fuel Ratio on Engine Performance and Pollutant Emission of An SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels. *Atmospheric Environment*, 38 (40 SPEC. ISS.): 7093-7100.
- [29] Ergüder T.O. 2019. Erzincan şehir merkezinde Motorlu taşıt emisyonları kaynaklı Hava Kirliliğinin düzeyinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan, 1-122.
- [30] Kodah Z., Soliman S. 2000. Combustion in a Spark Ignition Engine. *Applied Energy*, 66: 237-250.

Araştırma Makalesi / Research Article

Effect of Taper Angle on Flow and Stress in Conical Shell Fluid Mixers

Mustafa Murat YAVUZ*

*Department of Mechanical Engineering, İzmir Democracy University, İzmir, 35140, Turkey
(ORCID: 0000-0002-5892-0075)*

Abstract

Hollow cylindrical flow mixers achieve a homogeneous mixture with less pressure loss and higher momentum. However, the low volume of the mixer due to the hollow creates high pressure effects and mechanical stresses on the mixer. In this study, the stresses formed on the mixer by considering the flow and thermal effects of fluids in a conical cylinder mixer at different temperatures were examined. The effect of taper angle has been studied. In the examinations carried out using the finite element method, a verification study was first made, and solution sensitivity was determined. Water as fluid in standard conditions and common steel properties as cylinder material were used. Plate thickness was chosen to be 1 mm. It seems more appropriate to use a non-conical straight model to achieve thermal equilibrium. The taper angle reduced the high velocity region created by the fluid entering the mixer. Stress concentrations were observed at the supports and a lower and decreasing stress distribution was obtained for the conical mixer while it was constant for the straight cylinder in the other regions.

Keywords: Cylindrical Mixer, Taper Angle, Von-Mises Stress, Finite Element Analysis

Konik Gövdeli Akışkan Karıştırıcılarda Konik Açının Akış ve Gerilme Üzerindeki Etkisi

Öz

İçi boş silindirik akış karıştırıcıları daha az basınç kaybı ve daha yüksek momentum ile homojen bir karışım elde edilmesini sağlar. Bununla birlikte, oyuk nedeniyle karıştırıcının düşük hacmi karıştırıcı üzerinde yüksek basınç etkileri ve mekanik gerilmeler yaratır. Bu çalışmada, konik silindirik bir karıştırıcıda akışkanların farklı sıcaklıklarda akış ve ısı etkileri dikkate alınarak karıştırıcı üzerinde oluşan gerilmeler incelenmiştir. Konik açının etkisi incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan incelemelerde öncelikle bir doğrulama çalışması yapılmış ve çözüm hassasiyeti belirlenmiştir. Standart koşullarda akışkan olarak su ve silindir malzemesi olarak yaygın çelik özellikleri kullanılmıştır. Levha kalınlığı 1 mm olarak seçilmiştir. Termal dengenin sağlanması için düz silindir şeklinde bir model kullanmak daha uygun görünmektedir. Koniklik açısı, miksera giren akışkanın oluşturduğu yüksek hız bölgesini azaltmıştır. Bağlantı yerlerinde gerilme yoğunlukları gözlenmiş ve diğer bölgelerde düz silindir için sabit iken konik karıştırıcıda daha düşük ve azalan bir gerilme dağılımı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Silindirik Karıştırıcı, Konik Açılı, Von-Mises Gerilmesi, Sonlu Eleman Analizi

1. Introduction

The mixing of materials and phases at different temperatures is carried out with various mixing units. The desired mixing of two or more components depends on the characteristics of the unit used (geometry, active-passive mixing, etc.). Although mixing performance is a priority, it is desired that the mixers complete the mixture in less unit area and create less loss in flow pressure. Studies in the literature were grouped according to mixture materials and methods. Commonly, powder-gas and liquid-liquid mixtures have been researched and different mixers have been designed. Jet angle effect was investigated in a jet mixer up to 45° and optimum angle was determined at 35° [1]. The CFD simulation of cement mixer was analysed and the results obtained for use in future cement mixer designs were highlighted [2]. The cyclone type mixers were examined considering the recirculation and cavitation

*Corresponding author: murat.yavuz@idu.edu.tr

Received: 04.05.2021, Accepted: 13.09.2021

locations classified as dead zones [3]. It has been observed that the pressure loss in the water causes circulation, dead zones and cavitation according to the eddy movement. DEM (discrete element method) and CFD methods were used together to investigate the particle behaviour in a static mixer and the optimization of the mixer geometry to improve the mixing quality was discussed [4]. A comparison study was investigated for the performance of static mixers, which takes into account the quality of the mix as well as energy efficiency and compactness [5]. Residence time distribution was simulated by regression method for helical static mixers [6]. The simulation results were consistent with experimental results, and the model could simulate different volumetric flow rates. The efficiency of an axial mixer was investigated using CFD and the pressure drop was reduced by up to 40% as a result of applied geometric modification [7]. A static mixer under granular flow was investigated with the combined DEM/CFD methods and as a result, it was seen that the mixing elements in the mixer had a more dominant effect than the material types used in the mixing process [8]. Newtonian and non-Newtonian fluids were studied for in-line high shear mixers [9]. In the results, non-Newtonian shear thinning power-law fluids had a higher strain rate at the mixing head than Newtonian fluids, resulting in larger dead zones. The mixing process of granular materials was investigated for a rotary drum by considering the rotational speed and drum length, and it was determined that the side wall effect and the drum length were effective [10]. The height of the mixer was found to be a dominant effect in the mixes and appropriate modifications were applied for the performance analysis of a helical ribbon mixer [11]. An optimal hydrocyclone design was developed using CFD analysis and 3D printed model, and as a result, a rapid production structure was obtained with a 10% improvement [12]. Large eddy simulation of three different high shear mixers with circular, square and inclined was investigated under a rotor speed of 4000 rpm [13]. It was observed that the inclined stator head of the mixer had performed better and it was determined that reducing the stator hole size had required less energy. A high-efficiency vortex (HEV) mixer was used to mix the two-phase flow, and in the observations, flow fluctuations occurred near the mixer wall [14]. In this case, the turbulence dispersion velocity reached the highest value. Fluid flow and heat transfer analyses of Kenics mixer were investigated with constant heat flux through the walls and the mixer increased the Nusselt number up to 50% [15]. A static mixer was optimized by using different internal grids [16]. The measurement performance of numerical methods in mixers was examined and flow vectors were obtained in detail [17]. The inclined plane angle of tubular photobioreactors connected to static mixers was investigated and it was observed that mass transfer increased as a result of increasing the angle [18]. 3 different water inlets were examined for a solar water tank filling and the appropriate water inlet were determined to obtain a more homogeneous structure in the hot-cold water mixture [19]. Mixing performance of 2 and 4 misaligned inlet t-mixers were examined and, in the results, it was recommended that the 4-input mixer was not efficient, and that 2-input mixer should be preferred instead [20]. A gradually curved channel was incorporated into a micro mixer and four different mixers were designed [21]. It was observed that the stepped curved channel mixer had 20% better mixing performance than the normal curved mixer but caused 50% higher pressure drop. T, O and H-micromixers were used instead of straight tube mixers by using slicing and recombination (SAR) method and the highest mixing efficiency was achieved by using H-micromixer [22]. The cause of thermal fatigue crack by considering the temperature fluctuations during the mixing of hot and cold fluids were investigated in tee pipe connections [23]. On the inner surface of the main pipe where the mixture joined, the local stress and temperature fluctuation range was measured as high. Thermal fatigue crack formation potential was investigated by considering the temperature fluctuation frequencies of the fluid close to the surface edges in mixing tees where hot and cold fluid mixtures take place [24]. A t-mixer with a non-aligned inlet was examined considering the structure of the mixer inlet and its asymmetric flow [25]. Increased Reynolds number was improved mixing performance in contrast to normal t-mixers. Generally, the performance of the mixture was examined in the studies examined in the literature review. In these examinations, the inlet-outlet mixing performance was examined. An investigation of a cylinder with taper angle designed for hot-cold fluid mixture has not been detected and detailed flow observation and stress analysis have been made on this subject.

2. Material and Method

Numerical methods enable the mathematical models of systems to be examined within appropriate boundary conditions and they were used in the flow and mechanical analysis of conical mixer.

Computational fluid dynamics (CFD) for flow and finite element method (FEM) for structural analysis were used. Idealized models were created, and numerical models were obtained from these models. The numerical model was included the grid or finite element structure of the geometric model, and the solutions were realized over the created grid or finite elements. Ansys Workbench package software was used in analysis. Before the examination of the conical cylinder, basic models with similar structure and known analytical solution were analysed numerically and the results were compared.

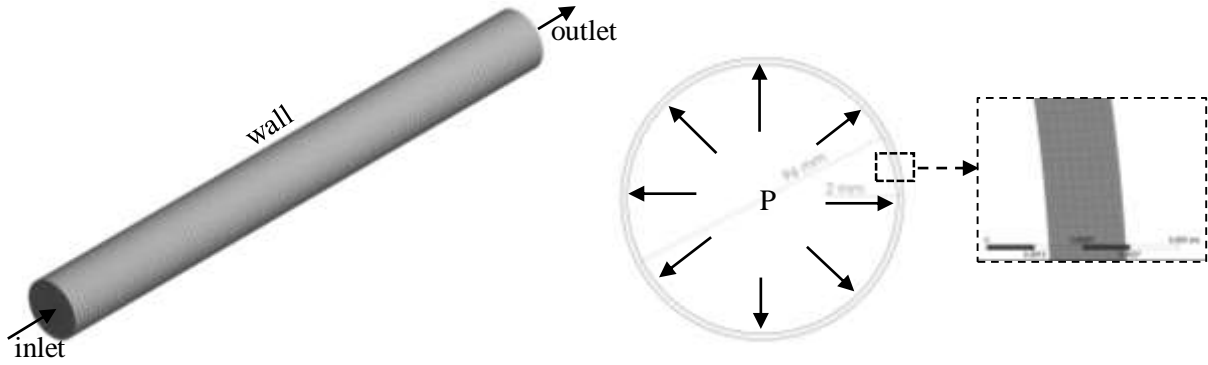


Figure 1. CFD model of a straight pipe (a) and FEM model of thin cylinder (b)

In Fig. 1, a numerical model of a straight pipe for precision of flow solution and a thin-walled pressurized cylinder for the precision of mechanical solution were shown. In the flow solution, the pipe diameter (D) was modelled as 0.1 meter and a length of $10 D$. With standard properties, water (density of 998.2 kg/m^3 and viscosity of 0.001003 kg/ms) was chosen as the fluid. Fluid velocity [26-27] for the Reynolds number 10.000 was calculated by Eq.1 and found to be 0.1 m/s. In-pipe pressure difference obtained from the energy equation was shown in Eq. 2. K-epsilon turbulence model has been one of the most common used models in literature, was used in this analysis. The stress equation for the thin-walled cylinder model, whose finite element model [28] was shown, in Eq. 3. Steel ($E=200 \text{ GPa}$, $\nu=0.3$) was used as shell material. 1000 Pa pressure was applied. P is internal pressure; t is thickness of thin cylinder and r is the mean or maximum radius of thin cylinder.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \tag{1}$$

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho \cdot V^2}{2} \tag{2}$$

$$\sigma_t = \frac{P \cdot r}{t} \tag{3}$$

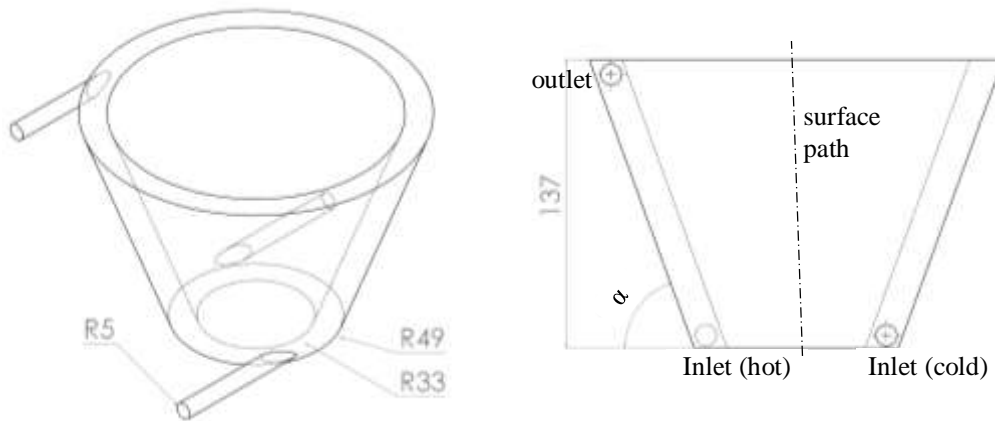


Figure 2. Isometric and front view of conical cylinder mixer model (sizes are in mm)

The conical cylinder mixer model was shown in Fig. 2 and its geometric properties were given. While the base geometry and dimensions were remained the same, the inner and outer radii forming the upper surface changed linearly with the taper angle used. Hot and cold fluids were sent from the cylinder side lower surfaces mutually. There has been an outlet on the side upper surface. Hot water has a temperature of 333 K and cold water has a temperature of 300 K. Environmental effects and heat transfer loss were neglected. Inlet velocities were 1 m/s. Flow solutions were examined with an average of 1000 time steps with time intervals of 2 ms depending on time. The thickness of the mixer plate was 1 mm and the upper and lower outer corners of the cylinder were fixed for structural analysis.

3. Results and Discussion

For smooth pipe, the friction coefficient (f) is 0.032 in the non-turbulent condition. The analytical solution of pressure drop was 1.597 Pa from Eq. 2. The CFD solution of straight pipe in Fig. 1 has a pressure drop of 1.647 Pa. Flow solution difference was %3.03. The tangential stress calculated using Eq. 3 was found to be 25.000 Pascals. In the finite element solution used for structural analysis, the stress was obtained as 24.590 Pa and the difference was around %1.7. The numerical analysis can be applied for general solution of flow and structural analysis of cylinder mixer model.

Velocity profiles were shown according to different taper angles (α) for hot and cold fluid inlets in Fig. 3. The widening of the conic section was shown inversely with the taper angle (α). A plane perpendicular to the cylinder center and located at the fluid inlets was used to observe the flow state. The effect of the conical angle (α) has been clearly visible on the inlet pipes and inside the conical chamber. Mixers were divided into 3 basic classes in macro, meso and microstructures with their structures and mixture material properties, and the classification was determined according to the structures formed during mixing [29-30]. The dominance of the eddy structure and the formation of a mixture in the form of diffusion have been known as meso mixing [31]. Although mixture contours were contained time-dependent averages, it was understood that the structure of the mixture was in macro mixing due to the formation of flow bands in Fig. 3. The smooth cylindrical structure at different taper angles was seemed to be the main factor in the formation of the macro mixing.

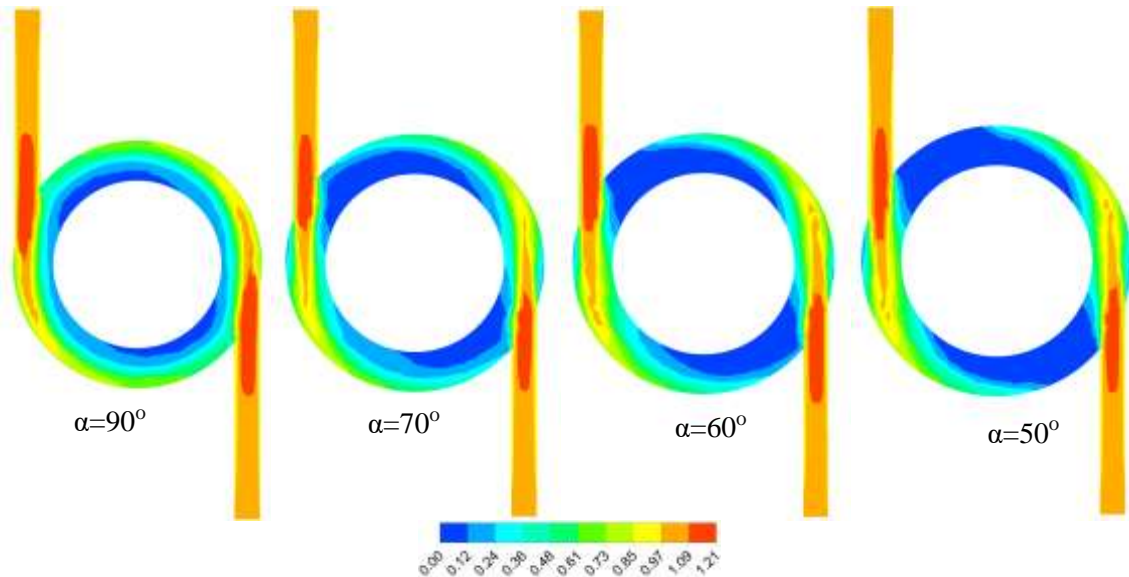


Figure 3. Velocity contours at the inlet location

While the velocity profile in the inlet pipes was 1 m/s in the vertical position of the mixer ($\alpha=90^\circ$), it reached its highest speed of 1.21 m/s when entering the mixer. The non-aligned structure of the inlets of the opposing cold and hot fluids has led to the formation of velocity profiles with regional differences within the mixer. The cross-sectional surface of the mixer was larger than the cross-sectional surface of the inlet pipes, and a reduction in speed was expected according to the laws of mass and energy as a result of the fluids entering the mixer under normal conditions. Increasing the taper angle in the cylinder caused the area covered by the low velocity profiles to increase. This situation caused the

higher flow velocities closer to the outer wall and more dominant on the pipe-mixer joints due to the momentum effects.

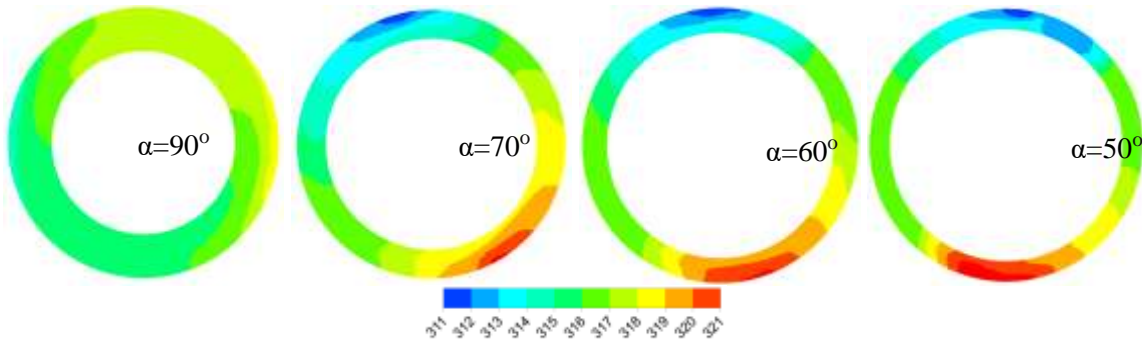


Figure 4. Temperature contours at the middle section of the mixer

In Fig. 4, temperature contours in the mixer were shown from a plane formed at half the height of the cylinder. It was observed that the mixture of hot and cold liquid still did not reach thermal equilibrium. The temperature in this section was between the highest 333 K and the lowest 300 K, and the mixing process has been still ongoing. It can be said that one of the reasons for this is the accumulation of fluids close to the outer wall of the mixer as a result of the momentum effect. Momentum showed centrifugal force effect in liquids rotating in a circular mixer and increased the fluid velocity near the outer wall of the mixer. There is less temperature difference in the vertical cylindrical mixer with a $\alpha=90^\circ$ taper angle. Increasing the taper angle compared to the straight cylindrical mixer caused an increase in the temperature range. In addition, the hot and cold flow region has been more pronounced. The straight cylindrical mixer performed better in terms of mixer performance and flow conditions. The temperature fluctuation was seen to be higher at the highest taper angle ($\alpha=50^\circ$). This may cause temperature and local stress effects to dominate [23]. A more uniform temperature mixture would exhibit less temperature fluctuation behaviour in a right-angled ($\alpha=90^\circ$) mixer [24]. As a result of the interaction of high and low momentum in the fluid structure, large-scale heat transfer has occurred [32] and a macro-structured mixture has formed in the results.

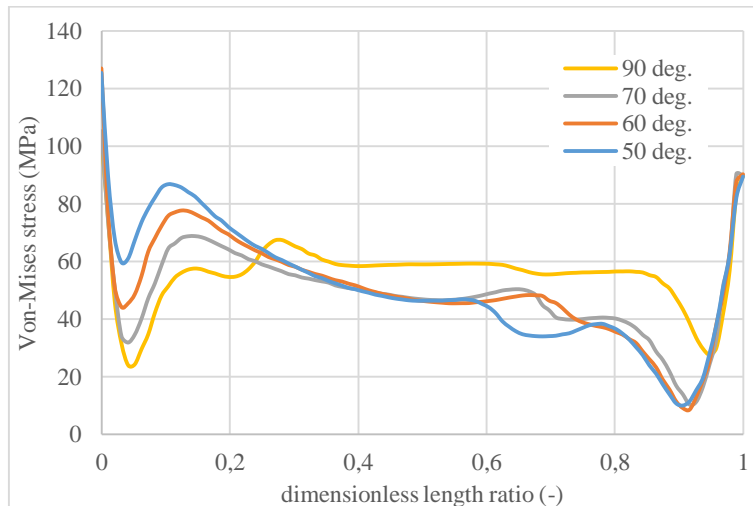


Figure 5. Von-Mises stress distribution at the surface path

Stress results were shown in Fig. 5 on the conical surface according to the Von-Mises stress criterion. The results showed stress concentrations due to the support of the lower and upper surfaces of the cylinder. The stress drop after the support stress concentration was due to the deformation of the outer plate in a limited region. The average stress value of 60 MPa was occurred in the straight cylinder body. The usage of taper angle caused high stresses where the dimensionless length ratio was 0.1 under the effect of the lower pipe joint. The lowest stress occurred when the taper angle was 70° and the highest stress occurred when it was 50° . In the conical results, in the range where the dimensionless length ratio

was 0.3 and 0.95, the stress values were lower and showed a decreasing behaviour compared to the straight cylinder. It can be said that the 70° taper angle model was the most ideal according to the stress results.

4. Conclusion

In this study, the flow-temperature and stress conditions of a conical mixer with a cavity in the centre were investigated according to the taper angle. There were few studies on this subject in the literature and there was more basic information on conical separators. In the study, flow-temperature and stresses occurring in the mixer body were investigated interactively. First, a verification study was carried out in the model using the numerical analysis method. Flow was sent from two inlets at 300 K and 333 K under ideal flow conditions and the mixture was discharged from a single outlet.

- i. As a result of the examination, it was seen that the taper angle has a dominant effect on the results
- ii. Increasing the taper angle compared to the straight cylindrical mixer caused an increase in the temperature range and farther from thermal equilibrium
- iii. The taper angle reduced the high velocity region caused by the fluids entering the mixer to a certain extent
- iv. Stress concentration locations were determined in the support regions
- v. As a result of the straight cylinder, the stress was almost constant on the cylinder surface, while it exhibited a decreasing behaviour in conical angle models and gives a lower stress result. Therefore, when examined mechanically, the ideal result was obtained in the 70° taper angle model

Author's Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the author.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] Farbod A., Moghaddas J.S., Shokrgozar M. 2010. CFD simulation and experimental investigation of a jet mixer: effect of flow rate and jet angle on mixing time using the RSM model. 13th Iranian National Chemical Engineering Congress, 25-28 October, Kermanshah, Iran.
- [2] Shuiping L., Xiaotian L., Lugang S. 2011. Simulation of the flow field of cement mixer based on numerical methods. *Advances in Systems Science and Applications*, 11 (3-4): 315-321.
- [3] Kölbl A., Kraut M., Wenka A. 2011. Design parameter studies on cyclone type mixers. *Chemical Engineering Journal*, 167: 444-454.
- [4] Jovanović A., Pezo M., Pezo L., Lević L. 2014. DEM/CFD analysis of granular flow in static mixers. *Powder Technology*, 266: 240-248.
- [5] Meijer H.E.H., Singh M.K., Anderson P.D. 2012. On the performance of static mixers: a quantitative comparison. *Progress in Polymer Science*, 37 (10): 1333-1349.
- [6] Akila R., Balu K. 2015. Regression model for fluid flow in a static mixer. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 18: 23-29.
- [7] Hanada T., Kuroda K., Takahashi, K. 2016. CFD geometrical optimization to improve mixing performance of axial mixer. *Chemical Engineering Science*, 144: 144-152.
- [8] Pezo L., Pezo M., Jovanović A., Kosanić N., Petrović A., Lević L. 2016. Granular flow in static mixers by coupled dem/cfd approach. *Hemijaska Industrija*, 70 (5): 539-546.

- [9] Zhang C., Gu J., Qin H., Xu Q., Li W., Jia X., Zhang J. 2017. CFD analysis of flow pattern and power consumption for viscous fluids in in-line high shear mixers. *Chemical Engineering Research and Design*, 117: 190–204.
- [10] Liu X., Hu Z., Wu W., Zhan J., Herz F., Specht E. 2017. DEM study on the surface mixing and whole mixing of granular materials in rotary drums. *Powder Technology*, 315: 438–444.
- [11] Mihailova O., Mothersdale T., Rodgers T., Ren Z., Watson S., Lister V., Kowalski A. 2018. Optimisation of mixing performance of helical ribbon mixers for high throughput applications using computational fluid dynamics. *Chemical Engineering Research and Design*, 132: 942–953.
- [12] Vega-Garcia D., Brito-Parada P.R., Cilliers J.J. 2018. Optimising small hydrocyclone design using 3d printing and cfd simulations. *Chemical Engineering Journal*, 350: 653–659.
- [13] Vikash V.K. 2019. Turbulent statistics of flow fields using large eddy simulations in batch high shear mixers. *Chemical Engineering Research and Design*, 147: 561–569.
- [14] Vikhansky A. 2020. CFD modelling of turbulent liquid–liquid dispersion in a static mixer. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 149: 107840.
- [15] Abotsi O.Y.W., Kizito J.P. 2020. Numerical study of heat transfer augmentation in an axially rotating pipe equipped with kenics mixer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21: 100695.
- [16] Singh M.K., Anderson P.D., Meijer H.E.H. 2009. Understanding and optimizing the smx static mixer. *Macromol. Rapid Commun.*, 30: 362–376.
- [17] Jilisen R.T.M., Bloemen P.R., Speetjens M.F.M., Three-dimensional flow measurements in a static mixer, *AIChE Journal*, 59(5), 1746-1761, 2013.
- [18] Ugwu C.U., Ogbonna J.C., Tanaka H. 2002. Improvement of mass transfer characteristics and productivities of inclined tubular photobioreactors by installation of internal static mixers. *Appl Microbiol Biotechnol*, 58: 600–607.
- [19] Shah L.J., Furbo S. 2003. Entrance effects in solar storage tanks. *Solar Energy*, 75: 337–348.
- [20] Ansari M.A., Qamareen A., Ansari M.Z. 2019. Mixing of fluids in vortex t-mixer with two and four nonaligned inlet microchannels. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 691: 012030.
- [21] Sheu T.S., Chen S.J., Chen J.J. 2012. Mixing of a split and recombine micromixer with tapered curved microchannels. *Chemical Engineering Science*, 71: 321–332.
- [22] Nimafar M., Viktorov V., Martinelli M. 2012. Experimental comparative mixing performance of passive micromixers with h-shaped sub-channels. *Chemical Engineering Science*, 76: 37–44.
- [23] Miyoshi K., Kamaya M., Utanohara Y., Nakamura A. 2016. An investigation of thermal stress characteristics by wall temperature measurements at a mixing tee. *Nuclear Engineering and Design*, 298: 109–120.
- [24] Utanohara Y., Nakamura A., Miyoshi K., Kasahara N. 2016. Numerical simulation of long-period fluid temperature fluctuation at a mixing tee for the thermal fatigue problem. *Nuclear Engineering and Design*, 305: 639–652.
- [25] Ansari M.A., Kim K., Anwar K., Kim S.M. 2012. Vortex micro t-mixer with non-aligned inputs. *Chemical Engineering Journal*, 181– 182: 846–850.
- [26] Versteeg H.K., Malalasekera, W. 2007. *An introduction to computational fluid dynamics*, 2nd edition. Pearson Education Limited.
- [27] White F.M. 2016. *Fluid mechanics 8th edition*, McGraw Hill.
- [28] Budynas R., Nisbett K. 2020. *Shigley's mechanical engineering design 11th edition*, McGraw Hill.
- [29] Baldyga J., Pohorecki R. 1995. Turbulent micro mixing in chemical reactors – a review. *Chem. Eng. J.*, 58(2): 183–195.
- [30] Bourne J.R. 2003. Mixing and the selectivity of chemical reactions. *Org. Process Res. Dev.*, 7(4): 471–508.
- [31] Gradl J., Peukert W., Characterization of micro mixing for precipitation of nanoparticles in a t-mixer, 105-124, *Micro and Macro Mixing, Analysis, Simulation and Numerical Calculation*, Springer, 2010.
- [32] Ghanem A., Lemenand T., Valle D.D., Peerhossaini H. 2014. Static mixers: mechanisms, applications, and characterization methods a review. *Chemical Engineering Research and Design*, 92: 205–228.

Araştırma Makalesi / Research Article

Tungsten Karbür Besleme Stoğundan Elde Edilen Parçalar İçin İdeal Çözücünün Araştırılması

Kamran SAMET¹, Mehmet SUBAŞI^{2*}, Çetin KARATAŞ¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara
(ORCID: 0000-0002-4159-3610) (ORCID: 0000-0003-4826-9175) (ORCID: 0000-0003-0005-3068)

Öz

Bu çalışmada tungsten karbür- kobalt (WC-Co) besleme stoğundan Toz Enjeksiyon Kalıplama (TEK) yöntemi ile elde edilmiş numunelerin kimyasal bağlayıcı aşamasında kullanılacak çözücü türü araştırılmıştır. TEK yöntemi ile WC-Co besleme stoğundan hazırlanan deney numunelerinin kimyasal bağlayıcı giderme deneyleri onüç farklı çözücü (Toluen, Benzen, Heptan, Aseton, Etanol, Karbon tetraklorür (CCl₄), Etanol+ Karbon tetraklorür (CCl₄), Metanol, Nitrik asit, Hidroklorik asit, Sülfürik asit, Kloroform, Dikloroetan) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda WC-Co besleme stoğu için bulunabilirlik ve maliyet açısından en ideal çözücünün etanol olduğu belirlenmiştir. Ayrıca deneyler sonucunda 60 °C sıcaklık ve 60 saat sürede etanol içerisinde tutulan parçalarda hedeflenen sonuçların elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bağlayıcı Giderme, Toz Enjeksiyon Kalıplama, Tungsten Karbür, Çözücü

Investigation of The Ideal Solvent For Parts Obtained From Tungsten Carbide Feedstock

Abstract

In this study, the solvent type used in the chemical debinding process of the samples manufactured from tungsten carbide - cobalt (WC-Co) feedstock by Powder Injection Molding (PIM) method was investigated. Chemical debinding process experiments of the test samples prepared from WC-Co feedstock by PIM method were carried out using thirteen different solvents (Toluene, Benzene, Heptane, Acetone, Ethanol, Carbon tetrachloride (CCl₄), Ethanol + Carbon tetrachloride (CCl₄), Methanol, Nitric acid, Hydrochloric acid, Sulfuric acid, Chloroform Dichloroethane). As a result of the experiments, ethanol was determined to be the most ideal solvent for WC-Co feedstock in terms of availability and cost. In addition, as a result of the experiments, it was determined that the targeted results were obtained in parts kept in ethanol at 60 °C temperature for 60 hours.

Keywords: Debinding, Powder Injection Molding, Tungsten Carbide, Solvent

1. Giriş

TEK yöntemi toz ve bağlayıcı sistemin karıştırılması ile besleme stoğunun hazırlanması, besleme stoğunun kalıplanması, bağlayıcı giderme ve sinterleme olmak üzere dört temel aşamadan meydana gelmektedir. TEK yönteminde bağlayıcı giderme, temel sıkıntılarının kaynağı ve genellikle en fazla zaman alan aşamadır [1, 2].

Genel olarak besleme stoğu içerisindeki bağlayıcılar parçanın hacimce %40'ını oluştururlar. Besleme stoğu içerisinden bütün bağlayıcıların birden uzaklaştırılması tozların dökülmesine ve böylece parçanın bozulmasına yol açar. Besleme stoğu içerisindeki bağlayıcıyı sinterleme işleminden önce çıkarmaktaki başarısızlık parçanın bozulmasıyla sonuçlanır. Bu sebeplerden dolayı literatürde bağlayıcı giderme aşamasının kimyasal ve ısı olmak üzere iki temel aşamada yapılması gerektiği belirtilmektedir [1, 3, 4].

* Sorumlu yazar: msubasi@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi: 10.05.2021, Kabul Tarihi: 12.08.2021

Literatürde besleme stoğu içerisinde kullanılan bağlayıcı eleman türlerine göre çok farklı çözücülerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Baojun ve arkadaşları [5] çok elemanlı bağlayıcı sisteme sahip hacimce % 65 toz yüklemeli WC besleme stoğunun kimyasal bağlayıcı giderme deneylerini heptan içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda kusursuz parça üretebilmişlerdir. Lee ve arkadaşları [6] TEK yöntemi ile MWNT/PMMA nanokompozit parça üretiminde hedefledikleri sonuçlara kimyasal bağlayıcı giderme aşamasında aseton kullanarak ulaştıklarını belirtmişlerdir. Heng ve arkadaşları [7] WC-10%Co besleme stoğundan mikro enjeksiyon yöntemi ile parça üretimini araştırmışlardır. Araştırmaları sonucunda numunelerin bağlayıcı giderme aşamasında çözücü olarak heptan kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Li ve arkadaşları [8] WC-Co besleme stoğundan çift katmanlı parça üretimini araştırmışlardır. Kimyasal bağlayıcı giderme deneyleri aşamasında çözücü olarak trikloreten (trichloroethane) kullanmışlardır. Deney numunelerini trikloreten içerisinde 10 saatten fazla tutarak hedefledikleri sonuçları elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada WC-Co besleme stoğu için ideal çözücünün tespit edilmesine yönelik deneyler yapılmıştır. Kimyasal bağlayıcı giderme deneylerinde Toluen, Benzen, Heptan, Aseton, Etanol, Karbon tetraklorür (CCl₄), Etanol+ Karbon tetraklorür (CCl₄), Metanol, Nitrik asit, Hidroklorik asit, Sülfürik asit, Kloroform Dikloroetan olmak üzere onüç farklı çözücü kullanılmıştır. Deneyler sonucunda WC-Co besleme stoğu için ideal çözücü ve bu çözücünün bağlayıcı giderme şartları araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Tungsten karbür – kobalt (WC-Co) besleme stoğu, Amerikan RYER firmasından, ticari bir ürün olarak temin edilmiştir. Besleme stoğuna ait spektral analiz değerleri Tablo 1’de, teknik özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan besleme stoğunun granül görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. WC-Co besleme stoğunun kimyasal bileşimi

Elementler	C	Cr	Fe	Mo	Ni	W	Co	O
Kütlece (%)	5,54	0,01	0,01	0,01	0,01	85,43	8,94	0,05

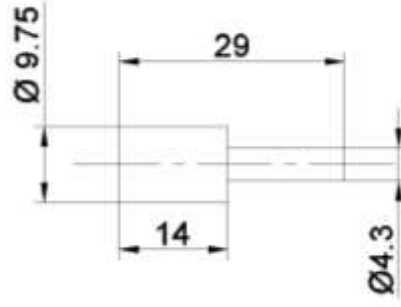
Tablo 2. WC-Co besleme stoğunun teknik özellikleri

Toz şekli	Yoğunluk	Toz boyutu (µm)		
		D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
Karmaşık şekilli	8,0600g/cm ³	0,15	0,28	0,52



Şekil 1. WC-Co besleme stoğu

Çalışmada deney numuneleri TEK yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 2). TEK numune hazırlama parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 2. WC numune ölçüleri

Tablo 3. TEK parametreleri

Enjeksiyon hızı (cm ³ /s)	15
Enjeksiyon basıncı (bar)	120
Enjeksiyon süresi (s)	2
Ütüleme basıncı (bar)	80
Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	200
Kalıp sıcaklığı (°C)	45
Soğuma süresi (s)	5

Bağlayıcı giderme deneylerinde kullanılan çözücü türleri Tablo 4’te verilmiştir. Çözücü türünü belirlemek için yapılan kimyasal bağlayıcı giderme deneyleri 24 saat sürede ve 60 °C sıcaklıkta yapılmıştır.

Tablo 4. Kimyasal bağlayıcı giderme deneylerinde kullanılan çözücüler

Kimyasal	Kaynak
Toulen	[9]
Benzen	[10]
Heptan	[5,7]
Aseton	[6]
Etanol	[11]
Karbon tetra klorür	[12]
Etanol+ Karbon tetra klorür	[12]
Metanol	[13]
Nitrik asit	[14]
Hidroklorik asit	[11]
Sülfürik asit	[14]
Kloroform	[9]
Dikloroetan	[15]

3. Bulgular ve Tartışma

Kimyasal bağlayıcı giderme aşamasında kullanılacak kimyasal çözücünün belirlenebilmesi için ilk olarak WC numuneler TEK yöntemi ile hazırlanmıştır (Şekil 3). Numunelerin hazırlandığı WC besleme stoğu ticari bir ürün olarak hazır satın alınmıştır. Besleme stoğunun temin edildiği firma kimyasal bağlayıcı giderme aşamasında hidrofloroklorokarbon esaslı AK-225 kodlu bir kimyasal önermiştir. Fakat firmanın önerdiği kimyasal ozon tabakasına zarar verdiği için Türkiye’de kullanımı yasaklanmıştır. Bundan dolayı WC besleme stoklarının kimyasal bağlayıcı giderme aşamasında kullanılan çözücüler araştırılmıştır. Literatür çalışması sonucunda deneylerin Tablo 4 de belirtilen kimyasallar ile yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3. WC deney numuneleri

Deneylerde kullanılan WC besleme stoğunun içerisinde ağırlıkça %3,05 bağlayıcı bulunmaktadır. TEK yöntemi ile parça üretiminde bir aşama olan bağlayıcı giderme aşamasında %60-%70 oranında bağlayıcının yapıdan uzaklaştırılması gerekmektedir [1]. Çalışmada yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kimyasal bağlayıcı giderme deney sonuçları

Kullanılan kimyasal	Kütle kaybı (%)
Toluen	3,24
Benzen	3,2
Heptan	3,63
Aseton	Kütle kaybı olmadı
Etanol	2,04
Karbon tetraklorür (CCl ₄)	3,4
Etanol+ Karbon tetraklorür (CCl ₄)	7,7
Metanol	Kütle kaybı olmadı
Nitrik asit	Numune parçalandı.
Hidroklorik asit	Numune parçalandı.
Sülfürik asit	Numune parçalandı.
Kloroform	2,02
Dikloroetan	1,1

Deneyler sonucunda ağırlık kayıplarının fazla olduğu numunelerde, bağlayıcı giderme işlemi sonrası numunelerde dağılma ve parçalanma gerçekleşmiştir (Şekil 4).

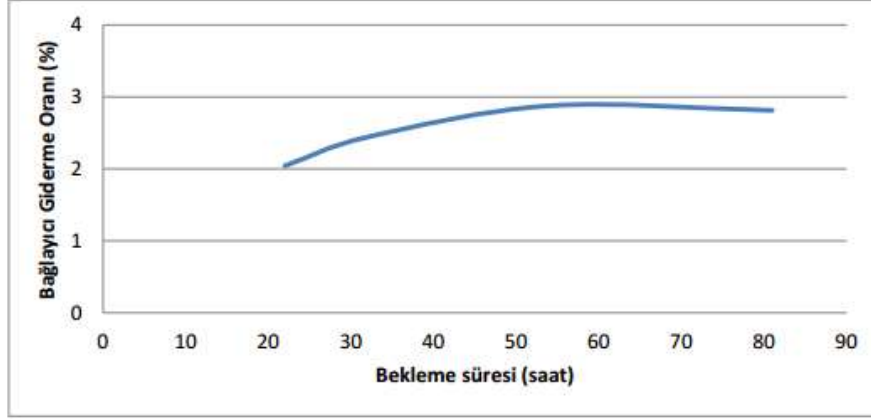


Şekil 4. Kimyasal bağlayıcı giderme deneyleri sonrası numuneler
(a) Karbon tetraklorür (b) Hidroklorik asit (c) Nitrik asit (d) Sülfürik asit

Tablo 3'deki sonuçlara göre kalıplanmış numuneden % 60-70 oranında bağlayıcı uzaklaşmasını sağlayan çözücüler; etanol ve kloroformdur. Deneyler sonucunda bulunabilirlik ve maliyet açısından kimyasal bağlayıcı giderme aşamasında çözücü sıvı olarak etanol seçilmesinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Çözücü türünün etanol olarak belirlenmesinin ardından bağlayıcı giderme sürenin tespiti için deneyler gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler 24, 36, 48, 60 ve 72 saat sürede ve 60 °C derece sıcaklıkta etanol içerisinde bekletilmiştir. Kimyasal bağlayıcı giderme deneyleri sonucunda numuneler 1 saat oda sıcaklığında kurutulmuş ve kütleleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler, bağlayıcı giderme

deneyi öncesindeki kütle değerleri ile karşılaştırılmış ve numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları yüzdesel olarak Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Kimyasal bağlayıcı giderme süresine bağlı bağlayıcı giderme oranı

Deneyler sonucunda, bağlayıcı giderme oranı 60 saate kadar artış göstermiştir. Sonrasında bekleme süresi artmasına karşın önemli bir kütle kaybı gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Bu sebeple bağlayıcı giderme yüzdesinin yatay seyire geçtiği 60 saatlik bekleme süresi bağlayıcı giderme süresi olarak belirlenmiştir.

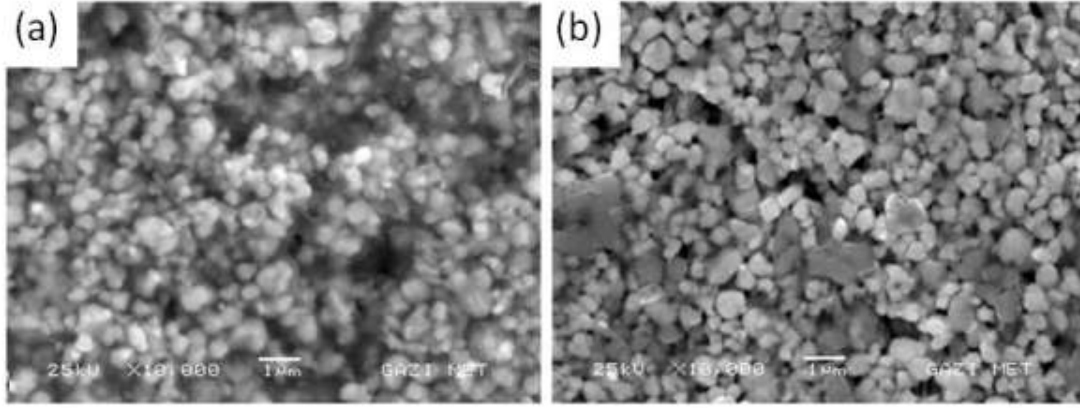
Baojun ve arkadaşları [5] hacimce % 65 toz yüklemeli WC besleme stoğundan hazırladıkları numunelerin kimyasal bağlayıcı giderme deneylerini heptan içerisinde oda sıcaklığında 5 saat bekleterek gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ise heptan ile gerçekleştirilen bağlayıcı giderme deneylerinde etanole göre daha fazla kütle kaybı olmuştur. Bu sonuca besleme stokları içerisindeki bağlayıcı bileşenlerinin farklı olmasının sebep olduğu düşünülmektedir.

Lee ve arkadaşları [6] WNT/PMMA nano kompozit numune üretiminin bağlayıcı giderme aşamasında pozitif sonuçları aseton ile elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Lee ve arkadaşları ürettikleri parçalardan bağlayıcı sistemin uzaklaştırılmasının genel yaklaşımlardan farklı ve zor olduğunu belirtmişlerdir. İki çalışma arasındaki farklılığa numunelerin hazırlandığı besleme stoğu ve bağlayıcı reçetelerinin sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

Heng ve arkadaşları [7] WC-10%Co besleme stoğundan mikro enjeksiyon yöntemi ile parça üretimini araştırmışlardır. Parçaların hazırlandığı besleme stoğu parafin, polietilen, oleik asit ve stearik asit olmak üzere dört bileşenden meydana getirilmiştir. Heptan içerisinde 80 °C de 20 dakika süresince bağlayıcı giderme deneyleri yapmışlar ve kusursuz parça üretebilmişlerdir. Bu çalışmada ise belirlenen bağlayıcı giderme süresi çok daha uzundur (60 saat). Bunun sebebi deneylerde kullanılan numunelerin hacim değerleri arasındaki farktır. Heng ve arkadaşları çalışmalarında ideal sonuçları heptanda elde etmelerine rağmen bu çalışmada ideal sonuçlar etanolde elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak da çalışmalarda kullanılan besleme stoklarının içerisindeki bağlayıcı sistem elemanlarının farklılığının sebep olduğu düşünülmektedir.

Li ve arkadaşları [8] WC-Co besleme stoğundan çift katmanlı parça üretiminin kimyasal bağlayıcı giderme aşamasında 10 saat ten daha fazla trikloretan içerisinde tutarak kusursuz parça üretilebileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise kusursuz parça üretimi için kimyasal bağlayıcı giderme aşamasında etanolün kullanılması gerektiği sonucu belirlenmiştir. Li ve arkadaşlarının kullandıkları besleme stoğunun ve parçaların çift katmanlı olmasının bu farklılığa sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

60 saat etanol içerisinde yapılan kimyasal bağlayıcı giderme deneyleri sonrası numuneler 1 saat oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrası numunelerin mikroyapıları incelenmiştir. Şekil 6'te bağlayıcı giderme işlemi öncesi ve sonrası numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 6a'da bağlayıcı giderme işlemi öncesinde jelsi bir yapının (bağlayıcıların) tozları sardığı ve homojen bir yapı oluşturduğu, Şekil 6b'de ise bağlayıcı giderme işleminden sonra bu yapının ortamdan kaybolduğu/azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 6. TEK yöntemi ile hazırlanan parçaların kimyasal bağlayıcı giderme işlemi (a) öncesi (b) sonrası SEM görüntüsü

Bu görüntüler literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Çalışmalarda bağlayıcı giderme işleminden sonra numunelerin mikroyapısı incelendiğinde tozların net bir şekilde seçilebildiği gözlemlenmiştir [16,17].

4. Sonuç ve Öneriler

TEK yöntemi ile WC-Co besleme stoğundan kusursuz parça üretebilmek için bağlayıcı giderme aşamasında kullanılacak çözücünün belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Deneylerde onüç farklı çözücü (Toluen, Benzen, Heptan, Aseton, Etanol, Karbon tetraklorür (CCl₄), Etanol+ Karbon tetraklorür (CCl₄), Metanol, Nitrik asit, Hidroklorik asit, Sülfürik asit, Kloroform Dikloroetan) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şunlardır;

- WC-Co besleme stoğu için ideal çözücü etanol dür.
- Nitrik asit, Hidroklorik asit, Sülfürik asit çözücülerinde numuneler parçalanmıştır.
- Aseton ve Metanol çözücülerinde kütle kaybı olmamıştır.
- Toluen, Benzen, Heptan, Karbon tetraklorür (CCl₄), Etanol+ Karbon tetraklorür (CCl₄) çözücülerinde kütle kaybı çok fazla olmuştur bunun sonucunda numuneler dağılmıştır.
- Etanol ile yapılacak kimyasal bağlayıcı giderme aşamasında 60 saate kadar bağlayıcı giderme oranında artış olmuştur.
- WC-Co besleme stoğu için etanol ile yapılacak ideal kimyasal bağlayıcı giderme süresi 60 saattir.

Teşekkür

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki desteklerinden dolayı TÜBİTAK (Proje No. 115M437) ve Gazi Üniversitesi'ne (Proje No. 07 / 2016-21) teşekkürlerimizi sunarız.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] German R.M. 1990. Powder injection molding. Cambridge Univ Press, 1-457.
- [2] Palacı Y. 1994. Kapileri emme mekanizması ile enjeksiyonda kalıplanmış parçadan bağlayıcının alınması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Subaşı M., Safarian A., Karataş Ç. 2019. The investigation of production parameters of Ti-6Al-4V component by powder injection molding. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 105:4747-4760.
- [4] Urtekin L, Genç A, Bozkurt F. 2019. Fabrication and simulation of feedstock for titanium powder injection-molding cortical-bone screws. Mater Tehnol, 53: 619-25.
- [5] Baojun Z., Xuanhui Q. and Ying T. 2002. Powder injection molding of WC-8% Co tungsten cemented carbide. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 20(5-6): 389-394.
- [6] Lee W.-J., Lee S.-E. and Kim C.-G. 2006. The mechanical properties of MWNT/PMMA nanocomposites fabricated by modified injection molding. Composite Structures, 76(4): 406-410.
- [7] Heng S. Y., Norhamidi M., Sulong A. B., Abdolali F., Sri Y., Amin M. 2013. Effect of sintering temperature on the mechanical and physical properties of WC-10%Co through micro-powder injection molding (mPIM), Ceramics International. 39: 4457-4464.
- [8] Li T., Qingfa L., Fuh J.Y.H., Poh C. Y., Lu L. 2009. Two-material powder injection molding of functionally graded WC-Co components, Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 27: 95-100.
- [9] Nishimura K. and Yoshino K., 1995. Binder system for use in the injection molding of sinterable powders and molding compound containing the binder system, Google Patents, 1-10.
- [10] Mutsuddy B.C. and Ford R.G. 1994. Ceramic injection molding. Vol. 1. Springer Science & Business Media, 1-152.
- [11] Diaz-Cano A., Trice R.W. and Youngblood J.P. 2017. Stabilization of highly-loaded boron carbide aqueous suspensions, Ceramics International, 43 (12): 8572-8578.
- [12] Okumura K.-i., Chono K., Ozeki H. and Hamada T. 1991. Reaction injection molding method. Google Patents, 1-10.
- [13] Chen A.T., Farrissey W.J.J. and Robert G.N.I. 1978. Polyester amides suitable for injection molding. Google Patents, 1-10.
- [14] Fukushima M. and Iwanami T. 1975. Molding material. Google Patents, 1-10.
- [15] Imai T., Hashimoto M. and Harima S. 2001. Polypropylene resin composition and injection-molded article thereof. Google Patents, 1-10.
- [16] Qu X., Gao J., Qin M. and Lei C. 2005. Application of a wax-based binder in PIM of WC-TiC-Co cemented carbides. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 23 (4-6): 273-277.
- [17] Enneti R.K., Prough K.C., Wolfe T.A., Klein A., Studley N. and Trasorras J.L. 2018. Sintering of WC-12% Co processed by binder jet 3D printing (BJ3DP) technology. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 71: 28-35.

Araştırma Makalesi / Research Article

Tepki Yüzey Metodolojisi Kullanarak Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma Parametrelerinin Optimizasyonu

Doğan ŞİMŞEK*

*Milli Savunma Üniversitesi, Kara Astsubay Meslek Yüksekokulu, Otomotiv Teknolojileri Bölümü, Balıkesir
(ORCID: 0000-0002-5509-9314)*

Öz

Bu çalışmada, mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma performansı incelenmiştir. Tepki Yüzey Metodolojisi (TYM) Merkezi Birleşik Tasarım (MBT) kullanılarak belirli sürtünme katsayısına bağlı olarak aşınma parametreleri optimize edilmeye çalışılmıştır. Farklı takviye miktarlarıyla (%6 ve %12) üretilen kompozit malzemelerin aşınma testleri farklı yük (5 N, 10 N ve 20 N) ve farklı kayma hızlarında ($0,2 \text{ ms}^{-1}$, $0,4 \text{ ms}^{-1}$ ve $0,6 \text{ ms}^{-1}$) yapılmıştır. Aşınma test sonuçlarında, optimum aşınma parametrelerini belirlemek için ağırlık kaybı (düşük en iyi) ve sürtünme katsayısı 0,54 (en iyi) yaklaşımı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, ağırlık kaybı için en etkili parametrenin takviye miktarı ve kayma hızına kıyasla yük olduğu görülmüştür. Sürtünme katsayısı için ise yük ve kayma hızına kıyasla takviye miktarı en etkili parametre olduğu belirlenmiştir. Elde edilen optimum parametreler ise 9,24 N yük, $0,6 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızı ve %12 takviye miktarı olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen parametreler kullanılarak yapılan aşınma testlerinde, ağırlık kaybı 8,536 mg, sürtünme katsayısı 0,522 olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum matrisli kompozit, Aşınma, Sürtünme katsayısı, Tepki yüzey metodolojisi.

Optimization of Wear Parameters of Aluminum Matrix Composites Using Response Surface Methodology

Abstract

In this study, was investigated the wear performance of aluminium matrix composites produced by mechanical alloying method. Using the Response Surface Methodology (RSM) Central Composite Design (CCD), it was attempted to optimize the wear parameters depending on the specific friction coefficient. Wear testers of composite materials produced with different reinforcement amounts (6% and 12%) were made at different loads (5 N, 10 N and 20 N) and different sliding speeds (0.2 ms^{-1} , 0.4 ms^{-1} and 0.6 ms^{-1}). In the wear test results, were used weight loss (low best) and friction coefficient 0.54 (best) approach to determine optimum wear parameters. The results show that the most effective parameter for weight loss is the reinforcement amount and the load compared to the sliding speed. For the friction coefficient, it was determined that the most effective parameter the reinforcement amount compared to the load and sliding speed. The optimum parameters obtained were determined to be 9.24 N load, 0.6 ms^{-1} sliding speed and 12% reinforcement amount. In the wear tests performed using the parameters obtained as a result of the study, the weight loss was found to be 8.536 mg and the friction coefficient as 0.522.

Keywords: Aluminium matrix composite, Wear, Friction coefficient, Response surface methodology.

1. Giriş

Alüminyum Matrisli Kompozit (AMK)'ler alüminyum ve alaşımlarına mukavemet kazandırmak amacıyla yapısında in-situ ve ex-situ olarak sert ikinci faz parçacık takviyeleri ile meydana gelirler. Parçacık takviyeli AMK'ler geleneksel alüminyum ve alaşımlarına kıyasla daha yüksek mukavemet, yüksek elastisite modülü, yüksek sertlik, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik, oksitlenme ve aşınma direnci gibi özelliklere sahiptirler. AMK'ler sağladıkları bu avantajları nedeniyle havacılık ve otomotiv

*Sorumlu yazar: dsimsek@msu.edu.tr

Geliş Tarihi: 18.05.2021, Kabul Tarihi: 28.07.2021

başta olmak üzere savunma sanayi ve birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Özellikle otomotiv sektöründe, AMK'ler hafif olması nedeniyle ağırlığın azaltılması yönündeki çalışmaları desteklerken, aynı zamanda yüksek sıcaklık uygulamalarında da (piston ve silindir kapakları gibi) kullanılmaktadırlar [1, 2]. Bu kullanım alanlarının yanı sıra iyi aşınma direncine sahip AMK'ler aynı zamanda otomotiv ve hava araçlarının fren disk ve kampanalarında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Al matrisine ilave edilen sert takviye parçacıkları, AMK malzemelerin aşınma direncinin artmasıyla birlikte çalışma sıcaklığı aralığını da genişletmektedir [3]. Otomotiv fren disk ve kampanalarda çalışma sırasında açığa çıkan ısı nedeniyle yükselen sıcaklıklarda aşınma direncinin yanı sıra sürtünme kararlılığı da önem arz etmektedir. Bu nedenle, yüksek sıcaklıklarda iyi aşınma direnciyle birlikte kararlı bir sürtünme katsayısı istenmektedir [4].

Araştırma çalışmalarının miktarını azaltmak, seri çalışmaları gerçekleştirmek ve zamanı daha uygun kullanmak için Tepki Yüzey Metodolojisi (TYM) yaygın olarak kullanılmaktadır. En uygun yanıt ve optimum değerler, TYM aracılığıyla, Merkezi Birleşik Tasarım (MBT) sınırlı sayıda deneysel çalışmadan kolayca elde edilebilir. TYM, tek faktörlü deneysel tasarıma kıyasla deneyin mümkün olan en az çalışmasıyla en iyi optimal reaksiyon koşullarını sağlamak için istatistiksel ve matematiksel teknikler kullanır [5, 6] Danappa vd., [7] aşınma parametrelerinin ve farklı TiO_2 miktarının etkisini TYM ile incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda TiO_2 miktarının uygulanan yüke göre aşınma oranını daha fazla etkilediğini belirtmişlerdir. Dewangan vd., [8] yaptıkları çalışmalarında A356/ TiB_2 in-situ kompozitlerin yük kayma hızı ve kayma mesafesi parametrelerinin optimizasyonu için TYM kullanmışlardır. Elde ettikleri aşınma oranı sonuçlarının in-situ TiB_2 parçacıklarından önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra ANOVA sonuçları tahmin edilen modelin aşınma oranını tahmin etmede önemli olduğunu rapor etmişlerdir. Aşınma oranının, uygulanan yükten ve ardından kayma mesafesinden büyük ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca hız parametresinin aşınma oranının hesaplanmasında önemsiz bir parametre olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada, sürtünme malzemesi olarak tasarlanan alüminyum matrisli kompozit malzemeler, farklı miktarlarda ZrO_2 ilave edilerek mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen AMK'lerin farklı kayma hızı ve yük altında ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı sonuçları incelenmiştir. Elde edilen ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı sonuçları değerlendirilerek optimum takviye miktarı ve optimum aşınma parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Aşınma parametrelerinin optimizasyonu için sürtünme katsayısı dikkate alınarak tepki yüzey metodolojisi yöntemiyle incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. AMK'lerin Üretimi

Deneysel çalışmalarda ticari saflıkta 0-50 μm alüminyum tozu matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Matrisine katı yağlayıcı olarak %2 grafit ilave edilmiştir. Takviye malzemesi olarak 0-10 μm parçacık boyutunda ZrO_2 kullanılmıştır. Hacimsel olarak içerisinde %2 grafit ilave edilerek hazırlanan matrisine, yine hacimsel olarak 2 farklı oranda (%6, ve %12) ZrO_2 ilave edilmiştir. Belirlenen miktarlarda hazırlanan tozlar planeter tip değirmende 60 dk mekanik alaşımlanmıştır. Mekanik alaşımlama (MA) sırasında tozların aşırı ısınmasını önlemek için tozlar 30 dk alaşımlanmış, 15 dk durdurularak soğuması sağlanmıştır. Mekanik alaşımlama işleminde, paslanmaz çelik öğütme hücresi, 10 mm'lik bilyalar ve 10:1 bilya toz oranı kullanılmıştır. MA sırasında tozların topaklanmasını önlemek amacıyla İşlem Kontrol Kimyasalı (İKK) olarak 1 ml metanol kullanılmıştır. MA tozlar tek eksenli preste soğuk şekillendirilerek (700 MPa) $\varnothing 10 \times 8$ mm ölçülerinde ham numuneler üretilmiştir. Soğuk şekillendirme sırasında olası kalıp ve numune deformasyonunu önlemek amacıyla kalıp içi yağlayıcısı olarak çinkostearat kullanılmıştır. Üretilen ham numuneler 600 °C sıcaklıkta 120 dk sinterlenmiş ve fırın içerisinde oda sıcaklığına soğuması için beklenmiştir. Yoğunluk ölçümleri Archimedes' prensibine göre yapılmıştır. Yoğunluk ölçümleri beş farklı numuneden yapılmış ve ortalama değer alınarak hesaplanmıştır. Sertlik ölçümleri Shimadzu mikro sertlik test cihazında (10 s süre ve yük HV2 uygulanarak) yapılmıştır. Sertlik ölçümleri beş farklı numuneden beş farklı ölçüm noktasından alınarak ortalama değer hesaplanmıştır.

2.2. AMK'lerin Aşınma Testleri

Üretilen AMK'lerin aşınma testleri ASTM G77 standardına göre blok on ring aşınma test düzeneğinde yapılmıştır. Aşınma testlerinde üç farklı yük (5 N, 10 N ve 20 N) üç farklı kayma hızı ($0,2 \text{ ms}^{-1}$, $0,4 \text{ ms}^{-1}$ ve $0,6 \text{ ms}^{-1}$) kullanılmıştır. Testlerde kayma mesafesi olarak 94 m (120 km/h hızdaki bir aracın güvenli durma mesafesi) kayma mesafesi kullanılmıştır. Aşınma testi öncesinde numune ve ring yüzeyi alkol ile temizlenmiştir. Aşınma testleri üç farklı numune tekrar edilmiştir. Ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı değerleri ortalama alınarak hesaplanmıştır.

2.3. AMK'lerin Tepki Yüzey Metodolojisi

Tepki Yüzey Metodolojisi (TYM) alanı, ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısının tahmin ve optimize etmek için kullanılmıştır. Bu tahmin ve optimizasyon için ampirik ilişkiler geliştirmek, yanıt ve süreç değişkenleri arasında uygun bir yakınlama ilişkisi geliştirebilmek için sürecin alanını veya bağımsız değişkenleri ve ampirik istatistiksel modellemeyi oluşturmak için deneysel stratejiden oluşmaktadır. AMK'lerin ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı sonuçlarını doğrudan etkileyen parametreler yük (A), kayma hızı (B) ve takviye miktarı (C) tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yanıt yüzeyini (Y) belirtmek için faktörler ve yanıtlar arasındaki matematiksel ilişkiyi formüle etmek için Eşitlik 3'te verilen ikinci dereceden polinom regresyon denklemi kullanılmıştır [9].

$$\text{Ağırlık Kaybı} = f(A, B, C) \quad (1)$$

$$\text{Sürtünme Katsayısı} = f(A, B, C) \quad (2)$$

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j + e_r \quad (3)$$

Üç faktör için, seçilen polinom Eşitlik 4 ve 5'te verilen şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \text{Ağırlık Kaybı} = & b_0 + b_1(A) + b_2(B) + b_3(C) + b_{11}(AA) + b_{22}(BB) + b_{33}(CC) \\ & + b_{12}(AB) + b_{13}(AC) + b_{23}(BC) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Sürtünme Katsayısı} = & b_0 + b_1(A) + b_2(B) + b_3(C) + b_{11}(AA) + b_{22}(BB) + b_{33}(CC) \\ & + b_{12}(AB) + b_{13}(AC) + b_{23}(BC) \end{aligned} \quad (5)$$

Burada, b_0 cevapların ortalamasıdır ve b_1, b_2, \dots, b_{23} , parametrelerin ilgili ana ve etkileşim etkilerine bağlı katsayılarıdır.

Farklı miktarlarda ZrO_2 ilave edilen AMK'lerin ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısının matematiksel modellenmesi ve optimizasyonu için MINITAB 17 yazılımı kullanılmıştır. Deneyler üç seviyeli seçilen üç faktöre göre tasarlanmış ve Tablo 1'de verilmiştir. Aşınma testleri sonrasında elde edilen ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı sonuçları birleştirilmiş ve Tablo 2'de cevap olarak verilmiştir. Deney tasarımı Merkezi Birleşik Tasarım (MBT) kullanılarak üç seviyeli tam faktöriyel L_{20} için çizilmiştir. Yük, kayma hızı ve takviye miktarı gibi bağımsız faktörlere göre farklı miktarlarda ZrO_2 takviyeli AMK'lerin ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı yanıtlarını göstermektedir. Yanıtları tanımlamak için etkileşim grafikleri çizilmiştir. Grafikler bağımsız değişkenlerin çeşitli kombinasyonlarına dayanmaktadır. Optimizasyon, ağırlık kaybı için "en düşük en iyi" şeklinde tanımlanmıştır. Sürtünme katsayısı için optimizasyon 0,540 değerleri optimum şeklinde tanımlanmıştır. Optimizasyon için kullanılan sürtünme katsayısı değerleri "Karayolu Taşıtları için Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünme Frenleri Standartları" (Standards for Road Vehicles-Brake Systems-Pads-Friction Brakes) TSE 555 (TSE 555, 1992) [10] ve "Fren Balataları için Sürtünme Katsayısı Tanımlama ve Çevresel İşaretleme Sistemi" (Friction Coefficient Identification and Environmental Marking System for Brake Linings) SAE J866 (SAE J866, 2012) [11] standartlarında sınıflandırılan balataların sürtünme katsayısı standartlarının en yüksek değerine göre belirlenmiştir. Böylece en düşük ağırlık kaybı ve belirtilen sürtünme katsayısı değerlerine sahip parametreler optimum olarak kabul edilir.

Tablo 1. Aşınma parametrelerinin giriş seviyeleri

S No	Parametreler	-1	0	1
A	Yük (N)	5	10	20
B	Kayma hızı (ms ⁻¹)	0,2	0,4	0,6
C	Takviye miktarı (%)	0	6	12

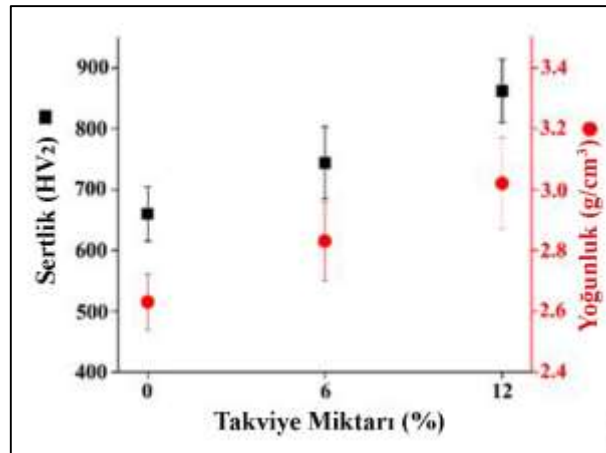
Tablo 2. Bağımsız değişkenler için analitik yanıt tablosu

Sıra	A	B	C	Ağırlık kaybı	Sürtünme katsayısı
1	1	1	1	13,1	0,598
2	1	-1	-1	22,6	0,555
3	-1	1	-1	13,5	0,462
4	0	0	0	16,3	0,557
5	-1	-1	1	8,0	0,420
6	0	0	0	16,3	0,557
7	-1	-1	-1	14,0	0,458
8	0	0	0	16,3	0,557
9	0	0	0	16,3	0,557
10	-1	1	1	8,6	0,453
11	1	-1	1	13,4	0,532
12	1	1	-1	19,3	0,618
13	0	0	-1	19,4	0,562
14	0	1	0	16,0	0,576
15	0	-1	0	16,4	0,567
16	1	0	0	23,9	0,617
17	0	0	0	16,3	0,557
18	0	0	1	10,8	0,554
19	-1	0	0	10,6	0,479
20	0	1	0	16,0	0,576

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sertlik ve Aşınma Sonuçları

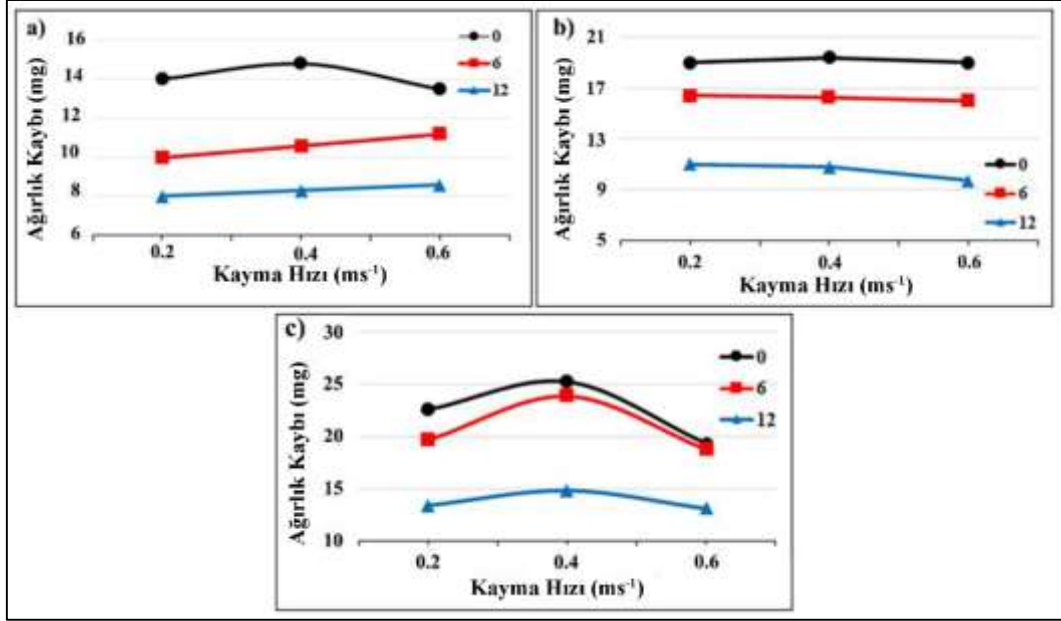
Şekil 1’de verilen mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen AMK’lerin sertlik sonuçları incelendiğinde, matris içerisinde artan takviye miktarı ile sertliğin arttığı görülmektedir. En yüksek sertlik değeri %12 ZrO₂ ilave edilen AMK malzemede (878 HV) elde edilirken, en düşük sertlik matris malzemesinde (689 HV) elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar beklenen bir durumdur. Matrise ilave edilen sert oksit parçacıkları matrisin plastik deformasyona karşı direncini artırmaktadır. Matrisin plastik deformasyona karşı direncinin artması kompozit malzemelerin sertlik değerini artırmaktadır [12].



Şekil 1. Mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen AMK'lerin sertlik ve yoğunluk sonuçları

Yine Şekil 1’de verilen yoğunluk değişimleri incelendiğinde, matris içerisinde artan takviye miktarıyla yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. En düşük yoğunluk değeri matris malzemesinde (2,69

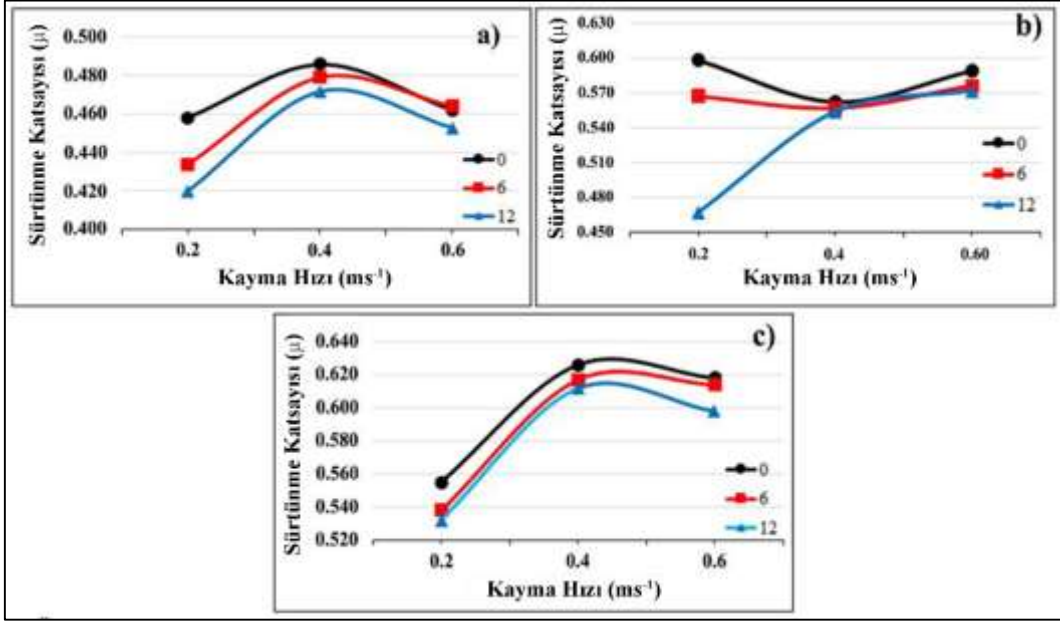
g/cm^3) olarak elde edilirken, en yüksek yoğunluk değeri %12 ZrO_2 ilave edilen kompozit malzemede ($3,06 \text{ g/cm}^3$) olarak elde edilmiştir. Yoğunluğun artması beklenen bir durumdur. Takviye olarak kullanılan ZrO_2 'nin yoğunluğunun Al'un yoğunluğundan yüksek olması yoğunluk artışının temel nedenidir. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçların elde edildiği raporlanmıştır [13-15]. Mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen AMK'lerin farklı yük altında ve farklı kayma hızlarındaki ağırlık kaybı sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Üretilen kompozit malzemelerin farklı yükler altındaki ağırlık kaybı sonuçları a) 5 N, b) 10 N ve c) 20 N

Şekil 2'de verilen mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen AMK'lerin ağırlık kaybı sonuçları incelendiğinde bütün yüklerde artan takviye miktarı ile ağırlık kaybının azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte artan yük ile ağırlık kaybının arttığı anlaşılmaktadır. En düşük ağırlık kaybı %12 ZrO_2 ilave edilen AMK malzemede 5 N yük altında $0,2 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızında, en yüksek ağırlık kaybı matris malzemesinde 20 N yük altında $0,4 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızında elde edilmiştir. AMK malzemelerde aşınma direnci genel olarak sertlikle doğru orantılı olarak artmaktadır. Sertliği yüksek olan AMK malzemelerde aşınma direnci yüksektir. Ay vd. [14] yaptıkları bir çalışmada, artan takviye miktarı ile ağırlık kaybının azaldığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, elde ettikleri ağırlık kaybı ve sertlik sonuçları arasındaki ilişkiyi açık bir şekilde gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ağırlık kaybı sonuçlarında, artan yük ile bütün takviye oranlarında ağırlık kayıplarının arttığı görülmektedir. Artan yük ile birlikte takviye parçacıklarının etrafında gerilme yığılması oluşmaktadır. Oluşan bu gerilme yığılması ile birlikte, sünek matriste çatlak oluşumları meydana gelmekte ve oluşan bu mikro çatlaklar sert parçacıkların matris ile bağının zayıflamasına neden olmaktadır. Sert takviye fazı ile matris arasındaki mekanik bağlarda (ara yüzeylerde) meydana gelen zayıflıklara bağlı olarak oluşan kırılmalar, ağırlık kaybının artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte kayma hızının artmasıyla ağırlık kaybının azalması beklenmektedir. Kayma hızının artmasıyla sürtünmeden kaynaklı açığa çıkan ısının artması yüzeyde daha etkili (koruyucu) bir oksit tabakası oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan oksit tabakasının katı yağlayıcı özelliğinden dolayı ağırlık kaybının azalmasına neden olmaktadır [16, 17]. Elde edilen ağırlık kaybı sonuçları incelendiğinde 10 N yük altında elde edilen sonuçlarda kısmen bu beklentiyi karşılamaktadır. Ancak 5 N ve 20 N yük altında elde edilen sonuçlarda ise bu beklentiyi sağlamadığı görülmektedir. Düşük yük altında (5 N) ağırlık kaybı takviye malzemesi ilave edilen kompozit malzemelerde artan kayma hızıyla artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Artan kayma hızı ile numune yüzeyinden kopan parçacıkların tribolojik sistemden uzaklaşırken yüzeyden daha fazla parça koparak uzaklaşması ağırlık kaybının artmasına neden olmaktadır. Yüksek yüklerde (20 N) ağırlık kaybı $0,4 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızında artarken $0,6 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızında tekrardan azaldığı görülmektedir. $0,4 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızındaki bu ağırlık kaybı artışı, yükün etkisi ile numune yüzeyindeki gerilmelere bağlı olarak numune yüzeyinde oluşan koruyucu oksit tabakasının kırılması ile açıklanabilir. Daha önce yapılan bir çalışmada benzer sonuçlar

rapor edilmiştir [18]. Mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen AMK'lerin farklı yük altında ve farklı kayma hızlarındaki sürtünme katsayısı Şekil 3'te verilmiştir.

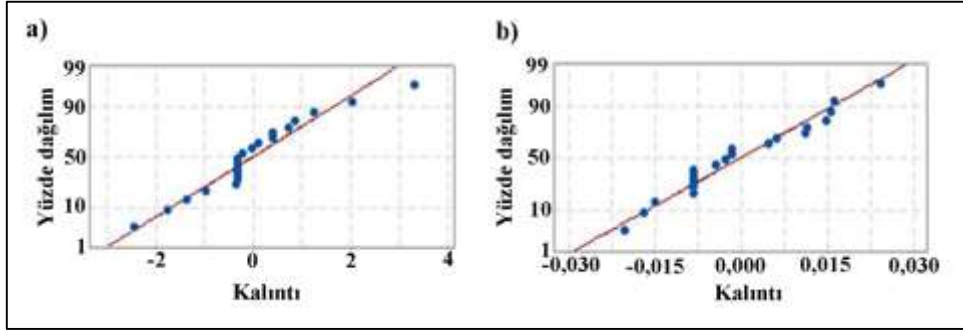


Şekil 3. Üretilen kompozit malzemelerin farklı yükler altındaki sürtünme katsayısı sonuçları a) 5N, b) 10N ve c) 20N

Şekil 3'te verilen mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen AMK'lerin sürtünme katsayısı sonuçları incelendiğinde artan takviye miktarı ile sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte artan yük ile sürtünme katsayısının arttığı anlaşılmaktadır. En düşük sürtünme katsayısı %12 ZrO₂ ilave edilen AMK malzemedeki 5 N yükte, en yüksek sürtünme katsayısı matris malzemesinde 20 N yükte elde edilmiştir. Matris içerisinde artan takviye miktarı AMK malzemenin sertliğini artırmakta ve sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır. Artan yük ile birlikte sürtünme katsayılarının arttığı görülmektedir. Artan yük ile numune yüzeyinde oluşan kırılmalar ve dökülmeler yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, artan yüzey pürüzlülüğü sürtünme katsayısını artırmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar rapor edilmiştir [16, 19]. Bununla birlikte en yüksek sürtünme katsayısı 5 N ve 20 N yük altında 0,4 ms⁻¹ kayma hızında elde edildiği görülmektedir. Kayma hızının 0,6 ms⁻¹ olmasıyla sürtünme katsayısının tekrardan azaldığı görülmektedir. Sürtünme katsayısındaki bu azalma eğilimi aşınma yüzeyinde oluşan oksit tabakasından kaynaklanmaktadır. Yüzeyde oluşan bu oksit tabakasının koruyucu etkisi ve katı yağlayıcı olarak görev yapması sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır [19]. 0,4 ms⁻¹ kayma hızında sürtünme katsayısının artması aşınma sırasında numune yüzeyinden kopan iri bir parçacıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 2'de verilen ağırlık kaybı sonuçları bu durumu desteklemektedir. Aşınma sırasında numune yüzeyinden kopan iri parçacıkların ağırlık kaybının artmasına neden olurken aynı zamanda numunenin yüzey pürüzlülüğünü artırarak sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır.

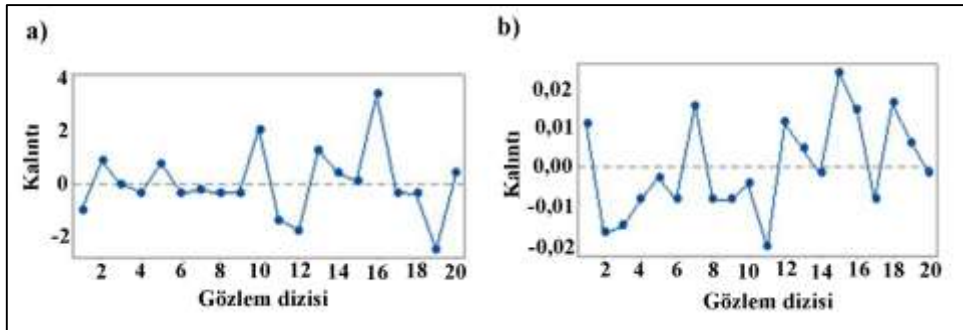
3.2. TYM ve Optimizasyon Sonuçları

Verilerin normalliği, normal olasılık grafiği ile değerlendirilmiştir. Ağırlık kaybı ve sürtünme katsayıları için artıkların normal olasılık grafiği sırasıyla Şekil 4.a ve b'de verilmiştir.



Şekil 4. Normal olasılık grafiği a) Ağırlık kaybı, b) Sürtünme Katsayısı

Şekil 4'te verilen ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı için verilerin normalliği incelendiğinde artıkların düz bir çizgide dağıldığı görülmektedir. Bu, hataların normal şekilde dağıtıldığı anlamına gelmektedir. Artıklar arasında çizilen grafikte test edilen verilerin bağımsızlık analizi Şekil 5.a ve b'de verilmiştir.



Şekil 5. Verilerin bağımsızlık dağılımı a) Ağırlık kaybı, b) Sürtünme katsayısı

Şekil 5'te verilen ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı için verilerin bağımsızlık analizi incelendiğinde, aşınma testlerinde elde edilen ağırlık kaybı ve aşınma oranı için çalışma sırası, tüm çalışma kalıntıları, seviyelerin üzerinde ya da arasında olduğu görülmektedir. Elde edilen analiz sonuçları tahmin edilebilir bir örüntünün gözlenmediğini doğrulamaktadır. Ağırlık kaybı ve sürtünme katsayıları için tahmini regresyon katsayıları sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Ağırlık kaybı için tahmini regresyon katsayıları

Kaynak	Coefficient	SE Coefficient	T	P
Constant	18,022	0,634	28,45	0,000
Yük	3,760	0,502	7,49	0,000
Kayma hızı	-0,392	0,487	-0,80	0,440
Takviye miktarı	-3,522	0,503	-7,00	0,000
Yük*Yük	-1,19	1,06	-1,12	0,288
Kayma hızı* Kayma hızı	-0,706	0,870	-0,81	0,436
Takviye miktarı* Takviye miktarı	-1,957	0,930	-2,10	0,062
Yük* Kayma hızı	-0,478	0,554	-0,86	0,408
Yük* Takviye miktarı	-0,484	0,555	-0,87	0,404
Kayma hızı* Takviye miktarı	0,513	0,561	0,91	0,383
S= 1,58753	R-sq = 92,15%		R-sq(adj) = 85,09%	

Tablo 3'te ağırlık kaybı için tahmini regresyon katsayıları verilmiştir. Tabloda ağırlık kaybını etkileyen parametreleri göstermektedir ve ağırlık kaybını etkileyen parametrelerin tahmini etkilerini göstermektedir. Ağırlık kaybının tahmini regresyon denklemi Eşitlik 6'da verilmiştir. Tablo 3'te üretilen AMK'lerin aşınma testlerinde ağırlık kaybı için kayma hızı ve takviye oranına kıyasla en etkili parametrenin yük olduğunu göstermektedir. Geliştirilen modelin önemi, Varyans Analizi (ANOVA) tekniği kullanılarak test edilmiştir. Tespit katsayısı (R^2) modelin uyum iyiliğini göstermektedir [20]. Varyans Analizinden elde edilen tespit katsayısı değeri ($R^2= 0.921$) toplam varyansın sadece %10'undan

azının model tarafından açıklanamadığını göstermektedir. Düzeltilmiş tespit katsayısının (düzeltilmiş $R^2=0.850$) değeri yüksektir. Düzeltilmiş tespit katsayısının yüksek değeri modelin yüksek önemini göstermektedir.

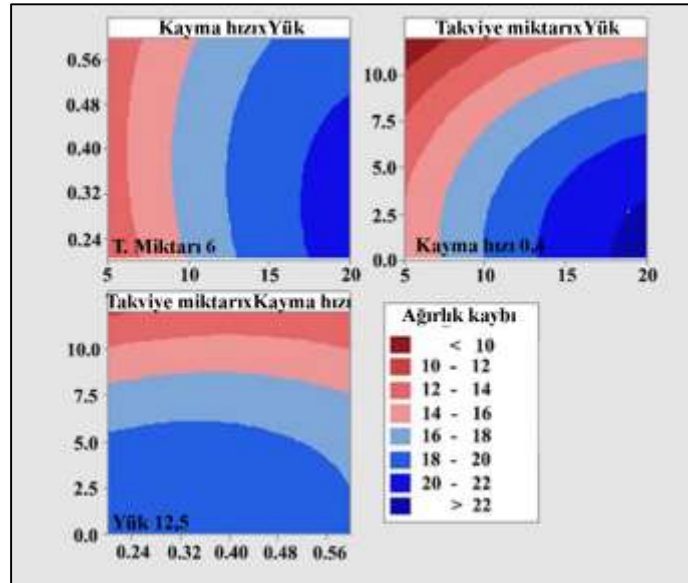
$$\begin{aligned} \text{Ağırlık Kaybı} &= 18.022 + 3.760 \text{ Yük} - 0.392 \text{ Kayma hızı} - 3.522 \text{ Takviye miktarı} - 1.19 \text{ Yük} \\ &\quad * \text{Yük} - 0.706 \text{ Kayma hızı} * \text{Kayma hızı} - 1.957 \text{ Takviye miktarı} * \\ &\quad \text{Takviye miktarı} - 0.478 \text{ Yük} * \text{Kayma hızı} - 0.484 \text{ Yük} \\ &\quad * \text{Takviye miktarı} + 0.513 \text{ Kayma hızı} * \text{Takviye miktarı} \end{aligned} \quad (6)$$

Tablo 4. Sürtünme katsayısı için tahmini regresyon katsayıları

Kaynak	Coefficient	SE Coefficient	T	P
Constant	0,59337	0,00497	119,41	0,000
Yük	0,06480	0,00394	16,46	0,000
Kayma hızı	0,01838	0,00382	4,81	0,001
Takviye miktarı	-0,00980	0,00395	-2,48	0,032
Yük*Yük	-0,05605	0,00834	-6,72	0,000
Kayma hızı* Kayma hızı	-0,00443	0,00682	-0,65	0,531
Takviye miktarı* Takviye miktarı	-0,01822	0,00729	-2,50	0,032
Yük* Kayma hızı	0,01229	0,00434	2,83	0,018
Yük* Takviye miktarı	0,00002	0,00435	0,00	0,997
Kayma hızı* Takviye miktarı	0,00400	0,00440	0,91	0,385
S= 0,0209878	R-sq = 97,40%		R-sq(adj) = 95,06%	

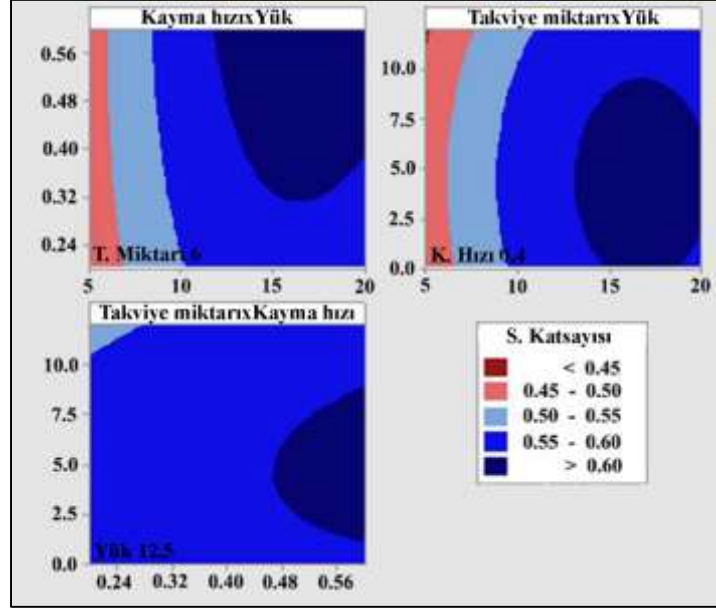
Tablo 4'te sürtünme katsayısı için tahmini regresyon katsayıları verilmiştir. Tabloda sürtünme katsayısını etkileyen parametreleri göstermektedir ve sürtünme katsayısını etkileyen parametrelerin tahmini etkilerini göstermektedir. Sürtünme katsayısı için tahmini regresyon denklemi Eşitlik 7'de verilmiştir. Tablo 4'te aşınma testlerinde sürtünme katsayısı için kayma hızı ve yüke kıyasla en etkili parametrenin takviye miktarı olduğu anlaşılmaktadır. Sürtünme katsayısı için tespit katsayısı değeri ($R^2=0.974$) toplam varyansın %5'inden daha azının açıklanamadığını göstermektedir. Düzeltilmiş tespit katsayısının (düzeltilmiş $R^2=0.950$) değerinin de yüksek olduğu görülmektedir. Düzeltilmiş tespit katsayısının yüksek değeri, tahmin edilen tespit katsayısı'nın (R^2) düzeltilmiş tespit katsayısı (düzeltilmiş R^2) ile iyi bir uyum içinde olduğunu göstermektedir. Ağırlık kaybı için giriş parametrelerinden elde edilen karşılaştırılmalı etkileşim grafikleri Şekil 6'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Sürtünme Katsayısı} &= 0.59337 + 0,06480 \text{ Yük} + 0,01838 \text{ Kayma hızı} - 0,00980 \text{ Takviye miktarı} \\ &\quad - 0,05605 \text{ Yük} * \text{Yük} - 0,00443 \text{ Kayma hızı} * \text{Kayma hızı} \\ &\quad - 0,01822 \text{ Takviye miktarı} * \text{Takviye miktarı} + 0,01229 \text{ Yük} \\ &\quad * \text{Kayma hızı} + 0,00002 \text{ Yük} * \text{Takviye miktarı} + 0,00400 \\ &\quad \text{Kayma hızı} * \text{Takviye miktarı} \end{aligned} \quad (7)$$



Şekil 6. Ağırlık kaybı etkileşim grafiği

Şekil 6’da verilen ağırlık kaybı 2B etkileşim grafiği belirli bir yük, kayma hızı ve takviye miktarına göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde %6 takviye ilave edilen kompozit malzemenin artan yükün, kayma hızından daha fazla etkili olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 0,4 ms⁻¹ kayma hızında takviye miktarı ve yükün etkili olduğu anlaşılmaktadır. Yükün artması ile ağırlık kaybının arttığı, takviye miktarının artmasıyla bütün yüklerde ağırlık kaybının azaldığı anlaşılmaktadır. 12,5 N yük altında elde edilen 2B etkileşim grafikte artan takviye miktarı ile ağırlık kaybının azalmasında etkisinin yüksek olduğu, kayma hızının takviye miktarına göre önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Sürtünme katsayısı için elde edilen etkileşim grafikleri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Sürtünme katsayısı etkileşim grafiği

Şekil 7’de verilen sürtünme katsayıları 2B etkileşim grafiği belirli bir yük, kayma hızı ve takviye miktarına göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde %6 takviye ilave edilen kompozit malzemenin artan yük ile kayma hızının etkili olduğu görülmektedir. Yüksek kayma hızı ve yüksek yüklerde sürtünme katsayısının arttığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte 0,4 ms⁻¹ kayma hızında takviye miktarı ile birlikte yükün etkili olduğu anlaşılmaktadır. Yükün artması ile sürtünme katsayısı artarken, takviye miktarının artmasıyla sürtünme katsayısının azaldığı anlaşılmaktadır. 12,5 N yük altında elde edilen 2B etkileşim grafiğinde, takviye miktarının sürtünme katsayısında önemli bir etkisinin olmadığı, yüksek kayma hızlarında belirli bir bölgede sürtünme katsayısının attığı görülmektedir. Ağırlık kaybı varyans analizi sonuçları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Ağırlık kaybı varyans analizi sonuçları

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Model	9	295,887	295,887	32,876	13,04	0,000
Linear	3	241,297	266,399	88,800	35,23	0,000
Square	3	48,693	48,420	16,140	6,40	0,011
Interaction	3	5,896	5,896	1,965	0,78	0,532
Residual Error	10	25,203	25,203	2,520		
Lack-of-Fit	5	25,203	25,203	5,041		
Pure Error	5	0,000	0,000	0,000		
Total	19	321,090				

Tablo 5’te verilen ağırlık kaybı için varyans analiz sonuçlarından ön görülen değerlerin elde edilen verilerle uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca tabloda verilen p değerinin 0,05’ten küçük olduğu görülmektedir. Geliştirilen modelin %95 güven seviyesine sahip olduğunu doğrulamaktadır. Geliştirilen model gelecekteki uygulamalar için kullanılabilir. Ayrıca p değeri, F değerine göre daha düşüktür. Geliştirilen modelin yeterli olduğunu doğrulamaktadır. Punugupati vd.,[21] yaptıkları bir çalışmada p değerinin 0,05’ten küçük elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçların önemli olduğunu ve güven

seviyesinin yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Sürtünme katsayısı varyans analizi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Sürtünme katsayısı varyans analiz sonuçları

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Model	9	0,058053	0,058053	0,006450	41,61	0,000
Linear	3	0,036866	0,046532	0,015511	100,05	0,000
Square	3	0,019816	0,019989	0,006663	42,98	0,000
Interaction	3	0,001370	0,001370	0,000457	2,95	0,085
Error	10	0,001550	0,001550	0,000155		
Lack-of-Fit	5	0,001550	0,001550	0,000310	*	*
Pure Error	5	0,000000	0,000000	0,000000		
Total	19	0,059603				

Tablo 6'da verilen sürtünme katsayısı varyans analizi sonuçları incelendiğinde, sürtünme katsayısı için p değeri 0,05'ten küçüktür. P değerinin 0,05 ten küçük olması modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca modelin sürtünme katsayısı için modelin %95 güven seviyesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Eşitlik 8'de verilen tespit katsayısı denklemi son derece güvenilir olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 6'da verilen ve ANOVA testinden elde edilen p değerinin F değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuç uygulanan işlemin anlamlı olduğunu dolayısıyla önerilen modelin doğru olduğunu göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir [21-23].

4. Sonuçlar

Mekanik aşınma yöntemiyle üretilen ZrO₂ takviyeli kompozit malzemelerin aşınma parametrelerinin optimizasyonu için yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Üretilen kompozit malzemelerin aşınma testi sonuçlarında, matris içerisinde artan takviye miktarıyla ağırlık kaybının azaldığı görülmüştür. En düşük ağırlık kaybı bütün yüklerde %12 ZrO₂ ilave edilen kompozit malzemede elde edilmiştir. 20 N yük altında elde edilen sonuçlarda kayma hızının artması (0,4 ms⁻¹) ağırlık kaybının artmasına daha yüksek kayma hızlarında ise (0,6 ms⁻¹) ağırlık kaybında azalma elde edilmiştir.

Sürtünme katsayıları sonuçlarında, sürtünme katsayısının artan kayma hızıyla arttığı, kayma hızının daha fazla artmasıyla sürtünme katsayılarında azalma olduğu görülmüştür. Özellikle düşük ve yüksek yükler altında (5 N ve 20 N) kompozitlerin sürtünme katsayıları benzer davranışlar gösterdiği görülmüştür.

ANOVA testi sonucunda, ağırlık kaybı için düzeltilmiş tespit katsayısı (Adjust R²=0,85) olarak elde edilmiş, Sürtünme katsayısının sonuçlarında ise düzeltilmiş tespit katsayısı (Adjust R²= 0,95 olarak elde edilmişti. Elde edilen tespit katsayıları modelin önemli olduğunu göstermiştir.

Optimizasyon sonuçlarında, ağırlık kaybı için kayma hızı ve takviye oranı parametrelerine kıyasla yük parametresinin etkili olduğu, sürtünme katsayısı için ise kayma hızı ve yük parametresine kıyasla, takviye miktarının etkili olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlarda optimum aşınma parametrelerinin 9,24 N yük, 0,6 ms⁻¹ kayma hızı ve %12 takviye miktarı olduğu elde edilmiştir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Simsek D., Simsek İ., Ozyurek D. 2019. Production and characterization of Al-SiC composites by mechanical milling. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1): 227-233.
- [2] Rajabi M. 2003. Characterisation of Al-SiC composite materials produced by double pressing-double sintering method. *International Journal of Engineering Science*, 14 (2): 21-37.
- [3] Rajaram G., Kumaran S., Rao T. S., Kamaraj M. 2010. Studies on high temperature wear and its mechanism of Al-Si/graphite composite under dry sliding conditions. *Tribology International*, 43 (11): 2152-2158.
- [4] Etemoğlu A. B., Etemoğlu N., Türkan B., Canbolat, A. S. 2018. Araç fren sistemlerinin ısı performansının parametrik olarak incelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5 (2): 556-565.
- [5] Asfaram A., Ghaedi M., Agarwal S., Tyagi I., Gupta V. K. 2015. Removal of basic dye Auramine-O by ZnS: Cu nanoparticles loaded on activated carbon: optimization of parameters using response surface methodology with central composite design. *RSC Advances*, 5 (24): 18438-18450.
- [6] Yuan X., Liu J., Zeng G., Shi J., Tong J., Huang G. 2008. Optimization of conversion of waste rapeseed oil with high FFA to biodiesel using response surface methodology. *Renewable Energy*, 33 (7): 1678-1684.
- [7] Danappa G. T., Raghavendra C. R., Swamy R. P., Naik K. 2021. Dry sliding wear behaviour of Al7075/Gr/nano TiO₂ MMC using RSM. *Materials Today: Proceedings*. 38 (5): 2797-2802.
- [8] Dewangan S., Jha S. K., Mandal A. 2020. Optimization of dry sliding wear parameters of thixotformed A356-5TiB₂ in-situ composites using RSM. *Materials Today: Proceedings*. 33 (8): 5061-5065.
- [9] Saravanan I., Perumal A. E., Vettivel S. C., Selvakumar N., Baradeswaran A. 2015. Optimizing wear behavior of TiN coated SS 316L against Ti alloy using Response Surface Methodology. *Materials & Design*, 67: 469-482.
- [10] Road vehicles-Brake linings and pads for friction type brakes <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?> [Erişim Tarihi: 16 Nisan 2021].
- [11] Friction Coefficient Identification and Environmental Marking System for Brake Linings J866_201207, https://www.sae.org/standards/content/j866_201207/ [Erişim Tarihi:16 Nisan 2021]
- [12] Bharath V., Nagaral M., Auradi V., Kori S. A. 2014. Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by stir casting and evaluation of mechanical and wear properties. *Procedia Materials Science*, 6: 1658-1667.
- [13] Simsek D., Özyürek D. 2020. The wear performance at elevated temperatures of aluminum matrix composite materials produced by mechanochemical method. *Journal of Tribology*, 142 (10): 101701.
- [14] Ay H., Özyürek D., Yıldırım M., Bostan B. 2016. The effects of B₄C amount on hardness and wear behaviours of 7075-B₄C composites produced by powder metallurgy method. *Acta Physica Polonica A*, 129: 565-568.
- [15] Baghchesara M. A., Abdizadeh H., Baharvandi H. R. 2010. Microstructure and mechanical properties of aluminum alloy matrix composite reinforced with ZrO₂ particles. *Asian Journal of Chemistry*, 22 (5): 3824-3834.
- [16] Özyürek D., Tekeli S., Güral A., Meyveci A., Gürü M. 2010. Effect of Al₂O₃ amount on microstructure and wear properties of Al-Al₂O₃ metal matrix composites prepared using mechanical alloying method. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 49 (5-6): 50-57.
- [17] Özyürek D., Tunçay T., Kaya H. 2014. The effects of T5 and T6 heat treatments on wear behaviour of AA6063 alloy. *High Temperature Materials and Processes*, 33(3): 231-237.
- [18] Özyürek D., Ciftci I., Tuncay T. 2013. The effect of aging and sliding speed on wear behaviour of Cu-Cr-Zr alloy. *Wear Testing*, 55 (6): 468-471.
- [19] Simsek D., Simsek I., Ozyurek D. 2020. Relationship between Al₂O₃ content and wear behavior of Al+ 2% graphite matrix composites. *Science and Engineering of Composite Materials*, 27 (1): 177-185.

- [20] Vettivel S. C., Selvakumar N., Narayanasamy R., Leema N. 2013. Numerical modelling, prediction of Cu–W nano powder composite in dry sliding wear condition using response surface methodology. *Materials & Design*, 50: 977-996.
- [21] Punugupati, G., Kandi, K. K., Bose, P. S. C., Rao, C. S. P. 2018., Modeling and optimization of wear characteristics of gelcast fused silica ceramic composites using RSM. *Materials Today: Proceedings*, 5 (2): 6946-6953.
- [22] Pugazhenth, R., Sreeram, D., Scaria, C. T., Anbuezhayan, G., Nanthakumar, P., 2020. Effect of process parameters on machining of Al-TiC metal matrix composites using RSM. *Materials Today: Proceedings*. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.11.357.
- [23] Lakshmi, K. J., Sogalad, I., Basavarajappa, S., & Raghavendra, C. R. 2021., Optimization of erosive wear parameters on NiCrAlY based nano composite coating by RSM. *Materials Today: Proceedings*, 46: 763-766.

Araştırma Makalesi / Research Article

Yol Yüzey Anormalisinin Tespiti ve Analizi

Erkan DEVECİ*, Burhan ERGEN

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ
(ORCID: 0000-0002-3985-4156) (ORCID: 0000-0003-3244-2615)*

Öz

Kentleşmenin şehirlerin hızlı gelişmesine neden olması gelişen şehirlerin alt yapılarının takibi ve güncellenme gerekliliğinin analizini zorunlu kılmıştır. Özellikle ulaşım karmaşasının önüne geçmek için çeşitli trafik planlamaları yapmanın yanı sıra ulaşımın sağlandığı kara yolunun niteliğinin de yeterli seviyede olması gereklidir. Yolun yapısal kusurların ve çatlaklarının manuel görsel muayenesi verinin hacmi ve yapının boyutu nedeniyle çok zaman alan zahmetli bir süreçtir. Yoldaki çatlakların ve kusurların manuel olarak incelenmesi, yorgunluk, sorumsuz denetim, zayıf göz görme gibi bir dizi nedenlerden dolayı insan hatası nedeniyle yeterli seviyede değerlendirilememektedir. Yol kusurlarının belirlenmesi, sürücüler için önemli olmakla beraber yaya gibi tüm yol kullanıcılarının güvenliği ve konforunu sağlamak için çukurlar, hız tümsekleri vb. yol yüzeyi anormalliklerinin izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada yol yüzey kalitesinin izlenmesine ve sürücülere daha güvenli bir yol sunmak adına kullanışlı bir otomatik algılama sisteminin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Veri seti kamera sayesinde alınan verilerle oluşturulmuştur. Verilerin ön işleme fazı tamamlandıktan sonra VGG-16 mimarisi kullanılarak sonuçlar alınmış, kazanç ve kayıp grafikleri çizdirilmiş ve tahminler yapılmıştır. Öncelikle veri setimiz 1 Bloklu VGG-16 Mimarisi' ne uygulanmış ve %83,988 oranında doğruluğa ulaşılmıştır. Daha sonra veri seti 2 Bloklu VGG-16 Mimarisi'nden geçerek %93,895 oranında başarıya ulaşmıştır. Son olarak veri setimize 3 Bloklu VGG-16 Mimarisi uygulanmış ve 1 Bloklu VGG-16 ve 2 Bloklu VGG-16'ya nazaran en yüksek başarı oranı olan %95,930 ve en düşük hata oranı ile %0,1'in altına inmiştir. Modelin başarısını artırmak için eğer bellek boyutumuz kısıtlı değilse kullanılan veri setinin kapsamını genişletmek ya da 4 Bloklu VGG-16 modeli için sonuçlar alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Derin Öğrenme, Karayolu Anormalisi, Yol Çatlağı.

Detection and Analysis of Road Surface Anomaly

Abstract

The rapid development of cities due to urbanization has made it necessary to follow up the infrastructure of developing cities and analyze the necessity of updating. Especially in order to prevent transportation complexity, besides making various traffic plans, the quality of the road on which the transportation is provided should be at a sufficient level. Manual visual inspection of road structural defects and cracks is a time-consuming and laborious process due to the volume of data and the size of the structure. Manual inspection of cracks and defects on the road cannot be adequately assessed due to human error due to a number of reasons such as fatigue, irresponsible inspection, poor eye vision. Identification of road defects is important for drivers, but potholes, speed bumps, etc. to ensure the safety and comfort of all road users such as pedestrians. Monitoring road surface anomalies is of great importance. This study focuses on the monitoring of road surface quality and the development of a useful automatic detection system to provide drivers with a safer route. The data set was created with the data received by the camera. After the preprocessing phase of the data was completed, results were obtained using VGG-16, gain and loss graphs were plotted and predictions were made. First of all, our data set was applied to 1-Block VGG-16 Architecture and %83.988 accuracy was achieved. Later, the data set passed the 2-Block VGG-16 Architecture and achieved a success rate of %93.895. Finally, 3-Block VGG-16 Architecture was applied to our dataset and compared to 1-Block VGG-16 and 2-Block VGG-16, the highest success rate was %95.930 and the lowest error rate was below 0.1%. In order to increase the success of the model, if our memory size is not limited, results should be taken to expand the scope of the data set used or for the 4-Block VGG-16 model.

Keywords: Deep Learning, Highway Anomaly, Road Crack.

*Sorumlu yazar: erkandeveciceng@gmail.com

Geliş Tarihi: 30.04.2021, Kabul Tarihi: 05.07.2021

1. Giriş

Yol çatlağı tespiti, karayolu tehlike değerlendirmesi alanında önemli bir rol oynar. Yoldaki anormallikleri ve çatlakları tespit etmek için son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır [1]. Geleneksel çatlak tespit yöntemleri esas olarak manuel çalışmaya dayanır. Günümüzde, tamamen insan deneyimine ve değerlendirmesine dayalı zaman alıcı ve zahmetli bir çalışmadır.

Bu nedenle, yoldaki çatlakları hızlı ve doğru bir şekilde tespit etmek ve tanımlamak için otomatik çatlak tespiti çok önemlidir [2]. Bu prosedür, sürekli yol durumu incelemelerinin gerekli olduğu durumlarda yol kalitesinin iyileştirmesine yardımcı olmak ve değerlendirmek için akıllı bakım sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Son on yılda, yüksek hızlı mobil kameraların ve büyük kapasiteli donanım depolama cihazlarının geliştirilmesi, büyük ölçekli yol görüntüleri elde etmeyi kolaylaştırmıştır. Araç üzerine yerleştirilecek duyurga ve kamera donanımları ile karayolu gibi çevresel yapıyı izlemek ve koordinat olarak haritada bulunulan yeri belirlemek mümkün olabilmektedir. Depolanabilecek görüntülerin işlenmesi ile yol yüzeyinin analizinin yapılması mümkündür [3]. Günümüzde, toplanan çatlak görüntülerini işlemek ve ardından nihai bakım değerlendirme sonuçlarını elde etmek için bilgisayarla görme algoritmaları kullanılmaktadır [4].

Araçın seyri esnasında araca yerleştirilen kamera ile de yol yüzeyinde bulunan çatlakların görüntüleri alınmakta ve imge veri tabanına kaydedilmektedir. Bu imge verileri ile imge analizi, gürültü tespiti, şiddete göre derecelendirme işlemi yapılabilmekte ve yol yüzeyinde olan anormallikler tespit edilmektedir. Bu sayede daha sonra kişisel olarak ya da kurumlar tarafından kullanılacak bilgilerin elde edilmesi mümkündür. Genel olarak, yol yüzeylerinde ortaya çıkan ilk sıkıntı çatlaklardır ve çatlakların yayılmasını veya oluşmasını önlemek için uygun izleme ve bakım önemlidir. Yol kaplamalarındaki çatlakları belirlemeye yönelik geleneksel yöntemler son derece zaman alıcı ve yüksek maliyetlidir. Çoğu çatlak özelliklerini tanımlamak karmaşık topolojik yapılar, zayıf süreklilik ve imgedeki düşük kontrast nedeniyle zorluklar içermektedir. Bu nedenle, otomatik çatlak algılama yöntemleri üzerine çalışmalar devam etmektedir. Araçlarda bulunan kameralar ile toplanan görüntüler üzerinde kesitler oluşturularak daha önceden belirlenmiş görüntüler arasındaki benzerlikler belirlenip çatlak tespiti çalışması yapılmıştır [5]. Evrimsel Sinir Ağı (ESA) tabanlı çatlak tespit teknikleri temel olarak, çatlak yamalarının tespitine ve üzerlerinde sınırlayıcı kutular sağlamaya dayanana blok düzeyinde algılama ve çatlakların piksel düzeyinde algılanmasını sağlayan çatlak bölümlenmesine dayalı piksel düzeyinde algılama olarak ikiye ayrılabilir [6-8].

Kaldırım çatlaklarını belirlemede başarıyı artırmak için önce gölge kaldırma yöntemleri kullanan çalışmalar da yapılmıştır. Yöntemlerinde gölgeli kısımların aydınlatması dengelenerek gölge giderme uygulanmıştır [9]. Ancak, bu yöntemlerin imge üzerinde çatlak özelliklerini değiştirdiğinden her imgeye uygulanması mümkün değildir.

Bir diğer çalışma ise imge işleme tekniklerinin en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan eşikleme kullanılmıştır [10]. İmgenin farklı çatlak seviye ve biçimlerine sahip olması durumunda başarıyı azaltacak etkileri olduğu görülmüştür. Bu çalışmada yüzey karmaşıklığını azaltmak için renkli görüntünün gri ölçeğe dönüştürülmesinden sonra medyan filtreleme uygulanmıştır. Ancak, bu çalışmada istenmeyen unsurların ortadan kaldırılması için önerilen teknikler, daha karmaşık ve büyük unsurları ele almak için yetersiz kalmıştır.

Son yıllarda, bazı örüntü tanıma ve görüntü işleme algoritmaları yol çatlaklarını türev kullanarak, filtrelendirmeler yaparak ya da piksel bazında işlemler yaparak tespit etmek için kullanılmıştır. İlk çalışmalarda, birçok araştırmacı yol çatlağı tespitinin doğruluğunu artırmak için fotometrik ve geometrik hipotezlere dayanan eşik [11], kenar algılama [12,13] ve morfoloji [14] ile ilgili yöntemleri benimsemiştir.

Sunulan bu çalışmada araca yerleştirilen kamera vasıtasıyla alınan karayolu görüntülerinden yol çatlaklarını tanımlamak için bir derin öğrenme mimarisi olan VGG-16 kullanılmıştır. Literatürde her yöndeki yüzey çatlaklarını tespit etmek için Gabor Filtreleme [15], yüzey hasarının kalınlık ve derinlik yönünden nicel değerlendirilmesini sağlamak için WEDM işlemi [16] gibi yöntemlere başvurulmuştur. Fakat VGG-16 mimarisinin literatürde sıkça kullanılan LeNet-5 ve AlexNet mimarilerine göre yüksek doğruluk performansı sağladığından ve daha önceden yapılan birçok görüntü işleme uygulamasında gösterdiği başarılarından ötürü özellikle VGG-16 mimarisinin farklı yapıları kullanılmıştır.

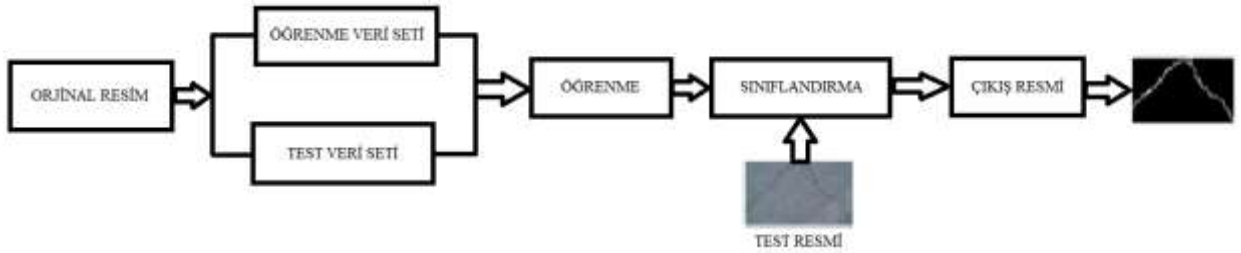
2. Materyal ve Metot

Yol anormalisinin tespiti ile ilgili çalışmalar genellikle az sayıda imge ile tek tip sorunların çözümüne odaklanmaktadır. Oluşturulacak sistemin daha tutarlı sonuçlar üretebilmesi için derin öğrenme modelinin eğitiminde gerçek otoyol görüntüleri toplanmış ve 1500 adet görüntü içeren veri seti elde edilmiştir. Doğru ölçüm yapılabilmesi için veri setindeki tüm görüntüler manuel olarak etiketlenmiştir. Kamera aracılığıyla gerçek otoyoldan alınan görüntülerin bir kısmı test verisi bir kısmı ise doğrulama verisi olarak ayrılmıştır. Test klasörü ve doğrulama klasörleri rastgele ayrılmıştır ve içerisinde Şekil 1’de ki gibi çatlak yol görüntüsü ile normal yol görüntüsü içeren dosyaları barındırmaktadır.



Şekil 1. Gerçek otoyol çatlak görüntüleri

Ayırdığımız verileri öğrenme ve sınıflandırma işlemlerinden geçirdik temel olarak sistemimiz Şekil 2’de resmedildiği gibi ilk olarak orjinal resim olarak sistemde varolmaktadır. Dahasonra resimler Test Veri Seti ve Öğrenme Veri Seti olarak ayrılır. Gerekli model tasarlanarak öğrenme işlemi gerçekleştirilir. Sonra Sınıflandırma işlemi ile resim verileri sınıflara ayrılır. Nihai sonuçta ise modeli test etmek bir resim ile oluşan modelin doğruluğu hesaplanmaktadır.

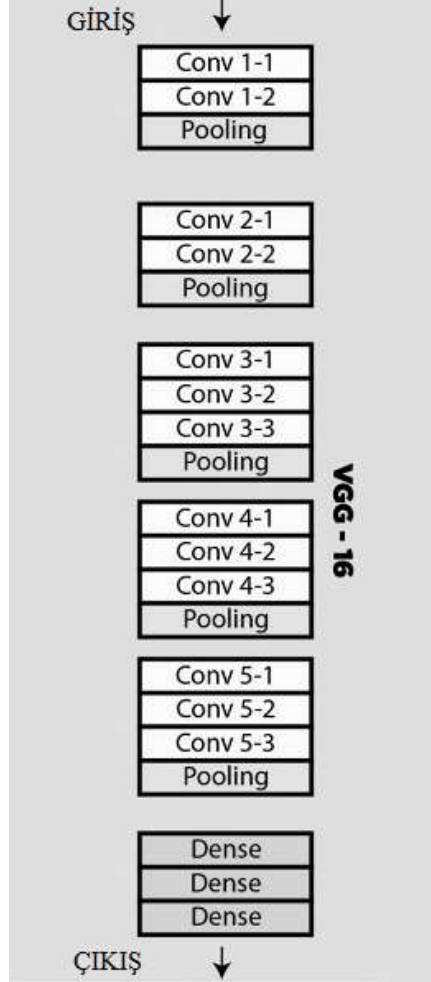


Şekil 2. Sistemin temel adımları

Tüm görüntülerin aynı şekle sahip olması için fotoğrafları modellemeden önce yeniden boyutlandırılması gerekecektir. Bu genellikle küçük kare bir resimdir. Bunu başarmanın birçok yolu vardır, ancak en yaygın olanı her görüntünün en boy oranını esnetip deforme edecek ve onu yeni şekle zorlayacak basit bir yeniden boyutlandırma işlemidir. Daha küçük girdiler, eğitilmesi daha hızlı olan bir model anlamına gelmektedir. Bu yüzden veri setinde bulunan resimleri 224×224 piksellik sabit bir boyuta yeniden biçimlendirdik. Daha sonra veri setimizde bulunan resimlerin rastgele % 25’ini test veri kümesinde geriye kalan %75’lik bölümü ise doğrulama veri kümesinde olacak şekilde tasarladık.

Bu çalışmada kullanmış olduğumuz VGG-16 mimarisi, evrişimli katmanların küçük 3×3 filtrelerle istiflenmesini ve ardından maksimum bir havuzlama katmanını içerir. Bu katmanlar birlikte bir blok oluşturur ve bu bloklar, modelin ilkört bloğu için 32, 64, 128, 256 gibi ağ derinliği ile her bloktaki filtre sayısının artırıldığı yerde tekrarlanır. Çıktı özelliği haritalarının yükseklik ve genişlik

şekillerinin girdilerle eşleşmesini sağlamak için evrişimli katmanlarda dolgu kullanılır. VGG-16 Mimarisinde; ağırlık girdisi boyutların görüntüsüdür (224, 224, 3). Şekil 3’de gösterilen ilk iki katman 64 kanala 3*3 filtre boyutuna ve aynı dolguya sahiptir. Daha sonra maksimum havuz adımlarından (2, 2) sonra, 256 filtre boyutuna ve filtre boyutuna (3, 3) sahip evrişim katmanlarına sahip iki katman bulunur. Bunu, önceki katmanla aynı olan maksimum bir havuzlama adım (2, 2) katmanı izler. Daha sonra filtre boyutu (3, 3) ve 256 filtre olmak üzere 2 evrişim katmanı vardır. Bundan sonra 2 set 3 evrişim katmanı ve maksimum havuz katmanı vardır. Her biri aynı dolguya sahip (3, 3) boyutunda 512 filtreye sahiptir ve bu görüntü daha sonra iki evrişim katmanından oluşan yığına aktarılır [17].

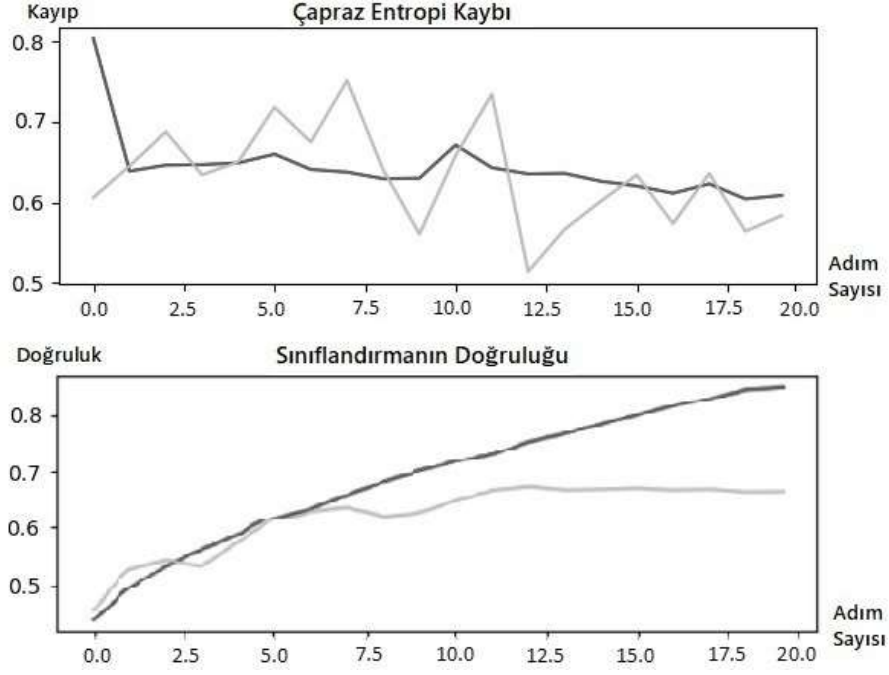


Şekil 3. VGG-16 Mimari Haritası

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bir Bloklü VGG-16 Modeli

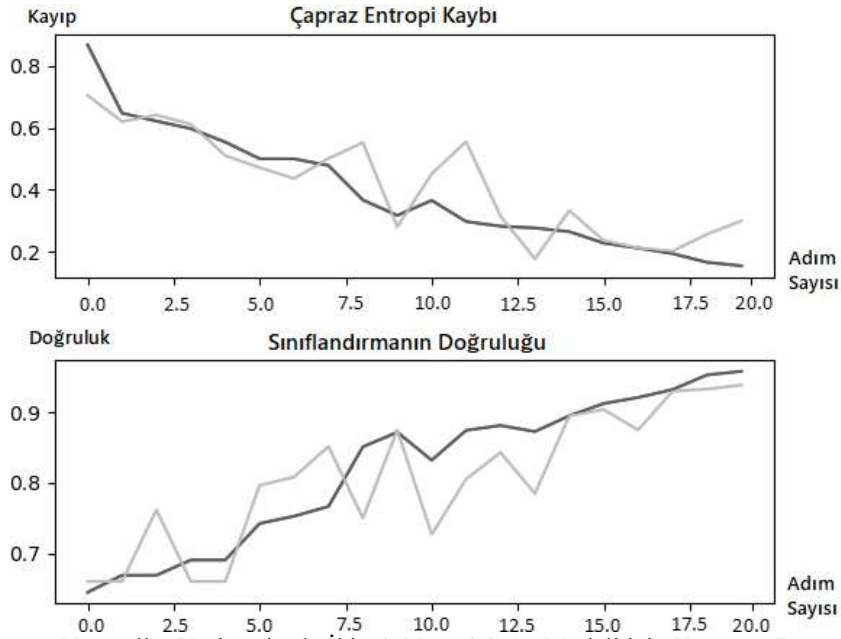
Tek bloklü VGG-16 modeli, 32 filtrelü tek bir evrişimli katmana ve ardından maksimum bir havuz katmanına sahiptir. Bu model 20 adımda öğrenimini tamamlamıştır. Öğrenimini tamamlayan model test veri seti üzerinde %83,988'lik bir doğruluk elde etmiştir. Şekil 4’deki Çapraz Entropi Kaybı grafiğinde 0,8’den başlayan kayıp değeri model eğitiminin sonunda 0,6’nın altına inmeyi başarmıştır. Bu durum hem modelin veri seti üzerindeki doğruluğunun artması hem de kayıp değerinin istenilen değere olan 0,1’in altına inmesi için 1 Bloklü VGG-16 çalışmasının yeterli olmadığını göstermiştir.



Şekil 4. Çatlaklar ve Normaller Veri Seti'nde Bir Bloklü VGG-16 Modeli için Kayıp ve Doğruluk Öğrenme Modellerinin Çizgi Grafikleri

3.2. İki Bloklü VGG-16 Modeli

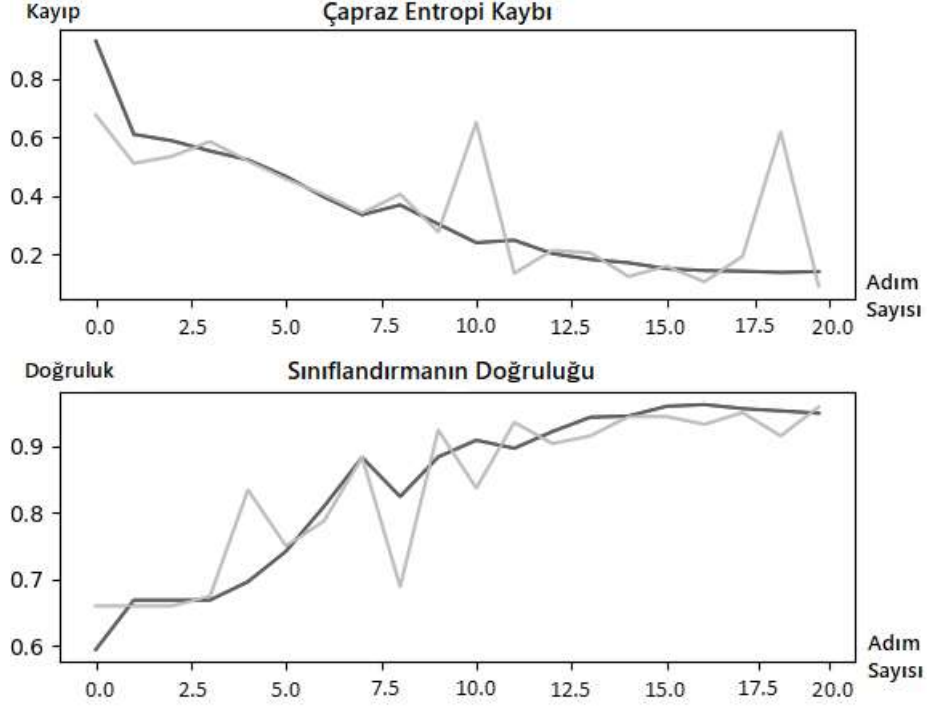
İki bloklü VGG-16 modeli tek bloklü VGG-16 modelini genişletir ve 32 filtrelü tek bir evrişimli katmanın yanına 64 filtrelü ikinci bir blok daha ekler. Model uygun hale getirildi ve test veri setindeki performans raporlandı. Modelin performansının bir bloklü VGG-16'da % 83,988 iken Şekil 5'te iki bloklü VGG-16'da % 93,895 doğrulukla bir iyileşme elde ettiğini görebiliriz. Öğrenme eğrilerinin grafiğini gözden geçirdiğimizde, modelin eğitim veri setini aştığını görebiliriz. Kayıp değerinin 1 Bloklü VGG-16'ya nazaran azaldığını ve Doğruluk öğrenme modelinin 1 Bloklü VGG-16'ya göre arttığını görmekteyiz. Bu muhtemelen modelin artan kapasitesinin bir sonucudur ve bu eğilimin daha iyi olması ve Çapraz Entropi Kayıp değerinin daha da düşmesi gerekmektedir. Bu nedenle veri etimiz 3 Bloklü VGG-16 mimarisine uygulanacaktır.



Şekil 5. Çatlaklar ve Normaller Veri Seti'nde İki Bloklü VGG-16 Modeli için Kayıp ve Doğruluk Öğrenme Modellerinin Çizgi Grafikleri

3.3. Üç Bloklü VGG-16 Modeli

Üç bloklü VGG-16 modeli, iki bloklü VGG-16 modelini genişletir ve 128 filtrelü üçüncü bir blok ekler. Bu durumda, iki bloklü VGG-16'da % 93.895 olan doğruluk performansımız, üç bloklü VGG-16'da % 95.930 hassasiyete kadar artış göstermiştir. Şekil 6'da ki öğrenme eğrilerinin grafiğini gözden geçirdiğimizde, benzer bir aşırı uyum eğilimi görebiliriz. Kayıp değerinin 0,2'nin altına inmesi ve doğruluk değerinin ise yaklaşık olarak % 96'ya yaklaşması 4 veya 5 Bloklü VGG-16'ya olan ihtiyacı azaltmıştır.



Şekil 6. Çatlaklar ve Normaller Veri Seti'nde Üç Bloklü VGG-16 Modeli için Kayıp ve Doğruluk Öğrenme Modellerinin Çizgi Grafikleri

Tablo 1. 5 kat veri kümesinde farklı eğitilmiş modeller kullanılarak ortalama sınıflandırma başarıları

Model	En Yüksek Başarı Periyot Num.	Doğruluk Oranı					Genel
		Kat 1	Kat 3	Kat 3	Kat 4	Kat 5	
AlexNet	56	93.33	90.00	86.67	96.67	90.00	91.11
LeNet	64	93.33	86.67	83.33	96.67	83.33	87.50
Vgg-5	98	83.33	86.67	76.67	93.33	76.67	83.34
RoICNN	13	96.67	93.33	90.00	100.00	96.67	95.34

Elde ettiğimiz sonuçları, farklı derin öğrenme modelleri eğitilerek ve farklı adımlarda çalıştırılarak daha önce yapılmış olan Tablo 1'deki çalışmalarla karşılaştırdığımızda modelimizin başarıyı ortalama doğruluk oranı en yüksek olan RoICNN modelinden daha iyi olduğunu görmekteyiz [18]. Sonuçlar, modelin muhtemelen düzenleme tekniklerinden yararlanacağını göstermektedir. Bu ağırlık kaybı ve veri büyütme gibi teknikleri olabilir. Ayrıca, eğitim veri setini genişleterek modeli konumlandırmak için daha fazla değişmeyen özellikleri öğrenmeye teşvik ederek performansı da arttırabiliriz.

VGG-16 modeli, belirli bir ImageNet sorgulama veri kümesi üzerinde eğitilmiştir. Bu nedenle, giriş görüntüleri 224×224 boyutunda yapılandırılır. Bu işlemi Python programlama dilinin h5py kütüphanesinin kullanarak tamamladık. Nihai modelimizi model.h5py adıyla kaydettik. Tahmin etmek için etiketi olmayan bir resim seçerek bu resmi model.h5py isimli nihai modelimizle aynı klasöre kopyaladık. Seçtiğimiz görüntü içerisinde yol çatlakları bulunan bir resimdi. Kaydedilmiş modeli kullanabilmemiz için öncelikle seçtiğimiz resmi 224x224 formatına dönüştürdük ve kodumuzun içine

dâhil ettik. Model sınıfının predict() metoduna seçmiş olduğumuz içerisinde çatlak bulunan resmi parametre olarak verdik ve sonuçta model çıktısı olarak “1” değerini aldık. Bu değer modelimiz ikili sınıflandırma kullandığından dolayı çatlak var sınıfına ait olduğunu gösterir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada yeni bir çatlak tespit yaklaşımı önerilmiştir. Geliştirdiğimiz sistemde araca yerleştirdiğimiz kamera ile karayolunun fotoğraflanması sağlandı. Daha sonra elde edilen fotoğraflar Gray formata ve 224x224 boyutuna dönüştürüldü. Elimizde bulunan görüntüler daha sonra eğitim ve test adında iki sınıfa, her sınıf içerisinde çatlaklar ve normaller olmak üzere iki sınıfa daha ayrıldı. Bu şekilde, veri ön işleme ve ayırma işlemleri tamamlanmış oldu. Daha sonra, 1 Bloklü VGG-16, 2 Bloklü VGG-16 ve 3 Bloklü VGG-16 modelleri kullanılarak sırasıyla % 83,988, % 93,895 ve % 95,930 değerleri elde edilerek ilgili grafikler yardımıyla gösterilmesi sağlandı ve nihai model oluşturuldu. Tahmin için ilgili resim ve kod yapısı oluşturulduktan sonra modelimizin seçtiğimiz resmin çatlak barındırıp barındırmadığını tahmin etmesi sağlandı. Eğitilen model tahmini başarıyla gerçekleştirdi ve doğru sınıfı seçti. Sistemimizin iyileştirilmesi için gelecekteki bir çalışma olarak, pozitif görüntüleri yani çatlakları ve yol yüzeyinden ayırmak için daha fazla resim verisi ile derin bir sinir ağı kullanılarak eğitilebilir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Koch C., Georgieva K., Kasireddy V., Akinci B., Fieguth P. 2015. A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure, *Advanced Engineering Informatics*, 29 (2): 196–210.
- [2] Cubero-Fernandez A., Rodriguez-Lozano F.J., Villatoro R. et al. 2017. Efficient pavement crack detection and classification. *J Image Video Proc.* 2017, 39.
- [3] Zakeri H., Nejad F. M., Fahimifar A. 2017. Image based techniques for crack detection, classification and quantification in asphalt pavement: a review, *Archives of Computational Methods in Engineering*, 24 (4): 935–977.
- [4] Tsai Y.-C., Kaul V., Mersereau R. M. 2010. Critical assessment of pavement distress segmentation methods, *Journal of Transportation Engineering*, 136 (1): 11–19.
- [5] Koch C., Brilakis I. 2011. Pothole detection in asphalt pavement images, *Advanced Engineering Informatics*, 25 (3): 507- 515.
- [6] Yang X., Li H., Yu Y., Luo X., Huang T., Yang X. 2018. Automatic Pixel-Level Crack Detection and Measurement Using Fully Convolutional Network.
- [7] Futao Ni, Jian Zhang, Zhiqiang Chen,. (2018). Pixel-level crack delineation in images with convolutional feature fusion. *Structural Control and Health Monitoring*. 26. 10.1002/stc.2286.
- [8] Ronneberger O., Fischer P., Brox T. 2015. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*, Springer, pp.234–241.
- [9] Li P., Wang C., Li S., Feng, B. (2016). Research on crack detection method of airport runway based on twice-threshold segmentation, *Proceedings - 5th International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication, and Control, IMCCC 2015*,

1716–1720.

- [10] Zou Q., Cao Y., Li Q., Mao Q., Wang S. CrackTree: Automatic crack detection from pavement images, *Pattern Recognition Letters*, (3): 227–238.
- [11] Oliveira H., Correia P.L. 24–28 August 2009. Automatic road crack segmentation using entropy and image dynamic thresholding. In *Proceedings of the 17th European Signal Processing Conference*, Glasgow, Scotland, UK; pp. 622–626.
- [12] Zhao H., Qin G., Wang X. 16–18 October 2010. Improvement of canny algorithm based on pavement edge detection. In *Proceedings of the 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing, CISP 2010*, Yantai, China; Volume 2, pp. 964–967.
- [13] Attoh-Okine N., Ayenu-Prah A. 2008. Evaluating pavement cracks with bidimensional empirical mode decomposition. *EURASIP J. Adv. Signal Process.* 1–7.
- [14] Tanaka N., Uematsu K. 17– 19 November 1998. A Crack Detection Method in Road Surface Images Using Morphology. In *Proceedings of the Workshop on Machine Vision Applications*, Chiba, Japan; 98: 1–4
- [15] Medina Roberto, Gayubo Fernando, González Luis M., Olmedo David, Gómez-García-Bermejo Jaime, Zalama Eduardo, Perán José. (2008). Surface Defects Detection on Rolled Steel Strips by Gabor Filters.. *VISAPP 2008 - 3rd International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, Proceedings. 1. 479-485.
- [16] Kumar Jatinder, Kumar Anish., 2015. Surface crack density and recast layer thickness analysis in WEDM process through response surface methodology. *Machining Science and Technology*. Article in Press. 10.1080/10910344.2016.1165835.
- [17] Pawangfg. 2020. VGG-16 CNN Model. <https://www.geeksforgeeks.org/vgg-16-cnn-model>. (Erişim Tarihi: 21.05.2021).
- [18] Vedat T, Burhan E. 2019. Intersections and crosswalk detection using deep learning and image processing techniques. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 543.10.1016/j.physa.2019.123510

Araştırma Makalesi / Research Article

Al 7075-T651 Alaşımının Tornalanmasında Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplama Performansının İncelenmesi

Nihat YILMAZ*

*Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Isparta
(ORCID: 0000-0002-8689-1048)*

Öz

Havacılık, biyomedikal ve otomotiv endüstrisinde alüminyum alaşımlarının kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bu malzemelerin işleme davranışları ve işleme problemleri son yıllarda ilgi konusu olmuştur. Kuru işlemede, alüminyum gibi yüksek plastisiteye sahip (sünek) metaller, takım-talaş ara yüzeyinde geniş temas alanı, yüksek sürtünme katsayısı ve sıvanma (adezyon) özellikleri ve buna bağlı olarak güçlü bir talaş yığılması (BUE) eğilimine sahiptir. Bu çalışmada alüminyum alaşımlarının bu problemine bir çözüm olarak son yıllarda yoğun çalışmalar yapıldığı DLC (diamond-like carbon) kaplamanın performansı Al 7075-T651 alaşımı için incelenmiştir. K10 standardına sahip sinterlenmiş karbür takım, üç farklı kaplama şartlarında (kaplamasız, ticari kaplamalı ve DLC kaplamalı) kullanılmıştır. Çalışmada DLC kaplama işlemi özgün olarak yapılmıştır. Bu takımların Al 7075-T651 alüminyum alaşımının işlenmesi sırasındaki performansı tornalama testleriyle gerçekleştirilmiştir. Tornalama işleminde talaş derinliği 1,5 mm sabit alınırken, 3 farklı kesme hızı (300, 400 ve 500 m/dk) ve 3 farklı ilerleme hızı (0,2-0,3 ve 0,4 mm/dev) seçilmiştir. Sonuç olarak, DLC kaplamanın sıvanma sorununa çözüm olabileceği, ancak kaplama parametrelerinin, kesici takım ve alaşımın sınıfına bağlı olarak optimize edilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum Alaşımı, Al 7075-T651, DLC kaplama, Tornalama.

Investigation of Diamond-Like Carbon (DLC) Coating Performance in Turning of Al 7075-T651 Alloy

Abstract

With the widespread use of aluminum alloys in the aerospace, biomedical and automotive industries, the machining behavior and machining problems of these materials have been of interest in recent years. In dry machining, metals with high plasticity (ductile) such as aluminum have a wide contact area at the tool-chip interface, high friction coefficient and smearing (adhesion) properties and a strong chip build-up (BUE) tendency. In this study, as a solution to this problem of aluminum alloys, the performance of DLC (diamond-like carbon) coating, which has been extensively studied in recent years, has been investigated for Al 7075-T651 alloy. Sintered carbide tool with K10 standard was used in three different coating conditions (uncoated, commercial coated and DLC coated). In the study, the DLC coating process was performed originally. The performance of these tools during the machining of Al 7075-T651 aluminum alloy has been performed by turning tests. While the depth of cut was fixed to 1.5 mm in the turning process, 3 different cutting speeds (300, 400, and 500 m / min) and 3 different feed rates (0.2-0.3 and 0.4 mm / d) were selected. As a result, it was evaluated that DLC coating could be a solution to the smearing problem, but coating parameters should be optimized depending on the grade of the cutting tool and the alloy.

Keywords: Aluminum Alloy, Al 7075-T651, DLC coating, Turning.

1. Giriş

Otomotiv endüstrisi hem yakıt sarfiyatını hem de karbon emisyonlarını azaltmak için sürekli çaba sarf etmektedir. Günümüzde özellikle hibrit ve elektrikli araçların geliştirilmesi çalışmalarında, verimliliği artırmak ve daha hafif araçlar üretebilmek, kütlelerin azaltılması ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla başta otomotiv endüstrisi olmak üzere uzay-uçak endüstrisindeki hava araçlarında, savunma sanayii uygulamalarında hafif metallere olan ilgi artmıştır. Alüminyum alaşımları yapısal malzeme

*Sorumlu yazar: nihatyilmaz@isparta.edu.tr
Geliş Tarihi: 25.05.2021, Kabul Tarihi: 14.08.2021

uygulamalarında çelikten sonra magnezyum ve titanyumun yanı sıra en çok kullanılan demir dışı metalik malzemelerdir [1]. Spesifik mukavemetinin (mukavemet-yoğunluk oranı), korozyon direncinin, ısı-elektriksel iletkenliğinin yüksek olmasının yanı sıra, toksik olmaması, yüksek sürtünme katsayısı, manyetik nötrallite ve şekillendirme kabiliyeti gibi benzersiz özellikleri nedeniyle günümüzde birçok uygulamada demir esaslı malzemelerin yerine tercih edilmektedir. Alüminyum alaşımları, hafif yapılara yönelik artan talepler nedeniyle, genellikle hava ve kara ulaşım araçlarının ekipmanlarında yapısal konstrüksiyon elemanı olarak kullanılmaktadır. İmalat endüstrisinde alüminyum ve alaşımlarına talebin artmasıyla birlikte, işlenmesine yönelik artan bir ihtiyaç bulunmaktadır. [2-3]

7xxx serisi dövme alüminyum alaşımları da özellikle havacılık ve uzay endüstrisinde, hava araçlarının gövde, iniş takımları ve hidrolik sistem bileşenleri gibi yapısal parçalarda tercih edilmektedir. Kullanımın artmasına paralel olarak alüminyum ve alaşımlarının işlenebilirlik şartlarının optimize edilmesi önem kazanmaktadır. Günümüzde, kuru şartlarda ve yüksek hızlı işleme için uygun yüksek performanslı takım malzemeleri dahil olmak üzere çevre dostu ve uygun maliyetli kesme teknolojilerinin geliştirilmesi için yoğun çalışmalar yapılmaktadır [4]. Bununla birlikte, kuru işlemede, alüminyum gibi yüksek plastisiteye sahip (sünek) metaller, malzeme-takım ara yüzeyinde geniş temas alanı, yüksek sürtünme katsayısı ve sıvanma (adezyon) özellikleri ve buna bağlı olarak güçlü bir talaş yığılması (BUE) eğilimine sahiptir [3]. BUE'nin yüksek kesme kuvveti, zayıf parça yüzey kalitesi ve kısa takım ömrünün ana nedeni olduğu bilinmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda süneklik artacaktır. Bu nedenle, alüminyum alaşımlarının talaşlı imalatı için kullanılacak kesici takımlarda, düşük afinite (kimyasal ilgi), düşük sürtünme katsayısı ve yüksek sertlik gibi özellikler önem kazanmaktadır. Alüminyum alaşımları gibi sünek malzemelerde karşılaşılan işleme problemleri; iş malzemesinin mukavemet ve sertliği artırılıp takım-talaş temas alanı azaltmakla, ya da takım-talaş ara yüzeyinde sürtünme katsayısını azaltacak şartlar örneğinin uygun yüzey kaplamalar oluşturularak çözülebilir [3]. Son yıllarda, takıma sıvanma eğilimi yüksek metal alaşımlarının işlenmesinde, takım performansını iyileştirmek için kimyasal veya fiziksel buhar biriktirme ile üretilen birçok yüzey kaplaması uygulamaları geliştirilmiştir. Bunlar arasında, elmas ve elmas benzeri karbon (DLC) gibi karbon bazlı kaplamalar, BUE oluşumunu önemli ölçüde azaltma ve dolayısıyla kesme performansını iyileştirme yeteneği göstermiştir. Öte yandan, TiN, TiAlN ve CrN gibi geçiş metal nitrür kaplamaların, BUE oluşumu nedeniyle zayıf performans gösterdiği de literatürde belirtilmektedir. [4].

Campell vd. (2006) Al-7075-T651 dövme alaşımlarının yüksek hızda işlenmesi sonrası iş parçası ve talaşların mikro yapısını inceledikleri çalışmalarında, kaplamasız 0° ve 15° talaş açısına sahip sinterlenmiş karbür kesici takım kullanmışlardır. Talaş kaldırma işlemi 100 mm çapında boru numuneler üzerinde ortogonal kesme şeklinde yapılmıştır. Kesme parametreleri ise; kesme hızı 360 m/dk ile 720 m/dk arasında (üç kademe), ilerleme oranı 0,076 mm/dev değerinde sabit alınmıştır. Ayrıca işlem simülasyon programıyla da işleme prosesinin sıcaklık analiz yapılmıştır. Çalışmada işleme sonucu hem iş parçasının işlenmiş yüzeyinde hem de talaş yüzeyinde sertlikte azalma olduğu, ancak deformasyon tabakasının kalınlığının arttığı ve tanelerin parça eksenine boyunca uzadığı ifade edilmiş ve bunun da dinamik yeniden kristalleşmeye bağlı olarak çökeltilerin kabalaşması nedeniyle olabileceği literatür ışığında yorumlanmıştır. Simülasyon sonuçlarıyla birleştirildiğinde ise artan kesme hızıyla birlikte artan deformasyon tabakası kalınlığı ve sıcaklığın hızlı difüzyonla çökeltileri kabalaştırdığı ifade edilmiştir. Böylece kesme hızının talaş ve iş parçası mikro yapıları üzerindeki etkisi karakterize edilmiştir [5]. Santos (2007) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, K-20 tipi üçgen geometriye sahip sinterlenmiş karbür kesici takım üzerine PECVD tekniğini kullanarak elmas benzeri karbon (DLC) ince film tabakası kaplamışlardır. Kaplama kalınlığı 2.5 mikron olarak belirlenen kesici takımlarla 30 Rochwell B sertliğindeki 150 mm çapında ve 200 mm uzunluğunda, iki farklı döküm Al-Si alaşımlarından hazırlanan numuneler tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Kesme parametreleri; kesme hızı 450 m/dk, ilerleme oranı 0,15 mm/devir, kesme derinliği ise 0,5 mm olarak seçilmiş ve deneyler her test koşulu için 5 tekrar şeklinde yapılmıştır. Çalışmada kaplama karakterizasyonunun yanı sıra kesme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri de ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, ilerleme kuvvetinin, silikon içeriği fazla alüminyum alaşımında, düşük olana göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca DLC film kaplamanın, ilerleme kuvvetlerini her iki alaşım için %10-15 mertebesinde esas kesme kuvvetini ise yine her ikisi için %4-6 mertebesinde azaltma eğiliminde olmakla birlikte, farkın çok az olduğu da vurgulanmıştır [6]. Brzezinka vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Al-Si alaşımlarını frezeleme işleminde tungsten karbür kesici ucu, karşılaştırma için genel kaplama olarak tek katmanlı TiB₂ ile kaplamışlardır. Daha sonra bununla kıyaslama için farklı kaplama şartlarında tek katmanlı DLC kaplama ve çok

katmanlı (2-6-12 ve 24 katmanlı) DLC-WS2 kapmaların performansını incelemişlerdir. Talaş kaldırma işlemi sonrası takımın oluştuğu serbest yüzey aşınmaları ve aşınma testleriyle sürtünme özellikleri değerlendirilerek, kaplama performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, DLC kaplamaların takım-talaş ara yüzeyinde daha etkin bir yağlayıcı tabaka oluşturularak yapışma eğilimini azalttığı, özellikle çok katmanlı kaplamanın daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Tek katmanlı DLC kaplamanın TiB₂ kaplamaya göre takım aşınma oranını %85 azalttığı, çok katmanlı DLC kaplamaların ise tek katmanlıya göre daha iyi sonuç verdiği rapor edilmiştir [7]. Sahoo ve Datta (2020) kaplamasız ve MT-CVD TiCN-Al₂O₃ kaplamalı karbür kesici uçlar kullanılarak AA7075 T6 alaşımının kuru işleme performansını inceledikleri çalışmalarında 96,8 mm çapında ve 400 mm uzunluğunda silindirik numuneleri, 4 farklı kesme hızı ile (120-150-200-300 m/dk) sırasıyla sabit 0,1 mm/dev ilerleme oranı, 0,35 mm kesme derinliği parametrelerinde tormalamışlardır. İşleme performansı için teğetsel kesme kuvveti, takım ucu sıcaklığı ve serbest yüzey aşınması derinliği ölçülmüştür. Kaplamalı takımın performansı, kaplamasız kesici uç ile karşılaştırılmıştır. Kaplanmış takımın, kaplanmamış muadiline göre daha düşük takım ucu sıcaklığına ve daha az serbest yüzey aşınmasına neden olduğu görülmüştür. Her iki takımın adezyon ve yığma tabaka oluşumunun yanı sıra; kaplamasız takımın abrasif ve difüzyon aşınması da görülmüştür [1].

Literatür incelendiğinde, genellikle alüminyum alaşımlarının işlenmesinde, talaş-takım ara yüzeyinde sıvanma ve yığıntı kenar oluşumunun en çok karşılaşılan işleme problemi olduğu görülmektedir. Bunun üstesinden gelmek için yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi genelleştirilebilir;

1) Isıl işleme (genellikle yaşlandırma) malzemenin sertliği artırılarak talaşın kolay kırılması ve temas uzunluğunun azaltılması [8-10]

2) Takım-talaş ara yüzeyinin sürtünme şartlarını değiştirmek için kesme parametrelerinin veya takım geometrisinin optimizasyonu [11-14]

3) Genellikle kuru kesme tercih edilmekle birlikte, takım-talaş ara yüzeyinde sürtünme ve sıcaklığı azaltmak için ekolojik yağlama/soğutma yöntemlerinin uygulanması [15-18]

4) Takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmak için kesici takımlara çeşitli kaplamalar uygulanması [19-22, 7]

Gerçekleştirilen bu çalışmada Al 7075-T651 alüminyum alaşımının kuru tormalanması sırasında, kaplamasız, ticari kaplamalı ve DLC kaplamalı olmak üzere, üç farklı kaplama şartlarına sahip karbür takımın işleme performansı karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada 60 mm çapında 500 mm uzunluğunda hazırlanan Al7075-T651 dövme alüminyum alaşımları ALEX ANL-75 markalı CNC torna tezgâhında işlenmiştir. T651 alüminyum alaşımına suni yaşlandırma ve gerilim giderme ısıl işlemleri uygulanmıştır. Bu malzeme genel olarak; uçak ve savunma endüstrisinde yüksek mukavemet gerektiren yerlerde, kauçuk ve plastik kalıplarda, kayak direklerinde, makina parçalarında, nükleer uygulamalarda ve otomotiv sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1’de, mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Al-7075 alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlık)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,5	0,4	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1	0,18-0,28	0,20	0,15	Kalan

Tablo 2. Al 7075-T651 alaşımının bazı mekanik özellikleri

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%) min-max	Sertlik (HRB) min-max
T651	460-505	530-570	10	140-160

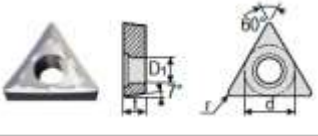
Kesici takım olarak demir dışı metaller için kullanılan ISO K10 standardında Tagutech marka sinterlenmiş karbür takımlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan takımlar sırasıyla şöyledir;

T1: TCMT 16T308 MT K10 (Kaplamasız karbür) UC

T2: TCGT 16T308 FL K10 (Alüminyum için ticari kaplamalı) CC

T3: TCMT 16T308 MT K10 + DLC (DLC Kaplanmış karbür) DLC

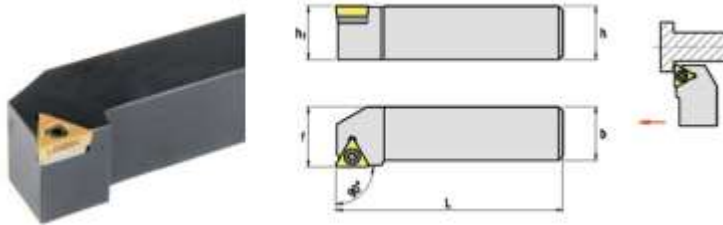
Görüldüğü gibi çalışmada sırasıyla kaplamasız (T1), ticari kaplamalı (T2) ve Atatürk Üniversitesi laboratuvarlarında özel DLC kaplama yapılmış takım (T3) kullanılmıştır. Kıyaslama yapılabilmesi için, ana takım malzemesi aynı tutulmuş, yalnızca kaplama şartları değiştirilmiştir. Takımın geometrisi ve boyutları Şekil 1’de verilmiştir.

Insert	Designation	Dimension (mm)				K10	Uncoated
		d	t	r	D1		
	TCGT 090204 FL	5.56	2.38	0.4	2.5	●	
	110204 FL	6.35	2.38	0.4	2.8	●	
	16T304 FL	9.52	3.97	0.4	4.4	●	
	16T308 FL	9.52	3.97	0.8	4.4	●	

Şekil 1. Kesici takım bilgileri (Firma Kataloğu)

T3 takım üzerine özel DLC kaplama yapılmadan önce ISO K10 standardındaki kaplamasız karbür kesici takımlar, kobalt içeriğini azaltmak ve takım yüzeyini pürüzlendirmek için literatür ışığında [23] belirlenen murakami çözeltisi (10g Ferrosiyani (K₃[Fe (CN)₆] + 10g potasyum hidroksid (KOH) + 100 ml su (H₂O)) içerisinde ultrasonik olarak 30 dakika bekletilmiş ve daha sonra alkolle yıkanıp kurutulmuştur. K10 karbür takım üzerine DLC kaplama işlemi; PVD (CFUBMS-Kapalı alan dengelenmemiş manyetik alanda sıçratma) yöntemi kullanılarak Ti esaslı hidrojen dope edilmiş olarak gerçekleştirilmiştir. Kaplama 0,3 Pa vakum basıncında, 20 dakika iyon temizleme işleminden sonra sırasıyla 5 dakika Ti kaplama, 10’ar dakika %55 azot akışı altında TiN ve TiCN kaplama şeklinde çok katmanlı uygulanmıştır. Son aşamada 15’er dakikalık iki dilim halinde %55-%25 aralığında azaltılmış C₂H₂ (Etin) ve %7 azot akışı altında DLC kaplama şeklinde uygulanmıştır. DLC kaplama işlemi toplam 55 dakika sürmüştür.

Kesici takımı tezgâha bağlamak için, Takımsaş marka STGCL 2525 M16 modeli takım tutucu kater kullanılmıştır (Şekil 2). Talaşlı imalat işlemi dik (orthogonal) kesme olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan takım tutucu ve takımın geometrik özellikleri

Çalışmada bağımsız değişken olarak, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici takım belirlenmiş ve bunların seviyeleri Tablo 3’ de verilmiştir. Talaş derinliği ise 1,5 mm olarak sabit alınmıştır. İş parçası ayna-punta arasına alınarak 230 mm’lik kısmı orthogonal tornalama yapılmıştır. Kesme sırasında Kistler marka 9257-B modeli dinamometre ve 5070-A 11100 tipi amplifikatör kullanılarak kesme kuvvetleri ölçülmüş, takım temas yüzeylerinin sem analizi yapılmış ve her bir kesme işlemi için talaş geometrileri görüntülenmiştir. Ayrıca parçaların yüzey pürüzlülüğü de Hommel Werke marka T 500 modeli yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Tablo 3. Kesme parametreleri ve değerleri

Parametreler	(A) V (Kesme hızı) [m/dk]	(B) F (İlerleme) [mm/dev]	(C) Kesici Takım
Seviye 1	300	0,2	T1 UC (Kaplamasız karbür)
Seviye 2	400	0,3	T2 CC (Kaplmalı karbür)
Seviye 3	500	0,4	T3 DLC (Elmas kaplamalı)

Taguchi L9 deney tasarımına göre belirlenen kesme parametreleri ise Tablo 4’de verilmiştir. Bu deney tasarımı tam faktöriyel 27 deney içerisinden belirlenmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda Tablo 4’deki parametreler kullanılmıştır.

Tablo 4. Deney parametreleri ve seviyeleri

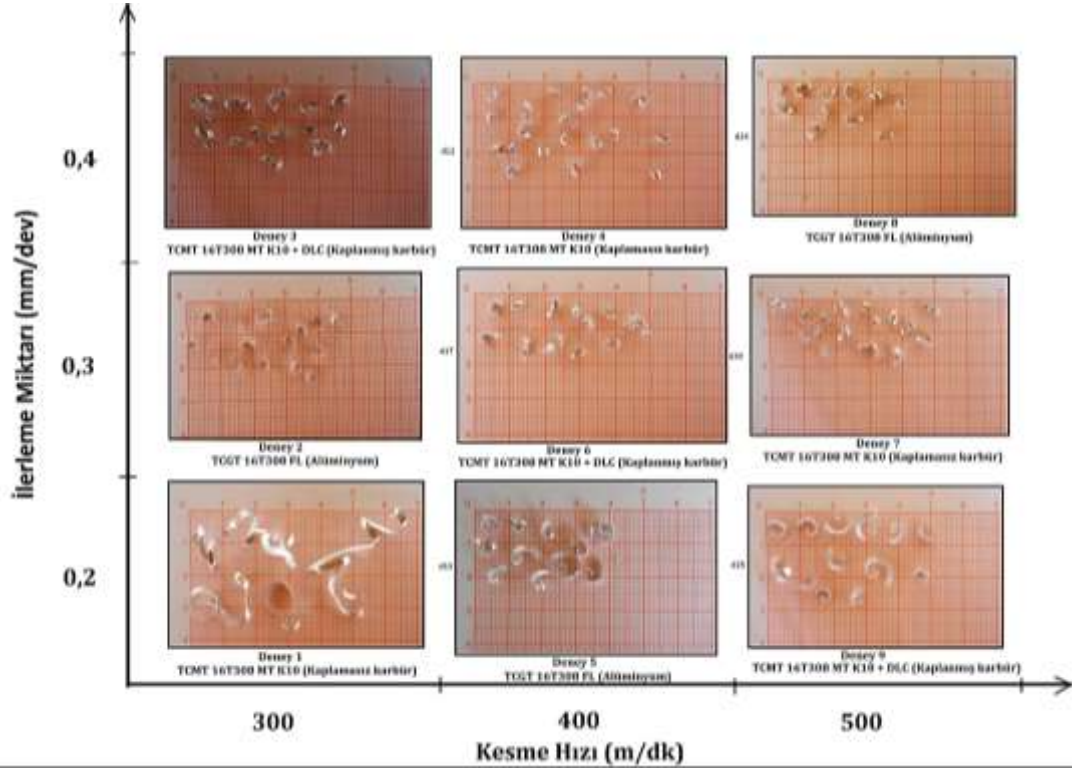
Deney No	Değişkenler	(A) V (Kesme hızı) [m/dk]	(B) F (İlerleme) [mm/dev]	(C) Kesici Takım
1	A1B1C1	300	0,2	T1 UC
2	A1B2C2	300	0,3	T2 CC
3	A1B3C3	300	0,4	T3 DLC
4	A2B3C1	400	0,4	T1 UC
5	A2B1C2	400	0,2	T2 CC
6	A2B2C3	400	0,3	T3 DLC
7	A3B2C1	500	0,3	T1 UC
8	A3B3C2	500	0,4	T2 CC
9	A3B1C3	500	0,2	T3 DLC

3. Bulgular ve Tartışma

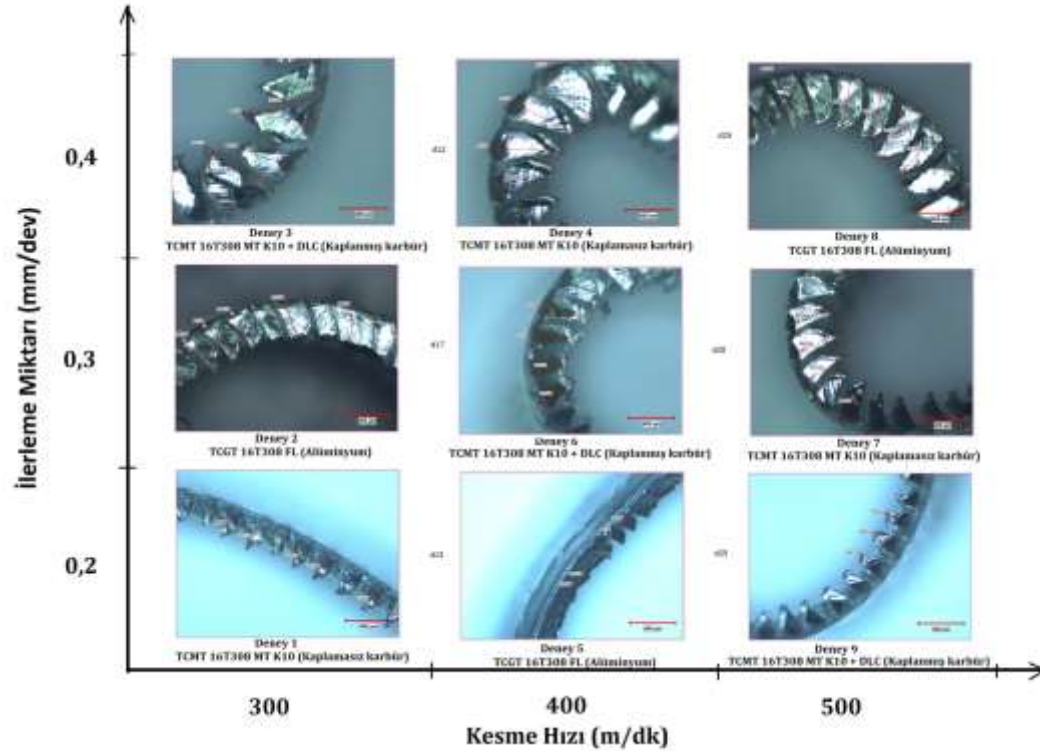
Dövme alüminyum alaşımlarından, 7075-T651 (yaşlandırılmış ve temperlenmiş) malzemenin dik tornalanması sırasında karbür kesici takımın performansı ve yaygın sorunlarına bir çözüm arama amacıyla DLC kaplamanın performansının incelendiği bu çalışmada farklı kesme şartları altında talaş formları ve yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Talaş derinliğinin 1,5 mm olarak sabit alındığı çalışmada, ilk olarak literatür ışığında belirlenen 300, 400 ve 500 m/dk olmak üzere 3 farklı kesme hızı, 0,2-0,3 ve 0,4 mm/dev olmak üzere 3 farklı ilerleme değeri kesme parametreleriyle, 3 farklı kaplama şartlarındaki kesici takım için talaş form kartı elde edilmiş ve Şekil 3’de verilmiştir.

Farklı kesme parametrelerinde oluşan talaş formları incelendiğinde (Şekil 3), tüm kesici takımlar için genel değerlendirmede, düşük kesme hızı ve ilerleme değerlerinde daha uzun talaş formlarının görüldüğü söylenebilir. Bu durum düşük kesme parametrelerinde talaş-temas uzunluğunun büyük olduğu, kesme parametrelerinin artmasıyla talaş uzunluğunun ve dolayısıyla takım-talaş temas uzunluğunun azaldığı şeklinde yorumlanabilir.

Talaşların mikroskop altında daha detaylı morfolojik incelemeleri Şekil 4’de verilmiştir. Burada talaş segmentasyonları net olarak görülebilmektedir. Talaş segmentasyon fenomeni, talaş parçalanmasını teşvik ettiği için işleme sırasında istenen bir talaş oluşturma mekanizmasıdır. Talaş segmentasyonunun frekansı, deformasyonun derecesiyle ilgilidir.



Şekil 3. Farklı kesme şartlarında oluşan talaş formları

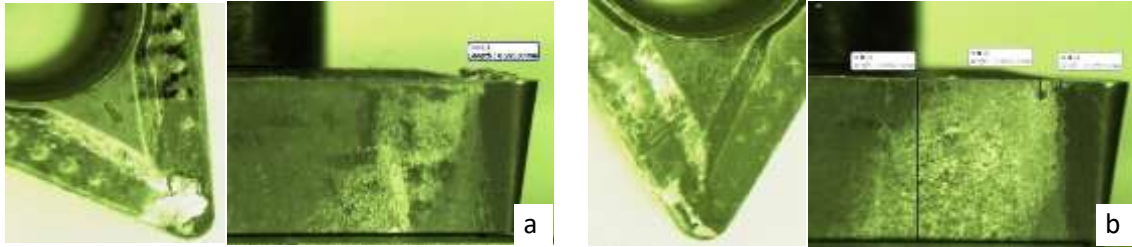


Şekil 4. Farklı kesme şartlarında oluşan talaş formlarının morfolojisi

Kaplanmasız takım da hatve daha fazla olduğundan, kaplanmış kesici takımın kaplanmamış olandan daha fazla Fz'ye (ilerleme kuvveti) karşılık geldiği açıktır. Kaplanmasız takım da azalmış segmentasyon frekansı, daha yüksek miktarda yan yüzey aşınmasına bağlı olabilir. Bu nedenle, daha düşük takım aşınması nedeniyle kaplanmış karbür takım da daha düşük bir segmentasyon frekansı gözlemlenmiştir [1]

DLC kaplamalı karbür takım ile en düşük ilerleme, en yüksek kesme hızında talaş segmentasyon yüksekliği 225 μm mertebesinde iken, ilerlemenin en yüksek kesme hızının ise en düşük olduğu durumda 620 μm olarak ölçülmüştür. Yüksek ilerleme, düşük kesme hızında talaş segmentasyon yüksekliğinin artması eğilimi kaplamasız ve ticari kaplamalı takımında da görülmüştür.

En düşük ilerleme ($f:0,2$ mm/dev) ve kesme hızında ($V_c:300$ m/dk) kaplamasız karbür takım-talaş temas alanı daha büyük ve talaş yığılması (BUE) bariz bir şekilde görülmektedir (Şekil 5.a). Aynı takım için ilerlemenin en yüksek kesme hızının ise en düşük olduğu durumda kesme hızının artması nedeniyle talaş yığılması görülmemiştir (Şekil 5.b). Düşük kesme hızlarında takım-talaş temas bölgesinin tamamında, talaşın takım yüzeyine sıvanması beklenen bir durumdur [24]. Özellikle sünek malzemelerde düşük kesme hızlarında, temas yüzeyinde talaş yığılması ve sıvanma yoğun olarak görülecektir. Kesme hızının artmasıyla yığıntı talaş eğiliminin azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan kesme hızının artmasıyla, takım-talaş temas bölgesinde, yüksek sıcaklık, yüksek gerilim ve gerinim (deformasyon) şartlarının oluşacağı ve bu durumun malzemenin sünekliğini ve takım yüzeyine sıvanma eğilimini artıracaklarını ifade eden çalışmalarda bulunmaktadır [25]. Burada kesme şartları ve kesici takım malzemesi ve yüzey durumuna bağlı olarak değişen ve baskın olan işleme mekanizmasının tespiti için daha detaylı analizlerin yapılması gerekmektedir.

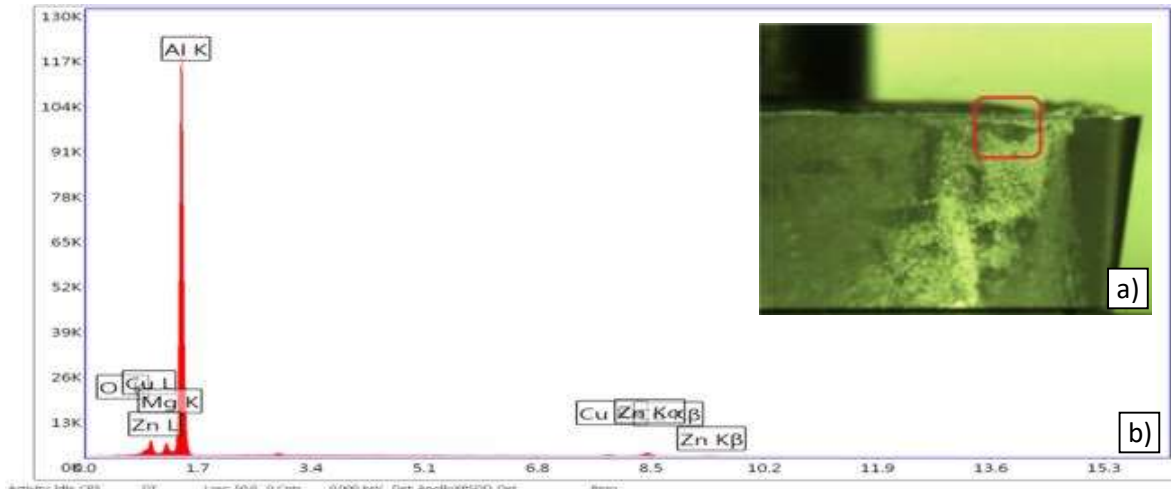


T1 takım, $f:0,2$ mm/dev, $V_c:300$ m/dk

T1 takım, $f:0,2$ mm/dev, $V_c:500$ m/dk

Şekil 5. Kaplamasız karbür takımın aynı ilerleme değeri için a) düşük kesme hızında b) yüksek kesme hızında talaş yüzeyi ve yan yüzey optik mikroskop görüntüleri

Bu çalışmanın kapsamı içerisinde yapılan, kaplamasız karbür takımın $f: 0,2$ mm/dev $V_c: 300$ m/dk şartlarında aşınma bölgelerindeki EDS elementel analiz sonuçlarına göre, takım yüzeyinde alüminyum malzemenin sıvandığı bariz bir şekilde görülmektedir (Şekil 6).



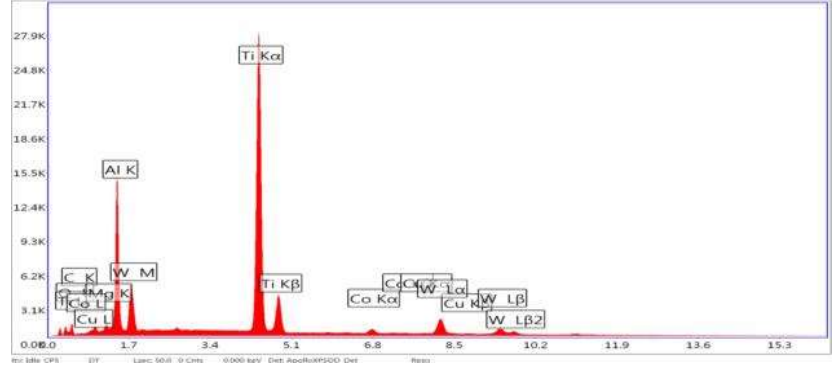
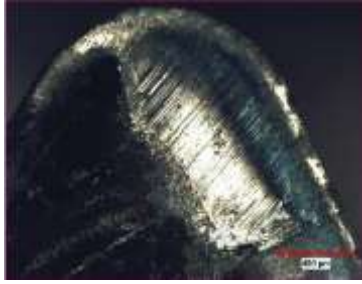
Şekil 6. Kaplamasız karbür takımın $f: 0,2$ mm/dev, $V_c: 300$ m/dk şartlarında işleme sonrası aşınma için

a) Takımda incelenen bölge, b) EDAX EDS Elementel analiz sonuçları

b)

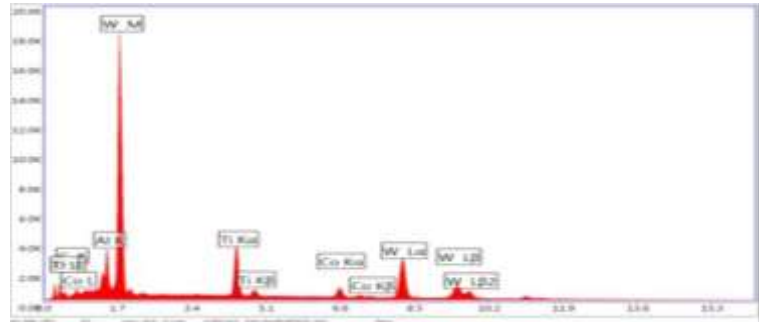
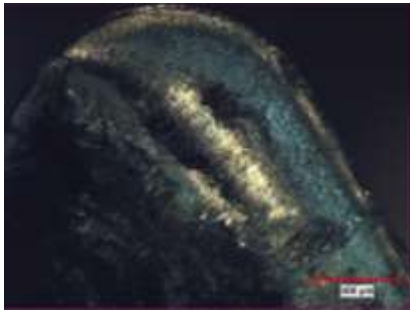
Karşılaştırma için DLC kaplamalı takım için de en düşük ilerleme ve kesme hızı ile ilerleme değeri aynı kalmak şartıyla kesme hızının artırıldığı durum için takım yüzey optik görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. DLC kaplamayla takım üzerinde yığıntı talaş görülmemekle birlikte, takım talaş

yüzeyinde yapılan EDS elementel analiz sonuçlarında takım yüzeyinde yer yer düşüğe olsa alüminyum kalıntılarında rastlanmıştır.



Şekil 7. DLC kaplamalı takımla f: 0,2 mm/dev Vc: 300 m/dk şartlarında işleme sonrası talaş yüzeyindeki aşınma bölgelerinde yapılan EDAX EDS elementel analiz sonuçları

DLC kaplamalı takımla ilerleme değeri en düşük değerinde kalırken, kesme hızı en yüksek değerine ulaştığında yine takım talaş yüzeyinde yapılan EDS elementel analiz sonuçları ise Şekil 8’de verilmiştir. Yüksek kesme hızında DLC kaplamanın talaş sıvanma eğilimini büyük oranda azalttığı görülmektedir (Şekil 8.).



Şekil 8. DLC kaplamalı takımla f: 0,2 mm/dev Vc: 500 m/dk şartlarında işleme sonrası talaş yüzeyindeki aşınma bölgelerinde yapılan EDAX EDS elementel analiz sonuçları

Bu çalışmada DLC kaplamanın Al 7075-T651 a dövme alüminyum alaşımı özelinde talaş yığılması ve sıvanma sorununa bir çözüm olabilmesini sorgulamaya yönelik yapılan ön deneysel çalışmaları kapsamaktadır. Tornalama işlemi sırasında elde edilen talaş formlarının SEM analizleri ile kesici takım aşınma yüzeylerinin mikroskop görüntüleri ve EDS elementel analizi sonuçlarına dayanarak DLC kaplamanın sıvanma sorununa çözüm olabileceği sonucuna varılmıştır. Yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerinde tüm deneyler sonuçları için en düşük Ra değeri DLC kaplamalı takımla en düşük ilerleme ($f=0,2$ mm/dev) ve en yüksek kesme hızı ($Vc = 500$ m/dk) kesme şartlarında $Ra= 1,57$ μm olarak elde edilmiştir. Aynı kesme parametrelerinde esas kesme kuvveti de en düşük değerinde ($Fc= 293,88$ N) ölçülmüştür. Ancak aynı takım için, ilerlemenin yüksek ($f=0,4$ mm/dev) kesme hızının ise en düşük ($Vc=300$ m/dk) olduğu kesme şartlarında ise yüzey pürüzlülüğü $Ra= 6,47$ μm , kesme kuvveti $Fc= 509,79$ N mertebesine ulaşmaktadır. Bu ise ilerleme ve kesme hızı parametrelerinin Al 7075-T651 alaşımının kesme şartlarını önemli oranda etkilediğini göstermiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Ergime sıcaklığı düşük ve sünek bir malzeme olan alüminyum alaşımlarının bilinen işleme problemlerinden yığıntı talaş ve takım-talaş ara yüzeyinde sıvanma için özgün bir DLC kaplama yönteminin performansı hakkında deneysel olarak bir ön çalışma niteliğinde yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- I. Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme) kesici takımın ve iş parçası malzemesinin kesme esnasındaki malzeme özelliklerini önemli ölçüde etkilemekte ve takım performansının belirlemektedir. Bu çalışmada en iyi kesme performansı en düşük ilerleme değeri $f=0,2$ mm/dev ve en yüksek kesme hızı $V_c=500$ m/dk için elde edilmiştir.
- II. Kesme parametreleri aynı zamanda oluşacak kesme sıcaklığını ve buna bağlı olarak ta iş parçası malzemesinin özelliklerini, kesici takımın ve varsa kaplamanın performansını etkilemekte ve kesme mekanizmasını belirlemektedir. İşlenen alaşımın ve kesici takımın yüzey, ısıl ve mekanik özellikleri dikkate alınarak kesme parametrelerinin optimize edilmesi önemlidir. Genelde alüminyum alaşımlarının talaşlı imalatında kesici takımlarda en yaygın görülen temel aşınma mekanizması adezyon olurken, temel aşınma tipinin yığıntı talaş (BUE) olduğu literatür ışığında değerlendirilmiştir [1]. Bu çalışmada da özellikle kaplamasız karbür takımında adezyon aşınma mekanizmasıyla oluşan kenar yığılması görülmüştür.
- III. Genel olarak, yüzey merkezli kübik yapıya sahip alüminyum alaşımlarının sünek yapısı nedeniyle işleme sırasında kesme kuvvetleri artmakta, buna bağlı olarak zayıf yüzey kalitesi ve talaş kontrolü söz konusudur. Al 7075-T651 alaşımları ise diğer ısıl işlem görebilir (2xxx ve 6xxx serisi) alaşımlarla birlikte, gördüğü ısıl işleminden dolayı nispeten sünekliği azalmış, mukavemeti artmış bir alaşım olarak malzeme yapısında sünek/gevrek geçiş formları da içerdiğinden [26] ayrı değerlendirilmelidir.
- IV. DLC kaplama 7075-T651 alüminyum alaşımlarında takım-talaş ara yüzeyinde yapışmayı önleyici şartları sağlamaktadır. Daha iyi sonuçların alınabilmesi için DLC kaplama proses parametrelerinin (hidrojen oranı, sp^3 bağ yapısı, iyon enerjisi, vakum basıncı, biriktirme süresi ve sıcaklığı vb.) optimize yönündeki çalışmalar önerilebilir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Sahoo A.P., Datta S. 2020. Dry Machining Performance of AA7075-T6 Alloy Using Uncoated Carbide and MT-CVD TiCN-Al₂O₃-Coated Carbide Inserts. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45:9777–9791.
- [2] Mandal K.K., Mitra S. 2018. Experimental investigation on laser micro-machining of Al 7075 Alloy. *Optics and Laser Technology*, 107: 260-267.
- [3] Editors; Carou D., Davim J.P. 2019. *Machining of Light Alloys: Aluminum, Titanium and Magnesium*. CRC Press Taylor Francis Group, Broken Sound Parkway NW.
- [4] Hovsepian P.E., Luo Q., Robinson G., Pittman M., Howarth M., Doerwald D., Tietema R., Sim W.M., Deeming A., Zeus T. 2006. TiAlN/VN superlattice structured PVD coatings: A new alternative in machining of aluminum alloys for aerospace and automotive components. *Surface Coating Technology*, 201: 265-272.
- [5] Campell C.E., Bendersky L.A., Boettinger W.J., Ivester R. 2006. Microstructural characterization of Al-7075-T651 chips and work pieces produced by high-speed machining. *Materials Science and Engineering A*, 430: 15–26.
- [6] Santos G.R., da Costa D.D., Amorim F.L., Torres R.D. 2007. Characterization of DLC thin film and evaluation of machining forces using coated inserts in turning of Al–Si alloys. *Surface and Coating Technology*, 202 (4-7): 1029-1033.

- [7] Brzezinka T.L., Rao J., Paiva J.M., Kohlscheen Fox-Rabinovich G.S., Veldhuis S.C., Endrino J.L. 2019. DLC and DLC-WS2 Coatings for Machining of Aluminum Alloys, *Coating*, 9 (192): 1-15.
- [8] Altunpak Y., Akbulut H. 2009. Effects of aging heat treatment on machinability of alumina short fiber reinforced LM 13 aluminum alloy. *Int. J. Advanced Manufacturing Technology*, 43:449-454.
- [9] Wieronski P., Pezda J., Ponikwia L. 2016. Effect of Heat Treatment on Machining Properties of the AlSi9Cu3(Fe) Alloy. *Archives of Foundry Engineering*, 16 (3): 137-140
- [10] Jarco A., Pezda J. 2016. Effect of Different Variants of Heat Treatment on Mechanical Properties of the AlSi17CuNiMg Alloy. *Archives of Foundry Engineering*, 16 (2): 41-44
- [11] List G., Nouari M., Gehin D., Gomez S., Manaud J.P., Le Petitcorps Y., Girot F. 2005. Wear behaviour of cemented carbide tools in dry machining of aluminum alloy. *Wear*, 259: 1177-1189.
- [12] Kouadri S., Necib K., Atlati S., Haddag B., Nouari M. 2013. Quantification of the chip segmentation in metal machining: Application to machining the aeronautical aluminum alloy AA2024-T351 with cemented carbide tools WC-Co. *Int. J. Machine Tool & Manufacture*, 64: 102-113.
- [13] Salguero J., Batista M., Calamaz M., Girot F., Marcos M, 2013. Cutting Forces Parametric Model for the Dry High-Speed Contour Milling of Aerospace Aluminum Alloys. *Procedia Engineering*, 63: 735-742.
- [14] Rao K.S.S., Allamraju K.V. 2017. Effect on Micro-Hardness and Residual Stress in CNC Turning of Aluminum 7075 Alloy. (ICMPC 2016) *Materials Today:Proceedings*, 4: 975-981.
- [15] Wakabayashi T., ve Suda S. 2008. Environmentally friendly machining of aluminum using minimal quantity lubrication system. *Proceedings of 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Tokyo, Japan, 377-380.
- [16] Sreejith P.S. 2008. Machining of 6061 aluminum alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions. *Materials Letters*, 62: 276-278.
- [17] Çakır A., Yağmur S., Kavak N., Küçüktürk G., Şeker U. 2016. The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminum alloys. *Int. J. Manufacturing Technology*, 84: 2515-2521.
- [18] Singh T., Singh J., Singh M. 2016. Drilling of 6061 Aluminum Alloy with MQL, Dry and Flooded Cooling-Lubricant Conditions. *IJRMET*, 6 (2): 58-60.
- [19] Roy P., Sarangi S.K., Ghosh A., Chattopadhyay A.K. 2009. Machinability study of pure aluminum and Al-12% Si alloys against uncoated and coated carbide inserts. *Int. J. Refractory Metals & Hard Materials*, 27: 535-544.
- [20] Gangopadhyay S., Acharya R., Chattopadhyay A.K., Sargade V.G. 2010. Effect of cutting speed and surface chemistry of cutting tools on the formation of BUL or BUE and surface quality of the generated surface in dry turning of AA6005 aluminum alloy. *Machining Science and Technology*, 14: 208-223.
- [21] Lei X., Shen B., Sun F. 2015. Optimization of diamond coated microdrills in aluminum alloy 7075 machining: A case study. *Diamond & Related Materials*, 54: 79-90.
- [22] Patnaik S.K., Bhoi N.K., Padhi S., Sarangi S.K. 2018. Dry machining of aluminum for proper selection of cutting tool: tool performance and tool wear, *Int. J. Advanced Manufacturing Technology*, 98: 55-65.
- [23] Miao J., Song J., Xue Y., Tong Y., Tang W., Lu F. 2004. Effect of a two-step pretreatment method on adhesion of CVD diamond coatings on cemented carbide substrates. *Surface Coating & Technology*, 187: 33-36.
- [24] Kılıç D.S., Raman S. 2007. Observations of the tool-chip boundary conditions in turning of aluminum alloys. *Wear* 262: 889-904.
- [25] Santos M.C., Machado A.R., Sales W.F., Barrozo M.A.S., Ezugvu E.O. 2016. Machining of aluminum alloys: a review. *Int. J. Advanced Manufacturing Technology*, 86: 3067-3080.
- [26] Imbrogno S., Rinaldi S., Suarez A.G., Arrazola J., Umbrello D. 2018. High speed machinability of the aerospace alloy AA7075 T6 under different cooling condition. *Proceedings of the 21st International ESAFORM Conference on Material Forming, AIP Conf. Proc.* 1960, 070013; doi: 10.1063/1.5034909

Araştırma Makalesi / Research Article

Peyzaj Mimarlığı Bölümü Öğrencilerinin İç Mekân Bitkileri Dersi Kapsamında İlgî ve Performans Düzeylerinin Değerlendirilmesi

Nermin Merve YALÇINKAYA*

*Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye.
(ORCID: 0000-0002-0860-1498)*

Öz

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 2018-2019 Öğretim Yılı P-452 “İç Mekân Bitkileri” dersi öğrencilerine uygulanan anket çalışmasına dayanarak hazırlanmıştır. Çalışmada, Peyzaj Mimarlığı disiplini öğrencilerinin, söz konusu dersteki ilgi ve performans düzeylerinin belirlenmesinin yanı sıra, bitki materyalinin ağırlıklı kullanıldığı tasarım projeleri ile ilgili derslerdeki performanslarının yükseltilmesi hedefine yönelik bir araştırma süreci yürütülmüştür. Belirtilen hedefe ulaşmada anket çalışmasından yararlanılmıştır. Elde edilen verilerin analizi SPSS yazılımı, Ki-Kare testi ve varyans analizi (ANOVA) ile yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, öğrencilerin derse olan ilgi düzeyleri ve performans durumlarının dönem sonu alınan notlara olan etkisi değerlendirilmiştir. Öğrencilerin ilgi düzeylerinin artırılması gerektiği ve ayrıca meslek yaşamlarında bilgi eksikliğinin tamamlanmasında yaşam boyu öğrenmenin önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Peyzaj Mimarlığı, Öğrenci performans düzeyi, Yaşam boyu öğrenme

An Evaluation of the Students of Landscape Architecture Department Interest and Performance Levels in Indoor Plants Course

Abstract

This study is prepared based on the questionnaire study conducted over the students of Çukurova University, Faculty of Architecture, Department of Landscape Architecture, 2018-2019 Academic Year P-452 “Landscape Plants” course. The course based on recognizing the families, species of interior plants. The research process of this study is carried out with the aim of determining the interest and performance levels of the students of Department of Landscape Architecture, as well as increasing their performance in the courses related to the design projects in which plant material is predominantly used. The questionnaire study is used to achieve the target given. The data obtained is analysed with SPSS software, Chi-Square test and analysis of variance (ANOVA). As a result of the study, the correlation of students' interest in the course and their performance status on the grades received at the end of the semester is evaluated. It is concluded that students' interest levels need to be increased. Furthermore, how important lifelong learning is in completing the lack of knowledge in their professional lives.

Keywords: Landscape Architecture, Student performance level, Life-long learning

1. Giriş

Peyzaj mimarlığı, bireysel çalışmaların yanı sıra, farklı meslek grupları ile multidisipliner çalışmalarda da önemli role sahip bir disiplindir. Planlama, yönetim, onarım ve tasarım olmak üzere dört temel çalışma alanında faaliyet göstermektedir [1, 2]. Bu kapsamda bitki materyali ele alındığında, farklı kapsam ve ölçeklerdeki uygulamalarda oldukça önemli bir öğe niteliği taşımakta olup, belirli süreçlerde ana materyal olarak kullanılmaktadır. Bir peyzaj mimarı adayının bitki materyalinin iç ve dış mekânlarda kullanımının işlevsel, estetik, psikolojik vb. amaçlarına hâkim olması oldukça önemli ve beklenen bir niteliktir [3, 4]. Bu durum ise, eğitim süreçlerinde bitki materyali ile ilgili bilgi düzeyinin geliştirilmesinin oldukça önemli olduğunun bir göstergesidir.

Peyzaj Mimarlığı Bölümlerinde verilen lisans eğitimi kapsamında, bitki materyali konusunun öğrencilere sistematik aktarımı amacıyla akademik programlarda farklı dersler yer almaktadır. Ders

*Sorumlu yazar: nbaykan@cu.edu.tr

Geliş Tarihi:01.07.2021, Kabul Tarihi: 29.08.2021

isimleri ve işleyişleri, kimi zaman üniversiteler arasında belirli farklılıklara sahip olsa da, genel çerçevede amaç ve kapsamın büyük ölçüde benzerlik gösterdiği ifade edilebilir. Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü ders programında seçmeli olarak yer alan “İç Mekân Bitkileri” dersi, bitki materyali eğitiminin tamamlayıcı bir ögesi olarak iç mekânda yapısal ve bitkisel tasarım uygulamalarını aydınlatıcı temel dersler arasında yer almaktadır. Ders teorik ve uygulamalı bir kapsamda yürütülmektedir. Bu çerçevede öncelikle, iç mekân bitkileri ve iç mekânda bitki yetiştiriciliği üzerine sistematik bir eğitim verilmektedir. Ardından, iç mekan bitkileri hakkında verilen literatür bilgisi doğrultusunda, öğrencilerin kendileri tarafından seçilen gerçek ya da hayal ürünü bir mekan için tasarım projeleri hazırlamaları; dönem sonunda final ödevi olarak hazırladıkları tasarım paftalarını ve proje raporlarını sunmaları istenmektedir. Böylelikle, edinilen teorik bilginin aktif kullanımı teşvik edilmektedir.

Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 2018-2019 Öğretim Yılı P-452 İç Mekân Bitkileri dersini alan öğrencilerinin performanslarının ve ilgi düzeylerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma yürütülmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda, bu dersin yanı sıra, bitki materyalinin ağırlıklı kullanıldığı ilgili stüdyo derslerinin kazanımlarının artırılmasına yönelik belirli öneriler geliştirilerek; Peyzaj Mimarlığı eğitim süreçlerine ve yaşam boyu öğrenme yaklaşımına katkı sağlanması hedeflenmiştir. Çalışmanın sonucunda, öğrencilerin derse olan ilgi düzeyleri ve performans durumlarına yönelik anket sonuçlarına dayalı çıkarımlar ile dönem sonu alınan notlara olan etkisi değerlendirilmiştir.

1.1. Araştırmanın Bilimsel Çerçevesi

- Öğrenci Performans Düzeylerinin Yaşam Boyu Öğrenme Üzerine Etkisi

Eğitim kazanımları, ölçme-değerlendirme süreçleri sonunda belirlenen “dönem sonu notu” çıktısının öğrencinin başarı durumunu nitelendirmede temel gösterge olması ile ilişkilendirilmektedir. Norm dayanaklı değerlendirme olarak tanımlanan sınıf içi düzeyi ise, öğrencinin başarısını nicelik olarak yorumlamaya yardımcı bir ölçüt olarak görülmektedir [5, 6, 7, 8, 9]. Esasen, bir öğrencinin başarısının, yürütülen derslerin işleyişi ve verimliliği ile ilişkili olarak, dersin kazanımlarını profesyonel hayata ne derece aktarabildiği ile ilişkili olduğu ifade edilebilir. Her dersin içeriği ve öğrenim hedefleri çerçevesinde (dersin teorik ya da uygulama olmasına bağlı olarak değişim göstermekle birlikte) belirli faktörler bu ilişkiyi şekillendirmede etkin rol oynar. Bu faktörler temelde; (i) Öğrenci ilgi düzeyi ve derse katılım oranı, (ii) Öğretim elemanı/elemanları performans düzeyi, (iii) dersin işleyişini destekleyen donanım ve araçların mevcudiyeti vb. olarak sıralanabilir. Tekin (1991), eğitim süreçlerinde öğrenci kazanımlarının belirlenmesi amacıyla, ilgili konularda belirlenen bir metodoloji ile performansın ölçülmesi gerektiğini ifade etmiştir [10]. Sezer (2005) ise performans düzeyinin belirlenmesini öğrencinin mevcut bilgileri ile neler yapabileceğini sergileme biçimini belirlemede önemli olduğunu vurgulamıştır [8].

Öğrenci ilgi düzeyinin yüksek olması, öğrencinin ders kazanımlarını artırmada ve dersin çıktılarını doğru yorumlamada öncelikli faktörlerden biri olarak ifade edilebilir. Özellikle üniversite eğitimi sürecinde ilgi düzeyi yüksek bir öğrencinin, dersin profesyonel hayatına en etkin bir şekilde katkı sağlaması üzerine düşünmekte ve ağırlıklı olarak bu kazanımları güçlendirmeye yönelik öğretim elemanlarına sorular yönelttiği gözlenmektedir. Böylelikle, yaşam boyu öğrenmeye yönelik bir altyapı hazırlanmakta ve öğrenim faaliyeti çok boyutlu bir kazanım edinmektedir.

Yaşam boyu öğrenmeye yönelik öncül bir çalışma niteliğindeki Faure (1972) tarafından UNESCO bünyesinde hazırlanan raporda temel nitelikler tanımlanmıştır [11]. Bu kapsamda; eğitim ve öğrenim kazanımlarının yaşam kalitesini artırmada temel bir araç olarak toplumun her kesimi tarafından erişilebilirliğinin desteklenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, öğretimin planlanması ve hedef belirlenmesine ilişkin çok boyutlu bir süreç yönetimi esas kabul edilmiştir.

Bu doğrultuda ifade edilebilir ki; özellikle üniversite öğrencilerinin farklı derslerdeki eğitim-öğretim faaliyetlerine yönelik başarısı, yalnızca dönem sonu notu ile sınırlandırılmamalı, öğrencinin dersin kazanımlarını aktif olarak profesyonel yaşamına aktarabilme potansiyeli de göz önüne alınmalıdır. Öğrencilerin derslere yönelik ilgi ve performans düzeylerinin belirlenmesi, öğretim elemanlarının bu konuda farkındalık kazanarak dersin işleyişine yönelik farklı açılarda belirli

düzenlemeler getirmesini destekleyebilir. Bunun yanı sıra, ders kazanımlarını artırma amacıyla yeni metodolojilerin izlenmesi de yaşam boyu öğrenme hedefinde önemli bir adım olacaktır.

- Peyzaj Mimarlığı Disiplininde Bitkisel Materyalin Yeri

Farklı ölçekteki kamusal ya da özel alanlarda yürütülen tasarım uygulamalarının öncelikli materyali olarak bitkiler, tasarım uygulamalarının doğa ile bütüncül bir nitelik kazanmasını destekleyici niteliktedir. Farklı araştırmalarda, sağlıklı bir çevre ve yaşanabilir kentler oluşturmak amacıyla bitki materyalinin doğru ve yerinde kullanımına dikkat çekilmiştir [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Estetik ya da işlevsel amaçlı kullanılan bitki materyalinin sağladığı faydalar çok yönlü bir boyuta sahiptir. İşlevsel boyutta; hava kalitesini yükseltme, biyoklimatik konforu destekleme, rüzgar ve gürültü perdeleme vb. olarak sıralanabilir. Estetik ve psikolojik boyutta değerlendirildiğinde ise; bireysel motivasyonu yükseltme, zindelik katma, görsel estetik beğeni sunma vb. etkiler görülmektedir [21, 22]. Bu nedenle, iç mekan ya da dış mekanlara yönelik geliştirilen ve ilgili projelerin bitkisel tasarım süreçlerinde kullanılacak bitki materyalinin seçimi dikkat edilmesi gereken bir çalışma aşamasıdır.

Doğan ve Küçükerbaş (2021) tarafından bitki materyalini etkin olarak kullanan, planlama ve tasarım konularında faaliyet gösteren meslek disiplinleri arasında peyzaj mimarlığının öne çıktığı ifade edilmektedir [23].

- Araştırmanın Kuramsal Çerçevesi

Araştırma sürecinin şekillenmesini destekleyen araştırma konusu ve bu kapsamda belirlenen araştırma sorusu aşağıda verilmiştir:

Araştırma konusu: Peyzaj tasarım süreçlerinde bitki materyalinin yeri ve önemine bağlı olarak, Peyzaj Mimarlığı lisans öğrencilerinin profesyonel yaşamlarındaki başarılarını güçlendirme amacıyla bitki materyali ile ilgili derslere olan ilgi ve performans düzeylerinin yükseltilmesinin önemi

Araştırma sorusu: Peyzaj Mimarlığı Bölümü öğrencilerinin “İç Mekan Bitkileri” dersi kapsamındaki ilgi ve performans düzeylerini etkileyen temel faktörler nelerdir?

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırmanın Kapsamı ve Yöntemi

Yürütülen çalışma, kesitsel tarama araştırması türündedir. Çalışmanın hedef kitlesi ve örneklemini, Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 2018-2019 Öğretim Yılı P-452 “İç Mekan Bitkileri” dersini alan öğrenciler oluşturmaktadır. Dersi alan öğrencilerin performans düzeylerinin önceki yıllara oranla oldukça düşük olması nedeniyle hazırlanan anket ile ilgi düzeylerinin ve gözlemlenen sorunun kaynağının belirlenmesi hedeflenmiştir. Anket çalışması, Peyzaj Mimarlığı Bölümü ve aynı Fakültenin İç Mimarlık Bölümünden dersi alan 32 öğrenciye uygulanmıştır. Bu nedenle, evren ve örneklem sayıları birbirine eşittir.

Üç bölümden oluşan anket formunun ilk bölümünde sosyokültürel durumun, ikinci bölümde öğrencinin dönem içi ders yoğunluğu ve ders ile ilgili görüşlerinin, üçüncü bölümde ise öğrenci performans düzeylerinin belirlenmesine yönelik sorular yer almaktadır. Anket formu, cevapların anonim olması ile ilgili soru işaretine yer verilmemesi amacıyla öğrencilere sınıf ortamında dağıtılıp eş zamanlı uygulanmıştır. Anket formunda birinci bölümde 6 adet çoklu cevaplı, ikinci bölümde 3 adet açık uçlu ve üçüncü bölümde 20 adet likert tipi soru yer almaktadır.

Anketlerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistik yöntemleri arasından Crosstabs Analizi kullanılmıştır. Cevapların frekans değerleri SPSS 22.0 (IBM SPSS Statistics 22.0), Chi-Square (Ki Kare) testi ve varyans analizi (ANOVA) yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2. Araştırmanın Varsayımları

Yürütülen araştırma kapsamındaki varsayımlar; (i) Veri toplama teknikleri arasında tercih edilen “anket” tekniğinin güvenilir ve geçerli bir teknik olduğu, (ii) Deneklerin anket formunda yer alan

sorulara verdiği cevapların geçerli ve güvenilir olduğu, (iii) Ankete katılan öğrencilerin bu dersi alan bütün öğrencileri temsil ettiği şeklinde kabul edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında ulaşılan araştırma bulguları ve analiz sonuçları üç bölümde değerlendirilmiştir.

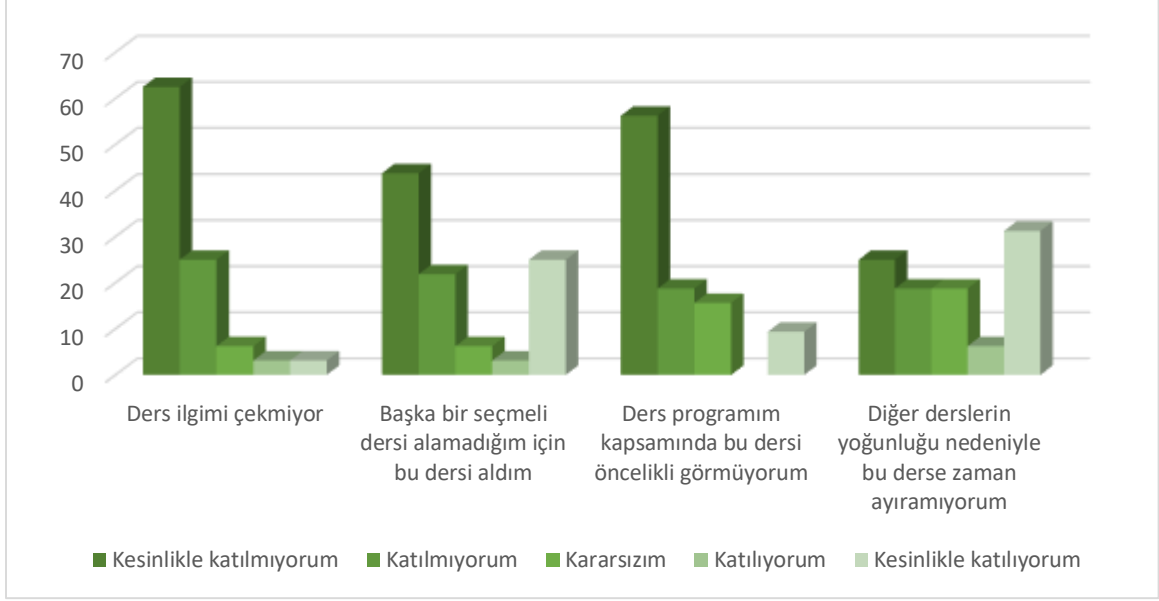
3.1. Tanımlayıcı İstatistikler

Öğrencilerin sosyo-ekonomik yapısı ile ilgili sorulara verdiği cevaplar tanımlayıcı istatistik yöntemleri (varyans, aritmetik ortalama, standart sapma) kullanılarak analiz edilmiştir. Anketin birinci bölümünde alınan cevaplar Tablo 1’de gösterilmektedir.

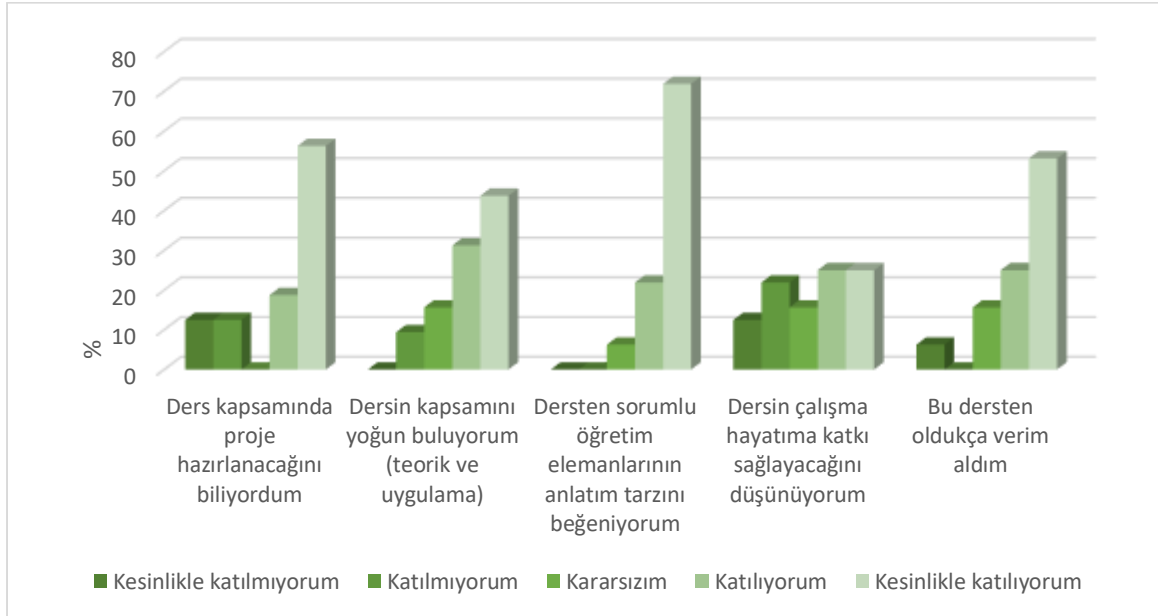
Tablo 1. Sosyoekonomik yapı ile ilgili verilen cevaplar		
Cinsiyet	Frekans	Yüzde
Kadın	23	71,9
Erkek	9	28,1
Yaş		
21	4	12,5
22	6	18,8
23	12	37,5
24	4	12,5
25	1	3,1
26	3	9,4
Kayıp	2	6,3
Bireysel Aylık Gelir Durumunuz		
Kyk öğrenim kredisi alıyorum	14	43,8
Burs alıyorum	6	18,8
Yarı/tam zamanlı çalışıyorum	7	21,9
Aile desteği	4	12,5
Hiçbiri	1	3,1
Aile Birey Sayısı		
2-4 kişi	16	50,0
5-7 kişi	15	46,9
8-10 kişi	1	3,1
Ailede Çalışan Birey Sayısı		
0 kişi	3	9,4
1 kişi	15	46,9
2 kişi	5	15,6
3-5 kişi	9	28,1
Ailenizin Toplam Aylık Geliri		
0-2000 tl	6	18,8
2000-3000 tl	11	34,4
3000-4500 tl	5	15,6
4500-6000 tl	2	6,3
6000 tl ve üzeri	7	21,9
Kayıp	1	3,1
Toplam	32	100,0

Anketin ikinci bölümünde; (i) öğrencilerin dersi kaçınıcı defa aldıkları, (ii) dönemde sorumlu oldukları toplam ders ve bu kapsamda stüdyo dersi sayılarını belirlemeye yönelik açık uçlu sorular yer almaktadır. Bu bölümde ayrıca öğrencilerin derse yönelik görüşleri de yorum olarak istenmiş ve alınan cevaplar çalışmanın sonuç bölümündeki çıkarımlar üzerinde etkili olmuştur. Bu bölümde alınan cevaplar, çalışmanın ilerleyen aşamalarında üçüncü bölüm soruları ile analiz edilerek yorumlanmıştır (Bölüm 3.2.).

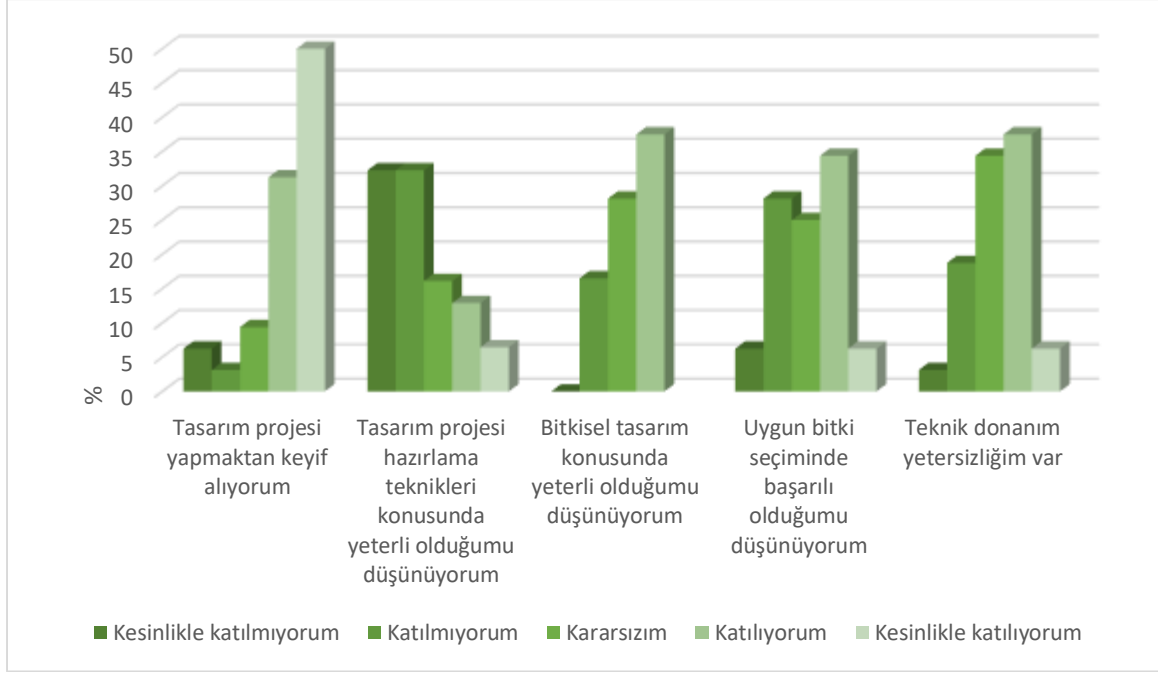
Anketin üçüncü bölümü, öğrencilerin gözlenen ilgi ve performans düzeyi düşüklüğünün temel nedenlerini belirlemeye yönelik olarak hazırlanan soruları içermektedir. Anketin üçüncü bölümünde alınan cevaplar aşağıda verilmiştir (Şekil 1; Şekil 2; Şekil 3; Şekil 4).



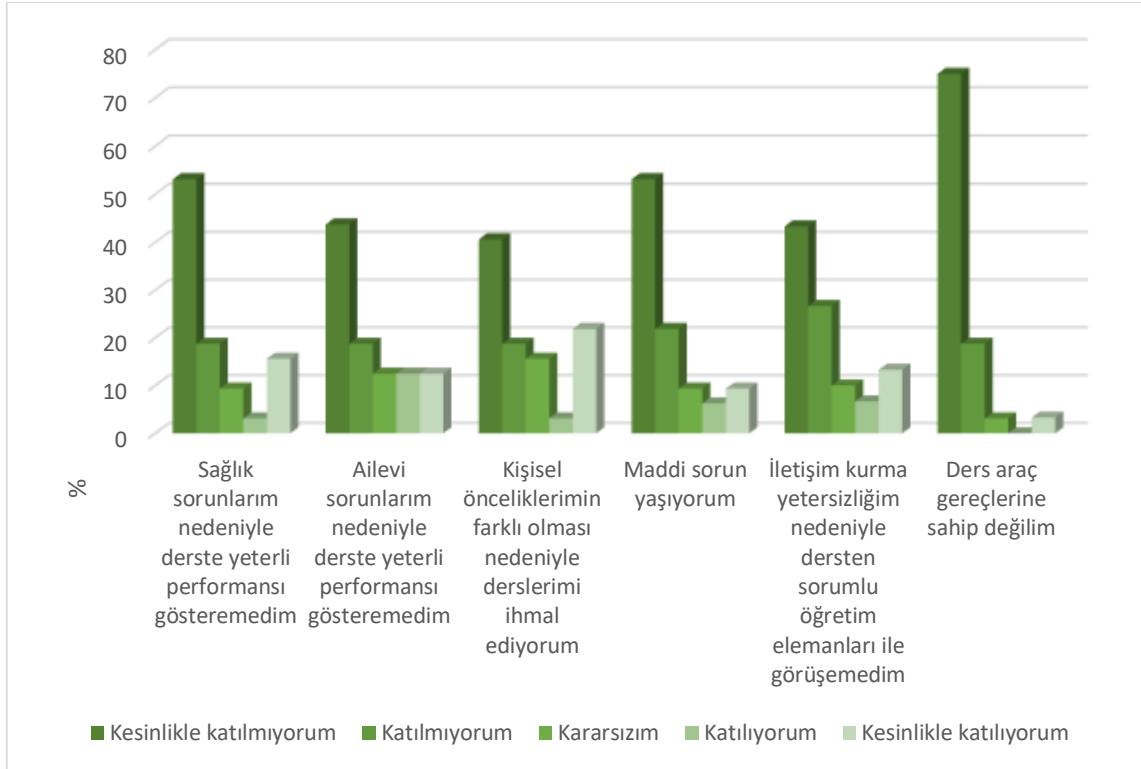
Şekil 1. Derse yönelik ilgi düzeyi ve öncelik



Şekil 2. Dersin işleyişi ve katkısı



Şekil 3. Proje hazırlama teknikleri yetkinliği



Şekil 4. Kişisel sorunlardan kaynaklı performans yetersizliği

3.2. ANOVA Analizi

Anket kapsamında yer alan belirli soruların, öğrencilerin ilgi ve performans düzeylerinin değişkenliği ile ilgili olarak karşılaştırmalı analizi ANOVA analizi kullanılarak değerlendirildiğinde aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 2; Tablo 3; Tablo 4; Tablo 5; Tablo 6; Tablo 7).

Tablo 2. Dönemde alınan toplam ders sayısının ders ilgi düzeyine etkisi

Ders ilgimi çekmiyor	N	Alınan toplam ders sayısı (\bar{X})	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
Kesinlikle katılmıyorum	20	9.90	2.634	.589	8.67	11.13	5	14
Katılmıyorum	8	9.00	4.440	1.570	5.29	12.71	1	13
Kararsızım	2	5.00	.000	.000	5.00	5.00	5	5
Katılıyorum	1	8.00	.	.	.	.	8	8
Kesinlikle katılıyorum	1	13.00	.	.	.	.	13	13
Toplam	32	9.41	3.261	.577	8.23	10.58	1	14

* P= 0.230, P>.05

Tablo 2’de görüldüğü gibi, yapılan varyans analizi sonucunda dönem içi alınan toplam ders sayısının ders ilgi düzeyi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı farklar oluşturmadığı belirlenmiştir (P=0.230, P>0.05). Ders ile ilgili olduğunu ifade eden toplam 28 öğrencinin ders yoğunluğu 9 ve 10 ders aralığındadır.

Tablo 3. Tasarım projesi hazırlama eğilimi ve teknik donanım yetersizliği ilişkisi

Tasarım projesi yapmaktan keyif alıyorum	N	Teknik donanım yetersizliğim var (\bar{X})	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
Kesinlikle katılmıyorum	2	2.5000	.70711	.50000	-	3.8531	2.00	3.00
Katılmıyorum	1	5.0000	.	.	.	.	5.00	5.00
Kararsızım	3	1.6667	.57735	.33333	.2324	3.1009	1.00	2.00
Katılıyorum	10	2.4000	.84327	.26667	1.7968	3.0032	1.00	4.00
Kesinlikle katılıyorum	16	2.4375	1.54785	.38696	1.6127	3.2623	1.00	5.00
Toplam	32	2.4375	1.29359	.22868	1.9711	2.9039	1.00	5.00

* P=0.230, P>.05

Tablo 3’te, tasarım projesi hazırlama eğilimi ve teknik donanım yetersizliği ilişkisi arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olmadığı saptanmıştır (P=0.295, P>0.05). Tasarım projesi hazırlamaktan keyif aldığını ifade eden toplam 26 öğrenci teknik donanım düzeylerinin yeterli olduğunu ifade etmiştir.

Tablo 4. Bitkisel tasarım çalışmalarında uygun bitki seçimi yeterliliği

Bitkisel tasarım konusunda yeterli olduğumu düşünüyorum	N	Uygun bitki seçiminde başarılı olduğumu düşünüyorum (\bar{X})	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
Kesinlikle katılmıyorum	2	1.5000	.70711	.50000	-	4.8531	1.00	2.00
Katılmıyorum	9	2.7778	.83333	.27778	2.1372	3.4183	2.00	4.00
Kararsızım	8	3.0000	.53452	.18898	2.5531	3.4469	2.00	4.00
Katılıyorum	11	3.9091	.53936	.16262	3.5467	4.2714	3.00	5.00
Kesinlikle katılıyorum	2	4.5000	.70711	.50000	-	10.8531	4.00	5.00
Toplam	32	3.2500	.95038	.16801	2.9074	3.5926	1.00	5.00

* P=0.000, P<.001

Tablo 4'te, bitkisel tasarım projesi hazırlama konusundaki bireysel yeterli olma ve uygun bitki seçimindeki başarı düzeyi interaksyonunun, yapılan varyans analizi sonucunda çok yüksek düzeyde istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturduğu tespit edilmiştir ($P=0.000$). Bitkisel tasarım konusunda yeterli olduğunu düşünen toplam 13 öğrenci, uygun bitki seçiminde de başarılı olduklarını ifade etmektedir. Bunun yanı sıra, bitkisel tasarım konusunda yeterli olduğunu düşünmeyen toplam 11 öğrenci, uygun bitki seçimi ile ilgili olarak kendilerini başarılı bulmamaktadır.

Tablo 5. Ders araç gereçlerine sahip olmanın dersin uygulamalı kapsamı ile ilişkisi

Ders araç gereçlerine sahip değilim	N	Ders kapsamında proje hazırlanacağını biliyordum (\bar{X})	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
Kesinlikle katılmıyorum	24	4.1250	1.39292	.28433	3.5368	4.7132	1.00	5.00
Katılmıyorum	5	3.4000	1.81659	.81240	1.1444	5.6556	1.00	5.00
Kararsızım	1	4.0000	.	.	.	.	4.00	4.00
Katılıyorum	0							
Kesinlikle katılıyorum	1	1.0000	.	.	.	.	1.00	1.00
Toplam	31	3.9032	1.51338	.27181	3.3481	4.4583	1.00	5.00

* $P=0.192$, $P>.05$

Tablo 5'te görüldüğü gibi, ders kapsamında proje hazırlanacağı hakkında bilgi sahibi olma ve ders araç gereçlerine sahip olma durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olmadığı saptanmıştır ($P=0.192$, $P>0.05$). Ders araç gereçlerine sahip olan toplam 29 öğrencinin, ders kapsamında proje hazırlanacağı ile ilgili bilgisi olduğu ve ders seçiminde bunu göz önünde bulundurduğu ifade edilebilir.

Tablo 6. Dersin beklenen katkısı ve öğrenci önceliği arasındaki ilişki durumu

Kişisel önceliklerimin farklı olması nedeniyle derslerimi ihmal ediyorum	N	Bu dersin çalışma hayatıma katkı sağlayacağını düşünüyorum (\bar{X})	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
Kesinlikle katılmıyorum	13	4.6154	.65044	.18040	4.2223	5.0084	3.00	5.00
Katılmıyorum	7	4.8571	.37796	.14286	4.5076	5.2067	4.00	5.00
Kararsızım	4	4.2500	.95743	.47871	2.7265	5.7735	3.00	5.00
Katılıyorum	1	5.0000	.	.	.	.	5.00	5.00
Kesinlikle katılıyorum	7	4.4286	.78680	.29738	3.7009	5.1562	3.00	5.00
Toplam	32	4.5938	.66524	.11760	4.3539	4.8336	3.00	5.00

* $P=0.587$, $P>.05$

Tablo 6'da görüldüğü gibi, öğrencilerin kişisel önceliklerinin farklı olması nedeniyle dersi ihmal etme durumu ve bu dersin çalışma hayatlarındaki beklenen katkısı arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olmadığı saptanmıştır ($P=0.587$, $P>0.05$). Dersin çalışma hayatında katkı sağlayacağı görüşü genel ortalaması, bu dersin kişisel öncelikleri arasında yer almadığını ifade eden toplam 8 öğrenci dâhil olmak üzere tüm katılımcıların bu görüşü savunduğunu göstermektedir.

Tablo 7'de, dersten sorumlu öğretim elemanlarının anlatım tarzını beğenme durumu ve dersin çalışma hayatında sağlayacağı katkının dolaylı ilişkisi interaksyonunda sınırdan anlamlılık (marginally significant) değerinde olduğu tespit edilmiştir. Dersin çalışma hayatında katkı sağlayacağını düşünen toplam 29 öğrencinin dersin anlatım tarzını beğenme oranlarının yüksek olması, bu dersin ağırlıklı olarak dikkatli dinlendiğini ve mesleki çalışma alanları ile ilgili önemli kazanımlar elde edildiği çıkarımı yapılabilir.

Tablo 7. Dersin anlatım tarzı ve edinilen kazanımlar arasındaki ilişki

Bu dersin çalışma hayatıma katkı sağlayacağını düşünüyorum	N	Dersten sorumlu öğretim elemanlarının anlatım tarzını beğeniyorum (\bar{X})	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
					Kesinlikle katılmıyorum	0		
Katılmıyorum	0							
Kararsızım	3	2.6667	1.52753	.88192	-	6.4612	1.00	4.00
Katılıyorum	7	3.8571	.69007	.26082	1.1279	4.4953	3.00	5.00
Kesinlikle katılıyorum	22	4.3182	1.24924	.26634	3.2189	4.8721	1.00	5.00
Toplam	32	4.0625	1.24272	.21968	3.6145	4.5105	1.00	5.00

* P=0.082, P<.1

3.3. Anket Sonuçlarının Ki-Kare Testi ile Değerlendirilmesi

Bu araştırma, İç Mekân Bitkileri dersinde öğrenci ilgi ve performans düzeyini belirleme ve değerlendirme amacıyla yürütülmüş; bu doğrultuda Ki Kare testi kullanılarak, öğrencilerin sosyo-ekonomik verileri ile derse olan tutumları arası ilişkiler değerlendirilmiştir. Bağımsız gruplar ile değişkenler karşılaştırılarak, çok değerli kategorik veriler bilinen varsayımlar doğrultusunda test edilmiştir. SPSS programı ile her bir karşılaştırmanın Pearson Chi-Square (Ki Kare) değeri hesaplanarak bir matris tablosu oluşturulmuştur (Tablo 8).

Tablo 8. Ki Kare değerlerinin gösterimi

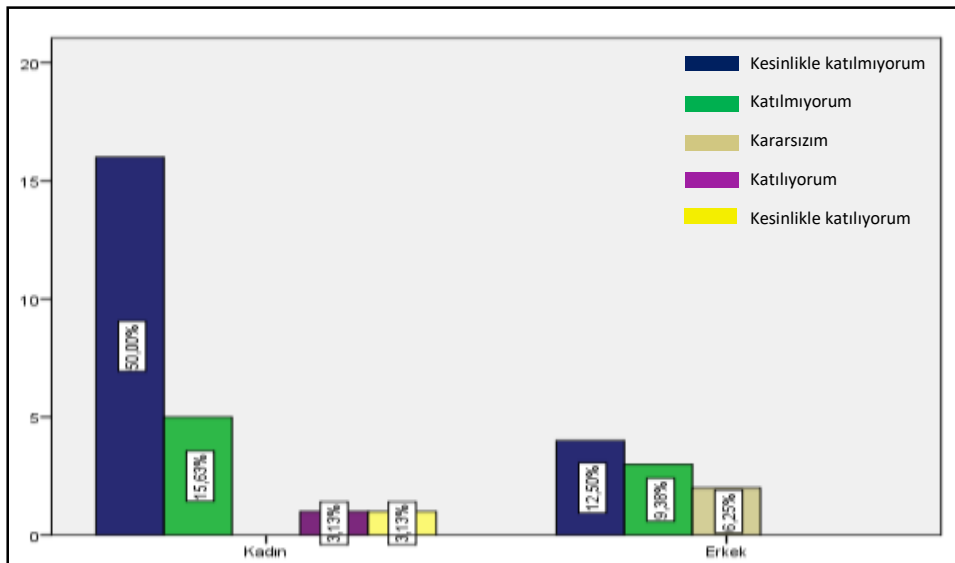
	k1	k2	k3	k4	k5	k6	d1
İlgi 1	0.143	0.013	0.915	0.782	0.127	0.293	0.000
İlgi 2	0.145	0.243	0.280	0.671	0.261	0.896	0.982
İlgi 3	0.088	0.389	0.559	0.864	0.711	0.910	0.000
İlgi 4	0.332	0.642	0.697	0.079	0.454	0.597	0.261
Ders 1	0.082	0.858	0.031	0.464	0.679	0.464	0.131
Ders 2	0.096	0.250	0.134	0.541	0.329	0.567	0.481
Ders 3	0.565	0.470	0.665	0.757	0.935	0.188	0.662
Ders 4	0.454	0.611	0.011	0.972	0.594	0.927	0.937
Ders 5	0.363	0.052	0.463	0.041	0.211	0.280	0.172
Proje 1	0.521	0.008	0.677	0.737	0.376	0.464	0.000
Proje 2	0.146	0.785	0.302	0.035	0.517	0.821	0.105
Proje 3	0.093	0.401	0.067	0.428	0.067	0.584	0.006
Proje 4	0.481	0.538	0.269	0.091	0.841	0.619	0.030
Proje 5	0.001	0.647	0.563	0.881	0.023	0.421	0.019
Sorun 1	0.506	0.029	0.527	0.051	0.326	0.463	0.815
Sorun 2	0.136	0.074	0.127	0.982	0.606	0.278	0.823
Sorun 3	0.187	0.448	0.316	0.627	0.177	0.238	0.389
Sorun 4	0.183	0.320	0.554	0.524	0.868	0.006	0.824
Sorun 5	0.378	0.508	0.389	0.206	0.135	0.561	0.468
Sorun 6	0.684	0.439	0.375	0.656	0.278	0.539	0.000
k1:	Cinsiyetiniz nedir?						
k2:	Yaş aralığınız nedir?						
k3:	Bireysel aylık gelir durumunuz nedir?						

k4:	Evde yaşayan toplam birey sayısı kaçtır?
k5:	Ailede çalışan birey sayısı nedir?
k6:	Hane halkının toplam aylık gelir aralığı nedir?
d1:	P-452 İç Mekan Bitkileri dersini kaçınıcı defa alıyorsunuz?
İlgi 1:	Ders ilgimi çekmiyor.
İlgi 2:	Başka bir seçmeli ders alamadığım için bu dersi seçtim.
İlgi 3:	Ders programım kapsamında bu dersi öncelikli görmüyorum.
İlgi 4:	Diğer derslerden zaman ayıramıyorum.
Ders 1:	Ders kapsamında proje hazırlanacağını biliyordum.
Ders 2:	Dersin kapsamını yoğun buluyorum (teorik ve pratik kapsamda olması).
Ders 3:	Dersten sorumlu öğretim elemanlarının anlatım tarzını beğeniyorum.
Ders 4:	Bu dersin çalışma hayatıma katkı sağlayacağını düşünüyorum.
Ders 5:	Bu dersten oldukça verim aldım.
Proje 1:	Tasarım projesi yapmaktan keyif alıyorum.
Proje 2:	Tasarım projesi hazırlama teknikleri konusunda yeterli olduğumu düşünüyorum.
Proje 3:	Bitkisel tasarım konusunda yeterli olduğumu düşünüyorum.
Proje 4:	Uygun bitki seçiminde başarılı olduğumu düşünüyorum.
Proje 5:	Teknik donanım (program kullanma) yetersizliğim var.
Sorun 1:	Sağlık sorunlarım nedeniyle derste yeterli performansı gösteremedim.
Sorun 2:	Ailevi sorunlarım nedeniyle derste yeterli performansı gösteremedim.
Sorun 3:	Kişisel önceliklerimin farklı olması nedeniyle derslerimi ihmal ediyorum.
Sorun 4:	Maddi sorunlar yaşıyorum.
Sorun 5:	İletişim kurma yetersizliğim nedeniyle dersten sorumlu öğretim elemanları ile görüşemedim..
Sorun 6:	Ders araç gereçlerine sahip değilim

3.3.1. Anket Sonuçlarının Crosstab Analizi ile Değerlendirilmesi

Araştırmanın bu bölümünde, öğrencilerin yöneltilen anket sorularına verdikleri cevapların sosyo-ekonomik verilere göre dağılımı saptanmıştır. Bu kapsamda yaş grubu, eğitim düzeyi ve gelir durumu cevaplarının büyük oranda benzerlik göstermesi nedeniyle cinsiyet faktörü ele alınarak, bu faktörün belirli sorular üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analiz kapsamında 140 adet histogram tablosu oluşturulmuştur. Ki Kare testi sonucunda oluşturulan Tablo 8’de verilen Asymp.Sig. (2-sided) değeri 0.05 ve altı olanlar değerlendirmeye alınmış ve güvene dayalı ilişkiler ortaya konmuştur. Grafikler soruların anket formunda yer alan sıraları doğrultusunda verilmiştir.

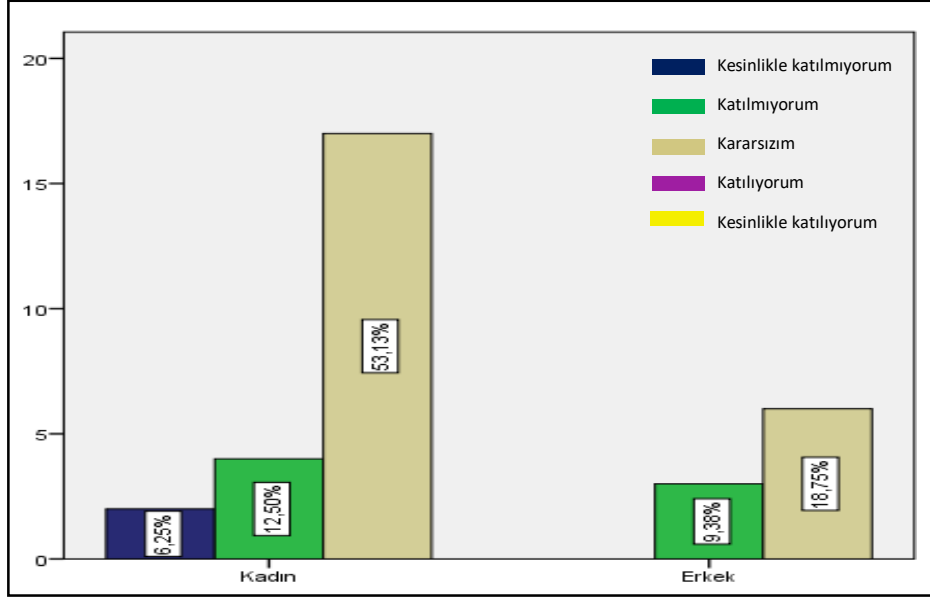
Anket soruları kapsamında ilk sırada yer alan “Ders ilgimi çekmiyor”, araştırmanın temel sorusuna aranan cevabı belirlemeye büyük oranda yardımcı niteliktedir. Verilen cevaplar doğrultusunda, araştırmanın yönü netlik kazanacaktır. Araştırma konusu ve sorusu göz önüne alındığında, bu soruya verilen cevaplar arasında *katılmıyorum* ve *kesinlikle katılmıyorum* oranının düşük olması öngörülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. “İlgi 1” sorusuna verilen cevap grafiği

Şekil 5 incelendiğinde, öğrencilerin cinsiyetlerine göre “*Ders ilgimi çekmiyor*” yargısına verdiği cevaplar (kadın öğrencilerin cevapları ağırlıklı olmak üzere) öngörünün gerçekleşmediğini ifade etmektedir. Bu durum doğrultusunda, araştırma sorusu kapsamında aranan cevabın farklı nedenleri olduğu çıkarımı yapılabilir.

Şekil 6’da öğrencilerin cinsiyetlerine göre “*Bu dersin çalışma hayatıma katkı sağlayacağını düşünüyorum*” yargısına verdiği cevapların dağılımı gösterilmiştir. Araştırma konusu ve sorusu göz önüne alındığında, bu soruya verilen cevaplar arasında *katılmıyorum* ve *kesinlikle katılmıyorum* oranının yüksek olması öngörülmektedir.



Şekil 6. “Ders 4” sorusuna verilen cevap grafiği

Şekil 6 incelendiğinde, öğrencilerin verdiği cevapların cinsiyetlerine göre dağılımları ağırlıklı olarak *kararsızım* ve *katılmıyorum* yönündedir. Bu durum doğrultusunda, öngörünün belirli oranda gerçekleştiği çıkarımı yapılabilir.

Şekil 7’de öğrencilerin cinsiyetlerine göre “*Tasarım projesi hazırlama teknikleri konusunda yeterli olduğumu düşünüyorum*” yargısına verdiği cevapların dağılımı gösterilmiştir. Bu soruya verilen cevaplar arasında *katılmıyorum* ve *kesinlikle katılmıyorum* oranının yüksek olması öngörülmektedir.

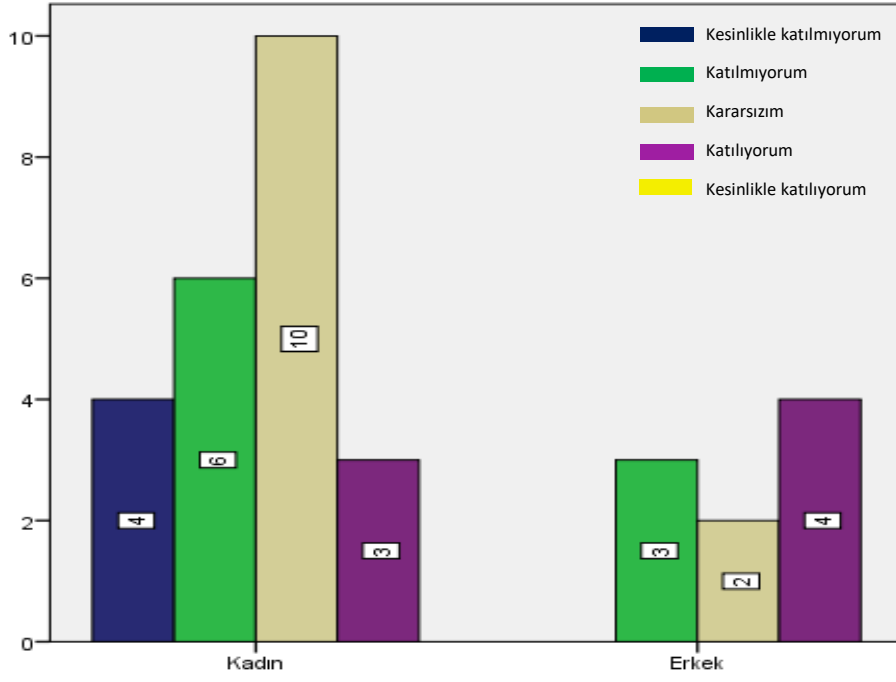
Şekil 7 incelendiğinde, öğrencilerin verdiği cevaplar arasında ağırlıklı olarak *katılmıyorum* ve *kararsızım* görülmektedir. *Kesinlikle katılıyorum* cevabının ise yer almadığı görülmektedir. Bu durum doğrultusunda, öngörünün belirli oranda gerçekleştiği çıkarımı yapılabilir.

Şekil 8’de öğrencilerin cinsiyetine göre “*Uygun bitki seçiminde başarılı olduğumu düşünüyorum*” yargısına verdiği cevapların dağılımı gösterilmiştir. Bu soruya verilen cevaplar arasında *katılmıyorum* ve *kesinlikle katılmıyorum* oranının yüksek olması öngörülmektedir.

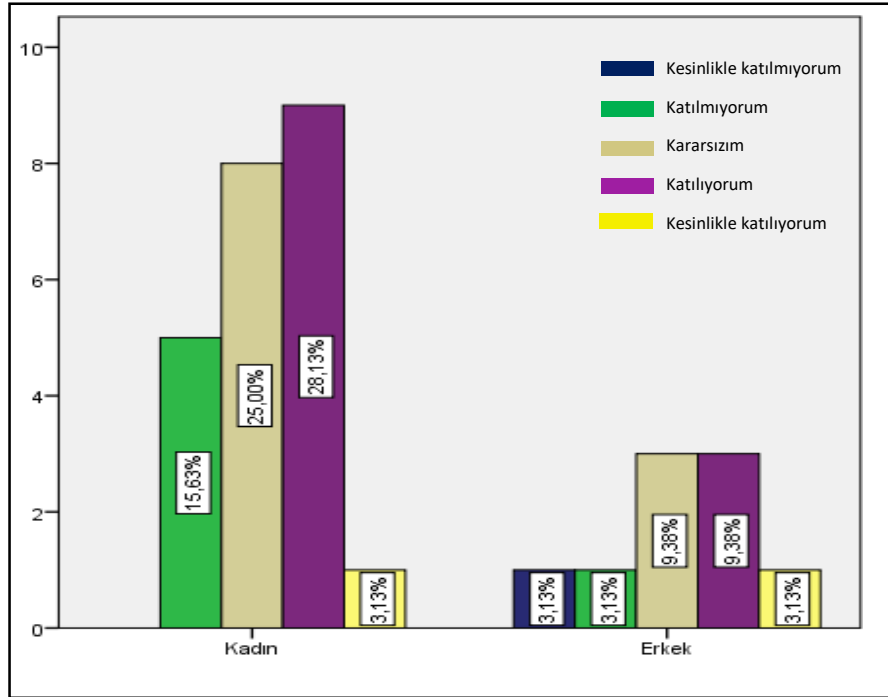
Şekil 8 incelendiğinde, öğrencilerin verdiği cevaplar arasında ağırlıklı olarak *kararsızım* ve *katılıyorum* görülmektedir. Kadın katılımcılar tarafından *kesinlikle katılmıyorum* cevabının vermediği görülmektedir. Bu durum doğrultusunda, öngörünün belirli oranda gerçekleştiği çıkarımı yapılabilir.

Şekil 9’da öğrencilerin cinsiyetlerine göre “*Ders araç gereçlerine sahip değilim*” yargısına verdiği cevapların dağılımı gösterilmiştir. Bu soruya verilen cevaplar arasında *kesinlikle katılıyorum* ve *katılıyorum* oranının yüksek olması öngörülmektedir.

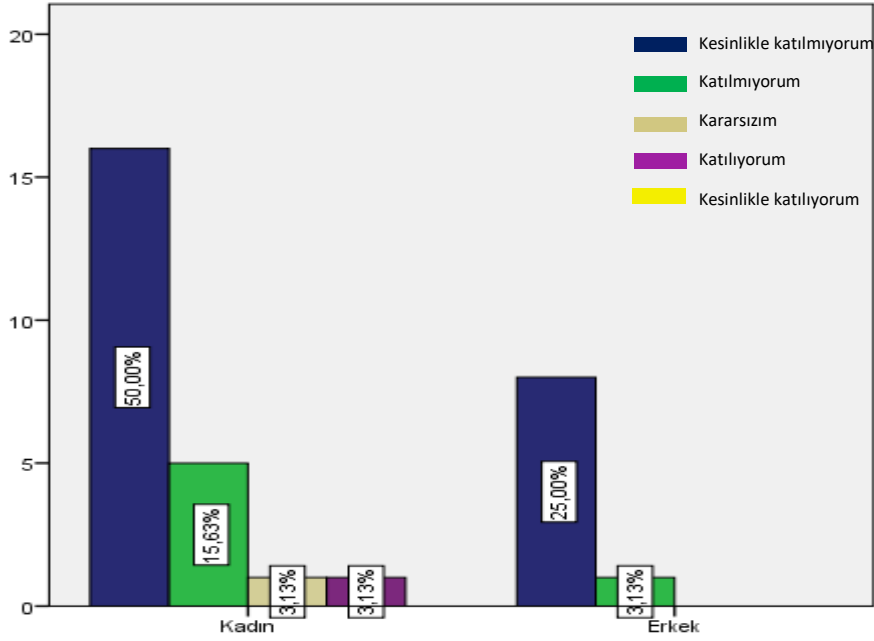
Şekil 9 incelendiğinde, öğrencilerin verdiği cevapların cinsiyetlerine göre dağılımları ağırlıklı olarak *kesinlikle katılmıyorum* ve düşük oranda *katılmıyorum* yönündedir. *Kesinlikle katılıyorum* cevabının ise vermediği görülmektedir. Bu durum doğrultusunda, öngörünün gerçekleşmediği görülmektedir.



Şekil 7. "Proje 2" sorusuna verilen cevap grafiği



Şekil 8. "Proje 4" sorusuna verilen cevap grafiği



Şekil 9. “Sorun 6” sorusuna verilen cevap grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Eğitim-öğretim kalitesinin değerlendirilmesi vb. amaçlarla uygulanan anket çalışmaları, öğrenci/öğretim elemanı performanslarının artırılması amacıyla yükseköğretim kurumları başta olmak üzere eğitim kurumlarında sıklıkla yürütülen araştırmalar arasındadır [1, 7, 8, 24-28]. Bu çerçevede tamamlanan bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 2018-2019 Öğretim Yılı P-452 İç Mekân Bitkileri dersini alan öğrencilerinin performanslarının ve ilgi düzeylerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma yürütülmüştür.

Elde edilen veriler analitik sonuçlar ve deneklerin açık uçlu sorulara verdiği yazılı yorumları doğrultusunda, seçmeli olan bu dersi alan öğrencilerin, dersin kapsamı ve işleyişi hakkında fikir sahibi olarak bu dersi seçtikleri görülmektedir. Anket formunda yer alan “*Ders ilgimi çekmiyor*” yargısına verilen cevaplar ile bu durum desteklenmektedir ve derse olan ilginin yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, derse ilgisi olan öğrencilerin çoğunluğunun (%87.5) dönem içinde 9 ve 10 dersten sorumlu olması ise, derse yönelik ilginin etkin performansa dönüşmesini engelleyen faktörler arasında gösterilebilir.

Alınan cevaplar doğrultusunda, dersi alan öğrencilerin tasarım projesi hazırlama teknikleri ve bitkisel tasarım kapsamında uygun tür seçimi konularında teknik altyapı yönünden ağırlıklı olarak sorun yaşamadıkları sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra, dersin işleyişi için gerekli olarak araç-gereçlere yüksek oranda sahip oldukları belirlenmiştir.

Dersteki ilgi ve performans düzeyinin düşük olması ile ilgili olarak en temel gerekçeler arasında, “*Bu dersin çalışma hayatıma katkı sağlayacağını düşünmüyorum*” yargısına verilen cevaplar doğrultusunda, öğrencilerin dersin profesyonel yaşamlarına yüksek oranda katkı sağlayacağını düşünmedikleri sonucu elde edilmiştir. Bununla beraber, dönem içinde fazla sayıda tasarım stüdyosu derslerinden sorumlu olmalarının da, derse olan ilgi ve performans düzeyinin düşmesi ve öğrenci çalışma veriminin azalması üzerinde etkili olduğu ifade edilebilir. Bu doğrultuda; teorik ve uygulama olmak üzere geniş bir kapsama sahip olan bu dersi alan öğrencilerin profesyonel yaşamlarında bu dersin kazanımlarını öngöremedikleri çıkarımı yapılabilir. Aynı zamanda, peyzaj mimarlığı meslek disiplininin yalnızca dış mekânda yürütülen tasarım süreçleri ile ilgili olması yanılgısı da bu çıkarımı kuvvetlendirmektedir.

Öğrencilerin dönem sonunda aldıkları notlar arasında AA notu yer almamaktadır. BA notu %3.13 (1 kişi), BB %12,5 (4), CB %21,8 (7), CC %3.13 (1), DC %9.38 (1), DD %3.13 (1), FF %18,75 (6) ve FG %28,13 (9) oranına sahiptir. FF ve FG oranının yüksek olması, ilgi ve performans düzeylerindeki yetersizlik ile bağlantılı bir sonuç olarak yorumlanabilir.

Çalışmanın sonucunda ifade edilebilir ki, Peyzaj Mimarlığı meslek disiplininin hedef ve ilkeleri temelinde çevresel sürdürülebilirliğin öncelikli sırada olması nedeniyle, peyzaj mimarları tasarım süreçlerinde bitki materyalinin ağırlıklı olarak kullanıldığı çalışmalar yürütmektedir. Değişen ölçek ve temalara sahip farklı tasarım çalışmalarının uygulama aşamaları bitki materyaline yönelik altyapıya hâkim olmayı gerektirmektedir. Bu nedenle, öğrencilere bu yönde farkındalık kazandırılarak bitkisel tasarım içerikli derslere yönelik ilgi düzeylerinin artırılması gerekmektedir. Edinilen bilginin hangi konuda ve ne amaçla kullanılacağı yönünde farkındalığa sahip öğrencilerin, profesyonel yaşamlarında daha başarılı olması beklenir. Bunun yanı sıra, meslek odaları ve üniversitelerin koordinasyonu ile gerçekleştirilen çeşitli eğitim-öğretim faaliyetleri kapsamında yaşam boyu öğrenme ile ilgili çalışmalar yürütülebilir. Öğrencilerin katılımı ile bu süreç mesleğe bakış açıları, istek ve bilgi düzeyleri üzerinde etki sağlayabilir. Ayrıca, peyzaj mimarlığı lisans eğitimi alan öğrencilerin bitki materyali konusundaki bilgi birikimi ve yeterliğinin meslek hayatındaki başarıyı destekleyeceğinden yola çıkılarak konu ile ilgili farklı ölçekte araştırmaların yürütülmesi, mevcut durumun belirlenmesine ve çözüm önerileri geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar tarafından belirtilen herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Yücel M., Uslu C., Say N.P. 2003. Çukurova Üniversitesi Personel ve Öğrencilerinin Çevre Duyarlılıklarının Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Projesi, Proje No: BAP – PM 2002-01. Adana.
- [2] Korkut A., Şişman E., Özyavuz M. 2010. Peyzaj Mimarlığı. Verda Yayıncılık, İstanbul.
- [3] Söğüt Z. 1998. Su Bitkileri ve Peyzaj Mimarlığında Kullanımı. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 122 Ders Kitapları No: 35, Adana.
- [4] Baykan N. M., Birişçi T. 2013. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçesi Örneğinde Sürdürülebilir Peyzaj Tasarımı Yaklaşımıyla Xeriscape. V. Ulusal Süs Bitkileri Kongresi, Yalova.
- [5] Gronlund N.E. 1981. Measurement And Evaluation Teaching, Macmillan Publishing Co., Inc. New York.
- [6] Ebel R.L. 1987. Essentials of Educational Measurement. New Jersey: Englewood Cliff.
- [7] Tural N.K. 2002. Öğrenci Başarısında Etkili Okul Değişkenleri ve Eğitimde Verimlilik. Ankara University Journal of Faculty of Educational Sciences (JFES), 35 (1), 39-54.
- [8] Sezer S. 2005. Öğrencinin Akademik Başarısının Belirlenmesinde Tamamlayıcı Değerlendirme Aracı Olarak Rubrik Kullanımı Üzerinde bir Araştırma. Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 18 (18): 61-69.
- [9] Mani A. 2016. Measurement and Evaluation in Education. Directorate of Distance Education, Tripura University, Vikas Publishing House, Nodia.
- [10] Tekin H. 1991. Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme, Yargı Kitap ve Yayınevi, Ankara.
- [11] Faure E., Herrera, F., Kaddoura, A., Lopes, H., Petrovsky, A., Rahnama, M., Ward, F.C. 1972. Learning to be. The world of education today and tomorrow. Paris: UNESCO/Harrap.
- [12] Orçun E. 1975. Peyzaj Mimarisi Dendroloji Cilt II, Yapraklı Ağaç-Ağaççıkların Özellikleri ve Peyzaj Mimarisinde Kullanılışları Ders Kitabı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları no. 266, Ege Üniversitesi Matbaası, Bornova, İzmir.

- [13] Booth N.K. 1990. Basic Elements of Landscape Architectural Design. ISBN: 0-88133-478-2, Waveland Press Inc., USA.
- [14] Gül A., Küçük V. 2001 Kentsel Açık-Yeşil Alanlar ve Isparta Kenti Örneğinde İrdelenmesi, S.D.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Sayı 2, Isparta, s. 27-47.
- [15] Parsons R., Daniel T.C. 2002. Good looking: In defense of scenic landscape aesthetics. Landscape and Urban Planning, 60: 43-56.
- [16] Ekici B., Sarıbaş M. 2006. Bartın Kenti Peyzaj Düzenlemelerinde Kullanılan Bitki Materyali Üzerine Bir Araştırma. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 8 (9): 1-9.
- [17] Erdoğan E., Yazgan M.E. 2007. Kentlerde Trafik Gürültüsü Sorununu Azaltmada Peyzaj Mimarlığı Çalışmaları: Ankara Örneği . Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4 (2), 201-210.
- [18] Kösa S., Atik, M. 2013. Bitkisel peyzaj tasarımında renk ve form; çınar (*Platanus orientalis*) ve sığla (*Liquidambar orientalis*) kullanımında peyzaj mimarlığı öğrencilerinin tercihleri. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 14 (1): 13-24.
- [19] Surat H. 2017. Kent Parklarının Görsel Peyzaj Algısının Peyzaj Mimarlığı Öğrencileri Tarafından Değerlendirilmesi . Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19 (1): 70-80.
- [20] Şahin C., Çalık, H. 2021. Konut Bahçelerinde Peyzaj Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: İzmir İli Kemalpaşa İlçesi Örneği . Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12 (1): 41-53.
- [21] Ulrich R.S. 1979. Visual Landscapes and Psychological Well Being. Landscape Research, 4 (1): 17-23.
- [22] Söğüt Z., Yalçınkaya N. M. 2019. Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İç Mekan Bitkileri Dersi Notları.
- [23] Dogan Y.E., Küçükberbaş, E. 2021. Peyzaj Mimarlığı Lisansüstü Tezlerinde Bitki Materyali Bakımından Eğilimler. Peyzaj, 3 (1): 56-63.
- [24] Suanpang P., Petocz, P., Kalceff, W. 2003. Student Attitudes to Learning Business Statistics: Comparison of Online and Traditional Methods. Educational Technology & Society 7(3).
- [25] Acar M., Anıl D. 2010. Sınıf Öğretmenlerinin Performans Değerlendirme Sürecindeki Değerlendirme Yöntemlerini Kullanabilme Yeterlikleri, Karşılaştıkları Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TÜBAV Bilim Dergisi, 2 (3).
- [26] Shroff R.H., Deneen, C. C., Ng, E.M.W. 2011. Analysis of the technology acceptance model in examining students' behavioural intention to use an eportfolio system. Australasian Journal of Educational Technology c. 27 (4), 600–618.
- [27] Atik A., Yılmaz B., Aslan F., Ateş O., Taçoral E. 2013. Peyzaj Mimarlığı Öğrencilerinin Eğitim ve Meslekten Beklentilerinin İnönü Üniversitesi Örneğinde İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 3 (8): 2013.
- [28] Tandoğan E. 2021. Turizm Programlarında Sunulan E-Öğrenme Araçlarının Önem-Performans Analiziyle Değerlendirilmesi. Türk Turizm Araştırmaları Dergisi, 5/2021.

BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

YAZIM KURALLARI

İLK SUNUŞ FORMATI

Makaleler elektronik ortamda Word dosyası olarak sunulmalıdır. Makale, A4 kâğıda, 11 punto büyüklüğündeki Times New Roman fontuyla, tüm kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılarak, tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Makaleler 20 sayfayı geçmeyecek şekilde yazılmalı ve online olarak <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> adresinden gönderilmelidir. Kör hakemlik uygulamasından dolayı makale ana dosyasında yazar bilgileri verilmemelidir. Yazar bilgileri ayrı bir dosya yüklenerek verilmelidir. Bir sayıda aynı yazara ait en fazla 2 yayın bulunabilir. **Gönderiler, araştırma ve yayın etiğine uygun olmak zorundadır.** Makaleler aşağıda verilen düzene ve kurallara göre yazılmalıdır.

Makalenin ana bölümleri Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma, Sonuç ve Kaynaklardan oluşur.

Benzerlik Oranı: Gönderilen makalelerin benzerlik oranı %15'i geçmemelidir. Her bir benzerlik oranı ise %3'i geçmemelidir.

Makale Dili: Türkçe veya İngilizce'dir.

Başlık: İçeriğe uygun, kısa ve anlaşılır olmalıdır. Türkçe ve İngilizce başlıklar Times New Roman, 14 punto, kalın (**bold**), ilk harfleri büyük ve ortalanarak yazılmalıdır.

Yazar isimleri ve adresleri: Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, ilk harf büyük ve soyadı büyük harflerle, 12 punto, ortalı olarak yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (1, 2, 3, gibi). Sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız sembolü olmalıdır

(*). Yazarların tam adresleri isimlerinin hemen alt kısmına küçük harflerle (İlk harfler büyük), ortalı, italik ve 10 punto yazılmalı, sorumlu yazarın e-mail adresi ilk sayfanın sol alt köşesinde (*) sembolü ile belirtilmelidir.

Özet ve Anahtar kelimeler (Summary ve Keywords): Makalede Türkçe ve İngilizce öz olmalı ve makale özü en az 75, en fazla 250 sözcük içerecek şekilde 10 punto olarak yazılmalıdır. Her iki özün hemen altında en az 3, en fazla 6 sözcükten oluşan Anahtar Kelimeler (Keywords) 10 punto olarak yazılmalıdır.

Ana Metin: Makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır ve numaralı olmalıdır. Tüm ana metin başlıkları sola yanaşık, İlk harfleri büyük diğerleri küçük harflerle, 11 punto ve kalın karakter olmalıdır. Alt başlıklar 11 punto yazılmalıdır. Metin; iki yana yaslı, paragraflar arası satır boşluğu kullanılmamalı, alt başlıklardan hemen sonraki ilk paragrafta girinti olmamalıdır.

Giriş: Konu hakkında kısa bir literatür bilgisi vermeli, sonunda çalışmanın amacı kısaca belirtilmelidir.

Materyal ve Metot: Detaylı ve açıklayıcı bir biçimde verilmelidir.

Bulgular ve Tartışma: Bu bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmeli, sonuçlar gerekirse şekil ve tablolarla da desteklenmelidir. Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır.

Sonuç ve Öneriler: Sonuçlar gereksiz tekrarlardan kaçınılarak mutlaka yorumlanmalıdır. Sonuçların başka araştırmalarla benzerlik ve farklılıkları verilmeli, bunların olası nedenleri tartışılmalıdır.

Teşekkür: Gerek görüldüğü takdirde ya da proje vs. kapsamında bir çalışma ise; çalışmada yardımcıları olan kişi(ler), kurum ve kuruluşlara yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür edilmelidir.

Kaynaklar: Kaynakların metin içinde gösterimi numara sırasına göre olmalıdır ([1], [2] v.b.). Makale içinde verilen her kaynak, makalenin Kaynaklar kısmında mutlaka yer almalıdır. Kaynaklar makale sonunda numara sırasına göre verilmelidir. Kaynakların makale sonundaki gösterimi aşağıdaki örneklerdeki gibi olmalıdır.

Kaynak bir makale ise;

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices. *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) letswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) letswaart from Turkey. *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

Kaynak bir kitap ise;

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, İstanbul, 1-1004.
2. Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası (Hayvan Coğrafyası). Meteksan Yayınları, Ankara, 1-965.

Kitap bölümü ise;

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. In: Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edited by Davis PH., Vol: 5, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams. In: Developments in Hydraulic Engineering 2, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd., Essex, UK, 153-173.

Kaynak sempozyum ise;

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, İzmir, 1168-1169.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress, Abstract Book, 8-11 April, Antalya, 63.

Web adresi;**İnternet kaynağın yazar ismi ve tarihi biliniyorsa;**

1. Şenel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Erişim Tarihi: 21.01.2007).

Yazar ve tarih isimleri bilinmiyorsa;

1. Biyolojik çeşitlilik, 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

Kaynak Tez ise;

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia* L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-348.

Kaynak Anonim ise;

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, 1-93.

Şekil ve Tablolar: Fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi göstermeler şekil olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Şekiller (Renkli ve siyah-beyaz fotoğraflar, siyah-beyaz çizimler, haritalar) metin içerisinde verilmelidir. Şekiller 16x20 cm den büyük olmamalıdır. Resim ve fotoğraflar en az 600 dpi çözünürlükte olmalıdır. Tüm tablo ve şekiller makale

boyunca sırayla numaralandırılmalı (Tablo 1., Şekil 1.), başlık ve açıklamalar içermelidir. Açıklamaların sonunda nokta veya virgül konulmamalıdır. Tablo başlıkları tablonun üstünde, şekil başlıkları ise şekil altında ortalı ve 10 punto olmalıdır.

Birim Sistemi: Makalelerde kullanılan birim sistemleri SI birim sistemlerine uyumlu olmalıdır.

Yayına Kabul Edilen Makalelerin Son Düzeltmelerindeki Dikkat Edilecek Hususlar

- Tüm kenar boşlukları (sağ, sol, üst ve alt) 2,5 cm ve satır aralığı tek olmalı,
- Özetler 10 punto, ana metin 11 punto olmalı,
- Makale başlıkları (Türkçe – İngilizce) 14 punto, kalın yalnızca ilk harfler büyük,
- Metin ana başlıkları 11 punto, kalın yalnız ilk harfler büyük,
- Alt başlıklar 11 punto, kalın ve sadece ilk harfi büyük olmalıdır.

BEU JOURNAL OF SCIENCE

Manuscript Preparation

Format of First Submission

Manuscripts should be submitted digitally as MS Word. Files should be prepared by using A4 paper size with 2.5 cm margin from all sides, in 11 font size and Times New Roman font with single space. Manuscripts should not exceed 20 pages and should be submitted via <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> web site. Author informations should not be given in the main file of the article due to blind review. Author informations should be given by uploading a different file. Up to 2 publications of the same author can be found in one issue. Submissions must comply with research and publication. Manuscripts should be written according to following rules and structure.

Main sections of the article are Introduction, Material and Methods, Results and Discussion, and References. An Acknowledgement section can be included before References.

Similarity Ratio: The similarity rate of submitted articles should not exceed 15%. Each similarity rate should not exceed 3%.

Manuscript Language: Turkish or English.

Title: It should a concise and clear phrase describing the content of the text. Both Turkish and English titles should be centered and bold in Times New Roman with 14 font size and First Letters Should Be Capitalized.

Author Names and Addresses: Full names of all authors are given below the title. Surnames (Family Names) and first letters of the Given Names should be capitalized with 12 font size as centered. Author names are separated by coma. Superscript Arabic letters (¹, ², ³, ect.) should be used to indicate addresses. Corresponding author should be indicated with an asterisk (*). Full addresses of the authors should be written with lower case italic letter and be centered (10 font) immediately after author names. E-mail address of the corresponding author should be given lower left corner of the first page, leading with an asterisk (*).

Abstract and Key Words: All manuscript should include Turkish and English abstracts and each abstract should be written in 1 font size including at least 75 words and at most 250 words. Keywords consisting of at least 3 words and at most 6 words should be written in 10 points just under both abstracts.

Main Text: Titles of main sections and subsections should be comprehensible and numbered. All main section titles should be left aligned, bold, and in 11 font size with capitalized first letters. Subsection titles should be in 11 font size. The text should be justified. There should be no space between paragraphs. Paragraphs following a title should not have first-line indent.

Introduction: A brief summary of the subject and the current literature should be given. The aim of the study should be briefly stated at the end.

Material and Method: It should be given in detail and clearly.

Results and Discussion: The results should be presented in a comprehensible manner which may include figures and tables. Presented results should be compared with the literature.

Conclusion: The results should be interpreted in avoiding unnecessary repetitions. It should be stated and discussed with its possible reasons if the results comply with previous studies or not.

Acknowledgement: If appropriate, acknowledgements to sponsor(s) and assisting individual(s) should be given.

References: References should be cited in text according to order of appetences with Arabic numbers in square brackets (e.g. [1], [2], ect.). All references cited in the text should be listed in References and vice versa. Journal names should not be abbreviated in the References. References should be listed according to numeric order at the end of the article. References should be written according to following examples.

Article;

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices. *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) letsvaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) letsvaart from Turkey. *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

Book;

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, İstanbul, 1-1004.
2. Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası (Hayvan Coğrafyası). Meteksan Yayınları, Ankara, 1-965.

Book Chapter;

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. In: Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edited by Davis PH., Vol: 5, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams. In: Developments in Hydraulic Engineering 2, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd., Essex, UK, 153-173.

Symposium Proceeding;

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, İzmir, 1168-1169.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress, Abstract Book, 8-11 April, Antalya, 63.

Web sites;**If the author name and date are known;**

1. Senel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Atesi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Access Date: 21.01.2007).

If the author name and date are unknown;

1. Biyolojik çeşitlilik, 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

Thesis;

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia* L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-348.

Anonymous;

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, 1-93.

Figures and Tables: Images like photos, pictures, drawings, and graphs should be given as figures. Figures should be clear and appropriate for press. All figures should be given within the text. Figures should not exceed the size of 16x20 cm. Pixel based figures should be minimum of 600 dpi. All tables and figures should be numbered (e.g. Table 1, Figure 1), and should include a title and legend. There should be no period or comma after the legend. The tiles should be centered and in 10 font size. Tables

and figure titles should be placed above the table and below the figure, respectively.

Units: All units should be given according to SI (International System of Units).

Final Check List For Articles Accepted For Publication

- All margins are 2.5 cm.
- Paragraphs are single spaced.
- Article titles (Turkish and English) are bold and in 14 font size with capitalized first letters.
- Main section titles are bold and in 11 font size with capitalized first letters.
- Subsection titles are bold and in 11 font size and only the first letter of the first word is capitalized.

BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ YAYIN İLKELERİ

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki gelişmeleri ve yenilikleri takip etmek, meslek kuruluşlarının, araştırmacıların ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişimlerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda elektronik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Fen Bilimleri Dergisi, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü yayını olup, 2012 yılından bu yana ücretsiz ve açık erişimli olarak yayın hayatına devam etmektedir. Mühendislik ve temel bilimler bilgi tabanına ve teknolojik gelişmelere ışık tutması amacıyla bu alanlarda yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan özgün araştırma makalelerine, derlemelere ve teknik notlara yer verilmektedir. Dergiye gönderilen çalışmaların benzerlik oranı %15'i geçmemelidir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden önce düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle, derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Ayrıca, editörlerden yazarlara iletilen düzeltmelere veya taleplere 15 gün içerisinde cevap verilmediği takdirde ilgili makaleler reddedilir. Makaleler şekiller ve tablolar dâhil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayın için gönderilen makaleler en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Yazarlardan hakem önerisi talep edilmemektedir. Makalelerin dergide yayımlanabilmesi için hakemler tarafından olumlu görüş bildirilmesi gerekmektedir. Dergi Editör Kurulu, hakem raporlarını (iki hakemin değerlendirmeleri geldikten sonra) dikkate alarak makalelerin yayımlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir. Fen Bilimleri Dergisi, yılda dört defa (Mart, Haziran, Eylül, Aralık) yayımlanmaktadır. **Dergimiz Tübitak-Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Dergi Listesinde taranmaktadır.**

Dergide yayımlanacak makalelerin bilimsel etik kuralları içerisinde olması gerekmektedir. Makalede yer alan tüm yazarlar, çalışmalarının yayın haklarını Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne verdiklerine dair **Telif Hakları Formu**'nu imzalamalıdır. Bu form iletilmeden yayın kabul edilse de yayımlanmayacaktır. Bütün bu bilgiler aşağıdaki DergiPark sistemi, e-posta adresi veya posta adresi ile editörlüğe gönderilmelidir. Dergide yayımlanacak makalelerin içeriğinden kaynaklanan her türlü yasal sorumluluklar ve telif haklarına ilişkin doğabilecek hukuki sorumluluklar tamamen yazarlara aittir.

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü

Bitlis Eren Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE
E-posta : fbe@beu.edu.tr
Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>



Makale No/Article ID:

B.E.U.

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form

[Makale Adı / Article title]

.....
.....
.....

Başlıklı makalenin telif hakkından feragat etmeyi/ettiğimizi, makalenin telif hakkının Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne devredildiğini ve Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayımlanabilmesi konusunda yetkili kılındığını kabul eder ve imza ederiz.

Ayrıca, adı geçen makalenin tüm içeriği konusunda tüm sorumluluk yazar/yazarlara ait olup, makalenin içeriği konusunda doğabilecek sorunlardan Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü sorumlu değildir.

Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor: (Sorumlu yazar/Corresponding author*)

<u>Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names</u>	<u>İmzası / Signature</u>	<u>Tarih / Date</u>
1		
2		
3		
4		
5		

NOT: Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Form doldurulup imzalandıktan sonra online veya e-posta yoluyla gönderilmelidir:

Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

E-mail : fbe@beu.edu.tr



Article ID:

BEU
JOURNAL OF SCIENCE
Copyright Transfer Form

We, the authors of the manuscript entitled

relinquish our copyrights on the manuscript in favor of BEU Graduate School of Science. Hence, we, the authors, accept and signs for this copyright transfer which includes but not limited to granting the right to publish the manuscript to the Editorial Board of BEU Journal of Science.

Nevertheless, we, the authors, retain all responsibilities regarding the manuscript. The Editorial Board of BEU Journal of Science cannot be held responsible for any conflict due to the content of the manuscript, by any means.

All authors must sign:

Authors' Full Names	Signature	Date
1. _____	_____	_____
2. _____	_____	_____
3. _____	_____	_____
4. _____	_____	_____
5. _____	_____	_____

(Add additional lines if needed. Corresponding author should be indicated by “*”.)

In case of absent signature, signing authors will be responsible. Filled and signed forms should be sent online or by email.

Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

E-mail : fbe@beu.edu.tr