



Bitlis Eren Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi

Bitlis Eren University
Journal of Science

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

Cilt / Volume: 8

Sayı / Number: 3

Yıl / Year: 2019

Yazışma Adresi

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

fbe@beu.edu.tr
<http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

Yayın Kurulu / Editorial Board

Sahibi / Owner	Prof. Dr. Erdal Necip YARDIM
Sorumlu Müdür / Director	Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK
Baş Editör / Editor in Chief	Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK
Yardımcı Editörler / Associate Editors	Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ Doç. Dr. Kubilay TOYRAN
Dizgi / Typographic	Doç. Dr. Kubilay TOYRAN Bilgisayar İşletmeni Ahmet UĞUR

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	Muş Alparslan 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. Adnan KURT	Adıyaman Üniversitesi
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR	Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Atilla ARSLAN	Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Atilla DURMUŞ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşegül ÇEBİ	Giresun Üniversitesi
Prof. Dr. Baha Vural KÖK	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent VEREP	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Prof. Dr. Gül ÖZHAN	İstanbul Üniversitesi
Prof. Dr. Gülşin ARSLAN	Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Ali TABUR	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet ÖZALP	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Rabia SARIKAYA	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Semra KILIÇ	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Sezai YALÇIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Zülfiye İLTER	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet Regaib OĞUZ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe Dilek ÖZŞAHİN KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Belda ERKMEN	Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ	Dicle Üniversitesi
Doç. Dr. Şükrü HAYTA	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Emrah Evren KARA	Düzce Üniversitesi
Doç. Dr. Ertan GÜDEKLİ	İstanbul Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih Çağlar ÇELİKEZEN	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Feride AKMAN	Bingöl Üniversitesi
Doç. Dr. Gülşad USLU ŞENEL	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Hande ÇELEBİ	Eskişehir Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Hülya DEMİRÖREN	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Koray KÖKSAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ	Siirt Üniversitesi
Doç. Dr. Merve İÇLİ ÖZKUT	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa DEMİRKAYA	Kayseri Üniversitesi
Doç. Dr. Ömer KILIÇ	Adıyaman Üniversitesi
Doç. Dr. Sibel ÖZDEN	İstanbul Üniversitesi
Doç. Dr. Tuncer ACAR	Selçuk Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur ÇAKILCIOĞLU	Munzur Üniversitesi
Doç. Dr. Yeşim ÖZCANLI	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Yunus KAYIR	Gazi Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Asude HANEDAR	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayla ÜNVER ALÇAY	İstanbul Aydın Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Berna TOPUZ	Ankara Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Beyza BİLLUR	İskender Eroğlu Balıkesir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Canan KARATEKİN	İstanbul Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Canan PERDAHÇI	Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Eda TURAN	Yıldız Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Emel AKYOL	Yıldız Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Azize BUDAK YILDIRAN	Kırıkkale Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Göksal SEZEN	Harran Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA	Amasya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Halil YILMAZ	Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Kazım HANBAY	Bingöl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kubilay KARACİF	Hitit Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali OLĞAR	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ	Dicle Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kevser DERDİMAN	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Korhan ERTURAÇ	Sakarya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Meltem TAN	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Metin ERTAŞ	Hakkâri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muammer BAŞI	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih KULUÖZTÜRK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Zeynel ÖZTÜRK	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Musa YILMAZ	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Nuray YAVUZKANAT	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz Ayhan KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Özlem TERZİ	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serdar GÖZÜTOK	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUTLUAY	Siirt Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şule KARATEPE	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tuba BAYRAM	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ulaş MATİK	Karabük Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yakup ŞAHİN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zafer CÖMERT	Samsun Üniversitesi
Dr. Leyla GAZİGİL	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Ülkü Nihan YAZGAN TAVŞANOĞLU	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Öğr. Gör. Emir Ali MARİS	Mersin Üniversitesi

Dergi Hakkında / About Journal

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 Fen Bilimleri 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.**

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

1. **Lorenz Benzeri Doğrusal Olmayan Üç Boyutlu Yeni Bir Diferansiyel Denklem Sisteminin Kararlılık Analizi** 731-741
Stability Analysis of a New Differential Equation System of Lorenz-like Nonlinear Three-Dimensional
Y. Altun, A. Yiğit
2. **Prangos pabularia Bitkisinin Antioksidan ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi** 742-748
Detecting of Antioxidant and Antimicrobial Specifications of Prangos pabularia
F. Turhan Aykanat, İ.H. Şahin, F.Ç. Çelikezen, Ş. Hayta
3. **Hedera helix L. Türünün Sürünücü ve Tırmanıcı Kısımlarında Bazı Pigment ve Antosiyanin İçeriklerinin Karşılaştırılması** 749-754
Comparison of Some Pigment Quantities in Hedera helix L. Leaves of Creeping and Climbing Plant Parts
E. Elmas, S. Türkış
4. **Salgın Hastalıkların Tahmininde Kullanılan SI ve SIS Modellerin Uygulamaları** 755-761
Applications of SI and SIS Models Used in Prediction of Epidemic Diseases
A. Çilli, K. Ergen
5. **Gamma-ray Shielding Properties of Lithium Borate Glass Doped with Colemanit Mineral** 762-771
Kolemanit Minerali ile Katkılanmış Lityum Borat Camların Gama-ışını Zırh Özellikleri
N. Yıldız Yorgun
6. **Adana ve Çevresinde Radyoaktivite Seviyesi ve Sağlık Riski** 772-778
Radioactivity Levels and Health Risks of in and Around the Adana Region, Turkey
M. Karataşlı
7. **Karbondetraklorür İle Karaciğer Hasarı Oluşturulan Ratlarda Tribulus terrestris'in Antihiperlipidemik Etkisinin Araştırılması** 779-786
Examination of the Antihyperlipidemic Effect of Tribulus terrestris in Liver-Damaged Rats with Carbontetrachloride
Z. Çambay, N.Ö. Alayunt
8. **Pirazin Sübstitüe Kaliks[4]arenin Bazı Toksik Metal ve Oksianyon Ekstraksiyon Özelliklerinin İncelenmesi** 787-794
Investigation of Some Toxic Metal and Oxyanion Extraction Properties of Pirazine Substituted Calix[4]arene
Ö. Güngör
9. **Ahlat Sazlıklarındaki, Phragmites australis (Cav.) Trin. Ex Steudel, Typha angustifolia L., Lythrum salicaria L. Bitkilerinin ve Bunları Çevreleyen Sedimentlerde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi** 795-805
Determination The Heavy Metal Concentrations of Phragmites australis (Cav.) Trin. Ex Steudel, Typha angustifolia L., Lythrum salicaria L. Plants And Surrounding Sediments In The Ahlat Reeds
Ş. Hayta, Y. Erkan
10. **Poli (p-Tolil Metil Metakrilat)'ın Sentezi, Karakterizasyonu ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi** 806-815
Synthesis, Characterization of (p-Tolyl Methyl Methacrylate) Polymer and Investigation of Thermal Properties
M.H. Karagöz, Ş. Seven

11. **Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi Atık Sularının Sır Baraj Gölü'nde Meydana Getirdiği Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi** 816-825
The Determination of Heavy Metal Pollution of Wastewaters of Kahramanmaraş Organized Industrial Zone in Sır Dam Lake
Ö. Canpolat, S. Uzun
12. **Sapanca Gölü (Sakarya) Havzası Toprak ve Sedimentlerinden *Streptomyces* Cinsi Bakterilerin İzolasyonu, Karakterizasyonu ve Teşhisi** 826-834
Isolation, Molecular Characterization and Identification of Bacteria the Genus Streptomyces from Basin Sedimentary Soil of Sapanca Lake (Sakarya)
D.H. Ünal, K. Özdemir
13. **Uzaktan Algılama Metodu İle Nazik Gölü İçin Taşıma Kapasitesinin Tahmini** 835-842
The Estimation of Carrying Capacity for Lake Nazik with the Remote Sensing Method
M. Akkuş, M. Sarı
14. **Tıbbi Öneme Sahip Hatmiler İçin Etkili Bir Çimlendirme Yöntemi: Tohum Kabuğuna Çentik Atılması** 843-851
The Efficient Germination Method For Marshmallows With Medicinal Importance: The Nicking on Seed Coat
A. Battal, G. Görmez, M. Türker
15. **Sıçanlarda Ihlamur (*Tilia platyphyllos* Scop) İnfüzyonunun İmmün Sistem Üzerine Etkilerinin Araştırılması** 852-858
*Investigation of the Effects of Linden (*Tilia Platyphyllos* Scop) Infusion on Immune System in Rats*
N. Özok, İ. Çelik
16. **Investigation on Diet of Long-Eared Owl (*Asio Otus*) Inhabiting Fatih Natural Park (Turkey)** 859-865
*Fatih Tabiat Parkı'ndaki Uzun Kulaklı Orman Baykuşu (*Asio otus*)'nun Diyetinin İncelenmesi*
T. Yorulmaz, N. Arslan
17. **Streptozotosin kaynaklı diyabetik sıçanlarda *Arum rupicola*'nın in vivo antioksidan potansiyeli** 866-874
In vivo antioxidant potential of Arum rupicola in streptozotocin-induced diabetic rats
N. Özok, İ. Güneş
18. ***Myrtus communis* L. (Mersin) Yaprak Ekstraktının Genoprotektif Etkisinin Somatik Mutasyon ve Rekombinasyon Testi (SMART) ile Değerlendirilmesi** 875-882
Assessing the Genoprotective Effect of Myrtus communis L. (Myrtle) Leaf Extract by Somatic Mutation and Recombination Test (SMART)
S. Öz, Ş. Çakır Arıca
19. **Artvin Borçka Karagöl Tabiat Parkı'nın Ornitofaunası** 883-888
Ornithofauna of Artvin Borçka Karagöl Nature Park
M.M. Alar, H. Nergiz
20. **Approximation Properties of Stancu-Type (p, q) -Baskakov Operators** 889-902
Stancu Tipli (p, q) -Baskakov Operatörlerinin Yaklaşım Özellikleri
K. Kanat, M. Sofyalıoğlu
21. **Kapulukaya Barajı Aşağı Havza'sı Sediment Örneklerinde Ağır Metal Kirlilik Düzeylerinin Değerlendirilmesi (Kızılırmak, Kırıkkale)** 903-913
Assessment of Heavy Metal Pollution Levels in Sediment Samples of Lower Catchment Area of Kapulukaya Reservoir (Kızılırmak, Kırıkkale)
G. Başaran Kankılıç

Araştırma Makaleleri (Mühendislik) / Research Articles (Engineering)

22. **Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş magnezyum matrisli kompozitlerin korozyon duyarlılıkları** 914-920
Corrosion resistance of magnesium matrix composites produced by powder metallurgy method
F. Kelen, T. Aydoğmuş, M. Gavgalı, B. Dikici

23. **Demiryolu Yük Taşımacılığının Çok Türlü Rotalara Etkisinin Vaka Analizi ile İncelenmesi: Hatay-Van** 921-931
Investigation of the Effect of Railway Freight on Multimodal Routes by Case Study: Hatay-Van
Ö.F. Cansız, K. Ünsalan
24. **Bitlis Devlet Hastanesinde 2010-2016 Yılları Arasında Görülen Gıda Zehirlenmesi Vakalarının İncelenmesi** 932-946
Examination of the Cases of Food Poisoning Seen between 2010-2016 Years in Bitlis State Hospital
S. Oğur
25. **Senkron Generatörlerde Farklı Stator Oluk Yapılarının Uç Gerilimine Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi** 947-957
Analysis of the Effect of Different Stator Slot structures on the Terminal Voltage of the Synchronous Generators with Finite Element Method
S. Balcı
26. **Kuru Tip Trafoların Çevresel Gürültü ve Titreşim Seviyelerinin Değerlendirilmesi ve Çözüm Alternatiflerinin Belirlenmesi: İstanbul Durum Çalışması** 958-967
Evaluation of Environmental Noise and Vibration Levels of Dry Type Transformers and Determination of Solution Alternatives: Istanbul Case Study
E. Avşar, H. Erol, İ. Toröz, E. Piro
27. **Betonarme Yapılarda Kullanılan Malzeme Modellerinin Karşılaştırılması** 968-984
Comparison of Material Models Used in Reinforced Concrete Structures
E. Işık, M. Özdemir, İ.B. Karaşin, A. Karaşin
28. **Farklı İlık Karışım Asfaltların Nem Hasarına Karşı Dayanımlarının İncelenmesi** 985-998
Investigation of Resistance to Moisture Damage of Different Warm Mix Asphalts
T. Alataş, A. İstek
29. **FV-RES ile Beslenen Anahtarlamalı Relüktans Motorun Analizi** 999-1008
Analysis of Switched Reluctance Motor Fed by PV-WES
D. Demir Aktaş, S.B. Efe
30. **Computational Assessment of Zeolitic-Imidazolate Frameworks (ZIFs) for Adsorption and Diffusion Based Separation of Noble Gas Mixtures** 1009-1018
Zeolitik-İmidazolat İskelet Yapılarının Adsorpsiyon ve Difüzyon-bazlı Soy-gaz Karışımı Ayırma Potansiyellerinin Hesapsal Yöntemlerle İncelenmesi
Y. Gürdal Durğun
31. **PECVD Yöntemi ile Polimerik Hidrojel İnce Filmlerin Üretimi** 1019-1028
Synthesis of Polymeric Hydrogel Thin Films by PECVD Method
M. Gürsoy
32. **Yara Örtü Malzemesi Olarak Elektroğrilmiş PCL/PHBV Membranların Hazırlanması ve Karakterizasyonu** 1029-1044
The Preparation and Characterization of Electrospun PCL/PHBV Membranes as Wound Dressing Material
İ.A. İşoğlu
33. **Ramor 500 Çeliğinde Isıl İşlemin Mikroyapı, Mikrosertlik ve Abrasiv Aşınma Direncine Etkisinin Taguchi Metoduyla Değerlendirilmesi** 1045-1056
The Evaluation of the Effect of Heat Treatment on Microstructure, Microhardness and Abrasive Wear Resistance with Taguchi Method of Ramor 500 Steel
A.K. Gür, S. Taşkaya, Ç. Özay
34. **Diferansiyel Gelişim Algoritma Tabanlı Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi ile Kısa Dönem Rüzgar Hızı Kestirimi** 1057-1068
Short-Term Wind Speed Forecasting Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based on Differential Evolution Algorithm
E. Dokur, U. Yüzgeç, M. Kurban

35. **Kalsiyum Oksalat Kristalizasyonunun Engellenmesi Üzerine Nar (*Punica granatum L*) Suyunun Etkisi: Bir Optimizasyon Çalışması** 1069-1074
*Effect of Pomegranate (*Punica granatum L*) Juice on Inhibition of Calcium Oxalate Crystallization: An Optimization Study*
M.B. Akin, H. Ökmen, S. Alkan, H. Türkoğlu
36. **Üç Kademeli Soğurmalı Soğutma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi** 1075-1085
Energy and Exergy Analysis of a Triple-Stage Absorption Refrigeration System
K. Saka
37. **Van Gölü'nde Sedimentasyon Hızının Fizyografik Değişimi, Doğu Anadolu/Türkiye** 1086-1093
Physiographic Variations of Sedimentation Rate in Lake Van, Eastern Anatolia/Turkey
A.F. Meydan, S. Örçen
38. **Kızılötesi Kurutucuda Nane Bitkisinin Optimum Kurutma Sıcaklığının Belirlenmesi** 1094-1100
Optimum Drying Temperature of Mint Plant in Infrared Dryer
Ö. Demir
39. **A Case Study for Tunnel Lighting Lifetime Account** 1101-1108
Tünel Aydınlatma Ömür Hesabı İçin Bir Vaka Çalışması
M.S. Cengiz
40. **Metin Özetlemesi için Düğüm Merkezliklerine Dayalı Denetimsiz Bir Yaklaşım** 1109-1118
An Unsupervised Approach Based on Node Centralization for Text Summarization
C. Hark, T. Uçkan, E. Seyyarer, A. Karcı
41. **Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Taban Külü İnce Agregaları ile Üretilmiş Betonun Gerilme Şekil Değiştirme Davranışının İncelenmesi** 1119-1141
Examination of Stress-Strain Behavior of Concrete Product by Fine Aggregates with Granulated Blast Furnace Slag and Bottom Ash
M. Karalar, S. Konak

Derleme Makaleleri / Review Articles (Engineering)

42. **Van İli Kent Merkezinde Hava Kirliliği** 1142-1153
Air Pollution in the City Center of Van Province
D. Öztürk, T. Bayram
-

Araştırma Makalesi / Research Article

Lorenz Benzeri Doğrusal Olmayan Üç Boyutlu Yeni Bir Diferansiyel Denklem Sisteminin Kararlılık Analizi

Yener ALTUN*, Abdullah YİĞİT

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Van
(ORCID: 0000-0003-1073-5513) (ORCID: 0000-0002-0099-3095)*

Öz

Kaotik sistemler, başlangıç koşullarına duyarlı ve ölçülemeyecek karmaşıklıkta dinamik sistemler olarak ifade edilebilir. Başlangıç koşullarına olan duyarlılığının yanında kaotik sistemler, geniş bantlı ve periyodik olmayan bir özelliğe sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı söz konusu bu sistemler, özellikle mühendislik alanlarında olmak üzere farklı bilim dallarında geniş uygulama alanına sahiptir. Bu makalede Lorenz benzeri doğrusal olmayan üç boyutlu yeni bir diferansiyel denklem sisteminin kararlılığı araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle dikkate alınan sistemin denge noktaları belirlenmiş ve kararlılık kriterleri Hurwitz koşulları kullanılarak incelenmiştir. Daha sonra, bu sistemin üstel kararlılığı için gerek ve yeter koşullar tartışılmıştır. Sonuç olarak, elde edilen sonuçlar ilgili literatürde bulunan sonuçları içerir ve geliştirir.

Anahtar kelimeler: Lineer (doğrusal) olmayan sistem, Hurwitz teoremi, Kararlılık, Lyapunov fonksiyonu.

Stability Analysis of a New Differential Equation System of Lorenz-like Nonlinear Three-Dimensional

Abstract

Chaotic systems can be described as immeasurably complex dynamic systems which are sensitive to initial conditions. In addition to its sensitivity to initial conditions, chaotic systems have a broadband and non-periodicity. Because of these properties, these systems considered have a wide application area in different sciences, especially in engineering subjects. In this paper, the stability of a new differential equation system of Lorenz-like nonlinear three-dimensional, was investigated. In the study, firstly, the equilibrium points of the system which was taken into consideration were determined and the stability criteria were examined by using Hurwitz conditions. Then, the necessary and sufficient conditions for exponential stability of this system have been discussed. Consequently, the obtained results include and improve the results found in the related literature.

Keywords: Nonlinear system, Hurwitz theorem, Stability, Lyapunov function.

1. Giriş

Dinamik sistemler lineer veya lineer olmayan yöntemler kullanılarak incelenirler. Düzgün davranışa sahip dinamik sistemlerde çok küçük parametre değişikliği yapılarak sistem kaosa sürüklenmektedir. Kaos kavramının bilim tarihine girişi 18. yüzyıla dayanmaktadır. Başlangıç koşullarına hassas bağlılık gösteren kaos teorisi günümüzde ekolojik sistemler, fizik, kimya, mühendislik, tıp, ekonomi, iletişim güvenliği vb. çeşitli alanlara uygulanmıştır [1]. 1963'te Lorenz iki kuadratik terim ile karmaşık (kompleks) dinamik davranışlar sergileyen üçüncü mertebeden otonom ilk kaotik sistemi buldu [9].

Kaotik sistem denklemlerle tanımlanıyorsa deterministik kaos olarak ifade edilir. Kaotik sistemlerin matematiksel modelleri lineer olmayan bir özelliğe sahiptir. Sürekli zamanlı diferansiyel denklemlerde tanımlandığı gibi ayrık zamanlı fark denklemleri ile de tanımlanabilmektedir. Söz konusu denklem sistemlerinin matematiksel modellerinin olması determinizm kavramını ortaya koyarken uzun zaman içindeki davranışın başlangıç koşullarına hassaslık göstermesi; kaotik sistemleri lineer olmayan

*Sorumlu yazar: yeneraltun@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 20.01.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

sistemler altında ele alınan birçok modelden farklı kılmaktadır. Basit olmasına karşın kaotik sistem modelleri davranışları oldukça karmaşıktır [13].

Kaos araştırması için Lorenz sistemi ilk kaotik model olarak bir modül haline geldi. Bu doğrultuda Chen sistemi [18], Rössler sistemi [16] ve Lü sistemi [12] gibi birçok kaotik sistem bulunmuştur. Bu kaotik sistemler pek çok araştırmacı tarafından sıklıkla incelendi [1, 3, 5-12, 15-22].

Aşağıda ilgili literatürde çalışılmış bazı kaotik sistemler ve belirli notalardaki kaotiklik durumları belirtilmiştir:

$a > 0, b > 0, c > 0$ için,

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a(y-x), \\ \dot{y} &= cx - xz - y, \\ \dot{z} &= xy - bz,\end{aligned}$$

şeklindeki Lorenz sistemi, lineer olmayan bir diferansiyel denklem sistemidir ve $(a, b, c) = (10, 8/3, 28)$ değerleri için kaotiktir [6].

$a, b, c \in \mathfrak{R}^3$ için,

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a(y-x), \\ \dot{y} &= (c-a)x - xz + cy, \\ \dot{z} &= xy - bz,\end{aligned}$$

şeklindeki Chen sistemi, lineer olmayan bir diferansiyel denklem sistemidir ve $(a, b, c) = (35, 3, 28)$ değerleri için kaotiktir [8].

$a > 0, b > 0, c > 0$ için,

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a(y-x), \\ \dot{y} &= cy - xz, \\ \dot{z} &= xy - bz,\end{aligned}$$

şeklindeki Lü sistemi, lineer olmayan bir diferansiyel denklem sistemidir ve $(a, b, c) = (36, 3, 20)$ değerleri için kaotiktir [20].

$\sigma > 0, r > 0, \beta > 0$ için,

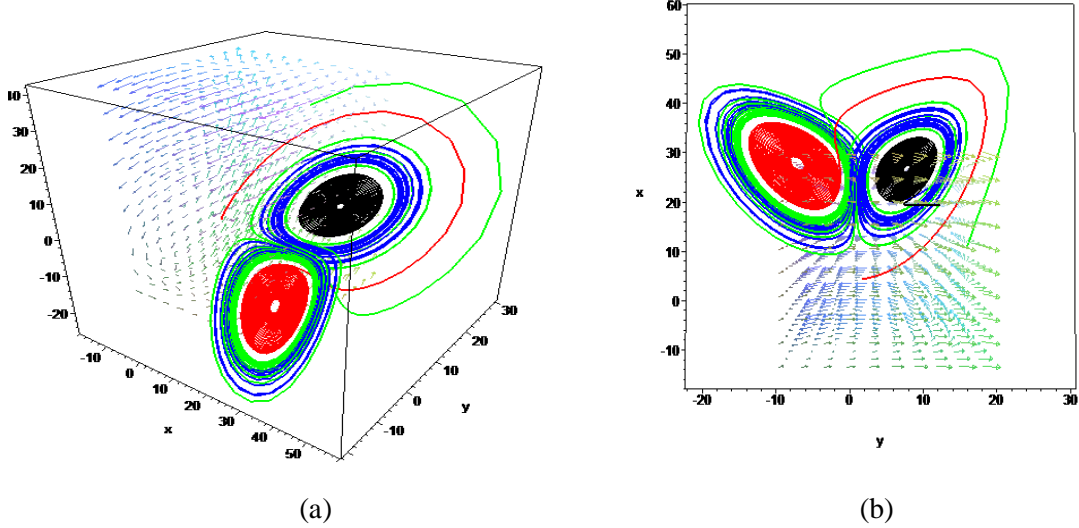
$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma(y-x), \\ \dot{y} &= rx - xz, \\ \dot{z} &= xy - \beta z,\end{aligned}$$

şeklindeki Pan sistemi, lineer olmayan bir diferansiyel denklem sistemidir ve $(\sigma, r, \beta) = (10, 16, 8/3)$ değerleri için kaotiktir [1].

Biz bu çalışmada $a > 0, b, c \in (-\infty, +\infty)$ için,

$$\begin{aligned}\dot{x} &= yz - bx, \\ \dot{y} &= a(z - y), \\ \dot{z} &= cy - xy - z\end{aligned}\tag{1}$$

diferansiyel denklem sistemini inceledik. Bu sistem Lorenz benzeri üç boyutlu lineer olmayan bir diferansiyel denklem sistemidir. Bu sistemin katsayı parametrelerinin tamamı pozitif olmadığı için Lorenz denklem sistemine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Ancak söz konusu sistemin kaotik olma durumları katsayı parametrelerinin pozitif değerleri için sağlanmıştır. Burada $(a, b, c) = (25, 8/3, 30)$ değerleri için (1) denklem sistemi kaotiktir (Şekil 1.).



Şekil 1. (1) sisteminin üç boyutlu xyz-izdüşümü (a) ve xy-izdüşümü (b).

Bu makalede ilk olarak, (1) denklem sisteminin ayrık (isolated) denge noktalarını bulduk. Daha sonra Lyapunov fonksiyonu yardımıyla dikkate aldığımız (1) sisteminin global üstel kararlılığı için gerek ve yeter şartlar oluşturduk. Son olarak, Hurwitz teoremini kullanarak (1) sisteminin asimptotik kararlılık ve kararsızlık kriterlerini inceledik.

Ana sonucumuzu belirtmeden önce aşağıdaki temel tanımlar ve teoremlerden yararlanacağız.

2. Temel Teorem ve Tanımlar

Tanım 1. D , \mathcal{R}^n de orijini içeren bir bölge olsun. Ayrıca $W : [0, \infty) \times D \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonu verilsin. Eğer $t \geq 0$ için, $W(t, 0) = 0$ ve $x \neq 0$ için, $W(t, x) > 0$ ise W pozitif tanımlıdır denir. Öte yandan pozitif tanımlı W fonksiyonu, birinci mertebeden sürekli kısmi türevlere sahip ise W ye bir Lyapunov fonksiyonu denir [2].

Tanım 2.

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = P(x, y) \\ \frac{dy}{dt} = Q(x, y) \end{cases} \quad (2)$$

otonom sistemi verilsin. Herhangi bir (x_0, y_0) noktasında $P(x_0, y_0) = 0$ ve $Q(x_0, y_0) = 0$ ise, (x_0, y_0) noktasına (2) sisteminin kritik (denge) noktası denir [14].

Tanım 3. Eğer

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$$

olacak şekilde çember içinde (2) sisteminin (x_0, y_0) noktasından başka bir kritik noktası yok ise, (x_0, y_0) noktasına (2) sisteminin ayrık (isolated) denge noktası denir [14].

Tanım 4. $f : \mathcal{R}^n \rightarrow \mathcal{R}^n$ sürekli bir fonksiyon ve

$$\frac{dx}{dt} = f(x), \quad x \in \mathcal{R}^n \quad (3)$$

olsun.

a. Eğer $f(x^*) = 0$ ise, x^* noktası (3) için sürekli bir denge noktasıdır;

b. $B(x^*, r)$, merkezi x^* ve yarıçapı r olan bir açık yuvar olmak üzere; her $t > 0$, için $B(x^*, \varepsilon)$ de bulunan ve $x(0) = x_0$ ile verilen dinamik sistemin bir çözümü $x(t)$ olsun. Eğer her $\varepsilon > 0$ için, bir $\delta > 0$ sayısı var ise bu takdirde her $x_0 \in B(x^*, \delta)$ için (3) sisteminin x^* denge noktası kararlıdır;

c. Eğer $x(0) \in B(x^*, \delta)$ ile verilen her $x(t)$ çözümü için,

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} x(t) = x^*$$

olacak şekilde yeterince küçük bir $\delta > 0$ sayısı var ise (3) sisteminin x^* denge noktası asimptotik kararlıdır;

d. Eğer $x(0) \in B(x^*, \delta)$ ile verilen her $x(t)$ çözümü için;

$$\|x(t) - x^*\| \leq \mu \|x(0) - x^*\| e^{-\eta t}, \quad t \geq 0 \quad (4)$$

olacak şekilde $\mu > 0, \eta > 0$ sabitleri ve $\delta > 0$ sayısı var ise, (3) sisteminin x^* denge noktası üstel kararlıdır.

Ayrıca (3) sisteminin bütün $x(t)$ çözümleri için (4) eşitsizliği sağlanırsa, x^* denge noktasına global üstel kararlıdır denir [4].

Teorem 2.1 (Hurwitz teoremi) Reel katsayılı

$$P(\lambda) = \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + a_2 \lambda^{n-2} + \dots + a_{n-1} \lambda + a_n$$

karakteristik polinomunun tüm köklerinin negatif reel kısmı olabilmesi için gerek ve yeter şart

$$H_n = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_n \end{bmatrix}$$

Hurwitz matrisinin tüm köşegen minörlerinin pozitif olmasıdır.

Not edilmelidir ki; H_n Hurwitz matrisinin esas köşegeni, $P(\lambda)$ polinomunun a_1 den a_n ye kadar katsayılarını içermektedir. Aşağıda

$$D_1 = |a_1|, D_2 = \begin{vmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{vmatrix}, \dots, D_n = \det(H_n)$$

ile Hurwitz matrisinin esas köşegen minörleri tanımlanır. Eğer $n = 3$ ise, Hurwitz koşulları

$$a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0 \text{ ve } a_1 a_2 - a_3 > 0$$

durumuna indirgenir [15].

3. Ana Sonuçlar

Önerme 3.1. (1) sistemini gözönüne alalım. Eğer $b \neq 0$ ve $b(c-1) > 0$ ise, (1) denklem sistemi $O(0, 0, 0)$, $A_1(c-1, \sqrt{b(c-1)}, \sqrt{b(c-1)})$ ve $A_2(c-1, -\sqrt{b(c-1)}, -\sqrt{b(c-1)})$ gibi üç ayrık denge noktasına sahip olur. Eğer $b \neq 0$ ve $b(c-1) \leq 0$ ise, (1) denklem sistemi yalnız bir $O(0, 0, 0)$ ayrık denge noktasına sahip olur.

İspat: (1) sisteminin denge noktaları aşağıdaki

$$\begin{cases} yz - bx = 0 \\ a(z - y) = 0 \\ cy - xy - z = 0 \end{cases} \quad (5)$$

denklem sisteminin çözümünden elde edilebilir. $b \neq 0$ için (5) sistemi

$$\begin{cases} x = yz/b \\ z = y \\ cy - xy - z = 0 \end{cases}$$

olarak yazılabilir. Burada gerekli cebirsel işlemler yapılarak x ve z yok edilirse,

$$y\left(c - \frac{y^2}{b} - 1\right) = 0$$

olur. Bu denklem çözüldüğünde y değerleri için; $b \neq 0$ ve $b(c-1) \leq 0$ iken $y=0$ olur. Öte yandan $b \neq 0$ ve $b(c-1) > 0$ iken $y=0$ ve $y = \pm\sqrt{b(c-1)}$ olur. Bu yüzden (1) sistemi, $b \neq 0$ ve $b(c-1) \leq 0$ iken $O(0,0,0)$ şeklinde tek bir denge noktasına sahip olur. Ancak $b \neq 0$, $b(c-1) > 0$ durumunda ise $O(0,0,0)$, $A_1(c-1, \sqrt{b(c-1)}, \sqrt{b(c-1)})$ ve $A_2(c-1, -\sqrt{b(c-1)}, -\sqrt{b(c-1)})$ şeklinde üç denge noktasına sahip olur.

Teorem 3.1. $b > 0$ için, (1) denklem sisteminin $O(0,0,0)$ denge noktası global üstel kararlıdır $\Leftrightarrow c < 1$.

İspat: $X = (x, y, z)$ olsun.

(\Leftarrow) $0 \leq c < 1$ için aşağıdaki pozitif tanımlı Lyapunov fonksiyonunu gözönüne alalım:

$$W = \frac{1}{2}(x^2 + \frac{1}{a}y^2 + z^2) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2a & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^T P \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Burada açıkça

$$\min\left[\frac{1}{2a}, \frac{1}{2}\right](x^2 + y^2 + z^2) \leq W \leq \max\left[\frac{1}{2a}, \frac{1}{2}\right](x^2 + y^2 + z^2)$$

yazılabilir. (1) sistemi boyunca W nin türevi alınır,

$$\left. \frac{dW}{dt} \right|_{(1)} = -bx^2 - y^2 - z^2 + (c+1)yz$$

$$= \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -b & 0 & 0 \\ 0 & -1 & (c+1)/2 \\ 0 & (c+1)/2 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^T Q \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$\leq \lambda_{\max}(Q)(x^2 + y^2 + z^2)$$

$$\leq \max[(-1+c)/2, (-3-c)/2, -b](x^2 + y^2 + z^2)$$

$$= \max[(-1+c)/2, -b](x^2 + y^2 + z^2)$$

$$\leq \frac{\max[(-1+c)/2, -b]}{\max[1/2a, 1/2]} W(X(t))$$

olur. Buradan,

$$W(X(t)) \leq W(X(t_0)) e^{\frac{\max[(-1+c)/2, -b]}{\max[1/2a, 1/2]}(t-t_0)}$$

yazılabilir. Öte yandan,

$$\begin{aligned} \min[1/2a, 1/2](x^2 + y^2 + z^2) &\leq W(X(t)) \leq W(X(t_0))e^{\frac{\max[(-1+c)/2, -b]}{\max[1/2a, 1/2]}(t-t_0)} \\ &\leq \max[1/2a, 1/2](x^2(t_0) + y^2(t_0) + z^2(t_0))e^{\frac{\max[(-1+c)/2, -b]}{\max[1/2a, 1/2]}(t-t_0)}. \end{aligned}$$

olur. Böylece,

$$x^2(t) + y^2(t) + z^2(t) \leq \frac{\max[1/2a, 1/2]}{\min[1/2a, 1/2]}(x^2(t_0) + y^2(t_0) + z^2(t_0))e^{\frac{\max[(-1+c)/2, -b]}{\max[1/2a, 1/2]}(t-t_0)}.$$

elde edilir.

$c < 0$ için, aşağıdaki gibi pozitif tanımlı, yeni bir Lyapunov fonksiyonunu gözönüne alalım:

$$\tilde{W} = \frac{1}{2}(x^2 - \frac{c}{a}y^2 + z^2)$$

Burada,

$$\min[-c/2a, 1/2](x^2 + y^2 + z^2) \leq \tilde{W} \leq \max[-c/2a, 1/2](x^2 + y^2 + z^2)$$

yazılabilir. (1) sistemi boyunca \tilde{W} nin türevi alınırsa,

$$\begin{aligned} \left. \frac{d\tilde{W}}{dt} \right|_{(1)} &= -bx^2 + cy^2 - z^2 = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -b & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^T R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \\ &\leq \lambda_{\max}(R)(x^2 + y^2 + z^2) \\ &\leq \max[-1, -b, c](x^2 + y^2 + z^2) \\ &\leq \frac{\max[-1, -b, c]}{\max[-c/2a, 1/2]} \tilde{W}(X(t)) \end{aligned}$$

elde edilir. Buradan

$$\tilde{W}(X(t)) \leq \tilde{W}(X(t_0))e^{\frac{\max[-1, -b, c]}{\max[-c/2a, 1/2]}(t-t_0)}$$

yazılabilir. Bu durumda

$$x^2(t) + y^2(t) + z^2(t) \leq \frac{\max[-c/2a, 1/2]}{\min[-c/2a, 1/2]}(x^2(t_0) + y^2(t_0) + z^2(t_0))e^{\frac{\max[-1, -b, c]}{\max[-c/2a, 1/2]}(t-t_0)}$$

elde edilir. Böylece (1) denklem sisteminin $O(0, 0, 0)$ denge noktası, global üstel kararlıdır.

(\Rightarrow) (1.1) denklem sisteminin $O(0, 0, 0)$ denge noktası, global üstel kararlı olduğu için aynı zamanda yerel (locally) üstel kararlıdır. $O(0, 0, 0)$ noktasına karşılık gelen lineer hale dönüştürülmüş sistemin katsayı matrisi aşağıdaki gibi

$$A = \begin{bmatrix} -b & 0 & 0 \\ 0 & -a & a \\ 0 & c & -1 \end{bmatrix}$$

Hurwitz matrisidir $\Leftrightarrow A_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} -a & a \\ c & -1 \end{bmatrix}$ matrisi, $b > 0$ olduğundan Hurwitz matrisidir. Burada $a - ac > 0$ (yani $c < 1$) olması Hurwitz matrisinin gerek ve yeter koşuludur. Bu ise ispatı tamamlar.

Teorem 3.2. (1) denklem sisteminin $O(0, 0, 0)$ denge noktası:

- I. Eğer $c < 1$ iken $b > 0$ ise, asimptotik kararlıdır,
- II. Eğer $b < 0$ ise, kararsızdır,
- III. Eğer $c < 1$ iken herhangi bir b değeri için kararsızdır.

İspat: $O(0, 0, 0)$ noktasında (1) denklem sisteminin Jakobiyen (Jacobian) matrisi

$$A = \begin{bmatrix} -b & 0 & 0 \\ 0 & -a & a \\ 0 & c & -1 \end{bmatrix}$$

biçimindedir. Bu matrisin karakteristik polinomu,

$$(\lambda + b)(\lambda^2 + (a + 1)\lambda + a - ac) = 0.$$

olarak yazılır. A matrisinin özdeğerleri, $\lambda_1 = -b$ ve $\lambda_{2,3} = \frac{-(a+1) \pm \sqrt{(a+1)^2 + 4a(c-1)}}{2}$ dir.

A matrisinin özdeğerleri dikkate alınarak:

a) Eğer $c < 1$ iken $b > 0$ ise, (1) denklem sisteminin $O(0, 0, 0)$ denge noktası global üstel kararlıdır (Teorem 3.1). Bu şartlar altında A matrisinin özdeğerlerinin negatif olduğu sonucuna kolaylıkla ulaşılabilir. Böylece yukarıdaki A matrisinin özdeğerlerinin tümü negatif reel kısmı olduğu için (1) denklem sisteminin $O(0, 0, 0)$ denge noktası asimptotik kararlıdır.

b) Eğer $b < 0$ ise, A jakobiyen matrisi en az bir pozitif özdeğere sahiptir öyleki $\lambda_1 = -b > 0$ dir. O halde, (1) denklem sisteminin $O(0, 0, 0)$ denge noktası kararsızdır.

c) Eğer $c < 1$ iken herhangi bir b değeri için, A jakobiyen matrisinin en az bir pozitif özdeğeri vardır. O halde, (1) denklem sisteminin $O(0, 0, 0)$ denge noktası kararsızdır.

Teorem 3.3. (1) denklem sisteminin

$$A_1(c-1, \sqrt{b(c-1)}, \sqrt{b(c-1)}) \text{ ve } A_2(c-1, -\sqrt{b(c-1)}, -\sqrt{b(c-1)})$$

denge noktaları asimptotik kararlıdır \Leftrightarrow

$$a + b + 1 > 0, \quad 2ab(c-1) > 0, \quad b(a+c) > 0 \text{ ve } b[(a+b+1)(a+c) - 2a(c-1)] > 0$$

dir.

İspat: $A_1(c-1, \sqrt{b(c-1)}, \sqrt{b(c-1)})$ noktasında (1) denklem sisteminin kararlılığı dikkate alındığında, (1) sistemi $(x, y, z) \rightarrow (x, -y, -z)$ dönüşümü altında değişmezdir (invariant'tır).

$(x, y, z) \rightarrow (X, Y, Z)$ lineer dönüşümü altında

$$\begin{cases} x = X + c - 1 \\ y = Y + \sqrt{b(c-1)}, \\ z = Z + \sqrt{b(c-1)} \end{cases}$$

olur. Buradan

$$\begin{cases} \dot{X} = \sqrt{b(c-1)}(Y+Z) - bX + YZ \\ \dot{Y} = a(Z-Y) \\ \dot{Z} = -X\sqrt{b(c-1)} + Y - Z - XY \end{cases} \quad (6)$$

yazılabilir. Bu durumda (6) denklem sisteminin kararlılığı dikkate alındığında, $O(0,0,0)$ noktasındaki jakobiyen matrisi

$$J_{A_1} = \begin{bmatrix} -b & \sqrt{b(c-1)} & \sqrt{b(c-1)} \\ 0 & -a & a \\ -\sqrt{b(c-1)} & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

olur. Bu matrisin karakteristik denklemi,

$$\lambda^3 + (a+b+1)\lambda^2 + b(a+c)\lambda + 2ab(c-1) = 0$$

olarak yazılır. Routh-Hurwitz şartları dikkate alınarak, bu denklemin bütün köklerinin negative reel kısmı olması için gerek ve yeter şart $P > 0$, $Q > 0$, $R > 0$ ve $PQ - R > 0$ olmasıdır. Burada, $Q = b(a+c)$, $P = a+b+1$ ve $R = 2ab(c-1)$ dir.

Yani,

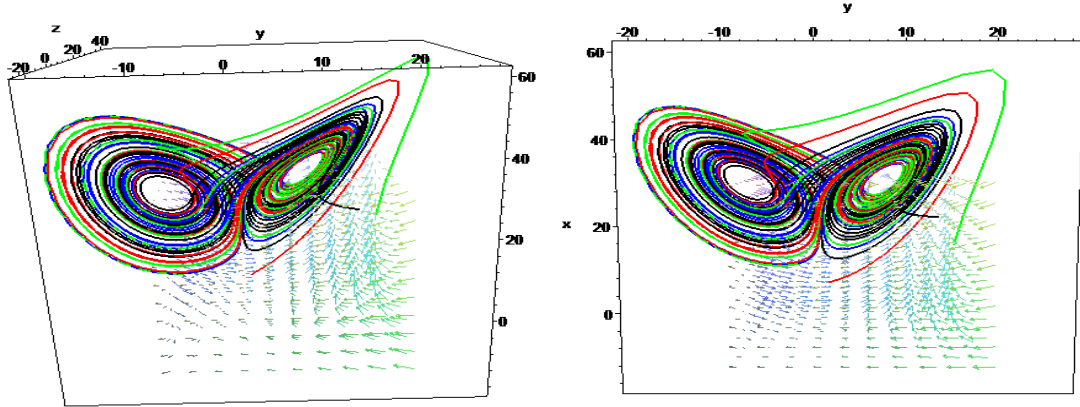
$$\begin{cases} a+b+1 > 0, \\ b(a+c) > 0, \\ 2ab(c-1) > 0 \\ b[(a+b+1)(a+c) - 2a(c-1)] > 0 \end{cases}$$

olarak yazılır. Böylece ispat tamamlanmış olur.

Uyarı 3.1 (1) denklem sistemindeki $a > 0$, $b, c \in (-\infty, +\infty)$ şartları altında aşağıdaki gibi yeni bir

$$\begin{cases} \dot{x} = yz - bx, \\ \dot{y} = a(z - y), \\ \dot{z} = cy - xy \end{cases} \quad (7)$$

denklem sistemi yazılabilir. Burada (7) sistemi, $a = 15$, $b = 8/3$ ve $c = 30$ değerleri için kaotiktir (Şekil 2).



Şekil 2. (7) sisteminin üç boyutlu xyz-izdüşümü(c) ve xy-izdüşümü (d).

Önerme 3.2 (7) sistemini gözönüne alalım. Eğer $b \neq 0$, $bc > 0$ ise, (7) denklem sistemi $O_1(0,0,0)$, $B_1(c, \sqrt{bc}, \sqrt{bc})$ ve $B_2(c, -\sqrt{bc}, -\sqrt{bc})$ gibi üç ayrık denge noktasına sahip olur. Eğer $b \neq 0$, $bc \leq 0$ ise, (7) denklem sistemi yalnız bir $O_1(0,0,0)$ ayrık denge noktasına sahip olur.

İspat: Bu önermenin ispatı, Önerme 3.1. in ispatına benzerdir.

Teorem 3.4 Her $c > 0$ için, (7) denklem sisteminin $O_1(0, 0, 0)$ denge noktası kararsızdır.

İspat: $O_1(0, 0, 0)$ noktasında (7) denklem sisteminin jakobiyen matrisi

$$B = \begin{bmatrix} -b & 0 & 0 \\ 0 & -a & a \\ 0 & c & 0 \end{bmatrix}$$

şeklinde. Bu matrisin karakteristik denklemi,

$$(\lambda + b)(\lambda^2 + a\lambda - ac) = 0$$

olarak yazılır. B matrisinin özdeğerleri $\lambda_1 = -b$ ve $\lambda_{2,3} = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 + 4ac}}{2}$ dir. Burada açıkça görülmektedir ki $c > 0$ için $\lambda_3 > 0$ olur. Sonuç olarak $c > 0$ için, (7) denklem sisteminin $O_1(0, 0, 0)$ denge noktası, kararsızdır. Böylece, ispat tamamlanmış olur.

Teorem 3.5 Her $c \leq -1$ ve $b > 0$ için, (7) denklem sisteminin $O_1(0, 0, 0)$ denge noktası, asimptotik kararlıdır.

İspat: $X = (x, y, z)$ olsun. Bu durumda aşağıdaki pozitif tanımlı Lyapunov fonksiyonunu gözönüne alalım:

$$W = \frac{1}{2}(x^2 + \frac{1}{a}y^2 + z^2)$$

(7) sistemi boyunca W nin türevi alınırsa,

$$\left. \frac{dW}{dt} \right|_{(2,3)} = -bx^2 - y^2 + (c+1)yz$$

elde edilir. Her $c \leq -1$ ve $b > 0$ için,

$$\left. \frac{dW}{dt} \right|_{(2,3)} \leq 0.$$

olur. Bu takdirde (7) denklem sisteminin $O_1(0, 0, 0)$ denge noktası, asimptotik kararlı olur. Böylece ispat tamamlanmış olur.

Teorem 3.6 (7) denklem sisteminin $B_1(c, \sqrt{bc}, \sqrt{bc})$ ve $B_2(c, -\sqrt{bc}, -\sqrt{bc})$ denge noktalarının asimptotik kararlı olması için gerek ve yeter şart $a+b > 0$, $b(a+c) > 0$, $2abc > 0$ ve $b[(a+b)(a+c) - 2ac] > 0$ olmasıdır.

İspat: $B_1(c, \sqrt{bc}, \sqrt{bc})$ noktasında (7) denklem sisteminin kararlılığı dikkate alındığında, (7) sistemi $(x, y, z) \rightarrow (x, -y, -z)$ dönüşümü altında değişmezdir.

$(x, y, z) \rightarrow (X, Y, Z)$ lineer dönüşümü altında,

$$\begin{cases} x = X + c \\ y = Y + \sqrt{bc} \\ z = Z + \sqrt{bc} \end{cases}$$

olur. Buradan

$$\begin{cases} \dot{X} = \sqrt{bc}(Y + Z) - bX + YZ \\ \dot{Y} = a(Z - Y) \\ \dot{Z} = -\sqrt{bc}X - XY \end{cases} \quad (8)$$

yazılabilir. Bu durumda (8) denklem sisteminin kararlılığı dikkate alındığında, $O_1(0, 0, 0)$ noktasındaki jakobiyen matrisi

$$J_{B_1} = \begin{bmatrix} -b & \sqrt{bc} & \sqrt{bc} \\ 0 & -a & a \\ -\sqrt{bc} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

olur. Bu matrisin karakteristik denklemi,

$$\lambda^3 + (a+b)\lambda^2 + b(a+c)\lambda + 2abc = 0$$

olarak yazılır. Routh-Hurwitz şartları dikkate alınarak, bu denklemin bütün köklerinin negatif reel kısmı olması için gerek ve yeter şart $P > 0$, $Q > 0$ ve $PR - Q > 0$ olmasıdır. Burada $P = a + b$, $Q = ab + bc$ ve $R = 2abc$ dir.

Yani,

$$\begin{cases} a + b > 0, \\ b(a + c) > 0, \\ 2abc > 0 \\ b[(a + b)(a + c) - 2ac] > 0 \end{cases}$$

olarak yazılır. Böylece, ispat tamamlanmış olur.

4. Sonuç

Bu çalışmada, ilgili literatürde yapılan çalışmalar dikkate alınarak Lorenz benzeri üç boyutlu doğrusal olmayan yeni bir diferansiyel denklem sistemi analiz edildi. Çalışmada ilk olarak gözönüne alınan denklem sisteminin bazı katsayı değerleri için kaotik oldukları gösterildi. Daha sonra ele alınan sistemin denge noktaları belirlendi ve kararlılık kriterleri Routh-Hurwitz koşulları dikkate alınarak incelendi. Yine ele alınan sistemin üstel kararlılığı için Lyapunov fonksiyonundan yararlanılarak gerek ve yeter koşullar oluşturuldu. Sonuç olarak, elde edilen sonuçların ilgili literatüre katkı sağladığı ve bu doğrultuda çalışmaların genişletilebileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Al-Azzawi S.F. 2012. Stability and bifurcation of pan chaotic system by using Routh-Hurwitz and Gardan methods. *Appl Math. Comput.*, 219: 1144-1152.
- [2] Burton T.A. 1985. *Stability and Periodic Solutions of Ordinary and Functional Differential Equations*. Academic Press, Orlando, 337.
- [3] Ertl J.P., Schafer E.W.P. 1969. Brain response Correlates of psychometric intelligence. *Nature*, 223: 421-422.
- [4] Ha N.T.T., Strodiot J.J, Vuong P.T. 2018. On the global exponential stability of a projected dynamical system for strongly pseudomonotone variational inequalities. *Optim Lett.*, 12: 1625-1638.
- [5] Li D., Lu, J., Wu, X. 2005. Chen, G., Estimating the Bounds for the Lorenz family of chaotic systems. *Chaos Solitons Fractals*, 23 (2): 529-534.
- [6] Li, D., Lu J., Wu X., Chen G. 2006. Estimating the ultimate bound and positively invariant set for the Lorenz System and a unified chaotic system, *J. Math. Anal. Appl.*, 323 (2): 844-853.
- [7] Li, D., Wu, X., Lu, J., 2009. Estimating the ultimate bound and positively invariant set for the hyperchaotic Lorenz-Haken system. *Chaos Solitons Fractals*, 39 (3): 1290-1296.

- [8] Li T., Chen G., Tang Y. 2004. On stability and bifurcation of Chen's system. *Chaos, Solitons and fractals*, 19 (5): 1269-1282.
- [9] Lorenz, E.N. 1963. Deterministic non-periodic flow. *J. Atmos. Sci.*, 20: 130-141.
- [10] Lorenz E.N. 1963. *The Essence of Chaos*. Washington unv.
- [11] Luo Q., Liao X.X., Zeng Z.G. 2010. Sufficient and Necessary Conditions for Lyapunov Stability of Lorenz System and their Application. *Sci. China Inf. Sci.*, 53 (8): 1574-1583.
- [12] Lü J., Chen G. 2002. A new chaotic attractor coined. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 12: 659-661.
- [13] Pamuk N. 2013. Dinamik Sistemlerde Kaotik Zaman Dizilerinin Tespiti. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 15 (1): 77-91.
- [14] Ross S.L. 1984. *Introduction to ordinary differential equations*. Fourth edition, With the assistance of Shepley L. Ross II. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [15] Rizgar H.S. 2011. The Stability Analysis of the Shimizu-Morioka System with Hopf Bifurcation. *Journal of Kirkuk University-Scientific Studies*, 6 (2): 184-200.
- [16] Rössler O.E. 1976. An Equation for Continuous Chaos. *Phys. Lett. A* 57: 397-398.
- [17] Tigan G. 2005. Bifurcation and stability in a system derived from the Lorenz system. *Balkan Society of Geometers, Geometry Balkan Press*, 265-272.
- [18] Ueta T., Chen G. 2000. Bifurcation analysis of Chen's equation. *Internat. J. Bifur. Chaos Appl. Sci. Engrg.*, 10 (8): 1917-1931.
- [19] Weiss H., Weiss V. 2003. The golden mean as clock cycle of brain waves. *Chaos, Solitons and fractals*, 18 (4): 1917-1931.
- [20] Zhang F., Mu C., Li X. 2012. On the boundness of some solutions of the Lü system, *Internat. J. Bifur. Chaos Appl. Sci. Engrg.*, 22 (1), 5 pp.
- [21] Zhang F., Mu C., Zhou S., Zheng P. 2015. New results of the ultimate bound on the trajectories of the family of the Lorenz systems. *Discrete Contin. Dyn. Syst. Ser. B* 20 (4): 1261-1276.
- [22] Zhang F., Shu Y., Yang H. 2011. Bounds for a new chaotic system and its application in chaos synchronization. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 16 (3): 1501-1508.

Araştırma Makalesi / Research Article

Prangos pabularia Bitkisinin Antioksidan ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi

Funda TURHAN AYKANAT¹, İbrahim Halil ŞAHİN², Fatih Çağlar ÇELİKEZEN^{3*}
Şükrü HAYTA⁴

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya ABD, 13000, Bitlis

²Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri M.Y.O., Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, 13000, Bitlis

³Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 13000, Bitlis

⁴Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 13000, Bitlis
(ORCID:0000-0002-5909-6938) (ORCID:0000-0003-4817-2947)
(ORCID:0000-0001-5489-7384) (ORCID: 0000-0001-8304-5236)

Öz

Tıbbi ve aromatik bitkiler, tarih öncesi çağlardan bu yana tedavi edici özelliklerinin yanında gıda üretiminde tat ve aroma katmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle yurt dışında büyük ilgi gören bitkilerle tedavi yöntemi, yurdumuzda da önem kazanmaya başlamıştır. Sunulan çalışma Bitlis ilinde doğal olarak yetişen *Prangos pabularia* bitkisinin antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerini incelemek amacıyla planlandı. Çalışmada kullanılan *P. pabularia* bitki örnekleri Bitlis Kambos Dağı'ndan toplandı. Bitkinin yaprak ve meyvelerinin uçucu yağları su distilasyonu ile elde edildi. Antioksidan özelliklerinin belirlenmesi için DPPH metodu kullanıldı. Bitki meyvelerinin ve yapraklarının antioksidan aktiviteleri sırasıyla %28.70 ve %25.54, IC₅₀ değerleri ise 15.43 µg/ml ve 16.73 µg/ml olarak saptandı. Antimikrobiyal aktivite ise disk difüzyon metodu kullanılarak belirlendi. Bitki meyvelerinden elde edilen uçucu yağlar *Proteus mirabilis* ve *Enterobacter aurogenes* standart suşlarına karşı zayıf antibiyotik etki gösterdi. Yapraklardan elde edilen uçucu yağlar ise bakteri ya da mantar suşlarına karşı herhangi bir antibiyotik etki göstermedi.

Anahtar kelimeler: *Prangos pabularia*, Apiaceae, Antioksidan, Antimikrobiyal, Bitlis.

Detecting of Antioxidant and Antimicrobial Specifications of *Prangos pabularia*

Abstract

Medicinal and aromatic plants have been used extensively since prehistoric times in order to give taste and aroma in food production. In recent years, the treatment method with plants of great interest especially in abroad, has started to gain importance in our country. The present report was planed to determine antioxidant and antimicrobial properties of *Prangos pabularia* which grewed naturally in Bitlis city. The samples of *P. pabularia* plant were picked up from Kambos Mountain in Bitlis. Essential oils of leaves and fruits of plant obtained by water distillation. To determine antioxidant properties, DPPH method was used. Antioxidant activities of fruits and leaves of the plant were determined as 28.70% and 25.54%, IC₅₀ values detected as 15.43 µg/ml and 16.73 µg/ml respectively. Antimicrobial activity was detected by disc diffusion method. The essential oil of fruits of plant showed thin antibiotic activity against *Proteus mirabilis* and *Enterobacter aurogenes*. The essential oil of leaves of the plant did not show antibiotic effect against any bacterial or fungi strain.

Keywords: *Prangos pabularia*, Apiaceae, Antioxidant, Antimicrobial, Bitlis

*Sorumlu yazar: celikezen@gmail.com

Geliş Tarihi: 31.01.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019

Bu çalışma Funda TURHAN AYKANAT'ın aynı isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

1. Giriş

Apiaceae (Umbelliferae) familyası ilk olarak 16. yüzyılda tipik çiçeklenme şekli ile botanikçilerin dikkatini çekmiştir. Büyük çoğunluğu ılıman bölgelerde yayılış gösteren Apiaceae familyası bugün dünyada bilinen 464 cins ve yaklaşık 3700 türe sahip geniş, kozmopolit bir familyadır [1]. Apiaceae familyası, beslenme, sağlık, meşrubat, baharat, boyama, kozmetik, güzel koku ve endüstriyel amaçlarla kullanılan birçok bitkiyi ihtiva eder. Etnomedikal olarak bu aileye ait bazı bitkiler hormonal, sindirim sistemi, üreme ve solunum sistemi hastalıklarında ev yapımı ilaçlar olarak kullanılmaktadır [2].

Prangos (Umbelliferae) cinsi, dünya genelinde 28 türü içermektedir. En önemli çeşitlenme merkezi İran-Turan fitocoğrafik bölgesidir. Türkiye’de yayılış gösteren takson sayısı 19 olup, bunlardan 11 tanesi ülkemiz için endemiktir. Türkiye’de *Prangos* cinsi temsilcileri halk tıbbında tonik olarak, harici kanamayı durdurmak ve yara izlerini iyileştirmek için (dış uygulama) kullanılmaktadır. Hindistan’da, *P. pabularia* 'nın kökleri adet hızlandırıcı olarak bilinirken, tüm bitki sudaki salyangozları öldürmek için kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, *P. pabularia* meyvelerinin uyarıcı ve antifatulen olarak kullanıldığı bildirilmiştir [3]. Bunlara ek olarak, Koul ve Thakur (1978) *P. pabularia* Lindl.’dan elde edilen esansiyel yağın içeriğinde; kamfen, D-3-karen, limonen, β -fellandren, terpinolen, kafur, karvon, β - karyofillen, β ve γ - elemen, β -selinen, sitronellil asetat, ödesmol, geranil asetat, elemol, b- karyofillen oksit, mirsen ve α -pinen olduğu saptanmıştır [4].

Günümüzde doğal olmayan ilaçların kullanımı sonucu oluşan önemli yan etkiler ve bunların sebep olduğu tıbbi ve ekonomik problemler bitkisel tedaviyi tekrardan gündeme hale getirmiştir [5]. Sentetik antioksidan ve antimikrobiyal maddelerin güvenilir olup olmamaları ile alakalı endişelerin artması, doğal hammadde kaynakları üzerine yapılan çalışmaları artırmış ve yüksek oranda antioksidan ve antimikrobiyal özellik gösteren bileşikleri ihtiva etmesinden dolayı tıbbi ve aromatik bitkiler alanında yapılan araştırmalar artış göstermiştir. Buna paralel olarak, dünyanın farklı yerlerinde yetişen ve özellikle medikal özelliklerinden faydalanılan birçok bitkinin antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteleri belirlenmiştir [6-9].

Bu bilgiler ışığında, sunulan çalışma ile Bitlis ilinde doğal olarak yetişen *Parangos pabularia* bitkisinin antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerini incelemek amaçlandı.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki Örneklerinin Toplanması ve Uçucu Yağların Elde Edilmesi

P. pabularia bitkisi Bitlis İlinde Kambos Dağı adı verilen bölgede (38° 32' 41.5" K 42° 01' 23.9" D) doğal yaşama alanlarından 2017 yılının Temmuz ayında toplandı. Bitki örnekleri çalışıluncaya kadar uygun şartlarda saklandı. Bitkinin toplandığı alan kayalık ve yamaç kenarlarıdır. Yükseklik 2200-2400 m. civarındadır. Bitkinin bilimsel teşhisi BEÜ MMF Çevre Mühendisliği Öğretim Üyesi Doç. Dr. Şükrü HAYTA tarafından yapıldı (SH 5025).

P. pabularia bitkisine ait meyve ve yapraklar kurutulduktan sonra 100'er gram alınarak Clevenger aparatı ile 3 saat süreyle hidrodistilasyona tabi tutuldular. Elde edilen uçucu yağlar uygun şartlarda deney gününe kadar saklandı.

2.2. Antioksidan Özelliklerin Belirlenmesi

2.2.1. DPPH Metodu

Farklı miktarlarda bitki ekstratlarından 1.5 μ L- 40 μ L arasında değişen miktarlarda kullanılarak etanol de çözünmüş 0.4 mL, 0.5 mM DPPH çözeltisine eklendi ve son hacim 2 mL olarak hazırlandı. Solüsyonlar iyice karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında, karanlıkta 30 dakika bekletildi. Blank numune olarak etanol kullanıldı. Kontrol numunesi, 1 mL 0.5 mM DPPH etanol ile (1:4) seyreltilerek hazırlandı. Absorbans düzeyleri 517 nm’de belirlenerek % inhibisyon değeri aşağıda verilen formül yardımı ile tespit edildi [10].

$$I\% = [(A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}}) / A_{\text{kontrol}}] \times 100$$

2.3. Antimikrobiyal Aktivite Tayini

Bitki ekstresi örneklerinin antibiyotik etkisi, *S. aureus* (ATCC 33862), *E. aurogenes* (ATCC13048), *P. mirabilis* (ATCC 7002), *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212), *Candida tropicalis* (RSKK), *Eschrichia coli* (ATCC35218), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC27853), *Candida albicans* (ATCC 90028), *Acinetobacter baumannii* standart suşları kullanılarak yapıldı. Pozitif kontrol olarak *E. aurogenes*, *P. mirabilis*, *E.coli*, *P. aeruginosa* standart suşları için Seftazidim, *C. Tropicalis* ve *C. albicans* standart suşları için Cycloheximide, *S. aureus*, *A. baumannii* standart suşları için Ciprofloksasin ve *E. faecalis* standart suşu için İmipenem standart diskleri kullanıldı.

2.3.1. Disk Difüzyon Metodu

Antimikrobiyal aktivite disk difüzyon metoduna göre çalışıldı [11]. Bakteri izolatları Mueller Hinton Broth (OXOID), mantar suşları ise SD Broth (DIFCO) sıvı besiyerine ekilerek 35±2°C'de 24 saat inkübasyonla aktifleştirildi ve yoğunlukları MCFarland 0.5' e (108 CFU/mL) göre ayarlandı. [12].Bakteriler Mueller Hinton Agar (OXOID), maya mantarı Sabouraud Dextrose Agar (OXOID) besiyerlerine 100 µl bırakılarak cam baget ile sürülerek kuruması için 15 dakika beklendi. 25 µl bitki ekstreleri 6 mm çaplı steril standart disklere emdirilerek kültür ortamına bırakıldı [12]. Sonrasında numuneler 24 saat süre ile 37 °C sıcaklıkta inkübe edilerek inhibisyon çapları belirlendi.

3. Bulgular ve Tartışma

Kılıç (2008), uçucu yağların elde edilme yöntemlerini ve bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarını araştırdığı çalışmasında, farmakoloji, kozmetik ve gıda endüstrisi gibi çeşitli kullanım alanlarına sahip olan esansiyel yağların, Romacılardan bugüne kadar değişik yollarla elde edildiğini belirtmiştir [13]. Çalışmada genellikle kullanılan yöntemlerin, destilasyon, su destilasyonu (HD), ekstraksiyon ve presleme olduğu bildirilmiştir. Son yıllarda kullanılan Süperkritik sıvı ekstraksiyonu (SFE), mikrodalga ekstraksiyonu (MWE) ve katı-faz mikroekstraksiyonunun (SPME) vb. ise daha modern yöntemler olduğu belirtilmiştir [13]. Sunulan çalışmada *P.pabularia* bitkisinin yaprak ve meyvesinin uçucu yağ asitleri su distilasyonu yöntemi ile elde edildi.

P. pabularia bitkisinin yaprak ve meyvesinin uçucu yağ asitlerinin antioksidan özellikleri DPPH metodu kullanılarak belirlendi. DPPH radikal temizleme aktivitesi bitki ekstraktlarının antioksidant aktivitelerinin belirlenmesinde en çok kullanılan metotlardan biridir [14]. Yapılan çalışmada, *P. pabularia*'nın yapraklarından elde edilen uçucu yağlarının antioksidan etkisi %25.54, meyvelerinden elde edilen uçucu yağların antioksidan aktivitesi ise %28.70 olarak saptandı. IC₅₀ değerleri ise sırasıyla 16,73 µg/ml ve 15,43 µg/ml olarak tespit edildi (Tablo 1).

Tablo 1. *P. pabularia* bitkisinin antioksidan aktivite değerleri

Bitki Numunesi	% İnhibisyon Değeri	IC ₅₀ Değeri (µg/ml)
Yaprak	% 25,54	16,73
Meyve	% 28,70	15,43

Elde edilen sonuçlara paralel olarak, yapılan bir çalışmada Konya bölgesinden toplanan dört *Prangos* türünün, herba, kök ve meyvelerinden elde edilen su ve metanol (MeOH) ekstrelerinin antioksidan aktiviteleri ile total fenolik madde miktarları araştırılmış ve tüm örneklerin DPPH metodu ile yapılan analizlerinde zayıf antioksidan etki gösterdikleri belirlenmiştir. Aynı çalışmada MeOH ekstrelerinin TBA testinde sulu ekstrele göre daha yüksek antioksidan aktivite gösterdikleri saptanmıştır [15]. Martins vd (2016) tarafından yapılan bir çalışmada Apiaceae ailesinden *Pimpinella anisum* L. (anise) and *Coriandrum sativum* L. (coriander) bitki tohumlarının antioksidan özellikleri araştırılmış ve anise'nin yüksek fenolik içeriğe sahip olduğu ve yüksek bir antioksidan özellik gösterdiği rapor edilmiştir [16]. Ülkemizde yetişen *P. ferulacea* (L.) Lindl.'in etanol ve metanol ile hazırlanan meyve özütlerinin antioksidan aktivitelerinin DPPH metodu kullanılarak incelendiği bir çalışmada ise bütün meyve özütlerinin zayıf antioksidan özellik gösterdiği saptanmıştır [17]. Benzer bir çalışmada, *P. Feruleceae* (L.) Lindl. (Apiaceae) ekstraktlarının antioksidan aktivite gösterdiği tespit edilmiştir [18].

İki endemik *Prangos* türü olan *P. heyniae* H. Duman & M. F. Watson ve *P. denticulata* Fisch. & Mey. kullanılarak yapılan bir çalışmada bitkilerin su ve metanol ekstraktlarının yüksek antioksidan aktivite gösterdikleri rapor edilmiştir [19]. Diğer bir çalışmada *Oliveria decumbens* Vent. (Apiaceae) bitkisinin tohum ve çiçeklerinin uçucu yağ asit kompozisyonu, toplam fenolik ve flavonoid yapısı daha sonra antioksidan aktivitesi DPPH metodu ile çalışılmıştır. *Oliveria decumbens* Vent.'nin çiçekli kısımlarının IC₅₀ değeri 86.1 ± 3.8 (mg/ml) tohumlarında bu oran 98.5 ± 4.2 (mg/ml) olarak tespit edilmiştir [20]. Apiaceae ailesinden *Heracleum persicum* Desf, *P. ferulacea* (L.) Lindl, *Chaerophyllum macropodium* Boiss.'in antioksidan etkilerinin incelendiği başka bir çalışmada ise IC₅₀ değeri sırasıyla 0.438, 0.242 ve 0.623 (mg/ml) olarak tespit edilmiştir [21].

Sunulan çalışmada, elde edilen saf uçucu yağların antimikrobiyal özellikleri disk difüzyon metodu ile çalışıldı. Evren ve Tekgüler (2011), gram negatif bakterilerin uçucu yağların antimikrobiyal etkilerine karşı gram pozitif bakterilere göre daha fazla direnç gösterdiğini ve bu direncin hücre duvarından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir [22]. Fakat yapılan çalışmada, gram negatif bakterilerin *P. pabularia*'nın meyvelerinden elde edilen uçucu yağlara karşı daha duyarlı olduğu tespit edildi. Yapılan araştırmada, *P. pabularia*'nın *E. aerogenes* ve *P. mirabilis* standart suşlarına karşı zayıf antibiyotik etkiye sahip olduğunu gösterdi (Tablo 2).

Tablo 2. *P. pabularia* yaprak ve meyvesinden elde edilen uçucu yağların antimikrobiyal etkileri

Mikroorganizma	Pozitif Kontrol Zon Çapı (mm)				Yaprak Zon çapı (mm)	Meyve Zon çapı (mm)
	Seftazidim Zon Çapı (mm)	İmipenem Zon Çapı (mm)	Cycloheximide Zon Çapı (mm)	Ciprofloksasin Zon Çapı (mm)		
<i>E. aerogenes</i>	29				-	10
<i>S. aureus</i>				32	-	-
<i>P. mirabilis</i>	30				-	13
<i>E. faecalis</i>		30			-	-
<i>A.baumannii</i>				30	-	-
<i>E.coli</i>	29				-	-
<i>P. aeruginosa</i>	27				-	-
<i>C.albicans</i>			42		-	-
<i>C.tropicalis</i>			40		-	-

Elde edilen sonuçlara paralel olarak yapılan bir çalışmada, Özek vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, *P. pabularia* Lindl. meyvesinden elde edilen uçucu yağların antimikrobiyal etkisi mikrodilüsyon yöntemi ile çalışılmış ve bazı bakteriler üzerine zayıf antibiyotik etki gösterdiğini saptamışlardır [23]. Diğer bir çalışmada, *P. uloptera* DC. köklerinin diklormetan ekstraktlarının *S. aureus* ve *B. subtilis*'e yüksek antimikrobiyal etki gösterdiği bildirilmiştir [24]. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, Türkiye'de tanımlanmış yeni bir endemik tür olan *Prangos hulussii*'nin diklormetan ekstraktının 9 standart suş ve 6 adet kliniksel olarak izole edilmiş türler üzerine antibiyotik etki gösterdiği rapor edilmiştir [25]. Apiaceae ailesine ait olan *Alepidea species*, *A. natalensis* Wood & Evans ve *A. Amatymbica* Eckl. & Zeyh. türleri üzerine yapılan bir çalışmada, bitkilerinin petrol eteri, diklormetan, etanol (%80) ve su ekstraktlarının antibakteriyel, antifungal, antiinflamatuvar ve genotoksik etkilerinin araştırılmış ve *A. natalensis* bitkisinin kök-saplarına ait su ekstraktlarının *B. subtilis*, *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae* ve *S. aureus* standart suşlarına karşı yüksek antibiyotik etki gösterdiği tespit edilmiştir (MIC 0.78 mg/ml). Çalışmada, bitki yaprağının petrol eteri ve diklormetan ekstraktlarının gram pozitif bakteriler üzerine yüksek aktivite gösterdiği tespit edilmiştir [26]. Tada vd (2002) tarafından yapılan bir araştırmada ise *P. pabularia*'dan elde edilen kumarin türevlerinden bazılarının antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu saptanmıştır [27]. Durmaz vd (2006) *Prangos ferulacea* (L.) nin metanol ekstraktının dört gram pozitif bakteri ve beş gram negatif bakteriye karşı antimikrobiyal aktivitesini disk difüzyon yöntemi ile çalışmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre *B. cereus*, *B. subtilis*, *M. luteus* ve *S. aureus* için antimikrobiyal etki saptanırken *E. coli*, *K. pneumoniae*, *S. enteritidis* ve *S. typhimuri*'ye karşı herhangi bir etki gözlenmemiştir [28].

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, yine aynı aileden olan (Apiaceae) *Ferulago trachycarpa* bitkisinin sap ve köklerinin, n-hexane, diklormetan ve metanol ekstraktlarının *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *P. mirabilis* ve

Enterococcus faecalis bakterisi suşları ile *C. albicans*, *C. tropicalis* ve *C. parapsilosis* mantar suşları üzerine de antimikrobiyal etki gösterdikleri rapor edilmiştir [29]. Almurabet (2018) yaptığı bir çalışmada, Malatya yöresinden toplanan *P. pabularia* ekstraktının *S. infantis* ve *P. fluorescens*'e karşı antimikrobiyal etki gösterdiği, *B. subtilis*, *C. albicans*, *E. aerogenes*, *E. coli*, *E. faecium*, *P. aeruginosa*, *S. enteritidis*, *E. faecalis*, *K. pneumoniae*, *S. epidermidis*, *S. aureus*, *S. typhimurium* ve *S. kentucky*'e karşı ise göstermediğini bildirmiştir [3].

4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, yapılan çalışma ile Bitlis ili çevresinden toplanan *P. pabularia* bitkisinin meyve ve yapraklarından elde edilen uçucu yağların zayıf antioksidan etki gösterdiği belirlendi. Bunun yanında *E. aerogenes* ve *P. mirabilis* standart suşlarına karşı zayıf antibiyotik etkiye sahip oldukları ilk kez saptandı.

Teşekkür

Katkılarından dolayı Bitlis Tatvan Devlet Hastanesi Mikrobiyoloji Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Yılmaz G., Ayla K., Koyuncu M. 2016. Türkiye’de Yetişen *Heptaptera Marg. Reuter* (Apiaceae) Türlerinin Meyve Morfolojisi ve Anatomisi. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 40 (2): 26-42.
- [2] Acimović M.G., Kostadinović L.M., Popović S.J., Dojčinović N.S. 2015. Apiaceae Seeds As Functional Food. Journal of Agricultural Sciences, 60 (3): 237-246.
- [3] Almurabet E.M.S. 2018. Apiaceae Familyasına Ait Bazı Türlerin Antimikrobiyal Aktivitesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 136s, Kastamonu.
- [4] Koul S.K., Thakur R.S. 1978. The Essential Oil of *Prangos Pabularia* Lindl. India Perfumer, 22 (4): 284-286.
- [5] Özbek H. 2005. Cinsel ve Jinekolojik Sorunların Tedavisinde Bitkilerin Kullanımı. Van Tıp Dergisi, 12 (2):170-174.
- [6] Rojas R., Bustamante B., Bauer J., Fernandez I., Alban J., Lock O. 2003. Antimicrobial Activity of Some Selected Peruvian Medicinal Plants. Journal of Ethnopharmacology, 88 (2-3): 199-204.
- [7] Salvat A., Antonacci L., Fortunato R.H., Suarez E.Y., Goday H.M. 2004. Antimicrobial Activity in Methanolic Extracts of Several Plant Species from Northern Argentina. Phytomed, 11 (2-3): 230-234.
- [8] Chanwitheesuk A., Teerawutgulrag A., Rakariyatham N. 2005. Screening of Antioxidant Activity and Antioxidant Compounds of Some Edible Plants of Thailand. Food Chemistry, 92 (3): 491-497.
- [9] Ivanova D., Gerova D., Chervenkov T., Yankova T. 2005. Polyphenols and Antioxidant Capacity of Bulgarian Medicinal Plants. Journal of Ethnopharmacology, 96 (1-2): 145-150.
- [10] Cuendet M., Hostettmann K., Potterat O. 1997. Iridoidglucosides with Freeradicals Cavening Properties From *Fagrea blumei*, Helvetica Chimica Acta, 80 (4): 1144-1152.
- [11] National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS). 1997. Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests. Approved Standard M2-A6. Wayne, Pa: National Committee For Clinical Laboratory Standards.

- [12] Barry A.L., Thornsberry C. 1985. Susceptibility Tests: Diffusion Test Procedures. In: Manual of Clin Microbiol for Microbiol Lennette, Edited by E.H., Balows A., Hausler W.J., Shadomy H.J., American Society for Microbiology, 978-987.
- [13] Kılıç A. 2008. Uçucu Yağ Elde Etme Yöntemleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 10 (13): 37-45.
- [14] Tirzitis G., Bartosz G. 2010. Determination of Antiradical and Antioxidant Activity: Basic Principles and New Insights. Acta Biochimica Polonica, 57 (1): 139-142.
- [15] Ahmed J., Güvenç A., Küçükboyacı N., Baldemir A., Coşkun M. 2011. Total Phenolic Contents and Antioxidant Activities of *Prangos Lindl.* (Umbelliferae) Species Growing in Konya Province (Turkey). Turkish Journal of Biology, 353-360.
- [16] Martins N., Barros L., Santos-Buelga C., Ferreira I.C. 2016. Antioxidant Potential of Two Apiaceae Plant Extracts: A Comparative Study Focused on The Phenolic Composition. Industrial Crops and Products, 79: 188-194.
- [17] Cesur C., Şenkal B.C., Yaman C., Uskutoğlu T., Koç M. 2017. Antioxidant Activity of Fruit Extracts of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl. From Turkey. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (4): 249-256.
- [18] Kafash-Farkhad N., Asadi-Samani M., Rafieian-Kopaei M. 2013. A Review on Phytochemistry and Pharmacological Effects of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl, Life Science Journal, 10: 360-367.
- [19] Öke-Altuntas F., Aslim B., Duman H., Gulpinar A.R., Kartal M. 2015. The Relative Contributions of Chlorogenic Acid and Rutin to Antioxidant Activities of Two Endemic *Prangos* (Umbelliferae) Species (*P. heynea* and *P. denticulata*). Journal of Food Biochemistry, 39 (4): 409-416.
- [20] Esmaili H., Karami A., Maggi F. 2018. Essential Oil Composition, Total Phenolic and Flavonoids Contents, and Antioxidant Activity of *Oliveria Decumbens* Vent. (Apiaceae) At Different Phenological Stages. Journal of Cleaner Production, 198: 91-95.
- [21] Çoruh N., Sağdıçoğlu Celep A., Özgökçe F. 2007. Antioxidant Properties of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl., *Chaerophyllum macropodium* 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.
- [22] Evren M., Tekgüler B. 2011. Uçucu Yağların Antimikrobiyel Özellikleri. Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 9 (3): 28-40.
- [23] Özek G., Özek T., Işcan G., Başer K.H.C., Hamzaoglu E., Duran A. 2007. Comparison of Hydrodistillation and Microdistillation Methods for The Analysis of Fruit Volatiles of *Prangos Pabularia* Lindl. and evaluation of its antimicrobial activity. South African Journal of Botany, 73 (4): 563-569.
- [24] Razavi S.M., Zarrini G., Zahri S., Mohammadi S. 2010. Biological Activity of *Prangos uloptera* DC. Roots. A Medicinal Plant From Iran, Natural Product Research, 24 (9): 797-803.
- [25] Tan N., Bilgin M., Tan E., Miski M. 2017. Antibacterial Activities of Pyrenylated Coumarins From The Roots of *Prangos hulusii*. Molecules, 22 (7): 1098, doi:10.3390.
- [26] Mulaudzi R.B., Ndhlala A.R., Finnie J.F., Van Staden, J. 2009. Antimicrobial, Anti-Inflammatory and Genotoxicity Activity of *Alepidea*, *Amatymbica* and *Alepidea Natalensis* (Apiaceae). South African Journal of Botany, 75 (3): 584-587.
- [27] Tada Y., Shikishima Y., Takaishi Y., Shibata H., Higuti T., Honda G., Ito M., Takeda Y., Kodzhimatov O. K., Ashurmetov O., Ohmoto Y. 2002. Coumarins and γ -pyrone Derivatives From *Prangos pabularia*: Antibacterial Activity and Inhibition of Cytokine Release. Phytochemistry, 59 (6): 649-654.

- [28] Durmaz H., Sagun E., Tarakci Z., Ozgokce F. 2006. Antibacterial Activities of *Allium Vineale*, *Chaerophyllum Macropodium* and *Prangos Ferulacea*, African Journal of Biotechnology, 5(19): 1795-1798.
- [29] Dikpınar T., Süzgeç-Selçuk S., Çelik B.Ö., Uruşak E.A. 2018. Antimicrobial Activity of Rhizomes of *Ferulago trachycarpa* Boiss. and Bioguided Isolation of Active Coumarin Constituents, Industrial Crops and Products, 123: 762-767.

Araştırma Makalesi / Research Article

***Hedera helix* L. Türünün Sürünücü ve Tırmanıcı Kısımlarında Bazı Pigment ve Antosiyanin İçeriklerinin Karşılaştırılması**

Emire ELMAS^{1*}, Sevda TÜRKİŞ²

¹*Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Sinop*

²*Ordu Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü, Ordu*
(ORCID: 0000-0002-5620-1798) (ORCID: 0000-0002-1853-8437)

Öz

Hedera helix L. yaprak döken orman ekosistemlerinin önemli türlerinden birisidir. Yenice Ormanları'nda bulunan Kavaklı Tabiatı Koruma Alanı'nda tırmanıcı özelliğinin dışında yoğun bir yer örtücü (sürünücü) özellik de sergilemektedir. Bu çalışmada, Kavaklı Tabiatı Koruma Alanı'nda yayılış gösteren *H. helix* türünün sürünücü ve tırmanıcı kısımlarının yaprak ve gövdelerinde bazı bitki pigmentleri (klorofil-a, klorofil-b, Kl-a/Kl-b, karotenoid ve antosiyanin) açısından fark olup olmadığının araştırılması amaçlanmıştır. Üç farklı bitki bireyinden yaprak ve gövde örnekleri toplanmış ve 1 g taze örnek kullanılarak ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Klorofiller için 645, 662 nm ve karotenoid için 470 nm'deki absorbanslar ölçülmüştür. Antosiyanin miktarını belirlemek için 1 g yaprak örneği 12 ml metanol/HCl (99/1) içerisinde 24 saat +4 °C'de inkübe edilerek 530 ile 657 nm'deki absorbanslar ölçülmüştür. Sonuçların değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey testi kullanılmıştır. Buna göre, sürünücü ve tırmanıcı bitki kısımlarının yaprak ve gövdeleri arasında Kl-a, Kl-b, Kl-a/Kl-b ve karotenoid içerikleri açısından istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamıştır. Antosiyanin içeriği açısından farklı bitki kısımlarına ait gövdeler arasında önemli bir farklılık bulunmazken, tırmanıcı kısımlardaki yapraklarda sürünücü kısımların yapraklarına göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (P<0,05). Elde edilen bulgular, yaprak döken orman ekosistemlerinde farklı orman katlarında bulunan *H. helix* türünün hem sürünücü formda hem de tırmanıcı formda biyomas ve oksijen üretimi açısından benzer etkililikte katkı sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Hedera helix*, klorofil, karotenoid, antosiyanin, Kavaklı TKA.

Comparison of Some Pigment Quantities in *Hedera helix* L. Leaves of Creeping and Climbing Plant Parts

Abstract

Hedera helix L. is an important species in forest ecosystems. In Kavaklı Nature Reserve Area of the Yenice Forest, it exhibits both climbing and ground covering (prostrating) behavior. In this study, it was aimed to investigate the differences of some plant pigments (chlorophyll-a, chlorophyll-b, Chl-a/Chl-b, carotenoid and anthocyanin) between leaves and stems on creeping and climbing parts of *H. helix*. Leaf and stem samples were collected from 3 different plant individuals. The extraction was made by using 1 g sample for chlorophylls and carotenoid. The absorbances were measured in 662 and 645 nm for chlorophylls and in 470 nm for carotenoids. To determine anthocyanin content, 1 g sample was incubated in 12 ml methanol/HCl (99/1) at +4 °C for 24 h. Then, the absorbances in 530 and 657 nm were measured. One-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey Test were used to evaluate the results. According the results, there were no differences in Cl-a, Cl-b, Cl-a/Cl-b and carotenoid contents between leaves and stems of creeping and climbing parts. Anthocyanin contents were significantly higher in leaves of climbing part than ones of creeping part (P<0.05), although there was no significant differences between stems of different parts of *H. helix*. The results show that *H. helix* that found in different forest layers in deciduous forest ecosystems contributes in similar effectiveness in both creeping and climbing form in terms of biomass and oxygen production.

Keywords: *Hedera helix*, chlorophyll, carotenoid, anthocyanin, Kavaklı NRA.

*Sorumlu yazar: elmas@sinop.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.05.2018, Kabul Tarihi: 21.04.2019

1. Giriş

Araliaceae familyasına ait olan ve her dem yeşil bir karaktere sahip olan *Hedera helix* L. türü, çok yıllık odunsu bir bitkidir. Orman ekosistemlerinin önemli bir türü olarak 0-1500 m yükseltiler arasında yayılış göstermekte ve 30 m yüksekliğe kadar boylanabilmektedir. Hem sürünücü hem de tırmanıcı bir yapı gösteren bu türün yaprakları basit yapıda olup, tüsüzdür ve alternat dizilim gösterir [1]. Yaz sonlarında açık yeşil/sarı olan yapraklar, kışın mor renge dönüşmektedir [2]. *H. helix* türü özellikle çok eski ormanlık alanlar ile sekonder ormanlık alanların çoğunda yerleşim göstermektedir. Ayrıca, ılıman koşulların indikatörü olarak da kabul edilmektedir [3]. Gölge koşullara toleransı yüksek olan bu tür, özellikle verimli topraklara sahip ormanlık alanların zemin katmanında dominant hale gelmektedir [2, 4]. *H. helix* gibi kök tırmanıcıları, genelde çapı geniş olan ve pürüzlü gövde kabuğuna sahip ağaçları tercih etmektedirler [5]. Güçlü kanopiye sahip olan ağaç türleri her ne kadar *H. helix* türünün büyümesini bir miktar sınırlasa da, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur* ve *Acer campestre* gibi türler bu sarmaşık türünün kanopide büyümesini sağlayacak kadar ışığa olanak tanımaktadırlar. Böylece özellikle kanopisi yoğun olmayan ağaç türlerinin olduğu alanlarda *H. helix* türü sabit bir tür olarak yayılış göstermektedir [2].

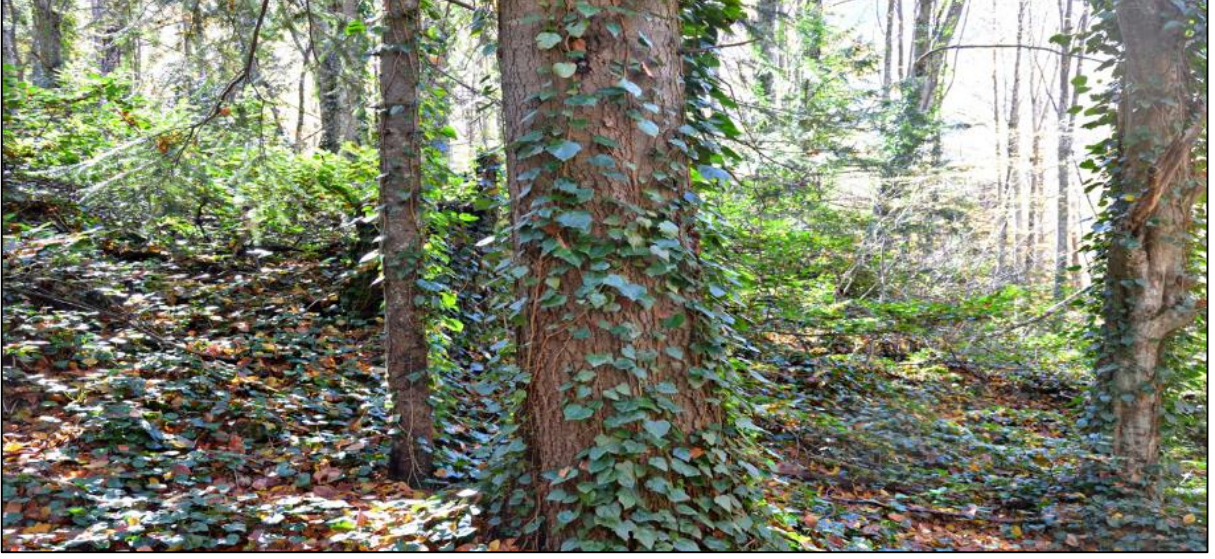
Karabük il sınırları içerisinde yer alan Kavaklı Tabiatı Koruma Alanı, Türkiye'nin 9 sıcak noktasından biri olan Yenice Ormanları'nın bir parçasıdır ve bu alan, özellikle odunsu türler açısından zengin çeşitliliğe sahiptir. Bu bölgede *H. helix* türü 800-1000 m'ler arasında *Fagus orientalis-Carpinus betulus* komunitasinin ve 1200-1300 m'ler arasında *Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani* komunitasinin önemli bileşenlerinden biridir. Kavaklı Tabiatı Koruma Alanı'nda hem tırmanıcı hem de sürünücü olarak yer yer yoğun yayılış göstermektedir. *H. helix* türü, ekosistemde farklı vejetasyon katmanlarında yayılış göstermesinin bir sonucu olarak, mutant ve yabancıl tip hücrelerin karışımına sahiptir. Böylece dimorfik yapraklar oluşturan bir kimera bitkisi özelliği taşımaktadır [6, 7].

Orman ekosistemleri ekolojik koşullar açısından heterojen çevre koşullarına sahiptir ve en büyük kısıtlayıcı faktörlerden birisi ışık elde edilebilirliğidir. Bu çalışma kapsamında, *H. helix* türünün aynı gelişim fazında olan fakat orman ekosisteminde farklı katmanlarda bulunan sürünücü ve tırmanıcı kısımlarının gövde ve yapraklarında K_{1a}, K_{1b}, K_{2a}/K_{2b}, karotenoid ve antosiyanin içerikleri açısından fark olup olmadığının araştırılması planlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Kavaklı Tabiatı Koruma Alanı'nda yayılış gösteren üç farklı *H. helix* (Şekil 1) bireyinin sürünücü formundaki kısımları ile ağaç gövdesi üzerinde tırmanıcı kısımlarından Haziran 2015 tarihinde yaprak ve gövde örnekleri alınmıştır. Nemli kağıtlara sarılan örnekler laboratuvara getirilene kadar serin bir ortamda siyah poşetler içinde muhafaza edilmiştir. Laboratuvara getirilen örneklerden 1 g taze yaprak ve gövde örneği kullanılarak De Kok ve Graham [8] yöntemine göre ekstraksiyon işlemi yapılmış ve klorofil içerikleri için 662 nm, 645 nm ve karotenoid için 470 nm'deki absorbanslar ölçülmüştür [8]. Pigment konsantrasyonları Lichtenthaler ve Welburn [9]'e göre hesaplanmıştır.

Antosiyanin miktarını belirlemek için 1 g yaprak örneği 12 ml metanol/HCl (99/1) içerisinde 48 saat +4 °C'de inkübe edilerek 530 ile 657 nm'deki absorbanslar ölçülmüştür. Antosiyanin konsantrasyonları $A = A_{530} - A_{657} / 3$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır [10, 11]. Elde edilen farklılıkların istatistiksel olarak önemli olup olmadığı SPSS v20 paket programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey testi aracılığı ile değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Kavaklı Tabiatı Koruma Alanı'nda *Hedera helix* türünün görünümü

3. Bulgular ve Tartışma

Laboratuvar analizleri sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. *H. helix* türünün tırmanıcı kısımlarındaki yaprak ve gövdelerinde Kla, Klb, Kla/Klb, karotenoid ve antosiyanin oranları daha yüksek bulunmuştur. Kla/Klb oranlarının ise sürünücü formdaki bitki kısımlarının yaprak ve gövdelerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel analizlere göre, sürünücü bitki kısımlarındaki yaprak ve gövdeler ile tırmanıcı formdaki bitki kısımlarının yaprak ve gövdeleri arasında klorofil ve karotenoid içerikleri açısından tespit edilen bu farklılıklar önemli bulunmamıştır ($P>0,05$; Tablo 2). Bunun yanında, antosiyanin içeriğinin tırmanıcı kısımlara ait yapraklarda sürünücü kısımlardaki yapraklardan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$; Tablo 2). Her iki formun gövdelerinde antosiyanin içeriği açısından belirlenen farklılık istatistiksel olarak önemli değildir.

Tablo 1. Ölçümü yapılan pigmentlerin ortalama ve standart sapma değerleri
(S: Sürünücü kısımlara ait; A: Ağaç gövdesi üzerinde tırmanıcı kısımlara ait)

Değişkenler (mgg^{-1})	Bitki Kısım			
	S- yaprak	A-yaprak	S- gövde	A-gövde
Kla	27,34 \pm 2,54	28,95 \pm 1,49	0,56 \pm 0,06	1,06 \pm 0,04
Klb	11,39 \pm 2,09	12,91 \pm 1,63	0,24 \pm 0,05	0,48 \pm 0,04
T. Kl	38,73 \pm 4,62	41,86 \pm 3,11	0,80 \pm 0,06	1,54 \pm 0,04
Kla/Klb	2,43 \pm 0,24	2,26 \pm 0,16	2,44 \pm 0,59	2,24 \pm 0,29
Karotenoid	7,06 \pm 0,69	7,40 \pm 0,38	0,21 \pm 0,03	0,25 \pm 0,05
Antosiyanin	0,19 \pm 0,04	1,94 \pm 0,14	0,18 \pm 0,03	0,05 \pm 0,01

Tablo 2. *Hedera helix* türünde sürünücü ve tırmanıcı kısımlara ait yaprak ve gövdelerin bazı pigment ve antosiyanin içerikleri açısından farklılıklarını gösteren TUKEY analiz sonuçları (S: Sürünücü kısımlara ait; A: Ağaç gövdesi üzerinde tırmanıcı kısımlara ait)

Bağımlı değişkenler	Bitki Kısmı		Ortalama fark (I-J)	St. Hata	Önemlilik
Kla	S-Yaprak	A-yaprak	-1,61	1,20	0.75
	S-Gövde	A-gövde	-0,50	1,20	0.87
Klb	S-Yaprak	A-yaprak	-1,52	1,08	0.62
	S-Gövde	A-gövde	-0,24	1,08	0.94
T.KI	S-Yaprak	A-yaprak	-3,13	2,27	0.68
	S-Gövde	A-gövde	-0,74	2,27	0.90
Kla/Klb	S-Yaprak	A-yaprak	0,17	0,29	0.94
	S-Gövde	A-gövde	0,20	0,29	0.72
Karotenoid	S-Yaprak	A-yaprak	-0,34	0,32	0.84
	S-Gövde	A-gövde	-0,05	0,32	0.97
Antosiyanin	S-Yaprak	A-yaprak	-1,75	0,06	0.00*
	S-Gövde	A-gövde	0,13	0,06	1.00

*: $P < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

Bitkilerin gelişimi süresince boyut ve komplekslikte artış olur ve yaşam evrelerini tamamlayana kadar vejetatif ve reproduktif olmak üzere fizyolojik olarak birbirinden farklılık gösteren iki faz geçirirler. Vejetatif ile reproduktif gelişim fazları arasında kalan süreç ise geçiş fazı olarak adlandırılmaktadır [12]. *Hedera helix* türü, üreme olgunluğuna erişmiş kısımlardaki yapraklar ile juvenil kısımdaki yapraklarda heteromorfizm sergileyen bir türdür ve üreme olgunluğuna erişen kısımlardaki yapraklar juvenil kısımlardakinden fizyolojik olarak çeşitli farklılıklar gösterir [13, 14]. Bu çalışmada materyal olarak kullanılan bitki kısımlarında yapraklar açısından morfolojik olarak bir farklılık bulunmamaktadır. Fakat orman yapısı içerisinde hem sürünücü hem de tırmanıcı olarak farklı habitatlarda varlık göstermektedir. Yoğun orman dokusundan ötürü, sürünücü formda olan kısımları daha yoğun gölge koşullarına maruz kalmaktadır. Bitki türlerinin gölge koşullarında besin dengelerini sürdürebilme yetenekleri değişkenlik göstermektedir [15]. Bu nedenle farklı fiziksel koşullara maruz kalan bu iki bitki kısmı arasında bazı pigmentler ve antosiyanin içeriği bakımından farklılık olup olmadığı araştırılmıştır.

Gelişim süreci boyunca bitkilerin bazı özellikleri kademeli olarak değişirken, bazı özellikleri hızlı bir değişim geçirir. Bununla birlikte, büyüme ve farklılaşma, sinyal yolları aracılığıyla birbiriyle koordineli olarak devam eder [16]. Bitkiler, ışık yoğunluğu, tipi ve besin elde edilebilirliği gibi çevresel faktörlerin de etkisiyle yaşamları süresince, genetik kapasitelerinin elverdiği ölçüde farklı tiplerde yapraklar üretme kapasitesine sahiptirler. Bu farklılık şekilsel olduğu kadar fizyolojik olarak da belirginleşebilmektedir [17]. Gelişim dönemine göre yapraklardaki pigment miktarı farklılık gösterebilmektedir [18, 19]. Fakat bu çalışmada, *H. helix* türünün sürünücü ya da tırmanıcı kısımları arasında klorofil a, klorofil b ve karotenoid pigmentlerinin içeriği bakımından anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Bu durum aynı gelişim dönemine ait yapraklarda ışıklandırma farklılığına rağmen fotosentez aktivitesinin benzer olduğunu göstermektedir. Bauer ve Bauer [20] tarafından yapılan çalışmada da *H. helix* türünün juvenil ve olgun yaprakları arasında klorofil açısından bir farklılık belirlenmemiştir. Bu sonuçlar *H. helix* türünün gölge koşullarına adaptasyon konusunda sahip olduğu yüksek plastisite özelliği [2] ile açıklanabilir. Ek olarak, büyük ağaç kitlelerinin olduğu alanlarda, ışık koşullarının uygunluğuna göre *H. helix* türü kanopi altında daha iyi gelişim gösterebilmektedir. Bu durum alanda mevcut olan ağaç türlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [21]. Konak bitkilerin kabuk yapısı ve atraktif özellikleri *H. helix* türünün yer örtücü olarak bulunma yüzdesini etkilemektedir. *Carpinus*

betulus ve *Fraxinus excelsior* gibi genç büyüme evrelerinde çataklı kabuk yapısına sahip olan türler, *H. helix* için iyi konak bitkiler olma özelliği gösterirken, *Fagus sylvatica* ve *Taxus baccata* gibi türlerinin atraktif özelliği daha zayıf olmaktadır. Ayrıca alan içindeki odunsu tür kompozisyonu, ağaç gövde çapı ve toprak yapısı da tırmanıcı türlerin çeşitliliğini ve özelliklerini etkilemektedir [21, 22]. Kavaklı Tabiatı Koruma Alanı'nda gövde çapı yüksek ağaçları tür sayısının fazla olmasının yanında, *Fagus orientalis* türü de örtüşü en yüksek türler arasında yer almaktadır. Bu durum da *H. helix* türünün bu alanda yoğun yer örtücü olma özelliğini açıklamaktadır. Kanopi altında iyi gelişme olanağı bulması klorofil a, klorofil b ve karotenoid pigmentlerinin içeriği bakımından tırmanıcı kısımlarla fark olmamasını açıklayabilecek nedenler arasında yer almaktadır.

Diğer yandan tırmanıcı kısımlarda bulunan yaprakların antosiyanin içeriğinin sürünücü kısımlardakinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Antosiyanin, aşırı ışık, düşük sıcaklık, enfeksiyon veya besin eksikliği gibi koşullarda, bitki dokularını oksidatif stresten koruyan en güçlü antioksidanlardan biridir [23]. *H. helix* türünün dokularında antosiyanin birikimi, faza bağımlı bir süreçtir ve olgun fazda dihidrofenol 4-redüktaz enzim aktivitesinin eksikliğine bağlı olarak olgun dokularda biriktirilememektedir [13]. Juvenil ve olgun fazdaki bitki kısımlarının antosiyanin içeriklerinde Muray ve Hackett [13] tarafından tespit edilmiş farklılıklara ek olarak, juvenil fazdaki kısımlarda da bitki kısımlarının buldukları yere göre antosiyanin içeriği açısından farklılık görüldüğü tespit edilmiştir. Çalışmamızda, ikisi de juvenil faza ait yapraklar olmalarına rağmen, ağaç gövdesi üzerindeki bitki kısımlarında yer alan yaprakların antosiyanin içeriğinin sürünücü kısımlardaki yapraklardan anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ışığın etkisinin artmaya başlamasıyla birlikte, antosiyanin birikiminin de artmaya başladığını göstermektedir. Bu sonuç, ışığın antosiyanin üretimine olan etkisiyle ilgili başka çalışmalarda da gösterilmiştir ve antosiyaninin fotosentetik yapıların korunmasındaki rolü ile açıklanmaktadır [24, 25].

4. Sonuç ve Öneriler

Elde edilen sonuçlar *H. helix* türünün sürünücü ya da tırmanıcı kısımlarda yer alan ve aynı gelişim fazına ait bitki kısımlarının orman ekosistemi içerisinde farklı katmanları işgal ettikleri halde biyomas ve oksijen üretimi açısından benzer etkililikte katkı sağladığını göstermektedir. Bu durum, aynı bitki yapısındaki farklı ekolojik faktörlere maruz kalan dokuların farklı fizikokimyasal cevaplarının göstergesidir. *H. helix*, yaprak döken orman ekosistemlerinin önemli türlerinden birisi olmasının yanı sıra, peyzaj çalışmalarında da yaygın olarak kullanılan bir bitki türüdür. Bu nedenle ekofizyolojisinin anlaşılması, hem orman ekosistemlerinde türlerin nişlerinin daha iyi anlaşılması hem de etkili peyzaj uygulamalarının yapılmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, ağaç boylarının çok yüksek olması ve ağaçların tepe kısmından örnekleme yapılması için gerekli teçhizat bulunmaması nedeniyle, *H. helix* türünün ağacın taç bölümünde yer alan kısımlarından örnek alınamamıştır. Bu nedenle, *H. helix* türünün ağaçların tepe kısımlarında bulunan yaprak ve gövdelerinin de dahil edilerek yapılacak yeni çalışmaların bu konuya katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 113Z820 No.lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Chamberlain D.F. 1972. *Hedera* L. in Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Edited by Davis P.H., Vol.4, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 538-539.
- [2] Metcalfe D.J. 2005. *Hedera helix* L. Journal of Ecology, 93 (3): 632-648.
- [3] Ellenberg H. 1988. Vegetation Ecology of Central Europe. Cambridge University Press, 731s. Cambridge, UK.
- [4] Sack L., Grubb P.J. 2002. The combined impacts of deep shade and drought on the growth and biomass allocation of shade-tolerant woody seedlings. Oecologia, 131: 175-185.

- [5] Castagneri D., Garbarino M., Nola P. 2013. Host preference and growth patterns of ivy (*Hedera helix* L.) in a temperate alluvial forest. *Plant Ecology*, 214 (1): 1-9.
- [6] Rogers S.O., Bonnett H.T. 1989. Evidence for apical initial cells in the vegetative shoot apex of *Hedera helix* cv. Goldheart. *American Journal of Botany*, 76 (4): 539-545.
- [7] Scheres B. 2001. Plant cell identity. The role of position and lineage. *Plant Physiology*, 125 (1): 112-114.
- [8] De Kok L.J., Graham M. 1989. Level of pigments, soluble proteins, amino acids and sulfhydryl compounds in foliar tissue of *Arabidopsis thaliano* during dark-induced and natural senescence. *Plant Physiology and Biochemistry*, 27: 203-209.
- [9] Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transaction*, 11: 591-592.
- [10] Mancinelli A.L., Yang C.P.H., Lindquist P., Anderson O.R., Rabino I. 1975. Photocontrol of anthocyanin synthesis: III. The action of streptomycin on the synthesis of chlorophyll and anthocyanin. *Plant Physiology*, 55 (2): 251-257.
- [11] Reay F.P., Fletcher R.H., Thomas V.J.G. 1998. Chlorophylls, carotenoids and anthocyanin concentrations in the skin of ‘Gala’ apples during maturation and the influence of foliar applications of nitrogen and magnesium. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 76: 63-71.
- [12] Biggerstaff M.S., Beck C.W. 2007. Effects of English ivy (*Hedera helix*) on seed bank formation and germination. *The American Midland Naturalist*, 157: 250-257.
- [13] Murray J.R., Hackett W.P. 1991. Dihydroflavonol reductase activity in relation to differential anthocyanin accumulation in juvenile and mature phase *Hedera helix* L. *Plant Physiology*, 97: 343-351.
- [14] Murray J.R., Smith A.G., Hackett W.P. 1994. Differential dihydroflavonol reductase transcription and anthocyanin pigmentation in the juvenile and mature phases of ivy (*Hedera helix* L.). *Planta*, 194: 102-109.
- [15] Dale M.P., Causton D.R. 1992. Use of the chlorophyll a/b ratio as a bioassay for the light environment of a plant. *Functional Ecology*, 80 (3): 190-196.
- [16] Poethig R.S. 2003. Phase change and the regulation of developmental timing in plants. *Science*, 301 (5631): 334-336.
- [17] Kerstetter R.A., Poethig R.S. 1998. The specification of leaf identity during shoot development. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 14 (1): 373-398.
- [18] Hutchison K.W., Sherman C.D., Weber J., Smith S.S., Singer P.B., Greenwood M.S. 1990. Maturation in larch. II. Effects of age on photosynthesis and gene expression in developing foliage. *Plant Physiology*, 94: 1308-1315.
- [19] Cevahir C., Yentür S., Yazgan M., Ünal M., Yılmaz N. 2004. Peroxidase activity in relation to anthocyanin and chlorophyll content in juvenile and adult leaves of “mini-star” *Gazania splendens*. *Pakistan Journal of Botany*, 36 (3): 603-609.
- [20] Bauer H., Bauer U. 1980. Photosynthesis in leaves of the juvenile and adult phase of ivy (*Hedera helix*). *Physiologia Plantarum*, 49 (4): 366-372.
- [21] Mănescu C.R., Buda C., Toma F., Petra S. 2018. Studies on growth and development of *Hedera helix* L. on different woody species. *Scientific Papers Series B Horticulture*, 63: 597-600.
- [22] Leicht-Young S.A., Pavlovic N.B., Frohnapple K.J., Grundel R. 2010. Liana habitat and host preferences in northern temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 260: 1467–1477
- [23] Grace S.C. 2005. Phenolics as antioxidants. in *Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants*, Edited by Smirnoff N., Blackwell Publishing Ltd, UK, 141-168.
- [24] Trojak M., Skowron E. 2017. Role of anthocyanins in high-light stress response. *World Scientific News*, 81 (2): 150-168.
- [25] Narbona E., Jaca J., Del Valle J.C., Valladares F., Buide M.L. 2018. Whole-plant reddening in *Silene germana* is due to anthocyanin accumulation in response to visible light. *Plant Biology*, 20 (6): 968-977.

Araştırma Makalesi / Research Article

Salgın Hastalıkların Tahmininde Kullanılan SI ve SIS Modellerin Uygulamaları

Arzu ÇİLLİ^{1*}, Kıvanç ERGEN²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul
²İzmir Demokrasi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, İzmir
(ORCID: 0000-0002-0596-3637) (ORCID: 0000-0002-5655-5975)

Öz

Dünyada ve Türkiye'de görülen birçok salgın hastalığın gelecekte artma ve azalma oranını tahmin etmek için çeşitli matematiksel modeller kullanılmaktadır. Bu modellerden bazıları SI, SIS, SIR, MSIRS vb. isimlerle tanımlanmıştır. Bu çalışmada, Tüberküloz, Kırım Kongo Kanamalı Ateşi, AIDS, Sıtma, Kızamık salgın hastalıkları ele alınmıştır. Bu salgın hastalıklara SI ve SIS modelleri uygulanarak gelecekteki durumu (artışı veya azalışı) incelenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın hastalığın ilerlemesi veya gerilemesi açısından ülkelere ve toplumlara ışık tutacağını düşünüyoruz.

Anahtar kelimeler: Salgın, Modelleme, Enfekte.

Applications of SI and SIS Models Used in Prediction of Epidemic Diseases

Abstract

The future of many outbreaks of disease in the World and Turkey increased and various mathematical models to estimate the rate of reduction is used. Some of these models are SI, SIS, SIR, MSIRS, etc. defined by names. In this study, we have discussed Tuberculosis, Crimean Congo Hemorrhagic Fever, AIDS, Malaria, Measles epidemics. We examined the future situation (increase or decrease) by applying SI and SIS models to these epidemics. In conclusion, we think that this study will shed light on countries and societies in terms of progress and regression of disease.

Keywords: Epidemic, Modelling, Infected.

1. Giriş

Salgın Hastalıklar, belirli bir coğrafi alanda veya belli bir nüfus grubunda ortaya çıkan ve bulaşıcı olabilen hastalıklardır. Aynı zamanda, söz konusu olan coğrafi bölge veya grup ile verilen bir hastalığın olağan yaygınlığını da ifade edebilir.

Salgın hastalıklar yüzyıllardan beri insanlık için önemli bir problem olmuştur. Bunlar arasında kronolojik sıraya göre; Lyme hastalığı (1975) [1], Legionella (1976) [2], AIDS (edinilmiş bağışıklık yetmezliği sendromu) (1981) [3], Hepatit C (1989) [4] ve son yıllarda ortaya çıkan SAR (şiddetli akut solunum sendromu) [5] bulunmaktadır.

Salgın hastalıkların gelişimini inceleyebilmek için matematiksel modeller bu noktada devreye girecektir. Matematiksel modeller bize tahmini vaka sayısı ve bu hastalıkların neden olduğu tahmini ölüm sayısı hakkında bilgi verebilir. Bu nedenle, belirli bir alanın veya ülkenin geçmiş verilerini kullanarak belirli bir hastalığın vakasını veya ölümünü tahmin edebiliriz. Buna rağmen göç gibi toplumlardaki bazı büyük değişimlerden kaynaklanan sapsmalar olabilir.

*Sorumlu yazar: acilli@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi: 05.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

Dünyada görülen birçok salgın hastalıktan kaynaklanan kayıpları tahmin ve tespit etmek için çeşitli matematiksel modeller kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları SI, SIS, SIR, MSIRS, vb. adlandırılan modellemelerdir.

Bu çalışmada Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi (CCHF), Tüberküloz, Kızamık, Sıtma ve AIDS/HIV'nin etkilerini tahmin etmek amaçlanmıştır. Salgın hastalıkların bazı ülkelerdeki ve Türkiye'deki etkilerini tahmin etmek için modeller arasından en uygun olabilecek iki model seçilmiştir. Böylece bu çalışmada SI (Duyarlı-Enfekte) ve SIS (Duyarlı-Enfekte-Duyarlı) modelleri üzerinde çalışılmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar ışığında belirli bir ülke için ve belirli bir hastalık için seçtiğimiz modeller arasından en iyi modeli bulmak amaçlanmıştır. Genel olarak modellerin tahmin gücü, güvenilirliği ve sağlamlığı bu çalışmada tartışılmıştır.

2. Matematiksel Modelleme Metodu

Salgınlarla ilgili teorik olarak kullanılan matematiksel (bunlara epidemiyolojik model denir) modellerden biri SIS (duyarlı-enfekte-duyarlı) modelidir.

Bu model tekrarlamalı bir hesaplama yöntemi ile uygulanır. Bu modelde; ölüm olmadığı, nüfusta doğum olmadığı, nüfusun içeri ve dışarı göç etmediği ve hastalıklı kişilerin iyileştikten sonra tekrar enfekte olmadığı varsayılmaktadır. Yani nüfus sayısı değişmemelidir.

SI (duyarlı-enfekte) modelinde ise, salgın hastalık boyunca neredeyse herkes enfekte olarak kalacaktır.

SIS modelinde ise duyarlı grupta olan bireyler enfekte olduktan sonra tekrar duyarlı gruba geçebilecektir. Yani, enfeksiyondan sonra tekrar şüpheli (duyarlı) olabilir demektir (iyileşmeye başladığında). Eğer enfekte olarak kalırsa SI model uygulanmış olacaktır. Yani bu modellerde her birey ya duyarlı gruba (S) ya da enfekte insan grubuna (I) aittir. Böylece, model **S I S** şeklinde gösterilebilir. SI ve SIS modellerini uygularken toplam nüfusun, sabit kaldığı ve zamanla değişmediği varsayılarak;

$$S(t) + I(t) = N \quad (1)$$

olarak alınır.

SI modelinin diferansiyel denklemleri;

$$\frac{dS}{dt} = \left(-\frac{\beta}{N}\right) S(t)I(t) \quad (2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \left(\frac{\beta}{N}\right) S(t)I(t) \quad (3)$$

SIS modelinin diferansiyel denklemleri;

$$\frac{dS}{dt} = \left(-\frac{\beta}{N}\right) S(t)I(t) + \gamma I(t) \quad (4)$$

$$\frac{dI}{dt} = \left(\frac{\beta}{N}\right) S(t)I(t) - \gamma I(t) \quad (5)$$

İlk olarak (4) ve (5) denklemleri kullanılarak γ parametresi aşağıda verilen ifadeden bulunur,

$$\gamma = \frac{\left(\frac{dR}{dt}\right)}{I(t)} \quad (6)$$

sonra β parametresi (5) denkleminden hesaplanır. [7]

SI ve SIS modelinde S ve I olmak üzere iki grup olduğu için R yoktur, R hastalıktan kurtulan yani iyileşen grubu temsil etmektedir. Sadece SIR modelinde S, I ve R olmak üzere üç grup vardır. Bu çalışmada iyileşen (kurtarılan) grup dâhil edilmemiştir. SIR modeli ile uygulama başka çalışmalarda bulunmaktadır [10].

Denklem (6) için R, toplam nüfustan duyarlı grup çıkarılarak elde edilmiştir. (2-6) denklemleri için, R (İyileşen) hesaplanırsa duyarlı grubu (S) terk edenlerin, enfekte gruba (I) gelen insanlara eşit olduğu kabul edilerek SIS, SIR (Duyarlı-Enfekte-Kurtarılan) modeline dönüşmüş oluyor.

(2-5) Diferansiyel denklemlerini çözmek için Euler Metodu kullanılmıştır.

2.1. Euler metodu

Euler denklemleri, (2-5) diferansiyel denklemlerinin ayrıklaştırılması (discretization) yöntemi ile SI ve SIS modelleri için elde edilmiştir.

SI Modeli için Euler denklemleri;

$$S_{n+1} = S_n - \left(\frac{\beta}{N}\right) S_n I_n \quad (7)$$

$$I_{n+1} = I_n \left[1 + \left(\frac{\beta}{N}\right) S_n \Delta t\right] \quad (8)$$

SIS Modeli için Euler denklemleri;

$$S_{n+1} = S_n - \left(\frac{\beta}{N}\right) S_n I_n + \gamma I_n \quad (9)$$

$$I_{n+1} = I_n \left[1 + \left(\frac{\beta}{N}\right) S_n \Delta t\right] - \gamma I_n \quad (10)$$

Bu denklemlerde çok kısa zaman aralıklarında (1 yıl gibi) toplam nüfus sabit alınmıştır. Denklemleri çözebilmek için öncelikle β ve γ oranlarının bilinmesi gerekiyor. Belirlenen zaman aralıklarında belirli bir nüfus için bu β ve γ oranları kullanılarak enfekte ve sağlıklı insanlar hakkında yaklaşık bir tahmin yapılabilmektedir [7-9].

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma da elde edilen bulgular Türkiye ve bazı ülkeler için yaygın olan hastalıkların SI ve SIS modelleri ile elde edilen tahminleridir. Öncelikle Türkiye için Kırım Kongo Kanamalı Ateşi, Tüberküloz ve Kızamık hastalıkları için bu modeller uygulanarak bir sonraki yılın tahmini değerleri elde edilmiştir. Bilinen gerçek değerlerle hata hesaplaması yapılmıştır.

Ülkelerden örnek olarak Norveç için Tüberküloz, Gana için HIV/AIDS, Nijerya için Sıtma ve Afganistan için Kızamık hastalıklarının bu modellere uygulaması yapılmıştır.

Ülkeler ve salgın hastalıklar seçilirken o ülkenin göç, iklim ve coğrafi koşullarına göre yaygın olabilen hastalıklar tercih edilmiştir.

Aşağıdaki tablolarda önce Türkiye için kullanılan ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Daha sonra da dünyanın farklı ülkelerinde farklı hastalıklar için elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

3.1 Türkiye için sonuçlar

Aşağıda tablolarda yapılan hesaplamalarda Türkiye'nin nüfusu 80 milyon olarak alınmıştır.

Tablo 1. Türkiye için Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi Vaka Sayısı ve Tahminleri

Yıl	Vaka Sayısı	SI		SIS	
		Tahmin	Hata(%)	Tahmin	Hata(%)
2013	910	----	----	----	----
2014	967	967	0	967	0
2015	718	728	1,4	728	1,4
2016	432	452	4,6	452	4,6
2017	----	185	----	185	----

Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi hastalığı, Türkiye'de özellikle tarımın yaygın yapıldığı bölgelerde son yıllarda çok görülen ve birçok vakası da ölümlerle sonuçlanan bir hastalık olmuştur. Tablo 1'de 2017 yılı için, Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi vaka sayısı SI ve SIS modelleri kullanılarak tahmin değerleri elde edilmiştir. Her iki modelde de 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ilişkin tahminler % 0 ile % 5 arasında hata vermiştir. Bu tahminlere göre, Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi hastalığı az miktarda artmaya devam edecektir.

Sonuç olarak, SI ve SIS modellerinin Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi için doğru ve uygun olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 2. Türkiye için Tüberküloz Vaka Sayısı ve Tahminleri

Yıl	Vaka Sayısı	SI		SIS	
		Tahmin	Hata(%)	Tahmin	Hata(%)
2013	12352	----	----	----	----
2014	12253	12382	1	12378	1
2015	11803	12355	4	12347	4
2016	----	12328	----	12316	----

Tüberküloz, Türkiye'de en ölümcül salgın hastalıklardan biridir. Veriler ölüm oranının azaldığı bilgisini vermesine rağmen, bugün birçok tüberküloz vakası ölümlerle sonuçlanmaktadır. Özellikle, yüksek oranda ölümlerin olduğu tüberküloz hastalarının HIV(+) taşıyıcı olmasıyla da açıklanabilir. Tablo 2'de SI ve SIS modelleri kullanılarak 2016 Tüberküloz vaka sayısı tahmin edilmiştir. Her iki modelde de 2014 ve 2015 tahminleri % 1 ile % 4 arasında hata vermiştir. SI ve SIS modelleri yaklaşık olarak vaka sayılarını vermiştir.

Bu değerler, tüberküloz vakalarının en aza indirilse bile devam edeceğini yani bu salgın hastalığın Türkiye için bitmeyeceğini göstermektedir.

Tablo 3. Türkiye için Kızamık Vaka Sayısı ve Tahminleri

Yıl	Vaka Sayısı	SI		SIS	
		Tahmin	Hata(%)	Tahmin	Hata(%)
2013	7465	----	----	----	----
2014	530	535	0	535	0
2015	342	343	0	343	0
2016	9	8	0	8	0
2017	85	78	8	78	8
2018	----	92	----	92	----

Kızamık, özellikle küçük yaşta çocuklarda görülen ve bulaşıcı olan bir hastalıktır. 2000'li yılların başlarında her ne kadar 3-7 arası vaka ile gösterilse de 2010 yılından sonra yaşanan büyük göçlerden sonra vaka sayıları oldukça artmıştır. 2013 yılından sonra göçmenlerin kontrol altına alınmasıyla vaka sayıları da azalmıştır. Tablo 3'de verilen değerlerle değişim görülebilmektedir. 2017 yılında bu hastalıkta artış yeniden ortaya çıkmıştır. Bunun da farklı sebepleri vardır, öncelikle

Suriye'den gelen göçmenlerin özellikle küçük çocuklu ailelerin Türkiye'ye gelmesiyle ilişkilendirilebilir. Diğer bir etken ise toplumda ortaya çıkan aşılama karşı olan söylemlerdir.

Tablo 3'de SI ve SIS modellerinin Kızamık hastalığı için uygun sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Sonuç olarak, bu modeller Kızamık hastalığında bir azalma ve artış olduğunu kanıtlamaktadır. Ancak bu modeller, göç ve aşı gibi farklı etkenlerin hastalık sayısını değiştirebileceğini öngörememektedir.

3.2 Farklı ülkeler için sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında, seçilen dört farklı ülke için bazı salgın hastalıkların tahminleri verilmiştir [11].

Tablo 4. Norveç için Tüberküloz Vaka Sayısı ve Tahminleri

Yıl	Vaka Sayısı	SI		SIS	
		Tahmin	Hata(%)	Tahmin	Hata(%)
2013	392	----	----	----	----
2014	324	314	3	360	11
2015	318	334	5	368	15
2016	299	349	16	373	24
2017	----	364	----	378	----

Burada Norveç gelişmiş bir ülke olduğu için seçilmiştir. Norveç'te 2014 ve 2017 yılları arasındaki tüberküloz vaka sayısı ve bulunan tahmini değerler Tablo 4'te verilmiştir. Vaka sayısı yıl arttıkça azalmaktadır. Tablo 4'te gösterildiği gibi, SI modeli tahmini ve kesin sayılar arasında daha az hataya sahipken, SIS modeli ise tahminlerde artan hata yüzdesine sahiptir.

Sonuç olarak, SI modelinin Norveç için tüberküloz hastalığının öngörülmesinde daha uygun olduğu söylenebilir.

Tablo 5. Gana için HIV/AIDS Vaka Sayısı ve Tahminleri

Yıl	Vaka Sayısı	SI		SIS	
		Tahmin	Hata(%)	Tahmin	Hata(%)
2012	241800	----	----	----	----
2013	225420	224874	0,24	225410	0
2014	210000	209641	0,17	209140	0,4
2015	270000	194966	27	194152	28
2016	190200	181421	4,6	180338	5,2
2017	----	177243	----	176881	----

Tablo 5'te HIV/AIDS hastalığının Afrika kıtasında bulunan Gana ülkesi için olan sonuçları değerlendirilmiştir. Gerçek sonuçlara göre, 2012-2014 arasında hastalıkta düşüş görülmektedir. Ancak 2015 yılında hastalıkta artış görülmüştür.

SI ve SIS modellerinden elde edilen sonuçlar 2012-2014 yılları arasında hastalık sayısında sabit bir azalma olduğunu göstermektedir. Ancak, bu modellerden elde edilen sonuçlardan 2015 yılındaki olağanüstü vaka artışı görülememiştir.

Tablo 6. Nijerya için Sıtma Vaka Sayısı ve Tahminleri

Yıl	Vaka Sayısı	SI		SIS	
		Tahmin	Hata(%)	Tahmin	Hata(%)
2012	6938519	----	----	----	----
2013	12830911	12827039	0,03	12823678	0,05
2014	16512127	16335175	1	16887826	2,2
2015	14732621	14190876	3,6	14312326	2,8
2016	16696308	16964556	1,6	16974692	1,67
2017	----	14837553	----	14739420	----

Sıtma hastalığının en yaygın olduğu ve %90'ı ölümlerle sonuçlanan ülke Afrika'nın Sahra altı bölgesinde olan Nijerya'dır. Nijerya için sıtma vakaları, 2013 ve 2017 yılları arasında SI ve SIS modelleri kullanılarak, minimum % 0,030 hata ve maksimum % 3,6 hata ile hesaplanmıştır.

Tablo 6'da gösterilen tahmin değerler, Sıtma hastalığı için SI ve SIS modellerinin gerçek değerlerdeki artış ve azalışları yakaladığını göstermektedir.

Genelleştirirsek, SI modeli SIS modeline göre daha iyi bir tahmin vermiştir.

Tablo 7. Afganistan için Kızamık Vaka Sayısı ve Tahminleri

Yıl	Vaka Sayısı	SI		SIS	
		Tahmin	Hata(%)	Tahmin	Hata(%)
2010	6420	----	----	----	----
2011	4856	4854	0,04	4857	0,02
2012	3651	3671	0,5	3674	0,6
2013	2771	2776	0,18	2780	0,3
2014	----	2099	----	2107	----

Son olarak, bu çalışmada Afganistan için Kızamık hastalığına bakılmıştır, çünkü Afganistan uzun yıllar bu hastalıktan tahmini olarak 30.000-35.000 çocuk ölümü kaybı vermiştir. Bu nedenle, kızamığa bağlı ölüm oranını azaltmak için, ülke genelinde kızamık aşılama kampanyaları gerçekleştirilmiş ve 1 yaş civarındaki çocukları kızamık aşılama kapsamı 2013 yılında % 75 olmuştur.

Tablo 7'de gösterildiği gibi her iki model de Afganistan'daki kızamık hastalığı için çok yakın tahmini değerler vermiştir. Hata oranları % 1'den çok küçük ve kesin değerlere yakındır. Sonuç olarak, SI ve SIS modellerinin her ikisi de bu ülke ve Kızamık hastalığı için çok uygundur ve hemen hemen aynı sonuçları sağlamaktadır diyebiliriz.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmamızda, başta tüberküloz, Sıtma, AIDS, Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi ve Kızamık gibi bazı salgın hastalıkların gelecekteki olumsuz etkilerini en aza indirmek için matematiksel modeller kullanılarak vaka sayıları tahmin edilmiştir. Birçok matematiksel modelleme içinden, SI ve SIS modellerini çalışılmıştır. Genel olarak modellerin tahmin gücü, güvenilirliği ve sağlamlığı üzerine yorumlar yapılmıştır.

Bu modelleri salgın hastalıklara uygulayabilmek için en büyük sıkıntı, veri yani vaka sayısına (gerçek hasta birey sayısına) ulaşabilmektir.

Türkiye için modellerin uygulanması ancak halk sağlığı otoritelerinden elde edilen veriler kullanılarak yapılabilmektedir.

Dünyadaki yabancı ülkeler için ise sadece Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) internet üzerindeki verileri kullanılabilir. Bazı hastalıklar veya ülkeler için değerler Dünya Sağlık Örgütü'nün web sitesine ancak 2-3 yıl sonra yüklenebilmektedir. Dolayısıyla 1 yıl sonraki gerçek değer bilinmediğinden tahminler ancak 2-3 yıl geriden gelebilmektedir. Bu durum tablolarda verdiğimiz değerlerde görülebilmektedir.

Sayısal sonuçların analizi çerçevesinde SI ve SIS modelleri;

- Enfekte olmuş kişilerin sayısını iyi tahmin edebilir,
- Gerçek verilerdeki dalgalanmalara karşı duyarlı,
- Kesin verilerin eğilimini tahmin edebilir ve
- Kısa sürede iyi sonuç verebileceğini söyleyebiliriz.

Burada kullandığımız matematiksel modellerin, monoton olarak artan veya azalan vakalar için daha uygun olduğunu, ancak ani sıçramaların olabileceği durumlar için çok uygun olmadığını söyleyebiliriz.

Bu modeller önlem almada da çok etkilidir. Eğer toplum olarak etkili önlemler alınmazsa, birçok kişinin salgın hastalıklardan ve bunların sonucu olan ölümlerden kaçınılması imkânsızdır. Bu nedenle, bu çalışmada sunulan tahmini veriler, ilgili kurumların (Sağlık Bakanlığı, Hastaneler vb.) önlem alması ve söz konusu olan hastalıkların gelecekteki durumları ile yüzleşmesi açısından çok önemlidir. Bu tür çalışmaların uygulanması, ilaçların, doktorların, sağlık personelinin vb. planlanmasında ülke ekonomisine olumlu katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Salgın hastalıkların ilerlemesinin önlenmesi için çeşitli tedbirlerin alınmasına yardımcı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Steere A.C. 1989. Lyme disease. *N Engl J Med.*, 321: 586–596.
- [2] Hilbi H., Jarraud S., Hartland E., Buchrieser C. 2010. Update on Legionnaires' disease: pathogenesis, epidemiology, detection and control. *Mol. Microbiol.*, 76: 1–11.
- [3] Taff M.L., Siegal F.P., Geller S.A. 1982. Outbreak of an acquired immunodeficiency syndrome associated with opportunistic infections and Kaposi's sarcoma in male homosexuals: an epidemic with forensic implications. *Am J Forensic Med Pathol.*, 3 (3): 259-64.
- [4] Zuckerman A.J. 1989. The elusive hepatitis C virus. *BMJ*. Oct 7, 299 (6704): 871-3.
- [5] Drosten C., Günther S., Preiser W., van der Werf S., Brodt H.R., Becker S., Rabenau H., Panning M., Kolesnikova L., Fouchier R.A., Berger A., Burguière A.M., Cinatl J., Eickmann M., Escriou N., Grywna K., Kramme S., Manuguerra J.C., Müller S., Rickerts V., Stürmer M., Vieth S., Klenk H.D., Osterhaus A.D., Schmitz H., Doerr H.W. 2003. Identification of a Novel Coronavirus in Patients with Severe Acute Respiratory Syndrome. *N Engl J Med.*, 348 (20): 1967-76.
- [6] Masuda N., Holme P. 2013. Predicting and controlling infectious disease epidemics using temporal networks. *F1000Prime Rep.*5:6. doi: 10.12703/P5-6.
- [7] Lih-Ing W. Roeger. 2013. Dynamically Consistent Discrete-Time SI and SIS Epidemic Models. *Discrete and Continuous Dynamical systems, supplement*, 653-662.
- [8] Kermack W.O., McKendrick A.G. 1927. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *P R Soc Lond A*, 115: 700-21.
- [9] Keeling M.J, Rohani P. 2007. *Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals*. Princeton: Princeton University Press.
- [10] Ergen K., Cilli A., Yahnioglu N. 2015. Predicting Epidemic Diseases Using Mathematical Modelling of SIR. *Acta Physica Polonica A*, 127: B-273-275.
- [11] Çilli A., Ergen K., Akat E. 2019. Some Mathematical Models and Applications Used in Epidemics. *SIGMA Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37 (1): 17-23.

Araştırma Makalesi / Research Article

Gamma-ray Shielding Properties of Lithium Borate Glass Doped with Colemanit Mineral

Nergiz YILDIZ YORGUN*

*Van Yüzüncü Yıl University, Department of Physics, Van
(ORCID: 0000-0002-2515-1994)*

Abstract

In this study, $(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7)_{(100-x)}-(\text{Colemanite})_x$ glass systems (where $x=10, 20, 30$ and 40 wt %) were fabricated via melt quenching technique. The radiation shielding parameters of produced glasses such as mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), electron density (N_{el}), half value layer (HVL) and mean free path (MFP) were measured experimentally for 81, 276, 302, 356, and 383 keV gamma ray energies with Hp-Ge detector. Also, WinXCom software was employed for theoretical calculation above radiation shielding parameters of glasses for 1 keV to 10^5 MeV energy region. It was seen that the experimental and theoretical results are good agreement with each other. The obtained results revealed that when percentage of colemanite mineral has been increased in the glass system, μ_m , Z_{eff} and N_{el} values increase. Furthermore, it was observed that the values of HVL and MFP, in contrary, decreases with increasing colemanite mineral percent. In specific, among the investigated glasses, lithium borate glass with 40 percentage colemanite mineral has the highest value of μ_m , Z_{eff} and N_{el} , however, it has the lowest HVL and MFP. Therefore, lithium borate glass with 40 percentage colemanite mineral has given the best results for gamma radiation shielding purpose among the investigated glass systems in this work.

Keywords: Colemanit, lithium borate, mass attenuation coefficient, effective atomic number, half value layer, mean free path

Kolemanit Minerali ile Katkılanmış Lityum Borat Camların Gama-ışını Zırh Özellikleri

Öz

Bu çalışmada, $(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7)_{(100-x)} - (\text{Kolemanit})_x$ cam sistemler (burada $x = 10, 20, 30$ ve % 40 ağırlık) erime söndürme tekniği ile üretildi. Üretilen camların, kütle soğurma katsayısı (μ_m), etkin atom numarası (Z_{eff}), elektron yoğunluğu (N_{el}), yarı değer kalınlıkları (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) gibi radyasyon zırh parametreleri 81, 276, 302, 356 ve 383 keV gama enerjilerinde deneysel olarak Hp-Ge dedektörü ile ölçüldü. Ayrıca, camların bu radyasyon zırh parametrelerinin 1 keV- 10^5 MeV enerji aralığında teorik hesaplamaları için WinXCom programı kullanıldı. Deneysel ve teorik sonuçların birbirleri ile iyi uyum içinde olduğu görüldü. Elde edilen sonuçlar, cam sistemindeki kolemanit mineralinin yüzdesi arttığında, μ_m , Z_{eff} ve N_{el} değerlerinin de arttığını ortaya koydu. Ayrıca, bunun aksine, kolemanit yüzdesinin artmasıyla HVL and MFP değerlerinin azaldığı gözlemlendi. Spesifik olarak, incelenen camlar arasında yüzde 40 kolemanit mineral içeriğine sahip lityum borat cam en yüksek μ_m , Z_{eff} ve N_{el} değerine sahip, bununla birlikte en düşük HVL ve MFP'ye sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada, incelenen cam sistemleri arasında %40 kolemanit minerali içeren lityum borat cam gama radyasyonu zırh özellikleri için en iyi sonucu vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kolemanit, lityum borat, kütle soğurma katsayısı, etkin atom numarası, yarı değer kalınlığı, ortalama serbest yol

*Sorumlu yazar: nergiz_yildiz@yahoo.com

Geliş Tarihi: 11.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

1. Introduction

X-rays and gamma rays emitted by radiation sources, which are used in medical treatment, nuclear power plants, agriculture, engineering, radiation biophysics, space technology, nuclear diagnostics etc..., are dangerous to human health and precision laboratory instruments [1]. For instance, direct exposure to gamma radiation with ionizing property can cause organ failure, cancer, skin rash, and genetic damage. Even if human being are exposed to high dose gamma radiation, the result could be death [2]. To minimize harmful effects of gamma and X-rays on human health and instruments, shielding materials have been used. The ideal materials for gamma rays shielding should have some desirable properties such as elements with high atomic number, economically cheap, abundant materials on earth, flexible for applying to any design etc...[3]. Many studies on gamma radiation shielding have been performed by researchers, using different materials such as concrete [4,-7], alloy [8-10] polymer [11,12]. During the last few years, many researchers have paid attention on glass type shielding materials due to transparent property, easy shaped, easy transportation and having properties for attenuation of neutron and photons [13]. Nowadays, many researches related with different type of glass such as Pb-Based Silicate, Borate, and Phosphate glasses [14] heavy metal oxide glasses [15,16], heavy metal fluoride based tellurite-rich glasses [17], optical glasses [18], bismuth borate glasses [19] have been carried out to determine shielding properties. Lithium borate glasses (LBGs) could be good candidate for shielding purpose among the other type of glasses due to high radiation resistance, linear dose dependence in a wide range of doses and high transparency in the spectral range from vacuum ultraviolet to the far infrared region [20].

Colemanite ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) is calcium borate mineral. It is one of the fairly used aggregate added in radiation shielding concrete because of its the least soluble property as a natural borates [21].

After very intense literature search, I could not come cross any theoretical or experimental studies related with investigation of radiation shielding properties of lithium borate glasses doped with colemanite mineral. Therefore, this study will be guide to researchers who performs on the LBGs systems.

The main parameters of gamma shielding interaction with materials are counted as a mass attenuation coefficient, effective atomic number, half-value layer, and mean free. In this study, these parameters for lithium borate glasses doped without and with colemanite mineral in various percentage were determined not only with experimental method, but also with WinXCom software in the energy range 1keV-100GeV.

2. Material and Method

2.1. Theoretical Calculations

2.1.1. Mass attenuation coefficient

If monochromatic-ray pass through matter, a part of them is absorbed. The decrease in radiation intensity is expressed by an exponential equation containing parameters related to the given case [22]:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

where I is the intensity of transmitting radiation; I_0 is the incident radiation intensity; μ represents the linear attenuation coefficient, cm^{-1} ; x stand for the material thickness, cm.

The mass attenuation coefficient, $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$, is related to unit density (ρ , g/cm^3); then Equation 1 have the following form:

$$I = I_0 e^{\mu_m \rho x} \quad (2)$$

If target consist of mixture and compound, the mass attenuation coefficient is calculated via WinXCom software according to mixture law [23].

$$\mu_m = \sum_i P_i \mu_{m,i} \quad (3)$$

where P_i and $\mu_{m,i}$ are the weight fraction and mass attenuation coefficient, respectively, of the constituent element i^{th} .

$$\sum_i P_i = 1 \quad (4)$$

2.1.2. Effective atomic number and electron density

Effective atomic number, Z_{eff} , represents interaction between gamma-ray and absorbent composed from various elements Effective atomic number is written in the form following [24] :

$$Z_{\text{eff}} = \frac{\sum_i f_i A_i \mu_{m,i}}{\sum_j f_j \frac{A_j}{Z_j} \mu_{m,j}} \quad (5)$$

where f_i is the fraction by mole of each constituent element, providing that $\sum_i f_i = 1$, A_i is the atomic weight, Z_j is the atomic number and $\mu_{m,i}$ is the mass attenuation coefficient of i^{th} element.

Effective electron density, N_{el} (electrons/gram), describes the number of electrons per unit mass of the interacting materials and it is given with following formula [25].

$$N_{el} = N_A \frac{n Z_{\text{eff}}}{\sum_i n_i A_i} = N_A \frac{Z_{\text{eff}}}{A} \quad (6)$$

here, A is the mean atomic mass and N_A is Avogadro constant.

2.1.3. Half value layer and mean free path

Half value layer (HVL) is the thickness of a given material which decreases the intensity of radiation to half of its original value as a follows [26]:

$$HVL = \frac{0.693}{\mu} \quad (7)$$

Mean free path (MFP) is the average distance which a photons travels in medium before an interactions occurs (or between successive interactions) and have been calculated using the following relation [27]:

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (8)$$

3. Experimental Method

3.1. Preparation of sample

Doping mineral colemanite is mined at Kutahya province in Turkey (Emet, Hisarcık areas) and its chemical content was determined by X-ray diffraction(XRF) [28]. Then, to fabricate pure LBG, the rapid melt quenching technique was employed. In this technique, lithium borate powder was melted within a platinum crucible of an electrical furnace at the temperature of 1000°C for 30 min. Obtained melt was poured in a disc-shaped platinum plate. After that, desired percentage colemanite element was added to lithium borate powder and above procedure was repeated to fabricate aimed glass samples. The prepared samples have 37mm diameter and their thicknesses are 3.6 ± 0.02 mm. The pure lithium borate glass was used as a reference sample and labeled with R. According to added percentage of colemanite mineral, samples were labeled with C1, C2, C3 and C4 for 10%, 20%, 30% and 40%, respectively. Density of glass samples was measured via Archimede's principle (Table1).

3.2. Gamma-ray transmission measurements

In this study, HpGe detector was used to measure photon interaction parameters of lithium borate glass with and without doping minerals. Gamma photons, which are emitted from ^{137}Cs point source, with 662 keV energy were used to irradiate samples. After irradiation progress, the photo peak density was measured before and after sample was placed between radioactive source and detector (Figure 1). The spectrums were recorded using the computer software MAESTRO (6.08 version) with a multichannel analyzer. The data for every measurements were collected for one hour and the measurement for each sample were repeated 3 times. The mass attenuation coefficient value was calculated after value of I_0 and I were inserted in Equ-1.

The experimental uncertainty of attenuation coefficient measurements for the fabricated glasses has been estimated by relation [29]:

$$\Delta\left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{1}{\rho x} \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta I_0}{I_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta \rho x}{\rho x}\right)^2\right]}$$

where $\Delta \rho x$ denotes the uncertainty in the mass per unit area, ΔI_0 and ΔI are the uncertainty in the intensities I_0 , I , respectively.

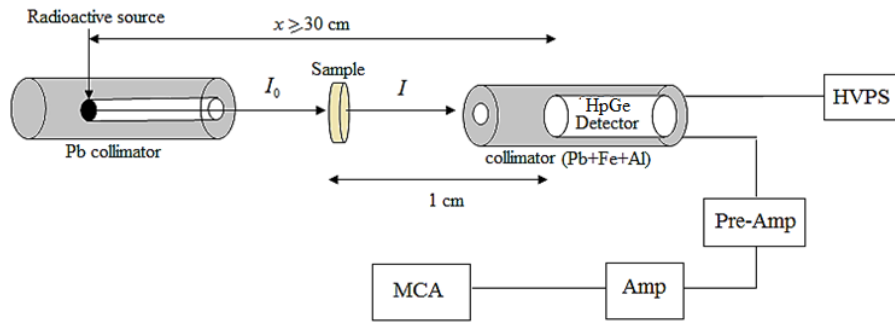


Figure 1. Experimental set up for measurement

4. Result and Discussion

The mass attenuation coefficients (μ_m) values obtained from experimental measurement with 3 % statistical error and theoretical calculation were inserted in Table 1. As seen from Table 1, theoretical and experimental findings are in good agreement with each other in experimental energy limits. Moreover, while values of μ_m decrease with increasing photon energies, they increase with increasing colemanite mineral percentage. Figure 2a demonstrates theoretical μ_m values calculated by WinXCom software versus incident photon energy for 1 keV to 10^5 MeV. In Figure 2a, energy scale could be divided into three energy zones according to the dominant γ -photon interaction: photoelectric effect ($E < 0.05$ MeV), Compton scattering ($0.05 \text{ MeV} < E < 30 \text{ MeV}$) and pair production ($E > 30 \text{ MeV}$). In the photoelectric zone (Figure 2b), the value of μ_m decreases sharply with increasing energy for the investigated LBGs. This case can be explained by the fact that the microscopic cross section is inversely correlated with the incoming photon energy $E^{-3.5}$, however, it is directly proportional to the LBGs atomic number, $Z^{4.5}$ for the photoelectric effect. Figure 2c shows how the values of μ_m change with energy in the Compton zone. The values of μ_m slowly decrease and the difference in μ_m values of LBGs is almost zero. The reason for the variation in μ_m with energy depends on the cross section of Compton scattering, which is related linearly to the atomic number (Z). After 30 MeV, corresponding to the pair production region (Figure 2d), μ_m slightly increases and then stays almost constant (for γ -ray energies $> 10^3 \text{ MeV}$). This case is explained by the Z^2 dependence of the pair production process [30]. The highest value of μ_m belongs to the C4 sample, while the R sample has the lowest value.

Table 1. μ_p , Z_{eff} and HVL values of glasses acquired as theoretically and experimentally

	Li ₂ B ₄ O ₇ (Ref. Glass)	Colemanite %10		Colemanite %20		Colemanite %30		Colemanite %40		
	2.210±0.004 g/cm ³	2.254±0.004 g/cm ³		2.271±0.004 g/cm ³		2.288±0.004 g/cm ³		2.306±0.004 g/cm ³		
Energy	μ/ρ (cm ² /g)									
(MeV)	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.
0.081	0.1593	0.1590±0.0047	0.1631	0.1598±0.0041	0.1661	0.162±0.0042	0.1690	0.1684±0.0054	0.1720	0.1752±0.0051
0.276	0.1068	0.1065±0.0031	0.1070	0.1112±0.0035	0.1082	0.110±0.0035	0.1091	0.1121±0.0033	0.1092	0.1108±0.0034
0.302	0.1032	0.1030±0.0030	0.1042	0.0995±0.0024	0.1041	0.106±0.0034	0.1055	0.1092±0.0037	0.1057	0.1084±0.0032
0.356	0.0971	0.0973±0.0029	0.0987	0.0957±0.0022	0.0981	0.101±0.0032	0.0994	0.1128±0.0035	0.0999	0.1032±0.0032
0.383	0.0942	0.0940±0.0028	0.0953	0.0924±0.0027	0.0949	0.098±0.0024	0.0961	0.1005±0.0034	0.0966	0.0965±0.0024
Energy	Z_{eff} (electron/atoms)									
(MeV)	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.
0.081	6.7591	6.7480±0.2024	6.9881	6.8178±0.2041	7.1867	7.0134±0.2104	7.3854	7.342±0.2202	7.7849	7.9205±0.2370
0.276	6.7478	6.7287±0.2018	6.9413	7.2012±0.2162	7.1906	7.3232±0.2199	7.4411	7.646±0.2291	7.8890	7.9472±0.2387
0.302	6.7538	6.7378±0.2021	6.9869	6.6506±0.1995	7.1704	7.3087±0.2195	7.4247	7.707±0.2312	7.8885	8.0834±0.2426
0.356	6.7534	6.7695±0.2030	7.0034	6.7899±0.2033	7.1892	7.4095±0.2227	7.4506	8.428±0.2524	7.8902	8.2060±0.2469
0.383	6.7541	6.7364±0.2020	6.9938	6.7735±0.2032	7.1797	7.4067±0.2228	7.4434	7.753±0.2327	7.8897	7.9555±0.2387
Energy	HVL(cm)									
(MeV)	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.
0.081	1.9687	1.9725±0.0594	1.8852	1.9340±0.1301	1.8372	1.8842±0.127	1.7925	1.8032±0.1234	1.7470	1.7174±0.1182
0.276	2.9364	2.9447±0.0882	2.8743	2.7702±0.1875	2.8205	2.7745±0.189	2.7764	2.7045±0.1856	2.7521	2.7325±0.1894
0.302	3.0394	3.0447±0.0915	2.9514	3.1065±0.2104	2.9117	2.8790±0.196	2.8719	2.7795±0.1901	2.8600	2.7832±0.1925
0.356	3.2307	3.2235±0.0971	3.1385	3.2368±0.2182	3.1118	3.0212±0.205	3.0474	2.7043±0.1856	3.0368	2.9185±0.2017
0.383	3.3301	3.3364±0.1001	3.2368	3.3425±0.2251	3.2157	3.1144±0.212	3.1529	3.0296±0.2074	3.1272	3.1309±0.2145
Energy	$N_{eq} \times 10^{23}$ (electron/gram)									
(MeV)	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.
0.081	2.9214	2.9178±0.0875	2.9392	2.8673±0.0864	2.9434	2.8721±0.0862	2.9481	2.931±0.087	2.9203	2.9715±0.0892
0.276	2.9170	2.9081±0.0873	2.9197	3.0285±0.0906	2.9447	2.9993±0.0895	2.9704	3.052±0.091	2.9598	2.9817±0.0894
0.302	2.9191	2.9126±0.0872	2.9384	2.7978±0.0832	2.9367	2.9931±0.0893	2.9649	3.077±0.092	2.9595	3.0325±0.0901
0.356	2.9198	2.9265±0.0875	2.9454	2.8555±0.0851	2.9442	3.0349±0.0917	2.9747	3.364±0.100	2.9597	3.0788±0.0928
0.383	2.9193	2.9127±0.0874	2.9416	2.8482±0.0851	2.9406	3.0332±0.0904	2.9716	3.095±0.092	2.9599	2.9845±0.0898
Energy	MFP(cm)									
(MeV)	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.	Theo.	Expt.
0.081	2.8409	2.8460±0.0856	2.7203	2.7901±0.0845	2.6511	2.7185±0.0783	2.5866	2.6025±0.074	2.5214	2.4780±0.0742
0.276	4.2372	4.2498±0.1272	4.1476	3.9979±0.1205	4.0700	4.0032±0.1207	4.0112	3.9025±0.116	3.9714	3.9425±0.1189
0.302	4.3859	4.3937±0.1325	4.2558	4.4812±0.1346	4.2301	4.1545±0.1256	4.1442	4.0102±0.129	4.1034	4.0152±0.1209
0.356	4.6620	4.6507±0.1403	4.4964	4.6704±0.1409	4.4903	4.3607±0.1312	4.3975	3.9027±0.113	4.3426	4.2105±0.1264
0.383	4.8053	4.814±0.1443	4.6554	4.8221±0.1459	4.6403	4.4938±0.1359	4.5495	4.3717±0.132	4.4903	4.5170±0.1367

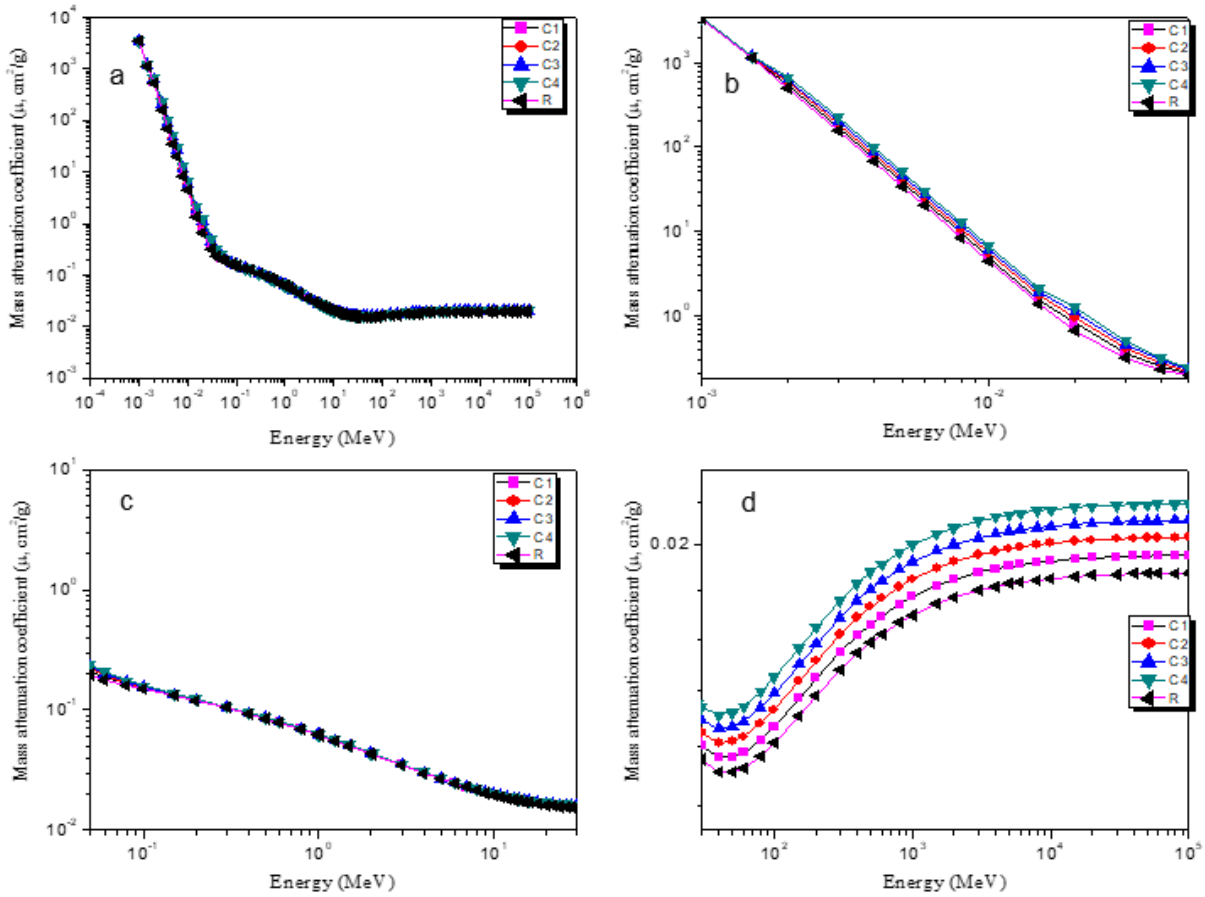


Figure 2. Mass attenuation coefficients for the selected glasses in (a) the total energy region ($1\text{KeV}<E<10^5$ MeV) and (b) the low energy region $E>0.05$ MeV (c) the energy region $0.05\text{ MeV}< E < 30\text{ MeV}$ (d) the energy region $E > 30\text{ MeV}$

The Table 1, demonstrate Z_{eff} ve N_{el} values measured and calculated at selected energy values. As seen from tables, they are in good harmony with each other. Also, Figure 3 - 4 present Z_{eff} ve N_{el} for incident photon energy ($1\text{keV} \leq E \leq 10^5\text{ MeV}$). R, C1, C2, C3 and C4 samples have same characteristic behavior for Z_{eff} (Figure3). In low energy region ($1\text{keV} - 0.015\text{ MeV}$), Z_{eff} and N_{el} have the highest values (Figure 3-4) for with and without doping minerals of LBG. In specific, the value of Z_{eff} ve N_{el} sharply decrease with incident γ -ray in the range of 0.015 MeV and 0.02 MeV due to photoelectric effect . After 0.02 MeV , they start rise till 0.3 MeV and stay constant for rest of incident gamma-ray energy. Moreover, the value of Z_{eff} increases with increasing percentage of colemanite in system. Same behavior is also observed for N_{el} due to close relation with Z_{eff} . These result also supports to Hine findings [31].

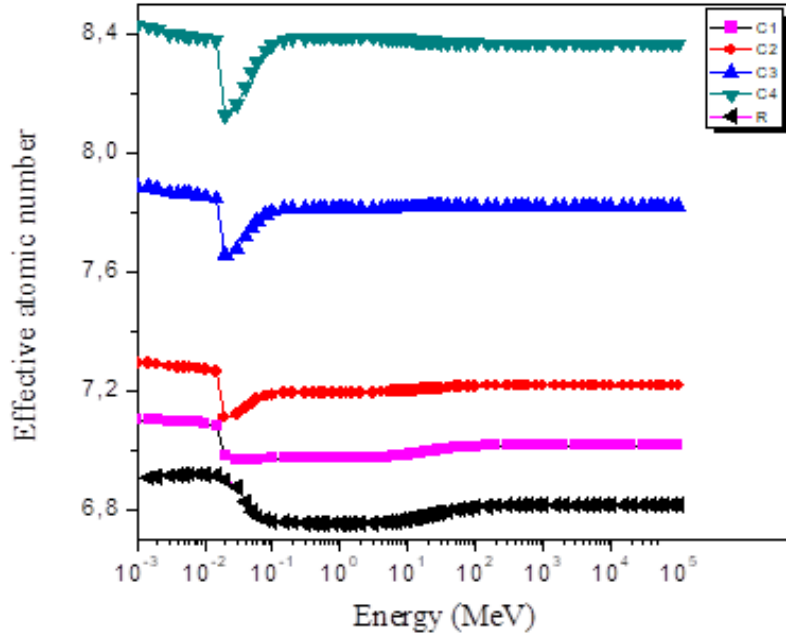


Figure 3. Variation of effective atomic numbers against photon energy of lithium borate glasses

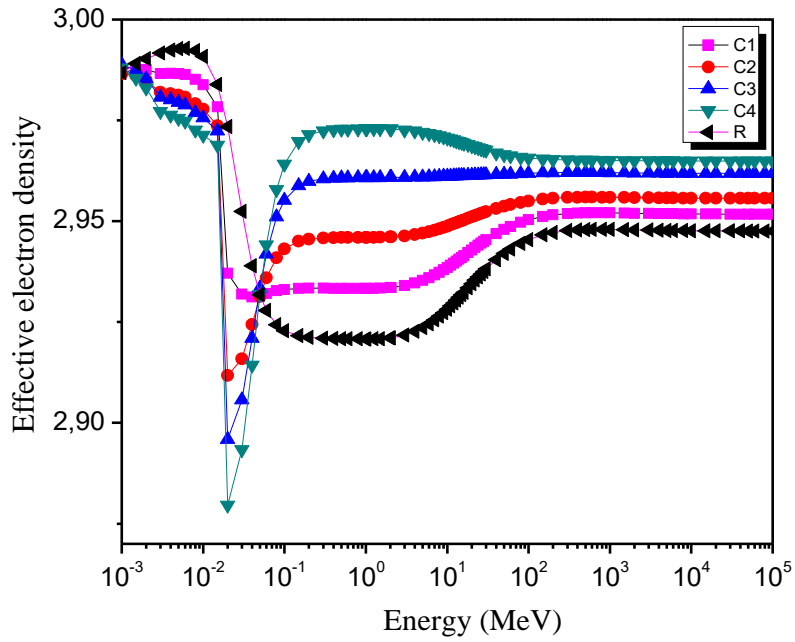


Figure 4. Variation of electron density against photon energy of lithium borate glasses

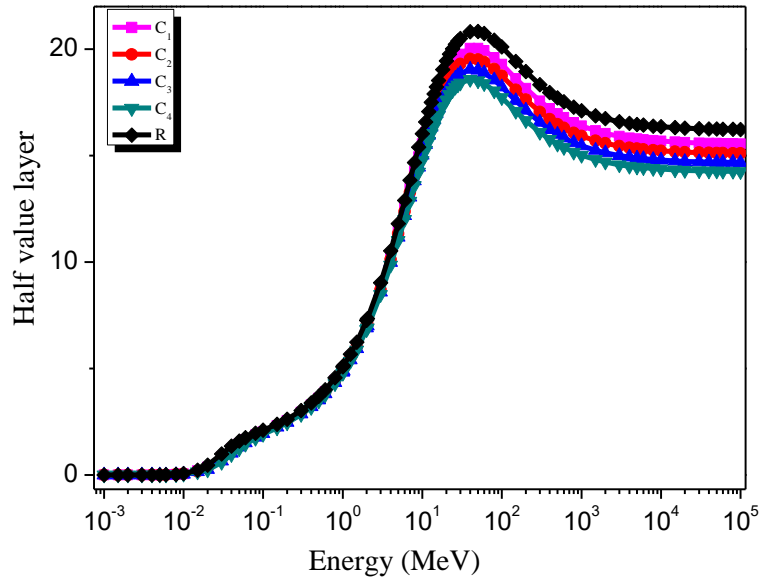


Figure 5. Half value layer (HVL) against photon energy of lithium borate glasses

Half value thicknesses (HVL) and mean free path (MFP) of all samples are also calculated and inserted in Table 1 for the same energy values. In experimental set up limit, the obtained values of HVL and MFP from theoretical calculation agree fairly well with experimental results. Also, Figures 5 and 6 represents HVL and MFP versus incident gamma energies, respectively. As seen from Figure 5 and 6, HVL and MFP have the lowest value and independent from colemanite percentage and incident gamma ray energy in the low energy region ($< 0.01 \text{ MeV}$). In intermediate region ($0.01 \text{ MeV} < E < 30 \text{ MeV}$), the values of HVL and MFP rise sharply. Moving further the high energy region, the HVL and MFP values gets smoother and it stays constant after 2000 MeV. One more detail, while the highest values of HVL and MFP belong to R sample, C4 sample has the lowest values for both parameters which indicates that C4 sample has high shielding capacity.

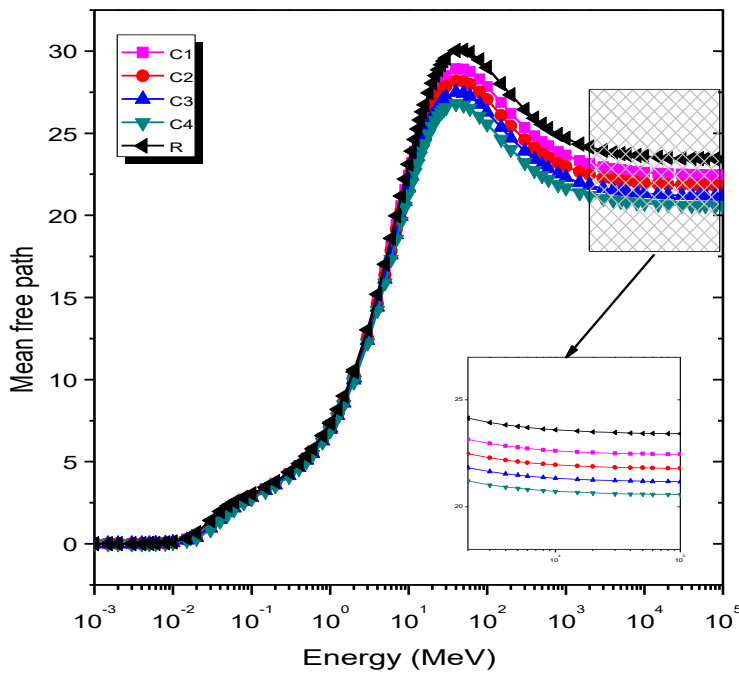


Figure 6. Mean free path (mfp) against photon energy of lithium borate glasses

5. Conclusion

In present work, pure and various percentage colemanite doped lithium borate glasses were fabricated. Using both experimental and theoretical methods, photon interaction parameters such as mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), electron density (N_{el}), half value layer (HVL) and mean free path (MFP) of LBGs were measured and calculated, respectively. It was observed that the obtained theoretical and measured experimental results verify each other in the experimental energy region limit. Increasing percentage of colemanite mineral in glass systems results to higher mass attenuation coefficient value. On the contrary, the value of mass attenuation coefficient decreases with increasing energy. The μ_m gets higher value in the low energy region where photoelectric phenomena dominates and it has smaller value in the middle energy region where Compton scattering is main process. Among the fabricated glass system, LBG doped with 40 % colemanite mineral has the highest μ_m value. The parameters Z_{eff} and N_{el} are strictly related to photon energy and the percentage rate of colemanite mineral in LBGs systems. The higher values of both parameters are in the lower energy region where the photoelectric effect dominates. To gain better shielding properties, material should have the lower HVL and MFP value which indicates more interaction between gamma rays and material. According to obtained results, LBG doped with colemanite mineral 40 %, which is transparent, could be considered as a shielding material against γ - radiation used in various technological areas.

References

- [1] Chanthima N., Kaewkhao J. 2013. Investigation on radiation shielding parameters of bismuth borosilicate glass from 1 keV to 100 GeV. *Annals of Nuclear energy*, 55: 23-28.
- [2] Kaur P., Singh K.J., Thakur S., Singh, P., Bajwa B.S. 2019 Investigation of bismuth borate glass system modified with barium for structural and gamma-ray shielding properties. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 206: 367-377.
- [3] Singh V.P., Badiger N.M., Chanthima N., Kaewkhao J. 2014. Evaluation of gamma-ray exposure buildup factors and neutron shielding for bismuth borosilicate glasses. *Radiation Physics and Chemistry*, 98: 14-21.
- [4] Akkurt I., Basyigit C., Kilincarslan S., Mavi, B., Akkurt, A. 2006. Radiation shielding of concretes containing different aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 28: 153-157.
- [5] Akkurt I., Akyıldırım H., Mavi B., Kilincarslan S., Basyigit, C. 2010. Radiation shielding of concrete containing zeolite. *Radiation Measurements*, 45: 827-830.
- [6] Kharita M.H., Yousef S., Al Nassar M. 2011. Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete. *Progress in Nuclear Energy*, 53: 207-211.
- [7] Bashter I.I., Abdo A.E.S., Abdel-Azim M.S. 1997. Magnetite ores with steel or basalt for concrete radiation shielding. *Japanese journal of applied physics*, 36: 3692.
- [8] Singh V.P., Badiger N.M. 2014. Gamma ray and neutron shielding properties of some alloy materials. *Annals of Nuclear Energy*, 64: 301-310.
- [9] Singh V.P., Medhat M.E., Shirmardi S.P. 2015. Comparative studies on shielding properties of some steel alloys using Geant4, MCNP, WinXCOM and experimental results, *Radiation Physics and Chemistry*, 106: 255-260.
- [10] Kaur S., Kaur A., Singh P.S., Singh T. 2016. Scope of Pb-Sn binary alloys as gamma rays shielding material. *Progress in Nuclear Energy*, 93: 277-286.
- [11] Harish V., Nagaiah N., Prabhu T.N., Varughese K.T. 2009. Preparation and characterization of lead monoxide filled unsaturated polyester based polymer composites for gamma radiation shielding applications. *Journal of applied polymer science*, 112: 1503-1508.
- [12] Mann K.S., Rani A., Heer M.S. 2015. Shielding behaviors of some polymer and plastic materials for gamma-rays. *Radiation Physics and Chemistry*, 106: 247-254.
- [13] Kaewjaeng S., Kaewkhao J., Limsuwan P., Maghanemi U. 2012. Effect of BaO on optical, physical and radiation shielding properties of SiO₂-B₂O₃-Al₂O₃-CaO-Na₂O glasses system. *Procedia Engineering*, 32: 1080-1086.
- [14] Ruengsri S. 2014. Radiation shielding properties comparison of Pb-based silicate, borate, and phosphate glass matrices. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 5: 2014.

- [15] Manonara S.R., Hanagodimath S.M., Gerward L., Mittal K.C. 2011. Exposure buildup factors for heavy metal oxide glass: a radiation shield. *Journal of the Korean Physical Society*, 59: 2039-2042.
- [16] Ersundu A.E., Büyükyıldız M., Ersundu M.Ç., Şakar E., Kurudirek M. 2018. The heavy metal oxide glasses within the WO₃-MoO₃-TeO₂ system to investigate the shielding properties of radiation applications. *Progress in Nuclear Energy*, 104: 280-287.
- [17] Sayyed M.I., Lakshminarayana G., Kityk I.V., Mahdi M.A. 2017. Evaluation of shielding parameters for heavy metal fluoride based tellurite-rich glasses for gamma ray shielding applications. *Radiation Physics and Chemistry*, 139: 33-39.
- [18] Sayyed M.I., Lakshminarayana G. 2018. Structural, thermal, optical features and shielding parameters investigations of optical glasses for gamma radiation shielding and defense applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 487: 53-59.
- [19] Singh K., Singh H., Sharma V., Nathuram R., Khanna A., Kumar R., Sahota H.S. 2002. Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 194: 1-6.
- [20] Danilyuk P.S., Puga P.P., Krasilinets V.N., Gomoni A.I., Puga G.D., Rizak V.M., Turok I.I. 2018. X-ray Fluorescence of Eu 3+ Ions in Glassy and Polycrystalline Lithium Tetraborate. *Glass Physics and Chemistry*, 44 (1): 1-6.
- [21] Kaplan M.F. 1989. *Concrete Radiation Shielding*. John Wiley and Sons Inc, 99s New York.
- [22] Yorgun N.Y., Kavaz E., Oto B., Akdemir F. 2018. Evaluation of gamma-ray attenuation properties of lithium borate glasses doped with barite, limonite and serpentine. *Radiochimica Acta*, 106 (10): 865-872.
- [23] Gerward L., Guilbert N., Jensen K.B., Leving H. 2004. WinXCom—a program for calculating X-ray attenuation coefficients. *Radiation physics and chemistry*, 71: 653-654.
- [24] Büyükyıldız M. 2016. Effective atomic numbers and electron densities for some lanthanide oxide compounds using direct method in the energy region of 1 keV-20 MeV. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (1): 7-12.
- [25] Kavaz E. 2018. Investigation on Photon Interaction Properties of Some Polymers Used in Production of Hydrogels. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 13 (2): 97-107.
- [26] Bircan H., Manisa K., Atan A.S., Erdoğan M. 2017. Gama ve X-Işını Radyasyonu Yarı Değer Kalınlık Değerinin Hesaplanması için Yeni Bir Denklem. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (1): 23-29.
- [27] Sayyed M.I., Kaky K.M., Gaikwad D.K., Agar O., Gawai U.P., Baki S.O. 2019. Physical, structural, optical and gamma radiation shielding properties of borate glasses containing heavy metals (Bi₂O₃/MoO₃). *Journal of Non-Crystalline Solids*, 507: 30-37.
- [28] Dikmen Z., Orhun Ö. 2013. Manyetik Modifiye Edilmiş Sentetik ve Doğal Zeolitlerin Hazırlanması Ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Kıyaslanması. *Anadolu University of Sciences & Technology-A: Applied Sciences & Engineering*, 14 (1): 75-90.
- [29] Sayyed M.I., Akman F., Kaçal M.R., Kumar A. 2019. Radiation protective qualities of some selected lead and bismuth salts in the wide gamma energy region. *Nuclear Engineering and Technology*, 51: 860-866.
- [30] Issa S.A., Sayyed M.I., Zaid M.H.M., Matori K.A. 2018. Photon parameters for gamma-rays sensing properties of some oxide of lanthanides. *Results in Physics*, 9: 206-210.
- [31] Hine G.J. 1952. The effective atomic numbers of materials for various gamma ray processes. *Physical Review*, 85: 725.

Araştırma Makalesi / Research Article

Adana ve Çevresinde Radyoaktivite Seviyesi ve Sağlık Riski

Muhammet KARATAŞLI*

*Beykent University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electronics and Communication Engineering, İstanbul, Turkey
(ORCID: 0000-0002-5893-6800)*

Öz

Adana İli ve çevresinde havadaki gama radyasyon doz seviyelerini belirlemek için 133 farklı noktada toprak yüzeyinden yaklaşık 1 m yükseklikte ölçümler yapıldı. Ölçümler, doğal gama radyasyonu ölçümleri ile birlikte serpinti ile birlikte inen düşük aktiviteli radyonüklidlerden yayılan radyasyonun tespitine duyarlı olan portatif bir gama sintilasyon detektörü kullanılarak ölçüldü. Bu çalışmada, Adana ili ve çevresinde bulunan gamma doz seviye ölçümlerinin aritmetik ortalaması 71.2 (nGy /h) olarak bulundu. Bu değer yıllık etkin doz eşdeğeri 87.3 µSv/y değerinde etkin doz ortalamasına karşılık gelmektedir. Elde edilen sonuçlar, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan çalışmalar ve dünya ortalamasıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Radyasyon, Gama Dozu, Kanser Riski, Yıllık Etkin Doz, Adana

Radioactivity Levels and Health Risks of in and Around the Adana Region, Turkey

Abstract

In order to determine the gamma radiation dose levels in the Adana Province and its vicinity, measurements were made at a height of approximately 1 m from the soil surface at 133 different points. The measurements were measured using a portable gamma scintillation detector that was sensitive to detection of radiation emitted by low-activity radionuclides descending with fallout along with natural gamma radiation measurements. In this study, the arithmetic average of gamma dose level measurements in Adana province and its surroundings was found to be 71.2 (nGy /h). This value corresponds to the mean effective dose equivalent of 87.3 µSv /y. The obtained results were compared to studies conducted in different regions of Turkey and the world average.

Keywords: Radiation, Gamma Dose, Cancer Risk, Annual Effective Dose, Adana.

1. Introduction

Radiation is caused by radioactive nuclei in the earth's building, from cosmic rays formed in the solar system, or artificial radiation produced by human beings. The basic source of radiation that people are exposed to in the environment they live in is natural radiation. The investigation of the dose, the effects on people's lifespan, and the harm they will cause is of great importance in the study of environmental radioactivity. The majority of the external gamma dose rate on ordinary soils is due to the primary radio-nuclei in the ground. K-40 (35%), Th-232 (50%) and U-238 (15%) are the main cores that make up the gamma dose in the ground. The predominant gamma dose distribution over soil is due to radioactive materials at depths of 30 cm of soil. However, uranium and thorium concentrations are higher in some parts of the world, especially in oil regions. There are two important factors that influence the changes, namely radio-nuclear condensation and armor (insulation) [1].

The dose varies according to the radio-nucleus composition in the soil and rocks and the geological structure of the region. Generally, the volcanic rocks have a high dose level, which is

*Sorumlu yazar: muhammet.karatasli@gmail.com
Geliş Tarihi: 17.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

associated with the high silica (flintstone, quartz sand) amount present in the acidic rocks. Generally, sedimentary rocks have lower radioactive material concentrations in volcanic rocks. Radioactivity in the soil arises from the rocks, where radioactivity can be increased or decreased by sedimentation / dissolution and abrasion with dilution with other materials by sedimentation in groundwater [2,3,4].

The measurement of environmental radiation is very important for determining the amount of natural baseline level of activity change. From here, it can be easily determined whether there is any radioactive pollution and monitoring of the contamination is very important due to environmental protection. Therefore, the main purpose of environmental radiation measurements is to determine the radiation dose and the type of radiation and to evaluate the risk that this radiation will form. The concentration of the radionuclides which form the natural radiation sources in the environment must be determined by the influence on the biological systems, especially in the radiation. This is because irradiation of cells in the background of the radiation can cause DNA damage. Radiation effects against DNA can result in a return to normal structure or can lead to changes that can vary depending on the causes (chromosomal abnormalities and mutations) in surviving cells in DNA [5]. Due to the damages of background radiation, different studies have been carried out to prevent the risk of harm to human health [6].

Therefore, in this study, was investigated in terms of activation concentration and outdoor gamma dose rates of radionuclides in order to reveal the possible potential health risks for Turkey's formably population in the Mediterranean region reveal Turkey's fourth largest city with Adana distribution radyolüsit provincial and local residents.

2. Materials and Methods

Adana is located between 35°-38° north latitudes and 34°-36° east longitude and in the Mediterranean Region. As shown in Figure 1, there are 15 towns including Seyhan, Yüreğir, Çukurova, Sarıçam, Aladağ Karaisalı, Ceyhan, Imamoglu, Feke, Pozantı, Karataş, Kozan, Saimbeyli, Yumurtalık and Tufanbeyli. The Adana province borders are one of the interesting aspects of the Taurus belt in terms of covering most of the tectonostratigraphic units of the Taurus, or rock-stratigraphic units representing all systems of the Cambrian-Tertiary space [7,8]. The area under investigation is between the Yumurtalık fault and the Ececi Fay. The region of Adana within the boundaries includes different tectonostratigraphic associations with distinct tectonic contact between them in terms of their distinctive stratigraphy, structure and rocking characteristics.



Figure 1. Research Region of Adana

The Bolkar Mountain association includes rocks with olistostrome, along with carbonate and crushed rocks deposited from the Devonian-Lower Tertiary area. The steppe association includes acidic tuffs, basic and ultrabasic rocks and serpentinites, which represent different facies and

environments ranging from continental pelagic and oceanic rocks deposited in the Triassic-Senonian range to shelf-type rocks. Aladağ unit includes shelf type carbonate and rugged rocks representing the Devonian-Cretaceous interval. Deer Mountain association, carbonate and cratered rocks of the Cambrian-Early Tertiary range. The Görbiyes Mountain association includes carbonate sediments, olistolith and olistostromal formations, possibly representing the Jurassic-Late Cretaceous interval. The Mount of Gorbıyes shows low grade metamorphism. The Keban-Malatya association is represented by the metamorphic, predominantly platform-type metaplastic and metacarbonates with Upper Paleozoic-Lower Cretaceous age range. The Misis-Andirin association, deposited in the Cretaceous-Tertiary time interval, provides mélangé-like and volcanosedimentary facies features [9].

In this study, in order to determine the levels of gamma radiation levels in 133 different regions of different parts of Adana province, measurements were taken for 2 minutes at a height of about 1 m from the ground in the direction of gonads (reproductive organs).

The coordinates of the sample areas, altitude, population and station numbers are shown in Table 1.

Table 1. Distribution of stations in the research region of Adana

District	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Catchment area (km ²)	Population	Number of Stations
Kozan	37.45°	35.81°	110	1690	130456	10
Aladağ	37.54°	35.39°	850	1347	15896	8
Pozantı	37.42°	34.87°	780	946	19215	9
Çukurova	37.04°	35.30°	23	240	364118	5
Sarıçam	37.01°	35.38°	100	770	163833	7
Yüreğir	36.98°	35.33°	27	1538	424999	14
Seyhan	36.97°	35.33°	23	444	800387	10
Karataş	36.56°	35.38°	10	862	22098	9
Yumurtalık	36.76°	35.72°	18	447	17211	13
Ceyhan	37.02°	35.81°	20	1472	160616	26
Tufanbeyli	38.26°	36.22°	1474	964	16640	5
Saimbeyli	37.98°	36.09°	971	989	14840	4
Feke	37.81°	35.91°	620	1116	16572	7
Imamoğlu	37.26°	35.66°	76	445	28405	6

The results of the gamma irradiation rates that were absorbed by the Eberline Smart Portable (ESP-2) device in open air were obtained in $\mu\text{R}/\text{h}$. The results obtained were converted to the absorbed dose rate nGy/h using a conversion factor from the definition of Rontgen ($8.7 \text{ nGy}/\mu\text{R}$) [10].

Equation 1 was found to be equivalent to the annual effective dose (AEDE) [11, 12].

$$\text{AEDE} = \text{ADRA} * \text{OF} * \text{DCF} * \text{T} \quad (1)$$

Here, ADRA is the rate of gamma radiation dose absorbed in the air DCF is the environmental gamma dose conversion factor, the occupation factor is OF, T is the time. The environmental gamma dose conversion factor was determined to be $0.7 \text{ Sv} / \text{Gy}$ to convert the absorbed dose ratio to the annual effective dose equivalent. In addition, 20% of the people spent in the field during a year ($8760 \text{ h}/\text{y}$) was spent in open areas, taking into consideration the coefficient of occupation 0.2 Lifetime cancer risk (ELCR) was calculated using Equation 2 after finding the annual effective dose value [12,13].

$$\text{ELCR} = \text{AEDE} * \text{DL} * \text{RF} \quad (2)$$

Here, DL is the average duration of life (mean 70 years) and RF is a risk factor and for stochastic effects. ICRP risk factors for lethal cancer in the whole population are used respectively ($1 / \text{Sv}$), RF for ICRP 103, BEIR VII [14] and ICRP 60 for 0,057, 0,064 and 0,072 values [15].

In this study, Eberline Smart Portable (ESP-2) model, portable microcomputer and a SPA-6 plastic scintillation detector connected device were used to determine the external gamma radiation

levels. ESP-2 is a device specially designed for radiation measurements, which can record the measured information and then transfer the information recorded to a connected printer.

3. Results and Discussion

Table 2 shows the minimum, maximum and average values of gamma exposure dose rate and absorbed dose rate for each district of the Adana.

The arithmetic mean of the gamma dose measurements performed in 133 different regions in Adana and its vicinity was calculated as 71,2 nGy /h.

Table 2. Gama exposure dose rate and absorbed dose rate for each distinct of the Adana

District	GEDR (Gamma Exposure Dose Rate) ($\mu\text{R/h}$)			ADRA (Absorbed Dose Rate in Air) (nGy/h)		
	Minimum	Maximum	Mean	Minimum	Maximum	Mean
Kozan	10.3	16.8	13.1	89.6	146	114
Aladağ	2.97	9.62	6.47	25.8	83.7	56.3
Pozantı	6.46	13.5	9.98	56.2	118	86.8
Çukurova	6.10	7.78	6.98	53.1	67.7	60.8
Sarıçam	5.02	7.64	6.35	43.7	66.5	55.2
Yüreğir	4.36	8.37	6.76	37.9	72.8	58.8
Seyhan	5.84	9.51	7.84	50.8	82.7	68.2
Karataş	5.12	9.10	6.90	44.5	79.2	60
Yumurtalık	5.24	8.99	6.50	45.6	78.2	56.6
Ceyhan	4.66	9.87	7.41	40.5	85.9	64.5
Tufanbeyli	10.2	12.3	11.6	88.7	107	101
Saimbeyli	11.1	13.9	12.6	96.6	121	110
Feke	6.37	15.4	8.97	55.4	134	78
Imamoğlu	6.80	9.5	8.74	59.2	82.7	76
Region	2.97	8.18	13.1	25.8	146	71.2

In Figure 2, the absorbance gamma dose map obtained from measurements for Adana province and its surroundings is plotted. The overall distribution of the gamma dose rate absorbed in Figure 2 is in the form of an isodose map. The red areas represent areas where the absorbed gamma dose values in Adana province and in general are high.

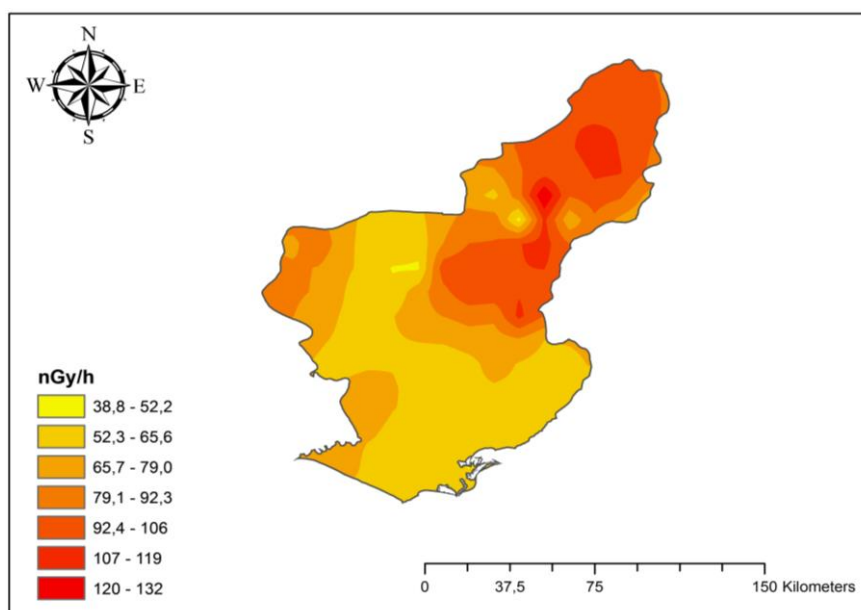


Figure 2. ADRA in Adana

The mean value of the annual effective dose calculated using external gamma dose was found to be 87.3 $\mu\text{Sv} / \text{y}$. This value is higher than the world average of 70 $\mu\text{Sv} / \text{y}$ [11]. The average annual effective dose values (AEDE) arising from average measured absorbed gamma dose rates in air (ADRA) for each districts of Adana and the estimated lifetime cancer risk values in public using three different models are given in Table 3.

Table 3. The average annual effective dose values and lifetime cancer risk

	AEDE ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	Lifetime cancer risk %		
		ICRP 103	BEIR VII	ICRP 60
Kozan	140	0.056	0.063	0.070
Aladağ	69	0.028	0.031	0.035
Pozantı	106	0.042	0.047	0.053
Çukurova	74.6	0.030	0.033	0.038
Sarıçam	67.7	0.027	0.030	0.034
Yüreğir	72.1	0.029	0.032	0.036
Seyhan	83.6	0.033	0.037	0.042
Karataş	73.6	0.029	0.033	0.037
Yumurtalık	69.4	0.028	0.031	0.035
Ceyhan	79.1	0.032	0.035	0.040
Tufanbeyli	124	0.049	0.056	0.062
Saimbeyli	135	0.054	0.060	0.068
Feke	95.7	0.038	0.043	0.048
Imamoğlu	93.2	0.037	0.042	0.047
Region	87.3	0.035	0.039	0.044

These calculated values may vary depending on altitude, weather conditions, outdoor exposure time and humidity. The mean cancer risk values calculated using equation 2 in Adana and its vicinity were found as 0.035, 0.044 and 0.039 for ICRP 103, ICRP 60 and BEIR VII, respectively.

Table 4. ADRA and AEDE values

	ADRA (nGy/h)	AEDE (μ Sv/y)
İstanbul [17].	65	79.7
Şanlıurfa [18].	60.9	74.7
Kastamonu [19].	54.81	67.21
Kırklareli [20].	118	144.7
Çanakkale [21].	66.4	81.4
Tekirdağ [22].	43.85	53.77
Trabzon [23].	59	72.4
Çankırı [24].	69.6	87.7
Yalova [25].	84	103
Balıkesir [26].	127	155.8
Kahramanmaraş [27].	64.8	79.5
Hatay [28].	61.9	75.91
Adana	71.2	87.3
Dünya [11].	60	70

The absorbed dose rates and annual effective gamma doses were also determined much higher than the world's averages in terms of health effects of background radiations. These calculated mean values are considerably smaller than the 1 mSv /y value determined by the ICRP as the limit value of the annual effective dose equivalent [16]. The mean ADRA value observed in the study area is lower than other cities and the world average due to the low radionuclide concentration seen in the area as can be seen in Table 4.

References

- [1] Jibiri, N.N. 2001. Assessment of Health Risk Levels Associated with Terrestrial Gamma Radiation Dose Rates in Nigeria. *Environmental International*, 27 (1): 21-26.
- [2] Nada A. 2003. Evaluation of Natural Radionuclides at Um-Greifat Area, Eastern Dessert of Egypt. *Applied Radiation and Isotopes*, 58 (2): 275-280.
- [3] Hakam O.K., Choukri A., Moutia Z., Chouak A., Cherkaoui R., Reyss J.L., Lferde M. 2001. Uranium and Radium in Groundwater and Surface Water Samples Morocco. *Radiation Physics and Chemistry*, 61 (3-6): 653-654.
- [4] Aburamad K.M., Al-Tamimi M. 2001. Emanation power of radon and its concentration in soil and rocks. *Radiation Measurements*, 34 (1): 423-426.
- [5] Kapdan E., Altınoy N., Karahan G., Taskin H. 2011. Determination of the health hazards due to background radiation sources in the city of Adapazari, Northwestern Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 47 (1): 93-100.
- [6] Kapdan E., Varinlioglu A., Karahan G. 2011. Outdoor Radioactivity and Health Risks in Balıkesir, Northwestern Turkey. *Radiat Prot Dosim*, 148 (3): 301-309.
- [7] Kop A. 2003. Tectono-Stratigraphy and Structural Evolution of Gokcekoy-Kıslak-Menkez-Akdam (D-Kd Aladag, Adana). Ph.D. Thesis, Department of Geology Institute of Natural and Applied Sciences University of Cukurova, 311 p.
- [8] Usta D., Şenel M., Metin Y., Bedi Y., Vergili Ö., Usta M., Balcı V., Kuru K., Tok T., Özkan M.K., Kop A. 2004. TJK Abstract Essentials, 275.
- [9] M.T.A. 2006. Adana İli Jeolojik Özellikleri. <https://docplayer.biz.tr/6465236-Maden-tetkik-ve-arama-genel-mudurlugu-dogu-akdeniz-bolge-mudurlugu-adana-ili-jeolojik-ozellikleri.html> (Accessed 19.01.2019),

- [10] Baykara O. 2005. The determinations of natural radioactivity in the intersect zone of the North Anatolian Fault and East Anatolian. PhD thesis, Fault, Firat University Graduate School of Natural and Applied Science, Elazığ, Turkey (in Turkish), 90 p.
- [11] UNSCEAR. 2000. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication, New York. United Nations.
- [12] Karataşlı M., Turhan Ş., Varinlioğlu A., Yeğingil Z. 2016. Natural and fallout radioactivity levels and radiation hazard evaluation in soil samples. *Environ. Earth Sci.*, 75 (5): 1-9.
- [13] UNSCEAR. 2008. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication, New York, United Nations.
- [14] NCR. 2006. National Academy of Sciences. National Research Council Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Report of VII.
- [15] ICRP. 2007. Publication 103 Recommendations of the ICRP: Annals of the ICRP (International Commission on Radiological Protection), 37/2-4.
- [16] ICRP. 1990. The International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60. Recommendations of the International Commission on the Radiological Protection, Pergamon Press Inc., ICRP, USA.
- [17] Karahan G., Bayulken A. 2000. Assesment of Gamma Dose Rates Around Istanbul. *Journal of Environmental Radioactivity*, 47 (2): 213-221.
- [18] Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. and Osmanlıoğlu, A. E. 2007. Assessment of environmental radioactivity for Şanlıurfa region of southeastern Turkey. *Radiation Measurements*, 42 (8): 1387-1391.
- [19] Kam E., Bozkurt A. 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 65 (4): 440-444.
- [20] Taskin H., Karavus M., Ay P., Topuzoglu A., Hidiroglu S., Karahan G. 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100 (1): 49-53.
- [21] Kam E., Bozkurt A., Ilgar R. 2010. A study of background radioactivity level for Canakkale, Turkey. *Environ. Monit. Assess*, 168 (1-4): 685- 690.
- [22] Kam E., Yazar Y., Bozkurt A. 2010. A study of background radioactivity level for Tekirdag. *Turk Radiat Prot Dosimetry*, 138 (1): 40-44.
- [23] Kurnaz A., Kucukomeroglu B., Damla N., Cevik U. 2011. Radiological maps for Trabzon. Turkey. *J. Environ. Radioactiv*, 102 (4): 393-399.
- [24] Kapdan E., Taşkın H., Kam E., Osmanlıoğlu A.E., Karahan G., Bozkurt A. 2011. A study of environmental radioactivity measurements for Cankiri, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 150 (3): 398-404.
- [25] Kapdan E., Varinlioglu A., Karahan G. 2011. Radioactivity Levels and Health Risks due to Radionuclides in the Soil of Yalova, Northwestern Turkey. *International Journal of Environmental Research*, 5 (4):837-846.
- [26] Kapdan E., Varinlioglu A., Karahan G. 2012. Outdoor radioactivity and health risks in Balıkesir, Northwestern Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 148 (3): 301-309.
- [27] Karataşlı M. 2019. Determination of Outdoor Absorbed Gamma Dose Rates of Kahramanmaraş Province, Turkey. *Cumhuriyet Science Journal*, 40 (1): 102-107.
- [28] Karataşlı M. 2018. Measurement of Environmental Gamma Radiation in and Around The Hatay Province, Turkey. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 18 (3): 780-785.

Araştırma Makalesi / Research Article

Karbontetraklorür İle Karaciğer Hasarı Oluşturulan Ratlarda *Tribulus terrestris*'in Antihiperlipidemik Etkisinin Araştırılması

Zafer ÇAMBAY^{1*} Naci Ömer ALAYUNT²

¹Fırat Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, 23200, Elazığ

²Uşak Üniversitesi Banaz Meslek Yüksek Okulu, 64520, Uşak
(ORCID: 0000-0002-1170-7525) (ORCID: 0000-0003-2215-0934)

Öz

Bu araştırmada, karbon tetraklorür ile deneysel olarak oluşturulan hepatotoksisite ile ratların kan lipid parametrelerine karşı güçlü antioksidan etkisine sahip olan *Tribulus terrestris*'in koruyucu etkinliğinin ve antihiperlipidemik rolünün araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada 35 adet 8-12 haftalık Wistar-Albino erkek rat kullanılmıştır. Çalışma beş gruba ayrılıp her grupta 7 adet ratla başlanmıştır. Kontrol grubundaki ratlar 14 gün standart yemle beslenmiştir. Diğer gruplardaki ratlara standart yem ve 14 gün boyunca 0,8 ml/kg CCl₄ intraperitoneal olarak uygulanmıştır. 3, 4 ve 5 gruplarda ki ratlara ise intraperitoneal olarak uygulanan 0,8 ml/kg CCl₄'e sonra 8 hafta boyunca *Tribulus terrestris* bitki ekstresi verilmiştir. Deney sonunda tüm sıçanlar uygun ortam ve şartlarda dekapite edilerek ve çalışmanın sonuçlarının inceleneceği parametreler için uygun kan örnekleri alınmıştır. Alınan kan örnekleri jelli düz biyokimya tüplerine alınacak, 4000 rpm'de 5-10 dakika santrifüj edilerek serum elde edilmiştir. Elde edilen serumlar otoanalizör yardımıyla lipid parametreleri belirlenmiştir. Karbontetraklorür ile karaciğer hasarı oluşturan grup ile kontrol grubu lipid parametreleri total kolesterol, trigliserit, düşük dansiteli lipoprotein kolesterol (LDL-K), çok düşük dansiteli lipoprotein kolesterol (VLDL-K) ve yüksek dansiteli lipoprotein kolesterol (HDL-K) değerlerinin arasında istatistiksel bir fark olduğu saptandı (P<0.05). 2 g/kg *Tribulus terrestris*'in verilen CCl₄ uygulanmış 5. gruptaki lipid parametreleri ile kontrol grubu arasında anlamlı bir fark saptanmadı (P>0.05). CCl₄'ün neden olduğu oksidatif stres ve lipid peroksidasyonu sonucu oluşturulan hiperlipidemiye karşı *Tribulus Terrestris*'in bitkisinin önemli düzeyde azaltıcı etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: CCl₄, *Tribulus Terrestris*, antihiperlipidemi

Examination of the Antihyperlipidemic Effect of *Tribulus terrestris* in Liver-Damaged Rats with Carbontetrachloride

Abstract

The aim of this study was to investigate the protective effect and antihyperlipidemic role of *Tribulus Terrestris*, a potent antioxidant effect of hepatotoxicity in experimental rats on carbon tetrachloride and lipid parameters. 35 Wistar-Albino male rats aged 8-12 weeks were used in the study. Rats were divided into 5 groups of 7 animals per group and rats in the control group were fed standard food for 14 days. In groups 3, 4 and 5 rats, *Tribulus terrestris* plant extracts were given 8 weeks after intraperitoneal administration of 0.8 ml / kg CCl₄. All rats were cut in the appropriate medium and blood samples were taken for the parameters to be monitored. Blood samples from were taken with glandular biochemical tubes and centrifuged at 4000 rpm for 5-10 minutes to obtain serum. Lipid parameters were determined using an autoanalyzer. The lipid parameters of carbon tetrachloride and liver damage group and control group were found between total cholesterol, triglyceride, low-density lipoprotein cholesterol, very low-density lipoprotein cholesterol and high-density lipoprotein cholesterol significantly (P <0.05). There was no significant difference between the control group and the 5th cycle lipid parameters of CCl₄ given 2 g / kg *Tribulus terrestris* (P > 0.05). Oxidative stress and lipid peroxidation caused by CCl₄ have been identified as an important inhibitory effect of *Tribulus terrestris* in against liver damage and hyperlipidemia.

Keywords: CCl₄, *Tribulus terrestris*, antihyperlipidem

*Sorumlu yazar: zcambay@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 20.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

1. Giriş

Karbonditetraklorür (CCl₄) hepatotoksik etkisi bilinen ve bu konuda birçok araştırma yapılmış olan kimyasal bir üründür. CCl₄ ile in vitro şartlarda oluşturulan zararda etkilenen birinci derecede karaciğer olsa da bu toksikasyon sonucu birçok organ ve sistem doğrudan ve dolaylı olarak etkilenmektedir [1-3]. CCl₄'ün düşük dozlarda uzun süreli uygulanması sonucu karaciğer hücrelerinde lipid dejenerasyonuna, doz arttıkça ise karaciğer hücrelerinin nekrozuna, paraneşimde kanamalara neden olduğu gösterilmektedir [4-6]. CCl₄ ile oluşturulan toksikasyonda hücre hasarı, lipid peroksidasyonundaki artışla doğru orantılıdır ve bu toksik etkinin, serbest radikallere dönüşümü ile olduğu belirlenmiştir. Son zamanlarda CCl₄'ün lipid peroksidasyonunu artırması ve oksidatif stres meydana getirmesi sonucu antioksidanlar ve oksidanlar arasında dengenin bozulmasına neden olmaktadır ve artan oksidatif stress ile karaciğer hasarıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir [7, 8]. Karaciğerin, CCl₄'ün indüklediği hasara karşı korunmasında ve tedavisinde antioksidanların kullanılması yararlı olabilir. Böylelikle fitoterapide kullanılan birçok ilacın, toksik etkilerinin az olması ucuz ve kolay bulunabilirliği dolayısı ile çeşitli kimyasallarla oluşturulan karaciğer hasarına karşı hayvan modellerinde yapılan deneysel araştırmalar son yıllarda artmıştır [9].

Çalışma konumuz olarak seçilen *Tribulus terrestris* L. türü Zygophyllaceae familyasından *Tribulus* cinsine bağlıdır. Ülkemizde ise 5 cinsi ve 6 türü yetişmektedir. *Tribulus* cinsinin ülkemizde yetişen tek türü *Tribulus terrestris*'dir. *T. terrestris*'in içerisinde bulunan etken maddeler pek çok hastalık için tedavi edici özelliktedir. Yurdumuzda yaygın olarak yetişen bu bitki üzerinde Türkiye'de yapılmış yeterince çalışma yoktur. Genel olarak afrodisyak, antimikrobiyal, diüretik, antihelmintik, antienflamatuar, antihipertansif, kardiyotonik, vazodilatör, antikanser, karaciğer koruyucu, kolesterol düşürücü, antihiperlipidemik antidiyabetik ve analjezik etkilere sahiptir [10]. Bitkinin belirtilen kullanımları nedeniyle herhangi bir yan etkisinin bulunmayışı da bitkiye olan ilgiyi arttırmaktadır. *Tribulus terrestris*'in, saponin (protodiosin, furostanol), glikozit, flavonoit, alkaloit, reçine, tanen, şeker, sterol ve uçucu yağ olmak üzere birkaç farklı etken madde grubu içerir. Son günlerde yapılan çalışmalarla *Tribulus terrestris*'den 20'nin üzerinde saponin tanımlanmıştır. *Tribulus terrestris*'in meyvelerinden karaciğer koruyucu özelliği olduğu bilinen yeni *Tribulus*amid A ve B lignanamidleri izole edilmiştir [11]. Karaciğer hasarına karşı *Tribulus terrestris*'in bitkisinin etkisi konusunda pek araştırma yapılmadığı saptanmıştır.

Bu çalışma, ratlarda oksidatif stres meydana getiren ve karaciğere zararlı etkisi bilinen kimyasal madde CCl₄'e karşı, *Tribulus terrestris*'in antihiperlipidemik etkisi üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada 35 adet 8-12 haftalık Wistar-Albino erkek rat kullanılmıştır. Ratlar her grupta 7 adet olmak üzere beş gruba ayrılmıştır. Kontrol grubundaki ratlar 14 gün standart yemle beslenmiştir. 2. gruptaki ratlara standart yem ve 14 gün boyunca 0,8 ml/kg CCl₄ intraperitoneal olarak uygulanmıştır. 3, 4 ve 5 gruplarda ki ratlara ise intraperitoneal iki hafta boyunca 0,8 ml/kg CCl₄'e ilave uygulamasından sonra 8 hafta boyunca *Tribulus terrestris* bitki ekstraktı verilmiştir. Çalışmanın başında ve sonunda rat ağırlıkları ölçülmüştür. Deney sonunda (Grup 1 ve 2 deney başlangıcından 2 hafta sonra, Grup 3, 4 ve 5 ise 10 hafta sonra) tüm sıçanlar uygun ortam ve şartlarda dekapite edilerek ve çalışmanın sonuçlarının inceleneceği parametreler için uygun kan örnekleri alınmıştır. Alınan kan örnekleri jelli düz biyokimya tüplerine alınacak, 4000 rpm'de 5-10 dakika santrifüj edilerek serum elde edilmiştir. Fırat Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu (31.03.2017 / 2017/07 karar no:81 Protokol 2017-39) onayı alınarak; etik kurallarına uygun olarak yapılmıştır. Lipit parametreleri olan total kolesterol, trigliserit, LDL-K, VLDL-K ve HDL-K parametreleri için uygun kitler kullanılarak spektrofotometrik olarak Siemens Advia 2400 marka otoanalizör cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Çalışma boyunca hayvanlara olan müdahaleler Fırat Üniversitesi Deney Hayvanları Yerel Etik Kurulu tarafından saptanan ilkelere göre yapıldı. Hayvanların bakımı Fırat Üniversitesi Deney Hayvanları Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştirilecektir. Sunulan araştırmada karbonditetraklorür toksikasyonu oluşturmak amacıyla kullanılan karbonditetraklorür Merck firmasından temin edilecektir.

Rasgele örnekleme metodu ile her biri 7 sıçandan oluşmak üzere toplam beş grup oluşturulacaktır.

- Grup 1: Kontrol grubu

- Grup 2: CCl₄ grubu
- Grup 3: CCl₄+ 0,5 g/kg *Tribulus terrestris*
- Grup 4: CCl₄+ 1 g/kg *Tribulus terrestris*
- Grup 5: CCl₄+ 2 g/kg *Tribulus terrestris*

2.1. *Tribulus terrestris* uygulamaları

Tribulus terrestris ekstratı su ile çözünerek hazırlandı. Çalışma gruplarından *Tribulus terrestris* ekstratı verilecek gruba (3,4 ve 5 Grup), sırasıyla 0,5, 1, 2 g/kg vücut ağırlığı dozunda bitki ekstratı oral yoldan verildi.

2.2. CCl₄ uygulamaları

Kontrol grubu dışındaki tüm ratlar 14 gün boyunca standart yeme ilave her gün 0,8 ml/kg CCl₄, 0,8 ml/kg sıvı yağ içinde çözülerek intraperitoneal olarak uygulandı.

2.3. Çalışmanın sonlandırılması

Tribulus terrestris uygulamalarından 24 saat sonra tüm hayvanlardan sodyum pentobarbital (pentobarbital sodium, 40 mg/kg, i.p.) anestezisi altında [12] tetkikler için gerekli kan örnekleri alınarak, laboratuvar analizleri için hazırlandı. Bütün veriler ortalama \pm standart hata (SH) şeklinde tanımlanacak, verilerin değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanıldı.

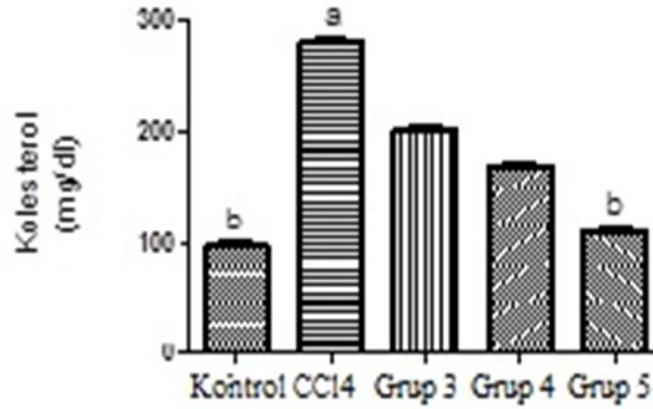
Elde edilen veriler SPSS-22 programında One Way ANOVA testi uygulanarak istatistikleri hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo1’de deney hayvanlarının kan serumundan alınan örneklerde lipid parametrelerinin sonuçları gösterilmiştir. CCl₄+ 2 g/kg *Tribulus terrestris* verilen grup ile CCl₄ grubu arasında total kolesterol LDL-kolesterol, VLDL-kolesterol seviyelerinde önemli bir artışın, HDL-kolesterol, seviyelerinde ise anlamlı bir azalma olduğu görüldü (P<0.05). CCl₄ gruplarına *Tribulus terrestris* uygulamasıyla artmış trigliserid düzeylerini kontrol grubu değerlerine yaklaştırdığı 5.grup ile kontrol grubu arasında fark olmadığı görülmüştür (P>0.05).

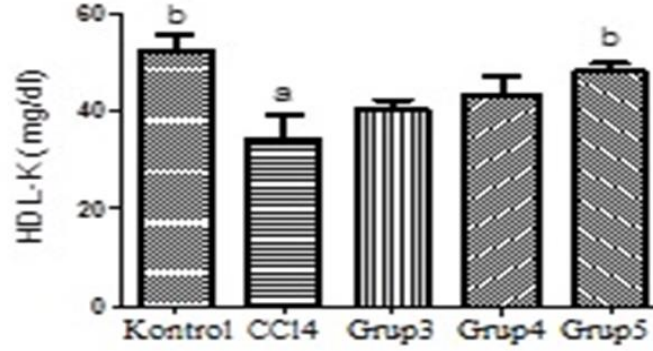
Tablo 1. Deney hayvanlarının ortalama lipid parametreleri düzeyleri

GRUPLAR	Kolesterol (mg/dl)	Trigliserid (mg/dl)	LDL-K (mg/dl)	HDL-K (mg/dl)	VLDL-K (mg/dl)
Kontrol	96.48 \pm 6.32 ^b	88.36 \pm 6.32 ^b	56.34 \pm 6.82 ^b	52.60 \pm 6.24 ^b	18.24 \pm 3.02 ^b
CCl₄	279.86 \pm 5.22 ^a	148.52 \pm 7.54 ^a	218.56 \pm 4.38 ^a	34.68 \pm 8.28 ^a	34.84 \pm 6.28 ^a
Grup 3	202.20 \pm 3.62	128.32 \pm 6.36	142.36 \pm 8.48	40.12 \pm 3.24	31.24 \pm 2.66
Grup 4	168.38 \pm 3.58	120.36 \pm 2.38	116.68 \pm 4.42	43.84 \pm 6.22	27.26 \pm 4.46
Grup 5	109.88 \pm 7.48 ^b	102.36 \pm 8.02 ^b	74.92 \pm 6.34 ^b	48.32 \pm 3.02 ^b	23.32 \pm 5.56 ^b



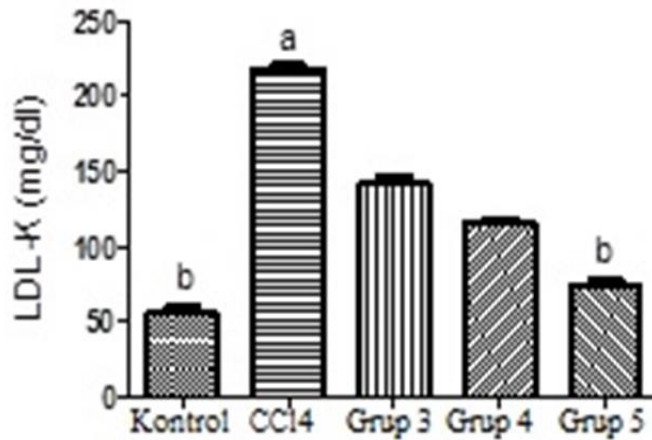
Şekil 1. Gruplardaki kolesterol grafiği
Farklı harfler gruplar arasındaki farklılığı göstermektedir. ^a ile ^b p < 0,05

CCl₄+ 2 g/kg *Tribulus terrestris* verilen grup ile CCl₄ grubu arasında total kolesterol değerleri (Şekil 1) arasında anlamlı olarak düştüğü (P<0.05) kontrol grubu ile 5.grup arasında fark olmadığı gözlenmiştir.

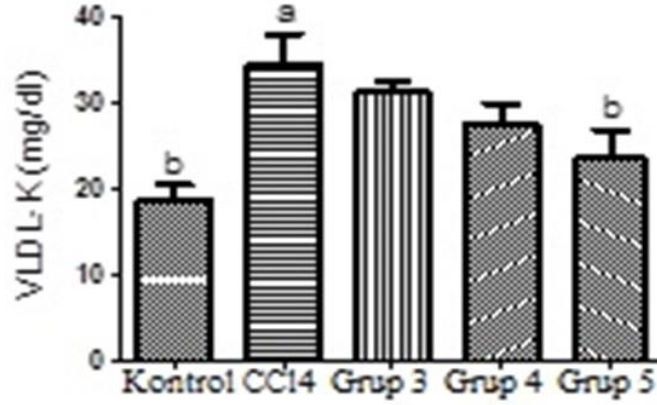


Şekil 2. Gruplardaki HDL-K grafiği
Farklı harfler gruplar arasındaki farklılığı göstermektedir. ^a ile ^b p < 0,05

HDL-kolesterol değerleri kontrol grubunda CCl₄ grubuna göre yüksek çıktığı (P<0.05) (Şekil 2) kontrol grubu ile 5.grup arasında fark olmadığı saptanmıştır. CCl₄ grubu ve kontrol grubu LDL-kolesterol değerleri arasında istatistiksel fark olduğu (Şekil 3) görülmüştür (P<0.05).

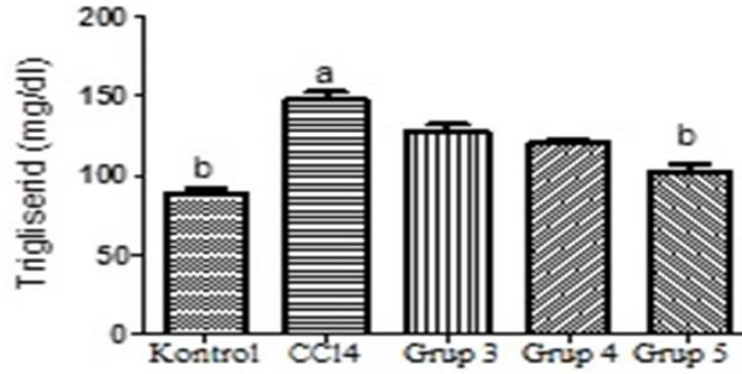


Şekil 3. Gruplardaki LDL-K grafiği
Farklı harfler gruplar arasındaki farklılığı göstermektedir. ^a ile ^b p < 0,05



Şekil 4. Gruplardaki VLDL-K grafiği
Farklı harfler gruplar arasındaki farklılığı göstermektedir. ^aile ^b p < 0,05

Kontrol grubu ve 5.gruba göre CCl₄ grubunda VLDL-kolesterol düzeylerinde istatistiksel olarak önemli bir artışın (P<0.05) olduğu saptanmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. Gruplardaki trigliserid grafiği
Farklı harfler gruplar arasındaki farklılığı göstermektedir. ^aile ^b p < 0,05

Trigliserid değerlerinde ise *Tribulus terrestris* uygulaması arttıkça sonuçlarda düşüş gözlenmiştir (Şekil 5). CCl₄ grubundaki değer çok yüksek çıkmıştır. 5.grupta ise anlamlı olarak bu değer düşüğü saptanmıştır (P<0.05).

CCl₄ hepatositlere etki ederek, sitokrom P450 enzim sistemi ile toksik yapıda triklorometil (CCl₃) ve triklorometil peroksil (CCl₃O₂) serbest radikallere dönüşmesi ile hücre zarında bulunan doymamış yağ asitleri ile etkileşime girmesi sonucu karaciğer hasarını meydana getirdiği belirtilmektedir [13, 14].

Yapılan birçok çalışmada, karaciğer hastalıklarında oksidatif stresin arttığı dolayısıyla karaciğer hasarı ve fibrozu arasında ilişki olduğu gösterilmiştir [15-17]. Oksidatif stres antioksidan mekanizma üzerindeki olumsuz etkilerine bağlı olarak lipid peroksidasyonunu artırıp karaciğerde fibrozise neden olabilmektedir [17]. Karbon tetraklorüre maruz kalan sıçanların karaciğerleri morfolojik olarak incelendiğinde; yağlanma, hidrofik distrofi, hepatosit sitoplazmasında yıkıcı değişimler ve hepatositlerin ağır nekrozu gibi çok önemli değişimlerin olduğu ifade edilmiştir [18].

Tribulus terrestris'deki saponinlerin hipoglisemik etkisini incelemek amaçlı bir çalışma yapılmıştır. Alloksan kullanılarak diyabetik sıçanlar elde edilmiştir. Fenformin tabletleri de pozitif kontrol için kullanılmıştır ve serumdaki glikoz, trigliserit, SOD ve kolesterol seviyeleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda *Tribulus terrestris* saponini verilen ratların kan şekerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Saponinler serumdaki kolesterol ve trigliserid seviyelerini de düşürmüştür. Serumdaki SOD seviyesinde ise artış gözlenmiştir. Sonuç olarak *Tribulus terrestris*'deki saponinler kan şekerini belirgin şekilde düşürmüştür. Bu literatüre göre sonuçlarımız uygunluk göstermekte kolesterol ve trigliserid düzeylerindeki artışın *Tribulus terrestris* bitkisi verilmesi ile düşüğü gözlenmiştir [19].

Tribulus terrestris'deki saponinlerin antihiperlipidemik etkisini anlamak amaçlı bir çalışma yapılmıştır. Diyete tabi tutulan hiperlipidemik sıçanlarda *Tribulus terrestris*'de bulunan saponinlerin koruyucu ve terapötik etkisi üzerinde çalışılmıştır. Saponin verilmesinden sonra sıçanların serum toplam kolesterolü (TC) ve kötü kolesterolü (LDL) ile karaciğer toplam kolesterolü ve trigliserit seviyeleri düşük çıkarken karaciğerdeki SOD aktivitelerinde artış gözlenmiştir. Çalışmalar sonucunda saponin tedavisinin karaciğer ve serumdaki toplam kolesterol seviyesinde belirgin bir düşüşe sebep olduğu belirlenmiştir. Sunulan çalışmada da bu çalışmanın bulgularıyla uyumlu olarak karaciğer hasarı ile artan lipid parametreleri *Tribulus terrestris* uygulaması kolesterol, LDL ve trigliserid seviyelerini düşürmesi sonuçları destekler niteliktedir [20]. *Tribulus terrestris* bitkisinin sulu ve metanolik ekstraktları ile in vitro şartlarda hipertansif farelerle yaptıkları çalışmada hipertansiyona karşı vazo dilatatör etkisi ile anlamlı oranlarda tansiyon düşürücü etkisi olduğunu bildirmişlerdir [21].

Tribulus terrestris ve *T. alatus*'un hipoglisemik ve hipolipidemik özellikleri üzerinde karşılaştırmalı bir çalışmalar yapılmıştır. Buna göre streptozotocin'in sebep olduğu hipoglisemik sıçanlarda, *T. alatus* ve *T. terrestris* alkol ekstresinin verildiği sıçanların, uygulamadan 2, 4 ve 6 saat sonra kan şekeri seviyelerinde, verilmeyen sıçanlara kıyasla önemli bir düşüş gözlenmiştir. *T. terrestris* ekstresi verilen diyabetik sıçanlarda TAG, TC ve LDL-c seviyelerinde verilmeyenlere karşılık önemli düşüş gözlenmiştir. TC ve LDL-c seviyeleri kontrol grubuna eşit ve HDL-c seviyesi ise kontrol grubundan önemli ölçüde yüksek çıkmıştır. [22]. Bu bulgularla yaptığımız araştırmanın sonuçları kısmen de olsa uyum arz etmektedir.

Beyaz Plymouth Rock- cüce horozların içme suyuna eklenen *Tribulus terrestris* ekstresinin semen kalitesini ve kan serumu toplam kolesterol içeriğini nasıl etkilediğini araştırmak için bir çalışma yapılmıştır. Deney horozlarında serum toplam kolesterol içeriği kontrol grubuna nazaran %9.24 daha az ($P > 0.05$) çıkmıştır. Araştırılan parametreler üzerinde *Tribulus terrestris*'in artetkisi sekiz hafta boyunca korunmuştur [23]. Yüksek kolesterollü bir diyetle tavşanların aort damarında aterosklerotik lezyonlar geliştirmede lipid profili ve endotelial yapı üzerinde *Tribulus terrestris* ekstresinin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen veriler *Tribulus terrestris*'in diyete bağlı alımının belirgin şekilde serum lipid profillerini düşürebileceğini, endotelial selüler yüzey hasarı ve rüptüreyi (rüptür: bir organ ya da dokunun yırtılması) azaltabileceğini ve hiperlipidemiden kaynaklanan endotelial disfonksiyonu kısmen onarabileceğini göstermiştir [24]. Diyabette *Tribulus terrestris*'in koruyucu etkisini incelemek amaçlı başka bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada diabetes mellitus (DM)'da *Tribulus terrestris* 'in koruyucu etkilerini araştırmaktır. Diyabetin, patojenezine yol açan reaktif oksijen türlerinin (ROS) seviyesini arttırdığı bilinmektedir. Histopatolojik muayene bitki ile tedavi edilen farelerde önemli karaciğer iyileşmesi göstermiştir. Bu araştırma STZ kaynaklı diyabetik fareler için *Tribulus terrestris*'in koruyucu etkisinin oksidatif stresi engelleyerek yöneltilebileceğini ileri sürmektedir [25]. Kontrol ve selüloz ile karıştırılan düşük ve yüksek doz *Tribulus terrestris* gruplarının kontrol grubuna oranla daha düşük plazma kolesterol düzeyine sahip oldukları bildirilmiştir [27]. Ratlarda akut [28, 29] ve kronik [30, 31] olarak farklı dozlarda CCl_4 'ün oluşturduğu karaciğer hasarından dolayı kan serumundaki kolesterol ve trigliserid düzeylerini artırdığı bildirilmiştir. Dolayısıyla kan serumundaki lipid parametrelerindeki artışın, CCl_4 uygulamasıyla trigliserid artmasına neden olması [32] ve karaciğer hücre hasarına bağlı fazla miktarda dolaşım sistemine katıldığı düşünülmektedir [28, 33]. Ratlarda CCl_4 sonucu oluşturulmuş hepatotoksititeye karşı kolesterol düzeyleri ile ilgili az sayıda çalışmalara ulaşılabilmektedir [28, 31]. Khan ve ark. [32], bir ay boyunca haftada iki defa 3 ml/kg, Al-Assaf ve arkadaşları [28] tek doz 1.25 ml/kg CCl_4 uygulaması LDL-kolesterol düzeyini artmasına, HDL-kolesterol düzeyinin azalmasına sebep olmuştur. Yapılan çalışmada da bu araştırmacıların [28, 33] sonuçlarına göre uygun şekilde yaptığımız araştırmada olduğu gibi uygulanan CCl_4 'e bağlı olarak karaciğer hasarında saptanan serum LDL-kolesterol düzeylerinde artışlar saptanmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Tribulus terrestris etkisi ile ilgili yapılan birçok araştırma sonuçları bizim çalışmamızda gözlenen bulgulara benzer bulgular göstermiştir. Ratlarda CCl_4 ile oluşturulan karaciğer hasarına karşı *Tribulus terrestris* bitkisinin etkisinin belirlenmesine yönelik çalışma olmadığı antihiperlipidemik etkisinin saptandığı belirlenmiştir. Sonuç olarak; *Tribulus terrestris*'in ekstraktının uygun dozlarda ve zamanlarda kullanılarak etkilerinin belirlenmesine yönelik yeni araştırmalara ihtiyaç olduğu kanaatine varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Çınar A., Yörük M., Meral İ., Kiliçalp D., Koç A., Ertekin A. 1999. The effects of carbon tetrachloride (CCl₄) induced experimental acute and chronic intoxication on hystological structure of liver and some hematological values and electrocardiogram in Rabbits. Turk J Vet Anim Sci, 23: 235-242.
- [2] Karakuş A., Değer Y., Yıldırım S. 2016. Protective effect of Silybum marianum and Taraxacum officinale extracts against oxidative kidney injuries induced by carbon tetrachloride in rats. Ren Fail., 39: 1-6.
- [3] Mukhopadhyay P., Mukherjee S., Ahsan K., Bagchi A., Pacher P., Das D.K. 2010. Restoration of altered microRNA expression in the ischemic heart with Resveratrol. PLoS One, 23:5 (12): e15705.
- [4] Wang C., Fan R.Q., Zhang Y.X., Nie H., Li K. 2016. Naringenin protects against isoniazid-and rifampicin-induced apoptosis in hepatic injury. World J Gastroenterol, 22: 9775-9783.
- [5] Bhuvaneshwari R., Chidambaranathan N., Jegatheesan K. 2014. Hepatoprotective effect of embilica officinalis and its silver nanoparticles against CCl₄ induced hepatotoxicity in wistar albino rats. DJNB, 9: 223-235.
- [6] Sotelo-Feliz J.I., Martinez-Fong D., Muriel P., Santillan R.L., Castillo D., Yahuaca P. 2002. Evaluation of the effectiveness of *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) in the alleviation of carbon tetrachloride-induced acute hepatotoxicity in the rat. J Ethnopharmacol., 81: 145-154.
- [7] MacDonald-Wickks L.K., Garg M.L. 2003. Vitamin E supplementatation in the mitigation of carbon tetrachloride induced oxidative stres in rats. Nutr Biochem., 14: 211-218.
- [8] Galicia-Moreno M., Rodriguez-Rivera A., ReyesGordillo K., Segovia J., Shibayama M., Tsutsumi V., Muriel P. 2009. N-acetylcysteine prevents carbon tetrachloride-induced liver cirrhosis: role of liver transforming growth factor-beta and oxidative stress. Eur J Gastroenterol Hepatol., 21: 908-914.
- [9] Dündar Y. 2001. Fitokimyasallar ve sağlıklı yaşam. Kocatepe Tıp Derg., 2: 131-8.
- [10] Joshi D.D, Uniyal R.C. 2008. Different chemo types of Gokhru (*Tribulus terrestris*):A herb used for improving physique and physical performance. International Journal Of Gren Pharmacy. 2 (3): 158-161.
- [11] Li J.X., Shi Q., Xiong Q.B., Prasain J.K., Tezuka Y., Hareyama T., Wang Z.T., Tanaka K., Namba T., Kadota S. 1998. Tribulusamide A and B, new hepatoprotective lignanamides from the fruits of *Tribulus terrestris*: indications of cytoprotective activity in murine hepatocyte culture. Planta Med., 64 (7): 628-31.
- [12] Liang D., Zhou Q., Gong W., Wang Y., Nie Z., He H., Li J., Wu J., Wu C., Zhang J. 2011. Studies on the antioxidant and hepatoprotective activities of polysaccharides from *Talinum triangulare*. Ethnopharmacol. J22, 136 (2): 316-21.
- [13] Manibusan M.K., Odin M., Eastmond D.A. 2007. Postulated carbon tetrachloride mode of action: A review. J Environ Sci Heal C, 25: 185-209.
- [14] Gnanaprakash K., Madhusudhana C.C., Ramkanth S., Alagusundaram M., Tiruvengadarajan V.S., Angala Parameswari S., Mohamed Saleem T.S. 2010. Aqueous extract of *Flacourtia indica* prevents carbon tetrachloride induced hepatotoxicity in rat. Int J Biol Sci., 6: 51-5.
- [15] Ökten A. 1998. Türkiye’de karaciger sirozunun etyolojisi. Hepotolojide Güncel Gelişmeler Sempozyum Kitabı, 67s.
- [16] Wang H., Wei W., Wang N.P. 2005. Melatonin ameliorates carbontetrachloride-induced hepatic fibrogenesis in rats via inhibition of oxidative stres. Life Sci., 77: 1902-1915.
- [17] Gochee P.A., Johnsson J.R., Clouston A.D. 2003. Steatozsis in Chronic Hepatitis C: association with increased Messenger RNA Expression of Collagen I, tumor necrosis factor-alpha and cytochrome P450 2E1. J Gastro Hepatolog.. 18: 386-392.
- [18] Chin P.L., Momand J., Pfeifer G.P. 1997. In vivo evidence for binding of p53 to consensus binding sites in the p21 and GADD45 genes in response to ionizing radiation. Oncogene, 15: 87-100.
- [19] Li M., Qu W., Wang Y., Wan H., Tian C. 2002. Hypoglycemic effect of saponin from *Tribulus terrestris*. Zhong Yao Cai., 25 (6): 420-2.

- [20] Chu S., Qu W., Pang X., Sun B., Huang X. 2003. Effect of saponin from *Tribulus terrestris* on hyperlipidemia. *Zhong-Yao-Cai.*, 26 (5): 341-4.
- [21] Phillips O.A, Mathew K.T, Oriowo M.A. 2006. Antihypertensive and vasodilator effects of methanolic and aqueous extracts of *Tribulus terrestris* in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 104: 351–355.
- [22] Tantawy W.H, Hassain L.A. 2007. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of alcoholic extract of *Tribulus alatus* in streptozotocin-induced diabetic rats: A comparative study with *T. terrestris* (Caltrop). *Indian J Exp Biol.*, 45: 785- 90.
- [23] Grigorova S., Kashamov B., Sredkova V., Surdjiiska S., Kurtenkov A. 2008. Effect Of *Tribulus terrestris* Extract On Semen Quality And Serum Total Cholesterol Content In White Plymouth-Mini Cocks. *Institute of Animal Science, Kostinbrod, Bulgaria*, 24 (3-4): 139-146.
- [24] Tuncer M.A, Yaymacı B, Satı L., Çaylı S., Acar G., Altuğ T., Demir R. 2009. Influence of *Tribulus terrestris* extract on lipid profile and endothelial structure in developing atherosclerotic lesions in the aorta of rabbits on a highcholesterol diet. *Acta Histochemica*, 111 (6): 488-500.
- [25] Amin A., Lotfy M., Shafiullah M., Adeghate E. 2009. The Protective Effect of *Tribulus terrestris* in Diabetes. *The New York Academy of Sciences*, 1084: 391-401.
- [26] Duru M., Şahin A. 2015. Farklı Taşiyıcılarla Rasyona Eklenen Demir Dikeninin (*Tribulus terrestris*) Yumurtacı Tavuklarda Verim Ve Yumurta Kalitesi Üzerine Etkileri. *Journal of Food and Health Science*, 1 (2): 84-93
- [27] Botsoglou N.A., Taitzoglou I.A., Botsoglou E., Zervos I., Kokoli A., Christaki E., Nikolaidis E., 2009. Effect of long-term dietary administration of oregano and rosemary on the antioxidant status of rat serum, liver, kidney and heart after carbon tetrachloride-induced oxidative stress. *J Sci Food Agric.*, 89: 1397-406.
- [28] Al-Assaf A.H. 2013. Preventive effect of corosolic acid on lipid profile against carbon tetrachloride induced hepatotoxic rats. *Pak J Nut.*, 12: 748-52.
- [29] Rajesh M.G., Latha M.S. 2001. Hepatoprotection by *Elephantopus scaber* L. in CCl₄-induced liver injury. *Indian J Physiol Pharmacol*, 45: 481-6.
- [30] Venukumar M.R., Latha M.S. 2002. Hepatoprotective effect of the methanolic extract *Curculigo orchioides* in CCl₄ treated male rats. *Indian J Pharmacol.*, 34: 269-75.
- [31] Santra A., Chowdhury A., Ghatak S., Biswas A., Dhali G.K. 2007. Arsenic induces apoptosis in mouse liver is mitochondria dependent and is abrogated by N-acetylcysteine. *Toxicol Appl Pharmacol.*, 220: 146-55.
- [32] Ahsan R., Islam K.M., Musaddik A., Haque E. 2009. Hepatoprotective activity of methanol extract of some medicinal plants against carbon tetrachloride induced hepatotoxicity in Albino rats. *Global J Pharm.* 3: 116-22.
- [33] Feroz Khan Z., Asdaq S.M.B., Prasanna Kumar S.R. 2009. Effects of few Indian medicinal herbs on carbon tetrachloride induced hepatic injury in animals. *International J Pharm Tech Res.*, 1: 579-87.

Araştırma Makalesi / Research Article

Pirazin Sübstitüe Kaliks[4]arenin Bazı Toksik Metal ve Oksianyon Ekstraksiyon Özelliklerinin İncelenmesi

Ömer GÜNGÖR*

Kocaeli Üniversitesi, Hereke Ömer İsmet Uzunyol MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknikleri Bölümü, Kocaeli (ORCID: 0000-0002-3835-2920)

Öz

Bu çalışmada, kaliks[4]arenin pirazin-2-karboksilat türevi (**3**) sentezlenmiş ve yapısı spektroskopik yöntemler ile karakterize edilmiştir. Ayrıca, bu bileşik büyük çevresel problemlere sebep olan toksik özelliğe sahip metaller (Na^+ , K^+ , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} ve Hg^{2+}) ve oksianyonların'ın (kromat ve arsenat) sıvı-sıvı ekstraksiyon çalışmalarında kullanılmıştır. Ekstraksiyon sonuçlarına göre düşük pH larda kromat (pH=1,5) ve arsenat (pH=3,5) anyonlarının yüksek oranda sulu fazdan organik faza taşındığı görülmüştür. Kaliksaren türevi (**3**) ile oksianyonlar arasındaki kompleks oranı Job's Plot analiz yöntemi ile 1:1 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Bileşik **3**, çalışılan toksik metalleri ise yüksek oranda sulu fazdan organik faza taşımıştır.

Anahtar kelimeler: Kaliksaren, Kromat, Arsenat, Sıvı-sıvı Ekstraksiyon, Toksik Metal

Investigation of Some Toxic Metal and Oxyanion Extraction Properties of Pirazine Substituted Calix[4]arene

Abstract

In this study, pyrazine-2-carboxylate derivative of calix[4]arene was synthesized and the structure was characterized by spectroscopic methods. In addition, this compound was used as carrier in the liquid-liquid extraction studies for toxic metals and oxyanions (chromate and arsenate) which cause major environmental problems. According to the extraction results, it was observed that the chromate (pH = 1.5) and arsenate (pH = 3.5) anions were removed from the waste water at low pH levels. The stoichiometric complex ratio between calixarene derivative (**3**) and oxyanions was estimated through Job's Plot and it was found to be 1: 1. Also, compound **3** carried the studied toxic metals from the aqueous phase to the organic phase.

Keywords: Calixarene, Chromate, Arsenate, Liquid-liquid Extraction, Toxic Metal

1. Giriş

Kaliksarenler, p-sübstitüe fenol ve formaldehit kondenzasyonu ile C. David Gutsche tarafından 1974 yılında elde edilen kupa şeklindeki moleküllerdir. Sentezlerinin kolay olması ve çok yönlü fonksiyonlandırılabilirliklerinin yanı sıra 3D iskelete sahip olan kaliksarenler, siklodekstrin ve taç eterlerden sonra subramoleküler kimyanın üçüncü jenerasyonu olarak bilinmektedir. Ayrıca üst ve alt kısımlarından (upper and lower rim) farklı olarak sübstitüe edilebilmeleri kaliksarenlere ayrı bir önem kazandırmaktadır [1]. Bu bileşiklerin; molekül ve iyon taşıyıcı, iyon selektif elektrot, HPLC'de sabit faz, monolayer, sıvı membran çalışmalarında taşıyıcı, enzim mimik katalizörü gibi birçok kullanım alanı vardır. Kaliksarenler, aril halkasının yukarı ve aşağı yönlendirmelerine göre çözelti içerisinde farklı konformasyonlara sahip olabilmektedirler. Kaliks[4]arenler, 1,2 karşılıklı, 1,3 karşılıklı, kısmi koni ve koni olmak üzere 4 konformasyona sahiptirler [2]. Kaliksarenler 4 ila 20 arasında farklı aril halkasına sahip olduklarından farklı molekül boşluğuna (cavite) sahiptirler. Ayrıca bu halka boşluğuna uygun olan çeşitli molekül ve iyonlar ile kompleks oluşturabilmektedirler [3].

*Sorumlu yazar: omer.gungor@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi:20.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

Endüstriyel gelişmeler ve her geçen gün sanayide kullanılan kimyasal sayısı ve oranının artması maalesef çevre kirliliğinin de artmasına sebep olmaktadır. Metaller endüstride en çok kullanılan kimyasallardandır. Bu metallerin doğaya bırakılması canlılar üzerinde ciddi sağlık problemlerine yol açtıkları bilinmektedir. Kurşun özellikle kemik dokularına zarar verirken cıva ve kadmiyum böbrek rahatsızlıklarına sebep olmaktadır [4].

Kromat, elektro kaplama, kağıt üretimi, tabaklama, bronz, cevher ve petrol rafineri gibi birçok endüstriyel proses tarafından kullanılmaktadır. Hindistan'daki tabakhanelerin yaklaşık % 80'i krom tabaklama işlemi yapmaktadır ve bu işletmelerin büyük bir çoğunluğu atık sularını çevreye boşaltmaktadırlar [5]. Kromatlar [Cr(VI)] güçlü oksitleyici olduklarından bitki, hayvanlar ve insanlar için toksiktirler. İçme suyundaki çözünmüş Cr için mevcut sınır, bazı endüstriyel atık solüsyonlarının çevreye deşarj edilmeden önce Cr (VI) konsantrasyonlarının azaltılması gereken seviye olan 10^{-6} M'dir. Sulu atıklarda Cr(VI), asidik ortamlarda dikromat ($Cr_2O_7^{2-}$) veya alkali ortamlarda kromat (CrO_4^-) olarak bulunur [6].

Arsenik, toksik ve kanserojen bir bileşiktir [7]. Doğada, inorganik arsenik türleri olarak arsenat (yükseltgenme basamağı +5) ve arsenit (yükseltgenme basamağı +3) yaygın olarak bulunmaktadır. Sulu ortamda arsenit türleri (H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$ ve AsO_3^{3-}) ve arsenat türleri (H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ ve AsO_4^{3-}) baskındır. Arsenik içme sularında bulunduğu deri kalınlaşması, pigmentasyon değişikliği, adale zayıflığı, nörolojik bozukluğuna ayrıca mesane, deri, akciğer ve böbrek kanserine sebep olmaktadır [8-11]. İnorganik arsenik zehirlenmesine oral yoldan maruz kalınması halinde akut toksisite semptomları bulantı, kas krampları, kusma, epigastrik ve karın ağrısı, dermatit, anoreksi, kalp anormallikleri ve hepatotoksitesidir [12-14]. Dünya Sağlık Örgütü'nün(WHO) içme suyunda tavsiye ettiği arsenik sınır değeri $10 \mu g/l$ 'dir [15]. Yer altı sularında arsenik problemi olan başlıca ülkeler arasında Türkiye'nin yanı sıra Çin, Vietnam, Meksika, Nepal, Hindistan, Arjantin, Tayvan, Bangladeş gibi ülkelerde yer almaktadır.

Son yıllarda farklı fonksiyonel gruplarla fonksiyonlandırılan kaliksarenlerin katyon ve anyonların katı-sıvı, sıvı-sıvı ekstraksiyon ve membran çalışmalarında kullanılması literatürde fazlasıyla yer edinmektedir [16-18]. Nicolai I. Nikishkin ve ark. bir dizi pirazin sübstitüe kaliksaren sentezlemiş ve bunları Evropiyum (Eu) ve Amerikyum (Am)'a karşı sıvı-sıvı ekstraksiyon özellikleri incelenmiştir. Sentezlenen ligandların, f-blok metal iyonlarına karşı çok yüksek bir afinite ve Am (III) için seçicilik gösterdiği rapor edilmiştir [19]. Bu çalışmada pirazin karbonil sübstitüe kaliks[4]aren türevi sentezlenmiş ve yapısı standart spektroskopik yöntemler (FT-IR, 1H -NMR ve kütle) ve elementel analiz ile aydınlatılmıştır. Ayrıca sentezlenen yeni kaliksaren türevinin bazı toksik metallere ve oksianyonlarına (kromat ve arsenat) karşı sıvı-sıvı ekstraksiyon özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasallar

Sulu fazın pH'ı uygun miktarda HCl veya NaOH (0,1 M) karıştırılarak ayarlandı. Diklormetan, 4-tert-butil fenol, kolon kromatografisi için silika jel 60, dikromat ($Na_2Cr_2O_7$) ve arsenat (Na_2HAsO_4) Merck firmasından hazır olarak temin edilmiştir. İnce tabaka kromatografisi (İTK) silikajel tabakasıyla (Merck 60 F₂₅₄, SiO₂) kaplanmış alüminyum plakalar ile yapılmıştır. Kolon kromatografisinde silika jel 60 (Merck, tanecik büyüklüğü 0,040-0,063mm, 230-240 mesh) kullanılmıştır. Pirazin-2-karbonil klorit, Alfa Aesar firmasından hazır olarak temin edilmiştir.

2.2. Kullanılan Cihazlar

Kromat ve arsenat çözeltileri, Millipore Milli-Q Plus su arıtma sisteminden alınan ultra saf su ile hazırlandı. pH ayarlaması pH metre (WTW pH 720) ile yapıldı. UV-Vis spektrumları Shimadzu 2101 UV spektrofotometre ile FTIR Perkin Elmer Spectrum BX FT-IR sistemi, kütle spektrumu bir Bruker Micro ES⁺ ile, 1H NMR spektrumları ise TMS kullanılarak bir Varian 500 MHz spektrometrede CDCl₃ çözücü içerisinde kaydedilmiştir. H-NMR spektrumunda kimyasal kayma değerleri (δ) ppm olarak alınmıştır.

2.3. Sıvı-sıvı Ekstraksiyon

Sıvı-sıvı ekstraksiyon, Pedersen prosedürüne göre yapılmıştır [20]. Oksianyon ekstraksiyonu için, 10 mL ultra saf su içerisinde 1×10^{-4} M dikromat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) veya arsenat (Na_2HAsO_4) çözeltisi, 1×10^{-3} M 10 mL bileşik **3** ile karıştırılarak ağzı kapalı bir erlene alındı. Metal ekstraksiyonu için ise, ultra saf su içerisinde 1×10^{-5} M metal pikrat çözeltisi ile diklormetan içerisindeki 1×10^{-3} M 10 mL bileşik **3** ile karıştırılarak ağzı kapalı bir erlen içerisinde alındı. Hazırlanan karışımlar mekanik sallayıcıda 3 dakika hızlı bir şekilde sallandı. Daha sonra 1 saat oda sıcaklığında orta devirde sallandı. Sulu ve organik fazın tamamen ayrılması için yarım saat beklendi. Kromat iyon ekstraksiyonu 610nm'de, arsenat ekstraksiyonu 346nm'de ve metal pikrat ekstraksiyonu 354nm'de UV-Vis spektrometresi (Shimadzu 2101) kullanılarak belirlenmiştir.

$$E\% = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

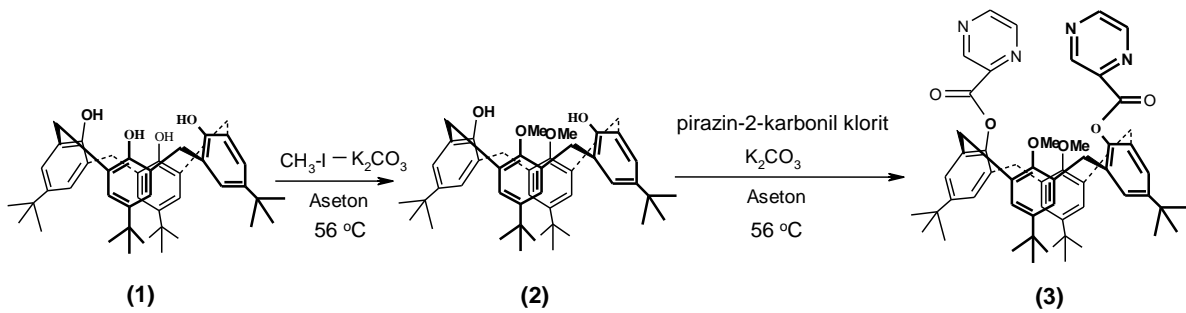
Burada, A_0 değeri sulu fazdaki oksianyon (1×10^{-4} M) veya metal pikratın (1×10^{-5} M) başlangıç absorbansdır. A değeri ise ekstraksiyon olduktan sonra sulu fazın absorbansını göstermektedir. Ekstraksiyon yüzdesi yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

3. Sentez

Bileşik **1** ve **2** literatüre göre sentezlenmiştir [21, 22].

5,11,17,23-Tetra-ter-bütil-25,27-dipirazinkarbonil-26,28-dimetoksikaliks[4]aren Sentezi(3)

2 g (3 mmol) bileşik **2**, 122 g (8.8 mmol) potasyum karbonat ve 0,84 g (6 mmol) pirazin-2-karbonil klorit azot atmosferi ve bir geri soğutucu altında 200 mL susuz aseton içerisinde 24 saat karıştırılarak kaynatılır. Çözücü kuruluğa kadar distile edilir. Katı kısım kolon kromatografisi (Silikajel; Aseton/Hekzan (1/4) ile saflaştırılır. Verim: 2,21 g (%84). IR: 3065 (aromatik C-H), 2921–2850 (alifatik C-H), 1766 cm^{-1} (C=O). ^1H NMR (CDCl_3): δ 0,98 (s, 18H, t-Bu), 1,21 (s, 18H, t-Bu), 3,10 (s, 6H, OCH₃), 3,23 (d, $J = 11,3$ Hz, 4H, AB sistem, ArCH₂Ar), 4,43 (d, $J = 11,3$ Hz, 4H, AB sistem, ArCH₂Ar), 6,89 (s, 4H, ArH), 7,12 (s, 4H, ArH), 8,35 (d, $J = 6.5$ Hz, 4H, PyzH), 9,03 (s, 2H, PyzH). Hesaplanan: $\text{C}_{56}\text{H}_{64}\text{O}_6\text{N}_4$: C, 76,65; H, 7,25%; N, 6,30 % Bulunan: C, 76,94; H, 8,11%; N, 6,42. MS (ES⁺), (m/z): Hesaplanan: $\text{C}_{56}\text{H}_{64}\text{O}_6\text{N}_4$, 889,13; Bulunan: 890,68 [$\text{M}+1$]⁺.



Şekil 1. Kaliks[4]aren pirazin-2-karboksilat türevi

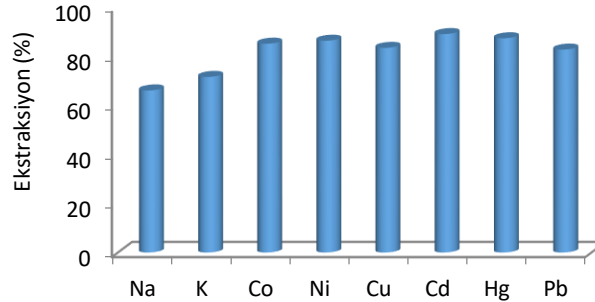
3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada pirazin substitüe kaliksaren sentezleyerek toksik metal ve oksianyonların (kromat ve arsenat) atık sulardan temizlenmesi amacıyla sıvı-sıvı ekstraksiyon çalışmaları yapılmıştır. Yeni sentezlenen bileşik **3**'ün yapısı, ^1H NMR spektroskopisi, kütle spektroskopisi, FTIR ve element analizi ile aydınlatılmıştır. Bileşik **3**'in FTIR spektrumunda 3297 cm^{-1} 'deki OH titreşim pikinin kaybolduğu ve yerine C=O fonksiyonel gruplara ait yeni bir titreşim pikinin 1766 cm^{-1} 'de gözlenmesiyle reaksiyonun gerçekleştiği anlaşılmıştır. Ayrıca ^1H -NMR spektrumunda OH pikine ait olan sinyalin kaybolmasıyla

pirazin aromatik halkasına ait olan 9,03ppm ve 8,35ppm'de sinyaller gelmiştir. Aromatik köprü (ArCH_2Ar) protonlarına ait olan sinyallerin 3,23 ppm ve 4,43 ppm de AB sistem şeklinde iki çift dublet olarak rezonans olması bileşik 3'ün koni konformasyonuna sahip olduğunun kanıtıdır. Kütle spektrumunda moleküler iyon piki 890,68 $[\text{M}+1]^+$ 'da saptanmıştır.

Koni konformasyonu diğer konformasyonlara göre (1,3 karşılıklı, 1,2 karşılıklı ve kısmi koni) daha kararlı bir yapıya sahip olduklarından dolayı iyonlar ve metaller ile daha yüksek oranda kompleks yapabilmektedir. Yani kaliksarenlerin koni konformasyonunun uzaysal alanda eğilme ya da bükülmesi sonucunda molekül boşluğunda (kavite) bir değişiklik olmamaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada kullanılan bileşik 3 koni konformasyonunda sentezlenmiştir. Kaliksarenlerin konformasyonu aril halkaları arasındaki CH_2 protonlarının $^1\text{H-NMR}$ 'deki sinyalleri ile anlaşılmaktadır [23].

Katyonlar ile taşıyıcı reseptörler arasındaki etkileşimler genellikle kovalent olmayan (hidrojen bağı, iyon etkileşimi, π - π etkileşimi vb.) etkileşimlere dayanmaktadır. Metal ekstraksiyonunda ilk olarak pikrik asidin ekstraksiyona etkisini incelemek amacıyla bileşik 3'ün olmadığı ortamda ekstraksiyon çalışması yapılmıştır. Yapılan bu kontrol çalışmasında sulu fazdan organik faza herhangi bir metal pikratın geçmediği görülmüştür. Bu çalışma tüm metal pikratlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca çalışma oksianyonlar içinde yapılmış yine herhangi bir ekstrakt gözlenmemiştir. Sübstitüe edilmemiş kaliks[4]arenlerin metalleri ve anyonları sulu fazdan organik faza taşımadığı bilinmektedir [24, 25]. Bu sonuç organik faza taşınan metal pikratların bileşik 3'ün pirazin grubu ile yaptığı kompleks sonucunda olduğunu göstermektedir. Ekstraksiyon sonuçlarına göre bileşik 3'ün metal pikratları yüksek oranda sulu fazdan organik faza taşıdığı görülmektedir (Şekil 2). Yüksek ekstraksiyon yüzdesi, pirazin halkasındaki azot atomları ile metaller arasında oluşan dipol-iyon etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca +1 değerlikli sodyum ve potasyum diğer +2 değerlikli metallere (Co, Ni, Cu, Cd, Hg ve Pb) göre daha düşük ekstraksiyon yüzdesi sergilemektedirler. Bu da dipol-iyon etkileşimin ekstraksiyon üzerinde etkili olduğunun kanıtıdır.

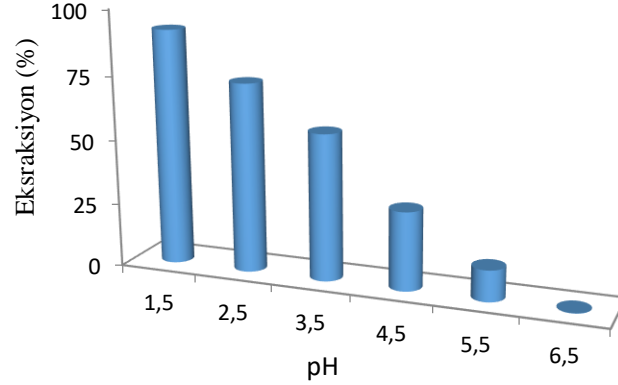


Şekil 2. Metal pikratların Bileşik 3 ile ekstraksiyon yüzdesi

Krom doğal ortamda genellikle Cr(III) ve Cr(VI) olarak iki formda bulunmaktadır. Cr(III)'ün kristal formu doğada krom hidroksit $[\text{Cr}(\text{OH})_3]$ ve krom oksit $[\text{Cr}_2\text{O}_3]$ olarak bulunmaktadır. Her iki bileşik de suda az miktarda çözünür ve yüksek dozlarda düşük akut ve kronik toksisite sergilemektedirler. Üç değerlikli krom, insanlar için temel bir besin olarak kabul edilirken, Cr (VI) kanserojen olup oksidant ve toksisitesi diğer Cr bileşiklerine göre çok yüksektir. Kromat (CrO_4^{2-}), bikromat (HCrO_4^-) ve dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) gibi toksik Cr(VI) içeren krom anyonları, alkali ve hafif asidik koşullar altında toprakta güçlü bir şekilde tutunmaktadır [26]. Kromun atık sudan ekonomik olarak geri kazanılması, çevresel etkisini en aza indirmek için çok önemlidir. Cr(VI)'nın uzaklaştırılması için iyon değişimi, adsorpsiyon, solvent ekstraksiyon ve sıvı membran gibi çeşitli fizikokimyasal yöntemler üzerinde çalışılmıştır. Sıvı-sıvı ekstraksiyon, metal geri kazanımı da dâhil olmak üzere ayırma ve saflaştırma yöntemi olarak kullanılan en etkili yöntemlerdendir.

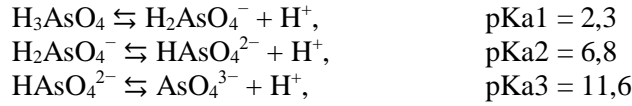
Bileşik 3'ün kromat anyonu taşıma özelliğini incelemek amacıyla sıvı-sıvı ekstraksiyon deneyleri yapılmıştır. Kromat ekstraksiyonunda en önemli parametre pH olduğu için deneyler farklı pH değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon verilerine göre bileşik 3'ün pH düşüğe dikromat anyonunu yüksek oranlarda organik faza taşıdığı görülmektedir. En yüksek ekstraksiyon yüzdesi pH=1,5'te %91,8 olarak bulunmuştur. pH 6,5'te ise organik faza taşınım olmamıştır (Şekil 3). Cr(VI) hafif asidik ve alkali çözeltilerde CrO_4^{2-} formunda iken düşük pH değerlerinde HCrO_4^- formunda bulunmaktadır. Ayrıca mono anyon (HCr_2O_7^-) dianyonik ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) formdan daha az hidrasyon serbest

enerjisine sahiptir. Dolayısıyla mono anyon formunun organik faza taşınması dianyonik forma göre çok daha kolaydır. Ayrıca, bileşik 3'de bulunan pirazin grubundaki azotlar ile anyon arasında güçlü elektrostatik etkileşim ve kovalent bağ oluşmaktadır. Pirazindeki azotların protonlanmasıyla bu etkileşimler daha da güçlenmektedir.

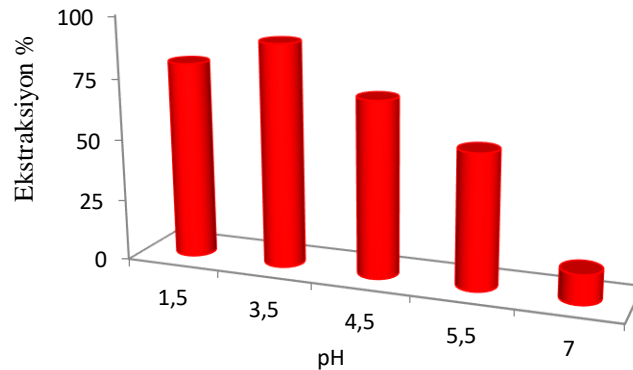


Şekil 3. Dikromat anyonunun Bileşik 3 ile farklı pH'lardaki ekstraksiyon yüzdesi

Arsenik türleri, bazik pH değerlerinde (pH 8-11) dianyon (HAsO_4^{2-}), ortalama asidik koşullar (pH 3-6) monoanion (H_2AsO_4^-) ve asidik koşullar (pH 1-3) H_3AsO_4 formları halinde bulunmaktadır [27].



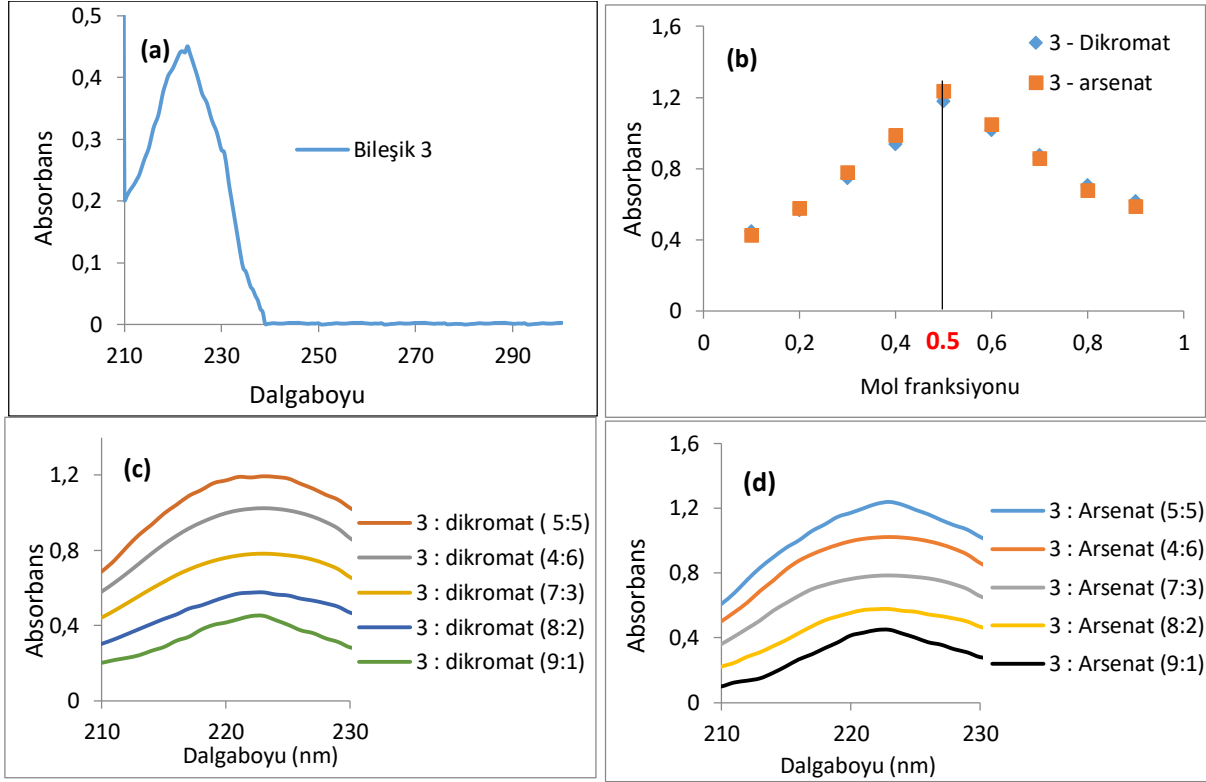
Ayrıca, dianyonik form HAsO_4^{2-} monoanion (H_2AsO_4^-) ile karşılaştırıldığında, daha küçük bir serbest hidrasyon enerjisine sahiptir [28]. Arsenat iyonlarının çevresindeki oksit kısımlarıyla konakçı molekülle (bu çalışmada kaliksaren) hidrojen bağları ile kompleks oluşturabilmektedirler. Bu amaçla, arsenat iyonlarının sıvı-sıvı ekstraksiyon çalışmaları pH 1,5-7,0 aralığında, bileşik 3 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon sonuçları Şekil 4'de gösterilmektedir. Ekstraksiyon sonuçları incelendiğinde en iyi pH değerinin 3,5 olduğu görülmektedir. Arsenat pH 1,5'de H_3AsO_4 formundadır. Bu formda bileşik 3 ile arasındaki elektrostatik etkileşim azaldığından dolayı ekstraksiyon yüzdesi pH 3,5'e göre daha düşük olmaktadır.



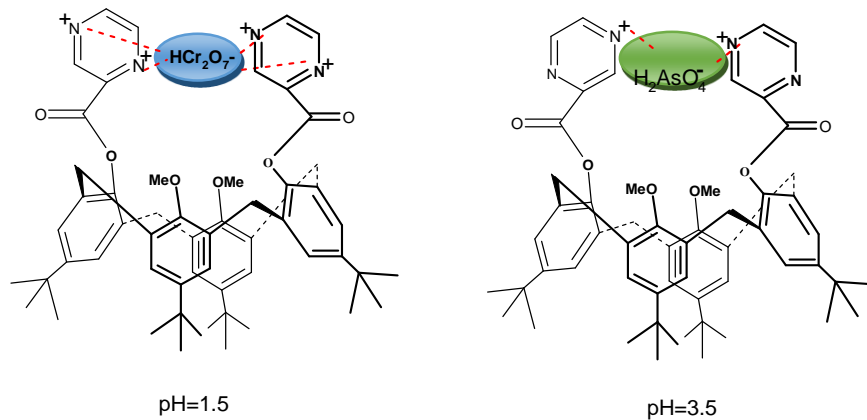
Şekil 4. Arsenat anyonunun Bileşik 3 ile farklı pH'lardaki ekstraksiyon yüzdesi

Bileşik 3 ile dikromat ve arsenat anyonu arasındaki stokiometrisini bulmak için Job's Plot analiz yöntemi kullanılmıştır. Kompleksin stokiometrik oranı, oluşan kompleksin UV-Vis spektrumunun serbest ligandların spektrumları ile karşılaştırılarak tespit edilebilir. Ligand-iyon karışımında bir absorpsiyon bandının şiddetinin artması veya yeni bir absorpsiyon bandının meydana gelmesi kompleks oluşumun kanıtıdır. 1×10^{-3} M kaliksarenin UV-Vis spektrumu alındıktan sonra

farklı oranlarda (9:1 – 1:9) dikromat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) veya arsenat (Na_2HAsO_4) çözeltisi (1×10^{-3} M) ile karıştırılarak UV-Vis spektrumu alındı. Bileşik **3** ile oksianyonlar arasındaki elektrostatik etkileşim bileşik **3**'ün 223nm'deki bandının şiddetini artırmaktadır. Bu da kompleks oluşumunun kanıtıdır. Bu bandın (223 nm) absorpsiyon şiddeti grafiğe geçirildiğinde mol fraksiyon oranı 0,5 olarak bulunmuştur (Şekil 5). Bu değer 1:1 kompleks oluştuğunu göstermektedir. Bileşik **3** ile dikromat (pH=1,5) ve arsenat (pH=3,5) anyonları arasında önerilen kompleksleşme modeli Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 5. Job's Plot analizi (a) Bileşik **3**'ün dikromat içerisinde UV-Vis spektrumu, 1×10^{-3} M. (b) mol fraksiyonu, (c) Bileşik **3** ile Dikromat'ın farklı oranlardaki karışımlarının UV-Vis spektrumları (d) Bileşik **3** ile Arsenat'ın farklı oranlardaki karışımlarının UV-Vis spektrumları



Şekil 6. Bileşik **3** ile oksianyonlar (Dikromat ve Arsenat) arasında önerilen kompleks modeli.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 5,11,17,23-Tetra-*ter*-bütil-25,27-dipirazinkarbonil-26,28-dimetoksikaliks[4]aren (3) sentezlenmiş ve yapısı standart spektroskopik yöntemler (¹H-NMR, kütle ve FT-IR) ve elementel analiz ile tamamen karakterize edilmiştir. Sentezlenen yeni kaliksaren türevi (3), ciddi çevresel ve sağlık problemlerine yol açan toksik metaller ile oksianyonların (kromat ve arsenat) atık sulardan temizlemek amacıyla sıvı-sıvı ekstraksiyon çalışmaları yapılmıştır. Ekstraksiyon çalışmaları sonucunda bileşik 3'ün pH 1,5'da kromat anyonunu yüksek oranda sulu fazdan organik faza taşıdığı görülmüştür. Ayrıca bileşik 3, arsenat anyonunu pH 3,5'da en yüksek oranda sulu fazdan organik faza taşıdığı görülmüştür. Sonuç olarak bu bileşiğin (3) toksik metaller ile toksik ve kanserojen olan dikromat ve arsenat anyonlarının temizlenmesinde kullanılabileceği görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Gutsche CD. 1998. Calixarenes Revisited. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- [2] Vicens J., Bohmer V. 1991. Calixarenes: A versatile Class of Macrocyclic Compounds. Topics in Inclusion Science, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [3] Yilmaz M., Sayin S. 2016. Calixarenes and Beyond. 1. Baskı, Seattle, USA, 27 (719-742).
- [4] Roundhill M.D. 1995. Metal Complexes of Calixarenes. Book Editor: Kenneth D. Karlin. Progress in Inorganic Chemistry, Volume 43. Online ISBN: 9780470166444.
- [5] Rajamani T., Ramasami S., Langerwerf J.S.A., Schappman J.E. 1995. Environment management in tanneries feasible chromium recovery and reuse system. Proceedings of 3rd International Conference on Appropriate Waste Management Technologies for Developing Countries, Nagpur, 965-973.
- [6] Srinath T., Verma T., Ramteke P.W., Garg S.K. 2002. Chromium (VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria. Chemosphere, 48 (4): 427-435.
- [7] Habuda-Stanic M., Kalajdzic B., Kules M., Velic N. Stanic. 2008. Arsenite and Arsenate Sorption by Hydrous Ferric Oxide/Polymeric Material, Desalination, 229 (1): 1-9.
- [8] Yolcubal I., Akyol N.H. 2008. Adsorption and transport of arsenate in carbonate-rich soils: coupled effects of nonlinear and rate-limited sorption. Chemosphere, 73 (8): 1300-1307.
- [9] Hering J.G., Chen P.Y., Wilkie J.A., Elimelech M. 1997. Arsenic removal from drinking water during coagulation. J. Environ. Eng., 123 (8): 800-807.
- [10] Viraraghavan T., Subramanian K.S., Aruldoss J.A. 1999. Arsenic in drinking water problems and solutions. Water Sci. Technol., 40 (2): 69-76.
- [11] IPCS. 2001. Environmental Health Criteria 224, Arsenic and Arsenic Compounds, 2nd ed., World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- [12] Hall A.H. 2002. Chronic Arsenic Poisoning. Toxicol. Lett., 128 (1): 69-72.
- [13] Valenzuela O., Germolec D., Borja-Aburto V., Contreras-Ruiz J., Garcia-Vargas G., Delraza L. 2007. Chronic arsenic exposure increases TGFalpha concentration in bladder urothelial cells of Mexican populations environmentally exposed to inorganic arsenic. Toxicol. Appl. Pharmacol., 222 (3): 264-70.
- [14] Bayrakci M., Ertul S., Yilmaz M. 2009. Synthesis of Di-Substituted Calix[4]arene-based Receptors for Extraction of Chromate and Arsenate Anions. Tetrahedron, 65 (38): 7963-7968.
- [15] World Health Organization (WHO) 2001. Arsenic in Drinking Water (Geneva: United Nations, 2001).
- [16] Roundhill D.M., Solangi I. B., Memon S., Bhangar M. I., Yilmaz M. 2009. The Liquid-Liquid Extraction of Toxic Metals (Cd, Hg and Pb) by Calixarenes. Pak. J. Anal. Environ. Chem., 10 (1): 1-13.
- [17] Kamboh M.A., Memon S., Zardari L.A., Nodeh H.R., Sherazi S.T.H, Yilmaz M. 2018. Removal of toxic metals from canola oil by newly synthesized calixarene-based resin. Turkish Journal of Chemistry, 42: 918 - 928.
- [18] Sliwa W., Girek T. 2010. Calixarene complexes with metal ions. Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry, 66 (1-2): 15-41.

- [19] Nikishkin N.I., Huskens J., Ansari S.A., Mohapatra P.K., Verboom W. 2013. Pyrazine-functionalized calix[4]arenes: synthesis by palladium-catalyzed cross-coupling with phosphorus pronucleophiles and metal ion extraction properties. *New J. Chem.*, 37: 391-402.
- [20] Pedersen C.J. 1967. Cyclic Polyethers and Their Complexes with Metal Salts. *J. American Chem. Society*, 89: 7017-7036.
- [21] Gutsche C.D., Lin L.-G. 1986. Calixarenes 12: The synthesis of functionalized calixarenes. *Tetrahedron*, 42 (6): 1633–1640.
- [22] Elizabet M., Collins M., McKeevey A., Madigan E., Moran M.B., Owens M., Ferguson G., Harris S.J. 1991. Chemically Modified Calix[4]arenes, Regioselective Synthesis of 1,3-(Distal) Derivatives and Related Compounds. X-Ray Crystal Structure of Diphenol-Dinitrile. *Chem. Soc. Perkin. Trans.*, 12: 3137-3142.
- [23] Wamoto K., Ikeda A., Araki K., Seiji Shinkai T.H. 1993. Cone”-“Partial-cone” Isomerism in Tetramethoxycalix[4]arenes. Influence of solvent polarity and metal ions. *Tetrahedron*, 49 (44): 9937–9946.
- [24] Gungor O., Memon S., Yılmaz M., Roundhill D.M. 2005. Synthesis of alkyl nitrile and alkyl benzonitrile derivatives of calix [4] arene and their polymer supported analogues: a comparative study in two-phase extraction systems. *Reactive and Functional Polymers*, 63 (1): 1-9.
- [25] Gubbuk I.H., Gungor O., Alpoguz H.K., Ersoz M., Yılmaz M. 2010. Kinetic study of mercury (II) transport through a liquid membrane containing calix [4] arene nitrile derivatives as a carrier in chloroform. *Desalination*, 261 (2): 157-161.
- [26] Bozkurt S., Karakucuk A., Sirit A., Yılmaz M. 2005. Synthesis of two calix[4]arene diamide derivatives for extraction of chromium(VI). *Tetrahedron*, 44 (61): 10443-10448.
- [27] Yusof A.M., Malek N.A.N.N. 2009. Removal of Cr(VI) and As(V) from aqueous solutions by HDTMA-modified zeolite Y. *Journal of Hazardous Materials*, 162 (2): 1019–1024.
- [28] Qureshi I., Memon S. 2012. Synthesis and Application of Calixarene-based Functional Material for Arsenic Removal from Water. *Applied Water Science*, 2 (3): 177–86.

Araştırma Makalesi / Research Article

Ahlat Sazlıklarındaki, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel, *Typha angustifolia* L., *Lythrum salicaria* L. Bitkilerinin ve Bunları Çevreleyen Sedimentlerde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

Şükrü HAYTA*, Yekda ERKAN

*Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
(ORCID: 0000-0003-1008-487X) (ORCID: 0000 0001 5609 119X)*

Öz

Bu çalışmada, Ahlat Sazlıklarının baskın türleri olan *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* ve *Lythrum salicaria* bitki türleri ve bu bitkileri çevreleyen sedimentlerde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile sahada fitoremediasyon yöntemi uygulanarak sulak alanlardaki ağır metal kirleticilerinin bitki bünyesine alımı ve sucul ortamın kendini iyileştirme çabasının tespit edilmesi için yapılan çalışmalara katkı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmamızda bu bitkilerin ağır metal tolere edebilme kapasiteleri belirlenerek bölgedeki metal kirlilik seviyesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* ve *Lythrum salicaria* bitkileri üzerinde: Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca metallerini tolere edebilme kapasitelerine bakılmış ve bu bitkilerin metalleri akümüle etme seviyeleri belirlenmiştir. Toprak analizleri sonucunda Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca elementlerinin ortalama konsantrasyonları sırasıyla 480.05, 2.285, 89.47, 1721.5, 2.707, 0.942, 6.611, 0.067, 1.07, 69.255mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Ahhtar kelimeler: Ahlat Sazlığı, ağır metaller, fitoremediasyon, hiperakümülatör bitki.

Determination The Heavy Metal Concentrations of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel, *Typha angustifolia* L., *Lythrum salicaria* L. Plants And Surrounding Sediments In The Ahlat Reeds

Abstract

In this study, determination the heavy metal concentrations of Ahlat Reeds' dominant species of which were *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* and *Lythrum salicaria* and the sediments surrounding these plants were emphasized. It is aimed to give contribution to both studies carried out in order to determine the effect of heavy metal pollutant intake into the plant body in the wetlands and to improve the remediation capacity of aquatic environment by applying phytoremediation method with the obtained results. In this study, we tried to determine the metal pollution level in the region by determining the heavy metal tolerance capacity of these plants. Metal (Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb and Ca) tolerance capacity of plants used in this study (*Phragmites australis*, *Typha angustifolia* and *Lythrum salicaria* plants) were investigated and accumulation capacity of these plants were determined. According to soil analysis results, average concentrations of Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb and Ca elements were determined as 480.05, 2.285, 89.47, 1721.5, 2.707, 0.942, 6.611, 0.067, 1.07, 69.255mg kg⁻¹ respectively.

Keywords: Ahlat reed, Heavy metals, Phytoremediation, Hyperaccumulator plant.

1. Giriş

Nüfus hareketliliğine paralel olarak artan sanayi ve teknolojik gelişmeler, beraberinde su kirlenmesi ve toprak kirlenmesini de meydana getirmektedir. Su kirliliği ve toprak kirliliği tüm dünya genelinde büyük

* Sorumlu yazar: sukruhayta@hotmail.com

Geliş Tarihi: 27.02.2019 , Kabul Tarihi: 26.04.2019

çevre problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kirlilik; “herhangi bir şeyin bulunmaması gereken alanda normalden fazla bulunması” şeklinde tanımlanabilir [1]. Antropojenik faktörler arasında yer alan fosil yakıtların yakılması, madencilik, rafineri atıkları, endüstriyel ve evsel atıklar, ulaşım ve tarım faaliyetleri kirlenmenin ana etkenlerini oluşturmaktadır [2-3]. İnsan kaynaklı etkenler sonucu su kütlelerinde; ötrofikasyon, asidifikasyon, alüvyon birikmesi ve ağır metal kirliliği gibi farklı şekillerde kirlilikler ortaya çıkabilmektedir [4].

Canlı organizmalar için hayati bir önem taşıyan suyun yeryüzündeki miktarının tatlı su olarak kullanılabilir oranı yaklaşık % 0,3 lük kısmıdır. Bu su rezervi ise yaklaşık 250 ülke tarafından paylaşılmaktadır [5]. Kullanılabilir su kaynaklarının kısıtlılığına rağmen hızlı nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlere paralel olarak suya olan ihtiyaç her geçen gün artarken, hava ve toprakla iç içe olan su ekosistemleri doğal ve antropojenik kaynaklardan (evsel, endüstriyel, madencilik ve tarımsal aktiviteler gibi) çevreye salıverilen ağır metaller ile sürekli kirlenmektedir. Ağır metallerin yayılım hızı, doğal proseslerle uzaklaştırılandan daha fazladır. Bu sebeple, ağır metallerin çevrede birikimi sürekli artmaktadır [6]. Ağır metaller, organik kirleticilerin aksine biyolojik yollarla konsantrasyon ya da toksisitesini azaltan parçalanma işlemine uğramadıkları için toprak, su, dip sediment ve canlı organizmalarda birikirler. Bunlar besin zinciri yoluyla bir organizmadan başka bir organizmanın yapısına geçmekte ve insana kadar ulaşabilmektedir. Besin zinciriyle girdikleri canlı yapılardan atılmadıkları için canlıların bünyesinde birikir ve etkili dozlara ulaştıklarında toksik etki yaparlar [7-10]. En önemli sorun ağır metallerin besin zincirine girme ve kullanma suyuna karışma olasılığıdır. Dünyadaki en önemli çevresel problemlerden biri de sudaki ağır metal kirliliğidir [6].

Kirliliği oluşturan maddelerin bir başka sınıflandırılması organik ve inorganik kirleticiler olarak da yapılmaktadır. Ağır metaller ve iz elementler, inorganik kirleticilerin başında gelmektedir. EPA’ nın 1993 yılı öncelikli kirleticiler listesinde 129 kirleticisi vardır. Bunlardan 13 tanesi metal, diğerleri organik bileşikler, pestisitler, poliklorobifeniller ve birkaç metal olmayan inorganik bileşiklerdir. Bu metaller; Kadmiyum, Kurşun, Antimon, Arsenik, Berilyum, Krom, Bakır, Civa, Nikel, Selenyum, Gümüş, Talyum ve Çinkodur. Bu metaller dünyanın birçok yerinde çevre koruma örgütleri tarafından öncelikli kirleticiler listesine alınmışlardır [11].

Ağır metaller çevrede doğal olarak iz düzeyinde, cansız alemde, kayaçlar ile toprak ve suda, canlı alemde ise bitki ve hayvanlarda bulunmaktadır. Su kütlelerindeki ağır metal zenginleşmesine kayaların aşınması, volkanik hareketler gibi doğal fiziksel ve kimyasal süreçler sebep olmakla birlikte sistemdeki artışların en önemli kısmını insan kaynaklı faaliyetler oluşturur [12].

Özellikle endüstriyel faaliyetler sonucu (enerji ve yakıt üretimi, madencilik, aşırı pestisit, gübre kullanımı vb.) çevreye yayılan ağır metal miktarı oldukça fazladır [13-14]. Toprakta 1 ila 100.000 mg kg⁻¹ aralığında metal konsantrasyonu değişim göstermektedir. Topraktaki ağır metal birikiminin yüksek seviyelere ulaşması tarım alanlarında ürün verimi ve kalitesini, toprak kalitesinin bozulmasını tetiklemektedir [15]. Bu sonuçlar ile beraber insan ve diğer canlı organizmaların yaşam alanları ve hayatları önemli ölçüde tehlike altına girmektedir [16].

Birçok literatürde de konu edildiği gibi ağır metaller kullanılarak kirlenmiş bölgelerin temizlenmesinde kullanılan klasik yöntemler oldukça masraflıdır [17-18]. Dolayısıyla, günümüzde kullanılan remediasyon teknikleri yerine az maliyetli ve çevre dostu olan fitoremediasyon tekniği üzerinde çalışmalar artırılmıştır [19-20].

Bu teknik sahip olduğu özellikler ve potansiyel olarak klasik remediasyon teknikleri ile karşılaştırıldıklarında, ekonomik olarak daha avantajlı olup; her türden kirleticiler için uygulanabilir [21-23]. Fitoremediasyon işleminde, bitkilerin ne çeşit ve hangi konsantrasyonda ağır metal akümüle ettiğinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ağır metalleri absorblama, akümüle etme ve tolere etme yetenekleri her bitki türüne göre farklılık göstermekle birlikte, bitkilerde ağır metal alımında, toprak pH değerinin bilinmesi de oldukça önemlidir [24]. Su ve sediment örneklerinin incelenmesi tek başına, sucul ortamlardaki kirleticilerin ve kirlenme miktarının belirlenmesinde yeterli değildir. Alandaki sucul bitkilerin de deneylerde kullanılması sonuçların güvenilirliği bakımından önemlidir [25]. Dolayısıyla bu çalışmaya konu olan Ahlat Sazlıklarında, belirlenen noktalarda sediment örneği yanında bölgedeki biyomonitör bitkilerinden; *Phragmites australis* (kamuş), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve *Lythrum salicaria* (Hevhulma) bitkileri de materyal olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, Ahlat Sazlıklarında bulunan *Phragmites australis* (kamuş), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve *Lythrum salicaria* (Hevhulma) bitki türlerinin ve bu bitkileri çevreleyen sedimentlerde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılacak *Phragmites australis* (kamuş), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve

Lythrum salicaria (Hevhulma) bitkileri üzerinde: Ca, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cd metallerini tolere edebilme kapasitelerine bakılarak bu bitkilerin metalleri akümüle etme seviyeleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırma ve Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Ahlat Sazlığı ulusal öneme haiz sulak alandır. Bitlis İli Ahlat İlçesi'nin güneybatısında bulunan Ahlat Sazlıkları, Van Gölü'nün kuzeybatı sınırında yer almakta olup Bitlis, Van, Ahlat ve Tatvan yerleşim merkezlerine sırası ile 59 km, 180 km, 6 km ve 37 km uzaklıktadır. Sulak alan, Bitlis-Ahlat karayolu kıyısında bulunmaktadır. Karayolu sazlığın bir kısmını ikiye ayırmaktadır. Alan Van Gölünün kıyısında yer almakta ve sazlıktan akan tatlısu göle karışmaktadır. Alana Erciş-Ahlat ve Patnos-Ahlat karayolu güzergahından da varılabilmektedir (Şekil 1, Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma Alanı (Ahlat Sazlıkları)



Şekil 2. Çalışma Alanı (Ahlat Sazlıkları)

2.2. Kullanılan Bitkiler

Çalışma alanı olarak Bitlis İlinin sulak alanı kabul edilen Ahlat Sazlıkları seçilmiştir. Ahlat Sazlıkları'nda yetişen *Phragmites australis* (kamış), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve *Lythrum salicaria* (Hevhulma) bitkileri ve bu bitkileri çevreleyen sedimentlerde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerinde durulmuş ve bu bitkilerin hiperakümülatör seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2.2.1. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (Kamış)

Phragmites australis Poaceae familyasına ait bir türdür. *Phragmites australis*; 2–4 m boyunda dik, bazen de 6 m. ye kadar uzayabilen, genellikle de stolonlu, creeping rizomlara sahip çok yıllık bir bitkidir (Şekil 3). Akarsular ve bataklıklarda, göllerde, göletlerde, hendeklerde ve ıslak arazilerde yetişir. Stolonlu rizomlar 10 m veya daha fazla uzunluğa ulaşabileceğinden, kökünü sökmek veya yok etmek oldukça zordur. Yapraklar gövdeye bitişik ince bir saçak ile yaprak tabanındaki belirgin kanat benzeri uzantıları taşıyan düzgün bir kılıfla gövdeye tutunmuştur. Çiçekler çok büyüktür; 20-60 cm uzunluğunda çok dallı çiçeklenme gösterir ve genellikle mor renklidir. *P. australis*' in çiçeklenme dönemi Temmuz ve Ekim aylarındadır [26].

Ekonomik önemi olan bir türdür. Halk tarafından beyaz kamış, kamış otu ve süpürge kamışı olarak bilinir. Atlar ve sığırlar için iyi bir besin kaynağıdır. Anadolu'da damları örtmek için kullanılır. Rizomları yenilebilir, yaprakları sebze olarak kullanılır. Süslemecilikte, sepet ve sandal yapımında değerlendirilir. %50 oranında selüloz içerir ve 0.8–3.0 mm uzunluğunda, 5.0–30.5 um kalınlığında fibrillere sahiptir.



Şekil 3. *Phragmites australis* (Kamış)

2.2.2. *Typha angustifolia* L. (Hasır Otu)

Typha angustifolia Typhaceae familyasına ait bir türdür. *Typha angustifolia*, yüksekliği 3 veya daha fazla metre uzayabilen, dik, uzun ömürlü tatlı su kenarlarında yaşayan sucul bir bitkidir (Şekil 4). Hava kanalları bulunan süngersi bir kesite sahip, şerit benzeri lineer kuyruklu yapraklara sahiptirler. Yeraltı sapı kalın olan rizomları bulunur [27]. *Typha angustifolia* sulak alanlarda, saz çayırlarında, yavaş hareket eden akarsularda, nehir kıyılarında ve göl kıyılarında bulunabilir. Tesis, yol kenarı hendekleri, rezervuarlar ve diğer bozulmuş ıslak toprak alanları gibi su seviyeleri geniş dalgalanma gösteren alanlarda bulunur. *T. angustifolia*'nın çiçeklenme dönemi Mayıs sonu ve Haziran aylarıdır. Bazen iklim ve çöplerden etkilenen toprak ve su sıcaklıklarına bağlı olarak Temmuz ayının sonunda da gerçekleşebilir. Meyveler Ağustos ve Eylül aylarında olgunlaşır [28]. *Typha angustifolia* kolonileri genellikle vejetatif üreme ile korunur. Çok yıllık bir kök stoğu, ümeden sorumlu ana organdır [29].

Bitki dokuları, bazı metallerin nispeten yüksek konsantrasyonlarını depolayabilir. *Typha angustifolia*'nın bir iç bakır ve nikel tolerans mekanizması var gibi görünüyor. Ağır metal toleransı için evrimsel bir seçim olması muhtemel değildir, fakat bu olayın daha çok türlerin doğasında olduğunu söylemek daha doğru olur [30].



Şekil 4. *Typha angustifolia* (Hasır Otu)

2.2.3. *Lythrum salicaria* L. (Hevhulma)

Lythrum salicaria (hevhulma), yazın mor renkli çiçekler açan ve 2 metreye kadar uzayabilen çok yıllık otsu bir bitkidir (Şekil 5). Islak ya da nemli toprağı ve güneşli ya da yarı gölgeli bölgeleri tercih eder. Dona dayanıklıdır (-25 °C'ye kadar). Dere kıyısı ve sulak alanlarda görülür. Killi, kumlu ve tınlı topraklara uyumludur. Stemler kırmızı mor arasındadır. Yapraklar lanseolat, tüylü ve sapsızdır. Çiçekler morumsu kırmızı, altı petalli, on iki stamenlidir. Aynı zamanda çiçekleri hermafrodittir. Üç farklı çiçek tipi ile tozlaşabilir. Haziran, temmuz, ağustos aylarında çiçek açar. Tohumları olgunlaştığında yapraklar parlak kırmızıya döner. Birçok farklı yaprak türü vardır, bu yüzden sayısız alttür ve varyete tespiti yapılmıştır. İçeriğinde glikozit, flavon, uçucu yağ ve sarı madde içerir.



Şekil 5. *Lythrum salicaria* (Hevhulma)

2.3. Ağır Metal Analizi

Çalışma alanı olarak seçilen Bitlis İlinin sulak alanı kabul edilen Ahlat Sazlıklarının florasında yer alan ve bu çalışmaya konu olan üç bitki türü çiçeklenme döneminde doğal yaşam alanlarından toplanmıştır. Aynı zamanda bu bitkileri çevreleyen sedimentler ve toprak numuneleri de uygun bir şekilde araziden alınmıştır. Bu numuneler *Phragmites australis* (Phrag1), *Typha angustifolia* (Typh1), ayrıca yine bu bölgede yoğun olarak tespit ettiğim *Lythrum salicaria* (Lh1), 1. İstasyondaki toprak örneği (T1), 2. İstasyondaki toprak örneğidir (T2). Bu numunelere ait koordinatlar (Şekil 6)' da harita üzerinde gösterilmiştir. Toplanan bu türler teşhis edilmek amacıyla Çevre Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiştir. Flora of Turkey adlı eser ve Botanik kılavuzu yardımıyla bu türlerin teşhisi yapılmıştır. Teşhisleri yapılan bu türlerin yaprak, gövde, çiçek, kök gibi kısımları ön işlem yapmak üzere ayrılmıştır. Buradaki amacımız bitkinin sahip olduğu toprak altı ve toprak üstü organlarında birikim gösteren ağır metal içeriklerinin ayrı ayrı tespit edilmesi ve bu organlar arasında karşılaştırılma yapılabilmesidir. Yaprak, gövde, çiçek, kök gibi kısımlarına ayrılan bu bitkiler öncelikle laboratuvardaki çeşme suyuyla yıkanmıştır. Daha sonra ELGA PURELAB-Q DV25 marka saf su cihazından geçirilen bu parçalar geçirilen bu parçalar kurutulmak üzere ayrı ayrı filtre kağıtları üzerine serilmiştir. Kurutulduktan sonra MST55 marka Etüv cihazında her bir bitki parçası filtre kağıtlarına sarılı bir biçimde 50 °C' de 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda bu bitki numuneleri ayrı ayrı ağzı kapalı poşetlere konulup dolaplara kaldırılmıştır. Ayrıca bu türlerin toplandığı alanda birbirinden farklı görülen 2 alandan toprak numuneleri alınmıştır. Yine bu toprak numuneleri ön işlem yapmak üzere Çevre Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiştir. Uygun bir yerde bu toprak numuneleri filtre kağıtlar üzerine serilerek iki hafta boyunca havalandırılmıştır. Toprak numuneleri ön işlem ve analizleri yapmak üzere plastik ağzı kapalı poşetlere alınmış ve dolaplara konulmuştur. Numuneler ilk olarak mikrodalga cihazında yakma işlemine tabi tutulmuş, 0,5 gr numune alınarak üzerine 6 mL % 65 lik HNO₃ ve 2 mL %30 luk H₂O₂ eklenmiştir. Yakılan numuneler ICP-MS cihazında okuma yapılabilmesi için 50 kat %2 lik HNO₃ ile seyreltilmiştir (200 uM numune+ 9800 uM %2 lik HNO₃). ICP-MS cihazında yapılan okumada mikrodalgadaki seyreltmede kullanılan peroksit ve nitrik asit te ayrıca blank olarak yakma işlemine tabi tutulup special blank olarak okutulmuş ve bu değer ICP okumasında sonuçlardan düşülerek hesaplama yapılmıştır. Yapılan 50 katlık seyreltmelerde ICP cihazında hesaplanarak sonuçlar excel dosyasına aktarılmıştır.



Şekil 6. Araziden alınan örneklerin harita konumu üzerinde istasyonlarının gösterilmesi

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda Ahlat Sazlıkları çevresinde en fazla yayılış gösteren ve sulak alan bitkileri olan 3 tür *Phragmites australis* (kamış), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve *Lythrum salicaria* (Hevhulma) ile bunları çevreleyen toprak örnekleri, ICP*MS cihazı kullanılarak Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonları belirlendi (Tablo 1, Tablo 2). Ayrıca bu bitkilerin hangi ağır metalleri biriktirebilme yetenekleri olduğu tespit edilmeye çalışıldı.

Lythrum salicaria bitkisinin kökünde ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>Cu>Ni>Cd, gövdede Ca>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu>Pb>Ni>Cd>Cr, yaprakta Ca>Mg>Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Cd ve çiçekte Ca>Mg>Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Pb>Cd tespit edildi. Cr bu bitkinin kök, yaprak ve çiçek, Pb ise kök ve yaprakta yaptığımız analizler sonucunda tespit edilemedi. *Typha angustifolia* bitkisinin kökünde ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Mg>Fe>Zn>Mn>Ca>Cr>Cu>Ni>Cd>Pb, gövdede Mg>Fe>Mn>Ca>Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>Cd, ve yaprakta Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>Cu>Ni>Cd>Pb tespit edildi. Cr bu bitkinin yaprak kısmında yaptığımız analizler sonucunda tespit edilemedi.

Phragmites australis bitkisinin kökünde ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu>Cr>Ni>Cd>Pb, gövdede Mg>Ca>Mn>Zn>Fe>Cu>Ni>Cd>Pb, ve yaprakta Mg>Fe>Ca>Zn>Mn>Cu>Pb>Cd tespit edildi. Cr bu bitkinin gövde ve yaprağında, Ni ise yaprakta yaptığımız analizler sonucunda tespit edilemedi.

Cd, topraklarda oldukça hareketlidir ve alım mekanizmaları iyi bilinmemekle birlikte bitkiler için kolaylıkla kullanılabilir [31]. Chaney (1989) [32], tarafından bildirilen Cd nin fitotoksik aralığı (5-700 mg kg⁻¹) değerleri arasında değişkenlik gösterir. Buna karşılık Allen (1989) [33], kirlenmemiş ortamlarda bitkilerdeki Cd içeriğinin 0,01-0,3 mg kg⁻¹ olduğunu savunmaktadır. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cd sınır değeri 0,5 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre, bitkilerde bulunmasına izin verilebilen Cr konsantrasyonu 0,05 – 0,5 mg kg⁻¹, sedimentlerde ise sınır değerler 10 – 200 mg kg⁻¹'dir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cr sınır değeri 0.5 mg kg⁻¹'dir. *Typha angustifolia* bitkisinin kök (1,732 mg kg⁻¹) ve gövde (2,923 mg kg⁻¹) kısmındaki Cr miktarı sınır değerlerinin üzerinde analiz edilmiştir. Allen (1989)'e [33] göre, sediment ve bitki örneklerinde bulunması gereken Cu konsantrasyonu 2,5 – 25 mg kg⁻¹'dir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cu sınır değeri 5 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre Mn aralığı 50-500 mg kg⁻¹ bitkiler için toksik olarak kabul edilir, sedimentlerde ise 5 – 500 mg kg⁻¹'dir. Allen'e (1989) [33] göre, bitkilerde bulunması gereken Ni konsantrasyonu 0,5 – 5 mg kg⁻¹, sediment örneklerinde ise 5 – 500 mg kg⁻¹ 'dır [25].

FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Ni sınır değeri 5 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre, sucul ortam sedimentlerinde kurşun konsantrasyonunun normal değerleri 2 – 20 mg kg⁻¹, bitkilerde ise 0,05-3 mg kg⁻¹ dir [25]. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Pb sınır değeri 2 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre, bitkilerde Zn için normal konsantrasyon 10-100 mg kg⁻¹, sedimentte ise 1-40 mg kg⁻¹ aralığındadır [25,34]. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Zn sınır değeri 50 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre, sedimentlerde bulunması gereken Fe konsantrasyonu 50-1000 mg kg⁻¹, kirlenmemiş ortamlardaki bitkiler için ise 40-500 mg kg⁻¹'dir [25]. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Fe sınır değeri 30 mg kg⁻¹'dir.

Kirlenmiş ve kirlenmemiş ortamlarda yetişen *Phragmites australis* ve *Typha angustifolia* ile ilgili yapılan çalışmalarda bu bitkinin metal kirliliğine toleranslı olduğu tespit edilmiş; farklılık sadece iklimsel ve diğer ekolojik faktörlerden kaynaklandığı belirtilmiştir [35-36]. Sawidis vd. (1995) [37] göre *P. australis*' in kökleri ve rizomları, korteks parankima hücrelerinin hücreler arası geniş hava boşluklarına sahip olduğundan dolayı çok miktarda ağır metal biriktirebilir. *P. australis*, metal içeren kentsel ve endüstriyel atık suların arıtılması için inşa edilmiş sulak alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır [38-40]. Nicholls ve Mal (2003) [41], Pb ve Cu kombinasyonlarının yüksek (1000 mg kg⁻¹) ve düşük konsantrasyonlarında (500 mg kg⁻¹), *Lythrum salicaria* bitkisinin yaprak ve gövdesinin hızlı bir şekilde öldüğünü göstermişlerdir.

Bitki türlerinin yayılış gösterdiği 2 farklı istasyondan alınan toprak örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde [42] verilen topraktaki ağır metal sınır değerlerinin altında tespit edildi (Tablo 3). Yalnızca 1 nolu istasyondaki Fe miktarı bu sınır değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir. Toprakta ekstrakte edilebilir Fe miktarı 0,2 mg/kg'ın altında ise az, 0,2- 4,5 mg/kg arasında orta ve 4,5 mg/kg'dan fazla ise genellikle yüksek ve toksik olarak değerlendirilmektedir

[43]. Elde ettiğimiz analiz sonuçlarına bakıldığında toprakta tespit edilen Fe miktarı 1. istasyonda oldukça yüksek olduğundan toksik etki gösterebilir.

Tablo 1. Çalışma alanındaki *Lythrum salicaria*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis* bitkilerinin organlarındaki ağır metal değerleri

TÜRLER	ORGANLAR	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
<i>Lythrum salicaria</i>	Kök	82,79	Tespit edilemedi	11,5	9,527	0,02945	0,2494	0,5726	0,003766	Tespit edilemedi	30,090
	Gövde	169,7	0,04479	4,113	28,11	0,1632	0,7524	5,391	0,06151	0,3737	177,500
	Yaprak	119	Tespit edilemedi	3,664	13,74	0,07968	0,4039	1,098	0,000942	Tespit edilemedi	124,000
	Çiçek	282,1	Tespit edilemedi	7,479	36,44	0,2097	0,3008	3,424	0,002511	0,03452	455,200
<i>Typha angustifolia</i>	Kök	177,6	1,732	5,455	15,01	0,7658	1,426	9,544	0,02197	0,002055	2,1
	Gövde	216,7	2,923	110,3	126,5	0,8856	0,2035	2,202	0,008474	0,05249	51,840
	Yaprak	330,9	Tespit edilemedi	56,97	25,21	0,06188	0,2651	1,5	0,04687	0,007628	251,300
<i>Phragmites australis</i>	Kök	133,6	0,07428	2,669	8,475	0,04005	0,8058	3,589	0,03578	0,008429	108,700
	Gövde	180	Tespit edilemedi	7,382	6,835	0,02098	0,7796	7,262	0,01883	0,01223	122,500
	Yaprak	79,72	Tespit edilemedi	2,43	13,51	Tespit edilemedi	0,5462	11,47	0,003138	0,01532	11,62

Tablo 2. Ahlat Sazlıklarında 1. ve 2. istasyonlara ait topraklar numunelerinin ağır metal içerikleri (ppm)

TÜRLER	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
Toprak (T1) Ahlat	376,4	Tespit edilemedi	3,261	31,91	0,1435	0,9833	6,929	0,008474	0,02374	369,000
Toprak (T2) Ahlat	495,9	1,335	64,74	1,292	1,538	0,6905	4,847	0,03787	0,7317	96,040

Tablo 3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (mg/kg) (Anonim 2005)

Ağır Metal	pH 5-6 (mg/kg kuru toprak)	pH>6 (mg/kg kuru toprak)
Pb	50	300
Cd	1	3
Ni	30	75
Cr	100	100
Co	80	80
Cu	50	140
Fe	4,5	4,5
Zn	150	300
Mn	70	70

4. Sonuç ve Öneriler

P. australis'in kökleri ve rizomları, korteks parankima hücrelerinin hücreler arası geniş hava boşluklarına sahip olduğundan dolayı çok miktarda ağır metal biriktirebilir. Dolayısıyla bu bitki özellikle ağır metal içeren kentsel ve endüstriyel atık suların arıtılmasında tercih edilebilir. Çalışmada kullanılan bu üç bitki biyo-denetleyici olarak kullanılabilir ve ağır metallerden dolayı ortam koşullarındaki değişikliklerin saptanmasında yararlı olabilirler. Bu nedenle, biyo-izleme programları için su ve sediment ile ilgili çevre kalitesinin nicel değerlendirmesini sağlamada yardımcı olabilirler. Araştırmamız sonucunda çalışma alanından toplanan bu 3 bitki türünün dokularında biriktirdiği Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca elementlerinin yoğunluklarının toksisiteye neden olacak seviyelere ulaşmadığı görülmüştür. Ancak incelediğimiz bitki türleri arasında Cr ağır metali bakımından hiperakümülyasyon özelliği diğerlerine göre en yüksek olan tür *Typha angustifolia* bitkisidir. Ayrıca bu bitki türü FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cr sınır değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla *Typha angustifolia* bitkisi Cr bakımından kirlenmiş toprakların temizlenmesinde denenebilir.

Teşekkür

Bu çalışma 2017/13 nolu proje kapsamında Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğüne (BEBAP) tarafından desteklenmiş olup ikinci yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Philips D.H., Rainbow P.S. 1994. Biomonitoring of trace aquatic contaminants. Fenviron, 87, London.
- [2] Bergman H.L., Kimerle R.A., Maki A.W. 1986. Environmental hazard assesment of effluents. Pergamon Press. New York.
- [3] Chen Y.C., Chen M.H. 2001. Heavy metal concentrations in nine species of fishes caught in coastal waters of Ann-Ping. S.W. Taiwan. Journal of Food and Drug Anal., 9 (2): 107-114.
- [4] Henderson-Sellers B., Markland H.R. 1987. "Decaying lakes," The origins and control of cultural eutrophication, John Wiley and Sons Publication. New Jersey. [5]
- [6] Kocataş A. 1996. Ekoloji ve Çevre Biyolojisi, Ege Üniv. Su Ürünleri Fak. Yayınları No: 51, Ege Üniv. Basımevi. İzmir.
- [7] Rai U.N., Tripathi R.D., Vajpayee P., Vidyanath J., Ali M.B. 2002. Bioaccumulation of toxic metals (Cr, Cd, Pb and Cu) by seeds of *Euryale ferox* Salisb (Makhana). Chemosphere, 46: 267–272.
- [8] Rainbow P.S. 1995. Biomonitoring of Heavy Metal Availability in the Marine Environment. Mar Poll Bull., 31: 183-192.
- [9] Serfor-Armah Y., Nyarko B.J.B., Osae E.K., Carboo D., Seku F. 2001. Rhodophyta Seaweed Species as Bioindicators for Monitoring Toxic Element Pollutants in the Marine Ecosystem of Ghana. Wat, Air, and Soil Poll., 127: 243-253.
- [10] Taylan Z.S., Özkoç H.B. 2007. Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların bio kullanılabilirliği. BAÜ FBE Dergisi, 9 (2): 17-33.
- [11] Farooq M., Anwar F., Rashid U. 2008. Appraisal of Heavy Metal Contents in Different Vegetables Grown in the Vicinity of an Industrial Area. Pak. J. Bot., 40 (5): 2099-2106.
- [12] Novotny V, 1995. Diffuse Source of Pollution by Toxic Metals and Impact on Waters, Heavy Metals Problems and Solutions, Salamons, W., Förstner, U and Mader, P. (Eds.). Springer Verlag., 412-413. [13]
- [14] Akbıyık F. 2012. Felent Çayı'nda mikro ve makro elementlerin biyotik ve abiyotik öğelerde birikimlerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [15] Halim M., Conte P., Piccolo A. 2003. Potential Availability of Heavy Metals to Phytoextraction from Contaminated Soils I by Exogenous Humic Substances. Chemosphere, 52: 265.
- [16] Samarghandi M.R., Nouri J., Mesdaghinia A.R., Mahvi A.H., Nasser S., Vaezi F. 2007. Efficiency Removal of Phenol, Lead and Cadmium by Means of UV/TiO₂/H₂O₂ Processes. Int J of Environ Sci and Tech., 4: 19-25.
- [17] Long X.X., Yang X.E., Ni W.Z. 2002. Current Status and Perspective on Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils. J of App Eco., 13: 757-762.
- [18] Blaylock M.J., Huang J.W. 2000. Phytoextraction of Metals. In: Raskin, I. ve Ensley, B.D. (eds.), Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-up the Environment. Wiley. New York.
- [19] Salt D.E., Blaylock M., Kumar P.B.A., Dushenkov V., Ensley B.D., Chet I., Raskin I. 1995. Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals From the Environment Using Plants. Bio/Tech., 13: 468-474.
- [20] Glass D.J. 2000. The 2000 Phytoremediation Industry. Glass Associates, Needham, MA.
- [21] Arshad M., Silvestre J., Pinelli E., Kallerhoff J., Kaemmerer M., Tarigo A. 2008. A Field Study of Lead Phytoextraction by Various Scented Pelargonium Cultivars. Chemosphere, 71: 2187-2192.
- [22] Shi W. Y., Shao H.B., Li H., Shao M.A., Du S. 2009. Co-Remediation of the Lead Polluted Garden Soil by Exogenous Natural Zeolite and Humic Acids. J of Hazard Mat., 167: 136-140.
- [23] Salt D.E., Smith R.D., Raskin I. 1998. Phytoremediation. Annual Review. P Phys and Plant Mol Bio., 49: 643 – 668.
- [24] Lasat M.M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Mechanisms. J of Environ Qua., 31: 109 – 120.
- [25] Glick B.R. 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotech Advan., 21: 383 – 393.

- [26] Lehoczky É., Németh T., Kiss Z., Szalai T. 2002. Heavy metal uptake by ryegrass, lettuce and white mustard plants on different soils. 7th WCSS, August 14– 21, Thailand.
- [27] Demirezen D. 2002. Sultan Sazlığı ve Çevresindeki Sucul Ekosistemlerde Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [28] Davis P.H. 1965. Flora of Turkey and the East Aegean Islands vol. 1-9. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- [29] Motivans K., Apfelbaum S. 1987. Element stewardship abstract for *Typha* spp., North American cattails. The Nature Conservancy.
- [30] Keddy, P.A., Ellis T.H. 1985. Seedling recruitment of 11 wetland plant species along a water level gradient: shared or distinct responses? Can. J. Bot 63:1876-1879.
- [31] Apfelbaum S.I. 1985. Cattail (*Typha* spp.) management. Natural Areas Journ. 5 (3): 9-17.
- [32] Demirezen D., Aksoy A. 2004. Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). Chemosphere, 56: 685-696.
- [33] Madejón P., Marañón T., Murillo J.M., Robinson B. 2004. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests. Environ. Pollut., 132: 145–155.
- [34] Chaney R.L. 1989. Toxic element accumulation in soils and crops: protecting soil fertility and agricultural food chains. In: Bar-Yosef B, Barrow N.J, Goldshmid J. (Eds.), Inorganic Contaminants in the Vadose Zone. Springer-Verlag, Berlin, 140–158.
- [35] Allen S.E. 1989. Analysis of Ecological Materials. 2nd. ed., Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- [36] Duman F. 2001. Sarımsaklı - Karasu’da yetişen *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex.steud ve *Typha angustifolia* L. Bitkileri ve Bunları Çevreleyen Sedimentlerde Ağır Metal Tayini, Y. Lisans Tezi, E. Ü. Fen Bil. Enst., Kayseri.
- [37] McKee J., Richards A.J. 1996. Variation in seed production and germinability in common reed (*Phragmites australis*) in Britain and France with respect to climate, New Phytologist, 155, 233-243.
- [38] McNaughton S.J., Folsom, T. C., Lee T., Park F., Price C., Roeder D., Schmitz J., Stockwell C. 1974. Heavy metal tolerance in *Typha latifolia* without the evolution of tolerant races, Ecology, 55: 1163-1165.
- [39] Sawidis T., Chettri M. K., Zachariadis G. A., Stratis J. A. 1995. Heavy metals in aquatic plant and sediments from water system in Macedonia , Greece , Ecotoxicol. Environ. Safety, 32: 73-80.
- [40] Bragato C., Brix H., Malagoli M. 2006. Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed. Environ. Pollut., 144: 967–975.
- [41] Lesage E., Rousseau D.P.L., Meers E., Tack F.M.G., De-Pauw N. 2007. Accumulation of metals in a horizontal subsurface flow constructed wetland treating domestic wastewater in Flanders, Belgium. Sci. Total Environ., 380: 102–115.
- [42] Vymazal J., Svehla J., Kröpfelová L., Chrástný V. 2007. Trace metals in *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* growing in constructed and natural wetlands. Sci. Tot Env., 380: 154–162.
- [43] Nicholls A.M., Mal T.K. 2003. Effects of lead and copper exposure on growth of an invasive weed, *Lythrum salicaria* L. (Purple Loosestrife). Ohio Journal of Science, 103: 129–133
- [44] Anonim 2005. Resmi Gazete. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. 31/05/2005 tarihli, 25831 sayılı.
- [45] Lindsay W.L., Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421- 428.

Araştırma Makalesi / Research Article

Poli (p-Tolil Metil Metakrilat)'ın Sentezi, Karakterizasyonu ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa Hamdi KARAGÖZ^{1*}, Şinasi SEVEN²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Kimya Bölümü, Van

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van
(ORCID: 0000-0002-6830-7725) (ORCID: 0000-0003-2200-9113)

Öz

Bu çalışmada ilk kez sentezlenen poli (p-tolil metil metakrilat) (PTMMA) polimerinin sentezi ve karakterizasyonu üzerinde çalışıldı. Bu amaçla sodyum metakrilatın p-tolil klorürle reaksiyonundan p-tolil metil metakrilat monomeri sentezlendi. Monomer, başlatıcı olarak benzoil peroksit kullanılarak 60 °C'de serbest radikallik yolla polimerleştirildi. Elde edilen monomer ve polimerin yapısı IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR teknikleriyle aydınlatıldı. Polimerin camı geçiş sıcaklığı 65 °C, çözünürlük parametresi 8.69 (cal cm⁻³)^{1/2}, GPC tekniği ile heterojenlik indisi 3.17 olarak bulundu. Bozunma sıcaklığı 205 °C ve yoğunluğu 1.12 gr cm⁻³ olarak belirlendi.

Anahtar kelimeler: Karakterizasyon, p-tolil metil metakrilat, sentez.

Synthesis, Characterization of (p-Tolyl Methyl Methacrylate) Polymer and Investigation of Thermal Properties

Abstract

In this study, synthesis and characterization of poly (p-tolyl methyl methacrylate) (PTMMA) polymer synthesized for the first time was studied. For this purpose, p-tolyl methyl methacrylate monomer was synthesized from the reaction of sodium methacrylate with p-tolyl chloride. The monomer was polymerized with free radical at 60 °C using benzoyl peroxide as the initiator. The structure of the resulting monomer and polymer was elucidated by IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR techniques. The glass transition temperature was 65 °C, the solubility parameter was 8.69 (cal cm⁻³)^{1/2}, the heterogeneity index was found to be 3.17 with GPC technique. The decomposition temperature was 205 °C and the density was determined as 1.12 gr cm⁻³.

Keywords: Characterization, p-tolyl methyl methacrylate, synthesis.

1. Giriş

Poli (metil metakrilat)(PMMA) yüksek ışık geçirgenliğine sahip olmasıyla bilinir. UV'ye ve hava koşullarına dayanımıyla uzun bir hizmet ömrüne sahiptir. Ayrıca yüzey sertliği en yüksek olan polimerdir. Bir termoplastik olması, üretiminde geniş seçenekler sunar. Çevre kirliliği konusunda artık uluslararası bir duyarlılığın paylaşıldığı günümüzde onu çekici kılan özelliklerinden biri de %100 geri dönüştürülebilir olmasıdır. Pleksiglas olarak bilinen poli (metil metakrilat) PMMA'nın sınırlı kullanım alanları, kopolimerleri ve modifikasyonu ile genişlemektedir. Kopolimerleri kontrollü ilaç salınımlarında kullanılan PMMA son zamanlarda C-ROM, D-ROM ve kontakt lens yapımında da kullanılmaktadır. PMMA'nın hem termal hem de termal olarak oksidatif dekompozisyonlarının sıcaklıklarına bakıldığında, polimer 200 °C'nin altındaki bir sıcaklıkta zorlukla ayrışabilir. Bu, polimerin üstün özelliklerinden ikisi olarak çok iyi bir termal stabilite ve hava koşullarına dayanıklılığının temel nedenidir [1]. Poli (metil metakrilat) (PMMA) ve PMMA türevleri gibi sentetik polimerlere dayalı mikroküreler, tıbbi uygulamalarda, özellikle sert doku onarımı ve yenilenmesi için

*Sorumlu yazar: mhkaragoz@yahoo.com.tr

Geliş Tarihi: 05.03.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

kullanılır[2]. PMMA yapay diş ve protez kaidesi yapımında da kullanılmaktadır. Bu amaçla polimerin ısı ve mekanik özellikleri mikrodalga ve geleneksel ısı yöntemleri ile incelenmiştir[3].

Kullanım alanlarına katkıda bulunmak amacıyla metil metakrilat monomerine yan grup eklenerek polimerde meydana gelen fiziksel değişiklikler gözlenmiştir. Polimerler için en önemli kriterlerden olan camsı geçiş sıcaklığının belirgin bir şekilde düştüğü ve polimerin bozunma sıcaklığının 205 °C olarak gerçekleştiği gözlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Merck firmasından temin edilen metakrilik asit, p-tolil metil klorür, asetonitril, benzoil peroksit, dietil eter, etil alkol, toluen, n-hekzan kromatografik saflıkta olup, herhangi bir saflaştırma işlemine tabi tutulmamıştır. Metalik sodyum Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya bölümü laboratuvarından alındı. Fırat Üniversitesi'nde bulunan, Mattson 1000 FTIR spektroskopisi, Shimadzu marka DTA 50, Shimadzu marka TGA 50, Shimadzu marka DSC 50, bruker 300 mhz NMR ve Agilent 1100 series GPC cihazları kullanılmıştır. Polimerin çözünürlük parametresinin alt ve üst değerleri bulunurken Eşitlik 1.'den yararlanıldı [4][5].

$$\delta_{Karişım} = \frac{\delta_1 X_1 V_1 + \delta_2 X_2 V_2}{X_1 V_1 + X_2 V_2} \quad (1)$$

Burada;

$\delta_{Karişım}$: Karışım çözünürlük parametresi

δ_1 : Çözücünün çözünürlük parametresi

δ_2 : Çöktürücünün çözünürlük parametresi

V_1, V_2 : Çözücü ve çöktürücünün molar hacimleri

X_1, X_2 : Çözücü ve çöktürücünün mol kesirleri

Titrasyon yöntemiyle polimerin çözünürlük parametresi Eşitlik 2. ve Eşitlik 3. yardımıyla hesaplandı [6].

$$\delta_{polimer} = \frac{\delta_{Karişım \text{ Üst Sınır}} + \delta_{Karişım \text{ Alt Sınır}}}{2} \quad (2)$$

Polimerin yoğunluğu, süspansiyon metoduyla aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplandı [4][5].

$$\delta_{polimer} = \frac{d_{CCL_4} + V_{CCL_4} + d_{n-hekzan} \times V_{n-hekzan}}{V_{Toplam}} \quad (3)$$

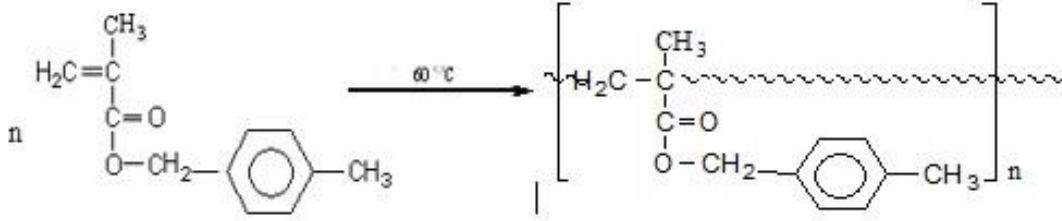
2.1. Monomer Sentezi

P-tolil metil metakrilat monomeri, asit tuzlarından ve alkil halojenürlerden ester sentezi için verilen yöntemlere göre hazırlandı [7]. Kurutma başlıklı geri soğutucu ile donatılan 250 ml'lik deney balonuna 1.4 mol sodyum metakrilat, 1 mol p-tolil metil klorür konuldu. Sentez esnasında polimerizasyonu önlemek amacıyla toplam madde miktarının %1'i kadar hidrokinon ilave edilerek 50 ml asetonitril içinde çözüldü. Karışım 80 °C'de sürekli karıştırıldı ve reaksiyon 22 saate tamamlandı. Elde edilen ürün dietil eter ve saf su ile ekstrakte edildi. Dietil eter, evaporatörde uzaklaştırıldı. Monomer içerisinde bulunan hidrokinon ise %5'lik NaOH çözeltisi ile muamele edilerek ayrıldı ve susuz MgSO₄ katılarak kurutuldu.

2.2. Homopolimerin Hazırlanması

Polimerizasyon serbest radikalik yolla gerçekleştirildi. Bir deney tüpüne 3.199 gr monomer ve monomer miktarının %2'si kadar başlatıcı olarak benzoil peroksit konuldu. Monomer ve başlatıcı 20 ml toluende

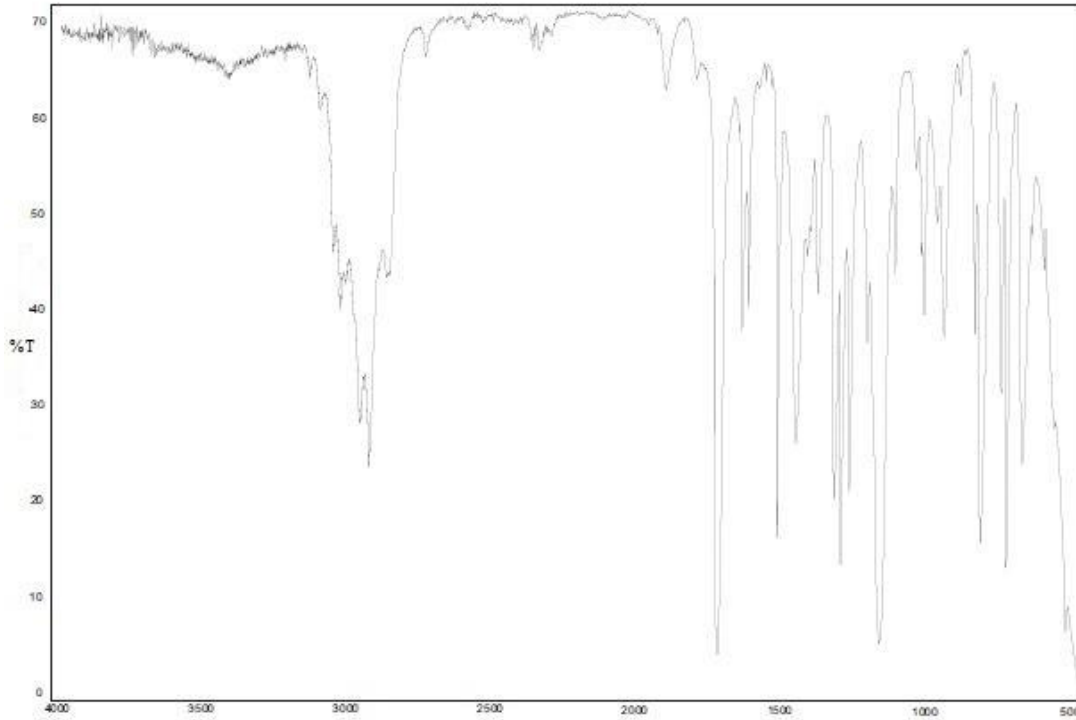
çözüldü ve karışım 10 dakika süreyle azot gazından geçirilerek deney tüpünün ağzı kapatıldı. P-tolil metil metakrilat'ın polimerizasyonu Şekil 1'de verildiği gibi yapılmıştır. Reaksiyon tüpü sıcaklığı 60 °C'ye ayarlanmış su banyosuna bırakıldı ve 72 saat sonra karışımın viskozite artışına bakılarak polimerizasyona son verildi. Elde edilen polimer etanolde çöktürüldü. Polimer bir kaç kez toluende çözülüp yeniden çöktürüldü. Polimer vakum altında 40 °C'de 24 saat boyunca kurutularak çözücü uzaklaştırıldı [8].



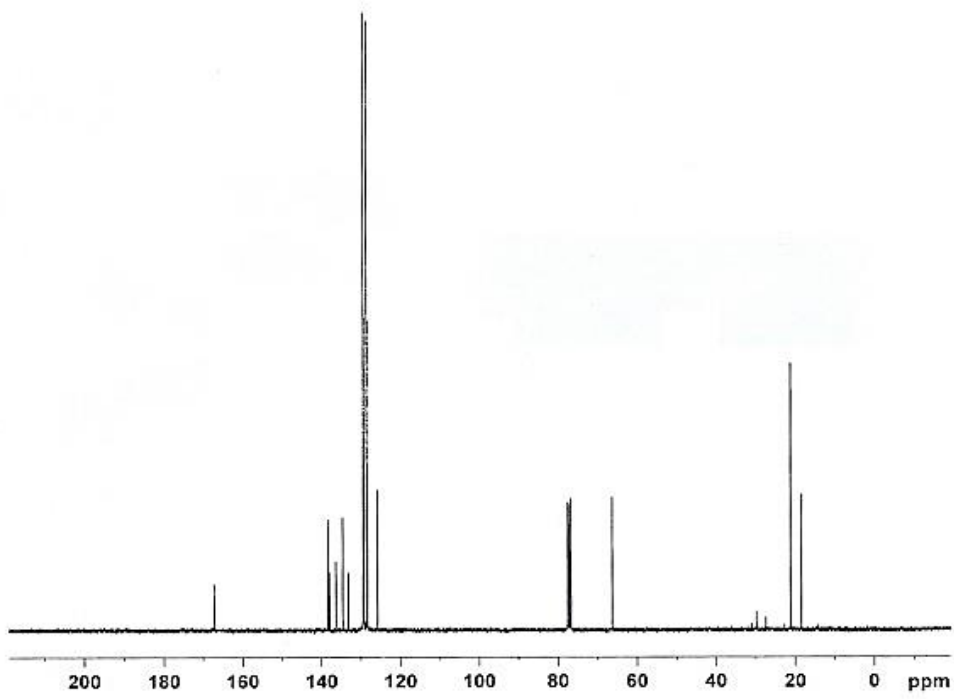
Şekil 1. P-tolil metil metakrilat polimerizasyonu

3. Bulgular ve Tartışma

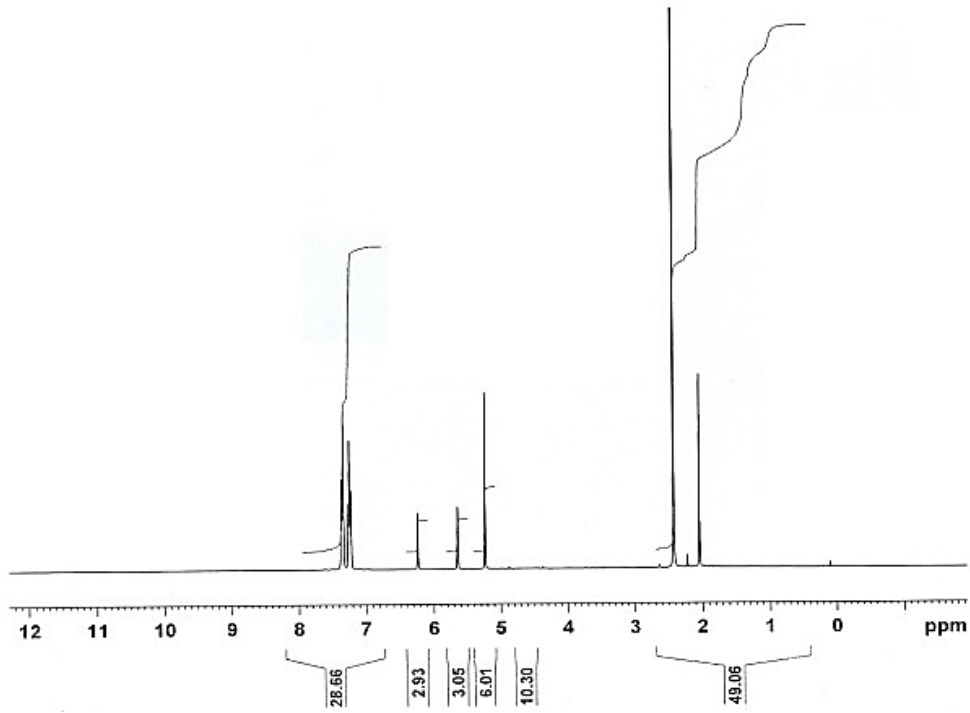
Monomere ait IR, ¹³C-NMR ve ¹H-NMR değerleri sırasıyla Şekil 2, 3, 4'te, polimere ait IR, ¹³C-NMR ve ¹H-NMR değerleri ise sırasıyla Şekil 5, 6, 7'de gösterilmiştir. Monomerin IR spektrumundaki 3100 cm⁻¹ (aromatiklikten kaynaklanan C-H gerilmesi), 1715 cm⁻¹ C=O gerilmesi), 1637 cm⁻¹ (olefinik C=C gerilmesi) 1620 cm⁻¹ (aromatik C=C gerilmesi), 1210 cm⁻¹ (asimetrik C-O gerilmesi) bantları yapıyı desteklemektedir. Ayrıca H-NMR'da görülen 7.23-7.38 ppm (aromatik halka protonları), 6.24 ppm (CH₂, 1H), 5.65 ppm (CH₂, 1H), ¹³C-NMR spektrumunda görülen 167.34 ppm (esterdeki C=O), 125.80 ppm (CH₂, 1H) 18.45 ppm (tersiyer karbona bağlı CH₃) gibi sinyallerde monomerin varlığını destekleyen diğer spektroskopik verilerdir.



Şekil 2. P-tolil metil metakrilat'ın IR spektrumu

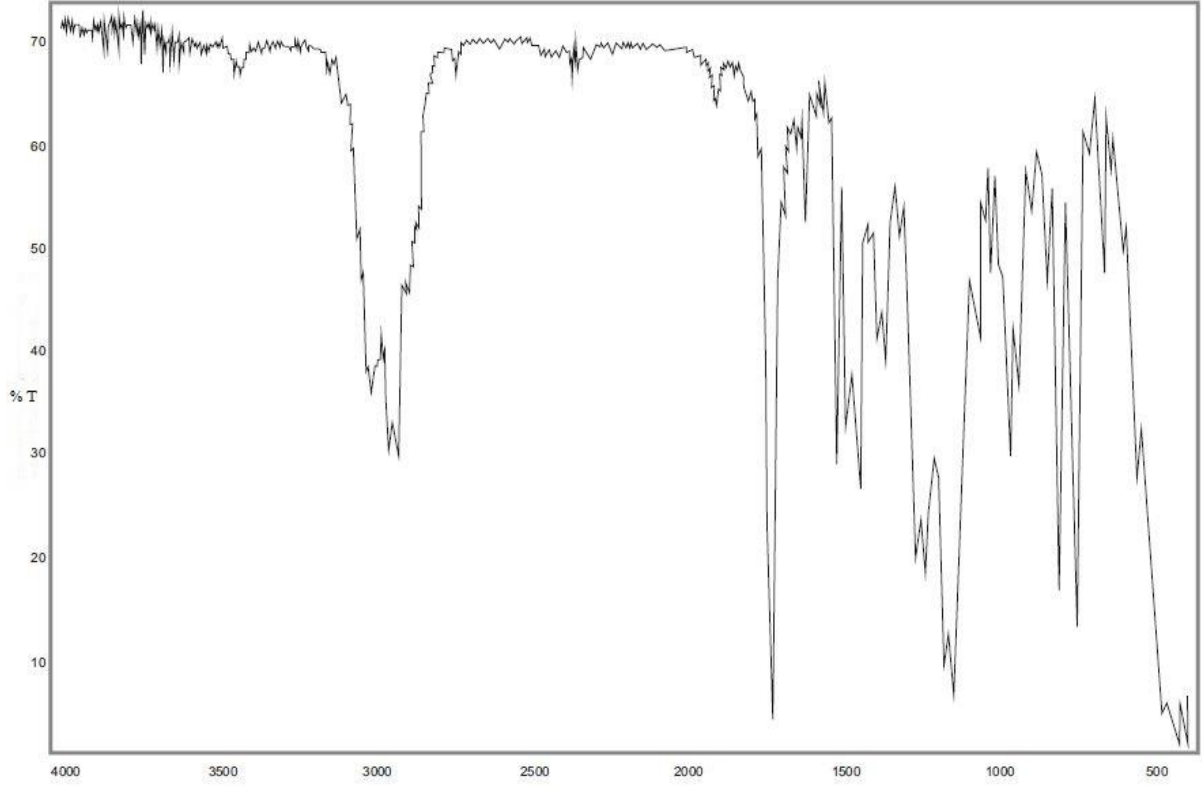


Şekil 3. p-tolil metil metakrilat'ın ^{13}C -NMR spektrumu (Çözücü: CDCl_3)

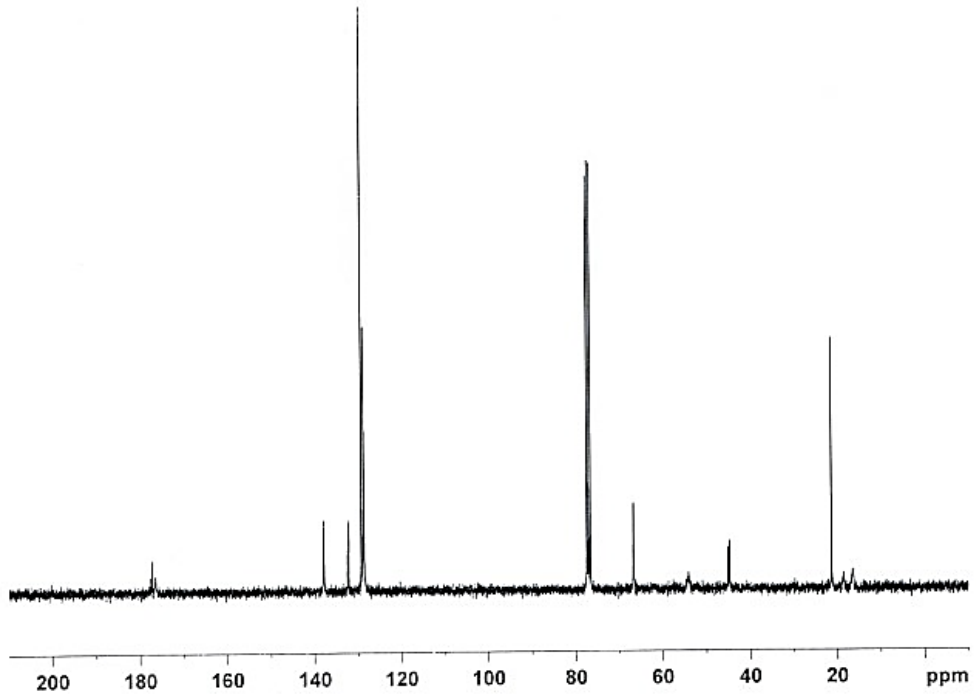


Şekil 4. p-tolil metil metakrilat'ın ^1H -NMR spektrumu (Çözücü: CDCl_3)

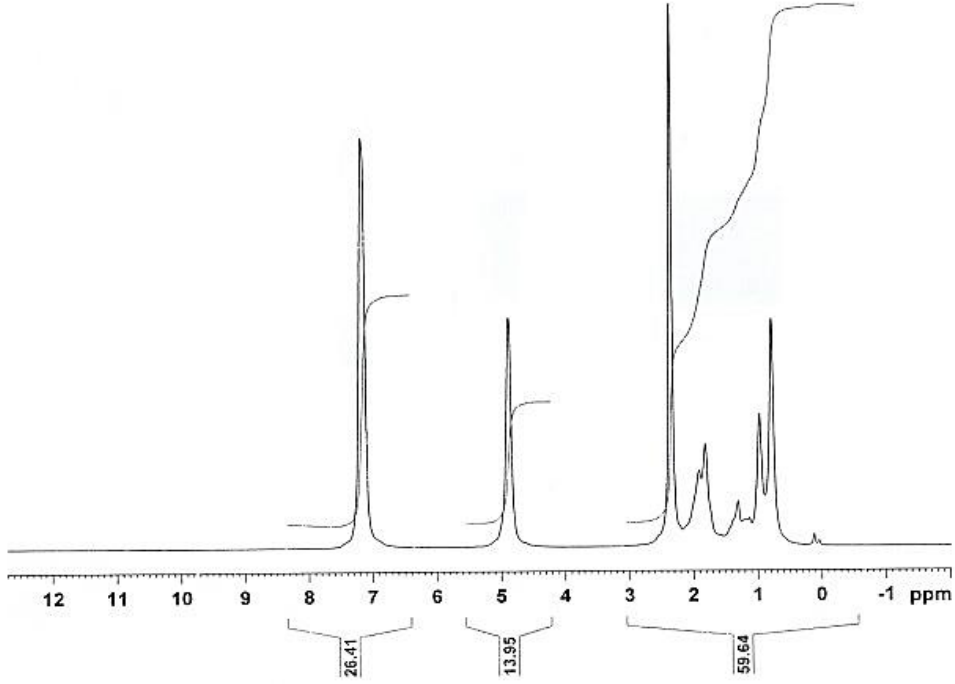
Monomerin ^1H -NMR spektrumunda görülen metile göre cis ve trans konumlu protonların (5.65-6.24ppm) yüksek alana kayması (1.91ppm,1.81ppm), ^{13}C -NMR spektrumunda ester piki (167 ppm) sinyalinin 177 ppm'e kayması IR'de 1637 cm^{-1} (olefinik $\text{C}=\text{C}$) bandının kaybolması, p-tolil metil metakrilat homopolimerinin oluştuğunu gösteren spektroskopik değişikliklerdir.



Şekil 5. Poli(p-tolil metil metakrilat)'ın IR spektrumu

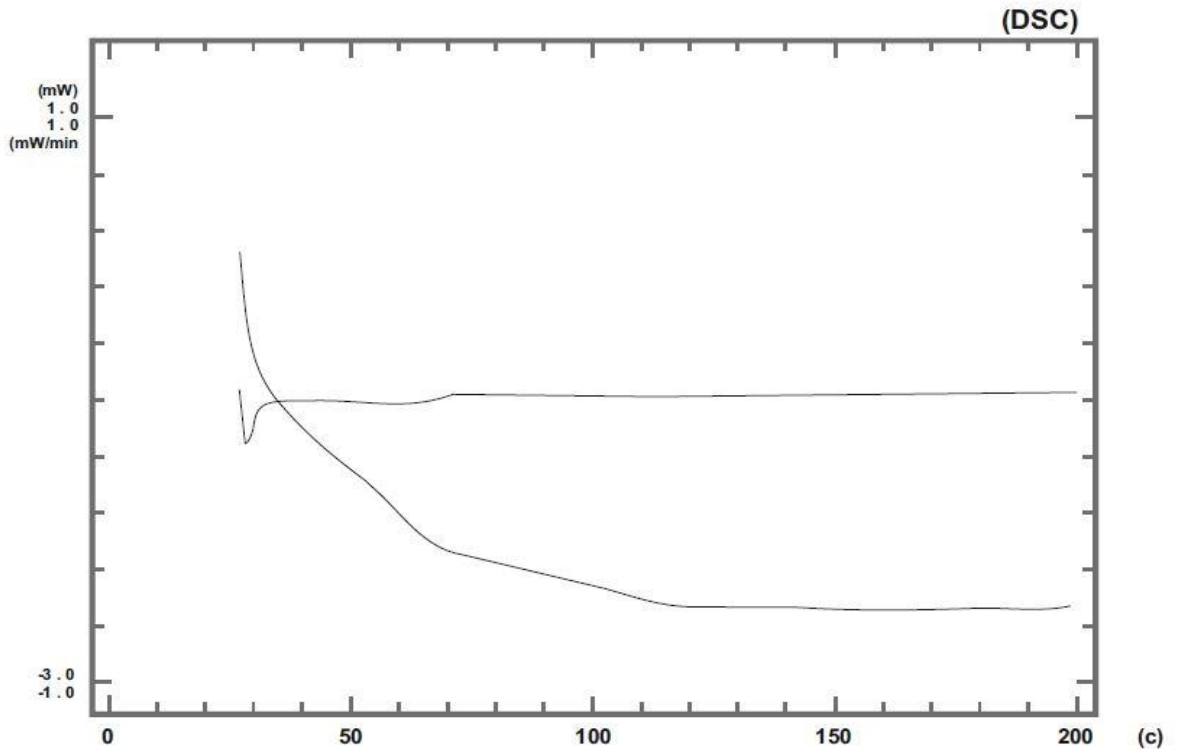


Şekil 6. Poli(p-tolil metil metakrilat)'ın ¹³C-NMR spektrumu(Çözücü:CDCl₃)



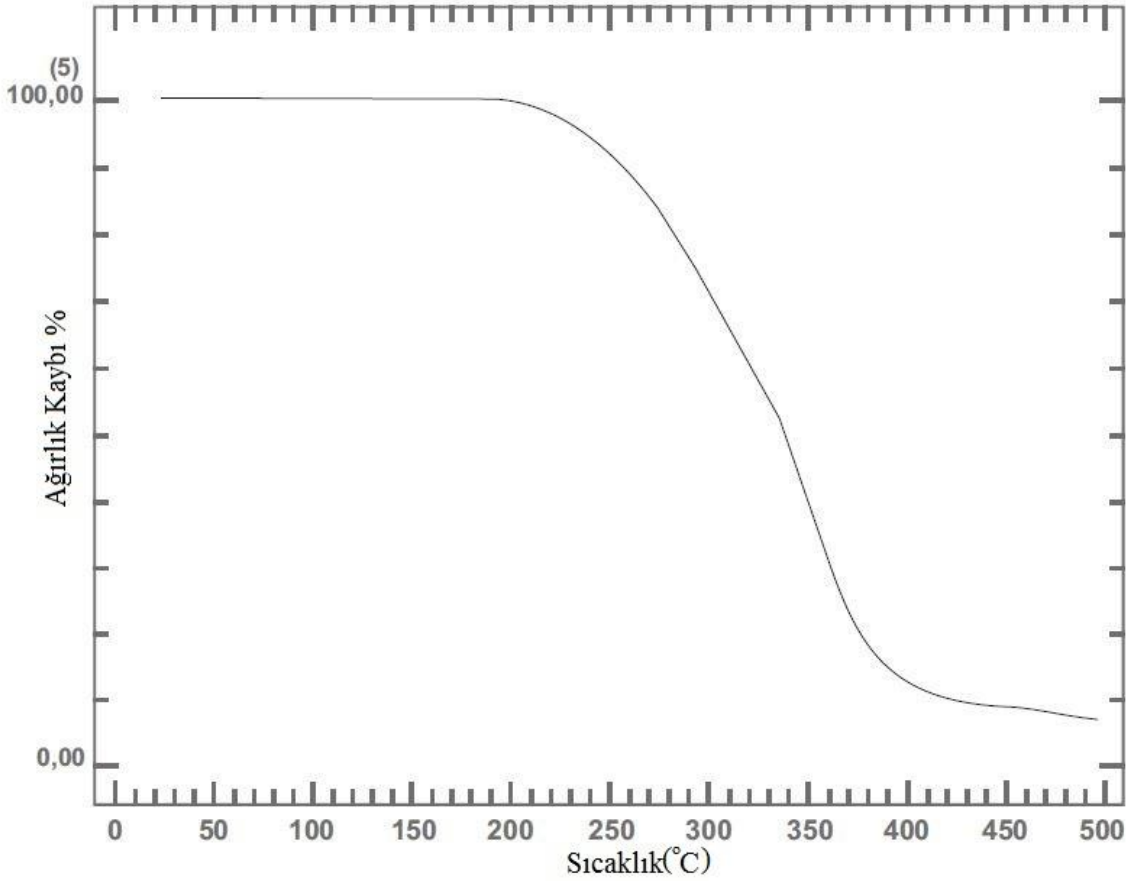
Şekil 7. Poli(p-tolil metil metakrilat)'ın $^1\text{H-NMR}$ spektrumu (Çözücü: CDCl_3)

Polimerin camsı geçiş sıcaklığının DSC ile tayininde $65\text{ }^\circ\text{C}$ dolaylarında olduğu görüldü (Şekil 8). Şekil 10'da gösterilen DTA eğrisinden polimerin camsı geçiş sıcaklığının $60\text{-}70\text{ }^\circ\text{C}$ aralığında olduğu görülmektedir. DSC ile yapılan başka bir çalışmada PMMA'nın camsı geçiş sıcaklığı $108\text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur [9]. Birçok kaynakta da PMMA'nın camsı geçiş sıcaklığının $100\text{-}110\text{ }^\circ\text{C}$ dolaylarında olduğu belirtilmektedir. p-tolil grubunun metil metakrilat'a eklenmesiyle sentezlenen polimerin camsı geçiş sıcaklığının $65\text{ }^\circ\text{C}$ dolaylarına düşmesi, yan grubun büyüklüğünden ve serbest hacmin artmasından kaynaklanmaktadır. Ester bileşiklerinin erime noktalarının, bağlı alkol grubunun molekül ağırlığı büyüdükçe düşmesi, camsı geçiş sıcaklığının düşük sıcaklıklara kaymasını desteklemektedir.



Şekil 8. Polimerin DSC Eğrisi ($20\text{ }^\circ\text{C/dk}$ ısıtma hızı ile alındı)

Şekil 9’da görüldüğü gibi polimerin termal gravimetrik analiz sonucu 205 °C’de bozulmaya başladığı ve 420 °C’de kütle kaybının %90’a ulaştığı gözlenmiştir. Serbest radikal polimerizasyonla elde edilen saf PMMA’nın termal degradasyonunda, kütle kaybının üç safhada oluşması beklenir. Radikalik yolla elde edilen PMMA’nın termal degradasyonunun ilk adımında, sentez süresince monomerin O₂ ile birleşmesinden oluşan zayıf peroksit ve hidroperoksit bağları ve düşük sıcaklıklarda birleşerek sonlanmadan oluşan baş-baş bağlanmada H-H bağları kolaylıkla kırılır. İkinci adımda ağırlık kaybı orantısız sonlanmadan dolayı polimer sonlarındaki kararsız C=C çift bağlardan kaynaklanmaktadır. Son adımdaki ağırlık kaybının ise PMMA zincirlerinin rastgele kırılmasından meydana geldiği ifade edilmiştir [10]. poli (p-tolil metil metakrilat) (PTMMA) polimerinin termal analizinde benzer adımları izlediği gözlenmiştir.

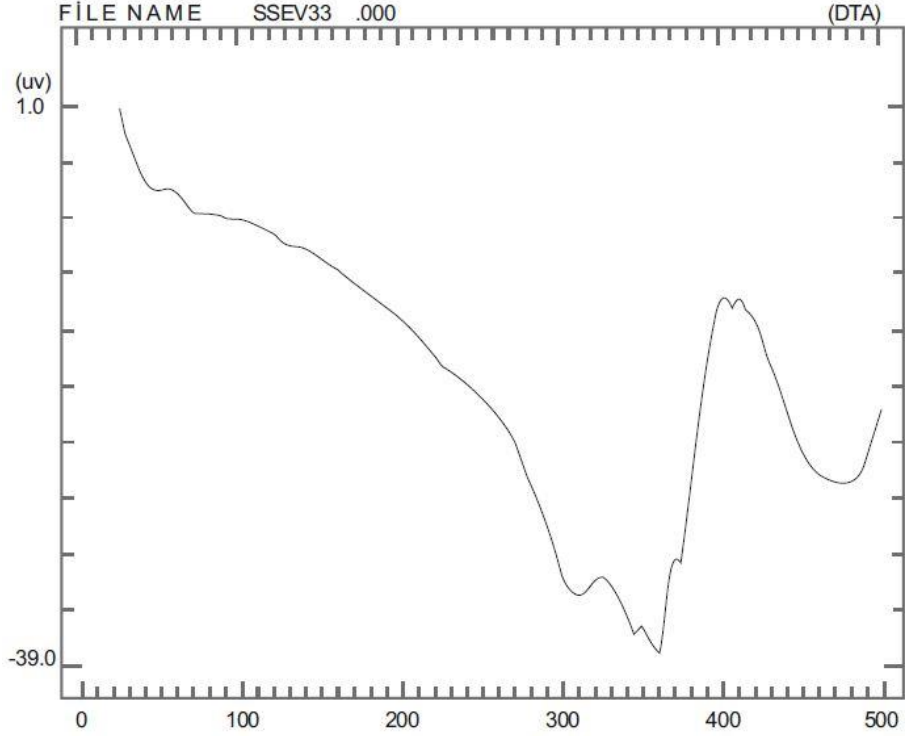


Şekil 9. Polimerin TGA analizi (10 °C/dk ısıtma hızı ile alındı)

Şekil 10’da görülen DTA eğrisinde erimeye ait bir endoterm pike rastlanmaması polimerin tamamen amorf bir yapıda olduğunu göstermektedir. Bozunmanın 205 °C civarında başladığı, TGA verilerinden de görülmektedir. Kütle kayıpları Tablo 1’de görülmektedir. DTA verilerinden 300-370 °C arasında endotermik pik ve 400 °C ekzotermik pik gözlenmiştir. Önceden yapılan bir çalışmada, fotopolimerizasyonla sentezlenen PMMA’nın DTA verilerinde 300-400 °C’de endotermik pik ve 420 °C’de ekzotermik pik gözlenmiştir [11].

Tablo 1. Poli (p-tolil metil metakrilat) (PTMMA) polimerinin TGA eğrisinden hesaplanan sonuçlar

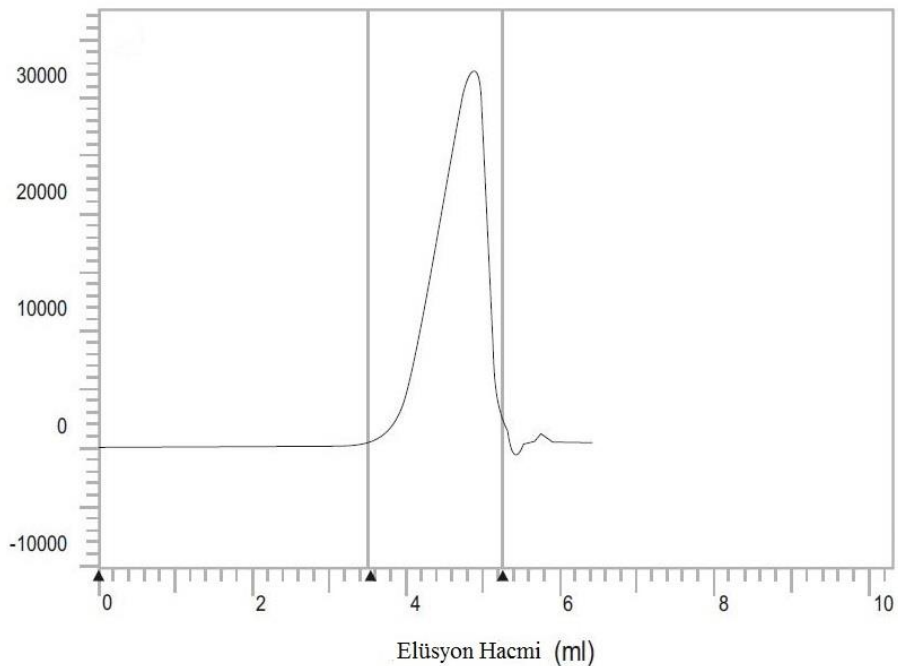
Polimer	Boz. Baş. Sıc. (°C)	%20 Küt. Kay. (°C)	%50 Küt. Kay. (°C)	%70 Küt. Kay. (°C)	%90 Küt. Kay. (°C)
Poli (p-tolil metil metakrilat)	205	295	345	365	420



Şekil 10. Polimerin DTA eğrisi

Poli (p-tolil metil metakrilat) (PTMMA) polimeri ile PMMA'nın aynı termal davranışları gösterdiği gözlenmiştir. Bir başka çalışmada, PMMA'nın gravimetrik analizinde bozunmanın yaklaşık olarak 220 °C'de başladığını gözlemişlerdir [12]. PMMA'nın genellikle 200 °C civarında bozunmaya başladığı bilinmektedir. P-tolil halkasının yan grup olarak eklenmesi polimerin termal kararlılığında herhangi bir değişikliğe yol açmadığı gözlenmiştir.

Şekil 11'de görüldüğü gibi jel geçirgenlik kromatografisi ile ortalama molekül ağırlığı Mw 39895 gr mol⁻¹ olarak bulundu. Heterojenlik indisi HI, 3.17 olarak hesaplandı [13]. Bu değer dar molekül dağılımına sahip radikalik polimerizasyonla sentezlenen polimerler için öngörülen değerler arasındadır [14].



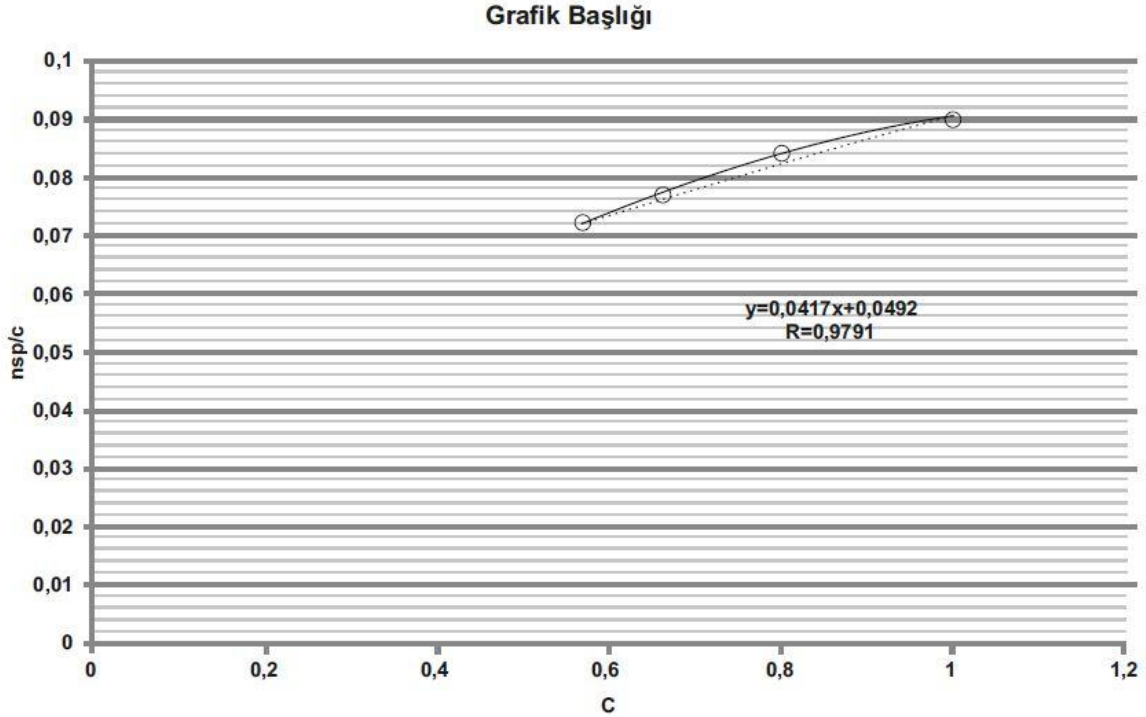
Şekil 11. Poli(p-tolil metil metakrilat)'ın GPC analizi

Poli(p-tolil metil metakrilat) (PTMMA) homopolimerinin yoğunluğu süspansiyon metodu kullanılarak hesaplandı. Polimerin yoğunluğu 1.12 cm gr^{-3} olarak ölçüldü. Kaynaklarda PMMA'nın yoğunluğu 1.20 cm gr^{-3} olarak verilmektedir [1].

Polimerin toluende en derişığı 1 gr ml^{-1} olan 4 ayrı çözeltisi hazırlandı. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ubbelohde viskozimetresi ile akış süreleri ölçüldü ve η_{sp} , $\eta_{sp/c}$ değerleri hesaplandı. Değerler Tablo 2'de görülebilir. Denklem 3'te verilen Huggins eşitliğinden [15] yararlanılarak çizilen (Şekil 12) doğrunun ekstraplasyonundan intrinsik viskozite değeri okundu [16]. (2-fenil-1,3 dioksalan-4 il) metil metakrilat (DMMA) polimerinin $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ubbelohde viskozimetresiyle dioksalan çözücüsü varlığında yapılan viskozite ölçümlerinde limit viskozite sayısı 0.44 olarak bulunmuştur [17].

Tablo 2. Polimerin $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de toluende viskozimetre ile ölçülen η_{sp} , $\eta_{sp/c}$ ve çözeltinin C değerleri

Çözeltinin Derişimi C (g dl ⁻¹)	η_{sp}	$\eta_{sp/c}$	η (dl gr ⁻¹)
1	0.090	0.090	
0.8	0.067	0.084	0.0492
0.66	0.051	0.077	
0.57	0.041	0.072	



$$\eta_{sp/c} = [\eta] + k_H [\eta]^2 c \quad (4)$$

4. Sonuç

Metil metakrilat monomerine p-tolil grubu eklenerek elde edilen monomerden serbest radikalik yolla Poli(p-tolil metil metakrilat) (PTMMA) polimeri sentezlendi. Monomer ve polimerin yapısı, IR ve NMR teknikleriyle aydınlatıldı. Polimerin heterojenlik indisi, serbest radikalik yolla elde edilen heterojenlik indisi değerleri arasında bulunmuştur. Elde edilen polimerin camısı geçiş sıcaklığının, PMMA'nın camısı geçiş sıcaklığından oldukça düşük olduğu gözlemlendi. Camısı geçiş sıcaklığında gözlenen bu düşüş, polimere yeni kullanım alanları sunma potansiyeli taşımaktadır. DTA analizlerinden polimerin tamamen amorf yapıda olduğu belirlenmiştir. Polimerin yoğunluğunda beklentiler dahilinde

bir azalma görüldü. Polimerin TGA analizi sonucu, PMMA'nın termal degradasyonunda elde edilen bulgular, p-tolil metil metakrilat polimerlerinde de büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. P-tolil grubunun eklenmesiyle oluşan polimerin termal stabilitesinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. PMMA'yı çözen çözücülerin, poli(p-tolil metil metakrilat) (PTMMA) polimerini de çözebileceği elde edilen çözünürlük parametresinden anlaşılmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Ali U., Abd Karim K.J., Buang N.A. 2015. A Review of the Properties and Applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews*, 55 (4): 678-705.
- [2] Sivakumar M., Panduranga K.R. 2000. Synthesis and Characterization of Poly(methyl methacrylate) Functional Microspheres. *Reactive and Functional Polymers*, 46 (1): 29-37.
- [3] Usanmaz A., Ateş J., Doğan A. 2003. Thermal and Mechanical Properties of Microwave- and Heat-Cured Poly(methyl methacrylate) Used as Dental Base Material. *Journal of Applied Polymer Science*, 90 (1): 251-256.
- [4] Allen G., Gee G., Wilson G.J. 1960. Intermolecular forces and chain flexibilities in polymers: I. Internal pressures and cohesive energy densities of simple liquids. *Polymer*, 1:456-466.
- [5] Beret S., Prausnitz J.M. 1975. Densities of Liquid Polymers at High Pressure. Pressure-Volume-Temperature Measurements for Polyethylene, Polyisobutylene, Poly(vinyl acetate) and Poly(dimethylsiloxane) to 1 kbar. *Macromolecules*, 8: 536-538.
- [6] McCaffery E.L. 1970. *Laboratory Preparation for Macromolecular Chemistry*. Mc Gram Hill Book Company, New York.
- [7] Linstromberg W.W., Uyar T. 1983. *Modern Organik Kimya*, Okan Yayın Dağıtım, 208s. Ankara.
- [8] Kurbanova R. 1995. *Polimer Kimyası Deneyler ve Analizler*. S.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, 134s. Konya.
- [9] Crystal E.P., Frank D.B. 2000. Thermal Characterization of PMMA Thin Films Using Modulated Differential Scanning Calorimetry. *Macromolecules*, 33 (19): 7016-7020.
- [10] Ferriol M., Gentilhomme A., Cochez M., Oget N., Mieloszynski J.L. 2003. Thermal degradation of poly(methyl methacrylate) (PMMA) modelling of DTG and TG curves. *Polymer Degradation and Stability*, 79 (2): 271-281.
- [11] Sankar V., Suresh K.T., Panduranga R.K. 2004. Preparation, Haracterisation And Fabrication of Intraocular Lens From Photo Initiatedpolymerised Poly Methyl Methacrylate), *Trends Biomater. Artif. Organs*, 17 (2): 24-30.
- [12] Elshereksi N.W., Mohamed S.H., Arifin A., Ishak Z.A.M. 2014. Thermal Characterisation of Poly(Methyl Methacrylate) Filled with Barium Titanate as Denture Base Material, *Journal of Physical Science*, 25 (2): 15-27.
- [13] Soundararajan S., Reddy B.S.R., Rajadurai S. 1990. Synthesis and Characterization of Glycidyl Methacrylate-Styrene Copolymers and Determination of Monomer Reactivity Ratios. *Polymer*, 31 (2): 366-370.
- [14] Madheswari D., Nanzundan S., Venkata R.A. 1992. Copolymers of p-Biphenyl Acrylate with Methyl Methacrylate: Synthesis, Characterisation and Monomer Reactivity Ratios. *European Journal Polymer*, 28 (9): 1123-1126.
- [15] Huggins M.L. 1942. The Viscosity of Dilute Solutions of Long-Chain Molecules. IV. Dependence on Concentration. *J. Am Chem Soc.*, 64 (11): 2716-2718.
- [16] Sandler S.R., Karo W., Bonestel J., Perace E. 1998. *Polymer synthesis and characterization a laboratory manual*. Academic, New York.
- [17] İltar Z. 1997. (Alkil) Metakrilatların Glisidilmetakrilat ve 1,3-dioksalan ile Kopolimerlerinin Sentezi ve Karakterizasyon. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 127s, Elazığ.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi Atık Sularının Sır Baraj Gölü'nde Meydana Getirdiği Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi

Özgür CANPOLAT^{1*}, Seval UZUN²

¹Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ

²Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, Balıkçılık ve Su Ürünleri Şube Müdürlüğü, Hatay
(ORCID: 0000-0001-7498-600X) (ORCID: 0000-0002-9657-0598)

Öz

Bu çalışmada, Kahramanmaraş organize sanayi bölgesinde çeşitli sektörlerde üretim yapan fabrikaların deşarj ettikleri atık sular ve bu atık suların karıştığı Sır Baraj Gölü ve Aksu Çayı (Kahramanmaraş)'nda suda ağır metal düzeylerinin tespit edilmesi ve bu değerlerin çeşitli kuruluşlar (WHO, USEPA ve EC) tarafından önerilen standart değerlerle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda hem atık sular hem de Sır Baraj Gölü ve Aksu Çayı'nda suda bazı ağır metallerin (demir, bakır, çinko, krom, kadmiyum, nikel, arsenik ve civa) konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi belirlenmiştir. Suda analizi gerçekleştirilen ağır metallerden Fe, Cu ve Zn her mevsimde tüm istasyonlarda tespit edilirken, Cr, Ni ve Cd sadece atık sularda tespit edilmiştir. As ve Hg değerleri ise cihazın ölçüm duyarlılığının altında kaldığından tespit edilememiştir. Aksu Çayı ve Sır Baraj Gölü'nde belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerindeki ağır metal değerleri, WHO, USEPA ve EC tarafından verilen standart değerlere göre karşılaştırılmıştır. Buna göre Fe, Cu, Zn, Cr ve Ni konsantrasyonları WHO, USEPA ve EC tarafından belirlenen maksimum değerlerin çok üzerinde çıkmıştır. Bu veriler ışığında tekstil, kaplama ve diğer endüstri fabrikalarından Aksu Çayı'na deşarj olan atık suların Sır Baraj Gölü'ne ağır metal taşıdığı ortaya çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, çevre kirliliği, atık su, Sır Barajı Gölü, Aksu Çayı

The Determination of Heavy Metal Pollution of Wastewaters of Kahramanmaras Organized Industrial Zone in Sır Dam Lake

Abstract

In this study, it was aimed to determine some heavy metal levels in wastewater discharged from various sectors within the province of Kahramanmaras Organized Industrial Zone and water in Sır Dam Lake and Aksu Stream, and compare the results to the standard values set by the various organization (WHO, USEPA and EC). In line with these purposes, the seasonal variation of some heavy metals (iron, copper, zinc, chromium, cadmium, nickel, arsenic and mercury) in water has been determined in wastewaters both in Sır Dam Lake and Aksu Stream. While among heavy metals unit; Fe, Cu and Zn were detected in all stations and in all seasons, Cr, Ni and Cd were determined only at wastewaters. The As and Hg were not detected in any station since the levels were under the sensitivity of the measurement device. The heavy metal values taken from the samples stations set in the Aksu River and Sır Dam Lake were also compared to the standard values set by the WHO, USEPA and EC. Accordingly, Fe, Cu, Zn, Cr and Ni concentrations were higher than the maximum values determined by the WHO, USEPA and EC. In the light of these data, it is clear that the waste water which is discharged from textile, coating and other industrial factories to Aksu Stream carries heavy metal to the Sır Dam Lake.

Keywords: Heavy metal, environmental pollution, wastewater, Sır Dam Lake, Aksu Stream.

1. Giriş

Günümüz dünyasının en önemli sorunlarından birini çevre sorunları oluşturmaktadır. Bugüne kadar sınırsız bir kaynak olarak kabul edilen doğa; hızlı sanayileşme ve nüfus artışı ile birlikte olumsuz yönde

*Sorumlu yazar: ocanpolat@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 05.03.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

etkilenmiştir. Çevrenin hızla tahrip edilmesi suretiyle kaynaklar tüketilmeye başlanmış ve bunun sonucu olarak da çevre kirliliği kaçınılmaz olmuş ve yaşam döngüsünü tehdit eden bir noktaya ulaşmıştır.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından “Kara Liste”de yer alan maddeler arasında ağır metaller son derece önemli yer tutmaktadır. Günümüzde oldukça yaygın olan metal kirliliğine sebep olan beş kaynak vardır. Bunlar; jeolojik olaylar, maden filizleri ve metallerin endüstriyel üretimi, metal ve metal bileşiklerinin kullanımı, çöp ve katı atıkların doğaya boşaltılması, ağır metal içeren hayvan ve insan atıklarıdır [1-6]. Kentleşme, sanayi, metalurji ve endüstri alanında son zamanlarda gerçekleşen hızlı ilerlemelerle doğru orantılı olarak alüminyum, civa, bakır, kobalt, çinko, demir, nikel, kurşun ve kadmiyum gibi ağır metallerin boya sanayi, plastik sanayi, kağıt, kaplamacılık, pil ve zirai ilaç yapımında kullanılmaları neticesinde, bu metallerin sucül ekosistemlere karışma oranlarında artma olduğu belirlenmiştir [7].

Ağır metaller, genellikle iz element veya mikrobesein maddeleri olarak da ifade edilmektedir [8]. Doğal olarak bulunan 90 elementten 53 tanesi ağır metal grubunda yer almaktadır. Bu gruba kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko gibi elementler dahildir. Ancak bunlardan sadece 17 tanesi biyolojik olarak mevcut olup ekosistem için de önem teşkil etmektedir. Mo, Cu, Zn, Cr, Ni, Fe ve Co enzim ve pigmentlerin yapı taşı olarak canlılar için önemli olan temel mikro elementlerdendir. Bunun yanı sıra bütün metaller ve metaloidler yüksek konsantrasyonlarda bulduklarında canlılar üzerinde toksik etki gösterebilmektedir [9, 10].

Sürekli alıcı ortam özelliği gösteren baraj gölleri çevre kirliliğinden birinci derecede etkilenirler. Bu kirlenme içinde yaşayan canlıları olumsuz etkilemesinin yanı sıra besin zinciri yoluyla insana kadar ulaşmaktadır [11].

Kahramanmaraş ilinde mevcut olan geleneksel el sanatları yerini hızlı bir şekilde tekstil ağırlıklı fabrikalara bırakmış olup, tekstil endüstrisi kollarında faaliyet gösteren 201 adet tesis ve 11 adet deri işleme atölyesi bulunmaktadır. Bunun yanı sıra bir adet mezbahane, 50’si metal eşya endüstrisi alanlarında, 15’i gıda, 5’i kimya ve 3’ü kağıt sanayi alanlarında olmak üzere çok sayıda endüstriyel tesis faaliyet göstermektedir [12, 13]. Bu endüstri alanları şehrin özel konumu nedeniyle daha çok akarsuların da içerisinde bulunduğu ovada yoğunlaşmış olup, şehir çevresindeki verimli ovada ilaçlı ve gübrelili zirai faaliyetler sürdürülmektedir. Bütün bu gelişmeler şehir yakınında yer alan akarsularda aşırı kirlenme yönünde baskı yapmaktadır. Şehir ve çevresinde su kullanımına olan ihtiyaç artmış ve buna paralel olarak pahalı su temini projelerine ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır [13].

Bu çalışmada Kahramanmaraş organize sanayi bölgesinde çeşitli sektörlerde üretim yapan fabrikaların deşarj ettikleri atık sularında ve bu atık suların karıştığı Sır Baraj Gölü ve Aksu Çayı (Kahramanmaraş)’nda sudaki bazı ağır metallerin düzeylerinin belirlenmesi ve bu değerlerin çeşitli kuruluşlar (WHO, USEPA ve EC) tarafından önerilen standart değerlerle karşılaştırılarak ağır metal kirlilik durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

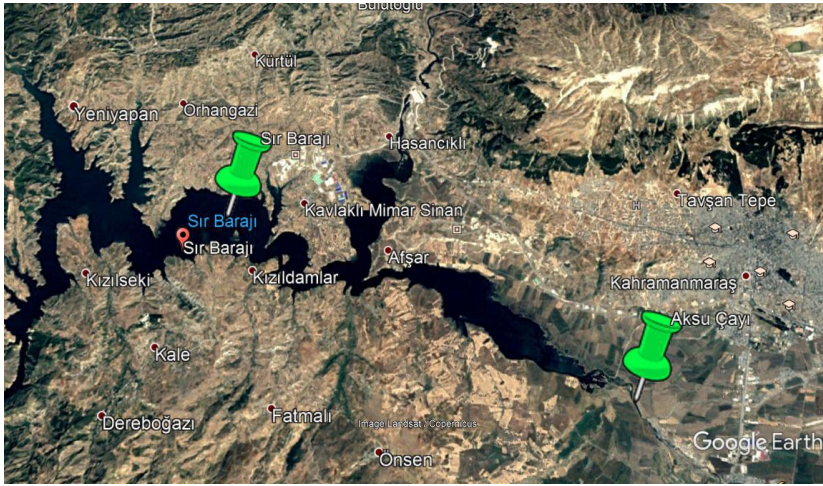
2.1. Çalışma Bölgesi

Sır Barajı, Kahramanmaraş ilinin 35 km güneybatısında Ceyhan Nehri üzerinde enerji üretmek amacıyla kurulmuştur. Baraj gölü kısmı Kahramanmaraş-Kayseri karayolunda bulunan Ceyhan Nehri köprüsüne, Aksu Çayı ve Deliçay Deresi’nin birleştiği yere kadar çıkmakta olup, Kahramanmaraş’a yaklaşık 8–10 km’lik bir mesafede bulunmaktadır. Sır Baraj Gölü elektrik üretmek amacıyla 1991 yılında inşaat çalışmaları tamamlanmış ve işletmeye alınmıştır [14]. Sır Baraj Gölü son yıllarda özellikle gerek evsel ve gerekse de endüstriyel atıklar dolayısıyla kirlenme baskısı altındadır [15,16].

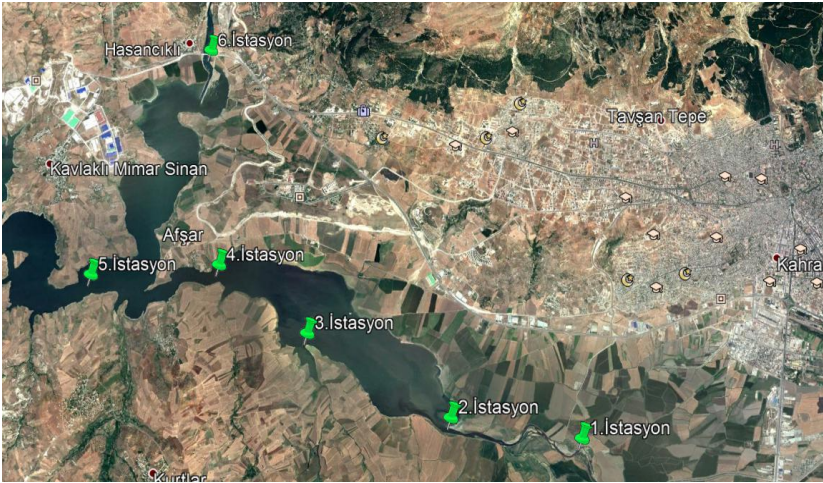
Engizek Dağı’nın eteklerinden doğan Aksu Çayı Ceyhan Nehri’nin en güçlü kollarından biridir. Küçükcerit Köyü’nün hemen doğusundan çok güçlü bir pınardan çıkan Aksu Çayı, Büyükcerit yönünden gelen sularla da beslenerek oldukça güçlü bir Çay durumuna gelir. Aksu Vadisi, Pazarcık yakınlarında genişleyerek Narlı Ovası’na açılır. Aksu Çayı, bu ovada önce güneybatı yönünde akar, sonra kuzeybatı, daha sonra da kuzeye yönelerek daha ileride yan derelerden gelen suları da toplayarak Kahramanmaraş’ın güney batısında Sır Barajı’na dökülür [15].

Araştırma, Temmuz 2012 tarihinde başlayıp, Nisan 2013 tarihinde tamamlanmıştır. Örneklemeler mevsimsel olarak yapılmıştır. Bu çalışma, 37°30’34.40" kuzey enlemleri ve 36°54’31.89" doğu boylamlarında yer alan bölgede (Şekil 1);

- Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Aksu Çayı'na deşarj olduğu kanal (1. istasyon), 37°34'9.24" kuzey enlemleri ve 36°47'14.15" doğu boylamlarında yer alan Sır Barajı mevkiinde (Şekil 1),
- Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Aksu Çayı'na karıştığı bölge (2. istasyon), (Şekil 2),
- Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karıştığı bölge (3. istasyon), (Şekil 2),
- Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karıştığı bölgeden uzak açık bölge (4. ve 5. istasyon), (Şekil 2),
- Herhangi bir endüstriyel kuruluşun atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karışmadığı bölgede (6. İstasyon), (Şekil 2) yürütülmüştür.



Şekil 1. Sır Baraj Gölü'nün ve Aksu Çayı'nın coğrafik konumu [17]



Şekil 2. Örnekleme yapılan istasyonlar [17]

2.2. Su Örneklerinde Yapılan Ağır Metal Analizleri

Sudaki ağır metal analizleri için numune alımında kullanılan kapların temiz ve kirlenmeye yol açmayacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Örnekler 1., 2. ve 3. İstasyonlarda numune kapları atık suya daldırılarak, 4., 5. ve 6. İstasyonlarda ise Nansen Şişesi kullanılarak yüzeyden 1 m derinlikten alınmıştır. Alınan su örnekleri, kimyasallar için uygun, akmaya ve sızıntıya karşı dayanıklı olan 1 L'lik steril polietilen şişelere bırakılmıştır. Alınan su örneklerindeki organizmaların ağır metalleri parçalayarak kimyasal reaksiyon başlatmalarını engellemek amacıyla suya %1 oranında nitrik asit (HNO₃) ilave edilerek pH'ı 2'ye düşürülmüştür. Nitrik asit çözeltisi, ultra saf %65'lik nitrik asitten saf

su ile günlük olarak hazırlanmıştır [18]. Sudaki ağır metal analizi için, 50 ml su numunesi alınarak Kjeldahl balonlarına konulmuş, içine nitrik asit ve sülfürik asit (5/10) karışımından 5 ml ilave edilerek mineralizasyon işlemine tabi tutulmuş ve 25 ml'ye deriştirilmiştir [19]. Su örneklerinde bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), krom (Cr), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), arsenik (As) ve civa (Hg) konsantrasyonları, hizmet alımı şeklinde özel bir laboratuvarında İndüktif Eşleşmiş Plazma (ICP) cihazında belirlenmiştir. Analize hazır duruma getirilen su örnekleri numune kaplarına konularak ağır metal analizlerinin gerçekleştirileceği laboratuvara soğuk muhafazalı olarak gönderilmiştir.

ICP cihazında analizi gerçekleştirilen elementlerin dalga boyları aşağıda verilmiştir;

Cu=237,393 nm
Fe= 238,204 nm
Zn=206,200 nm
Cr=267,716 nm
Ni= 231,604 nm
Cd=228,802 nm
As=188,979 nm
Hg=253,652 nm

3. Bulgular ve Tartışma

Suda analizi gerçekleştirilen ağır metallere Fe, Cu ve Zn her mevsimde tüm istasyonlarda tespit edilmiştir. Cr, Ni ve Cd sadece atık sularında belirlenirken, diğer istasyonlarda cihazın ölçüm duyarlılığının altında (Cr <0,9 mg/L, Ni <0,3 mg/L, Cd <1,4 mg/L) kaldığından belirlenememiştir. As (<1,7 µg/L) ve Hg (<0,08 µg/L) ise bütün istasyonlarda cihazın ölçüm duyarlılığının altında kaldığından tespit edilememiştir.

Demir (Fe): En yüksek Fe konsantrasyonu Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karıştığı bölgede bulunan 3. istasyonda sonbahar mevsiminde (84,4 mg/L), en düşük Fe konsantrasyonu ise herhangi bir endüstriyel kuruluşun atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karışmadığı alan olarak belirlenen bölgede bulunan 6. İstasyonda ilkbahar mevsiminde (9,1 mg/L) tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Örnekleme yapılan istasyonlarda Fe konsantrasyonunun mevsimsel değişimi (mg/L)

	Yaz (2012)	Sonbahar (2012)	Kış (2013)	İlkbahar (2013)
1. İstasyon	77,2	57,8	62,2	60,7
2. İstasyon	72,9	62,8	60,9	59,8
3. İstasyon	71,2	84,4	72,4	60,1
4. İstasyon	13,7	11,5	12,2	10,9
5. İstasyon	12,4	13	13,7	9,6
6. İstasyon	10,1	11,8	12,2	9,1

Çinko (Zn): Zn konsantrasyonunun mevsimsel değişimi dikkate alındığında en yüksek Zn değerleri Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının karıştığı Aksu Çayı bölgesinde bulunan 2. İstasyonda yaz mevsiminde (61,3 mg/L) belirlenirken, en düşük Zn konsantrasyonu ise 6. İstasyonda ilkbahar mevsiminde (5,8 mg/L) saptanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Örnekleme yapılan istasyonlarda Zn konsantrasyonunun mevsimsel değişimi (mg/L)

	Yaz (2012)	Sonbahar (2012)	Kış (2013)	İlkbahar (2013)
1. İstasyon	57,1	56,4	48,5	33,5
2. İstasyon	61,3	58,5	43,6	32,7
3. İstasyon	60,4	44,4	45,3	40,3
4. İstasyon	10,2	10,9	11,2	6,3
5. İstasyon	12,7	12,4	8,9	7,4
6. İstasyon	15,6	9,2	7,8	5,8

Bakır (Cu): Cu konsantrasyonunun istasyonlara göre mevsimsel değişimi göz önüne alındığında en yüksek Cu konsantrasyonu 1. İstasyonda yaz mevsiminde (20,0 mg/L) tespit edilmiştir. En düşük Cu konsantrasyonu ise Fe ve Zn elementlerinde olduğu gibi 6. İstasyonda ilkbahar mevsiminde (0,10 mg/L) belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Örnekleme yapılan istasyonlarda Cu konsantrasyonunun mevsimsel değişimi (mg/L)

	Yaz (2012)	Sonbahar (2012)	Kış (2013)	İlkbahar (2013)
1. İstasyon	20	19,7	18,1	16
2. İstasyon	15	14,4	13,2	15,3
3. İstasyon	18	14,2	17,4	15
4. İstasyon	0,14	0,18	0,17	0,18
5. İstasyon	0,16	0,13	0,12	0,11
6. İstasyon	0,12	0,19	0,13	0,10

Krom (Cr): En yüksek Cr konsantrasyonu 2. İstasyonda sonbahar mevsiminde (29,9 mg/L), en düşük Cr konsantrasyonu ise 2. İstasyonda kış ve ilkbahar mevsimlerinde (14,1 mg/L) tespit edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Örnekleme yapılan istasyonlarda Cr konsantrasyonunun mevsimsel değişimi (mg/L)

	Yaz (2012)	Sonbahar (2012)	Kış (2013)	İlkbahar (2013)
1. İstasyon	18,8	19,2	16,5	16,5
2. İstasyon	17,6	29,9	14,1	14,1
3. İstasyon	19,2	25,7	16,9	16,9

Nikel (Ni): Ni konsantrasyonunun istasyonlara göre mevsimsel değişimi dikkate alındığında en yüksek Ni konsantrasyonu (1,9 mg/L) 1. İstasyonda sonbahar mevsiminde ve 3. İstasyonda yaz mevsiminde belirlenmiştir. En düşük Ni konsantrasyonu (1,1 mg/L) ise 1. İstasyonda ilkbahar mevsiminde ve 2. İstasyonda kış mevsiminde belirlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Örnekleme yapılan istasyonlarda Ni konsantrasyonunun mevsimsel değişimi (mg/L)

	Yaz (2012)	Sonbahar (2012)	Kış (2013)	İlkbahar (2013)
1. İstasyon	1,8	1,9	1,3	1,1
2. İstasyon	1,6	1,6	1,1	1,5
3. İstasyon	1,9	1,2	1,7	1,3

Kadmiyum (Cd): Araştırma süresince en yüksek Cd konsantrasyonu 3. İstasyonda yaz mevsiminde (8,6 µg/L), en düşük Cd konsantrasyonu ise yine 3. İstasyonda kış mevsiminde (5,2 µg/L) kaydedilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Örnekleme yapılan istasyonlarda Cd konsantrasyonunun mevsimsel değişimi (µg/L)

	Yaz (2012)	Sonbahar (2012)	Kış (2013)	İlkbahar (2013)
1. İstasyon	8,2	7,5	7	6,5
2. İstasyon	7,9	6,8	6,3	5,7
3. İstasyon	8,6	7,4	5,2	5,6

Bu çalışmada, Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının karıştığı Sır Baraj Gölü ve Aksu Çayı'ndan alınan su örneklerinde demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimleri belirlenmiştir. Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Aksu Çayı'na deşarj olduğu kanalda belirlenen 1. İstasyonda tespit edilen ağır metal değerlerinin; Fe=57,8-77,2 mg/L, Cu=16,0-20,0 mg/L, Zn=33,5-57,1 mg/L, Cr=16,5-19,2 mg/L, Ni=1,1-1,9 mg/L ve Cd=6,5-8,2 µg/L arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Aksu Çayı'nda belirlenen 2. İstasyondan alınan su örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının Fe=59,8-72,9 mg/L, Cu=13,2-15,3 mg/L, Zn=32,7-61,3 mg/L, Cr=14,1-29,9 mg/L, Ni=1,1-1,6 mg/L ve Cd=5,7-7,9 µg/L arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karıştığı bölgede belirlenen 3. İstasyondan alınan su örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları göz önüne alındığında Fe=60,1-84,4 mg/L, Cu=14,2-18,0 mg/L, Zn=40,3-60,4 mg/L, Cr=16,9-25,7 mg/L, Ni=1,2-1,9 mg/L ve Cd=5,2-8,6 µg/L arasında değişim gösterdiği bulunmuştur. Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karıştığı bölgeden uzak açık bölgede belirlenen 4. istasyondan alınan su örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının Fe=10,9-13,7 mg/L, Cu=0,14-0,18 mg/L ve Zn=6,3-11,2 mg/L arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karıştığı bölgeden uzak açık bölgede bulunan 5. istasyonda elde edilen ağır metal değerleri göz önüne alındığında, Fe=9,6-13,7 mg/L, Cu=0,11-0,16 mg/L ve Zn=7,4-12,7 mg/L arasında değişim gösterdiği bulunmuştur. Çalışma alanı içerisinde belirlenen herhangi bir endüstriyel kuruluşun atık sularının Sır Baraj Gölü'ne karışmadığı bölge olan 6. istasyondan alınan su örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının ise Fe=9,1-12,2 mg/L, Cu=0,10-0,19 mg/L ve Zn=5,8-15,6 mg/L arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük Fe, Cu ve Zn konsantrasyonları bu istasyonda kaydedilmiştir. Su örneklerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyonları dikkate alındığında istasyonlara göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Bütün istasyonlarda Fe, Cu ve Zn tespit edilirken, Ni ve Cd sadece 1., 2. ve 3. istasyonlarda saptanmıştır.

Analizi gerçekleştirilen elementlerin mevsimsel değişimi dikkate alındığında en yüksek Fe konsantrasyonu 3. İstasyonda sonbahar mevsiminde, en düşük Fe konsantrasyonu ise 6. İstasyonda ilkbahar mevsiminde tespit edilmiştir. En yüksek Cu konsantrasyonu 1. İstasyonda yaz mevsiminde belirlenmiş olup en düşük Cu konsantrasyonu 6. İstasyonda ilkbahar mevsiminde bulunmuştur. En yüksek Zn konsantrasyonu 2. İstasyonda yaz mevsiminde, en düşük Zn konsantrasyonu ise yine 6. İstasyonda ilkbahar mevsiminde belirlenmiştir. Çalışma süresince Cr sadece 1., 2. ve 3. İstasyonlarda tespit edilmiş olup en yüksek Cr konsantrasyonu 2. İstasyonda sonbahar mevsiminde, en düşük Cr konsantrasyonu ise 2. İstasyonda kış ve ilkbahar mevsimlerinde tespit edilmiştir. Ni konsantrasyonunun mevsimsel değişimi dikkate alındığında Cr elementinde olduğu gibi sadece 1., 2. ve 3. İstasyonlarda belirlenmiş olup, en yüksek Ni konsantrasyonu 1. İstasyonda sonbahar mevsiminde ve 3. İstasyonda yaz mevsiminde, en düşük Ni konsantrasyonu ise 2. İstasyonda kış mevsiminde kaydedilmiştir. En yüksek Cd konsantrasyonu 3. İstasyonda yaz mevsiminde, en düşük Cd konsantrasyonu ise 3. İstasyonda kış mevsiminde tespit edilmiştir. Genel olarak bütün elementlerin en yüksek değerleri yaz mevsiminde, en düşük değerleri ise ilkbahar mevsiminde belirlenmiştir.

Teber [20], Sıdıklı Küçükboğaz Baraj Gölü'nden alınan su örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyonlarını belirlemiştir. Sıdıklı Küçükboğaz Baraj Gölü'nden alınan su örneklerinde Cr'un bütün mevsimlerde analiz cihazının ölçüm duyarlılığının altında olduğu, Cu elementinin ise sadece ağustos ayında tespit edildiği rapor edilmiştir. Teber [20], Fe ve Zn'nun en yüksek değerlerini yaz mevsiminde kaydetmiştir. Bu çalışmada da en yüksek Fe konsantrasyonu sonbahar mevsiminde, en yüksek Zn konsantrasyonu ise yaz mevsiminde belirlenmiş olup, Teber [20]'in en yüksek Zn konsantrasyonu için elde etmiş olduğu veri ile benzerlik göstermiştir.

Sönmez vd. [21], Karasu Irmağı'nda belirledikleri beş istasyondan bir yıl süresince su örnekleri olarak Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Cd ve Pb konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Su örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının; Fe=0,01-0,3; Cu=0,05-0,79; Zn=0,05-1,32; Mn=0,02-0,99; Pb=0,00-0,10; Ni=0,01-0,14 ve Cd=.000-0,008 ppm arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen veriler göz önüne alındığında ağır metal konsantrasyonlarının Sönmez vd. [21]'nin Karasu Irmağı'nda suda buldukları değerlerden yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kalyoncu vd. [22] Isparta Deresi'nde suda bazı ağır metallerin konsantrasyonlarını belirledikleri çalışmada, Cu ve Zn değerlerinin sadece bir istasyonda cihazın ölçüm duyarlılığının altında kaldığı için belirlenemediğini, suda en fazla biriken ağır metalin Fe, en az biriken ağır metalin ise Cd olduğunu bildirmişlerdir. Sudaki ağır metallerin konsantrasyonlarının Cd=0,06-1,37; Cr=0,09-9,89; Cu=0,77-35,44; Ni=10,41-55,50; Pb=9,88-26,43; Zn=1,09-57,90 ve Fe=291,85-3082,41 ppb arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Kalyoncu vd. [22]'nin Isparta Deresi'nde belirledikleri ağır metal konsantrasyonları bu çalışmada elde edilen veriler ile karşılaştırıldığında Isparta Deresi'nde belirlenen ağır metal değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Dündar vd. [23] çeşitli endüstri sanayilerinin atık sularında Pb, Cr, Cu, Zn ve Ni düzeylerini belirledikleri çalışmada en yüksek Cu konsantrasyonunu 0,377 mg/L olarak kaplama ve tekstil sanayinde, en yüksek Pb konsantrasyonunu 0,103 mg/L olarak kaplama sanayinde, en yüksek Ni konsantrasyonunu 0,963 mg/L olarak kaplama sanayinde, en yüksek Zn konsantrasyonunu 0,106 mg/L olarak kaplama ve deri sanayinde, en yüksek Cr konsantrasyonunu ise 0,145 mg/L olarak kaplama ve deri sanayinde tespit etmişlerdir. Dündar vd. [23]'nin çeşitli endüstri kuruluşlarının atık sularında belirledikleri ağır metal konsantrasyonlarının bu çalışmada muhtelif sanayi atık sularının boşaldığı 1. İstasyonda ölçülen değerlerden düşük olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın yürütüldüğü sucül ekosistemlerde ağır metal konsantrasyonlarında görülen bu farklılık değişik sanayi türlerindeki atık suların farklı ağır metaller içerdiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Toroğlu vd. [13] Aksu Çayı'nın kirliliğini araştırdıkları çalışmada Aksu Çayı'nda ve kollarında ağır metallere kaynaklı yüksek oranlarda kirlenmenin olduğunu tespit etmişlerdir. Akarsuların Pb, Cu, Fe ve Ni bakımından kirli, Mn ve Zn bakımından az kirli veya temiz sular sınıfına girdiğini bildirmişlerdir. Toroğlu vd. [13] bakterilerin evsel, endüstriyel ve tarımsal kirlilik ortaya çıkaran maddelerin yapımında çok kullanıldığı düşünülen ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik etki yapabilen ağır metallere yapılan dirençlilik testlerinde endüstriyel kirlenmenin varlığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca Aksu Çayı ve kollarında ağır metallere meydana getirdiği kirliliğin yüksek seviyede olduğunu ve bu kirliliğin Sır Baraj Gölü'nde depolandığını rapor etmişlerdir. Toroğlu vd. [13]'nin elde ettiği bulgular, bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Aksu Çayı ve Sır Baraj Gölü'nde meydana gelen kirliliğin fazla olduğu bulgusunu desteklemektedir.

Uçkun vd [24] Atatürk Baraj Gölü (Fırat Nehri)'nden alınan su ve sediment örneklerinde bazı ağır metal konsantrasyonlarının (Fe, Cu, Pb, As, Hg, Cr, Mn, Cd, Co, Zn ve Ni) mevsimsel değişimini araştırmışlardır. Uçkun vd [24] su örneklerindeki ortalama metal konsantrasyonlarını Fe=24,66; Zn=4,38; Cu=4,26; Mn=2,95; Ni=1,60; Pb=1,078; Co=0,745; As=0,51; Cr=0,311; Cd=0,16 ve Hg=0,015 mg/L olarak tespit etmişlerdir.

Minareci ve Çakır [25] Büyük Menderes Nehri üzerinde bulunan enerji üretimi, taşkın koruma ve tarımsal sulama amaçlı inşa edilen Adıgüzel Baraj Gölü (Denizli)'nden aldıkları su örneklerinde bazı ağır metal düzeylerini tespit etmişlerdir. Minareci ve Çakır [25] su örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının Cu=0,0004-0,0049 mg/L, Ni=0,0043-0,0396 mg/L, Cr =0,0009-0,0196 mg/L ve Pb=0-0,0004 mg/L arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Gölde bor ve ağır metal konsantrasyonlarının kritik değerlerden düşük olmasının, gölün endüstri bölgesine ve termal suların çıktığı bölgeye uzak olmasından kaynaklandığı ve göl sularının özellikle tarımsal amaçlı sulama kullanımına uygun olduğu bildirilmiştir.

Uçkun vd [24]'nin Atatürk Baraj Gölü suyunda ve Minareci ve Çakır [25]'in Adıgüzel Baraj Gölü suyunda buldukları ağır metal değerlerinin, bu çalışmada elde edilen değerlere göre daha düşük olduğu bulunmuştur.

Varol [26] Keban Baraj Gölü'nde suda bazı ağır metallere (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) mevsimsel değişimini, bu ağır metallere kaynaklarını tespit etmiş ve risk analizi yapmıştır. Varol [26] su örneklerindeki ağır metallere mevsimsel değişimini Fe ($\mu\text{g/L}$); sonbahar=56, kış=22, ilkbahar=23, yaz=12; Cu ($\mu\text{g/L}$); sonbahar=6,1, kış=4,8, ilkbahar=4,1, yaz=1,8; Zn ($\mu\text{g/L}$); sonbahar=9,8, kış=8,0, ilkbahar=5,6, yaz=2,9; Cr ($\mu\text{g/L}$); sonbahar=3, kış=2,9, ilkbahar=2,7, yaz=2,5; Ni ($\mu\text{g/L}$); sonbahar=3,6, kış=2,9, ilkbahar=2,3, yaz=1,6 ve Cd ($\mu\text{g/L}$); ilkbahar=0,11, yaz=0,08 olarak belirlemiştir. Varol [26] Keban Baraj Gölü'nde sudaki en yüksek ağır metal konsantrasyonlarını sonbahar mevsiminde, en düşük ağır metal konsantrasyonlarını ise yaz mevsiminde tespit etmiştir.

Bu çalışmada genel olarak bütün elementlerin en yüksek değerleri yaz mevsiminde, en düşük değerleri ise ilkbahar mevsiminde belirlenmiştir. Bu bulgu, Varol [26]'un elde ettiği bulgu ile farklılık göstermekte olup, bu farklılığın Aksu Çayı ve Sır Baraj Gölü'ne karışan organize sanayi bölgesi atık su miktarının mevsimsel olarak değişiklik göstermesinden kaynaklanmış olabileceğini düşündürmektedir.

Araştırma süresince belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyonlarının USEPA [27] tarafından tatlı sular için oluşturulan kriterlere göre değerlendirilmesi Tablo 7'de verilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen ağır metal konsantrasyonları göz önüne alındığında Fe, Cu, Zn, Cr ve Ni değerleri USEPA [27] standartlarının oldukça üstünde bulunmuştur. Bu verilere göre örnekleme yapılan bölgede ciddi bir ağır metal kirliliği olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 7. Tatlı sular için önerilen ağır metal kriterleri (mg/L), [27]

Metaller	Cu	Fe	Zn	Cr	Ni
USEPA					
MK	0,013	-	0,12	0,57	0,47
SK	0,009	1	0,12	0,074	0,052
İSTASYONLAR					
1. İstasyon	18,45	64,47	48,87	17,75	1,52
2. İstasyon	14,47	64,1	49,02	18,92	1,45
3. İstasyon	16,15	72,02	47,6	19,67	1,52
4. İstasyon	0,16	12,075	9,65	*	*
5. İstasyon	0,13	12,175	10,35	*	*
6. İstasyon	0,13	10,8	9,6	*	*

MK: Maksimum konsantrasyon

SK: Sürekli konsantrasyon

*: Cihazın ölçüm duyarlılığının altında kaldığından tespit edilememiştir.

Bu çalışmada, Aksu Çayı ve Sır Baraj Gölü'nde belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerindeki ağır metal değerleri, WHO ve EC tarafından verilen standart değerlere göre de karşılaştırılmıştır (Tablo 8). Buna göre Fe, Cu, Zn, Cr ve Ni konsantrasyonları WHO [28] ve EC [29] tarafından belirlenen maksimum değerlerin çok üzerinde çıkmıştır. Bu veriler ışığında tekstil, kaplama ve diğer endüstri fabrikalarından Aksu Çayı'na deşarj olan atık suların Sır Baraj Gölü'ne ağır metal taşıdığı açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 8. WHO [28] ve EC [29] tarafından ağır metaller için verilen standart değerler ve bu çalışmada su örneklerinde belirlenen ağır metal konsantrasyonları (mg/L)

Metaller	Zn	Fe	Ni	Cu
WHO [28]	-	0,3	-	-
EC [29]	-	0,2	0,02	2
1. İstasyon	48,87	64,47	1,52	18,45
2. İstasyon	49,02	64,1	1,45	14,47
3. İstasyon	47,6	72,02	1,52	16,15
4. İstasyon	9,65	12,075	*	0,16
5. İstasyon	10,35	12,175	*	0,13
6. İstasyon	9,6	10,8	*	0,13

*: Cihazın ölçüm sınırının altında olduğundan belirlenememiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı doğrultusunda her alanda olduğu gibi çevre ile ilgili araştırmalarda da çözüme ulaşmak için öncelikle sorunları bilmek ve anlamak gerekir. Son yıllarda çevre sorunları küreselleşmenin bir sonucu olarak uluslararası bir boyut kazanmaya başlamış ve dünyanın ortak sorunu haline gelmiştir. Bu nedenle çevre sorunları insan sağlığı ve doğal dengeyi korumak adına ülkelerin gündem maddeleri içinde üst sıralarda yer almaya başlamıştır. Dolayısıyla bütün sucul ekosistemlerde de kirliliğe neden olan kirletici kaynakların belirlenmesi, bu kirletici kaynakların canlılar ve su kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerinin araştırılması büyük önem kazanmıştır. Çevresel değerleri sürdürülebilmek için çevre kirliliği ile ilgili sorunların ulusal ve uluslararası boyutunun ele alınarak önerilerde bulunulması ve uygulamaya konulması gerekmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında tekstil, kaplama ve diğer endüstriyel tesisler ve fabrikalardan Aksu Çayı'na deşarj olan atık suların Sır Baraj Gölü'ne ağır metal taşıdığı sonucuna varılmış olup, çevresel felaketlerin önlenmesi için bütün işletmelerde arıtma tesislerinin kurulması ve etkin bir şekilde çalıştırılması büyük önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmayı maddi yönden destekleyen (FÜBAP-SÜF 12.11) Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz. Bu çalışma yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Förstner U., Wittmann G.T.W. 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environments. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 366p.
- [2] Perry J., Vanderklein E. 1996. Water Quality Management of a Natural Resource. Blackwell Science, 639p.
- [3] Al-Yousuf M.H., El-Shahawi Al-Ghais S.M. 2000. Trace Metals in Liver, Skin, and Muscle of *Lethrinus lentjan* Fish Species in Relation to Body Length and Sex. Science of the Total Environment, 256: 87-94.
- [4] Alam M.G.M., Tanaka A., Allinson G., Laurensen L.J.B., Stagnitti F., Snow E.T. 2002. A Comparison of Trace Element Concentrations in Cultured and Wild Carp (*Cyprinus carpio*) of Lake Kasumigaura, Japan. Ecotoxicology and Environmental Safety, 53: 348-354.
- [5] Liaghati T., Proda M., Malcolm C. 2003. Heavy Metal Distribution and Controlling Factors within Costal Plain Sediments, Bell Grek Catchment, Southeast Queensland, Australia. Environment International, 29: 935-948.
- [6] Ikem A., Egiebor N.O. 2005. Assessment of Trace Element in Canned Fish (Mackerel, Tuna, Salmon, Sardines and Herrings) Marketed in Georgia and Alabama (United States of America). Journal of Food Composition and Analyses, 18: 771-787.
- [7] Brodheridge R.M., Newton K.E., Taggart M.A., McCormick P.H., Evans S.W. 1998. Nickel, Cobalt, Zinc and Copper Levels in Brown Trout (*Salmo trutta*) from the River Otra, Southern Norway. Analyst, 123: 69-72.
- [8] Phipps D.A. 1981. Chemistry and Biochemistry of Trace Metals in Biological Systems, in Effect of Heavy Metal Pollution on Plant. Edited by Lepp N.W. London, UK, Applied Science Publishers, 1-54.
- [9] Carranza-Alvarez C., Alonso-Castro A.J., Alfaro-De La Torre M.C., Garcia-De La Cruz R.F. 2008. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an Artificial Lagoon in San Luis Potos, Mexico, Water Air Soil Pollution, 188: 297-309.
- [10] Babula P., Adam V., Opatrilova R., Zehnalek J., Havel L., Kizek R. 2008. Uncommon Heavy Metals, Metalloids and their Plant Toxicity a Review. Environmental Chemistry Letters, 6, 189-213.
- [11] Yılmaz F. 2004. Mumcular Barajı (Muğla-Bodrum)'nın fiziko-kimyasal özellikleri. Ekoloji, 13 (50): 10-17.
- [12] Gürbüz M. 2001. Kahramanmaraş Merkez İlçe'nin Beşeri ve İktisadi Coğrafyası. İl Kültür Müdürlüğü Yayınları, Kahramanmaraş, No: 2, 241s.
- [13] Toroğlu E., Toroğlu S., Alaeddinoğlu F. 2006. Aksu Çayı'nda (Kahramanmaraş) akarsu kirliliği. Coğrafi Bilimler Dergisi, 4: 93-103.
- [14] Kumru S. 2009. Sır Barajı Gölü'nde (Kahramanmaraş) Zooplankton Yoğunluğunun Aylara ve Derinliğe Göre Değişimi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [15] Kara C. 1999. Sır Baraj Gölü'nde Yaşayan *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843) ve *Leuciscus cephalus* (Linn. 1758)'un Bazı Biyolojik Özellikleri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 105s, Ankara.
- [16] Çömlekçioglu U. 2003. Sır Baraj Gölü Kirliliğinin Fizikokimyasal Parametrelerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 80s, Kahramanmaraş.
- [17] URL. <http://www.googleearth.com>, (Erişim tarihi: 18.02.2019).
- [18] Cataldo D., Colombo J.C., Boltovskoy D., Bilos C., Landons P. 2001. Environmental Toxicity Assessment in the Parana River Delta (Argentina): Simultaneous Evaluation of Selected Pollutants and Mortality Rates of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) Early Juveniles. Environment

- Pollution, 112: 379-389.
- [19] APHA 1985. Standart Methods for Examination of Water and Wastewater. 16th ed. American Public Health Association, Washington, 1268 p.
- [20] Teber Ç. 2013. Sıdıklı Küçükboğaz Baraj Gölü (Kırşehir)'nde Yaşayan Kadife Balığı (*Tinca tinca* L.,1758)'nda Ağır Metal Birikimi. Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 76s, Kırşehir.
- [21] Sönmez A., Hisar O., Yanık T. 2012. Karasu Irmağı'nda Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti ve Su Kalitesine Göre Sınıflandırılması. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 43 (1): 69-77.
- [22] Kalyoncu H., Özan C., Tekin-Özan S. 2016. Isparta Deresi'nin Su ve Sedimentlerindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (Ek Sayı 1): 268-280.
- [23] DüNDAR M.Ş., Altundağ H., Kaygaldurak S., Şar V., Acar A. 2012. Çeşitli Endüstriyel Atık Sularda Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16 (1): 6-12.
- [24] Uçkun A.A., Yoloğlu E., Uçkun M. 2017. Seasonal Monitoring of Metals in Water, Sediment and Mussel (*Unio mancus*) from Atatürk Dam Lake (Euphrates River). Van Veterinary Journal, 28 (2): 75-83.
- [25] Minareci O., Çakır M. 2018. Determination of Detergent, Phosphate, Boron and Heavy Metal Pollution in Adıgüzel Dam Lake (Denizli/Turkey). Iğdır University Journal of the Institute Science and Technology, 8 (1): 61-67.
- [26] Varol M. 2019. Arsenic and Trace Metals in a Large Reservoir: Seasonal and Spatial Variations, Source Identification and Risk Assessment for both Residential and Recreational Users. Chemosphere, 228: 1-8.
- [27] USEPA 2002. National Recommended Water Quality Criteria. Office of Water, 822-R-02-047.
- [28] WHO 1993. Guidelines for Drinking Water Quality, Recommendations. Edited by World Health Organization, Geneva, 2nd., Vol. 1.
- [29] Environment Canada, 1994. Monitoring Surface Water Quality: A Guide for Citizens. Students and Communities in Atlantic Canada, 101 p.

Araştırma Makalesi / Research Article

Sapanca Gölü (Sakarya) Havzası Toprak ve Sedimentlerinden *Streptomyces* Cinsi Bakterilerin İzolasyonu, Karakterizasyonu ve Teşhisi

Dilara Hande ÜNAL¹, Kerem ÖZDEMİR^{2*}

¹Van Yüzcü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van

²Bandırma On Yedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma, Balıkesir

Öz

Bu çalışmada, Sakarya ili sınırlarında bulunan Sapanca Gölü havzası toprak ve sedimentlerinden *Streptomyces* cinsi bakterileri izole edilerek karakterizasyon ve teşhisi yapılmıştır. Toplam 6 farklı lokaliteden alınan 12 toprak numunesinin fiziko-kimyasal analizleri yapılmış ve pH'larının 6,12 ile 7,58 değerleri arasında olduğu saptanmıştır. Saflaştırılan 60 *Streptomyces* izolatu havasal, misel ve difüzye pigment rengi esas alınarak 4 ana gruba ayrılmıştır. *Streptomyces* izolatlarına, antibiyotik duyarlılığı, degradasyon aktivitesi, büyüme, azot ve karbon kaynağı kullanımı testleri uygulanmıştır. Tüm izolatların fenotipik ve biyokimyasal karakterleri belirlenerek IDENTAX bilgisayar programına bu veriler aktarılmış, cins içerisindeki pozisyonları belirlenerek teşhisleri yapılmıştır. Teşhis edilenler türler arasında *Streptomyces cyaneus*, *Streptomyces filipinensis*, *Streptomyces exfoliatus*, *Streptomyces chromogenus*, *Streptomyces chromofuscus*, *Streptomyces griseoruber*, *Streptomyces antibioticus*, *Streptomyces lydicus*, *Streptomyces lavendulae* ve *Streptomyces purpureus* türleri bulunmaktadır. Teşhisleri tamamlanan *Streptomyces* izolatlarının test sonuçları MVSP 3.2 bilgisayar programı ile birbirleri arasındaki benzerlik dendogramları oluşturulmuştur. Renk kümelerini temsilen seçilen 4 suşun DNA izolasyon ve dizi analizleri yapılmış ve 27F ile 1492R evrensel primerleri kullanılarak 16S rDNA geni kısmi olarak PCR ile çoğaltılmıştır. Bu dört bakterinin GenBank veri tabanındaki türlerle olan akrabalık dereceleri ve genetik pozisyonları dendogramlar şeklinde ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: *Streptomyces*, 16S rDNA, Sapanca Gölü.

Isolation, Molecular Characterization and Identification of Bacteria the Genus *Streptomyces* from Basin Sedimentary Soil of Sapanca Lake (Sakarya)

Abstract

In this study, *Streptomyces* bacteria were characterized and identified after being isolated from the soil and sediments of Lake Sapanca in Sakarya province. Physico-chemical analyzes of 12 soil samples taken from 6 different localities on total, were carried out. It was determined that the pH values of the soil samples were between 6.12 and 7.58. The purified 60 *Streptomyces* isolates were divided into 4 main groups based on air, micelle and diffuse pigment colour. *Streptomyces* isolates were analysed and tested for antibiotic susceptibility, degradation activity, growth, nitrogen and carbon source use. Phenotypic and biochemical characteristics of all isolates were determined and these data were transferred to IDENTAX computer program and their positions were identified and diagnosed. Species identified include *Streptomyces cyaneus*, *Streptomyces filipinensis*, *Streptomyces exfoliatus*, *Streptomyces chromogenus*, *Streptomyces chromofuscus*, *Streptomyces griseoruber*, *Streptomyces antibioticus*, *Streptomyces lydicus*, *Streptomyces lavendulae* ve *Streptomyces purpureus*. The test results of the *Streptomyces* isolates, which have been diagnosed, were compared with the MVSP 3.2 computer program to establish similarity dendograms. DNA isolation and sequence analysis of 4 selected colonies were performed and 27F and 1492R universal primers were used to amplify the 16S rDNA gene partially by PCR. The genesis and genetic positions of these four bacteria with the species in the GenBank database are presented as dendograms.

Keywords: *Streptomyces*, 16S rDNA, Lake Sapanca.

*Sorumlu yazar: keremozdemir@bandirma.edu.tr

Geliş Tarihi: 14.03.2019, Kabul Tarihi: 30.07.2019

1. Giriş

1928 yılında Alexander Flaming'in ilk doğal antibiyotik olan penisilini keşfi ile *Streptomyces* çalışan bilim insanları bu bakterilerde doğal sekonder metabolit arayışına hızlı bir giriş yapmışlardır. *Streptomyces* bakterilerinin doğal sekonder metabolitleri üzerine çalışmalar, Waksman ve öğrencisi Albert Schatz'ın *Mycobacterium tuberculosis*'e karşı ilk etkili antibiyotik olan *Streptomyces griseus*'un bir ürünü; streptomycin'i keşfetmesi ile hız kazanmıştır [1]. Bu keşifle beraber 1950 ve 1960'lı yıllarda çok sayıda antibakteriyel ve antifungal antibiyotikler bulunmuş ve bu dönem antibiyotik keşiflerinin Altın Çağ'ı olarak adlandırılmıştır [2,3]. Bu doğrultuda *Streptomyces* türlerinin ürettiği biyoteknolojik açıdan önemli primer ve sekonder metabolitlerden dolayı son 40 yıl içerisinde dünya çapında daha geniş çalışmalar yapılmıştır [4].

Streptomyces türleri Gram-pozitif, aerobik, katalaz pozitif, asit-fast olmayan, G+C oranı %69-78 arasında değişen ve yaşam döngüleri süresince morfolojik farklılaşma gösteren bakterilerdir. *Streptomyces* türleri çoğu bakteri türünde görülmeyen miselyumlardan oluşmaktadırlar. Uygun şartlarda toprakta bulunan dinlenme halindeki sporları, henüz bilinmeyen bir sinyal yoluyla vejetatif ve sonrasında havasal miselyumları oluşturur [5]. Çoğunlukla *Streptomyces* türleri topraktan izole edilmelerine rağmen hem sucul hem de karasal habitatlarda oldukça geniş dağılım gösterirler [6,7]. İzolatların dünyanın birçok farklı bölgesinden izole edilmeleri bu durumu açıklamaktadır. *Streptomyces* bakterileri toprakta saprofit olarak yaşarlar ve bitki ve hayvan kısımlarının ayrıştırılmasında önemli bir role sahiptirler. Çoğunlukla da kitin, polisakkarit, protein, aromatik bileşenler ve lignoselülozu içeren tortuların degradasyonundan sorumlu ekstraselüler enzimler üretirler. *Streptomyces* türleri bir lignoselüloz bileşiğindeki selüloz ve hemiselüloz ile birlikte doğada bulunan lignini ayrıştırabilir. Bundan dolayı besinlerin döngüsüne ve dönüştürülmesine katkı sağlamaktadırlar [7]. Ayrıca birçok türü toprak fungusunu parçalar ya da inhibe eder.

Streptomyces türleri actinomisetler arasında ekonomik açıdan önemli bir gruptur. Çünkü sekonder metabolit üreticilerin başında gelirler. 23000'den fazla bilinen mikrobiyal sekonder metabolitin %42'si Aktinobakterler, %42'si funguslar ve %16'sı diğer bakteriler tarafından üretilir. Günümüze kadar bilinen antibiyotiklerin yaklaşık üçte ikisi Aktinobakteriler tarafından, bunların da yaklaşık %75'i *Streptomyces* bakterileri tarafından üretilir [8]. Ayrıca *Streptomyces* türlerinin ürettiği diğer değerli metabolitler; immunosupressif (bağışıklık baskılayıcı), pestisit, antifungal, antiviral, antioksidan, antitümoral, antiparazitik, antihipertansif (kan basıncını düşüren) ve antikanser ilaçlarını kapsar. Bu kapasitelerinden dolayı *Streptomyces* bakterileri prokaryotlar arasında ayrı bir öneme sahiptir.

2. Materyal ve Metot

Bu araştırmanın materyalini; Sapanca Gölü (Sakarya) çevresinden toplanan sediment örnekleri oluşmaktadır.

2.1. Toprak örneklerinden *Streptomyces* bakterilerinin izolasyonu ve saflaştırılması

Toplanan sediment örneklerinin ilk olarak pH ölçüldü ve nem tespitleri yapılmıştır. *Streptomyces* bakterilerin izolasyonu için M65 ve SM3 besi yeri hazırlandı. 1/10'luk ve 1/10.000'lik seyreltmelerden M65 ve SM3 plakların yüzeyine 100µl ilave edilerek iyice yayıldı. Petri kapları 27°C'de 7 gün inkübasyona bırakıldı. İnkübasyonu müteakip üreyerek havasal misel ve substrat miseli oluşturan koloniler, muhtemel *Streptomyces* bakteri kolonileri olarak değerlendirildi. M65 ve SM3 besiyerinde gelişen karışık kültürden steril Bennets agar besiyerlerine öze yardımıyla çizgi plak yöntemi ile ekimler yapılarak saf kültürler elde edildi. Saf kültürler % 20'lik gliserol içeren kriyojenik tüplere aktarılıp derin dondurucuda muhafaza edildi. Tüm izolatların teşhisi için renk gruplandırılması tamlanarak substrat ve havasal misel renkleri belirlendi. Saflaştırılan suşların renk gruplandırması için oatmeal agar (ISP 3) [9]; besiyerine çizgi ekim metoduyla ekim yapıldı. İzolatlar 14 gün 28°C'de inkübe edildikten sonra havasal miselyum rengi ve substrat miselyum renkleri renk kataloğuna göre tespit edildi ve gruplandırma yapıldı.

2.2. Potansiyel *Streptomyces* suşlarının karakterizasyonu ve teşhisi

60 potansiyel *Streptomyces* izolatu Uluslararası *Streptomyces* Projesi tarafından verilen talimatlara uyarak karakterize edildi [9-11]. Makro-morfolojik, mikro-morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasallar ile kemotaksonomik özellikleri belirlendi. Fizyolojik ve biyokimyasal testler tuz toleransı, karbon kullanımı, azot kaynakları, melanin sentezi, degradasyon testleri, antibiyogram, gelişim testlerini içermiştir [12].

Test organizmaları Williams ve arkadaşları tarafından belirtilen major *Streptomyces* grupları için tespit edilen teşhis matrislerine göre teşhis edildi [7]. Bilgisayar yardımıyla teşhis için IDENTAX Bacterial Identifier 1.2 programı kullanıldı. Seçilmiş olan 60 *Streptomyces* test suşu için yapılan 61 farklı test sonuçlarının MVSP 3.2 (Multi-Variate Statistical Package) programında S_{SM} (Simple Matching Coefficient) konfisyentlerine göre UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Average Cluster) analizleri yapıldı ve dendogram oluşturuldu. Spor zincir morfolojisi elektron mikroskobu (SEM) ile belirlendi.

2.3. Genomik DNA'nın izolasyonu ve saflaştırılması

Çalışmada renk gruplandırması ve nümerik analiz sonucu elde edilen dendogram gruplarına göre toplam 4 test organizması seçilerek, her bir suşun tek bir kolonisi alındı 7 gün boyunca 28 °C'de M65 agar besiyerinde geliştirildi. İzole edilen bakterilerden genomik DNA izolasyonu için Ausubel ve arkadaşlarının metodu modifiye edilerek kullanıldı [13].

2.4. 16S rDNA geninin Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) ile çoğaltılması

Bakterilerin bütün hücre DNA'sı izole edildikten sonra 27F ve 1492R evrensel primerleri kullanılarak 16S rDNA gen bölgesi amplifiye edildi [14]. PCR programı başlangıç 95°C'de 5 dk, 35 döngü, denatürasyon için 95°C'de 1 dk, annealing 55°C'de 1 dk, uzama için 72°C'de 1 dk ve son olarak 72°C'de 10 dk olarak ayarlandı. PCR'da çoğaltılmış 16S rDNA'ları % 1'lik 0.5 µg/ml ethidium bromide içeren agaroj jelde (0.5 X TBE tampon) koşuturuldu. Yaklaşık 5 µl PCR ürünü jel yükleme boyası ile birlikte karıştırılarak jele yüklendi ve 100 voltta 1 saat boyunca koşuturuldu [15]. Temsilci test organizmalarının 16S rDNA amplifikasyon ürünleri saflaştırıldıktan sonra hedef bölgenin baz dizilimi ABI PRISM Genetic Analyzer otomatik sekanslama cihazı kullanılarak elde edildi.

2.5. Sekans benzerlikleri ve filogenetik analiz

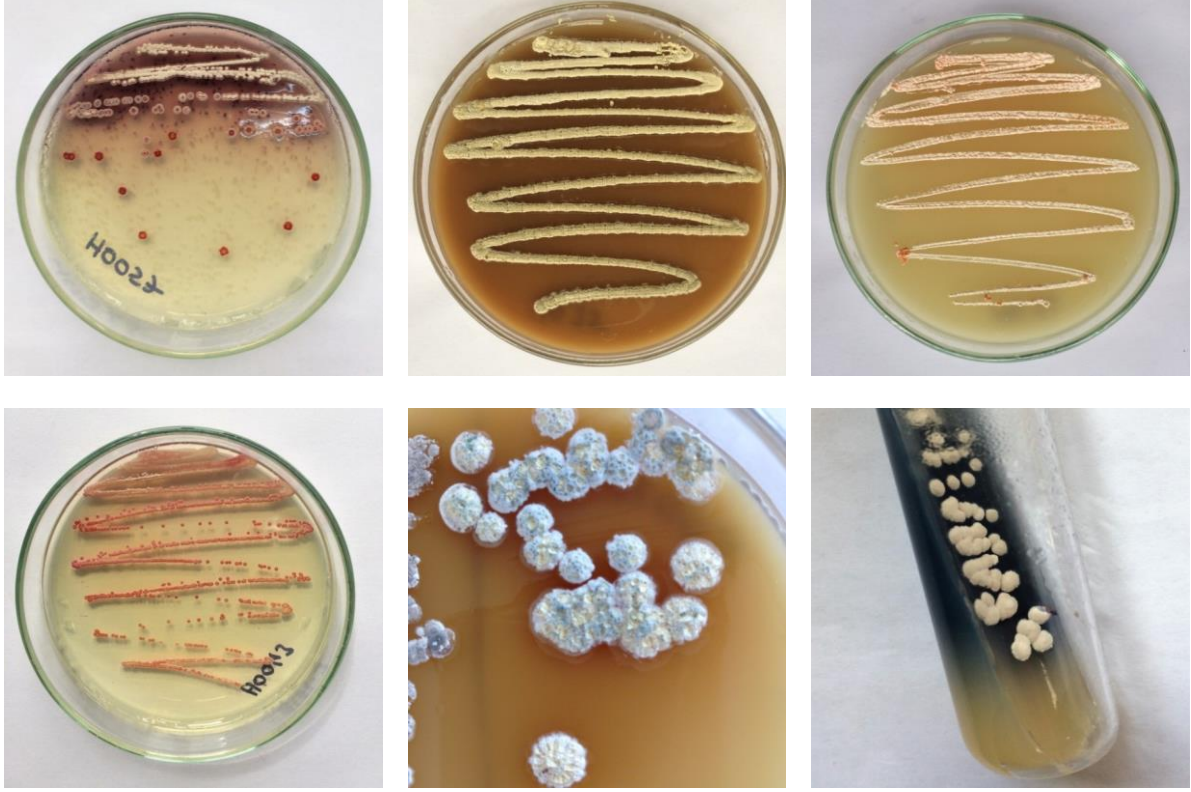
NCBI/GenBank data bank aracılığıyla *Streptomyces* 16S rDNA nükleotid baz dizileri Mega7 programı kullanılarak hem veri tabanındaki yakın türlerle hem de kendi aralarında analiz edildi. Tüm izolatların 16S rDNA nükleotid baz dizileri filogenetik dendogramların oluşturulması için kullanıldı. İzolatların baz dizileri NCBI gen bankasına kaydedildi ve giriş numaraları (accession number) alındı. Mega7 programı ile neighbour-joining metodu kullanılarak türlerin sekans yapılan gen bölgelerine göre filogenetik pozisyonları ve benzerlik oranları belirlendi. Türlerle en yakın en az üç takson ile benzerlik oranları tablo olarak sunuldu ve son olarak türlerin akrabalık durumlarının şematize edildiği dendogramlar oluşturuldu.

3. Bulgular ve Tartışma

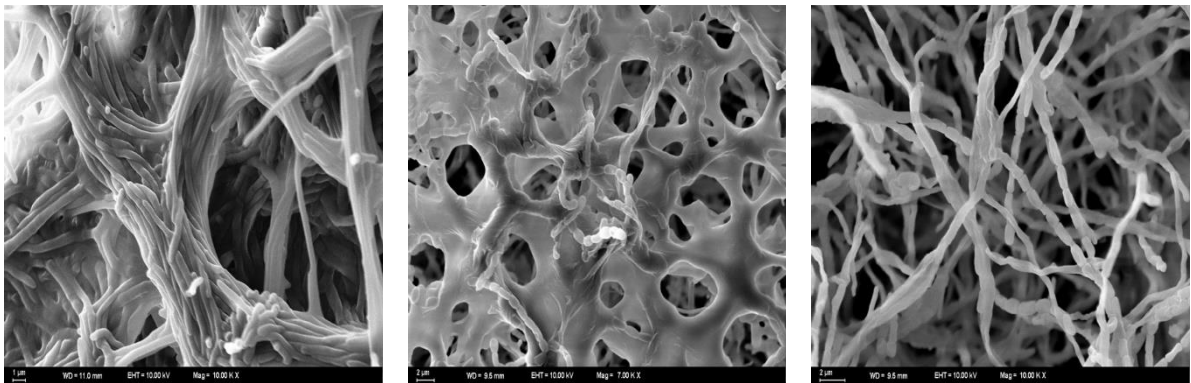
Sakarya-Sapanca Gölü ve çevresinden alınan 12 toprak numunesinin izolasyon öncesinde ölçülen pH değerleri 6,12 ile 7,58 arasında değişiklik gösterdi. Bennett's Agar besi ortamında saflaştırılan toplam 60 *Streptomyces* suşu Oatmeal Agar besi ortamında ekim sonucu test izolatları 4 renk grubuna ayrıldı. Renk gruplandırması substrat, havasal miselyum ve difüziye pigment rengi dikkate alınarak yapıldı. Oluşan 4 renk grubu sırasıyla 29 (beyaz), 7 (sarı), 22 (gri) ve 2 (krem) test organizması içerdi.

Bilgisayar yardımıyla teşhis için IDENTAX Bacterial Identifier 1.2 programı kullanıldı. Bu program yardımıyla test suşlarının major taksonlar için oluşturulan matrislere göre teşhisleri yapıldı. Sonuçta 60 *Streptomyces* suşundan 20 tanesi %85'in altında benzerlik gösterdi. Seçilmiş olan 60 *Streptomyces* test suşu için yapılan 61 farklı test sonuçlarının MVSP 3.2 (Multi-Variate Statistical

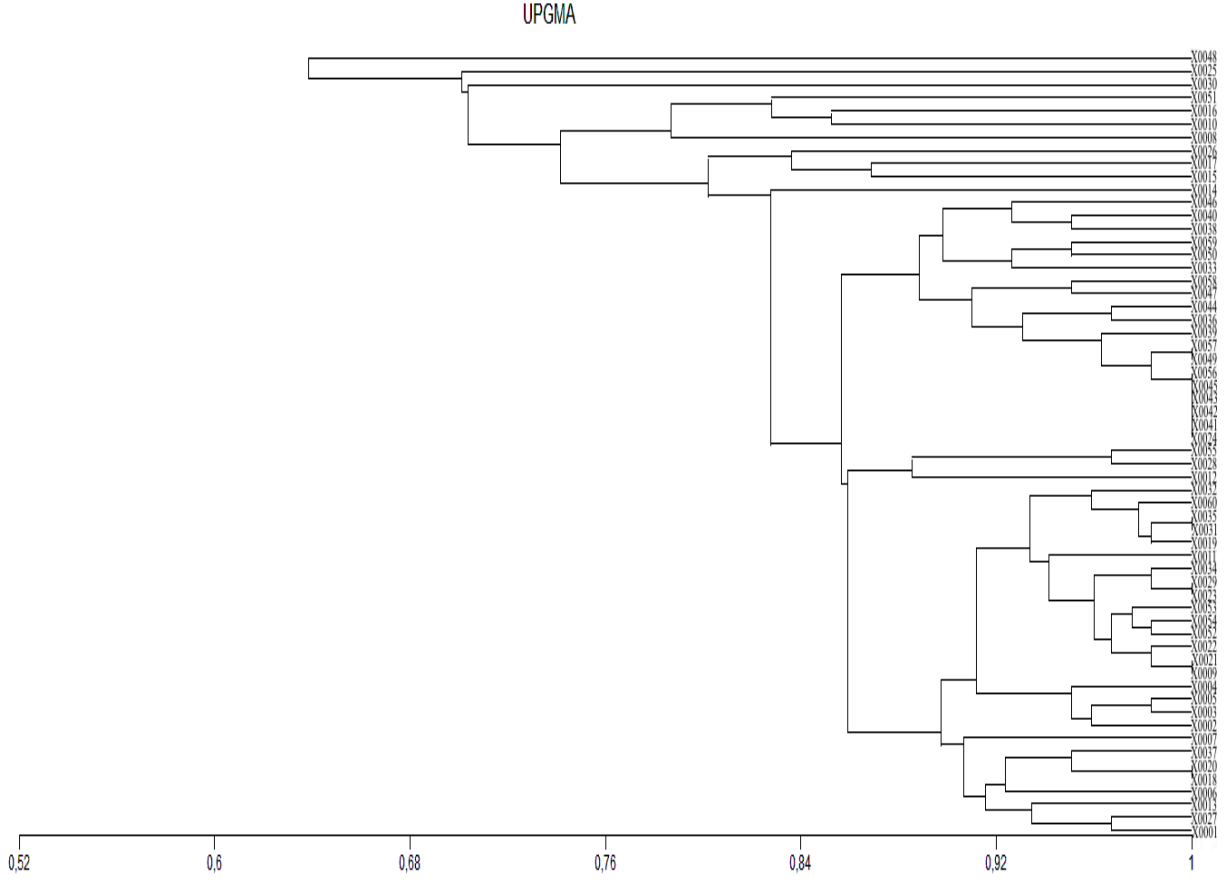
Package) programında SSM konfsiyentlerine göre UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Average Cluster) analizleri yapıldı. SSM-UPGMA (Simple Matching Coefficient) konfsiyent analizlerine göre seçilen mikroorganizmaların dendogramı oluşturuldu. Dendogram %85 benzerlik oranına göre toplam 3 küme oluşturdu. Bu kümelerin 1'i major, 2'si minör iken, 7 tanesi tekli üyedir.



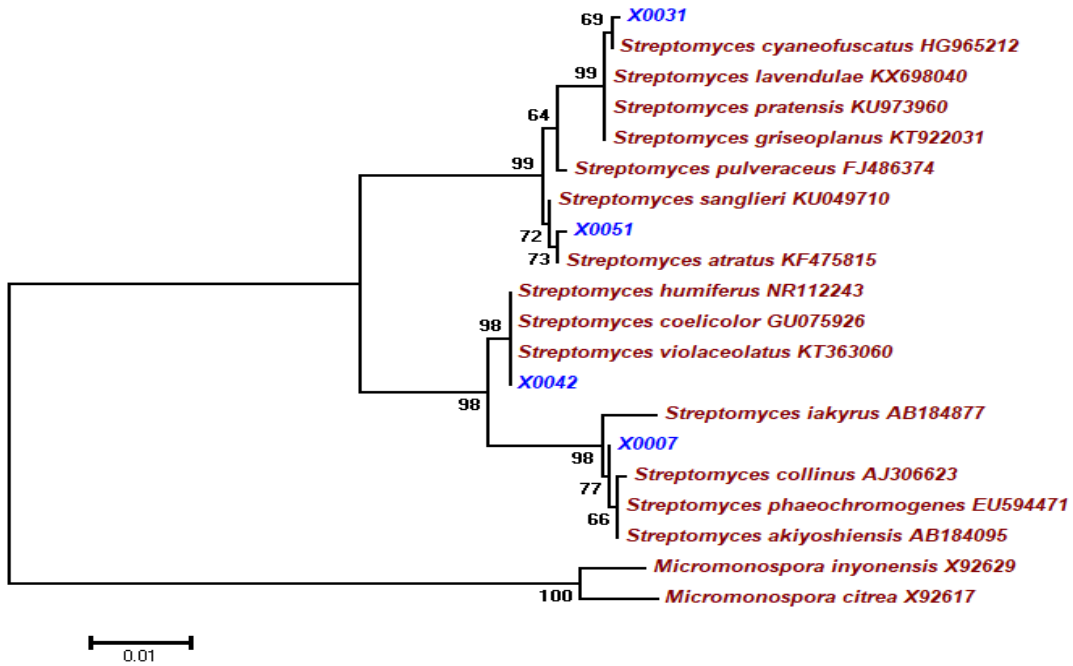
Şekil 1. Saflaştırma çalışmalarında *Streptomyces* suşlarının Medium 65 ve Bennet's Agar besi ortamlarında 27°C'de 14 gün inkübasyon sonucu gelişen kolonileri



Şekil 2. Bazı *Streptomyces* türlerinin koloni gelişiminin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmesi



Şekil 3. 60 *Streptomyces* test izolatu için 61 farklı karakter bakımından uygulanan test sonuçlarının MVSP 3.2. (Multi Variate Statistical Package) programı (SSM) Simple Matching Coefficient ile oluşturulan dendrogram



Şekil 4. *Streptomyces* izolatlarının 16S rDNA dizi analizi sonuçlarına göre Mega7 programı ile oluşturulan filogenetik dendrogramı

Streptomyces bakterileri genelde su ve toprağı içeren bütün ekosistem tiplerinde bulunurlar ancak toprak ortamını diğerlerine tercih ederler [24]. Özdemir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada toprakta izole edilen 139 *Streptomyces* suşu 39 renk grubuna ayrılmıştır [25]. Biz de çalışmamızda koloni sayım sonuçlarına göre göl içerisinden alınan toprak numunelerinde daha az *Streptomyces* bakterisine rastlamış olmamız literatürler ile paralellik göstermektedir.

Morfolojik tanıda önemli bir kriter olan renk tespitleri, olgunlaşmış ve spor vermiş kültürler üzerindeki havasal ve substrat miselyum rengine, difüziye pigment üretip üretmediğine, varsa rengine bakılarak yapılmaktadır. Renk tespitleri için kullanılan ortam literatürlerde belirtilmiş olan Oatmeal besi ortamıdır ve gözlemler 7, 14 ve 21. günlerde kuzeye bakan bir pencerede parlak gün ışığında yapılmalıdır [9]. Bunlar göz önünde bulundurularak izole edilen 60 *Streptomyces* suşu 4 renk grubuna ayrıldı. Oluşan bu gruplar Atalan ve arkadaşları tarafından bildirilen sonuçlarla paralellik gösterdi [26]. *Streptomyces* suşlarının yapılan testler doğrultusunda bilgisayar yardımıyla teşhisleri için IDENTAX Bacterial Identifier 1.2 programı kullanıldı. Bu program yardımıyla test suşlarının major taksonlar [11] için oluşturulan matrikse göre teşhisleri yapıldı. Bu matriks ile teşhis edilen suşların mevcut benzerlik matriksleri içerisinde en fazla benzerlik gösterdikleri tür en yakın takson olarak kabul edildi. Sonuçta toplam 60 *Streptomyces* suşundan 20 tanesi mevcut taksonomik gruplarda yer alan türlerle %85'in altında benzerlik gösterdi. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında %85'in altında benzerlik gösteren tür sayısının fazla olduğu belirlendi. Williams ve arkadaşları tarafından programa girilmesi önerilen veri sayısı en az 50 olmalıdır [19]. Teşhis matriksi mevcut *Streptomyces* türlerin verilerini tam içermediği için eksik kalmaktadır.

Nümerik analiz için uygulanan 61 test sonucunun tamamı MVSP 3.2 (Multi-Variate Statistical Package) programına 1/0 olarak girildi. UPGMA (Unweighted pair group method with arithmetic average) Cluster Analizi yapıldı ve S_{SM} (simple matching coefficient) benzerlikleri dendogramları oluşturuldu. Oluşturulan dendogramda S_{SM} sonuçlarına göre %85 benzerlik oranı esas alındığında 2 minör, 1 major küme, 7 tane tekli üye oluştu. Major küme 49 izolat içerdi. Dendogramda aralarındaki benzerlik oranı %100 olan türlerin çoğunlukla aynı lokalitelerden izole edildiği görüldü.

Streptomyces türlerini teşhis etmek için morfolojik özellikleri ve karbon kaynaklarını kullanma özelliklerine dayanan tanılama metotları günümüzde hala kullanılmakta olan ve geçerliliği olan metotlardır. Morfolojik ve fizyolojik metotlar ile tanı çalışmaları için kolonilerin çok iyi sporulasyon vermiş olması gerekir. *Streptomyces* türleri ise 15-20 gün hatta bazen daha fazla bir sürede spor verebilmektedirler. Kültürlerin spor zincirlerin şeklinin de gözlenmesi için kolonilerin tam sporulasyon vermiş olması gerekir. Ancak kültürlerin spor zincir morfolojilerinde zamanla değişiklikler olacağından dolayı fazla yaşlanmamış olması gerekir. Yani *Streptomyces* türlerinin morfolojik ve fizyolojik özelliklerine dayanılarak yapılan tanı çalışmaları hassasiyet, zaman ve emek ister. Bu nedenle *Streptomyces* türlerinin teşhisine yönelik çalışmalarda hız ve pratiklik kazanmak için moleküler metotlara başvurulur. Ayrıca güvenilirlik sorunu olmadığı için moleküler metotlar önemli bir yer almıştır. Moleküler metotlardan biri olan 16S rDNA gen dizileme filogenetik akrabalığın değerlendirilmesinde ve bakterilerin taksonomik pozisyonlarının belirlenmesinde temeli oluşturan bir tekniktir [18].

Bu çalışmada, renk gruplarını temsilen seçilen X0007, X0031, X0042 ve X0051 izolatlarının 16S rDNA gen bölgesi 27F ve 1492R primerleri ile çoğaltılmıştır. Bu gen bölgesinin sekans analizi sonuçları alınarak Codon Code Aligner V.6.0.2 programında tüm nükleotitler elektroferogramlara bakılarak tek tek kontrol edilmiştir. 16S rDNA gen dizileri NCBI'dan elde edilmiş ve izolatların gen dizileriyle birlikte hizalanmıştır. Bu çalışmada, türler arasındaki genetik uzaklığı belirlemek için filogenetik analizlere uygun formatlara getirilmiş 16S rDNA dizileri, Maksimum Olabilirlik algoritması seçilerek Jukes ve Cantor'un uzaklık matrisi ile filogenik ağaçlar oluşturulmuştur.

X0007 izolatı için oluşturulan filogenetik ağaçta *Streptomyces* bakterileri güçlü bir homoloji ile kümelmiştir. Dış grup olarak *Micromonospora inyonensis* ve *Micromonospora citrea* seçilmiştir. X0007 izolatına ait gen dizisi ve NCBI'dan alınan izolatların gen dizileri 16S rDNA gen bölgesi filogenetik analizinde; X0007 suşunun filogenetik konumunu belirlemek için 16S rDNA sekansı analizi yapıldı. Toplam 1314 nükleotidlik 16S rDNA geni belirlenmiştir. X0007 nolu izolatın karşılaştırılan 1314 nt'lik bölgesinde 11 nükleotit farklılığı ve % 99,16 benzerlik oranıyla *Streptomyces iakyrus* AB184877 suşu ile sıkı bir homoloji ile kümelmiştir.

X0031 izolatı için oluşturulan filogenetik ağaçta *Streptomyces cyaneofuscatus* HG965212, *Streptomyces lavendulae* KX698040, *Streptomyces pratensis* KU973960 ve *Streptomyces griseoplanus*

KT922031 bakterileri genel olarak güçlü bir homoloji ile kümelenmiştir. X0031 izolatına ait gen dizisi ve NCBI'dan alınan izolatların gen dizileri 16S rDNA gen bölgesi filogenetik analizinde; X0031 suşunun filogenetik konumunu belirlemek için 16S rDNA sekansı analizi yapıldı. Toplam 1338 nükleotidlik 16S rDNA geni belirlenmiştir. X0031 nolu izolatın karşılaştırılan 1338 nt'lik bölgesinde 12 nükleotit farklılığı ve % 99,25 benzerlik ile *Streptomyces cyaneofuscatu*s HG965212 suşu ile sıkı bir homoloji ile kümelenmiştir.

X0042 izolatı için oluşturulan filogenetik ağaçta *Streptomyces humiferus* NR112243, *Streptomyces coelicolor* GU072956 ve *Streptomyces violaceolatus* KT363060 bakterileri güçlü bir homoloji ile kümelenmiştir. X0042 suşunun toplam 1372 nükleotidlik 16S rDNA geni belirlenmiştir. X0042 nolu izolatın 1372 nt'lik bölgesi karşılaştırılmış ve 3 baz farklılığı görülmüştür. X0042 izolatı %99,78 oranıyla *Streptomyces violaceolatus* KT363060 suşu ile benzerlik göstermiştir.

X0051 izolatı için oluşturulan filogenetik ağaçta *Streptomyces pulveraceus* FJ486374, *Streptomyces sanglieri* KU049710 ve *Streptomyces atratus* KF475815 bakterileri güçlü bir homoloji ile kümelenmiştir. X0051 nolu izolatın 1382 nükleotidlik bölgesi karşılaştırılmış ve 4 baz farklılığı görülmüştür. X0042 izolatı %99,71 oranıyla *Streptomyces atratus* KF475815 suşu ile benzerlik göstermiştir.

Tablo 1. *Streptomyces* izolatlarının filogenetik ve moleküler olarak benzerlik oranları

NO	Renk Grubu	MVSP	IDENTAX	NCBI BLAST
X0007	1	3	<i>Streptomyces filipinensis</i>	<i>Streptomyces iakyrus</i> (%99) <i>Streptomyces collinus</i> (%99) <i>Streptomyces phaeochromogenes</i> (%99) <i>Streptomyces akiyoshiensis</i> (%99)
X0031	2	3	<i>Streptomyces cyaneus</i>	<i>Streptomyces cyaneofuscatu</i> s (%99) <i>Streptomyces lavendulae</i> (%99) <i>Streptomyces pratensis</i> (%99) <i>Streptomyces griseoplanus</i> (%99)
X0042	3	3	<i>Streptomyces cyaneus</i>	<i>Streptomyces humiferus</i> (%99) <i>Streptomyces coelicolor</i> (%99) <i>Streptomyces violaceolatus</i> (%99)
X0051	4	Tekli	<i>Streptomyces purpureus</i>	<i>Streptomyces pulveraceus</i> (%99) <i>Streptomyces sanglieri</i> (%99) <i>Streptomyces atratus</i> (%99)

4. Sonuç ve Öneriler

Sakarya ili sınırları içerisindeki Sapanca Gölü'nün 6 farklı lokalitesinden alınan toprak ve sediment örneklerinden 60 *Streptomyces* bakterisi izole edilmiştir. 60 *Streptomyces* suşlarının renk gruplandırması yapılarak ve 4 grup elde edilmiştir. Nümerik taksonomik çalışmalar için uygulanan 61 farklı fenotipik ve biyokimyasal test sonucunda suşların dendogramları oluşturularak klasik taksonomik çalışmalar sonucu elde edilen verilen benzerlik dendogramı olarak sunulmuştur. İzole edilen 60 suşun IDENTAX programına göre teşhisleri yapılmış ve 47 izolat *Streptomyces cyaneus* olarak teşhis edilmiş olması tür çeşitliliği için ana habitatın toprak olduğu gerçeğini doğrulamaktadır. Moleküler karakterizasyon çalışmaları için renk gruplarını temsilen 4 suş seçilerek ve filogenetik konumlarını belirlemek için 16S rDNA sekansı analizleri yapılmış, dizi analizlerine göre tüm izolatlar *Streptomyces*

cinsine dahil olduğu NCBI gen bankası verileri ile filogenetik ağaçları oluşturulmuştur. Çalışmamızda X0007, X0031, X0042 ve X0051 suşlarının yapılan moleküler teşhis ve fenotipik özelliklerine dayalı bilgisayar yardımıyla teşhis sonuçlarının aynı olmadığı görüldü. IDENTAX teşhis programı ile yapılan teşhis çalışmalarının daha sağlıklı sonuçlar vermesi için literatürlerde belirtilen major kümeler ile birlikte minör kümeler için belirlenen teşhis matrisleri de kullanılmasının yanı sıra mutlaka moleküler analizlerle desteklenmesinin sonuçları daha doğru ortaya koyacağı açıktır.

Teşekkür

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından FYL-2016-5499 Nolu Proje ile Desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Seipke R., Kaltenpoth M., Hutching, M., 2012. *Streptomyces* as symbionts: an emerging and widespread theme. *FEMS Microbiology Reviews*, 36 (4): 862-876.
- [2] Bérty J., 2005. Bioactive microbial metabolites. *Journal of Antibiotics*, 58: 1–26.
- [3] Hopwood D., 2004. New Drugs by Manipulating *Streptomyces* genes. *Microbiology Today*, 34: 64–65.
- [4] Goodfellow M., Erika Q., Katarzyna W., Pawel M., Abdalla O., Ahmed F., Mohamed H., Jolanta Z., 2007. *Streptomyces sudanensis* sp. nov., a new 76 pathogen isolated from patients with actinomycetoma. *Antonie Van Leeuwenhoek.*, 22: 18157699.
- [5] Chater KF., Losick R., 2001. Mycelial life style of *Streptomyces coelicolor* A3(2) and its relatives. In *Bacteria as Multicellular Organisms* (Edited by J.A. Shapiro, M. Dworkin). Oxford Univ. Press, Newyork. 149–82.
- [6] Kutzner K.J. 1981. The family Streptomycetaceae. In: Starr MP, Stolp H, Traper HG, Balows A, Schlegel HG (eds) *The prokaryotes, A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bacteria*, vol. 2, Springer-Verlag, New York, 2028-2090.
- [7] Williams S.T., Goodfellow M., Alderson G., 1989. Genus *Streptomyces* Waksman and Henrici. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, vol. 4 (edited by Williams, Sharpe, Holt). Williams & Wilkins, Baltimore, pp: 2452–2492.
- [8] Newman D.J., Cragg G.M., Snader K.M. 2003. Natural Products as sources of new drugs over the period 1981–2002. *Journal of Natural Products*, 66: 1022–1037.
- [9] Shirling E.B., Gottlieb D. 1966. Methods for characterization of *Streptomyces* species. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 16: 313-340.
- [10] Szabo I.M., Marton M., Buti I., Fernandez C.A. 1975. Diagnostic key for the identification of species of *Streptomyces* and *Streptoverticillium* included in the International *Streptomyces* project. *Acta Bot Acad Sci Hung.*, 21: 387–418.
- [11] Holt J.G., Krieg N.R., Sneath P.H.A., Staley J.T., Williams S.T. 1994. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. 9th ed. Baltimore: The Williams & Wilkins Co.
- [12] Nitsch, B., Kutzner H. J. 1969. Egg-yolk as a diagnostic medium for Streptomycetes. *Experientia* 25: 113–6.
- [13] Ausubel F.M., Brent R., Kingston R.E., Moore D.D., Seidman J.G., Smith J.A., Struhl K. 1994. *Current protocols in molecular biology*. John Wiley and Sons, New York. 2.0.1–2.14.8.
- [14] Lane D.J. 1991. 16S/23S rRNA Sequencing. In: Stackebrandt, E. and Goodfellow, M., Eds., *Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematic*, John Wiley and Sons, New York, 115-175.
- [15] Awla F.M., Ozdemir K., Ertas M., 2017. Irak-Erbil'den Alınan Bazı Toprak Numunelerinden *Streptomyces* Bakterilerinin İzolasyonu, Ekstraselüler Hidrolitik Enzim Kabiliyetlerinin Belirlenmesi ve 16S rDNA Analizi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences*, 22 (2): 132-138.
- [16] Williams S.T., Goodfellow M., Aldersons G., Wellington E.M.H., Sneath, P.H.A., Sackin M.J. 1983a. Numerical Classification of *Streptomyces* and Related Genera. *Journal of General Microbiology*, 129: 1743-1813.

- [17] Williams S.T., Goodfellow M., Wellington E.M.H., Vickers J.C., Aldersons G., Sneath P.H.A., Sackin M.J. Mortimer A.M. 1983b. A probability matrix for identification of some Streptomyces. *Journal of General Microbiology*, 129: 1815-1830.
- [18] Özdemir K. 2008. *Lens orientalis* (Boiss.) Hand & Mazz ve Cicer anatolicum Alef. Rizosferinden Streptomyces türlerinin izolasyonu, teşhisi ve karakterizasyonu. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- [19] Ausubel F.M., Brent R., Kingston R.E., Moore D.D., Seidman J., Smith G.J.A., Struhl K. 1994. In: *Current Protocols in Molecular Biology*, Wiley, New York, 2.1.1–2.1.3.
- [20] Kim B., Sahin N., Minnikin D.E., Zakrzewska-Czerwinska J., Mordarski M., Goodfellow M. 1999. Classification of thermophilic *Streptomyces*, including the description of *Streptomyces thermoalkalitolerans* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 49: 7-17.
- [21] Rintala H., Nevalainen A., Rönkä E., Suutar M. 2001. PCR primers targeting the 16S rRNA gene for the specific detection of streptomyces. *Molecular and Cellular Probes*, 15: 337–347.
- [22] Lanoot B, Vancanneyt M., Bart H., Vandemeulebroecke K. 2005. Grouping of Streptomyces using 16S-ITS RFLP fingerprinting. *Research in Microbiology*, 156: 755–762.
- [23] Sembiring L., Goodfellow M. 2008. Ecological approach to unravel Streptomyces diversity as an unsurpassed sources of natural bioactive products. *Microbiology Indonesia*, 2 (2): 49-56.
- [24] Atalan E., Manfio G.P., Ward A.C., Kroppenstedt R.M., Goodfellow M. 2000. Biosystematic studies on novel Streptomyces from soil. *Antonie van Leeuwenhoek*, 77: 337-353.
- [25] Özdemir K., Ogun E., Ertas M., Acar S., Atalan E. 2014. Identification of biodiversity of some *Streptomyces* species and determination of a restriction fragment length polymorphism (RFLP) profile of 16S rDNA gene region. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 13 (16): 978-988
- [26] Langham C.D., Williams S.T., Sneath P.H.A., Mortimer A.M. 1989. New probability matrices for identification of *Streptomyces*. *Journal of General Microbiology*, 135: 121–133.

Araştırma Makalesi / Research Article

Uzaktan Algılama Metodu İle Nazik Gölü İçin Taşıma Kapasitesinin Tahmini

Mustafa AKKUŞ^{1*} Mustafa SARI²

¹Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Fisheries, Van, Turkey

²Bandırma Onyedli Eylul University, Maritime Faculty, Bandırma, Turkey
(ORCID: 0000-0002-8900-9495) (ORCID: 0000-0003-1457-0023)

Öz

Nazik Gölü deniz seviyesinden 1856 metre yukarıda, 380 51' N 420 14' E koordinatları içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmada, aylık klorofil-a değerlerinin belirlenmesinde ENVISAT/MERIS uydu görüntüleri kullanılmıştır. Aylık yüzey suyu sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde MODIS/Aqua uydu görüntüleri kullanılmıştır. Gölün taşıma kapasitesi 24100.21 ton/yıl, yıllık ortalama klorofil-a değeri 7.12 mg/m³ olarak bulunmuştur. ENVISAT/MERIS uydu görüntülerinden elde edilen klorofil-a konsantrasyonu, en yüksek 30.071 mg/m³ ile Eylül ayı içerisinde, en düşük 3.727 mg/m³ ile Ocak ayı içerisinde gözlemlenmiştir. MODIS/Aqua uydu görüntülerden elde edilen yüzey suyu sıcaklık değerleri, en yüksek 22.89 C⁰ Ağustos ayında, en düşük 2.33 C⁰ Aralık ayında gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Taşıma kapasitesi, Nazik Gölü, Uzaktan Algılama, Klorofil-a, Trofometrik İndeks

The Estimation of Carrying Capacity for Lake Nazik with the Remote Sensing Method

Abstract

Lake Nazik is located in 1816 m above sea level and in 380 51' N 420 14' E coordinates. In this study, to identify the value of monthly chlorophyll-a, ENVISAT/MERIS satellite images were used. On the other hand, MODIS/Aqua satellite images were also used to identify the value of monthly surface water temperature. Carrying capacity of lake was identified as 24100.21 tons/year, and an annual average chlorophyll-a value was found out as 7.12 mg/m³. Using data on ENVISAT/MERIS satellite images, it has been observed that the chlorophyll-a concentration in Lake Nazik reached its highest value of 30.071 mg/m³ in September, while dropping to its lowest value of 3.727 mg/m³ in January. Using data on MODIS/Aqua satellite images, it has been observed that the maximum value of water surface temperature was 22.89 C⁰ in August, while the minimum value was 2.33 C⁰ in December. Furthermore, it was found out that the annual average value for water surface temperature during the study was 14.9 C⁰.

Keywords: Carrying Capacity, Lake Nazik, Remote sensing, Chlorophyll-a, Trophometric Index

1. Introduction

There have been many problems due to the overuse of natural resources, and these problems have been spreading steadily. Natural resources are sustainable; however, they are not limitless. Therefore, while using natural resources, the carrying capacity estimation is one of the basics of sustainability. The carrying capacity has been defined as the maximum population size of biological species/individuals to maintain their normal functions that are able to be supported by an environment or ecosystem [1]. If the applications which do not pay attention to carrying capacities continue, these applications will lead to problems that are impossible to be solved. In that sense, it is important to note down that fish stock in

*Sorumlu yazar: makkus1932@gmail.com

Geliş Tarihi: 17.03.2019, Kabul Tarihi: 25.07.2019

inland waters has a tendency to welcome problems. Turkey is a rich country in terms of inland waters. However, limited studies deal with the total carrying capacity and stock estimation of these resources. highlights that carrying capacity of Kesikköprü Dam Lake is 3335 tons/year [2]. On the other hand, highlighted that Almus Dam Lake has the capacity for trouts about 5530 tons [3]. A study in a similar vein, Ataköy Dam Lakes has capacity about 3309 tons/year [4]. Lake Nazik with its surface area of 46.6 km² is the largest fresh water lake of Lake Van Basin. To utilize water resources in a sustainable manner for fish production, we should primarily know more about the carrying capacity of these areas [5]. Lake Nazik, in which year-long fishing can be actively done, has great importance for economy of the region. In the lake, common carp (*Cyprinus carpio*), siraz (*Capeota capeota*), the pearl mullet (*Alburnus tarichi*) and crucian carp (*Carassius carassius*) are available. Despite ongoing intensive fishing activities, studies about the lake are not numerous and are conducted mainly on the biological characteristics of the fish living in the lake [6]. The main objective in the identification of total carrying capacity is to benefit optimally from fish stocks that are the products of aquatic ecosystem utilized by people. Not only to be able to benefit from fish stocks optimally but also to identify the carrying capacity of the resources, biological data regarding overall product and stock are needed. Therefore, stock assessment is required not only for each stock but also for the identification of the carrying capacity for resources. The basic parameter to be taken in renting cages for fish farming, particularly in the dam lakes of Turkey, is the size of the surface area. However, the carrying capacity of the resources, such as the lake and the dam, changes in line with lots of parameters; namely, the altitude of the resource, surface area, coastal line length, annual chlorophyll-a average (mg/l), mean temperature (C⁰), the amount of nutrients and the mean depth. The models are required for the estimation of the density, production and overall size of the fish populations for sustainable use of these populations in lakes and reservoirs [7]. Fish seed releasing activities done without knowing the total carrying capacities of ecosystems like lakes and dams, in which artificial populations were created with fish seed releasing, may fail. Therefore, different prediction models have been developed to identify total carrying capacities of resources such as lake, dam lake and pond by various researchers from the past to the present. These models have identified the total carrying capacity and productivity of the lake in terms of physical (mean depth, coastal line length, surface area etc.), chemical (nutrients) and biological (primary production) characteristics of the lake. Up to now, researches have been done by scientists via using different parameters on the carrying capacity efficiencies of the lakes and dam lakes. The average depth and morpho-edaphic index [8], (total dissolved solids in mg/liter divided by mean depth in meters), trophometric index [7] (TMI), coastal line length, average amount of chlorophyll-a (primary production), the size of the area used by fish actively the amount of total phosphorus budget [9], surface area and volume [10], the amount of nutrients [11], primary production [12]. Among the most important factors, identifying the total carrying capacities of resources and the primary production located on the bottom rung of the food chain are of high importance. The remote sensing method is the most widespread method in identifying the primary production of areas such as lakes and dam lakes that have a large surface area. In a study conducted by [13], the amount of annual average chlorophyll a and the carrying capacity for Lake Ercek have been measured respectively as 2.83 mg/l and 21331.452 tons/year by using remote sensing and TMI. With this study, chlorophyll-a concentration and surface water temperature values of Lake Ercek, which are really significant for the region's economy, have been monitored on a monthly basis with the remote sensing method, and the total carrying capacity of the lake has been shed light onto via TMI method.

2. Material and Method

Lake Nazik (Figure 1), which is located at coordinates of 38° 51' N 42° 14' E in Lake Van Basin, is a fresh water lake with an altitude of 1816 m. The lake was formed through volcanic damming. It has a surface area of 46.6 km², a maximum depth of 16 m and an average depth of 12.37 m, a volume of 576.376 hm³ and a coastal line length of 36.13 km. TMI, which was developed by [7], was employed in order to identify the carrying capacity of Lake Nazik. TMI takes into consideration the following things particularly; Chlorophyll a concentration (primary production), surface area, volume, coastal line length and a sufficient percentage for the volume of water to support life. TMI is calculated by the following equation:

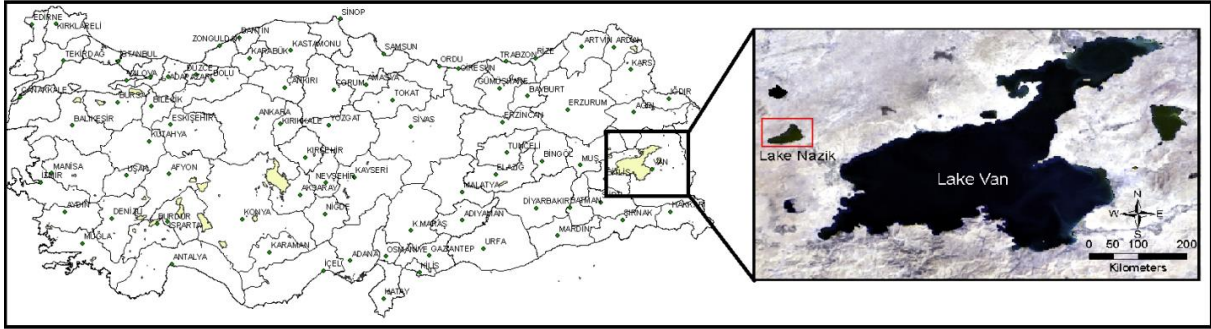


Figure 1. Lake Nazik

$$TMI = IF * \ln C * VOAP \left(\frac{\ln Cl}{\ln Pe} \right) \quad (1)$$

IF = Surface Area (km²) / Volume (hm³), C: Conductivity, Cl: Chlorophyll-a concentration, Pe: Coastal line length (Perimeter), VOAP: a sufficient percentage for the volume of water to support life. Carrying capacity is calculated when TMI value, which was calculated through the above mentioned formula, is put into the equation below.

$$C.C = -342.607 + 200.201 * TMI \quad (2)$$

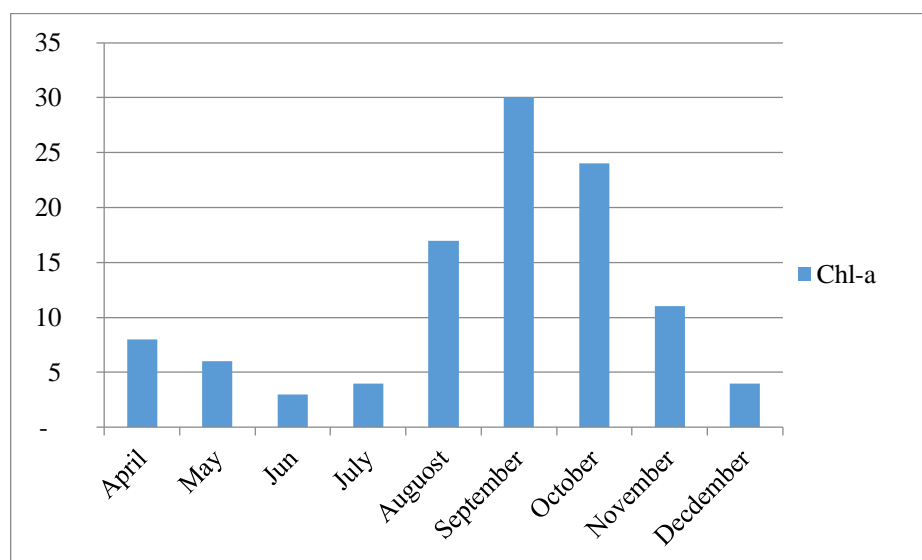
Images from ENVISAT/MERIS, which is Europe's biggest earth observation satellite, are used in order to identify Chlorophyll a concentration in Lake Nazik by remote sensing. Beam 4.9 packaged software was utilized in image processing. Algal_2 algorithm was used in calculating chlorophyll a concentration by deciding that Lake Nazik was in case 2 group waters (affected by land based discharges). Algal_2 has a structure in the form of a natural neural network. Therefore, Chlorophyll concentration in water is calculated in Log₁₀ (mg/m³) by this algorithm. Images from MODIS/Aqua (11 μ) were used in calculating Sea surface temperature (SST) values of Lake Nazik. On the other hand, SST values were obtained with NLSST algorithm. NLSST algorithm, which is a derivative of CPSST (cross-product SST), uses nonlinear methods in atmospheric correction [14].

3. Results and Discussion

Chlorophyll a values, between April and December of 2013, were calculated by using images of ENVISAT/MERIS satellite. No images were obtained because surface of the lake was covered with ice for three months (January, February and March). Beam 4.9 was used to process images. An average of Chlorophyll a concentration which was calculated monthly and surface water temperature values are presented in Table 1, Figure 2, Figure 3. Average Chlorophyll a concentration in the lake was found out as 12.07 mg/m³. Monthly Chlorophyll a concentration in Lake Nazik was found out as below average in April, May, June, July, November and December and above average in August, September, October. Chlorophyll concentration in the lake was identified as 8.609 mg/m³ in April, as 5.591 in May and as 3.430 mg/m³ in June, which was the lowest value annually. Chlorophyll concentration decreased from April to June. After July, a sudden increase took place, and the concentration reached to a value of 16.633 mg/m³. When the peak value is assessed, it can be said that Chlorophyll concentration reached to a value of 30.071 mg/m³ as the peak value. On the other hand, after September, Chlorophyll concentration followed a decreasing course and was measured as 24.190 mg/m³ in October. A sudden decrease was observed after October, and the value was measured as 11.993 mg/m³ in November and as 3.727 mg/m³ in December.

Table 1. Monthly chlorophyll-a and water surface temperature values

Months	Mean	
	Chl-a (mg/m ³)	Surface Temperature (C ⁰)
April	8.609 ± 0.59	5.24 ± 0.44
May	5.591 ± 1.20	16.1 ± 1.56
Jun	3.426 ± 0.56	16.13 ± 2.12
July	4.176 ± 0.96	21.88 ± 1.96
August	16.633 ± 1.72	22.89 ± 2.43
September	30.071 ± 2.11	19.75 ± 1.96
October	24.190 ± 1.94	17.2 ± 1.54
November	11.993 ± 1.45	11.1 ± 2.3
December	3.727 ± 0.50	2.33 ± 0.98

**Figure 2.** Monthly average of chlorophyll a

Chlorophyll concentration in the lake was found as 5.591 mg/m³ in May, as 3.430 mg/m³ in June after it was measured as 8.609 mg/m³ in April. Various hydrologic situations such as initially nutritional elements, temperature and light are effective on primary production in lakes. It is thought that the decrease in Chlorophyll a concentration from April to June results from the lack of nutritional elements in environment as well as the lack of light transmission. A constant decrease was observed in Chlorophyll a concentration while water temperature is higher compared to one in April throughout these two months. This demonstrates that other factors (nutrients, light, etc.), which have an important effect on primary production in aquatic ecosystems, provide energy transfer through food chains. Primary production occurs depending on the nutrients such as temperature, light, phosphorus and nitrogen [15]. Primary production takes place when they are subjected to density of planktonic groups [16]. One of the factors that determines monthly change and amount of primary production carried on planktonic organisms in lakes is the amount of nutrients in the environment. The amount of nutrients in the environment has a direct impact upon seasonal changes in primary production [17]. [18] expressed that phytoplanktonic organisms are very sensitive to changes in environment, and thus they react to these changes rapidly.

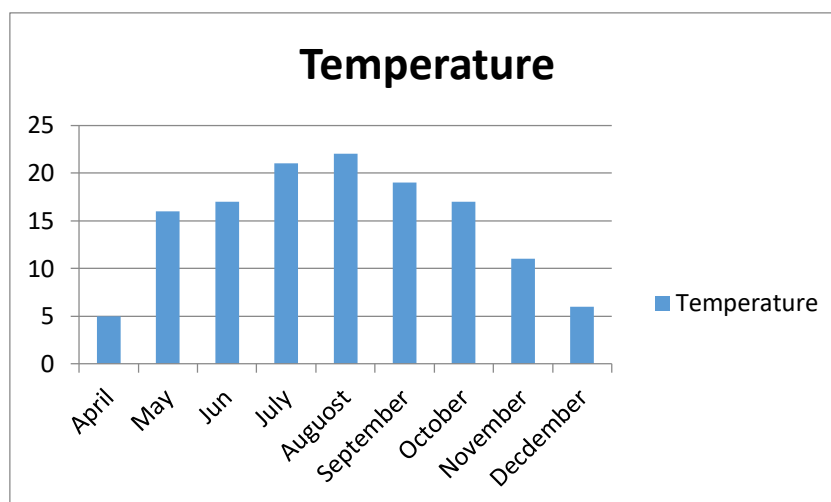


Figure 3. Monthly values of surface temperature (C°)

It can be seen that the warmest month is August with 23.88 C°, and the coolest month is December with 2.33C° annually when temperature values are examined. Average annual temperature was calculated as 14.986 C°. The temperature was identified as 5.24 C° after the layers of ice melted completely. Temperature values in May and June were close and nearly about 16 C°. In July, temperature reached to 23.88 C° which is the annual peak value. The temperature followed a slowly decreasing course and was measured as 17.2 C°. It was measured as 11C° in November and as 2.33 C° once it showed a tendency of a dramatic decrease after October.

$$\text{IF: Surface area of the lake (km}^2\text{) / Volume (hm}^3\text{)} \quad (3)$$

Total surface area is used as an important parameter in yield estimate studies [10]. MEI (Morpho-edaphic index), widely used in identifying yield in lakes, uses mean depth instead of surface area. However, surface area, itself, is a powerful tool for estimation. Since bodies of water, having large surface areas, have larger mean depths than those of bodies of water having small surface areas. Because of this, they tend to be more fertile. IF value for Lake Nazik was calculated as follows:

$$\text{IF} = 46.6 \text{ (km}^2\text{) / } 576.376 \text{ hm}^3$$

$$\text{IF} = 0.08$$

Conductivity (C) is a measure of its ability to conduct electricity. Higher the concentration of ions, the greater the conductivity is [19] [20]. Due to this reason, an increase in amount of nutrients such as nitrogen and phosphorus that have a positive impact on yield will increase conductivity directly. The value of conductivity was reported as 292.19 $\mu\text{S cm}^{-1}$ as a result of studies of one year. VOAP is defined as percentage by volume of water with enough oxygen to support life. It is a necessary parameter that should certainly be taken into account in order to calculate correctly in estimate studies. Living beings of an aquatic ecosystem can take the benefit of a definite part of the ecosystem, definitely not the whole of it, in accordance with their biological needs. As a result of oxygen measurements made until depth of 14 m, the lowest amount of oxygen was reported as 6.0 mg/l [6]. This reported value is suitable for species of the family cypriandae to be able to live. According to [21], carps survive under a condition of dissolved oxygen of 0.5 mg/l. It was concluded that fishes could use the part of the lake from surface to a depth of 14m actively inasmuch as values reported in measurements made from surface to a depth of 14m in Lake Nazik are excessively higher than this value. The part from surface to the depth of 14 m comprises the 87, 5 % of the lake. [22] stated that there is a linear relationship between fish yield and Chlorophyll a concentration; hence, finding out Chlorophyll a concentration level will make estimation process easier in terms of guessing the carrying capacity of the lake.

$$\text{TMI} = 0.08 * 5.67 * 87.5 * (2.490 / 3.587)$$

$$\text{TMI} = 27.544$$

It was found out that by [7] after having calculated TMI value for Lake Nazik.

$$C.C = -1259.59 + 143.97 * TMI$$

$$C.C = -342.607 + 200.201 * 27.544$$

$$C.C = 5171.72 \text{ kg/ha}^{-1}/\text{year}$$

The obtained value represents the total biomass for per hectare annually. Carrying Capacity was found as 24100.21 ton/year when this value was converted to ton/year unit. The value was calculated as 4.17 mg/m³ for Chlorophyll a in July, and the same value was calculated as 30.07 mg/m³ in September. These sudden changes demonstrate that the lake has a quite sensitive structure from the point of eutrophication. As a result of a 5 years long study conducted by [16] in Khadakwasla Reservoir of India between 2004 and 2009, it was reported that there was a dramatic rise in yield of the lake, and this made the lake more vulnerable to eutrophication. Between July and December, a similar course was observed in terms of Chlorophyll a and temperature. Chlorophyll concentration in the lake increased depending on the temperature rise in July and August. Chlorophyll a concentration reached its annual peak of 30.071 mg/m³, showing a continuously rising schedule despite some small decreases in temperature. However, Chlorophyll a concentration was observed to decrease in temperature after October. Low temperatures and light intensity in winter have a limiting effect on the production of phytoplanktons. Phytoplanktons' growth rate and biological activity increase as temperature rises to optimal level, however they decrease at temperatures over the optimal one. Optimal temperature for most of sea and sweet water phytoplanktons is between 18 °C and 25 °C [23]. [7] conducted a study in seven lakes which have the same properties as Lake Nazik, and they found out the carrying capacity. When the results were examined, it was found out that six lakes have lower carrying capacity compared with Lake Nazik. It is assumed that the primary reason for the fertility of Lake Nazik when compared with other six reservoirs is that its Chlorophyll a concentration is higher than those of other six reservoirs. Since being the lowest trophic level, primary production in aquatic ecosystems identify the amount of biomass for living beings which eat primary producers. Primary production in reservoirs is more efficient on fish yield than other variables. Due to this, models for estimating fish, which take primary production in the lowest trophic level of ecological pyramid, yield better results [24]. The variable, which has the most powerful effect on fish yield in terms of the relationship between fish yield in resources and environmental factors [25]. In addition, [26] stated that there is a close link between primary productivity and fish yield in ponds, and fish yield changes directly and proportionally in line with the fluctuations in primary production.

4. Results and Recommendations

Consequently, the carrying capacity of Lake Nazik was calculated as 24100.21 ton/year. Finding this capacity fulfilled the gap for the lake that is really significant for the economy of the region in this area. Moreover, the use of remote sensing technology in identifying the values of Chlorophyll a concentration and water temperature, which has a critical importance for aquatic ecosystems, was also another significant outcome. The color of Lake Nazik changes as green, blue or brownish green according to the wave, sunlight, plankton density. However, the outstanding color of the lake is green. In a previously conducted study, it was found out that the average secchi disk depth of the lake was 192.2 ± 10.7 cm [27]. Since Lake Nazik has a capacity to mix up rapidly, the algae density, which rises to a maximum level, goes on in winter months as well [28]. In the present study, it was revealed that chlorophyll-a levels were in accordance with the abovementioned studies for September. Therefore, it is expected that plankton density in lakes would rise up in autumn months. Despite high algae density, no fish death was observed in the lake. This situation is thought to result from the presence of the species belonging to the family of Cyprinidae, which are resistant to low oxygen levels and bad environmental conditions.

Since aquatic ecosystems are hard to study due to the fact that the field conditions are harsh, and the labs, in which analyzes such as Chlorophyll a identification remade, are remote. Remote sensing is a critical way in monitoring Lake Nazik and similar resources in terms of overcoming these hardships.

References

1. Odum E.P., Barrett G.W. 2008. Ekolojinin Temel İlkeleri. Palme Yayınevi, 534s. İstanbul.

2. Pulatsü S. 2003. The application of a phosphorus budget model estimating the carrying capacity of Kesikköprü Dam Lake. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 27 (5): 1127-1130.
3. Buhan E., Koçer M.A., Polat F., Doğan H.M., Dirim S., Neary E.T. 2010. Almus Baraj Gölü Su Kalitesinin Alabalık Yetiştiriciliği Açısından Değerlendirilmesi ve Tasıma Kapasitesinin Tahmini. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27 (1): 57-65.
4. İskenderoğlu D., Yeşilayer N., Doğan H.M., Mete H., Kaymak N., Buhan E. 2017. The Estimation of the Carrying Capacity of Atakoy Dam Lake For The Intensive Rainbow Trout Culture in Cage, *Ecology Symposium*, pp: 6-7, 11-13 May, Kayseri.
5. Toda S., Matsuda O., Kadowaki S., Yokoyama J., Yamasaki M. 2004. Ecosystem and Carrying capacities of Aquaculture ground- for sustainable development of aquaculture and stock enhancement. *Seikai National Fisheries Research Institute*, 19: 1-7.
6. Şen F., Çetinkaya O., Elp M. 1999. Nazik Gölü (Ahlat-Bitlis) Siraz (*Capoeta capoeta*, G., 1773) Populasyonu Üzerinde Bir Araştırma, X. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 22-24 Eylül, Temel Bilimler ve Biyolojik Çeşitlilik Sektörleri, pp: 465-475, Adana.
7. Lara G., Encina L., Rodriguez R. 2009. Trophometric index: a predictor for fish density, biomass and production in Mediterranean reservoir in Spain. *Fisheries Management and Ecology*, 16: 341–351.
8. Ryder R.A. 1965. A method for estimating the potential fish production of north-temperate lakes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 94: 214–218.
9. Dillon P.J., Rigler F.H. 1975. A Simple Method for Predicting the Capacity of a Lake Based on a Lake Trophic Status. *J.Fish.Res.Board Can*, 32: 1519-1531.
10. Young W.D., Heimbuch D.G. 1982. Another consideration of the morphoedaphic index. *Transactions of the American Fisheries Society*, 111: 151–153.
11. Hanson L.M., Legget W.C. 1982. Empirical prediction of fish biomass and yield. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39: 257–263.
12. Khalil M.T. 1998. Prediction of fish yield and potential productivity from limnological data in Lake Borollus, *International Journal of Salt Lake Research*, 6: 323-326.
13. Akkus M., Sarı M, 2013. A Research on Estimating of Carrying Capacity of Lake Erçek with the Remote Sensing Method. Proc. 'ESA Living Planet Symposium 2013, Edinburgh, UK 9–13 September
14. Brown O.B., Minnett P.J., 1999. MODIS Infrared sea surface temperature algorithm theoretical basis document. Version 2, University of Miami.
15. Le Cren E.D., Lowe-Mc Connell R.H. 1980. The functioning of freshwater ecosystems. Cambridge University Press, 480s, New York.
16. Prabhakar V.M., Vaidya S., Garud V.S., Swain K.K. 2009. Trend of Primary Production in Khadakwasla Reservoir, Chemistry Division, Central Water and Power Research Station, Pune-411 024, India.
17. Carpenter S.R., Kitchell J.F., Hodgson J.R. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. *BioScience*, 35 (10): 634-639.
18. Nedovic R., Hollert J. 2005. Phytoplankton Community and Chlorophyll a as Trophic State Indices of Lake Skadar (Montenegro, Balkan). *Environ Sci Pollut Res Int.*, 12 (5): 146
19. Body EC., Lichtkoppler F. 1980. *Water Quality Management In Ponds Aquaculture*. Auburn University Press, Alabama Agricultural Experiment Station, 482p.
20. Tuncay H. 1994. Su Kalitesi. EÜ Ziraat Fakültesi Yay., No: 512, EÜ Ziraat Fakültesi Ofset Basımevi, 243s. Bornova, İzmir,
21. Geldiay R., Balık S. 1996. Türkiye Tatlısu Balıkları. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, 519 s. Bornova, İzmir.
22. Jones J.R., Hoyer M.V. 1982. Sportfish harvest predicted by summer chlorophyll a concentration in mid western lakes and reservoirs. *Transactions of the American Fisheries Society*, 111: 176–179.
23. Pala A. 1994. Atıksu Etkisindeki Denizlerde Birincil Üretimi Etkileyen Faktörler. *Ekoloji*, 12: 12-15.
24. Almazan G., Body C.E. 1978. Plankton Production and Tilapia Yield in Ponds. *Aquaculture*, 15: 75-77.
25. Melcak J.M. 1976. Preliminary Productivity and Fish Yields in Tropical Lakes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 105: 575-580.

26. Olah J., Sinha V.R.P., Ayyappan S., Purushothaman C.S., Radheyshyam S. 1987. Primary Production and Fish Yields in Fish Ponds under Different Management Practices. Network of Aquaculture Centres in Asia Bangkok, 87: 1.
27. Şen F. 2001. Nazik Gölü (Ahlat-Bitlis) Sazan (*Cyprinus carpio* L. 1758) Populasyonu Üzerine Bir Araştırma. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 112s, Erzurum.
28. Çetinkaya O., Şen F., Elp M. 1999. Nazik Gölünün (Ahlat-Bitlis) Fiziksel Limnolojisi Üzerine Araştırmalar. X. Ulusal Su ürünleri Sempozyumu, pp:733-745, 22-24 Eylül, Adana.

Araştırma Makalesi / Research Article

Tıbbi Öneme Sahip Hatmiler İçin Etkili Bir Çimlendirme Yöntemi: Tohum Kabuğuna Çentik Atılması

Abdulhamit BATTAL^{1*}, Gül GÖRMEZ², Musa TÜRKER³

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Farmasötik Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Van

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, Van

³Yıldız Teknik Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul

(ORCID: 0000-0001-6098-3908) (ORCID: 0000-0001-6980-4988) (ORCID: 0000-0003-3195-1119)

Öz

Malvaceae familyasının üyelerinden biri olan *Alcea* cinsi tıbbi öneme sahip bazı türleri içermektedir. *Alcea kurdica* Alef. (Deve gülü Hatmi) tonsilite, gastrik ülser, zatürreye, boşaltım sistemi enfeksiyonlarına ve saç kırana karşı kullanılan tıbbi bir bitkidir. Bu çalışmanın amacı, deve gülü hatmi bitkisi için steril şartlar altında etkili bir çimlendirme yönteminin geliştirilmesi ve bu bitkinin doku kültürü çalışmalarında kullanılabilir hale getirilmesidir. Bu amaç için, steril bir ajan olan sodyum hipokloritin üç farklı konsantrasyonu (%5, %7.5 ve %10), 42°C sıcaklıkta inkübasyonu ve tohum kabuğunun bistüri ile çentiklenmesi uygulamaları test edilmiştir. %5 ve %7.5 sodyum hipoklorit konsantrasyonlarının sterilizasyon için yeterli olmadığı belirlenirken, %10 sodyum hipoklorit konsantrasyonunun ise yeterli olduğu gözlenmiştir. Çimlenme oranları sonuçlarına göre, kabuğu çentiklenen tohumlar hızlıca çimlenirken, 42°C de inkübasyonun çimlenmeyi etkilemediği gözlenmiştir. Yedinci günde, kotiledon, kotiledon sapı ve hipokotil dokuları doku kültürü için kullanılabilir duruma gelmiştir. Sekizinci günde, yapraklar oluşmaya başlamıştır. Yaprak, yaprak sapı ve sürgün ucu eksplantları ise otuzuncu günde doku kültüründe kullanılabilir duruma gelmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma ile tıbbi öneme sahip deve gülü hatmi için etkili bir çimlendirme yöntemi geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çimlenme Oranı, Hatmi, *Alcea*.

The Efficient Germination Method For Marshmallows With Medicinal Importance: The Nicking on Seed Coat

Abstract

The genus *Alcea* one of the member of Malvaceae family includes some species having medicinal importance. *Alcea kurdica* Alef. (Deve gülü Marshmallow) is a medicinal plant used against tonsils, gastric ulcers, pneumonia, excretory system infections and pelade. The aim of this study was to develop an efficient germination method under sterile conditions and to make the plant suitable for tissue culture studies. For this purpose, three different concentrations (5%, 7.5% and 10%) of the sodium hypochlorite which is a sterilizing agent, 42°C incubation and nicking on the seed coat with blade were tested. While 5% and 7.5% of sodium hypochlorite concentrations were not sufficient for sterilization, 10% of sodium hypochlorite concentration was observed to be sufficient. According to the results of the germination index, while the seeds nicked on coat were easily germinated, it was observed that incubation at 42°C did not affect the germination. On the seventh day, cotyledon, cotyledonary node and hypocotyl tissues were ready to use for tissue culture. On the eighth day, leaves began to form. Leaf, petiole and shoot tip explants were available to use in tissue culture on the thirtieth day. As a result, an efficient germination method for deve gülü marshmallow having medicinal importance was developed with this study.

Keywords: Germination Index, Marshmallow, *Alcea*.

*Sorumlu yazar: abdulhamitbattal@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.03.2019, Kabul Tarihi: 29.07.2019

1. Giriş

Tıbbi öneme sahip *Alcea* cinsi Malvaceae familyasının üyelerindedir. En çok bilineni Çin Halk Cumhuriyeti'nin güney batı bölgelerinden dünyanın bir çok bölgesine yayılan *Alcea rosea* L. türüdür [1]. Yaprakları, çiçekleri, gövdesi ve kökleri insanlar tarafından tüketilmektedir [2-4]. Taç yaprakları ve tomurcukları salatalara katılarak tüketilirken, taze yaprakları pişirilerek veya pişirilmeden yenmektedir [5]. Ayrıca, taç yapraklarındaki renkler konfeksiyon ürünlerinde, reçellerde, jölelerde ve alkolsüz içeceklerde gıda katkısı olarak kullanılmaktadır [2].

Müsilaaj, glukuronik asit, galakturonik asit, ramnoz, galaktoz, pectin, ferulik asit, valinik asit, komarik asit, p-hidroksibenzoik asit ve kuersetin gibi biyoaktif maddeleri içerirken tohumlarında da malvalik, strekulik, miristik, palmitik, stearik, linoleik, oleik ve linolenik yağ asitlerini içermektedir [6-9]. *A.rosea*'nın antiproliferatif aktivitesi, anti-influenza etkisi, antioksidan özelliği ve antiülser aktivitesi gibi özellikleri yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur [10-13].

Tıbbi bitkilerin kotiledon, hipokotil, yaprak, yaprak sapı, nod ve sürgün ucu gibi kısımları eksplant kaynağı olarak kullanılarak çoğaltılması bitki doku kültürü yoluyla mümkündür. Etkili bir rejenerasyon sisteminin oluşturulması doku kültürü çalışmaları için önemlidir. Bitki doku kültürü çalışmalarında kullanılacak eksplant kaynağı, tipi ve eksplantın tazeleği mikroçoğaltım çalışmaları için önem arz etmektedir. Aynı familyadan olan ve tıbbi öneme sahip *Althae officinalis* L. (Hatmi) ile yapılan çalışmalarda genellikle ya botanik bahçelerinde yetiştirilen bitkilerden elde edilen kaynaklar ya da steril şartlar altında tohumlardan çimlendirilen bitkilerden elde edilen eksplantlar kullanılmıştır [14-16]. Fakat, botanik bahçelerinden temin edilen bitkiler steril şartlar altında büyütülmediğinden kontaminasyona oldukça açıktırlar. Bu bitkilerin sterilizasyonu için civa klorür gibi doğaya zararlı kimyasallar sıklıkla kullanılmaktadır [14, 15]. Aynı zamanda, çevresel stres faktörleriyle birlikte vejetasyon dönemlerinin etkisiyle birlikte fizyolojik durumları da bitkiden bitkiye farklılık gösterebilmektedir. Bu faktörler de tıbbi bitkiler için oluşturulacak rejenerasyon sistemini olumsuz etkilemektedir.

Deve gülü hatmi bitkisi *Alcea* cinsine ait İran'ın batısında ve Irak'ın kuzeyinde tonsilite, gastrik ülser, zatürreye, boşaltım sistemi enfeksiyonlarına ve saç kırana karşı kullanılan tıbbi bir bitkidir [17, 18]. Deve gülü bitkisinin kurutulmuş sulu ekstresinin antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir [19]. *Althae officinallis* L. için önerilen bir çimlendirme yöntemi bulunurken, tıbbi amaçlı kullanılan deve gülü hatmi için doku kültürü çalışmalarında kullanılabilir bir çimlendirme prosedürü bulunmamaktadır. Bazı hatmi türlerinde çimlenme durumları sıkıntılı olmakta ve fiziksel veya kimyasal muamele gerektirebilmektedir [20, 21]. Yapılan ön çalışmalarda, deve gülü hatmi tohumları in vitro doku kültüründe ve toprakta çimlendirilmeye çalışıldı fakat çimlenme gözlenmedi. Bu çalışmanın amacı, halk hekimliğinde kullanılan deve gülü bitkisi için etkili bir çimlendirme yöntemi oluşturmak ve bitki doku kültürü çalışmalarında kullanılabilir eksplantların steril şartlar altında üretilmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kimyasallar ve Cihazlar

Çalışmada Murashige ve Skoog (MS) besiyeri, sodyum hipoklorit, hidroklorik asit, sodyum hidroksit ve bitkiler için agar kimyasalları kullanılırken, biyogüvenlik kabini, etüv, otoklav, pH metre, manyetik ısıtıcı karıştırıcı, orbital çalkalayıcı ve cam boncuklu sterilizatör cihazları kullanılmıştır.

2.2. Bitki Materyali

Çalışmada Van yöresinden toplanan deve gülü hatmi türünün tohumları kullanılmıştır. Tohumlar, 2017 yılının Ağustos ve Eylül aylarında toplanmıştır. Laboratuvara getirilen tohumlar yabancı maddeler uzaklaştırıldıktan sonra kurutma kağıtları üzerine serildi ve kurutuldu. Toz ve zararlıların uzaklaştırıldığı kurutulmuş tohumlar paketlenerek +4°C de muhafaza edilmiştir.

2.3. Tohumların Yüze Sterilizasyonu

Tohumlar sterilizasyona tabi tutulmadan önce etrafındaki kanatlar el ile çıkarılarak uzaklaştırılmıştır. Tohumların sterilizasyonu için sodyum hipoklorit (NaOCl) farklı konsantrasyonları (%5, %7,5 ve %10) kullanılmıştır. 20 dakika bu konsantrasyonlarda inkübatörde 25°C de bekletilen tohumlar, daha sonra biyogüvenlik kabini içerisinde steril distile su ile 4-5 kez yıkandıktan sonra %70 etil alkol ile 30 saniye muamele edilmiştir. Steril distile su ile 4-5 kez tekrar yıkanmıştır. 42°C sıcaklıkta inkübasyonun ve tohum kabuğunun çentiklenerek zedelenmesinin deve gülü tohumlarının bitki doku kültüründe çimlenmesine olan etkisinin araştırılması için tohumlar her bir sodyum hipoklorit konsantrasyonu (%5, % 7.5 ve %10) için 3 gruba ayrılmıştır (Tablo 1). Yüze sterilizasyonu uygulanan tohumların çimlenmeleri sırasında bakteri ve mantar üremesi takip edilmiştir.

Tablo 1. Deve gülü tohumlarının uygulama grupları

Grup Adı	Uygulama
5-SH	% 5 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış tohumlar.
5-SH+42°C	% 5 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış ve 24 saat 42°C de inkübe edilmiş tohumlar.
5-SH+42°C+Z	% 5 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış, 24 saat 42°C de inkübe edilmiş ve tohum kabuğu bistüri yardımıyla çentiklenmiş tohumlar. İnkübasyon sonrası çentiklenmeden önce tohumlar aynı sodyum hipoklorit ile 10 dakika yüze sterilizasyonu uygulanmıştır.
7.5-SH	% 7.5 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış tohumlar.
7.5-SH+42°C	% 7.5 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış ve 24 saat 42°C de inkübe edilmiş tohumlar.
7.5-SH +42°C+Z	% 7.5 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış, 24 saat 42°C de inkübe edilmiş ve tohum kabuğu bistüri yardımıyla çentiklenmiş tohumlar. İnkübasyon sonrası çentiklenmeden önce tohumlar aynı sodyum hipoklorit ile 10 dakika yüze sterilizasyonu uygulanmıştır.
10-SH	% 10 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış tohumlar.
10-SH +42°C	% 10 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış ve 24 saat 42°C de inkübe edilmiş tohumlar.
10-SH +42°C+Z	% 10 Sodyum hipoklorit ile yüze sterilizasyonu yapılmış, 24 saat 42°C de inkübe edilmiş ve tohum kabuğu bistüri yardımıyla çentiklenmiş tohumlar. İnkübasyon sonrası çentiklenmeden önce tohumlar aynı sodyum hipoklorit ile 10 dakika yüze sterilizasyonu uygulanmıştır.

2.4. Deve Gülü Tohumlarının İnkübe Edileceği MS besiyerlerinin Hazırlanması

Besiyeri hazırlamak için 2.2 g/L MS besiyeri ve 15 g/L sakaroz tartılarak distile su içerisinde çözdürülmüş ve pH 5.8 e ayarlanmıştır. Daha sonra 8 g/L bitki agarı tartılarak çözeltiliye eklenmiştir. Hazırlanan besiyeri otoklavlanmıştır ve biyogüvenlik kabini içerisinde steril 90 mm petri kutularına döküldü. Her gruptan 10 adet tohum 1/2 MS besiyerine konuldu ve bitki doku kültürü odasında 16/8 saat fotoperiyotta çimlendirilmiştir.

2.5. Deve Gülü Tohumlarının Çimlendirilmesi

Çimlenme durumları 1., 2., 3., 5., 10. ve 30. sürelerinde takip edilerek aşağıda ki formüle göre 5. ve 30. gündeki % çimlenme oranları belirlenmiştir.

$$\% \text{ Çimlenme Oranı (ÇO)} = (\text{Çimlenmiş Tohum Sayısı/Ekilmiş Tohum Sayısı}) \times 100$$

2.6. İstatistik Analizi

Deneysel en az üç tekrar olarak gerçekleştirildi ve istatistik analizler Minitab12 One-Way ANOVA kullanılarak yapılmıştır. Gruplar arasında yapılan istatistik karşılaştırmalarda $p < 0.05$ değerleri istatistik olarak anlamlı değişiklikler olarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

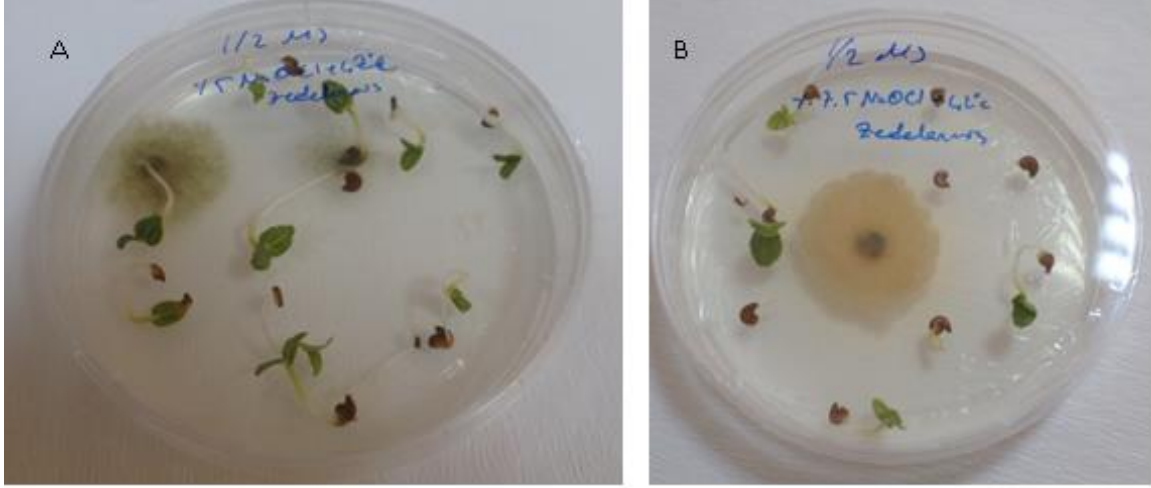
3.1. Farklı Sodyum Hipoklorit Konsantrasyonlarının Yüzeysel Sterilizasyonu Etkilerinin Değerlendirilmesi

Çalışmada sodyum hipokloritin üç farklı konsantrasyonunun (%5, %7.5 ve %10) deve gülü bitkisinin tohumlarının bitki doku kültürü ortamları kullanılarak çimlendirilmesinde sterilizasyona etkisi değerlendirilmiştir. Bitki doku kültüründe kullanılacak eksplant kaynaklarının bolluğu önemlidir. Bitkilerin kök, gövde, kotiledonlar, yapraklar, embriyo, kotiledon sapı ve yaprak sapı gibi farklı kısımları bitki doku kültürü çalışmalarında eksplant kaynağı olarak kullanılabilir [14,15]. Bundan dolayı, bitkilerin yapay bitki doku kültürü ortamları kullanılarak steril olarak çimlendirilmesi yeterli eksplant kaynağının sağlanması için oldukça önemlidir. 5-SH gruplarında 2. Gün sonunda 5-SH ve 5-SH+42°C+Z gruplarında bakteri ve mantar üremesi belirlenirken, 3. Gün sonunda 5-SH+42°C grupta da bakteri ve mantar ürediği tespit edilmiştir. %7.5 SH uygulanan gruplarda 1. Günün sonunda, 7.5-SH+42°C+Z grubu tohumların bulunduğu besiyerinde mantar ürediği gözlemlendi ve 3. Gün sonunda 7.5-SH, 7.5-SH+42°C ve 7.5-SH+42°C+Z gruplarında bakteri ve mantar üremesi belirlenmiştir (Şekil 1). Bakteri ve mantar ile kontamine olan besiyerleri 5. Güne kadar bekletilmiş ve çimlenme oranları belirlendikten sonra otoklav ile imha edilmiştir. % 10 sodyum hipoklorit uygulanan gruplarda ise 30. Güne kadar herhangi bir kontaminasyon görülmemiştir. Deve gülü tohumlarının % 10 sodyum hipoklorit ile 20 dakika uygulanmasının deve gülü bitkisi tohumlarında sterilizasyonun sağlanması için yeterli olduğu belirlenmiştir. (Tablo 2)

Tohumların yüzeysel sterilizasyonu için genellikle etanol, sodyum hipoklorit (NaOCl), Tween-20 ve civa klorür ($HgCl_2$) gibi sterilizasyon ajanlarının kullanılması önerilmektedir [22, 23]. *Althaea officinalis* L. bitkisinin tohumları fungusit ve çok amaçlı deterjan ile muamele edildikten sonra %0.1 civa klorür ($HgCl_2$) kullanılarak yüzeysel sterilizasyonu yapıldıktan sonra çimlendirilmiş ve nodları doku kültürü çalışmaları için kullanılmıştır [16]. Aynı bitkinin kullanıldığı başka bir çalışmada ise $HgCl_2$, NaOCl, etanol ve Tween-20 sterilizasyon ajanlarının farklı konsantrasyon ve sürelerde uygulaması yapılmış ve %14.66 (%0.3 $HgCl_2$, 7 dakika) ve %85.33 (Steril distile su, 20 dakika) arasında değişen kontaminasyon oranları gözlemlendiği, optimum sterilizasyon durumunun 5 dakika %4 NaOCl kullanılmasıyla elde edildiği rapor edilmiştir [24]. Aynı çalışmada, NaOCl'in %4 konsantrasyonunun 10 dakika uygulamasında kontaminasyona sebep olduğu bildirilmiştir. Yapılan bu çalışmada ise deve gülü hatmi için % 10 sodyum hipoklorit ile 10 dakika ve sonrasında %70 etanol ile 30 saniye muamelenin sterilizasyonu için yeterli olduğu bulunmuştur.

Çizelge 2. Farklı sodyum hipoklorit uygulanan deve gülü tohumlarında 5.Gün sonunda gözlenen kontaminasyonlar

Uygulamalar	Bakteri Kontaminasyonu	Mantar Kontaminasyonu
5-SH	+	+
5-SH+42°C	+	+
5-SH+42°C+Z	+	+
7.5-SH	+	+
7.5-SH+42°C	+	+
7.5-SH +42°C+Z	+	+
10-SH	-	-
10-SH +42°C	-	-
10-SH +42°C+Z	-	-



Şekil 1. %5 ve %7.5 SH uygulamalarında görülen kontaminasyonlar. A:5-SH+42°C+Z; B:7.5-SH+42°C+Z uygulamaları.

3.2. Deve Gülü Bitkisi Tohumlarının Çimlenme Oranı

Yapılan ön çalışmalarda, çentik atılmamış tohumlara $HgCl_2$, etanol ve sodyum hipoklorit gibi sterilizasyon ajanlarının farklı konsantrasyonları farklı süreler ile test edilmiş ve çimlenme gözlenmemiştir. Daha sonra bistüri ile çentik atılan deve gülü bitkisinin tohumlarının $\frac{1}{2}$ MS besiyerinde çimlenme durumları 1., 2., 5., 10. ve 30. günlerde gözlenmiştir. 5. Gün çimlenme oranları bütün uygulamalar için hesaplanırken, 30. gün çimlenme oranı sadece kontaminasyonun olmadığı % 10 sodyum hipoklorit ile sterilize edilen gruplar için hesaplanmıştır. Tohumların ekiminden itibaren 1.gün sonunda sadece meyve kabuğu bistüriyle zedelenen tohum gruplarında çimlenmenin başladığı gözlenmiştir. 42°C sıcaklıkta inkübe edilen ve meyve kabuğu zedelenmeyen ve sadece sodyum hipoklorit uygulanan gruplarda tohumlar çimlenmemiştir. 5.Gün çimlenme oranı en yüksek 90.00 ± 10.00 oran ile 5-SH+42°C+Z uygulamasında belirlenmiştir (Çizelge 3). Fakat, bu uygulamada hem bakteri hem de mantar oluştuğu gözlenmiştir. 7.5-SH+42°C+Z ($\%66.67 \pm 25.166$) ve 10-SH+42°C+Z ($\%66.67 \pm 20.817$) uygulamalarında da 5. Gün sonunda çimlenme gözlenirken, 7.5-SH+42°C+Z uygulamasında bakteri ve mantar kontaminasyonu oluştu (Tablo 2 ve Şekil 1). 10-SH+42°C+Z uygulamasında ise kontaminasyon gözlenmemiştir. 5.Gün sonunda kontaminasyon gözlenen %5 ve %7.5 SH uygulamaları sonlandırılmış ve denemeye kontaminasyon oluşmayan %10 SH grupları ile devam edilmiştir. 30.gün sonunda sadece 10-SH uygulamasında çimlenme oranı $\%3.33 \pm 5.774$ iken, 10-SH+42°C+Z uygulanmasında çimlenme oranı $\%86.67 \pm 5.774$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 3 ve Şekil 2). Sonuçlar değerlendirildiğinde, tohumların 42°C sıcaklıkta 24 saat inkübasyonunun deve gülü bitkisinin çimlenmesini teşvik etmediği belirlenirken, meyve kabukları zedelenmiş tohumların ise yüksek çimlenme oranlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Tohum kabuğunun zedelenmesiyle tohumların su alımı hızlanmış ve çimlenme için gereken enzim aktivitelerinin başlaması sağlanmıştır.

Çimlenen tohumlar hızlıca filizlenmiş ve kotiledonlar oluşmuştur. Çimlenmeden 1 hafta sonra filizlerin kotiledon, kotiledon sapları, hipokotil ve epikotil kısımları doku kültüründe eksplant kaynağı olarak kullanılmaya hazır hale gelmiştir. Yapraklar, 8.Günde oluşmaya başlamış ve 30.Gün sonunda yaprak, yaprak sapı ve sürgün ucu eksplantları doku kültüründe kullanılabilir duruma gelmiştir (Şekil 3).

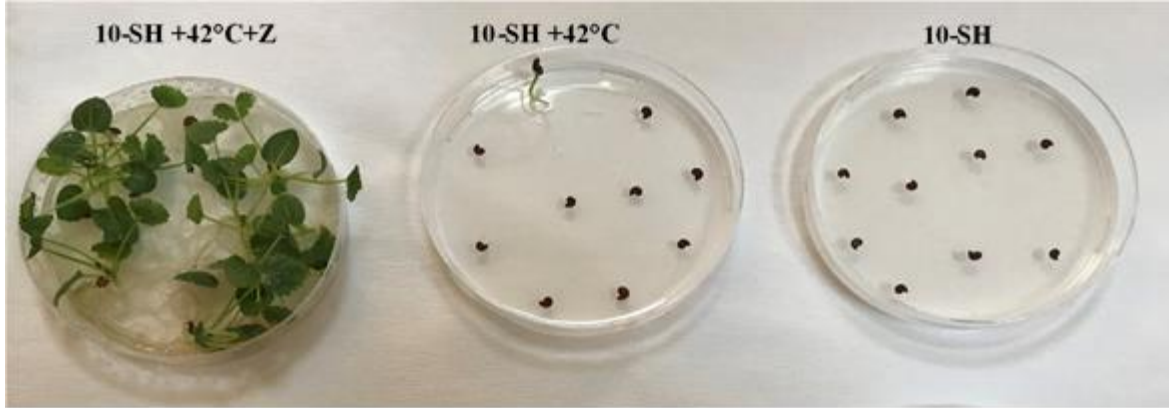
Althea officinalis L. ile yapılan bir çalışmada çimlenme oranının oldukça düşük olduğu bildirilmiştir [20]. Aynı türden *Alcea aucherii* (Boiss.) Alef. ile yapılan bir çalışmada farklı sülfürik asit konsantrasyonlarının ve uygulama sürelerinin, giberellik asitin farklı konsantrasyonların ve kum zımparasının farklı uygulama sürelerinin bitki tohumlarının çimlenmesine etkisi incelenmiş ve en yüksek çimlenme oranının (% 42) 5 dakika kum zımparası uygulamasıyla elde edildiği bildirilmiştir [21]. Gülhatmi bitkisi için oluşturulan etkili bir çimlendirme prosedürünün rapor edildiği çalışmada en yüksek çimlenme oranı %76 ile steril mineral su kullanılarak elde edildiği ve en düşük çimlenme oranının ise %3 sükröz ilaveli agar ile katılaştırılmış MS besiyerinde %28 bulunduğu bildirilmiştir [24]. Tıbbi bir bitki olan *Rheum ribes* L. ile yapılan bir çalışmada ise sülfürik asit, giberellik asit, kalsiyum klorür

ve potasyum nitratın farklı konsantrasyonları farklı stratifikasyon sürelerinde test edilmiş ve en yüksek çimlenme oranının (% 57.3) giberellik asit ile 25 gün 4°C de aydınlıkta inkübe edilen örneklerde bulunduğu bildirilmiştir [25]. Sonuçlar değerlendirildiğinde, hatmi türlerinden biri olan deve gülü bitkisi % 90 a yakın bir oranda çimlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

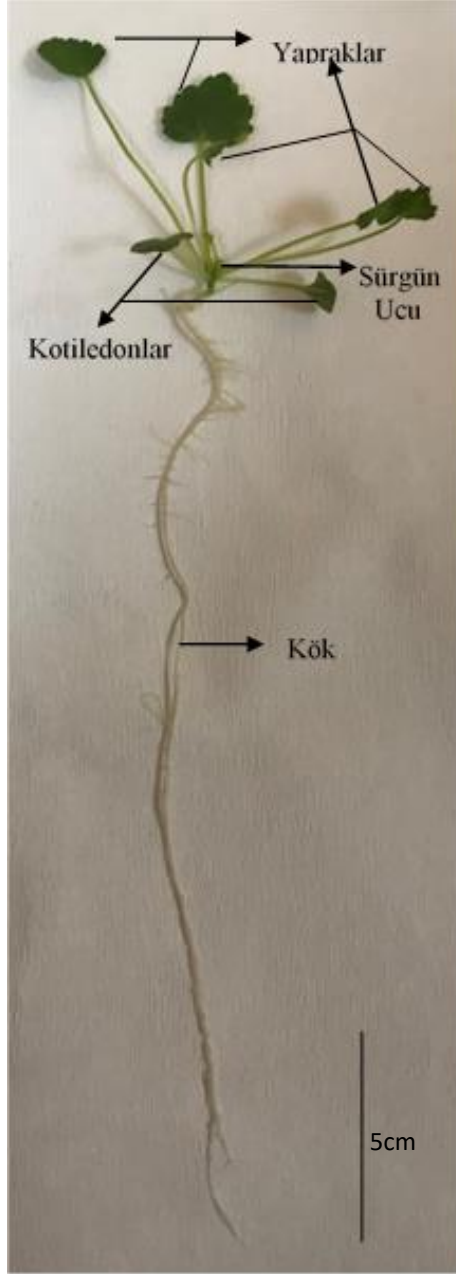
Tablo 3. Deve Gülü 5.Gün ve 30.Gün Çimlenme oranları

Uygulamalar	Çimlenme Oranı (%) Ortalama±Standart Sapma	
	5.Gün	30.Gün
5-SH	3.33±5,774 ^a	N.D
5-SH+42°C	0.00±0.000 ^a	N.D
5-SH+42°C+Z	90.00±10.00 ^{ab}	N.D
7.5-SH	3.33±5.774 ^a	N.D
7.5-SH+42°C	0.00±0.000	N.D
7.5-SH +42°C+Z	66.67±25.166 ^{ab}	N.D
10-SH	0.00±0.000 ^a	3.33±5.774 ^a
10-SH +42°C	0.00±0.000 ^a	0.00±0.000 ^a
10-SH +42°C+Z	66.67±20.817 ^{ab}	86.67±5.774 ^{ab}

Aynı sütunda ki farklı harfler ortalamalar arasındaki istatistiki olarak p<0.05 farklılığı belirtir.



Şekil 2. %10 SH uygulamalarının 30.Gün çimlenme durumları



Şekil 3. 30.Gün sonunda çimlenen deve gülü bitkiciği

4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, deve gülü bitkisi için tohum kabuğunun çentiklenmesi ile etkili bir çimlendirme prosedürü geliştirilmiş olup bitki doku kültürü çalışmaları için sorunsuzca kullanılacak eksplant kaynaklarının elde edilebilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen çimlendirme yönteminin diğer hatmi türlerinin yanında çimlenme oranı düşük diğer tıbbi bitkiler için uygulanabilirliği test edilebilir.

Teşekkür

Deve gülü tohumlarının toplanmasına yardımcı olan Doç. Dr. Abdullah Dalar ve Dr. Muzaffer Mükemre'ye ve teşhisine yardımcı olan Prof. Dr. Murat Ünal'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü FDK-2017-6160 proje kodu ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Ya T., Gilbert M.G., Dorr L.J. 2007. Malvaceae in Flora of China, Edited by Wu Z.Y, Raven PH, Hong DY, Vol.12 (Hippocastanaceae through Theaceae), Science Press, Beijing / Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, 265-298.
- [2] Kasumov M.A. 1984. Red dye from the hollyhock and its use in food industry. Doklady-Akademiia nauk Azerbaidzhanskoi SSR, 40 (6): 76-79.
- [3] Facciola S. 1990. Cornucopia: a source book of edible plants. Kampong Publications, 677s. California.
- [4] Roberts M.J. 2000. Edible and medicinal flowers. Spearhead Press, 160s. Claremont.
- [5] Lim T.K. 2014. *Alcea rosea* in Edible Medicinal and Non Medicinal Plants. Edited by Lim T.K., Vol: 8, Dordrecht, Springer, 292-299.
- [6] Rakhimov D.A., Atkhamova S.K., Khvan A.M. 2007. Pectinic substances from *Alcea rosea* flowers. Chemistry of Natural Compounds, 43 (6): 685-686.
- [7] Dudek M., Matławska I., Szkudlarek M., 2006. Phenolic acids in the flowers of *Althaea rosea* var. *nigra*. Acta Poloniae Pharmaceutica, 63 (3): 207-211.
- [8] Daulatabad C.D. Jamkhandi AM. 2000. *Althaea rosea* seed oil-a rich source of ricinoleic acid. Journal of the Oil Technologists' Association of India, 32 (1): 8-9.
- [9] Sherwani M.R.K., Chouhan S., Malik A., Parveen S., Sharma S. 2012. Isolation and characterization of cyclopropenoid fatty acids in *Althaea rosea* seed oil. International Journal of Research in Phytochemistry and Pharmacology, 2 (1): 52-54.
- [10] Barnaulov O.D., Manicheva O.A., Trukhaleva N.A., Kozhina I.S., Fokina N.E., Salikhov S.A. 1985. *Alcea-rosea* a source of polysaccharides with anti-ulcer activity. Rastitel'nye Resursy, 21: 329-340.
- [11] Mert T., Fafal T., Öztürk B. 2010. Antimicrobial and Cytotoxic Activities of the Extracts Obtained from the Flowers of *Alcea Rosea* L. Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy, 30 (1): 17-24.
- [12] Yaglıoğlu Sahin A., Eser F., Tekin S., Onal A. 2016. Antiproliferative activities of several plant extracts from Turkey on rat brain tumor and human cervix carcinoma cell lines. Frontiers in Life Science, 9 (1): 69-74.
- [13] Kim M.S., Chaturanga K., Kim H., Lee J.S., Kim C.J. 2018. Anti-influenza properties of herbal extract of *Althaea rosea* in mice. Korean Journal of Veterinary Research, 58 (3): 153-158.
- [14] Naz R., Anis M. 2012. Acceleration of adventitious shoots by interaction between exogenous hormone and adenine sulphate in *Althaea officinalis* L. Applied Biochemistry and Biotechnology, 168 (5): 1239-1255.
- [15] Naz R., Anis M., Alatar A.A. 2017. Embling Production in *Althaea officinalis* L., Through Somatic Embryogenesis and Their Appraisal via Histological and Scanning Electron Microscopical Studies. Applied Biochemistry and Biotechnology, 182 (3): 1182-1197.
- [16] Naz R., Anis M., Aref I.M., 2015. Management of cytokinin–auxin interactions for in vitro shoot proliferation of *Althaea officinalis* L.: a valuable medicinal plant. Rendiconti Lincei, 26 (3): 323-334.
- [17] Bouayed J., Piri K., Rammal H., Dicko A., Desor F., Younos C., Soulimani R. 2007. Comparative evaluation of the antioxidant potential of some Iranian medicinal plants. Food Chemistry, 104 (1): 364-368.
- [18] Mati E., de Boer H. 2011. Ethnobotany and trade of medicinal plants in the Qaysari Market, Kurdish Autonomous Region, Iraq. Journal of Ethnopharmacology, 133 (2): 490-510.
- [19] Qader S.W., Awad H.M. 2014. Evaluation of Antioxidant, Antimicrobial and Cytotoxicity of *Alcea kurdica* Alef. Jordan Journal of Biological Sciences, 147 (1572): 1-5.
- [20] Kozłowski J., Szczygłowska D., Formanowiczowa H. 1989. Biology of germination of medicinal plants seeds. Pt. 14. Seeds of species from Malvaceae family: marsh mallow (*Althaea officinalis* L.) and mallow (*Malva silvestris* L.). Herba Polonica, 2 (3): 99-107.
- [21] Shooshtarian S., Salehi H. 2010. Enhancing *Alcea aucheri* (Boiss.) Alef. seed germination by application of some scarification treatments. Advances in Environmental Biology, 4 (2): 216-219.

- [22] Baiyeri K.P., Mbah B.N. 2006. Surface sterilization and duration of seed storage influenced emergence and seedling quality of African breadfruit (*Treculia africana* Decne). *African Journal of Biotechnology*, 5 (15): 1393-1396.
- [23] Ramakrishna N., Lacey J., Smith J.E. 1991. Effect of surface sterilization, fumigation and gamma irradiation on the microflora and germination of barley seeds. *International Journal of Food Microbiology*, 13 (1): 47-54.
- [24] Younesikelaki F.S., Ebrahimzadeh M.H., Desfardi M.K., Banala M., Marka R., Nanna R.S. 2016. Optimization of seed surface sterilization method and in vitro seed germination in *Althaea officinalis* (L.)-an important medicinal herb. *Indian Journal of Science and Technology*, 9: 1-6.
- [25] Akin M., Ekin Z., Ozmen S., Kaya M. 2019. Seed Dormancy in *Rheum ribes* L. Collected from Natural Populations in Turkey. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (2): 183-192.

Araştırma Makalesi / Research Article

Sıçanlarda İhlamur (*Tilia platyphyllos* Scop) İnfüzyonunun İmmün Sistem Üzerine Etkilerinin Araştırılması

Necati ÖZOK^{1*}, İsmail ÇELİK²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Van

²Van Yüzüncü Yıl University, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van
(ORCID: 0000-0002-6733-211X) (ORCID: 0000-0002-6330-754X)

Öz

Çay olarak tüketilen en yaygın bitkilerden biri olan ihlamur (*Tilia platyphyllos* Scop) bitki çiçek özellikle soğuk kış aylarında yoğun şekilde tüketilmektedir. Halk arasında, güçlü sakinleştirici etkisinin olduğu, iltihaplanmayı azalttığı, tansiyonun düşürülmesine destek olduğu, bağışıklık sistemini güçlendirdiği kabul edilmektedir. Fakat ihlamur çayının kullanım süresi, sıklığı ve dozuna bağlı olarak canlılar üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu gösteren araştırmalar sınırlıdır. Bu çalışmada, sıçanlar her grupta altı adet sıçan bulunan dört gruba ayrıldı. Grup 1 [(kontrol grubu) (sadece musluk suyu)], grup 2 [(%20 EtOH) (musluk suyu+%20 etil alkol karışımı)], grup 3 [(LF) (musluk suyu+ %2 ihlamur çiçek infüzyon karışımı)], grup 4 [(EtOH +LF) (etil alkol+%2 ihlamur çiçe k infüzyonu)] . Günlük hazırlanan içme suları ve karışımları 50 gün süreyle sıçanlara verildi. Bu çalışmada, EtOH'un immünotoksik etkilerine karşı LF infüzyonunun iyileştirici etkilerini ortaya koymak için sıçanlarda immün sistem biyobelirteçlerinden adenzin deaminaz (ADA) ve miyeloperoksidaz (MPO) aktiviteleri üzerine olası etkilerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, analiz dokularında ADA ve MPO aktivitesinin kontrol gruplarına göre önemli ölçüde arttığı belirlendi (p<0.05).

Anahtar kelimeler: ADA, İhlamur, MPO, Sıçan, *Tilia platyphyllos*

Investigation of the Effects of Linden (*Tilia platyphyllos* Scop) Infusion on Immune System in Rats

Abstract

One of the most common plants consumed as tea, the linden (*Tilia platyphyllos* Scop) plant flowers are consumed extensively during the cold winter months. It is considered that it has a strong sedative effect, reduces inflammation, supports tension reduction, and strengthens the immune system. However, there are limited studies showing how linden tea has an effect on living beings due to the duration, frequency and dose of lime tea. In this study, rats were divided into four groups of six rats in each group. Group 1 [(control group) (only tap water was given)], group 2 [(20% EtOH) (mixed water + 20% ethyl alcohol mixture)], group 3 [(LF) (tap water + 2% linden flower infusion mixture was given)] , group 4 [(EtOH + LF) (ethyl alcohol + 2% linden flower infusion)]. Daily prepared drinking water and mixtures were given to rats for 50 days. The aim of this study was to determine the possible effects of adenosine deaminase (ADA) and myeloperoxidase (MPO) activities on immune system biomarkers in rats to demonstrate the therapeutic effects of LF infusion against the immunotoxic effects of EtOH. As a result, ADA and MPO activity were significantly increased in the control tissues compared to the control groups (p <0.05).

Keywords: ADA, Linden, MPO, Rat, *Tilia platyphyllos*

1. Giriş

İnsanlar binlerce yıldır, bitkisel ürünleri hastalıkların tedavisinde kullanmışlardır [1]. Tıbbın pek başarılı olmadığı bir kısım kronik hastalıkların tedavisinde de umut verici bir yöntem olarak

*Sorumlu yazar: necatiozok@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.03.2019. Kabul Tarihi: 21.04.2019

görülmüştür [2]. Ancak bitkiler ikincil toksik olabilecek metabolitler üreterek savunma mekanizmalarını oluştururlar [3]. Tedavi amaçlı bitki ürünlerinin giderek daha fazla kullanım süresi, sıklığı ve dozuna bağlı neden olabileceği yan etkiler konusunda şüpheleri de beraberinde getirmektedir [4-5]. Bitkisel ürünlerdeki aktif bileşenlerden özellikle, alkaloidler, flavonoidler, terpenoidler ve saponinler gibi fitokimyasallar, memelilerde bir kısım toksik etkilerin gelişiminde rol oynar. Alkaloidler, nörotransmitter sistemlerinin agonisti veya antagonisti olarak davranır ve bu durumun engellenmesine neden olabilir [6]. Benzer şekilde, lipitte çözünen bazı terpenler, memeli kolinesterazına karşı inhibe edici özellikler göstermiştir [7]. Saponinler ise insan eritrositlerinin hücre zarlarını etkileyerek hemolitik aktiviteye yol açarlar [8].

Tilia cinsi, çoğunlukla Avrupa ve Asya'da dağılmış, bir kaç cinsi de Kuzey Amerika'da bulunan 25-80 türden oluşur [9]. Halk hekimliğinde ıhlamur çiçeği sedative etkilerinin dışında diüretik, mide ağrısı ve spazmlar, gastroenterit, enterokolit, hepatik ve nefritik kolikler tedavi etmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır [10-11]. Ihlamur çiçeği %3-10 polisakkarit olan musilaj, taninler (güçlü antioksidanlar) diğer fenolik bileşikler, başta başta kuersetin, kemferol glikozitleri ve fenolik asitler (kafeik, p-kumaratik ve izokuersetin) olmak üzere flavonoidlerdir [12]. Doğal olarak bulunan bu bileşiklerin birçoğu sahip oldukları antioksidatif etkileri ile hücresel bileşenleri oksidatif hasardan korumak ve hastalıkları önlemek olduğu bilinmektedir [13-14].

Buna ilaveten çok sayıda doğal bileşikler günümüzde fizyolojik fonksiyonlar ve biyotransformasyon reaksiyonlarda detoksifikasyon işlemi modulatör bir rolü olduğu kabul edilmektedir [15]. Ancak halk hekimleri ve bazı sağlık uzmanları bitkisel ilaçların "doğal" olduklarından nispeten güvenli olduğuna inanmalarına rağmen, bu varsayımı destekleyecek çok az veri vardır. Tıbbi amaçla kullanılan bitkilerin aynı zamanda ilaçlar gibi davranabildiği, oluşan kimyasal maddelerinde insanlarda biyolojik bir faaliyete sahip olduğu ileri sürülmüştür [16-17]. Günümüzde insanların hem besin maddesi olarak hem de tedavi amaçlı bitkisel doğal ürünlere karşı artan yoğun ilgi ve kullanımları söz konusudur. Yapılan literatür araştırmalarında LF içecek ekstraktının subkronik uygulanmasının sıçanların immün sistemi üzerine olan etkilerini ortaya koyan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dünyada alkol tüketilmesi gittikçe artmaktadır. Canlı üzerindeki toksik etkileri, karaciğerde yağlanmaya ve harabiyete sebep olduğu bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır.

Bu çalışmada, ıhlamur çiçeği infüzyonunun etanolün immünotoksik etkilerine karşı iyileştirici etkilerini ortaya koyulması için sıçanlarda immün sistemin biyobelirteçlerden adozin deaminaz ve miyeloperoksidaz aktiviteleri üzerine olası etkilerinin ölçülmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deney hayvanlar

Bu çalışmada 4-5 aylık 200-250 gr ağırlığında erkek Sprague Dawley cinsi sıçanlar Yüzüncü Yıl Üniversitesi Deney Hayvanları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nden (YÜDETAM, Van, Türkiye) temin edildi. Sıçanlar, yaklaşık 12/12 saat aydınlık/karanlık periyodunda $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki ortamda tutuldu. Deney süresince musluk suyu ve standart pelet yem verildi.

2.2. Bitki materyali

Bu çalışmada, fitoterapide kullanılan ıhlamur çiçeği, Çankırı/Türkiye'deki yerel bir pazardan satın alınmıştır. Bilimsel teşhisi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Biyoloji Bölümünde (Dr. Fazlı ÖZTÜRK) yapılmıştır. Seçilen bitki farklı hastalıkların tedavisi için pratikte kullanılmaktadır. Günlük kullanımında tıbbi reçeteye tabii değildir. Bitkisel infüzyon olarak kullanılabilmektedir. Bitki örneği (No.164099) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi Herbaryumu'nda (VANF) korunmuştur.

2.3. Deneysel tasarım

Sıçanlar, her biri altı sıçan içeren dört gruba rastgele ayrıldı. I. Grup (Kontrol): Sıçanlar musluk suyu içirildi ve ad libitum olarak standart pelet diyeti ile beslendi. II. Grup (EtOH): Sıçanların içme sularına %20 etanol ilave edilerek ad libitum olarak standart pelet diyeti ile beslendi. III. Grup (LF) %2

ihlamur çiçeği ekstresi sıçanların içme sularına ilave edildi ve ağız yoluyla ad libitum olarak standart pellet diyeti ile beslendi. IV. Grup (EtOH+LF) sıçanların içme sularına %2 ihlamur çiçeği ekstresi ve % 20 EtOH ilave edildi. Ağız yoluyla adlibitum olarak standart pelet diyeti ile beslendi.

2.4. Doku süpernatantların hazırlanması

Deneyssel uygulamanın sonunda sıçanlar ketaminle (4mg/100g w/v) intraperitoneal yolla anestezi edildi. Dokular daha sonra fizyolojik su ile yıkandı. Karaciğer, dalak, böbrek, beyin ve kalp dokusu (100 mg) 5 dakika 50 mM buzda soğutulmuş fosfat [(KH₂PO₄ (1:5 w/v)] tamponda (pH 7.4) homojenize edildi. Homojenatlar 9000 rpm'de 25 dakika boyunca 4°C santrifüj edildi (Hettich Universal 320R). Süpernatantlar sonra analizlerde kullanılmak için eppendorf tüplere alındı ve -80 °C derecede derin dondurucuda muhafaza altına alındı [18-19].

2.5. Biyokimyasal ölçümler

2.5.1. ADA aktivite ölçümü

ADA aktivite tayini Giusti'ye göre yapıldı. Bu metoda göre ADA, adenozinden inozin (deoksiinozin) oluşumunu katalizlemektedir. Bu sırada açığa çıkan amonyak, sodyum hipoklorit ve fenol/nitroprussid ile birlikte alkali çözeltide koyu mavi indofenol oluşturur. Oluşan koyu mavi indofenol 630 nm'de kolormetrik olarak ölçüldü [20].

2.5.2. MPO aktivite ölçümü

MPO, Bradley ve arkadaşları tarafından tarif edilen metoda göre yapıldı. Bu metod MPO tarafından oksitlenen H₂O₂'nin, O-dianisidine redüklenmesi sonucunda oluşan ürünün 460 nm'de absorbanlarının ölçülmesi esasına dayanmaktadır [21].

2.6. İstatistik Analiz

İstatistiksel Analizler SPSS (Windows SPSS, Sürüm 23.0) paket programı kullanılarak gerçekleştirildi. Tüm veriler, ortalama \pm standart hata (SEM) olarak sunuldu. Deney gruplarının ortalamaları arasındaki farkları belirlemek için anlamlılık düzeyini $p \leq 0,05$ olarak kabul eden One-way analysis of variance (ANOVA) istatistiksel test ve Tukey post-test kullanıldı.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma materyalinin 50 günlük uygulanmasının sonucunda, LF infüzyonunun EtOH kaynaklı oksidatif strese karşı immünsistem üzerine olan etkisi, imminolojik biyomarker enzimlerden ADA ve MPO enzim aktiviteleri karaciğer, dalak, kalp, böbrek ve beyin dokularında ölçülerek değerlendirildi (Tablo-1). Elde edilen sonuçlar göre karaciğer ADA enzim aktivitesi kontrol grubu ve EtOH grubu ile karşılaştırıldığında EtOH+LF grubunda anlamlı bir artış belirlendi, LF grubunda ise kontrol grubuna göre artarken EtOH grubuna göre ise aktivitede anlamlı bir azalma gözlemlendi ($p \leq 0,05$). Dalak ADA enzim aktivitesi kontrol ve EtOH grubuna göre karşılaştırıldığında, EtOH+LF ve LF grubunda anlamlı bir şekilde arttığı tespit edildi ($p \leq 0,05$). EtOH+LF uygulanan gruptaki kalp ADA aktivitesinin kontrol ve EtOH grubuna göre anlamlı bir artışı belirlendi ($p \leq 0,05$). LF grubunda ise ADA aktivitesi kontrol grubuna göre anlamlı bir artış gösterdi ($p \leq 0,05$). Böbrek ADA aktivitesinin kontrol ve EtOH grubuna göre EtOH+LF ve LF uygulanan grupta artışı anlamlı bulundu ($p \leq 0,05$). Beyin ADA aktivitesi EtOH+LF uygulanan gruplarında kontrol ve EtOH gruplarına göre artışı anlamlı bulundu ($p \leq 0,05$). LF uygulanan grupta ise ADA enzim aktivitesi kontrol grubuna göre artarken EtOH+LF uygulanan gruba göre ise azaldı ($p \leq 0,05$).

Karaciğer MPO enzim aktivitesindeki artışı EtOH+LF ve LF uygulanan grupta kontrol grubuna göre anlamlı bulundu, ancak LF uygulanan grupta aktivite EtOH grubuna göre anlamlı bir azalış gösterdi ($p \leq 0,05$). Dalak MPO enzim aktivitesinin tüm uygulama gruplarında kontrol grubuna

göre anlamlı arttığı belirlenirken, EtOH+LF grubunda ise artış EtOH grubuna göre anlamlı bulundu ($p \leq 0,05$). Kalp EtOH+LF grubu MPO enzim aktivite artışı kontrol grubuna göre anlamlı bulunmazken ($p > 0,05$), LF grubunda aktivite artışı kontrol ve EtOH grubuna göre anlamlı bulundu ($p \leq 0,05$). EtOH+LF grubu böbrek MPO enzim aktivitesi artışı kontrol grubuna göre, LF grubu MPO enzim aktivite artışı ise hem LF hemde EtOH grubuna göre anlamlı bulundu ($p \leq 0,05$). Beyin MPO enzim aktivitesinde meydana gelen artış tüm uygulama gruplarında kontrol grubuna göre anlamlı bulundu ($p \leq 0,05$).

Tablo 1. Sıçanlarda EtOH'ün olası immünotoksik etkisine karşı ıhlamur çiçeği (*Tilia platyphyllos*) infüzyonunun iyileştirici etkileri

Dokular	Parametreler	Kontrol	EtOH	EtOH +LF	LF
Karaciğer	ADA (U/g)	10.56 ± 0.61	16.16 ± 0.10 ^a	17.68 ± 0,84 ^{ab}	12.58 ± 0.11 ^{ab}
	MPO (U/g)	168.78 ± 2.20	256.34 ± 5.80 ^a	274.11 ± 2.08 ^{ab}	181.21 ± 4.76 ^{ab}
Dalak	ADA (U/g)	15.38 ± 0.06	21.25 ± 0.06 ^a	24.04 ± 0.04 ^{ab}	23.77 ± 0.07 ^{ab}
	MPO (U/g)	1549.49 ± 28.00	3310.49 ± 66.44 ^a	3634.51 ± 68.04 ^{ab}	3160.74 ± 57.72 ^a
Kalp	ADA (U/g)	7.61 ± 0.08	8.66 ± 0.06 ^a	9.54 ± 0.07 ^{ab}	8.66 ± 0.14 ^a
	MPO (U/g)	565.99 ± 18.32	1001.69 ± 15.37 ^a	689.34 ± 13.83 ^a	929.44 ± 18.33 ^{ab}
Böbrek	ADA (U/g)	12.86 ± 0.07	15.35 ± 0,16 ^a	28.17 ± 0.09 ^{ab}	16.22 ± 0.10 ^{ab}
	MPO (U/g)	327.91 ± 15.21	619.16 ± 13.22 ^a	613.77 ± 20.76 ^a	917.95 ± 21.49 ^{ab}
Beyin	ADA (U/g)	4.43 ± 0.03	6.41 ± 0,04 ^a	7.68 ± 0.06 ^{ab}	4.76 ± 0.04 ^{ab}
	MPO (U/g)	117.59 ± 10.82	244.50 ± 13.45 ^a	280.88 ± 12.41 ^a	247.04 ± 22.57 ^a

Değerler ortalama ve standart hata olarak ifade etmektedir

^aKontrol grubu ile EtOH, EtOH+LF, LF grupları arasındaki fark anlamlıdır ($p \leq 0.05$).

^bEtOH grubu ile EtOH+LF, LF grupları arasındaki fark anlamlıdır ($p \leq 0.05$).

Sigara ve alkol kullanımının da artması özellikle kullanıcılarda serbest radikallerin oluşum hızının artmasına ve bununla birlikte antioksidan savunma sisteminin yetersizliği neticesinde çeşitli kronik hastalıklar meydana gelmektedir. Diyabet, kalp hastalıkları, hipertansiyon, sedef, romatoid artrit, kas, deri, göz hastalıkları, kanser ve yaşlılık gibi birçok hastalıkta serbest radikal ve lipid peroksidasyon ürünlerinin artması sonucunda antioksidan savunma mekanizmalarının yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Ancak bu hastalıkların patogenezisinde reaktif oksijen türleri (ROS) artışı hastalığın sebebi mi yoksa bir sonucu mu olduğu kesin olarak bilinmemektedir. Bilinen odur ki; bu tür hastaların dokularında yoğun bir şekilde oksijenin mevcudiyetidir [22-23]. Deneysel çalışmalar da, serbest radikaller, lipid peroksidasyonu ve peroksidasyon ürünleri ile kanser gelişimi arasında pozitif bir ilişkinin söz konusu olduğu ortaya konulmuştur. Birçok kimyasal maddenin hücrede oksidatif stresi artırarak, kansere sebep olduğu bildirilmektedir. Bu maddeler SOD, GSH-Px ve katalaz aktiviteleri dâhil hücrenin antioksidan savunmasında ani ve sürekli bir azalmaya neden olmaktadır. Keza, fiziksel ajanlardan radyasyonun da serbest radikal ve lipid peroksidasyon üretimini artırarak kansere sebep olduğu gösterilmiştir. Serbest radikaller, kanserin başlangıç, ilerleme ve gelişme dönemlerinde etkili olmakla beraber bu etki ilerleme döneminde daha belirgin, diğer dönemlerde ise nispeten azdır. Serbest radikallerin etkisi sonucu DNA ve kromozomlarda kırılma ve onkogenlerde aktivasyonda artışa sebep olur [24].

ADA, insan vücudunun bağışıklık sisteminin normal çalışması için gereklidir. ADA pürin katabolize enzimlerin yüksek aktivitesi olan mekanizmanın ilk enzimi olarak kabul edildiği gibi organ ve hücrelerde adenozin konsantrasyonlarını kontrolünde anahtar bir enzim olarak da bilinir [25]. Dokularda anormal enzim seviyelerinin varlığı, klinik uygulamada doku hasarının ve hangi organın etkilendiğini göstermek için iyi bir indikatör olarak kabul edilir. ADA, adenozin'nin (Ado) yıkımından sorumlu enzim olduğundan, aktivitesinin inhibisyonu, stres koşulları altında dokularda Ado birikmesinin bir sonucu olarak kabul edilir. EtOH maruziyeti ile ilişkili mitokondriyel membran disfonksiyonu ATP metabolizmasını azaltır ve ADA'nın alt birimleri olan adenozin ve inozin gibi pürin yıkımı ürünlerinin artışına neden olur. ADA, hücrelerde toksik adenozin ve deoksiadenozine parçalayarak birikir. Bir enzimin sitotoksik etkileri, enzim eksikliğinden veya enzim substratının birikmesinden kaynaklanır. Mevcut çalışmada, kontrol grubuna göre EtOH ile LF+EtOH ve EtOH

grubuna göre de LF+EtOH grubu karşılaştırıldığında sıçanların karaciğer ve dalak dokusunda önemli derecede artmış ADA aktivitesinin kesin sebebi anlaşılmamakla beraber aşırı substrat artışı olan Ado üretiminden kaynaklanmış olabilir [26-27]. EtOH grubu LF grubuyla karşılaştırıldığında ise karaciğer ADA aktivitesinde önemli derecede düşüş gözlenmesi LF ekstraktının antioksidan etkisi ile ilişkili bu enzimin aktivitesinde nisbeten etkili olduğunu göstermiştir. Buna göre immün sistem fonksiyonları ile ilgili olan ADA enzim aktivitesinin azalması bu sistemi olumsuz yönden etkilemektedir. ADA'nın bağışıklık sistem fonksiyonlarıyla ilişkili olduğu ve immunitenin arttığı durumlarda aktivitesinin arttığı, azaldığı durumlarda ise ADA aktivitesinin azaldığını bildirmiştir [28].

Myeloperoksidaz (MPO), agresif oksidanlar üretebilen önemli bir nötrofil enzimidir. Yapılan çalışmalar; karaciğer MPO seviyesinin artmasının karaciğer hasarıyla yakından ilişkili olduğunu rapor edilmiştir [29-30]. Çalışmamızda da artan MPO aktivitesi, karaciğer, dalak, kalp, böbrek ve beyin dokularında EtOH toksitesinin etkisi sonucu ROT üretiminin artışına bağlı gelişen hasarlarla ilişkili olduğu söylenebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, elde edilen biyokimyasal verilerin doğrultusunda etanolün sıçan karaciğerlerinde ve immün sisteminde meydana getirmiş olduğu tahribata bağlı olarak karaciğer harabiyet göstergesi olan MPO ve immün sistem biyobelirteci olan ADA enzimlerinin seviyelerinin arttığı gözlenmiştir. Bu enzim aktivitelerinde artış, etanol kaynaklı serbest radikal üretiminin artması ile ilişkili olabilir. Diğer yandan, ıhlamur çiçeği infüzyonu karaciğer ve immün sistem harabiyet göstergesi olan enzimlerini kontrollere yakın değere çektiği görülmüştür. Yine, etanolün neden olduğu oksidatif stres sonucu çeşitli dokularda dalgalanan biyobelirteçlerin etanol grubuna göre iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir. Yapılan bir araştırmada, ıhlamurun kuersetin ve kempferol içeren bir bitki olduğu yapraklarında yüksek miktarda fenolik madde içerdiği rapor edilmiştir [31-32]. Bu çalışmanın, farklı dokular üzerinde etkilerinin gösterildiği ıhlamur infüzyonunun deney hayvanları üzerinde yapılacak in vivo çalışmalara ışık tutacağı kanaatindeyiz.

Teşekkür

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Projeler Koordinasyon Başkanlığı tarafından (YYÜ-BAP-2010-FBE-YL002) desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kazi A., Urbizu D.A., Kuhn D.J., Acebo A.L., Jackson E.R., Greenfelder G.P., Dou Q.P. 2003. A natural musaceas plant extract inhibits proteasome activity and induces apoptosis selectively in human tumor and transformed, but not normal and non-transformed, cells. *International journal of molecular medicine*, 12 (6): 879-887.
- [2] de Mel Y., Perera S., Ratnaweera P.B., Jayasinghe C.D. 2017. Novel insights of toxicological evaluation of herbal medicine: Human based toxicological assays. *Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3 (2): 41-49.
- [3] Rodriguez-Fragoso L., Reyes-Esparza J., Burchiel S.W., Herrera-Ruiz D., Torres E. 2008. Risks and benefits of commonly used herbal medicines in Mexico. *Toxicology and applied pharmacology*, 227 (1): 125-135.
- [4] Anonymous World Health Organization. WHO Traditional Medicine Strategy 2002-2005. Geneva, World Health Organization, 2002. (document reference WHO/EDM/TRM/2002.1).
- [5] Prakash A.S., Pereira T.N., Reilly P.E., Seawright A.A. 1999. Pyrrolizidine alkaloids in human diet. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 443 (1-2): 53-67.
- [6] Ifeoma O., Oluwakanyinsola S. 2013. Screening of herbal medicines for potential toxicities. In *New Insights into Toxicity and Drug Testing*. Intech Open.
- [7] Kennedy D.O., Wightman E.L. 2011. Herbal extracts and phytochemicals: plant secondary metabolites and the enhancement of human brain function. *Advances in Nutrition*, 2 (1): 32-50.

- [8] Navarro V.J., Barnhart H., Bonkovsky H.L., Davern T., Fontana R.J., Grant L., Stolz A. 2014. Liver injury from herbals and dietary supplements in the US Drug-Induced Liver Injury Network. *Hepatology*, 60 (4): 1399-1408.
- [9] Buchbauer G., Remberg B., Jirovetz L., Nikiforov A. 1995. Comparative headspace analysis of living and fresh cut lime tree flowers (*Tiliae flores*). *Flavour and Fragrance Journal*, 10: 221–224.
- [10] Gülçin İ. 2009. Antioxidant activity of l-adrenaline: A structure–activity insight. *Chemicobiological interactions*, 179 (2-3): 71-80.
- [11] Tachjian A., Maria V., Jahangir A. 2010. Use of herbal products and potential interactions in patients with cardiovascular diseases. *Journal of the American College of Cardiology*, 55 (6): 515-525.
- [12] Hardin J.W. 1990. Variation patterns and recognition of varieties of *Tilia americana* sl. *Systematic botany*, 33-48.
- [13] Viola H., Wolfman C., Levi de Stein M., Wasowski C., Pena C., Medina J.H., Palad'in A.C. 1994. Isolation of pharmacologically active benzodiazepine receptor ligands from *Tilia tomentosa* (Tiliaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 44: 47–53.
- [14] Toker G., Aslan M., Yesilada E., Memisoglu M., Ito S. 2001. Comparative evaluation of the flavonoid content in officinal *Tiliae* flos and Turkish lime species for quality assessment. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 26: 111–121.
- [15] Durak Z.E. 2013. Adenozin Deaminaz Enziminin Kinetik Davranışı Üzerine Zerdeçal (*Curcuma longa*) Ekstresinin Etkilerinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (4).
- [16] Pavón N.P. 2000. endangered and potentially economic tree of Mexico: *Tilia mexicana* (Tiliaceae). *Economic botany*, 54 (1): 113-114
- [17] Matsuda H., Ninomiya K., Shimoda H., Yoshikawa M. 2002. Hepatoprotective principles from the flowers of *Tilia argentea* (Linden): structure requirement of tiliroside and mechanism of action. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 10: 707–712.
- [18] Xia E., Rao G., Remmen H.V., Heydari A.R., Richardson A. 1994. Activities of antioxidant enzymes in various tissues of male fischer 344 rats are altered by food restriction. *J. Nutr.*, 125: 195-201.
- [19] Marklund S.L. 1990. Expression of extracellular superoxide dismutase by human cell lines. *Biochemical Journal*: 266 (1): 213-219.
- [20] Giusti G. 1974. Adenosine deaminase. In: *Methods of Enzymatic Analysis*. Ed: Bergmeyer, H.U. Academic Press Inc., New York, USA, 20: 204–229.
- [21] Bradley P.P., Priebat D.A., Christensen R.D., Rothstein G. 1982. Measurement of cutaneous inflammation: estimation of neutrophil content with an enzyme marker. *Journal of Investigative Dermatology*, 78 (3): 206-209.
- [22] Halliwell B., Gutteridge M.C. 1990. Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease An overview. *Methods in Enzymology*, 186: 1-85.
- [23] Janssen Y.M.W., Houten B.V., Borm P.J.A., Mossmon B.T. 1993. Biology of disease, cell and tissue responses to oxidative damage. *Lab. Invest.*, 69 (3): 261-274.
- [24] Özdem S., Şadan G. 1994. Serbest oksijen radikallerinin oluşum ve klinik açıdan önemi. *Ankara Üniversitesi, Tıp Fak. Derg.*, 11 (1): 63-71.
- [25] Cristalli G.S., Costanzi C., Lambertucci G., Lupidi S., Vittori R., Volpini E, Camaioni E. 2001. Adenosine deaminase: functional implications and different classes of inhibitors. *Med Res Rev.*, 21: 105-128.
- [26] Aguirre-Hernández E., Martínez A.L., González-Trujano M.E., Moreno J., Vibrans H., Soto-Hernández M. 2007. Pharmacological evaluation of the anxiolytic and sedative effects of *Tilia americana* L. var. *mexicana* in mice. *Journal of ethnopharmacology*, 109 (1): 140-145.
- [27] Kennedy D.A., Seely D. 2010. Clinically based evidence of drug–herb interactions: a systematic review. *Expert opinion on drug safety*, 9 (1): 79-124.
- [28] Valentine W.N., Paglia D.E., Tartaglia A.P., Gilsanz F. 1977. Hereditary hemolytic anemia with increased red cell adenosine deaminase (45-to 70-fold) and decreased adenosine triphosphate. *Science*, 195 (4280): 783-785.

- [29] Jordan W.K., March R., Houchin O.B., Popp E. 1959. Intracellular partition of purine deaminases in rodent brain. *Journal of neurochemistry*, 4 (2): 170-174.
- [30] Saha P., Das S. 2003. Regulation of hazardous exposure by protective exposure: modulation of phase II detoxification and lipid peroxidation by *Camellia sinensis* and *Swertia chirata*. *Teratogenesis, carcinogenesis, and mutagenesis*, 23 (S1): 313-322.
- [31] Atoui A.K., Mansouri A., Boskou G., Kefalas P., 2005. Tea and herbal infusions: Their antioksidant activity and phenolic profile, *Food Chemistry*, 89: 27-36.
- [32] Karakaya S., El S.N. 1999. Quercetin, luteolin, apigenin and keampferol contents of some foods. *Food Chemistry*, 66: 289-292.

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation on Diet of Long-Eared Owl (*Asio Otus*) Inhabiting Fatih Natural Park (Turkey)

Tarkan YORULMAZ^{1*} Nurhan ARSLAN²

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Yaapraklı Meslek Yüksek Okulu, Ormancılık Bölümü, Avcılık ve Yaban Hayatı Programı, Ballica Yerleşkesi, Çankırı

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rektörlük Ek Hizmet Binası, Yeni Mahalle, Çankırı (ORCID:0000-0002-9033-7162) (ORCID: 0000-0002-4928-4767)

Abstract

Pellet analyses were used to identify small mammal species in the diet of this owl species in order to reveal its ecological role. In this study, 706 pellets of *Asio otus* were collected from 3 different localities in Fatih Natural Park between February and March 2014. Pellets were dissolved by using 3% NaOH solution and then bones were dehydrated and identified. The aim of this study was to determine mammal composition in the diet of *Asio otus* inhabiting Fatih Natural Park of Yozgat Province, Turkey. Residues of bone from 1293 individuals/preys corresponding to 42377.41 g biomass in total were detected as the result of analysis. These individuals were identified to belonging to 12 mammal species (*Crocidura suaveolens*, *Suncus etruscus*, *Microtus hartingi/lydius*, *Microtus levis*, *Microtus* sp., *Cricetulus migratorius*, *Mesocricetus brandti*, *Apodemus* sp., *Apodemus sylvaticus*, *Apodemus witherbyi*, *Mus macedonicus*, and *Meriones tristrami*) from 3 families and 8 genera. *Microtus hartingi/lydius*, which is known as agricultural pest, was dominant in the diet of *Asio otus*. When diversity of mammal species within the food composition was examined, *Asio otus* nesting in forest was found to primarily prefer agricultural and steppe areas, and was also found in woody and bushy areas. The use of *Asio otus* can be taken into consideration when dealing with rodent species known as agricultural pests.

Keywords: *Asio otus*, Diet, pellets, small mammals, Yozgat, Turkey.

Fatih Tabiat Parkı'ndaki Uzun Kulaklı Orman Baykuşu (*Asio otus*)'nun Diyetinin İncelenmesi

Öz

Pellet analizleri belli bir alanda yaşayan küçük memeli türlerinin tespitinde ve baykuşun o alandaki ekolojik rolünün ortaya konmasında kullanılmaktadır. Bu çalışma Yozgat Fatih Tabiat Parkından Şubat ve Mart 2014 tarihlerinde *Asio otus* bireyine ait 3 farklı lokaliteden toplanan 706 pellet üzerinde yapılmıştır. Pelletler %3'lük NaOH solüsyonu kullanılarak çözülmüş ve daha sonra kemikler kurutulup teşhis edilmiştir. Bu çalışma ile Yozgat Fatih Tabiat Parkında yaşadığı tespit edilen *Asio otus* bireylerinin diyetindeki memeli kompozisyonunu belirlemek amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda toplam 42377,41 gr biomasa karşılık gelen 1293 bireye/ava ait kemik kalıntısı tespit edilmiştir. Bu bireylerin 3 familya ve 8 cins ait toplam 12 memeli türüne (*Crocidura suaveolens*, *Suncus etruscus*, *Microtus hartingi/lydius*, *Microtus levis*, *Microtus* sp., *Cricetulus migratorius*, *Mesocricetus brandti*, *Apodemus* sp., *Apodemus sylvaticus*, *Apodemus witherbyi*, *Mus macedonicus* ve *Meriones tristrami*) ait olduğu saptanmıştır. Tarım zararlısı olarak bilinen *Microtus hartingi/lydius* türünün *Asio otus*' un diyetinde ilk sırayı aldığı tespit edilmiştir. Besin kompozisyonundaki memeli türlerinin çeşitliliğine bakıldığında orman içinde yuvalanan *Asio otus*' un beslenme amacı ile öncelikli olarak tarım ve step alanları tercih ettiği, bununla birlikte ormanlık ve çalılık alanlarda da beslendiği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: *Asio otus*, diet, pellet, Küçük memeliler, Yozgat, Turkey.

*Sorumlu yazar: tarkan.yorulmaz@gmail.com

Geliş Tarihi: 30.03.2019, Kabul Tarihi: 21.04.2019

1. Introduction

Owls, a member of order strigiformes, are known as myofagus bird species. Pellet structures formed by owls are used to identify mammal species in a certain area and the habitats where they are active [1-3]. Obuch [4] gave new records of several bat species for bat fauna in Turkey depending on pellets collected from in front of a cave in Kahta district of Adıyaman Province. In the same study, the researcher also determined existence of bird and rodent species in the pellets. Studies on food composition through analysis of pellets of owls from various locations in Anatolia have been conducted [2, 5-16].

The aim of this study was to determine species' food preference by analyzing 706 pellets of *Asio otus* which were detected to live in Fatih Natural Park of Yozgat Province. Information regarding the mammal habitats where *Asio otus* is active was also tried to obtain.

2. Material and Method

2.1. Study Area

Field studies were conducted in three different localities that were close to each other (UTM-36S 655788 E 4407843 N; 655917 E 4407905 N; 656066 E 4407900 N) in Fatih Natural Park of Yozgat Province between 14 February 2014 and 14 March 2014. The study area is a woody zone consisting of dense pine trees and there are sporadic glades and seasonal streams in some places. The city center of Yozgat is located at approximately 1 km north of the study field, agricultural lands and steppe areas are at about 1.2 km east (Figure 1).

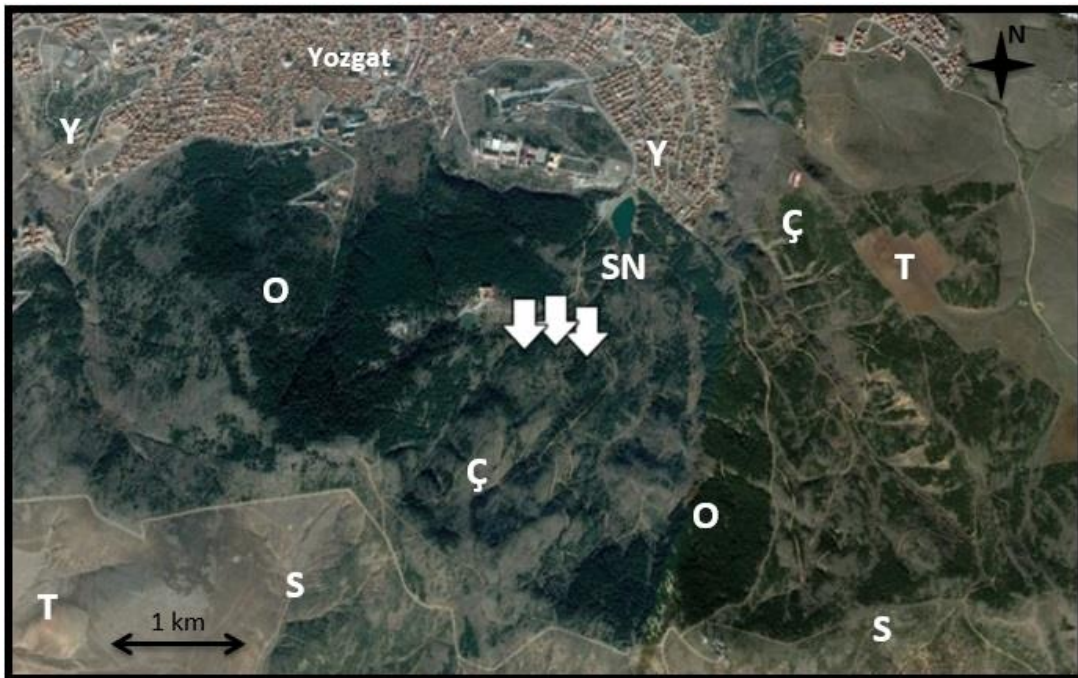


Figure 1. Localities where the pellets were collected (white arrows) and diverse habitats found around (Habitat Types: T-Agricultural, O-Forest, SN- Marshy and Damp, S-Steppe, Y-Settlements)

2.2. Pellet Analysis

In total, 706 pellets were collected from the study area. Analyses were carried out according to Schueler [17] and Yalden [18]. Hairs included in pellets were ensured to lyse by dissolving pellets in 3% NaOH solution. Pellets were kept in hot water bath at 65 °C for 45 minutes. Pellets, then, were dehydrated in petri dishes. Weight of each pellet, number of bone pieces, number of individuals, number of species,

and biomass were identified. Biomass values were determined considering average of weights in studies conducted about species around close areas [19-23].

2.3. Prey Identification

Internal character measurements of skulls from mammal species identified were recorded by measuring via caliper with 10 mm precision. Pieces of skull and teeth belonging to each species were photographed by using Leica M125 stereo-microscope. Pamukoğlu and Albayrak [24], Osborn [25], Tez [26], Kefelioğlu and Krystufek [27], Yiğit and Çolak [19], Krystufek and Vohlarik [20], Demirbaş and Pamukoğlu [21], Gözütok and Albayrak [22], Yorulmaz and Albayrak [23], Coşkun [28] and Yiğit [29] were followed for identification of species. Materials were conserved in Zoology Laboratory of Biology Department, Faculty of Science, Çankırı Karatekin University.

3. Results

As a result of examining 706 collected pellets, a total of 12 species were identified including *Crocidura suaveolens*, *Suncus etruscus*, *Microtus hartingi/lydius*, *Microtus levis*, *Microtus* sp., *Cricetulus migratorius*, *Mesocricetus brandti*, *Apodemus sylvaticus*, *Apodemus witherbyi*, *Apodemus* sp., *Mus macedonicus* and *Meriones tristrami* from *Crocidura*, *Suncus*, *Microtus*, *Cricetulus*, *Mesocricetus*, *Apodemus*, *Meriones*, and *Mus* species from Soricidae, Cricetidae, and Muridae families in Eulipotyphla and Rodentia orders (Table 1).

Mean pellet weight was 2.69 g, mean bone weight in each pellet was 1.32 g, average number of bones was 94.4 in each pellet, and mean number of individuals per pellet was 1.8. 801 individuals (61.95%) from 5 species of Cricetidae family and 686 individuals (53%) from 3 species of genus *Microtus* were identified in diet of long-eared owl. The species *Microtus hartingi/lydius* among them was placed at the top with 490 (37.90%) individuals. Long-eared owl was determined to consume 42377.41 g biomass in 706 pellets. Among the consumed mass, the species *Microtus hartingi/lydius* with 22589 g (53.3%) was detected to take the first place again.

Among the identified species, *Microtus hartingi/lydius*, *Meriones tristrami*, *Cricetulus migratorius*, *Mesocricetus brandti* *Mus macedonicus* were mainly found in steppes, agricultural areas, and glades; *Crocidura suaveolens*, *Suncus etruscus*, *Microtus levis*, *Mus macedonicus*, *Apodemus witherbyi* were in areas close to human settlements, riparian areas, and shrubbery zones; *Apodemus witherbyi*, *Apodemus sylvaticus* in underbrush under trees within woodlands.

When diet of long-eared owl was considered in terms of habitat distributions, it was determined as follows; agricultural areas (7 species), shrubbery zones (6 species), steppes (6 species), marshy and damp areas (5 species), forests (3 species) and settlements (1 species) (Table 1).

Table 1. Overall frequency and proportions of various prey items in the diet of Long eared owl

Species	Number of Individuals	Percent (%)	Body Weight (gr)	Total Biomass (gr)	Percent (%)	Habitat Type
<i>Microtus hartingi/lydius</i>	490	37.9	46.1	22589	53.3	S, T
<i>Mus macedonicus</i>	340	26.3	15	5100	12.03	S, SN, Ç, Y
<i>Microtus</i> sp.	137	10.6	32.5	4452.5	10.51	S, T
<i>Cricetulus migratorius</i>	110	8.5	26	2860	6.75	T, S
<i>Microtus levis</i>	59	4.56	30.2	1781.8	4.206	SN, T
<i>Apodemus</i> sp.	57	4.41	23.45	1336.65	3.15	O, S, T, Ç
<i>Apodemus sylvaticus</i>	28	2.16	22.99	643.72	1.52	O, SN, Ç
<i>Meriones tristrami</i>	24	1.85	99.8	2395.2	5.65	T, S, Ç
<i>Apodemus witherbyi</i>	17	1.31	23.62	401.54	0.95	O, SN, Ç
<i>Crocidura suaveolens</i>	9	0.73	8.5	76.5	0.18	SN, Ç
<i>Mesocricetus brandti</i>	5	0.39	83.7	418.5	0.99	S, T
<i>Suncus etruscus</i>	1	0.08	2	2	0.004	SN, Ç
Total	1293	100	413.86	42377.41	100	

*Not calculated governorate (Habitat Types: T-Agricultural, O-Forest, SN- Marshy and Damp, S-Steppe, Ç-Brush wood, Y-Settlement)

In this study, long-eared owl was recorded to intensively feed on small mammals inhabiting agricultural areas in the surrounding of Fatih Natural Park. Additionally, it was also observed to create a prey pressure also on rodents inhabiting in border of forests and open lands around them. Despite the fact that there is suitable ponds, agricultural areas and bushes in the forests in the study field where insectivore mammals can live, they were determined to have pellets at minimum rate. In this study, *Suncus etruscus* species was recorded for the first time from Yozgat and Central Anatolia.

4. Discussion

In numerous studies conducted with owl pellets, more than 65% of its diet consisted of species from the genus *Microtus* (Figure 2, Figure 3). Species from the genus *Mus* were recorded to be less than 20%. In this study, while species of the genus *Microtus* took the first place with the rate of 53%, the species *Mus macodenicus* from the genus *Mus* was determined to have a rate of 26%. The species *Mus macodenicus* was recorded to constitute the second most significant element of the diet, following the species *Microtus hartingi/lydius*.

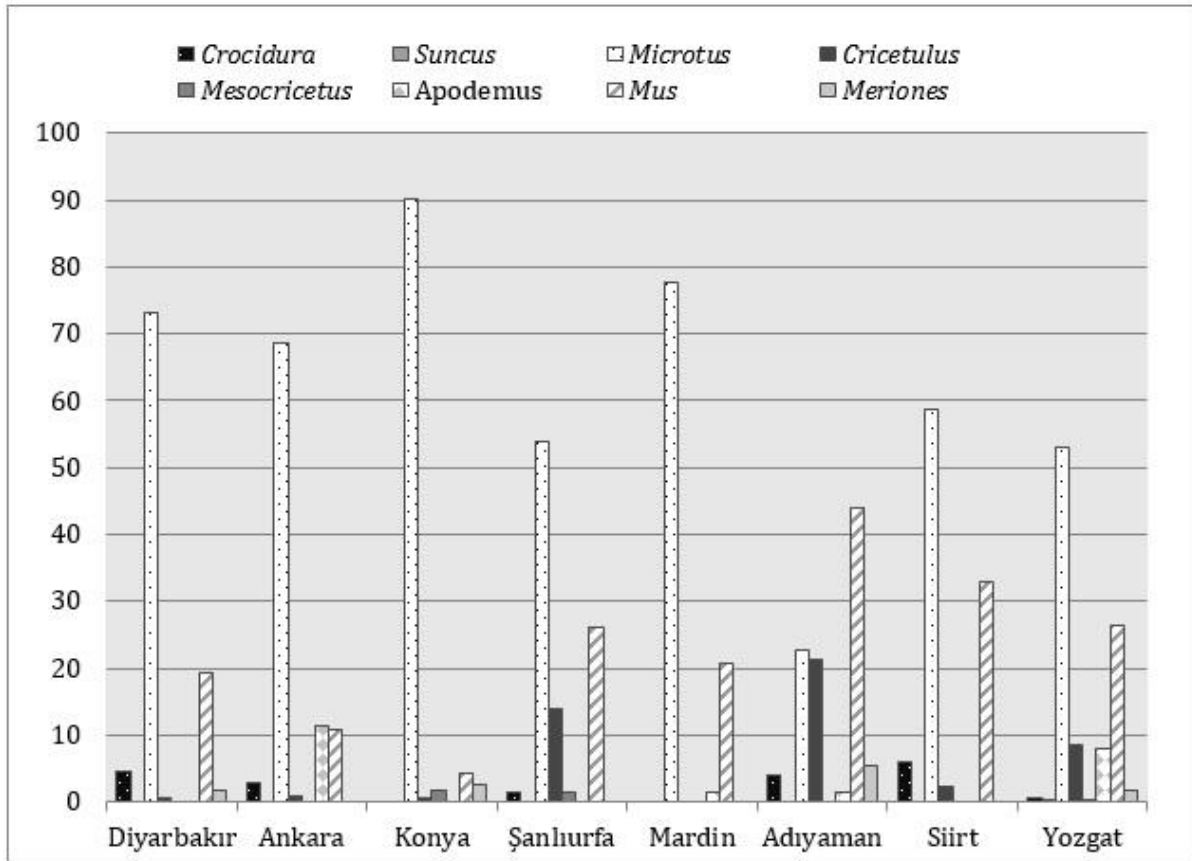


Figure 2. Comparison of percentages belonging to rodent genera with certain literature data

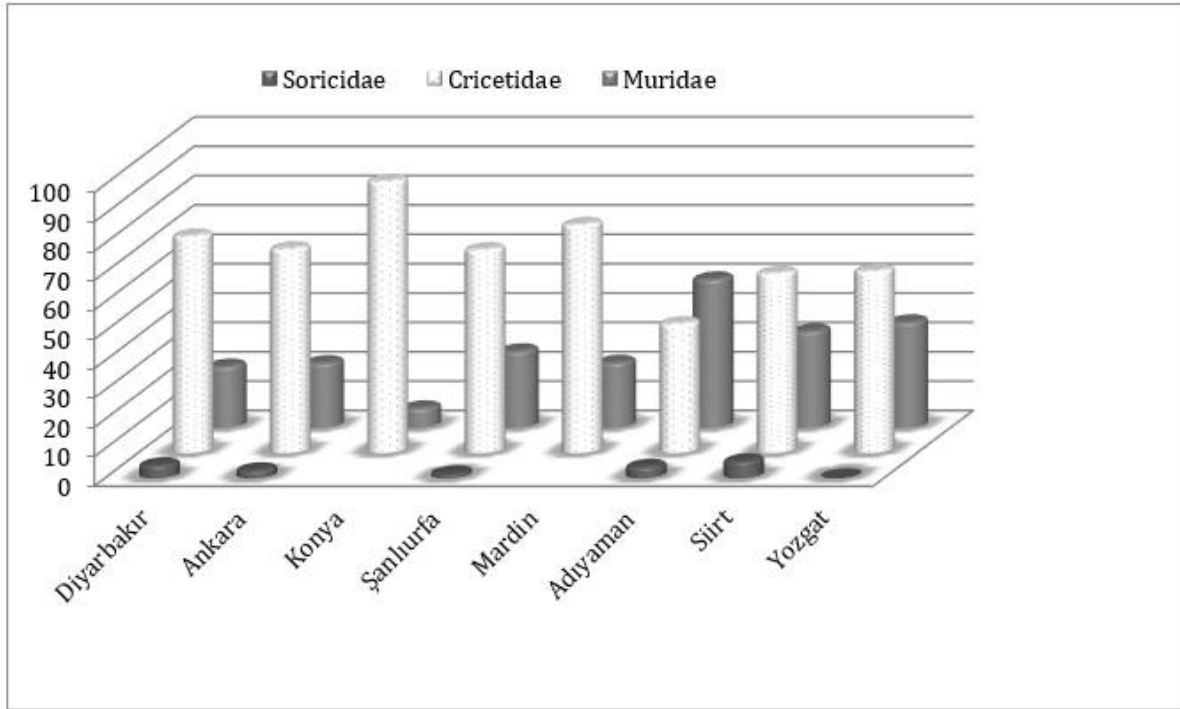


Figure 3. Comparison of percentages belonging to rodent families with some literature data

Microtus hartingi/lydius is a systematically contradictive species. *Microtus guentheri* was widely used in previous pellet analysis studies, however, in the recent studies conducted on systematical status of the genus *Microtus*, it was found that the species in Central Anatolia was not *Microtus guentheri*. It is still a matter of debate if this species was *M. hartingi* or *M. lydius*? [19, 30-32]. The species *Microtus hartingi/lydius* in Central Anatolia, which is considerably larger than the species *Microtus guentheri* in terms of general morphological body measurements, has the greatest biomass in diet of owl.

According to Kaya and Coşkun [33], six species, *Microtus guentheri*, *Microtus sp.*, *Cricetulus migratorius*, *Meriones sp.*, *Apodemus sp* and *Mesocricetus brandti* species were found in 134 pellet of long-eared owl (*Asio otus*) collected from Erzurum. *Microtus guentheri* in these pellets were the most common small mammal species with a rate of 68.5%. In this study, the remains of 12 mammal species were found in 1293 pellets. *Microtus hartingi/lydius* was the most common species.

Göçer [34] reported that the diet of the nesting Long-eared Owls consisted entirely of birds. In our study the diet of the Long-eared Owls consisted entirely of mammals.

Bulut et al. [13] reported that they found mainly pieces of skull in 138 pellets of the species *Asio otus* collected from Ankara province. However, 7265 (10.9%) of 66647 pieces of bones within 706 pellets were pieces from skull in this study. The species *Suncus etruscus* was identified mostly in pellet analysis studies in Turkey [35]. So far, in studies based on pellet analysis, *Suncus etruscus* species is only recorded from southeastern Turkey. In this study, the record of the species *Suncus etruscus* was given from Central Anatolia for the first time.

Wheat with zinc-phosphide has been used for the control of *Microtus* in Yozgat province, 3616 kg is the amount used in 266281 decars in 2016 [36]. In this study, the effect of the species *Asio otus* alone on *Microtus* was determined. Mixtures used for chemical control purposes negatively influence organisms like particularly *Asio otus* which mainly feed on rodent species and are placed at top of food chain. Eradication of these species as the result of chemical poisoning would cause elimination of natural biological control on rodent species that are considered agricultural pests. Therefore, it has great importance in terms of protecting natural balance to warn relevant people about control of agricultural pests.

References

- [1] Rubolini D., Pirovano A., Borghi S. 2003. Influence of seasonality, temperature and rain fall on the winter diet of the long-earedowl. *Folia Zoologica*, 52: 67-76.
- [2] Seçkin S., Coşkun Y. 2006. Mammalia nremains in the pellets of Long-Eared Owls (*Asio otus*) in Diyarbakır province. *Turkish Journal of Zoology*, 30: 271-278.
- [3] Romanowski J., Zmihorski M. 2009. Seasonal and habitat variation in the diet of the tawny owl (*Strix aluco*) in Central Poland during unusually warm years. *Biologia*, 64: 365-369.
- [4] Obuch J. 1994. Diet of Tawny Owl (*Strix aluco*) in selecte dregions of Bohemia and Moravia. *Sylvia*, 30: 77-85.
- [5] Steiner H.M., Vauk G. 1966. Säugetiereaus dem Beyşehir-Gebiet (Konya, Kleinasien). *Zoologi scher Anzeiger*, 176: 97-102.
- [6] Morgan D. 1983. An analysis of some Eagle Owl pellets from Turkey. *Sandgrouse*, 5: 105-106.
- [7] Hoppe N. 1986. Pellet contents of the Barn Owl, near Samandağ, Turkey. *Zoology in the Middle East*, 1: 29-31.
- [8] Kasperek M. 1985. Die Sultans sumpfe. *Naturge schich teeines Vogel paradises in Anatolien. Heidelberg, Germany.*
- [9] Kasperek M. 1986. On the distribution and systematic position of the Barn Owl, *Tyto alba*, in Turkey and adjacentareas. *Zoology in the Middle East*, 1: 44-51.
- [10] Kock D. 1990. Notes on mammals (Insectivora, Rodentia) taken by the Tawny Owl in NW Turkey. *Zoology in the Middle East*, 4: 5-9.
- [11] Nadachowski A., Smielowski J., Rzebikkowalska B., Daoud A. 1990. Mammals from the Near East in Polish collection. *Acta Zoologica Cracoviensia*, 33: 91-120.
- [12] Gezici V. 2009. Niğde, Nevşehir ve Aksaray illerden toplanan pelletlerle Strigiformes (Classis: Aves) ordosu üyelerinin besin analizi (Unpublished master's thesis). Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye (in Turkish).
- [13] Bulut Ş., Akbaba B., Ayas Z. 2012. Analysis of mammal remains from owl pellets (*Asio otus*), in a suburban area in Beytepe, Ankara. *Hacettepe J. Biol. &Chem.*, 40: 233-237.
- [14] Seçkin S., Kaya A., Coşkun Y. 2012. Başaklı Köyü (Diyarbakır-Bismil) civarında yaşayan puhu (*Bubo bubo*)'ların peletlerin deki küçük memelilerin dağılımı. *C.Ü. Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33: 1 (in Turkish).
- [15] Hızal E. 2013. Diet of the Long-eared Owl, *Asio otus*, in Central Anatolia (Aves: Strigidae). *Zoology in the Middle East*, 59: 118-122.
- [16] Kaya A., Coşkun Y. 2014. Nevşehir'de Baykuş Peletlerindeki Memeli Hayvan Kalıntılarının Dağılımı. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3: 39-44 (in Turkish).
- [17] Schueler F.W. 1972. A new method of preparing owls pellets boiling in NaOH. *Bird Banding*, 43:142.
- [18] Yalden D.W. 2009. *The Analysis of Owl Pellets*. Southampton, UK: The Mammal Society.
- [19] Yiğit N., Çolak E. 2002. On the distribution and taxonomic status of *Microtus guentheri* (Danford and Alston, 1880) and *Microtus lydius* Blackler, 1916 (Mammalia: Rodentia) in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 26: 197-204.
- [20] Kryštufek B., Vohralík V. 2001. Mammals of Turkey and Cyprus. Order Insectivora. *Knjižnica Annales Majora*.
- [21] Demirbaş Y., Pamukoğlu N. 2008. The Bioecology of *Meriones tristrami* Thomas, 1892 in Kırıkkale Province (Mammalia: Rodentia). *IJNES*, 2: 39-44.
- [22] Gözütok S., Albayrak I. 2009. Biologyand ecology of the species of the genus *Microtus* (Schrank, 1798) in Kırıkkale province (Mammalia: Rodentia). *IJNES*, 3: 94-101.
- [23] Yorulmaz T., Albayrak I. 2009. Studies on the morphology and karyology on the genus *Apodemus* from Turkey, with some notes on the bioecology. *IJNES*, 3: 32-38.
- [24] Pamukoglu N., Albayrak I. 1996. The rodents of Kastamonu Province (Mammalia: Rodentia). *Commun Fac Sci Univ Ank Series C*, 14: 1-22.
- [25] Osborn D.J. 1965. Hedgehogs and shrews of Turkey. *Proc. United States Nat. Mus.*, 117: 553-566.
- [26] Tez C. 2000. Taxonomy and distribution of white-toothed shrews (*Crocidura*) (Soricidae: Insectivora: Mammalia) of Turkey. *Turkish Journal of Zoology* 24: 365-374.

- [27] Kefelioğlu H., Kryštufek B. 1999. The taxonomy of *Microtus socialis* group (Rodentia: Muridae) in Turkey, with the description of a new species. J Nat Hist., 33: 289-303.
- [28] Coşkun Y. 1999. Diyarbakır *Meriones tristrami* Thomas, 1892 (Rodentia: Gerbillidae) Örneklerinin Morfolojik Özellikleri. Turkish Journal of Zoology, 23: 345-355.
- [29] Yiğit N. 2003. Age-Dependent Cranial Variations in *Mesocricetus brandti* (Mammalia: Rodentia) Distributed in Turkey. Turkish Journal of Zoology, 27: 65-71.
- [30] Kryštufek B., Vohralík V. 2009. Mammals of Turkey and Cyprus. Rodentia II: Cricetinae, Muridae, Spalacidae, Calomyscidae, Capromyidae, Hystricidae, Castoridae. Knjižnica Annales Majora.
- [31] Yiğit N., Markov G., Çolak E., Kocheva M., Saygılı F., Yüce D., Çam P. 2012. Phenotypic features of the “*Guentheri*” group vole (Mammalia: Rodentia) in Turkey and the Southeast Bulgaria: Evidence for its taxonomic detachment. Actazool bulg., 64: 23-32.
- [32] Markov G., Csorba G., Kocheva M., Gospodinova M. 2014. Skull features of the common vole (*Microtus arvalis sensulato*) from Hungary: craniometrical evidence for its taxonomic detachment. Turkish Journal of Zoology, 36: 283-290.
- [33] Göçer E. 2016. Diet of a nesting pair of Long-eared Owls, *Asio otus*, in an urban environment in southwestern Turkey (Aves: Strigidae), Zoology in the Middle East, 62 (1): 25-28.
- [34] Kaya A., Coşkun Y. 2017. Erzurum'dan Toplanan Kulaklı Orman Baykuşu (*Asio otus*) Peletlerinde Memeli Hayvan Türleri. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 6 (1): 47-50.
- [35] Coşkun Y., Kaya A. 2013. Additional record of *Suncus etruscus* (Savi, 1822) (Mammalia: Soricidae) from Southeastern Anatolia, Turkey. IJBS Journal of Biology, 72: 31-35.
- [36] Anonymus, 2017. Bitki Sağlığı 2017 Yılı Uygulama Programı Kitabı. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye (in Turkish).

Araştırma Makalesi / Research Article

**Streptozotosin kaynaklı diyabetik sıçanlarda *Arum rupicola*'nın
in vivo antioksidan potansiyeli**

Necati ÖZOK*, İnan GÜNEŞ

Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Van
(ORCID: 0000-0002-6733-211X) (ORCID: 0000-0001-8651-689X)

Öz

Diabetes mellitus, dünya popülasyonunun azımsanmayacak bir kesimini etkileyen metabolik bir hastalıktır. *Arum rupicola*, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da, halk hekimliğinde diyabetin tedavisi için kullanılmaktadır. Bu çalışma, *Arum rupicola*'nın streptozotosin (STZ) ile oluşturulan diyabetik sıçanlarda toprak üstü kök ve gövde liyoflize ekstresinin oksidatif stres belirteçleri üzerine etkisini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Çalışmanın deneysel modellenmesine göre, toplam 36 adet erkek sıçan rastgele altı gruba ayrıldı. İlk grup, normal kontrol (NK), ikinci grup, streptozotosin (STZ) ile deneysel diyabet oluşturuldu (DK). Üçüncü grup, diyabet+akarboz (DAK) deneme süresince verildi. Dört, beş ve altıncı gruplardaki sıçanlar STZ ile diyabet oluşturulduktan sonra sırasıyla 100, 200 ve 400 mg/kg (DAR: Diyabet+*Arum* ekstresi: DAR 100, DAR 200, DAR 400 mg/kg) doz aralığında *Arum rupicola* liyoflize ekstresi gavaj yolu sıçanlara verildi. Bu çalışmada, antioksidan savunma sistemi unsurlarından olan süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GPx), katalaz (CAT) aktivitesi ile non-enzimatik antioksidan olan glutatyon (GSH)'un düzeylerinin ölçümleri gerçekleştirildi. Ayrıca, lipid peroksidasyonun (LPO) son ürünü olan malondialdehit (MDA) seviyeside belirlendi. Diyabetik gruplarda, uygulama dozlarının tümünde SOD, GPx ve CAT ve GSH düzeylerindeki azalışlar normal kontrol (NK) grubuna göre anlamlı bulundu. Ancak eritrosit ve karaciğer dokularında lipid peroksidasyonu sonucu oluşan MDA'in düzeyinde görülen azalma normal kontrol ve diyabetik kontrol gruplarına göre anlamlı bulundu ($p \leq 0.05$). Diğer yandan, beyin dokusu DAR3 grubunda ve böbrek dokusu DAR1, DAR2, DAR3 gruplarında artan MDA düzeyleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bitki ekstresi uygulanan diyabetik gruplarda, farklı dokularda belirlenen değişken SOD, GPx ve CAT aktivite ve GSH'un ölçümleri istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p \leq 0.05$). Sonuç olarak, diyabetik sıçanlarda oksidatif stresin etkileri karşısında *Arum rupicola* ekstresinin doza bağlı dokudan-dokuya farklılık gösteren antioksidatif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Arum rupicola*, Antioksidan, Oksidatif stres, Sıçan

**In vivo antioxidant potential of *Arum rupicola* in
streptozotocin-induced diabetic rats**

Abstract

Diabetes mellitus is a metabolic disease that affects a significant portion of the world population. *Arum rupicola* is used in eastern and southeastern Anatolian for the treatment of diabetes in folk medicine. This study was designed to evaluate the effect of *Arum rupicola* on oxidative stress markers of the above ground root and stem lyophilized extracts in diabetic rats with streptozotocin (STZ). According to the experimental modeling of the study, a total of 36 male rats was randomly divided into six groups. The first group consisted of normal control (NK) and second group of streptozotocin (STZ) experimental diabetes (DK). The third group was given standard drug+acarbose (DAK) during the trial period rats in the four, five and sixth groups were given the rats with a dose range of 100, 200 and 400 mg/kg (DAR 100, DAR 200, DAR 400 mg/kg). In this study, the levels of antioxidant defense system superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), catalase (CAT) activity and nonenzymatic antioxidant glutathione (GSH) levels were measured. In addition, malondialdehyde (MDA) content of the final product of lipid peroxidation (LPO) was measured. In diabetic groups, decreases in SOD, GPx and CAT and GSH levels were found to be significant compared to normal control group. However, the decrease in MDA levels in erythrocyte and liver tissues as a result of lipid peroxidation was found to be significant compared

*Sorumlu yazar: necatiozok@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.04.2019 Kabul Tarihi: 21.04.2019

to normal control and diabetic control groups ($p \leq 0.05$). On the other hand, increased MDA levels were found to be statistically significant in the DAR3 group of brain tissue and in the DAR1, DAR2, DAR3 groups of kidney tissue. Variable SOD, GPx and CAT activity and GSH measurements in different tissues were statistically significant in diabetic group ($p \leq 0.05$). As a result, *Arum rupicola* extract has been shown to have an antioxidative effect on tissue-to-tissue in response to the effects of oxidative stress in diabetic rats.

Keywords: *Arum rupicola*, Antioxidant, Oxidative stress, Rat

1. Giriş

Diabetes mellitus yüksek kan glikozu değerleri ve şeker, lipit ve protein metabolizmasındaki bozukluklarla tanımlanan metabolik bir hastalıktır [1]. Küresel popülasyonların % 6,3'den fazlasının diabetes mellitus hastalığı ile muzdarip olduğu tahmin edilmektedir [2]. Kronik olarak birçok hastalığın (Hiperglisemi, anjiyopati, nöropati, retinopati, zayıflamış antioksidan savunma sistemi, metabolik bozukluklar ve lipit profilindeki değişimler gibi) ana nedeni olarak kabul edilir [3]. Hiperglisem ile bağlantılı olan oksidatif stresin diyabetik komplikasyonların en önemli sebebi olduğu rapor edilmiştir [4]. Reaktif Oksijen Türleri (ROS) üretiminde mitokondriyal metabolizmanın rolü vardır. Başka bir deyişle mitokondriler, yalnızca hücresel enerji üreten organeller değildir aynı zamanda reaktif oksijen türlerinin üretim merkezleridir [5-7]. Oksidatif strese bağlı artan ROS üretiminin, enerji dengesinde ciddi bozukluklara neden olduğu bildirilmiştir. Bu durumda hücre antioksidan savunma sistemi ROS'un yıkıcı etkilerini hızlı bir şekilde etkisizleştirmek zorundadır. Aksi takdirde zayıflamış antioksidan sistemi ve aşırı üretilen ROS radikalleri nükleik asitler, proteinler, lipitler ve karbonhidrat gibi makro molekülleri tahrip ederek hücre hasarına sebep olurlar [8]. İn vivo enzimatik ya da enzimatik olmayan endojen antioksidanlar ROS radikallerinin etkilerinin nötralizasyonundan sorumludurlar. Ancak hiperglisemi ve hiperlipidemi gibi komplikasyonların ROS üretiminde artışa neden olarak antioksidan enzimlerin reaksiyonlarını olumsuz yönden etkilemekte ve sonuçta bu antioksidanların seviyelerinde bir azalmaya sebep olmaktadır. Bitki bazlı polifenoller, flavonoidler ve tanenler gibi bazı bileşenleri serbest radikallerden kaynaklanan hasarlara karşı antioksidan etki gösterdiği bildirilmiştir [9,10].

Araştırma materyali *Arum rupicola* (yılanıyastığı, yılanbıcağı, danayanağı) *Arum* cinsine ait çok yıllık yumru lu bitkilerdir. Toprak üstü gövde ve yaprakları pişirilerek sebze yemeği olarak yörede tüketilmektedir. Ayrıca bu bitki geleneksel tıpta (Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde) diyabet, baş ağrısı, hemoroid gibi hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır [11, 12].

Bu çalışmada, halk arasında diyabet tedavisinde kullanılan *Arum rupicola* toprak üstü gövde ve yaprak ekstresinin diyabet kaynaklı oksidatif stres üzerindeki antioksidatif etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Ekstraksiyon

Çalışma materyali *Arum rupicola* Boiss. var. *virescens* (Stapf.) P.C.Boyce, bitkisi Muş-Varto Köprücük Köyü'nden toplandı. Bitki teşhisi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünde (Dr. S. Mesut PINAR) gerçekleştirildi (No.164100). Bitki kök ve gövdesi gölge bir ortamda kurutuldu. Kurutulmuş materyal havanda toz haline getirildikten sonra 50 gr tartılarak 1000 ml distile su ile karışımı hazırlandı. Karışım 24 saat dijital çalkalayıcıda çalkalandı sonra süzülde ve süzüntü evaporatörde konsantre edildi. Süzüntü falkon tüplerine alınarak -80 °C'de 48 saat bekletildi. Donmuş konsantre süzüntü liyofilizatör cihazında (Edwards, Fransa) -51 °C'de ve 50 millitor basınç altında su içeriği tamamen uçuruldu. Ekstre daha sonra üzere +4 °C'de muhafaza edildi [13].

2.2. Deney hayvanları

Bu çalışmada, 200-350 g ağırlığındaki 47 erkek Wistar albino sıçanı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Deney Hayvanları Ünitesinden satın alındı. Hayvanlar oda sıcaklığında (25±1°C), 12 saat aydınlık / karanlık ışık periyodunda tutuldu. Beslenmelerinde gıda ve su'ya erişimleri ad libitum olarak

gerçekleşti. Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Hayvan Deneyleeri Yerel Etik kurulu tarafından onaylanmıştır (Protokol no: 2019/01).

2.3. Akut toksisite testi

Oral toksisite testi Organization for Economic Corporation and Development (OECD) rehberi 425'e göre yapıldı. Bu test için toksisite doz aralığı 2000, 5000 ve 10000 mg/kg değerleri seçildi. Bu rehbere göre; önce bir adet sıçan bir gece aç bırakıldı. Canlı ağırlığı tartıldıktan sonra gavaj yoluyla en düşük toksisite dozu 2000 mg/kg ekstrakt verdi ve tek başına ayrı bir kafese alındı bir gün süresince aralıklı olarak davranışları gözlemlendi. Ölüm gözlenmediği için (24saat) dört sıçan bir gece daha aç bırakıldı ve ağırlıkları tartıldı yine 2000 mg/kg dozunda ekstrakt verildi. Bu sıçanlar 24 saat gözlemlendi. Sıçan ölümleri gözlenmediği için LD50 dozunun 2000 mg/kg'dan büyük olduğu anlaşıldı. Daha sonra 5000 ve 10000 mg/kg test dozu gece boyunca aç bırakılan tek bir sıçana verildi. Sıçan ölümleri görülmediği için iki sıçan daha aynı prosedürden geçirildi. Bu sıçanlarda da 5000 ve 10000 mg/kg test dozlarında ölüm görülmedi. Böylece *Arum rupicola* bitki ekistresinin LD50 dozunun (5000 mg / kg veya 10000 mg/kg) daha büyük olduğu tespit edildi. Uygulamada 2000, 5000, 10000 mg/kg bitki ekstre dozlarının yaklaşık 1/10'u (100, 200, 400mg/kg) bu bitkinin oksidatif strese karşın anti diyabetik etkisinin belirlenmesinde doz aralığı olarak kabul edildi [14].

2.4. Deneysel tasarım

Gece boyu 12 saat aç bırakılan 36 adet sıçan rastgele altı gruba (n=6) ayrıldı. İlk grup, normal kontrol (NK) sadece yem ve musluk suyu verildi. İkinci grup streptozotosin (tek doz-50 mg/kg, ip) ile deneysel diyabet oluşturuldu (DK). Üçüncü grup, diyabet+akarboz (20mg/ kg) (DAK) deneme süresince verildi. Dört, beş ve altıncı gruplardaki sıçanlar STZ ile diyabet oluşturulduktan sonra sırasıyla 100, 200 ve 400 mg/kg [(DAR: diyabet+Arum ekstresi) (DAR100, DAR200, DAR400 mg/kg)] doz seviyelerinde Arum rupicola liyoflize ekstresi gavaj yolu ile 25 gün deneme süresince aynı saatlerde uygulandı. Normal kontrol grubu hariç diğer gruplardaki sıçanlar 0.1M sitrat tamponu (pH: 4.5) içinde çözünen STZ, intraperitoneal (ip) yolla tek doz (50 mg/kg) enjeksiyonla verilerek diyabet olmaları sağlandı. STZ uygulananan gruplarda uygulamadan 72 saat sonra sıçanların kan glukoz değerleri (Accu-Chek Go Roche, A.B.D) glukometre ile ölçüldü ve kan glukoz düzeyi >200 mg/dL olan sıçanlar diyabet olarak kabul edildi [15, 16].

2.5. Kan ve doku örneklerinin alınması

Deneme sonunda (25 gün) sıçanlar 5mg/100mg ketaminle anestezi edildi. Biyokimyasal analizlerde kullanılacak kan dokusu sıçan kalbinden steril plastik enjektörler yardımıyla alındı. Eritrosit paketleri oluşturuldu. Ayrıca sarkifiye edilen sıçanlardan karaciğer, beyin, ve böbrek dokuları alındıktan sonra homojenizasyon işlemine tabi tutuldu. Derin dondurucuda tüm dokular -80°C'de antioksidan enzim ve antioksidan madde içeriğinin (SOD, CAT, ve GSH) ve LPO'nun son ürünü olan MDA düzeyinin belirlenmesine kadar muhafaza altına alındı [17].

2.6. Biyokimyasal analizler

Süperoksit dismutaz (SOD) enzimi (EC: 1.15.1.1) aktivitesi Radox-Ransod enzim kiti (Radox Laboratories Ltd. GB) kullanılarak ölçülmüş ve UV 37 °C'de 505 nm'de ölçüldü. Bu metoda göre ksantin ve ksantin oksidaz reaksiyonunda üretilen süperoksit anyon radikallerinin SOD tarafından oksijene dönüştürülerek inhibe esasına dayanır [18]. Katalaz aktiviteleri, 240 nm'de H₂O₂ ayrışma hızının tespit edildiği yöntemle göre belirlendi [19]. Eritrosit ve dokularda GSH seviyesi, doku supernetantlarında fosfat tamponu kullanılmasıyla redükte glutatyonda (GSH) sülfidril gruplarının DTNB 5,5'-ditiyobis (2-nitrobenzoik asit) ile reaksiyonu ile sarı renge dönüşmesi esasına dayalı spektrofometrik bir yöntemle ölçüldü [20]. Eritrosit ve dokularda MDA içeriği Jain ve arkadaşlarına göre belirlendi. Bu metodun prensibi TBA reaktivitesine dayanmaktadır [21].

2.7. İstatistiksel analiz

İstatistiksel Analizler Windows paket programı Minitab 13 (Minitab, State College, PA) kullanılarak gerçekleştirildi. Tüm veriler, ortalama \pm standart sapma (SD) olarak sunuldu. Grup ortalamaları arasındaki farkların belirlenmesinde tek yönlü varyans (ANOVA) tukey post hoc testi kullanıldı. Anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edildi.

3. Bulgular ve Tartışma

Bitki ekstresi uygulanan sıçanların kontrol grubuna göre karşılaştırıldığı eritrosit, beyin, böbrek, karaciğer SOD, CAT enzim aktivitesi ile GSH ve LPO'yu son ürünü MDA düzeyi verileri Tablo 1 verilmiştir. Bu bulgulara göre eritrosit SOD aktivitesinin DAR3 grubunda DK grubuna göre anlamlı arttığı belirlendi ($p < 0.05$). Bitki ekstre uygulanan tüm gruplarında beyin SOD aktivitesinin NK'e göre arttığı, böbrek DAR3 grubu karaciğer dokusunda ise hem DK'e hem de NK'e göre azaldığı belirlendi. Bu dokulardaki SOD aktivitesindeki değişimler anlamlı bulundu ($p < 0.05$). SOD, oksijen metabolizmasının toksik etkilerine karşı savunma mekanizmasının en önemli enzimidir. Aşırı süperoksit mevcudiyeti SOD aktivitesinde farklılıklara neden olduğu bildirilmiştir [22]. SOD inhibisyonu, SOD enzim proteini sentezinde azalma veya enzim proteinlerinin fonksiyonel yapılarının aşırı üretilen serbest radikallerden geri dönüşümsüz bozulmasından kaynaklandığı bildirilmiştir [23]. Hiperglisemide glukozun oto-oksidasyonun sonucu aşırı oksijen radikali üretilmesinden dolayı oksidatif strese neden olduğu düşünülmektedir [24]. Ayrıca, hipergliseminin eritrositlerde membran hasarından da sorumlu olduğu ileri sürülmüştür [25]. Diyabetik sıçanlarda CAT, Px ve SOD aktivitelerinin azaldığını bildirilmiştir. Bununla birlikte, bitki ekstresi tatbik edilen sıçanlarda bu enzimatik antioksidanların aktivitelerini geri kazandığı tespit edilmiştir [26]. Bu çalışmada DAR3 grubunda SOD aktivitesinde DK grubuna göre artışı bu bitkinin 400 mg/kg uygulandığı dozun diyabet kaynaklı serbest radikallerin etkilerini baskıladığı söylenebilir. Diyabetik sıçanlarda beyin dokusunda tüm uygulama gruplarında DK grubuna göre artmış SOD aktivitesinin muhtemelen azalmış oksidatif stres potansiyeli ile ilişkili olabilir [27]. Diyabetik DAR3 grubunda böbrek SOD enzim aktivitesinin azalmasında glikoz oto-oksidasyonu ve bu enzimlerin glikasyonu sonucunda aşırı üretilen serbest radikalleri süpürücü görevlerini yerine getirirken yoğun kullanımlarına bağlı olabilir [28].

Tablo 1'deki verilere göre eritrosit ve karaciğerin tüm uygulama grupları ile beyin DAR2 ve DAR3 gruplarında CAT aktivitesinde NK ve DK'e göre azalışı anlamlı bulundu ($p < 0.05$). Tüm ekstere uygulama gruplarının böbrek dokularında, beyin dokusunda DAR3 grubunda CAT aktivitesi DK'e göre anlamlı bir artış belirlendi ($p < 0.05$). Diyabetik araştırmalarda, oksidatif strese karşı SOD ve CAT aktivitesinin ölçülmesi bu iki enzimin savunma hattını ilk safhasını oluşturdukları için önemlidir. CAT, bir hemoproteindir. Oldukça önemli oranlarda H_2O_2 'nin su ve oksijene dönüştürerek detoksifikasyon işlevi gördüğü bilinmektedir [29-30]. Antioksidan enzim azalmış aktivitelerinin ileri derecede glikoz oksidasyonu ile ilişkili olduğu ve bununda serbest radikal üretimini tetiklediği bildirilmiştir [31]. Diğer yandan SOD, GPx ve CAT aktivitelerinin dokudan dokuya değişebileceği yapılan çalışmalarla rapor edilmiştir [32]. Bu çalışmada, bitki ekstresi uygulanan gruplarda eritrosit, karaciğer ve beyin CAT aktivitesinin artmış ROS üretimine bağlı savunmada yetersiz kaldığı söylenebilir. Ancak böbrek tüm uygulama gruplarında ve beyin DAR1 grubunda CAT aktivite artışı DK ve NK'e göre antioksidan savunma hattında ROS üretimini engellediği de söylenebilir.

Eritrosit GSH içeriği tüm uygulama gruplarında NK'e göre anlamlı azalırken, DAR1 grubundaki artış DK'e göre anlamlı bulundu ($p < 0.05$). Beyin dokusu GSH içeriği DAR2 grubunda NK'e göre anlamlı azalırken, diyabetik gruplarda DAR2 ve DAR3 GSH düzeyindeki artış ve DAR3 grubu GSH düzeyindeki düşüş anlamlı bulundu ($p < 0.05$). Ekstre verilen sıçanların karaciğer GSH düzeylerindeki azalış hem kontrol hem de diyabetik gruplarda anlamlı bulundu ($P < 0.05$).

GSH, serbest radikalleri temizlemeye yardımcı olan glutatyon redüktaz tarafından üretilen hücre içi bir antioksidandır [33]. Diyabetik oksidatif strese bağlı GSH düzeylerindeki azalışlar antioksidan savunma sistemi için önemli bir gösterge olarak kabul edilir [34]. GSH, serbest radikallere karşı süpürücü etkisi yanında GPx içinde ko-substrat olarak görev yapan endojen bir antioksidandır. Fizyolojik şartlarda, süperoksit, hidroksil ve tekli oksijeni radikallerini doğrudan temizleyici güce sahiptir [35]. Diyabetik gruplarda enzim aktivitesinde ve antioksidan madde içeriğinde aşırı serbest radikal üretimine bağlı görülen azalışların nedeni, antioksidan enzim aktivitesinin yoğun çalışmasından ve antioksidan madde içeriğinin ise aşırı kullanılmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ciddi stres

koşullarında, bu sistem hücre içindeki koruyucu etkisini kaybeder. Artmış GSH içeriği, STZ kaynaklı diyabetik sıçanlarda azalmış antioksidan enzim aktivitesi ve içeriğinin bozulmuş redoks döngüsüne karşı koruyucu bir rol üstlendiğini düşündürmektedir.

Tablo 1. göre eritrosit MDA içeriğindeki düşüş kontrol ve ekstre verilen tüm gruplarda anlamlı bulundu ($p < 0.05$). Beyin MDA içeriğinin DAR3 grubunda artışı kontrol ve ekstre gruplarına göre önemli bulundu ($p < 0.05$). Böbrek MDA içeriğindeki kontrol ve ekstre verilen tüm gruplardaki artışı anlamlı bulunurken karaciğerde ise MDA içeriğindeki azalış, DAR1 grubunda DK grubuna göre, DAR2, DAR3 gruplarında ise NK ve DK'e göre anlamlı bulundu ($p < 0.05$).

Lipid peroksidasyon, oksidatif stres kaynaklı aşırı serbest radikallerin üretilmesi ve bu radikallerin hücre zarlarında çoklu doymamış yağ asitleriyle reaksiyona girerek oluşturduğu bir süreci tanımlar. Bu süreç, membran viskozitesini azaltarak, membran potansiyelinin negatif etkilenmesine, hidrojen ve diğer iyonların geçirgenliğinin artmasına ve sonucunda ise hücre hasarlarına neden olmaktadır [36]. Oldukça yüksek reaktifiteye sahip olması ve çift fonksiyonlu niteliği olan MDA, eritrositlerin membran hasarlarında LPO'un iyi tanımlanmış bir ürünüdür. Membran yapısında fosfolipidleri ve proteinleri çapraz bağlayarak fonksiyonel işlevlerini bozduğu bildirilmiştir [37]. Diyabetik sıçanlarda artmış MDA seviyesi ile birlikte antioksidan enzim ve moleküllerin azalmış aktivitesi muhtemelen oksidatif stres ve azalmış antioksidan savunma potansiyeli ile ilişkili olabilir. Yapılan bir çalışmada, hiperlipidemik, hiperglisemik komplikasyonları ile ilişkili oksidatif stres sonucunda indüklenmiş lipid peroksidasyonun hücre hasarlarına neden olduğu bildirilmiştir [38]. STZ'nin neden olduğu diyabetik sıçanlarda MDA seviyesinin yükselmesi ve antioksidan savunma unsurlarında önemli azalışlar (SOD, CAT, GSH gibi) benzer çalışmalarda rapor edilmiştir [39, 40]. *Arum rupicola* ekstresi verilen gruplarda lipid peroksidasyona karşı sağlanan korunma, dokularda bu bitki bileşenlerinin serbest radikallere karşı antioksidan aktiviteye destek sağladığı doğrultusunda yorumlanabilir. Bu sonuçlar, bitki ekstresinin diyabetik komplikasyonlarda iyileştirici etkisinin araştırıldığı serbest radikal temizleyici antioksidan moleküllerinde eşzamanlı artışı ile birlikte MDA seviyesinin de azaldığını bildiren birçok çalışma ile paralellik göstermektedir [41, 42, 43].

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, halk arasında hem gıda olarak tüketilen hem de diyabet ve birçok hastalığın tedavisinde kullanılan *Arum rupicola* toprak üstü gövde ve yaprak ekstresinin diyabet kaynaklı oksidatif stres üzerindeki etkisini araştırılması amaçlanmıştır. Bitki ekstresinin antioksidan kapasite üzerine etkilerinin belirlenmesinde farklı dokular arasında antioksidan enzim aktivitelerinde ve GSH düzeylerinde dalgalanmalar olduğu, ancak genel itibarıyla bitki ekstresinin uygulama dozuna bağlı olarak antioksidan kapasiteye katkısının olduğu söylenebilir. Çoklu bitkisel formülasyonla yapılan bir çalışmada, bitkilerin zengin alkaloidler, tanenler ve flavonoidler, glikozitler bileşenlerinden dolayı anti-enflamatuar ve antioksidan etkileriyle diyabet komplikasyonlarına karşı iyileştirici etkilere sahip oldukları rapor edilmiştir [44, 45].

Tablo 1. *Arum rupicola* liyofilize ekstresi uygulanan deney gruplarında antioksidan savunma ve lipid peroksidasyonu üzerine etkisi.

Dokular		Gruplar					
		NK	DK	DAK	DAR1	DAR2	DAR3
		Ortalama + SD	Ortalama + SD	Ortalama + SD	Ortalama + SD	Ortalama + SD	Ortalama + SD
Eritrosit (U/ml)	SOD	2258.46±16.79	2245.59±16.08	2255.18±5.26	2252.18±13.15	2242.14±10.13	2260.92±9.56 ^b
	CAT	229.77±6.12	213.57±9.86 ^a	219.72±6.9 ^a	145.73±2.11 ^{ab}	159.13±7.41 ^{ab}	183.70±8.2 ^{ab}
	GSH	0.87±0.04	0.64±0.05 ^a	0.64±0.02 ^a	0.71±0.06 ^{ab}	0.62±0.01 ^a	0.61±0.02 ^a
	MDA	6.04±0.33	9.17±0.16 ^a	3.67±0.78 ^{ab}	4.64±0.75 ^{ab}	2.91±0.54 ^{ab}	4.31±0.33 ^{ab}
Beyin (U/g)	SOD	2158.00±28.81	2057.20±13.50 ^a	2161.91±28.81 ^b	2152.3±24.03 ^b	2132.36±19.71 ^b	2156.35±28.77 ^b
	CAT	117.25±4.74	92.13±5.08 ^a	74.26±9.80 ^{ab}	119.49±7.24 ^b	75.93±11.9 ^{ab}	78.17±8.10 ^{ab}
	GSH	4.94±0.15	3.21±0.22 ^a	3.57±0.23 ^{ab}	5.14±0.50 ^b	4.77±0.32 ^a	5.29±0.13 ^{ab}
	MDA	6.06±0.38	6.01±0.47	7.36±0.37 ^{ab}	6.04±0.73	5.98±0.31	9.08±0.56 ^{ab}
Böbrek (U/g)	SOD	2178.53±22.92	2150.88±24.91 ^a	2139.07±23.27 ^a	2171.75±23.27	2162.22±20.89	2136.57±24.54 ^a
	CAT	95.15±1.57	80.60±5.21 ^a	109.81±4.45 ^a	103.76±6.20 ^{ab}	121.44±7.93 ^{ab}	116.09±5.45 ^{ab}
	GSH	2.25±0.08	2.01±0.07 ^a	2.04±0.08 ^a	2.12±0.10 ^{ab}	2.18±0.07 ^b	1.89±0.07 ^{ab}
	MDA	10.20±0.38	11.26±0.16 ^a	15.54±0.98 ^{ab}	16.82±0.42 ^{ab}	15.03±0.18 ^{ab}	14.89±0.50 ^{ab}
Karaciğer (U/g)	SOD	2034.16±32.49	2029.52±14.67	1937.75±41.74 ^{ab}	1930.30±21.32 ^{ab}	1958.02±46.35 ^{ab}	2021.14±42.26
	CAT	446.70±1.80	358.75±6.30 ^a	149.36±22.73 ^{ab}	256.85±12.60 ^{ab}	173.09±22.26 ^{ab}	245.68±26.30 ^{ab}
	GSH	5.02±0.05	3.08±0.11 ^a	2.46±0.08 ^{ab}	1.48±0.10 ^{ab}	1.47±0.11 ^{ab}	1.53±0.17 ^{ab}
	MDA	8.11±0.56	12.20±0.41 ^a	8.62±0.34 ^b	7.97±0.17 ^b	5.67±0.17 ^{ab}	6.09±0.54 ^{ab}

a Kontrol grubu ile DK, DAK, DAR1, DAR2 ve DAR3 grupları arasındaki fark anlamlıdır (p ≤ 0.05).

b DK grubu ile DAK, DAR-1, DAR-2 ve DAR-3 grupları arasındaki fark anlamlıdır (p ≤ 0.05).

Teşekkür

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından desteklenmiştir (FYL-2016-5038).

Kaynaklar

- [1] Jadidoleslami M., Abbasnejad M., Shahraki M.R. 2010. The survey of *Aloe vera* aqueous extract and glibenclamid interaction on blood glucose, LFT and lipids diabetic induced male rats by streptozotocin. Journal of Rafsanjan University of Medical sciences, 9 (3): 185-194.
- [2] Mokhtari M., Mohammadi J. 2012. The effect of hydroalcoholic extracts of *Prangos ferulacea* on blood factors of kidney and liver functions in diabetic male wistar rats. Journal of Fasa University of Medical Sciences, 2 (3): 174-180.
- [3] Shirali S., Bathaei S.Z., Nakhjavani M., Ashoori M.R. 2012. Effects of saffron (*Crocus sativus* L.) aqueous extract on serum biochemical factors in streptozotocin-induced diabetic rats. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28(2) : 293-308.
- [4] Bhattacharya S., Manna P., Gachhui R., Sil P.C. 2013. D-Saccharic acid 1, 4-lactone protects diabetic rat kidney by ameliorating hyperglycemia-mediated oxidative stress and renal inflammatory cytokines via NF-κB and PKC signaling. Toxicology and applied pharmacology, 267 (1): 16-29.
- [5] Brownlee M. 2005. The pathobiology of diabetic complications: a unifying mechanism. Diabetes, 54 (6): 1615-1625.
- [6] Nishikawa T., Edelstein D., Du X.L., Yamagishi S., Matsumura T., Kaneda Y., Yorek M.A., Beebe D., Oates P.J., Hammes H.P., Giardino I., Brownlee M. 2000. Normalizing mitochondrial

- superoxide production blocks three pathways of hyperglycaemic damage. *Nature*, 404 (6779): 787-90.
- [7] Yamagishi S.I., Edelstein D., Du X.L., Brownlee M. 2001. Hyperglycemia potentiates collagen-induced platelet activation through mitochondrial superoxide overproduction. *Diabetes*, 50 (6): 1491-1494.
- [8] Bayani U., Singh A.V., Zamboni P., Mahajan R.T. 2009. Oxidative Stress and Neurodegenerative Diseases: A Review of Upstream and Downstream Antioxidant Therapeutic Options. *Curr Neuropharmacol.* 7 (1): 65–74.
- [9] Rahimi-Madiseh M., Heidarian E., Kheiri S., Rafieian-Kopaei M. 2017. Effect of hydroalcoholic *Allium ampeloprasum* extract on oxidative stress, diabetes mellitus and dyslipidemia in alloxan-induced diabetic rats. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 86: 363-367.
- [10] Rahimi-Madiseh M., Gholami-Arjenaki M., Bahmani M., Mardani G., Farzan M., Rafieian-Kopaei M. 2016. Evaluation of minerals, phenolics and anti-radical activity of three species of Iranian berberis fruit. *Der Pharma Chemica*, 8 (2): 191-197.
- [11] Güneş S., Savran A., Paksoy M.Y., Çakılcıoğlu U. 2018. Survey of wild food plants for human consumption in Karaisalı (Adana-Turkey). *Indian Journal of Traditional Knowledge* 17 (2): 290-298.
- [12] Dalar A. 2018. Plant Taxa Used in the Treatment of Diabetes in Van Province, Turkey. *International Journal of Secondary Metabolite*, 5 (3): 171-185.
- [13] Kaisoon O., Konczak I., Siriamornpun S. 2012. Potential health enhancing properties of edible flowers from Thailand. *Food Res. Int.*, 46 (2). 563–571.
- [14] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) guideline for testing of chemicals, 20014. Acute Oral Toxicity-Acute Toxicity (425).
- [15] Hemalatha S., Wahi A.K., Singh P.N., Chansouria J.P.N. 2004. Hypoglycemic activity of withania coagulants dunal in streptozotocin induced diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 93: 261–264.
- [16] Kanitkar M., Bhonde R. 2004. Existence of islet regenerating factors within the pancreas. *The Review of Diabetic Studies*, 1(4), 185-192.
- [17] Xia E., Rao G., Remmen H.V., Heydari A.R., Richardson A. 1994. Activities of antioxidant enzymes in various tissues of male fischer 344 rats are altered by food restriction. *J. Nutr.*, 125: 195-201
- [18] McCord J.M., Fridovich I. 1969. Superoxide dismutase an enzymic function for erythrocuprein (hemocuprein). *Journal of Biological chemistry*, 244 (22): 6049-6055.
- [19] Aebi H. 1984. *Catalase in Vitro*. In *Methods in Enzymology*; Academy Press: New York, NY, USA, pp. 121–126
- [20] Beutler E. 1963. Improved method for the determination of blood glutathione. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 61: 882-888.
- [21] Jain S.K., McVie R., Duett J., Herbst J.J. 1989. Erythrocyte membrane lipid peroxidation and glycosylated hemoglobin in diabetes. *Diabetes*, 38 (12): 1539-1543.
- [22] Bondy S.C. 1992. Ethanol toxicity and oxidative stress. *Toxicology letters*, 63 (3): 231-241.
- [23] Husain K., Scott B.R., Reddy S.K., Somani S.M. 2001. Chronic ethanol and nicotine interaction on rat tissue antioxidant defense system. *Alcohol*, 25 (2): 89-97.
- [24] Yang H.L., Chen S.C., Chang N.W., Chang J.M., Lee M. L., Tsai P.C., Hseu Y.C. 2006. Protection from oxidative damage using *Bidens pilosa* extracts in normal human erythrocytes. *Food and Chemical Toxicology*, 44 (9): 1513-1521
- [25] Jain S.K. 1989. Hyperglycemia can cause membrane lipid peroxidation and osmotic fragility in human red blood cells. *Journal of Biological Chemistry*, 264 (35): 21340-21345.
- [26] Maiti R., De D., Ghosh D. 2018. Antidiabetic effect of n-hexane fraction of hydro-methanolic extract of *Tamarindus indica* Linn. Seed in streptozotocin-induced diabetic rat: a correlative approach with in vivo and in vitro antioxidant activities. *International journal of pharmaceutical sciences and research*, 9 (5): 1821-1830.
- [27] Jangir R.N., Jain G.C. 2017. Evaluation of antidiabetic activity of hydroalcoholic extract of *Cassia fistula* Linn. pod in streptozotocin-induced diabetic rats. *Pharmacognosy Journal*, 9 (5):599-605.

- [28] Almeida D.A.T.D., Braga C.P., Novelli E.L.B., Fernandes A.A.H. 2012. Evaluation of lipid profile and oxidative stress in STZ-induced rats treated with antioxidant vitamin. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55 (4): 527-536
- [29] Taheri E., Djalali M., Saedisomeolia A., Moghadam A.M., Djazayeri A., Qorbani M. 2012. The relationship between the activities of antioxidant enzymes in red blood cells and body mass index in Iranian type 2 diabetes and healthy subjects. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 11 (1): 1-5.
- [30] Molehin O.R., Oloyede O.I., Adefegha S.A. 2018. Streptozotocin-induced diabetes in rats: effects of white butterfly (*Clerodendrum volubile*) leaves on blood glucose levels, lipid profile and antioxidant status. *Toxicology mechanisms and methods*, 28 (8): 573-586.
- [31] Sies H. Glutathione and its role in cellular functions. *Free Radic Biol Med* 1999;27: 916-21.
- [32] Wu G., Fang Y. Z., Yang S., Lupton J. R., Turner N.D. 2004. Glutathione metabolism and its implications for health. *The Journal of nutrition*, 134(3), 489-492.
- [33] Jayachandran M., Vinayagam R., Ambati R. R., Xu B., Chung S.S. M. 2018. Guava leaf extract diminishes hyperglycemia and oxidative stress, prevents β -cell death, inhibits inflammation, and regulates NF- κ B signaling pathway in STZ induced diabetic rats. *BioMed research international*, 2018: 1-14.
- [34] Aragno M., Brignardello E., Tamagno E., Gatto V., Danni O., Boccuzzi G. 1997. Dehydroepiandrosterone administration prevents the oxidative damage induced by acute hyperglycemia in rats. *Journal of Endocrinology*, 155 (2): 233-240.
- [35] Tiwari B.K., Abidi A.B., Rizvi S.I., Pandey K.B. 2018. Effect of oral supplementation of composite leaf extract of medicinal plants on biomarkers of oxidative stress in induced diabetic Wistar rats. *Archives of physiology and biochemistry*, 124 (4): 361-366.
- [36] Demir E., Keser S., Yılmaz Ö. 2016. Acı Badem Yağının Streptozotocin Kaynaklı Diyabetik Sıçanların Serum ve Eritrositlerindeki Bazı Biyokimyasal Parametreler Üzerindeki Etkileri. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2): 61-67.
- [37] Padayatty S.J., Katz A., Wang Y., Eck P., Kwon O., Lee J.H., Levine M. 2003. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of the American college of Nutrition*, 22 (1): 18-35.
- [38] Tas S., Tas B., Bassalat N., Jaradat N. 2018. In-vivo, hypoglycemic, hypolipidemic and oxidative stress inhibitory activities of *Myrtus communis* L. fruits hydroalcoholic extract in normoglycemic and streptozotocin-induced diabetic rats. *Biomedical Research*, 29 (13): 2727-2734.
- [39] Çomu F.M., Polat Y., Özer A., Erer D., Kirişçi M., Dursun A.D., Arslan, M. 2017. The Effect of Picoside-2 on Erythrocyte Deformability and Lipid Peroxidation in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats Subjected to Left Anterior Descending Artery-Ischaemia Reperfusion. *Gazi Medical Journal*, 28 (2): 927-931.
- [40] Yang H.L., Chen S.C., Chang N.W., Chang J.M., Lee M.L., Tsai P.C., Hseu Y.C. 2006. Protection from oxidative damage using *Bidens pilosa* extracts in normal human erythrocytes. *Food and Chemical Toxicology*, 44 (9): 1513-1521.
- [41] Gomathi D., Ravikumar G., Kalaiselvi M., Devaki K., Uma C. 2013. Efficacy of *Evolvulus alsinoides* (L.) L. on insulin and antioxidants activity in pancreas of streptozotocin induced diabetic rats. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 12 (1): 39.
- [42] Liu M, Song X, Zhang J, Zhang C, Gao Z, Li S, Jing H., Ren Z., Wang S., Jia L. 2017. Protective effects on liver, kidney and pancreas of enzymatic- and acidic-hydrolysis of polysaccharides by spent mushroom compost (*Hypsizigus marmoreus*). *Sci Rep.*, 7: 43212.
- [43] Hassan S.K., El-Sammad N.M., Mousa A.M., Mohammed, M.H., Farrag A.E.R.H., Hashim A. N.E., Nawwar M.A.E.M. 2015. Hypoglycemic and antioxidant activities of *Caesalpinia ferrea* Martius leaf extract in streptozotocin-induced diabetic rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5 (6): 462-471.
- [44] Jangir RN, Jain GC. 2016. Antidiabetic and antioxidant potential of hydroalcoholic extract of *Moringa oleifera* leaves in streptozotocin-induced diabetic rats. *Eur J Pharm Med Res.*, 3: 438-450.

- [45] Majumder P., Paridhavi M. 2019. A Novel Poly-herbal Formulation Hastens Diabetic Wound Healing with Potent Antioxidant Potential: A Comprehensive Pharmacological Investigation. *Pharmacognosy Journal*, 11 (2): 324-331.

Araştırma Makalesi / Research Article

***Myrtus communis* L. (Mersin) Yaprak Ekstraktının Genoprotektif Etkisinin Somatik Mutasyon ve Rekombinasyon Testi (SMART) ile Değerlendirilmesi**

Selda ÖZ*, Şükran ÇAKIR ARICA

Kırıkkale Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Kırıkkale
(ORCID: 0000-0003-1883-3441) (ORCID: 000-0003-1413-1143)

Öz

Bu çalışmada *Myrtus communis* L. (mersin) yaprak ekstraktının genoprotektif etkisi somatik mutasyon ve rekombinasyon testi (SMART) ile incelendi. Yüksek genotoksik etkiye sahip kemoterapötik bir ajan olan doksorubisin (DXR) pozitif kontrol olarak kullanıldı. Test maddeleri flare (*flr³*) ve çoklu kanat kılı (*mwh*) mutant işaret genlerini taşıyan üç günlük (72±4 saat) transheterozigot *Drosophila melanogaster* larvalarına uygulandı. Mersin yaprak ekstraktı, genotoksik etkisini değerlendirmek için tek başına (1,5 ve 10 mg/ml), antigenotoksik etkisini değerlendirmek için doksorubisin (0,125 mg/ml) ile uygulandı. İnhibisyon yüzdeleri 1, 5 ve 10 mg/ml dozlarında sırasıyla %91,70, %97,51 ve %98,34 olarak hesaplandı. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre mersin yaprak ekstraktı test edilen tüm dozlarda doksorubisin kaynaklı mutant klon oluşumunu inhibe ederek antigenotoksik etki gösterdi.

Anahtar kelimeler: *Myrtus communis* L., antigenotoksisite, doksorubisin, *Drosophila melanogaster*.

Assessing the Genoprotective Effect of *Myrtus communis* L. (Myrtle) Leaf Extract by Somatic Mutation and Recombination Test (SMART)

Abstract

In this study genoprotective effect of *Myrtus communis* L. (myrtle) leaf extract was investigated with somatic mutation and recombination test (SMART). Doxorubicin (DXR), a chemotherapeutic agent with high genotoxic effect, was used as a positive control. The test substances were administered to three-day-old (72±4 hours) transheterozygous *Drosophila melanogaster* larvae carrying genetic markers flare (*flr³*) and multiple wing hair (*mwh*). Myrtle leaf extract was applied alone (1,5 and 10 mg/ml) to evaluate its genotoxic effect and in combination with doxorubicin (0,125 mg/ml) to evaluate its antigenotoxic effect. Inhibition percentages were calculated as 91,70 %, 97,51 % and 98,34 % at 1, 5 and 10 mg/ml doses, respectively. The results obtained from this study revealed that myrtle leaf extract showed antigenotoxic effect by inhibiting doxorubicin-induced mutant clone formation at all doses tested.

Keywords: *Myrtus communis* L., antigenotoxicity, doxorubicin, *Drosophila melanogaster*.

1. Giriş

Günümüzde teknoloji ve endüstrinin ilerlemesi ile değişen yaşam koşulları ve beslenme alışkanlıkları sonucu insanlar günlük hayatta pek çok kimyasal ve fiziksel ajana maruz kalmaktadır. İnsan vücudunda genotoksik ajanların zararlı etkilerini önleyecek detoksifikasyon mekanizmaları bulunmasına rağmen, zaman zaman bu mekanizmalarda aksaklıklar meydana gelebilir ve bu ajanların olumsuz etkileri önlenemeyebilir [1]. Bu durumda söz konusu ajanlar gen ve kromozomların yapısında ve sayısında değişikliğe yol açarak bireylerde genotoksisite oluşumuna neden olabilir.

*Sorumlu yazar: seldaaz@kku.edu.tr

Geliş Tarihi: 13.06.2019, Kabul Tarihi: 20.08.2019

Antigenotoksinler, genotoksik ajanların etkilerini önleme veya azaltma yeteneğine sahip olan maddelerdir. Bitkilerde bulunan fenolik bileşenler, flavonoidler, alkoidler gibi çeşitli fitokimyasalların antigenotoksik özelliğe sahip olduğu bilinmektedir [2-4]. Yapılan araştırmalarda organizmalarda doğal olarak bulunan detoksifikasyon mekanizmalarının yanı sıra vücuda beslenme yolu ile alınan antigenotoksik etkiye sahip fitokimyasalların genotoksinlerin zararlı etkilerini önlemekte etkili oldukları gösterilmiştir [5,6].

Mersin bitkisi Myrtaceae familyasından, Akdeniz Havzası'nda yetişen, küçük mavi-siyah renkte meyvelere ve yaz kış yeşil kalan aromatik yapraklara sahip çalı formunda bir bitkidir. Bitkinin yaprak, meyve ve çiçek gibi farklı kısımlarının sinüzit, hemoroid, diyare, ülser, inflamasyon, deri rahatsızlıkları ile solunum, sindirim ve üriner sistemlerdeki rahatsızlıkların tedavisine yönelik olarak alternatif tıpta kullanıldığı bilinmektedir. İçerdiği esansiyel yağlar nedeniyle aromatik özellikte olan mersin bitkisi tedavi amaçlı kullanımın yanı sıra gıdaları koruma, aroma verme amacıyla da eski zamanlardan beri kullanılmaktadır [7-9]. Fitokimyasal analizler sonucunda mersin yapraklarının fenolik bileşenler (gallik asit, ellajik asit, tanen), flavonoidler (kuersetin, kateşin, mirisetin ve kaempferol), uçucu yağlar (mirtenil asetat, 1,8-sineol, α -pinen, linalol, linalil asetat, limonen), antosiyanin pigmentleri ile güçlü antioksidan özellikleri olan mirtukomulon-A ve semimirtukomulon bileşiklerini içerdiği tespit edilmiştir [8-11].

Antigenotoksisitenin değerlendirilmesinde kullanılan doksorubisin, kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılan antrasiklin türevi bir antibiyotiktir [12]. Reaktif oksijen türevleri (ROS) üretimi, topoizomeraz II inhibisyonu, DNA interkalasyonu gibi çeşitli mekanizmalarla antikarsinojen etki oluşturan doksorubisin, normal hücreler üzerinde de genotoksik etkiye neden olmaktadır [13]. Daha önce yapılan pek çok antigenotoksisite çalışmasında doksorubisin genotoksik ajan olarak kullanılmış ve *Drosophila melanogaster* için LD₅₀ değeri 0,125 mg/ml olarak belirlenmiştir [14,15].

Bu çalışmada mersin yaprak ekstraktının güçlü bir genotoksin olan doksorubisine karşı antigenotoksik etkisi *Drosophila melanogaster*'de somatik mutasyon ve rekombinasyon testi (SMART) ile değerlendirilmiştir. SMART *Drosophila melanogaster*'de bulunan *mwh* ve *flr* işaret genlerindeki heterozigotluk kaybını temel alan, *in vivo* olarak yürütülen bir analizdir. Kısa zamanda, kolay ve ekonomik olarak güvenilir veriler sağlanması nedeniyle genotoksisite araştırmalarında sıklıkla tercih edilmektedir [16-18].

2. Materyal ve Metot

2.1. Test Materyalleri

Çalışmada kullanılan mersin yaprak örnekleri 2014 yılı Kasım ayında Hatay ili, İskenderun ilçesi, Güzelköy sınırları içerisinde bulunan, yerleşim yerlerinden ve yoldan uzak dağ eteklerinden toplandı. Örnekler kurutulup porselen havanda toz haline getirildikten sonra etanol ile (w:v; 1:10) yatay çalkalayıcıda (125 rpm), oda sıcaklığında 24 saat süre ile ekstrakte edildi. Ekstraksiyon filtreden geçirildikten sonra rotary evaporatör (Bucchi Rotavapor R-210) ile etanol uzaklaştırıldı. Elde edilen ekstrakt deneylerde kullanılabilecek kadar +4 °C'de koyu renkli şişelerde muhafaza edildi. Pozitif kontrol olarak doksorubisin (Santa Cruz Biotechnology, CA, USA), negatif kontrol olarak distile su kullanıldı. Mersin yaprak ekstraktı ve doksorubisin denemelerden hemen önce distile su kullanılarak çözüldü.

2.2. Uygulama

Drosophila melanogaster'in *flare-3* (*flr³/In* (3LR), *TM3* *Bd^S*) ırkına ait 1-3 günlük virgin (çiftleşmemiş) dişiler ile *multiple wing hairs* (*mwh/mwh*) ırkına ait aynı yaştaki erkek bireyler arasında yapılan standart çaprazdan elde edilen 72±4 saatlik transheterozigot larvalar standart besi ortamından ayrılıp yıkandıktan sonra, 5 ml test solüsyonu ile ıslatılmış 1,5 g hazır *Drosophila* besiyeri (Instant *Drosophila* Medium Formula 4-24, Carolina Biological Supply Co., Burlington, NC, USA) içeren cam şişelere aktarıldı. Her test grubunda 100 larvaya uygulama yapıldı ve her uygulama 3 kez tekrar edildi. Mersin yaprak ekstraktı, genotoksik etkisinin değerlendirilmesi için 1, 5 ve 10 mg/ml dozlarında tek olarak, antigenotoksik etkisinin değerlendirilmesi için her bir dozu 0,125 mg/ml doksorubisin ile kombine olarak uygulandı. Larvalar negatif kontrol denemelerinde distile su eklenmiş besiyerinde, pozitif kontrol denemelerinde 0,125 mg/ml doksorubisin eklenmiş besiyerinde geliştirildi. Stoklar ve

uygulama grupları 25 ± 1 °C ve %40-60 nem içeren etüvlerde tutuldu. Pupadan çıkan ergin bireylerden fenotipik olarak normal kanat şekline sahip olanlar preparasyon için ayrıldı. Seçilen bireyler %70 etanol bulunan şişelere alınarak kanat preparatları yapılarına kadar $+4$ °C’de saklandı [16,19].

2.3. Kanatların mikroskopik analizi

Bireylerin kanatları pens yardımı ile gövdeden ayrılıp lam üzerine yerleştirildikten sonra Entellan (Merck) ile lam üzerine sabitlendi. Her bir uygulama için 40 bireyin kanadı incelenerek mutant klonlar kaydedildi. İncelenen kanatlardaki mutant klonların değerlendirilmesi ve sınıflandırılmasında Graf vd. [16] tarafından yapılan çalışma esas alındı. Bu çalışmaya göre mutant hücre kümesinde 1-2 *mwh* varsa küçük tek tip klon, 3 veya daha fazla *mwh* ya da 4 veya daha fazla *flr³* varsa büyük tek tip klon, *mwh* ve *flr³* fenotipleri birlikte bulunuyorsa ikiz klon olarak adlandırılmıştır. Tek tip klonlar nokta mutasyon, delesyon, ayrılmama ve iki belirleyici gen (*mwh* ve *flr³*) arasındaki mitotik rekombinasyonla oluşurken ikiz klonlar üçüncü kromozomun sentromeri ile *flr³* geni arasındaki mitotik rekombinasyon sonucu oluşmaktadır [16].

2.4. İstatistiksel Analiz

Mersin yaprak ekstraktı uygulanan gruplardan elde edilen veriler genotoksik etkinin değerlendirilmesinde su kontrol grubu ile antigenotoksik etkinin değerlendirilmesinde doksorubisin kontrol grubu ile şartlı binomial test kullanılarak %5 güven aralığında analiz edildi [20]. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak negatif, pozitif veya önemsiz olarak belirlendi [21]. Antigenotoksik etkinin değerlendirilmesinde kullanılan inhibisyon yüzdesi aşağıdaki formüle göre hesaplandı [22].

$$\% \text{ İnhibisyon} = [(a-b)/a] \times 100$$

Bu formülde “a” doksorubisin uygulamasındaki toplam klon frekansını, “b” doksorubisin ve yaprak ekstraktının birlikte uygulamasındaki toplam klon frekansını göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada mersin yaprak ekstraktının genotoksik etkisi ile doksorubisine karşı genoprotektif etkisi *Drosophila melanogaster*’de SMART ile incelendi. Genotoksik ve antigenotoksik etkilerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen veriler Tablo 1 ve Tablo 2’de özetlendi.

Mersin yaprak ekstraktının genotoksik etkisinin değerlendirilmesi için ekstrakt 1,5 ve 10 mg/ml dozlarında uygulandı. Uygulama gruplarında gözlenen her bir mutant klonun frekansı su kontrol grubunda gözlenenlerle kıyaslandığında istatistiksel olarak önemli farklılığa rastlanmadı ($p > 0.05$). Elde edilen veriler mersin yaprak ekstraktının uygulanan dozlarda herhangi bir genotoksik etkiye neden olmadığını gösterdi (Tablo1).

Tablo 1. Mersin yaprak ekstraktının farklı dozlarının transheterozigot *D. melanogaster* larvalarında genotoksik etkisinin değerlendirilmesi

Uygulama (mg/ml)	Kanat Sayısı (N)	Küçük tek tip klon (1-2 hücre) (m=2)			Büyük tek tip klon (>2 hücre) (m=5)			İkiz klon (m=5)			Toplam <i>mwh</i> klon (m=2)			Toplam klon (m=2)			F
		No	Fr	D	No	Fr	D	No	Fr	D	No	Fr	D	No	Fr	D	
Distile su	80	7	0,09		3	0,04		1	0,01		11	0,14		11	0,14		0,56
Dxr																	
0,125	80	122	1,53	+	52	0,65	+	19	0,24	+	183	2,29	+	193	2,41	+	9,38
MYE																	
1	80	6	0,08	i	2	0,03	-	0	0,00	i	8	0,10	-	8	0,10	-	0,41
5	80	9	0,11	i	0	0,00	-	0	0,00	i	9	0,11	-	9	0,11	-	0,46
10	80	2	0,03	-	2	0,03	-	0	0,00	i	3	0,04	-	4	0,05	-	0,15

F: klon indüksiyon frekansı (10^5 hücre), Dxr: doksorubisin, MYE: mersin yaprak ekstraktı, No: klon sayısı, Fr: frekans, D: istatistiksel değerlendirme sonucu [21]; -: negatif fark, i: önemsiz fark, m: çarpım faktörü; olasılık düzeyi: $\alpha = \beta = 0,05$

Denemelerde pozitif kontrol olarak doksorubisin (0,125 mg/ml) uygulaması sonucu su kontrol grubuna göre mutant klon frekanslarında artış gözlemlendi, bu artış istatistiksel olarak değerlendirildiğinde anlamlı bulundu ($p < 0,05$). Elde edilen veriler daha önce yapılan çalışmalarla [14,15] uyumlu olarak doksorubisinin genotoksik etkiye neden olduğunu gösterdi (Tablo 1).

Mersin yaprak ekstraktının antigenotoksik etkisinin değerlendirilmesi için, ekstraktın her bir dozu 0,125 mg/ml doksorubisin ile kombine olarak uygulandı. Bu uygulamadan elde edilen sonuçlar pozitif kontrol olarak kullanılan doksorubisin uygulamasına ait sonuçlar ile karşılaştırıldığında mutant klon frekanslarında istatistiksel olarak önemli derecede azalma olduğu saptandı. Ekstraktın 1,5 ve 10 mg/ml dozlarında uygulanması sonucu gözlenen inhibisyon değerleri sırasıyla %91,70, %97,51 ve %98,34 oldu. Bu verilere göre mersin yaprak ekstraktı uygulanan her üç dozda doksorubisinin neden olduğu genotoksik etkiyi yüksek oranda (> 90) engelleyerek güçlü antigenotoksik etki gösterdi ve ekstraktın engelleyici etkisi doza bağlı olarak arttı (Tablo 2).

Tablo 2. Mersin yaprak ekstraktının farklı dozlarının transheterozigot *D. melanogaster* larvalarında antigenotoksik etkisinin değerlendirilmesi

Uygulama (mg/ml)	Kanat Sayısı (N)	Küçük tek tip klon (1-2 hücre) (m=2)			Büyük tek tip klon (>2 hücre) (m=5)			İkiz klon (m=5)			Toplam <i>mwh</i> klon (m=2)			Toplam klon (m=2)			F	% I	
		No	Fr	D	No	Fr	D	No	Fr	D	No	Fr	D	No	Fr	D			
Distile su	80	7	0,09		3	0,04		1	0,01		11	0,14		11	0,14		0,56		
Dxr 0,125	80	122	1,53	+	52	0,65	+	19	0,24	+	183	2,29	+	193	2,41	+	9,38		
Dxr MYE 0,125	1	80	9	0,11	-	5	0,06	-	2	0,03	-	15	0,19	-	16	0,20	-	0,77	91,70
0,125	5	80	5	0,06	-	0	0,00	-	0	0,00	-	5	0,06	-	5	0,06	-	0,26	97,51
0,125	10	80	3	0,04	-	0	0,00	-	0	0,00	-	3	0,04	-	3	0,04	-	0,15	98,34

F: klon indüksiyon frekansı (10^5 hücre), Dxr: doksorubisin, MYE: mersin yaprak ekstraktı, No: klon sayısı, Fr: frekans, I: inhibisyon yüzdesi D: istatistiksel değerlendirme sonucu [21]; -: negatif fark, i: önemsiz fark, m: çarpım faktörü; olasılık düzeyi: $\alpha = \beta = 0,05$

Doksorubisin kanser tedavisinde yaygın kullanılan bir ilaç olmakla birlikte, normal hücreler üzerinde genotoksik etkiye neden olması kullanımını sınırlandırmaktadır. Antrasiklin grubundan olan diğer ilaçlarda olduğu gibi doksorubisinin metabolizasyonu sonucunda hücrede fazla miktarda ROS üretimi meydana gelmektedir [23-24]. Açığa çıkan ROS kanser hücrelerinin yanı sıra kalp, karaciğer, böbrek ve üreme organlarında da toksik etkiye neden olmaktadır [25-27]. Doksorubisinin toksik etkisinin bitki ekstraktları ve bitkisel bileşenlerin kullanımı ile giderilmesi pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Bu çalışmalarda çeşitli bitki ekstrakt ve bileşenlerinin gösterdikleri antioksidan etkinin doksorubisinin neden olduğu toksisiteyi önlemede etkili olduğu bildirilmiştir. Gao vd. [28] *Ginkgo biloba* yaprak ekstraktında bulunan Ginkgolide B bileşeninin, ROS düzeyini düşürerek doksorubisinin neden olduğu kardiyotoksisiteye karşı koruyucu etki sağladığını göstermişlerdir. *Nigella sativa* ve *Curcuma longa* ekstraktlarının doksorubisin uygulaması sonucu böbrek hasarı meydana gelen ratlarda süperoksit dismutaz ve toplam tiyol konsantrasyonlarında artışa neden olarak antioksidan etki sağladıkları bildirilmiştir [29]. Diğer bir çalışmada *Curcuma longa* ekstraktının karaciğer dokusunda da doksorubisinin toksisitesine karşı koruyucu etki sağladığı gösterilmiştir [30]. Doğal bir flavonoid olan morinin doksorubisine karşı koruyucu etkisinin araştırıldığı çalışmada, böbrek ve karaciğer dokularında antioksidan etkinin göstergesi olan glutatyon ve malondialdehid biyobelirteçlerinin düzeyleri ile süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz enzimlerinin aktiviteleri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda morin ön uygulaması ile doksorubisin kaynaklı böbrek ve karaciğer hasarının önlenebileceği gösterilmiştir [31].

Mersin yaprak ekstraktı ile daha önce yürütülen çalışmalarda, ekstraktın antioksidan etkili fenolik bileşenler, flavonoidler ve esansiyel yağlar bakımından zengin olduğu tespit edilmiştir [32-35]. Hayder vd. [36] çalışmalarında mersin yaprak ekstraktında bulunan flavonoidlerden mirisetin-3-*o*-galaktozid ve mirisetin-3-*o*-ramnozidin oksidatif stres ve DNA onarımında rol oynayan genlerin ifadesini etkileyerek antioksidan ve antigenotoksik etki gösterdiklerini bildirmiştir. Rosa vd. [37] mersin yaprak ekstraktında bulunan mirtukomulon A ve semimirtukomulon bileşiklerinin in vitro ortamda serbest radikallerin neden olduğu linoik asit oksidasyonunu önlediklerini rapor etmişlerdir. Çalışmada antioksidatif etkisinin daha güçlü olduğu saptanan semimirtukomulon ile yapılan in vivo deneylerde bileşik lipid peroksidasyonunu önlemiş, ayrıca insan embriyonik akciğer fibroblastı

(HELF) hücre hattında oksidatif strese karşı koruyucu etki sağlamıştır. Diğer bir çalışma [38], mirtokomulon A ve semimirtokomulon bileşiklerinin LDL, çoklu doymuş yağ asitleri ve kolesterolün oksidasyonuna karşı koruyucu etki sağladıklarını göstermiştir. Ines vd. [39] mersin yaprağında bulunan bileşiklerden 3,5-O-di-galloilkuinik asidin (DGQA), kronik miyeloid lösemi (K562) hücre hattında H₂O₂ ile indüklenen lipid peroksidasyonunu ve genotoksisiteyi engelleyerek antioksidan ve antigenotoksik etki gösterdiğini kaydetmişlerdir. Mersin yaprağında bulunduğu bildirilen bir flavonoid olan kaempferol ile yapılan çalışmalar bu bileşenin beslenme yoluyla alındığında kanser başta olmak üzere, kronik hastalıklara yakalanma riskini azalttığını göstermiştir [40]. Ayrıca Khalil vd. [27] mersin yaprak ekstraktının doksorubisine karşı koruyucu etkisini erkek albino farelerin sperm hücrelerinde inceledikleri çalışmalarında ekstraktın DNA fragmentasyonu ve hasarı ile kromozom aberasyonunu azalttığını rapor etmiştir.

Amensour vd. [32] yaptıkları analiz sonucunda mersin bitkisi yaprağının flavonoid içeriğinin mersin meyvesine göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Mersin meyve ekstraktının doksorubisine karşı koruyucu etkisini *Drosophila melanogaster*'de incelediğimiz diğer bir çalışmada [41] ekstraktın 1, 5 ve 10 mg/ml dozlarında uygulanması sonucu doksorubisinin (0,125 mg/ml) neden olduğu genotoksisiteyi sırasıyla %86, %88 ve %90 oranında inhibe ettiği gözlenmiştir. Mersin yaprak ve mersin meyve ekstraktlarının antigenotoksik etkilerini incelediğimiz iki çalışma karşılaştırıldığında, mersin yaprak ekstraktının doksorubisinin genotoksik etkisine karşı daha yüksek oranda inhibisyon gösterdiği görülmektedir. Amensour vd. [32] tarafından yapılan çalışma göz önüne alındığında mersin yaprak ekstraktının meyve ekstraktından daha yüksek antigenotoksik etki göstermesinin nedeni olarak flavonoid içeriğinin daha yüksek olması düşünülebilir.

Mersin yaprak ekstraktının hangi mekanizmalarla doksorubisine karşı antigenotoksik etki oluşturduğu çalışmamızda incelenmemiş olmakla birlikte daha önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilen veriler ışığında ekstraktın içerdiği fenolik bileşenler, flavonoidler, esansiyel yağlar gibi antioksidan özellikteki bileşenler aracılığı ile doksorubisinin metabolizasyonu sonucu açığa çıkan ROS'ni inhibe ederek antigenotoksik etki yarattığı düşünülebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

İnsanlar günlük yaşamlarında beslenme, solunum, temas gibi yollarla direkt ya da dolaylı olarak birçok genotoksik ajana maruz kalmaktadır. Genetik materyalde onarılmaz değişikliklere ve bunun sonucunda da genotoksisiteye neden olan genotoksik ajanlar vücuda girdiklerinde çeşitli detoksifikasyon mekanizmaları bu ajanları etkisiz hale getirme yoluna gitmektedir. Fakat bireyin genotoksik ajanlara sık ve uzun süreli maruz kalması sonucu söz konusu mekanizmalar yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda dışarıdan alınan antigenotoksik maddeler vücuda genotoksik ajanlara karşı savunmada destek sağlayıcı olabilir.

Bu çalışmada mersin yaprak ekstraktının beslenme yolu ile vücuda alınması sonucu güçlü bir genotoksik ajan olan doksorubisinin etkisini kuvvetli biçimde engellediği gösterilmiştir. Genotoksik etkisi güçlü bir ilaç olan doksorubisine karşı koruyucu etkisi gösterilmiş mersin yaprak ekstraktının bileşenleri incelenerek bu bileşenlerin koruyucu tıpta kullanımına yönelik yeni çalışmalar yapılabilir. Ayrıca antioksidan ve aromatik özellikler taşıdığı bilinen mersin yaprağından elde edilen ekstrakt ve ekstrakt içerisinde bulunan bileşenler aroma verme, oksidasyonu önleme gibi amaçlarla doğal katkı maddesi olarak kullanılarak gıdalar fonksiyonel hale getirilebilir. Mersin yaprak ekstraktı gıda takviyesi olarak alınarak vücutta antioksidan ve oksidatif maddeler arasındaki dengenin sağlanmasında ve genotoksik ajanların etkilerine karşı vücuda destek sağlanmasında yardımcı olarak kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2012/010).

Kaynaklar

- [1] Liska D.J. 1998. The Detoxification Enzyme Systems Alternative Medicine Review, 33 (3): 187-198.

- [2] Bacanlı M., Başaran A.A., Başaran N. 2015. The antioxidant and antigenotoxic properties of citrus phenolics limonene and naringin. *Food and Chemical Toxicology*, 81: 160-170.
- [3] Goswami P., Banerjee R., Mukherjee A. 2019. Potential antigenotoxicity assessment of *Ziziphus jujuba* fruit, *Heliyon*, 5 (5): e01768.
- [4] Lozano-Baena M.D., Tasset I., Obregón-Cano S., de Haro-Bailon A., Muñoz-Serrano A., Alonso-Moraga Á. 2015. Antigenotoxicity and tumor growing inhibition by leafy *Brassica carinata* and sinigrin. *Molecules*, 20 (9): 15748-15765.
- [5] Munari C.C., de Oliveira P.F., Leandro L.F., Pimenta L.M., Ferreira N.H., da Costa J de C., Bastos J.K., Tavares D.C. 2014. In vivo assessment of genotoxic, antigenotoxic and anticarcinogenic activities of *Solanum lycocarpum* fruits glycoalkaloidic extract. *PLoS One*, 9 (11): e111999.
- [6] Qiu Z., Tang M., Deng G., Yang H., Zhang X., Huang S., Wu L. 2014. Antioxidant and antigenotoxic activities of ethanol extracts from *Rhus chinensis* Mill leaves. *Food Science and Biotechnology*, 23 (4): 1213-1221.
- [7] Aleksic V., Knezevic P. 2014. Antimicrobial and antioxidative activity of extracts and essential oils of *Myrtus communis* L. *Microbiological Research*, 169 (4): 240-254.
- [8] Alipour G., Dashti S., Hosseinzadeh H. 2014. Review of Pharmacological Effects of *Myrtus communis* L. and its Active Constituents. *Phytotherapy Research*, 28 (8): 1125-1136.
- [9] Bouzabata A., Cabral C., Gonçalves M.J., Cruz M.T., Bighelli A., Cavaleiro C., Casanova J., Tomi F., Salgueiro L. 2015. *Myrtus communis* L. as source of a bioactive and safe essential oil. *Food and Chemical Toxicology*, 75: 166-172.
- [10] Aidi Wannes W., Mhamdi B., Sriti J., Ben Jemia M., Ouchikh O., Hamdaoui G., Kchouk M.E., Marzouk B. 2010. Antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts from myrtle (*Myrtus communis* var. *italica* L.) leaf, stem and flower. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (5): 1362-1370.
- [11] Cherrat L., Espina L., Bakkali M., García-Gonzalo D., Pagán R., Laglaoui A. 2014. Chemical composition and antioxidant properties of *Laurus nobilis* L. and *Myrtus communis* L. essential oils from Morocco and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes for food preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94 (6): 1197-1204.
- [12] Malla S., Prasad Niraula N., Singh B., Liou K., Sohng J.K. 2010. Limitations in doxorubicin production from *Streptomyces peucetius*. *Microbiological Research*, 165 (5): 427-435.
- [13] Meredith A.M., Dass C.R. 2016. Increasing role of the cancer chemotherapeutic doxorubicin in cellular metabolism. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 68 (6): 729-741.
- [14] Saturnino R.S., Machado N.M., Lopes J.C., Nepomuceno J.C. 2018. Assessment of the mutagenic, recombinogenic, and carcinogenic potential of amphotericin B in somatic cells of *Drosophila melanogaster*. *Drug and chemical toxicology*, 41 (1): 9-15.
- [15] Orsolin P.C., Silva-Oliveira R.G., Nepomuceno J.C. 2016. Modulating effect of simvastatin on the DNA damage induced by doxorubicin in somatic cells of *Drosophila melanogaster*. *Food and Chemical Toxicology*, 90: 10-17.
- [16] Graf U., Würgler F.E., Katz A.J., Frei H., Juan H., Hall J.V. 1984. Somatic Mutation and Recombination Test in *Drosophila melanogaster*. *Environmental Mutagenesis*, 6 (2): 153-188.
- [17] Graf U., Abraham S.K., Guzmán-Rincón J., Würgler F.E. 1998. Antigenotoxicity studies in *Drosophila melanogaster*. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 402 (1-2): 203-209.
- [18] Mollet P., Würgler F.E. 1974. Detection of somatic recombination and mutation in *Drosophila*. A method for testing genetic activity of chemical compounds,. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 25 (3): 421-424.
- [19] Graf U., Frei H., Kagi A., Katz A.J., Würgler F.E. 1989. Thirty compounds tested in the *Drosophila* wing spot test. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 222 (4): 359-373.
- [20] Kastenbaum M.A., Bowman, K.O. 1970. Tables for determining the statistical significance of mutation frequencies. *Mutation Research*, 9 (5): 527-549.
- [21] Frei H., Würgler, F.E. 1988. Statistical methods to decide whether mutagenicity test data from *Drosophila* assays indicate a positive, negative, or inconclusive result. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*, 203 (4): 297-308.

- [22] Abraham S.K. 1994. Antigenotoxicity of coffee in the *Drosophila* assay for somatic mutation and recombination. *Mutagenesis*, 9 (4): 383-386.
- [23] Xue H., Ren W., Denkinger M., Schlotzer E., Wischmeyer P.E. 2015. Nutrition Modulation of Cardiotoxicity and Anticancer Efficacy Related to Doxorubicin Chemotherapy by Glutamine and ω -3 Polyunsaturated Fatty Acids. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 40 (1): 52-66.
- [24] Asensio-López M.C., Soler F, Sánchez-Más J, Pascual-Figal D, Fernández-Belda F, Lax A. 2016. Early oxidative damage induced by doxorubicin: source of production, protection by GKT137831 and effect on Ca^{2+} transporters in HL-1 cardiomyocytes, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 594: 26-36.
- [25] Injac R., Perse M., Cerne M., Potocnik N., Radic N., Govedarica B., Djordjevic A., Cerar A., Strukelj B. 2009. Protective effects of fullereneol C 60 (OH) 24 against doxorubicin-induced cardiotoxicity and hepatotoxicity in rats with colorectal cancer. *Biomaterials*, 30 (6): 1184-1196.
- [26] Yilmaz S., Atessahin A., Sahna E., Karahan I., Ozer S. 2006. Protective effect of lycopene on adriamycin-induced cardiotoxicity and nephrotoxicity. *Toxicology*, 218 (2): 164-171.
- [27] Khalil W.K., Abidli N., Ghaly I.S., Hassanane M.M., Sharafeldin E.A. 2015. Myrtus Species Prevents Reproductive Toxicity Induced By Doxorubicin In Male Mice. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 8 (3): 169-175.
- [28] Gao J., Chen T., Zhao D., Zheng J., Liu Z. 2016. Ginkgolide B exerts cardioprotective properties against doxorubicin-induced cardiotoxicity by regulating reactive oxygen species, Akt and calcium signaling pathways in vitro and in vivo. *PloS one*, 11 (12): e0168219.
- [29] Mohebbati R., Shafei M.N., Soukhtanloo M., Roshan N.M., Rad A.K., Anaeigoudari A., Hosseinian S., Karimi S., Beheshti F. 2016. Adriamycin-induced oxidative stress is prevented by mixed hydro-alcoholic extract of *Nigella sativa* and *Curcuma longa* in rat kidney. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 6 (1): 86-94.
- [30] Khazdair M.R., Mohebbati R., Karimi S., Abbasnezhad A., Haghshenas M. 2016. The protective effects of *Curcuma longa* extract on oxidative stress markers in the liver induced by Adriamycin in rat. *Physiology and Pharmacology*, 20 (1): 31-37.
- [31] Kuzu M., Yıldırım S., Kandemir F.M., Küçükler S., Çağlayan C., Türk E., Dörtbudak M.B. 2019. Protective effect of morin on doxorubicin-induced hepatorenal toxicity in rats. *Chemico-biological interactions*, 308: 89-100.
- [32] Amensour M., Sendra E., Abrini J., Pérez-Alvarez J.A., FernándezLópez J. 2010. Antioxidant activity and total phenolic compounds of myrtle extracts. *CyTA-Journal of Food*, 8 (2): 95-101.
- [33] Babou L., Hadidi L., Grosso C., Zaidi F., Valentão P., Andrade P. B. 2016. Study of phenolic composition and antioxidant activity of myrtle leaves and fruits as a function of maturation. *European Food Research and Technology*, 242 (9): 1447-1457.
- [34] Díaz-de-Cerio E., Arráez-Román D., Segura-Carretero A., Ferranti P., Nicoletti R., Perrotta G. M., Gómez-Caravaca A.M. 2018. Establishment of pressurized-liquid extraction by response surface methodology approach coupled to HPLC-DAD-TOF-MS for the determination of phenolic compounds of myrtle leaves. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 410 (15): 3547-3557.
- [35] Mimica-Dukić N., Bugarin D., Grbović S., Mitić-Ćulafić D., Vuković-Gačić B., Orčić D., Jovin E., Couladis M. 2010. Essential Oil of *Myrtus communis* L. as a Potential Antioxidant and Antimutagenic Agents. *Molecules*, 15: 2759-2770.
- [36] Hayder N., Bouhleb I., Skandrani I., Kadri M., Steiman R., Guiraud P., Mariotte A.M., Ghedira K., Dijoux-Franca M.G., Chekir-Ghedira L. 2008. In vitro antioxidant and antigenotoxic potentials of myricetin-3-o-galactoside and myricetin-3-o-rhamnoside from *Myrtus communis*: modulation of expression of genes involved in cell defence system using cDNA microarray. *Toxicology In Vitro*, 22 (3): 567-581.
- [37] Rosa A., Deiana M., Casu V., Corona G., Appendino G., Bianchi F., Ballero M., Dessì M.A. 2003. Antioxidant activity of oligomeric acylphloroglucinols from *Myrtus communis* L. *Free Radical Research*, 37 (9): 1013-1019.
- [38] Rosa A., Melis M.P., Deiana M., Atzeri A., Appendino G., Corona G., Incani A., Loru D., Dessì M.A. 2008. Protective effect of the oligomeric acylphloroglucinols from *Myrtus communis* on cholesterol and human low density lipoprotein oxidation. *Chemistry and Physics of Lipids*, 155 (1): 16-23.

- [39] Ines S., Ines B., Wissem B., Mohamed B.S., Nawel H., Dijoux-Franca M.G., Kamel G., Leila C.G. 2012. *In vitro* antioxidant and antigenotoxic potentials of 3,5-*O*-di-galloylquinic acid extracted from *Myrtus communis* leaves and modulation of cell gene expression by H₂O₂. *Journal of Applied Toxicology*, 32 (5): 333-341.
- [40] Chen A.Y., Chen Y.C. 2013. A review of the dietary flavonoid, kaempferol on human health and cancer chemoprevention, *Food Chemistry*, 138 (4): 2099-2107.
- [41] Öz S., Çakır Arıca Ş. 2016. Evaluation of antigenotoxic effect of *Myrtus communis* L. (myrtle) fruit extract. *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*, pp 2474-2481, 19-20 March, Kilis.

Araştırma Makalesi / Research Article

Artvin Borçka Karagöl Tabiat Parkı'nın Ornitofaunası

Mehmet Mustafa ALAR, Hümeysra NERGİZ*

*Bitlis Eren Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bitlis
(ORCID: 0000-0001-7817-034X) (ORCID: 0000-0001-5588-6134)*

Öz

Bu çalışmada Artvin Borçka Karagöl Tabiat Parkı'nda bulunan kuş türleri araştırılmıştır. Araştırmada Mart 2017-Aralık 2018 tarihleri arasında gerçekleştirilen gözlem sonuçları değerlendirilmiş, 14 takım ve 36 familyaya ait 88 kuş türü tespit edilmiştir. Bu türlerden 34'ü yerli (% 38.6), 32'si yaz ziyaretçisi (% 36.3), 3'ü kış ziyaretçisi (% 3.4) ve 19'u transit göçerdir (% 21.7). Passeriformes takımı alanda en fazla türle (47 tür) temsil edilirken, Podicipediformes, Gruiformes, Cuculiformes ve Bucerotiformes takımlarına ait alanda birer tür tespit edilmiştir. Alandaki kuşların IUCN (Uluslararası Doğa Koruma Birliği) kriterlerine göre tehlike durumları; 1 tür EN (*Falco cherrug*), 2 tür NT (*Milvus milvus*, *Falco vespertinus*), 1 tür VU (*Clanga clanga*) olarak verilmiştir. Ayrıca Bern Sözleşmesine göre alandaki kuş türlerinin 51 tanesi Ek II listesinde, 27 tanesi ise EK III listesinde yer almaktadır.

Anahtar kelimeler: Kuşlar, Sulak Alan, Biyoçeşitlilik, Ornitofauna.

Ornithofauna of Artvin Borçka Karagöl Nature Park

Abstract

In this study, bird species at Artvin Borçka Karagöl Nature Park were researched. In this research, conducted between years of March 2017-December 2018, 88 bird species belonging to 36 families of 14 ordo were identified. Of these species, 34 (% 38.6) were resident, 32 (% 36.3) were summer migrant, 3 (% 3.4) were winter migrant and 19 (% 21.5) were transit migrant. These species were belonged to different IUCN (International Union for Conservation of Nature) Red List Categories including, *Falco cherrug*-EN, *Milvus milvus* and *Falco vespertinus*-NT and *Clanga clanga*-VU. According to Bern Convention Red List Categories, all of observed species were categorized as; 51 in Appendix II and while 27 in Appendix III.

Keywords: Birds, Wetland, Biodiversity, Ornithofauna.

1. Giriş

Sulak alanlar sahip oldukları biyolojik çeşitlilik nedeniyle yeryüzünün en önemli ekosistemlerindedir. Farklı ekosistemlerin bir arada bulunması ve habitat çeşitliliğinin fazla olması bu alanlardaki tür çeşitliliğini arttırmaktadır. Her ekosistemin iklimi, biyolojik ve topografik özellikleri birbirinden farklıdır. Bu durum ekosistem çeşitliliğine neden olur. Ekosistemlerin orman, göl, çöl, dağ, sazlık, akarsu, okyanus gibi çeşitleri vardır. Bu çeşitlilik arttıkça, ekosistemde yer alan habitat ve tür çeşitliliği de artar. Ancak biyoçeşitliliğin bileşenleri olarak ekosistemler ve türler hızla bozulma ya da yok olma tehdidi altındadır [1,2].

Türkiye, konumu, topografik yapısı ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim koşulları nedeniyle biyoçeşitlilik açısından son derece zengindir. Flora ve faunasındaki bu zenginliğin yanı sıra, endemizm olgusu Anadolu'nun doğal yapısını daha da çekici hale getirmektedir. Bu doğal yapı çeşitliliği Anadolu'ya kıta özelliği vermektedir [3]. Ülkemiz birçok bakımdan olduğu gibi, kuş türü varlığı bakımından da kıta özelliği göstermektedir. Batı Palearktık bölgeyi güneydeki kışlama alanlarına bağlayan Anadolu aynı zamanda zengin bir kuş faunasına sahiptir. Palearktık bölgedeki dört kuş göç yolundan ikisi Anadolu üzerinden geçmektedir. Bunlardan ilki; Trakya'dan ülkemize girip Boğaziçi

*Sorumlu yazar: h.nergiz@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.06.2019, Kabul Tarihi: 23.07.2019

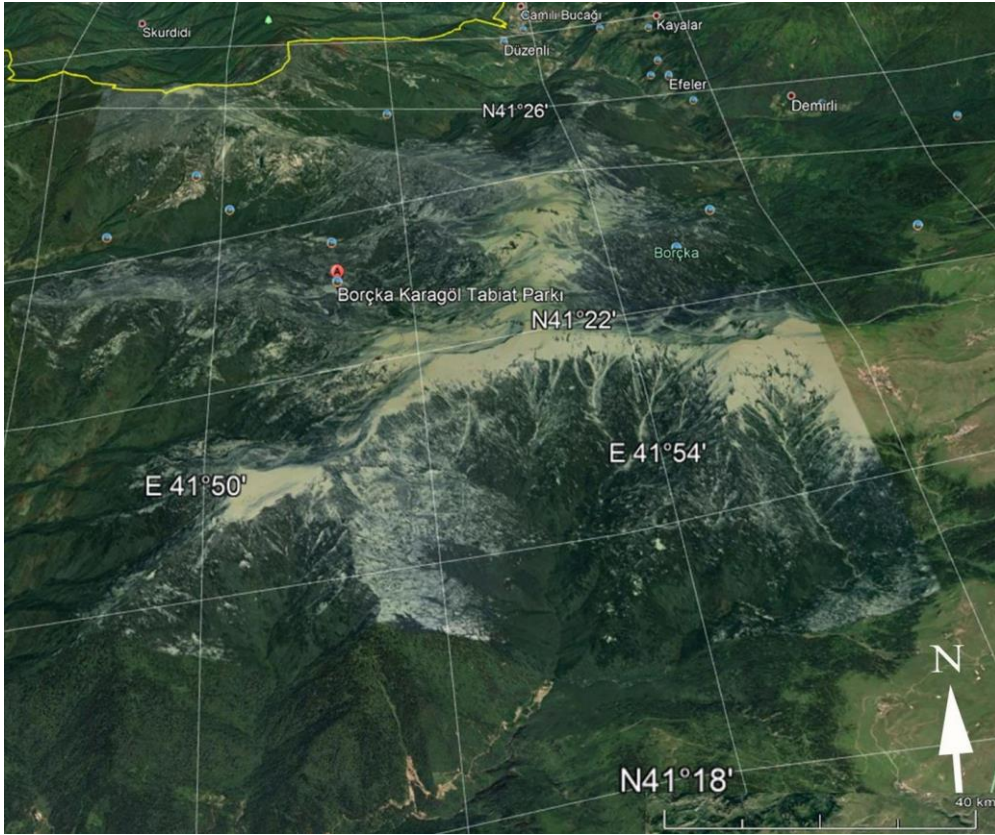
üzerinden Anadolu'ya geçen Kuzeybatı-Güney göç rotasıdır. Kuzeydoğu-Güney göç rotası ise Doğu Karadeniz'den ülkemize girip, Çoruh Nehri üzerinden geçerek Doğu Anadolu'ya doğru yayılmaktadır [4].

Bu çalışmada sahip olduğu floristik ve faunistik zenginliği ve peyzaj özellikleri sebebiyle yüksek ekoturizm potansiyeline sahip olan Artvin Borçka Karagöl Tabiat Parkı'nda konaklayan ve üreyen kuş türleri ile türlere ve yaşam alanlarına yönelik tehdit unsurları ve alınması gereken tedbirler araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanının tanıtımı

Karagöl Tabiat Parkı, Artvin ili Borçka ilçesi sınırları içerisinde, Karçal Dağları'nın kuzeybatısında, deniz seviyesinden 1450-1480 m aralığında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma alanının uydu görüntüsü (Google earth image-2018 GeoEye).

Karagöl, maksimum derinliği 7 m olan 10 ha büyüklüğünde bir tatlı su gölüdür. Akarsular ve yağışlarla beslenir. Savgüle ve Heba dereleri Karagöl'ü besleyen en önemli kaynaklardır [1, 5, 7]. Karagöl ve çevresindeki 368 ha'lık alan; fauna ve flora zenginliği, jeomorfolojik, jeolojik ve peyzaj özellikleri sebebiyle 14.08.2002 tarihinde Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından "Tabiat Parkı" kapsamına alınmıştır. Karadeniz ikliminin hüküm sürdüğü Artvin Borçka Karagöl Tabiat Parkı ve çevresinde kışlar ılık, yazlar sıcak ve bol yağışlıdır. Yıllık ortalama yağış 1268.2 mm, ortalama sıcaklık ise 13 °C'dir [7, 8]. Nemli oluşundan dolayı doğal vejetasyonun çeşitlilik gösterdiği sahada endemizm oranı %1.1'dir. Ekolojik olarak bitkilerin varlığını sürdürmelerine uygun olan göl çevresinde özellikle Ladin (*Picea orientalis*), Sarıçam (*Pinus sylvestris*), Doğu Karadeniz Göknarı (*Abies nordmanniana*), Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) ve Ceviz (*Juglans regia*) türlerinin hakim olduğu karışık ormanlık alan bulunmaktadır [9, 10].

2.2. Metot

Artvin-Borçka Karagöl Tabiat Parkı'nda Mart 2017-Aralık 2018 tarihleri arasında gerçekleştirilen arazi çalışmaları aylık periyotlarla çalışma takvimine bağlı olarak yürütülmüştür. Mevsimsel olarak gün uzunluğuna bağlı olarak ayarlanan gözlemler genellikle kuş türlerinin aktif olduğu 6⁰⁰ -19⁰⁰ saatleri arasında yapılmıştır. Çalışma sahasında varlığını sürdüren kuş türlerinin, populasyonları, çalışma sahasına geliş ve ayrılış zamanları, alandaki yayılışları, statüleri ve kırmızı listedeki yerleri tespit edilmiştir.

Çalışma alanındaki kuş türleri Dobinson'un (1976) "Kareler (Raster Kartlama)" yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir [11]. Populasyon büyüklüğünü belirlemek için yapılan sayımlar genellikle çalışma sahasına hâkim olan noktalardan belli bir hat dikkate alınarak teleskop, dürbün ve çıplak göz yardımı ile bütün alanın taranması şeklinde yapılmıştır. Ayrıca gözlemler sırasında türlerin morfolojik karakterleri, sesleri, uçuş özellikleri, habitat seçimleri ve yuvalanma şekilleri gibi özelliklerinden de faydalanılmıştır. Kuluçka ve yuva yerlerini gözlemek amacı ile arazide yine bir hat boyu belli bir genişlik dikkate alınıp yürünerek gözlemler gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda; alanın 1/25000'lik haritası, arazi gözlem kartları, dürbün (Kodak 8 x 40), teleskop (Konuspot 100 mm), numarator, fotoğraf makinesi (Canon Eos 7D, 400mm objektif), bataklık giysileri ve teşhis kitapları [12-15] kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

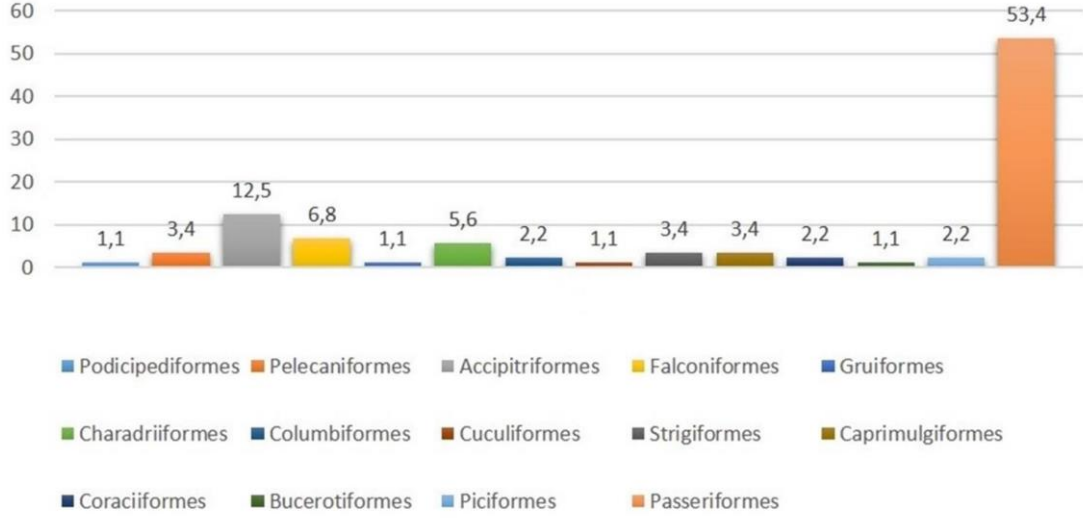
Artvin-Borçka Karagöl Tabiat Parkı'nda Mart 2017-Aralık 2018 tarihleri arasında gerçekleştirilen gözlem ve çalışmalar sonucunda alanda toplam 14 takım ve 36 familyaya ait 88 kuş türü tespit edilmiştir. Bu türlerin alandaki göç durumları dikkate alındığında; 34'ü yerli (% 38.6), 32'si yaz ziyaretçisi (% 36.3), 3'ü kış ziyaretçisi (% 3.4) ve 19'u transit göçerdir (% 21.7) (Tablo 1).

Tablo1. Artvin Borçka Karagöl Tabiat Parkı'nda tespit edilen kuş türleri ve statüleri

Ordo	Familya	Tür	Göç Statüsü	IUCN	Bern	CITES
PODICIPEDIFORMES	PODICIPEDIDAE	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	Y	LC	EKII	-
PELECANIFORMES	ARDEIDAE	<i>Ardea alba</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Ardea cinerea</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>Egretta garzetta</i>	YZ	LC	EKII	-
ACCIPITRIFORMES	ACCIPITRIDAE	<i>Pernis apivorus</i>	TG	LC	EKII	EKII
		<i>Milvus milvus</i>	TG	NT	EKII	EKII
		<i>Milvus migrans</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Clanga pomarina</i>	TG	LC	EKII	EKII
		<i>Clanga clanga</i>	TG	VU	EKII	EKII
		<i>Accipiter gentilis</i>	YZ	LC	EKII	EKII
		<i>Accipiter nisus</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Buteo buteo</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Buteo rufinus</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Hieraaetus pennatus</i>	TG	LC	EKII	EKII
		<i>Aquila chrysaetos</i>	TG	LC	EKII	EKII
FALCONIFORMES	FALCONIDAE	<i>Falco tinnunculus</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Falco naumanni</i>	TG	LC	EKII	EKII
		<i>Falco subbuteo</i>	YZ	LC	EKII	EKII
		<i>Falco vespertinus</i>	TG	NT	EKII	EKII
		<i>Falco columbarius</i>	KZ	LC	EKII	EKII
		<i>Falco cherrug</i>	TG	EN	EKII	EKII
GRUIFORMES	RALLIDAE	<i>Fulica atra</i>	Y	LC	EKIII	-
CHARADRIIFORMES	CHARADRIIDAE	<i>Charadrius dubius</i>	YZ	LC	EKII	-
	SCOLOPACIDAE	<i>Scolopax rusticola</i>	TG	LC	EKIII	-
		<i>Tringa ochropus</i>	TG	LC	EKII	-
		<i>Tringa glareola</i>	YZ	LC	EKII	-
	LARIDAE	<i>Larus ridibundus</i>	Y	LC	EKIII	-
COLUMBIFORMES	COLUMBIDAE	<i>Columba livia</i>	Y	LC	EKIII	-
		<i>Columba palumbus</i>	TG	LC	-	-
CUCULIFORMES	CUCULIDAE	<i>Cuculus canorus</i>	YZ	LC	EKIII	-

Ordo	Familya	Tür	Göç Statüsü	IUCN	Bern	CITES
STRIGIFORMES	STRIGIDAE	<i>Athene noctua</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Bubo bubo</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Strix aluco</i>	Y	LC	EKII	EKII
CAPRIMULGIFORMES	CAPRIMULGIDAE	<i>Caprimulgus europaeus</i>	YZ	LC	EKII	-
		APODIDAE	<i>Apus apus</i>	TG	LC	EKIII
CORACIFORMES	MEROPIDAE	<i>Tachymarptis melba</i>	TG	LC	EKII	-
	CORACIIDAE	<i>Merops apiaster</i>	YZ	LC	EKII	-
BUCEROTIFORMES	CORACIIDAE	<i>Coracias garrulus</i>	YZ	LC	EKII	-
		UPUPIDAE	<i>Upupa epops</i>	YZ	LC	EKIII
PICIFORMES	PICIDAE	<i>Dendrocopos major</i>	Y	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	ALAUDIDAE	<i>Dendrocopos syriacus</i>	Y	LC	EKII	-
		<i>Alauda arvensis</i>	Y	LC	EKIII	-
PASSERIFORMES	ALAUDIDAE	<i>Lullula arborea</i>	Y	LC	EKIII	-
		CINCLIDAE	<i>Cinclus cinclus</i>	Y	-	-
PASSERIFORMES	TROGLODYTIDAE	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Y	LC	EKII	-
	MOTACILLIDAE	<i>Motacilla flava</i>	YZ	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	MOTACILLIDAE	<i>Motacilla citreola</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>Motacilla cinerea</i>	YZ	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	MOTACILLIDAE	<i>Motacilla alba</i>	YZ	LC	EKIII	-
		SITTIDAE	<i>Sitta europaea</i>	Y	LC	EKIII
PASSERIFORMES	CERTHIIDAE	<i>Certhia familiaris</i>	Y	LC	EKIII	-
	MUSCICAPIDAE	<i>Muscicapa striata</i>	YZ	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	MUSCICAPIDAE	<i>Ficedula parva</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Erithacus rubecula</i>	Y	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	MUSCICAPIDAE	<i>Luscinia megarhynchos</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	YZ	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	TURDIDAE	<i>Saxicola torquata</i>	YZ	LC	-	-
		<i>Turdus torquatus</i>	YZ	LC	EKIII	-
PASSERIFORMES	TURDIDAE	<i>Turdus merula</i>	Y	LC	EKIII	-
		<i>Turdus philomelos</i>	KZ	LC	EKIII	-
PASSERIFORMES	SYLVIIDAE	<i>Sylvia curruca</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Sylvia communis</i>	YZ	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	SYLVIIDAE	<i>Sylvia borin</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Sylvia nisoria</i>	TG	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	REGULIDAE	<i>Regulus regulus</i>	Y	LC	EKII	-
	PHYLLOSCOPIIDAE	<i>Phylloscopus collybita</i>	TG	LC	EKIII	-
PASSERIFORMES	PHYLLOSCOPIIDAE	<i>Phylloscopus sindianus</i>	TG	LC	EKIII	-
		PARIDAE	<i>Parus major</i>	Y	LC	EKII
PASSERIFORMES	PARIDAE	<i>Periparus ater</i>	Y	LC	EKII	-
		<i>Cyanistes caeruleus</i>	Y	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	AEGITHALIDAE	<i>Aegithalos caudatus</i>	Y	LC	EKIII	-
	LANIIDAE	<i>Lanius collurio</i>	YZ	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	LANIIDAE	<i>Lanius senator</i>	TG	LC	EKII	-
		<i>Lanius nubicus</i>	TG	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	CORVIDAE	<i>Corvus corone</i>	Y	LC	-	-
		<i>Corvus corax</i>	Y	LC	EKIII	-
PASSERIFORMES	CORVIDAE	<i>Garrulus glandarius</i>	Y	LC	-	-
		<i>Pica pica</i>	Y	LC	-	-
PASSERIFORMES	STURNIDAE	<i>Sturnus vulgaris</i>	Y	LC	-	-
PASSERIFORMES	PASSERIDAE	<i>Passer montanus</i>	Y	LC	EKIII	-
		<i>Passer domesticus</i>	Y	LC	-	-
PASSERIFORMES	FRINGILLIDAE	<i>Fringilla coelebs</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>Fringilla montifringilla</i>	KZ	LC	EKIII	-
PASSERIFORMES	FRINGILLIDAE	<i>Serinus serinus</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>Chloris chloris</i>	YZ	LC	-	-
PASSERIFORMES	EMBERIZIDAE	<i>Carduelis carduelis</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>Emberiza calandra</i>	YZ	LC	EKIII	-
PASSERIFORMES	EMBERIZIDAE	<i>Emberiza melanocephala</i>	YZ	LC	EKIII	-

Türlerin takımlara göre dağılımları; Podicipediformes 1, Pelecaniformes 3, Accipitriformes 11, Falconiformes 6, Gruiformes 1, Charadriiformes 5, Columbiformes 2, Cuculiformes 1, Strigiformes 3, Caprimulgiformes 3, Coraciiformes 2, Bucerotiformes 1, Piciformes 2 ve Passeriformes 47 türle temsil edilmektedir. Artvin Borçka Karagöl Tabiat Parkı'nda Passeriformes takımı en fazla, Podicipediformes, Gruiformes, Cuculiformes ve Bucerotiformes takımları ise en az türle temsil edilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Alandaki kuş türlerinin takımlara göre yüzdelik oranları

Alanda gözlemlenen kuş türlerinin IUCN tehlike kategorileri dikkate alındığında; 1 tür EN "Tehlike altında" (*Falco cherrug*), 2 tür NT "Tehdide açık" (*Milvus milvus* ve *Falco vespertinus*) ve 1 tür de VU "Zarar görebilir=Duyarlı" (*Clanga clanga*) kategorisinde yer almaktadır. Geriye kalan 84 tür ise LC "Asgari endişe=Düşük riskli" kategorisinde bulunmaktadır. Alandaki türlerin Bern Sözleşmesi kapsamında değerlendirilmesi yapıldığında 51 tür EK-II'de; yani "Mutlak Koruma Altındaki Türler" arasında yer almaktadır. Bunlar özellikle Accipitridae, Muscicapidae, ve Motacillidae familyalarına mensup türlerdir. Ayrıca, Bern sözleşmesinin EK-II no'lu listesinde yer alan türlerden 17 tanesi Y statüsünde yer alırken 19 tanesi YZ statüsündedir. Alandaki 27 kuş türü ise Bern sözleşmesinin EK III listesinde, CITES sözleşmesine göre de 20 tür EK-II listesinde.

Alandaki 88 kuş türünün yayılış alanı ve göç statüleri; Kızıroğlu (2008), Green Moorhouse (1995) ve Kirwan vd. (1998)'in verileriyle uygunluk göstermektedir [16, 17]. Kahraman vd. (2016)'ya göre Büyük ak balıkçıl (*Ardea alba*) Doğu Karadeniz için kış ziyaretçisi, Gri balıkçıl (*Ardea cinerea*) ise yerli tür olarak verilmiştir [18]. Çalışmamızda ise her iki türün de Karagöl'de yaz ziyaretçisi olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada bölge için kış ziyaretçisi olarak tanımlanan Çulluk (*Scolopax rusticola*) ve Yeşil düdükçün (*Tringa ochropus*) çalışmamız süresince sadece birkaç kez sonbahar döneminde gözlenmiştir.

Göktürk vd. (2008)'nin Artvin için yaz ziyaretçisi olarak belirledikleri Arı şahini (*Pernis apivorus*), Kızıl çaylak (*Milvus milvus*), Ala doğan (*Falco vespertinus*) ve Ulu doğan (*Falco cherrug*) sadece göç döneminde transit göçer tür olarak gözlenmiştir [19].

4. Sonuç ve Öneriler

Artvin Borçka Karagöl Tabiat Parkı iklimi, topografik özellikleri ve konumu itibarıyla birçok kuş türünün konaklaması ve üremesi için oldukça uygun bir alandır. Tabiat Parkı'nın sınırları içindeki ormanlık alanın özellikle ötücüler ve göç dönemindeki yırtıcılar tarafından tercih edildiği belirlenmiştir. Ancak yaz aylarında artış gösteren alandaki rekreasyonel faaliyetlerin özellikle alanda kuluçkaya yatan ötücüleri ve gölde konaklayan su kuşlarını büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Alanının yakınındaki çayırılık alanlarda yaz aylarında aşırı bir hayvan otlatması söz konusu olmaktadır. Bu durum bu alanlarda doğal dengenin bozulmasına, orman tahribatı ve yüksek eğim toprak erozyonuna sebep olmaktadır. Bütün bu olumsuzluklara rağmen alanda konaklayan yerli tür sayısının oldukça fazla olması alanın

habitat zenginliğinin bir göstergesidir. Kızıl çaylak, Ala doğan, Ulu doğan ve Büyük orman kartalı gibi nesli dünya çapında tehlike altında olan türlerin göç döneminde bu alanda konaklıyor olması alanın önemini arttırmaktadır. Bütün bu veriler alanın tabiat parkı statüsünün devamlılığının sağlanmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Büyük bir turizm potansiyeli olan alanın sahip olduğu doğal zenginliğin sürdürülmesi için bu zenginliği oluşturan canlılardan biri olan kuşların korunması vazgeçilmez bir gerekliliktir. Bu değerlerin kazandırdığı potansiyeli, özellikle yöre halkı için ekonomik bir gelir kaynağına dönüştürme ekoturizm ile mümkün olacaktır. Bunun için yöre halkının, ekoturizm konusunda bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi gerekmektedir. Tabiat Parkı'nı ziyaret eden insanların özellikle alandaki kuşların önemi konusundaki farkındalığını arttırmak için belli noktalara bilgilendirme ve ikaz tabelaları konulması faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası". Meteksan Yayınları, Ankara.
- [2] Ketenoğlu O., Kurt L., Yiğit N., Akman Y. 2012. Ekolojik Sentez. Palme Yayınları, Ankara.
- [3] Kızıroğlu İ. 2001. Ekolojik Potpuri. Tekav Yayınları, Ankara.
- [4] Yiğit N., Saygılı F., Çolak E., Sözen M., Karataş A. 2008. Ornitoloji Ders Notları. Ümit Ofset Matbaası Yayınları, Ankara.
- [5] Kopar İ., Sever R. 2008. Karagöl, (Borçka-Artvin). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11 (1): 21-38.
- [6] Kolaylı S., Şahin B. 2009. Benthic Algae (Except Bacillariophyta) and Their Seasonal Variations in Karagöl Lake (Borçka, Artvin-Turkey). Turkish Journal of Botany, 33: 27-32.
- [7] Anonim 2013. Artvin İlinde Doğa Turizmi Master Planı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Raporu, 12. Bölge Müdürlüğü, Artvin.
- [8] Koçman A. 1993. Türkiye İklimi. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, İzmir.
- [9] Özhatay N., Byfield A., Atay S. 2005. Türkiye'nin 122 Önemli Bitki Alanı. WWF Turkey, İstanbul.
- [10] Eminağaoğlu Ö., Yüksek T., Gümüş S., Kurdoğlu O., Eraydın S. 2007. Borçka-Karagöl Tabiat Parkı ve Çevresinin Flora ve Vejetasyonu. Proje raporu, TOGTAĞ-3210. 190s.
- [11] Dobinson H.M. 1976. Bird Count, A Practical Guide to Bird Survey. Penguin Books Ltd. Hormondsworth, England.
- [12] Heinzel H., Fitter R., Parsiov J. 1995. Türkiye ve Avrupa'nın Kuşları. Doğal Hayatı Koruma Derneği Yayınevi, İstanbul.
- [13] Harrison C., Greensmith A. 2000. Birds of the World. A. Dorling Kindersley Book, London.
- [14] Kızıroğlu İ. 2008. Türkiye Kuşları Kırmızı Listesi. Desen Matbaası, Ankara.
- [15] Svensson L., Mullarney K., Grant P.J., Zetterstrom D. 2011. Collins Bird Guide The Most Complete Guide to The Birds of Britain and Europe. Harper Collins. United Kingdom.
- [16] Green I., Moorhouse N. 1995. A Birdwatchers' Guide to Turkey. Bird Watcher's Guides Prion Ltd., England.
- [17] Kirwan G.M., Martins R.P., Eken G., Davidson P. 1998. Checklist of the Birds of Turkey. OSME Sandgrouse Supplement, USA.
- [18] Kahraman H., Şeremet T., Hatinoğlu B, 2016. Doğu Karadeniz Kuşları. Sakarya Matbaacılık. Trabzon.
- [19] Göktürk T., Artvinli T., Bucak F. 2008. Artvin Kuş Faunası. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 9 (1-2): 33-43.

Araştırma Makalesi / Research Article

Approximation Properties of Stancu-Type (p, q) -Baskakov Operators

Kadir KANAT*, Melek SOFYALIOĞLU

Ankara Hacı Bayram Veli University, Mathematics, Ankara
(ORCID: 0000-0002-7738-903X) (ORCID: 0000-0001-7837-2785)

Abstract

This paper deals with the construction of the Stancu type modification of the Baskakov operators by using (p, q) -integers. The rate of convergence of these operators are obtained by using Peetre's K-functional and modulus of continuity. In addition, the pointwise estimation of the newly constructed operators are examined for functions belong to a Lipschitz space. Finally, the convergence of the constructed operators to some functions is shown with the help of MATLAB.

Keywords: (p, q) -Baskakov-Stancu Operators, Modulus of Continuity, Weighted Korovkin Theorem.

Stancu Tipli (p, q) -Baskakov Operatörlerinin Yaklaşım Özellikleri

Öz

Bu makale (p, q) -tamsayılar kullanılarak oluşturulan Baskakov operatörlerinin Stancu tipli modifikasyonunun inşası ile ilgilenmektedir. Bu operatörlerin yaklaşım derecesi Peetre-K fonksiyonelleri ve süreklilik modülü kullanılarak elde edilmiştir. Buna ek olarak yeni oluşturulan operatörlerin noktasal yaklaşımı bir Lipschitz uzayına ait fonksiyonlar ile incelenmiştir. Sonuç olarak, üretilen operatörlerin bazı fonksiyonlara yakınsaklığı MATLAB yardımıyla elde edilen grafiklerle gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: (p, q) -Baskakov-Stancu Operatörleri, Süreklilik Modülü, Ağırlıklı Korovkin Teoremi.

1. Introduction

Approximation theory has an extensive research area in mathematics. Varied generalizations of some linear positive operators to the quantum calculus (q -calculus) and their approximation results have been extensively investigated for three decades. Some generalizations of Baskakov operators based on q -integers can be read from [1-3]. Further, quantum calculus is extended to post-quantum calculus, displayed by (p, q) -calculus. The new parameter gives flexibility to the approximation. (p, q) -calculus is used effectively in such areas as neural network, field theory, hypergeometric series, Lie group, and differential equations. In 2015, Mursaleen et al. [4] pioneered (p, q) -calculus in approximation theory. Due to its comprehensive applications, the approximation behaviors of linear positive operators in (p, q) -calculus have been studied actively by different authors [5-10]. Most recently, Aral and Gupta [11] have initiated the (p, q) -analogue of the Baskakov operators.

(p, q) -calculus can be illustrated by some essential notations and definitions. The (p, q) -integer of m is described by

*Sorumlu yazar: kadir.kanat@hbv.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.06.2019, Kabul Tarihi: 17.07.2019

$$[m]_{p,q} := p^{m-1} + p^{m-2}q + \dots + pq^{m-2} + q^{m-1} = \begin{cases} \frac{p^m - q^m}{p - q}, & p \neq q \neq 1 \\ mp^{m-1}, & p = q \neq 1 \\ [m]_q, & p = 1 \\ m, & p = q = 1 \end{cases}$$

where p and q are non-negative numbers and $[m]_q$ shows q -integers for $m = 0, 1, 2, \dots$. It is seen that $[m]_{p,q} = p^{m-1} [m]_{q/p}$. The (p, q) -factorial is given by

$$[m]_{p,q}! = \prod_{j=1}^m [j]_{p,q}, m \geq 1,$$

are the (p, q) -binomial coefficients. The (p, q) -power basis is explained as

$$(x \oplus y)_{p,q}^m = (x + y)(px + qy)(p^2x + q^2y) \dots (p^{m-1}x + q^{m-1}y).$$

Further details about (p, q) -calculus are given in [12] and [13]. The (p, q) -analogue of Baskakov operators are introduced by Aral and Gupta [11]

$$B_{m,p,q}(f; x) = \sum_{s=0}^{\infty} \begin{bmatrix} m+s-1 \\ s \end{bmatrix}_{p,q} p^{s+m(m-1)/2} q^{s(s-1)/2} \frac{x^s}{(1 \oplus x)_{p,q}^{m+s}} f\left(\frac{p^{m-1} [s]_{p,q}}{q^{s-1} [m]_{p,q}}\right), \tag{1}$$

where $0 < q < p \leq 1$, and $x \in [0, \infty)$.

In the following lemma, we present the moments of (p, q) -Baskakov operators.

Lemma 1. [11] For $x \in [0, \infty)$ and $0 < q < p \leq 1$, the (p, q) -analogue of Baskakov operators $B_{m,p,q}(\cdot; \cdot)$ satisfy the following equalities:

$$\begin{aligned} B_{m,p,q}(1; x) &= 1, \\ B_{m,p,q}(t; x) &= x, \\ B_{m,p,q}(t^2; x) &= x^2 + \frac{p^{m-1}x}{[m]_{p,q}} \left(1 + \frac{p}{q}x\right). \end{aligned}$$

In section 2, we will extend the operators given by (1) for $0 \leq \alpha \leq \beta$, $x \in [0, \infty)$ and $0 < q < p \leq 1$. Then we will calculate the moments of the newly constructed operators. In addition, we will present the convergence of the operators according to the weighted Korovkin theorem.

2. Construction of the operators

Definition 1. For any $x \in [0, \infty)$, $0 < q < p \leq 1$, $0 \leq \alpha \leq \beta$, we construct the (p, q) -analogue of Stancu type Baskakov operators by

$$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f; x) = \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) f\left(\frac{p^{m-1} q^{1-s} [s]_{p,q} + \alpha}{[m]_{p,q} + \beta}\right), \tag{2}$$

where

$$b_{m,s}^{p,q}(x) = \begin{bmatrix} m+s-1 \\ s \end{bmatrix}_{p,q} p^{s+m(m-1)/2} q^{s(s-1)/2} \frac{x^s}{(1 \oplus x)_{p,q}^{m+s}}. \tag{3}$$

We will give the next lemma to present the moments of the operators (2).

Lemma 2. Let $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(\cdot; \cdot)$ be defined by (2) and (3). Then we obtain the following equalities

$$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(1; x) = 1, \tag{4}$$

$$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(t; x) = \frac{[m]_{p,q}}{[m]_{p,q} + \beta} x + \frac{\alpha}{[m]_{p,q} + \beta}, \tag{5}$$

$$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(t^2; x) = \frac{[m]_{p,q}^2}{([m]_{p,q} + \beta)^2} \left(1 + \frac{p^m}{q[m]_{p,q}} \right) x^2 + \frac{[m]_{p,q}}{([m]_{p,q} + \beta)^2} (p^{m-1} + 2\alpha) x + \frac{\alpha^2}{([m]_{p,q} + \beta)^2}. \tag{6}$$

Proof. First of all, by using the definition of the operators (2), we can check the first moment (4) as follows

$$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(1; x) = \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) = 1.$$

Secondly, we have the following equality for the second moment by the definition of the operators (2)

$$\begin{aligned} B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(t; x) &= \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) \frac{p^{m-1} q^{1-s} [s]_{p,q} + \alpha}{[m]_{p,q} + \beta} \\ &= \frac{[m]_{p,q}}{[m]_{p,q} + \beta} \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) \frac{p^{m-1} [s]_{p,q}}{q^{s-1} [m]_{p,q}} + \frac{\alpha}{[m]_{p,q} + \beta} \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) \\ &= \frac{[m]_{p,q}}{[m]_{p,q} + \beta} B_{m,p,q}(t; x) + \frac{\alpha}{[m]_{p,q} + \beta} B_{m,p,q}(1; x) \\ &= \frac{[m]_{p,q}}{[m]_{p,q} + \beta} x + \frac{\alpha}{[m]_{p,q} + \beta}, \end{aligned}$$

as we see in equality (5).

Lastly, we obtain the third moment $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(t^2; x)$ as follows

$$\begin{aligned} B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(t^2; x) &= \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) \left(\frac{p^{m-1} q^{1-s} [s]_{p,q} + \alpha}{[m]_{p,q} + \beta} \right)^2 \\ &= \frac{[m]_{p,q}^2}{([m]_{p,q} + \beta)^2} \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) \frac{p^{2m-2} [s]_{p,q}^2}{q^{2s-2} [m]_{p,q}^2} + \frac{2[m]_{p,q} \alpha}{([m]_{p,q} + \beta)^2} \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) \frac{p^{m-1} [s]_{p,q}}{q^{s-1} [m]_{p,q}} + \frac{\alpha^2}{([m]_{p,q} + \beta)^2} \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) \\ &= \frac{[m]_{p,q}^2}{([m]_{p,q} + \beta)^2} B_{m,p,q}(t^2; x) + \frac{2[m]_{p,q} \alpha}{([m]_{p,q} + \beta)^2} B_{m,p,q}(t; x) + \frac{\alpha^2}{([m]_{p,q} + \beta)^2} B_{m,p,q}(1; x) \end{aligned}$$

$$= \frac{[m]_{p,q}^2}{([m]_{p,q} + \beta)^2} \left(1 + \frac{p^m}{q[m]_{p,q}} \right) x^2 + \frac{[m]_{p,q}}{([m]_{p,q} + \beta)^2} (p^{m-1} + 2\alpha)x + \frac{\alpha^2}{([m]_{p,q} + \beta)^2}. \tag{7}$$

Remark 1. (Central Moments)

We use linearity of the operators $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}$ to get the first central moment $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(t-x; x)$

$$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(t-x; x) = \left(\frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}} - 1 \right) x + \frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}}. \tag{8}$$

Similarly, for the second central moment $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}((t-x)^2; x)$, we have

$$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}((t-x)^2; x) = \mu_1(m)x^2 + \mu_2(m)x + \mu_3(m), \tag{9}$$

where we shortly denote

$$\begin{aligned} \mu_1(m) &= \left(\frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}} - 1 \right)^2 + \frac{p^m [m]_{p,q}}{q(\beta + [m]_{p,q})^2}, \\ \mu_2(m) &= \frac{[m]_{p,q} p^{m-1} - 2\alpha\beta}{(\beta + [m]_{p,q})^2}, \\ \mu_3(m) &= \frac{\alpha^2}{(\beta + [m]_{p,q})^2}. \end{aligned}$$

Let us choose $\tilde{\mu}(m) := \max \left\{ \mu_1(m), \frac{\mu_2(m)}{2}, \mu_3(m) \right\}$. Finally, we can write

$$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}((t-x)^2; x) \leq \tilde{\mu}(m)(1+x)^2. \tag{10}$$

Here the $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f; x)$ are linear and positive operators.

Remark 2. For $0 < q < p \leq 1$, $\lim_{m \rightarrow \infty} [m]_{p,q} = \frac{1}{p-q}$. To reach the convergence results of the operators

$B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f; x)$, we choose the sequences $0 < q_m < p_m \leq 1$ such that $\lim_{m \rightarrow \infty} p_m = 1$, $\lim_{m \rightarrow \infty} q_m = 1$,

$\lim_{m \rightarrow \infty} p_m^m = 1$ and $\lim_{m \rightarrow \infty} q_m^m = 1$. Thus, we have $\lim_{m \rightarrow \infty} [m]_{p_m, q_m} = \infty$. Additionally, here we assume that

$\mu_1(m) \rightarrow 0$, $\mu_2(m) \rightarrow 0$, $\mu_3(m) \rightarrow 0$ as $m \rightarrow \infty$, hence $\tilde{\mu}(m) \rightarrow 0$ as $m \rightarrow \infty$.

Just now, we primarily recall some important definitions of the weighted spaces:

$C[0, \infty)$ denotes the set of all continuous functions defined on the semi-axis $[0, \infty)$. $B_2[0, \infty)$ is the set of all functions f defined on $[0, \infty)$ satisfying the condition $|f(x)| \leq M(1+x^2)$, where M is a

positive constant. Further, $B_2[0, \infty)$ denotes a linear normed space with $\|f\|_2 = \sup_{x \geq 0} \frac{|f(x)|}{1+x^2}$.

$C_B [0, \infty)$ is the class of all real valued continuous and bounded functions f on $[0, \infty)$. The norm is given by $\|f\|_{C_B} = \sup_{x \in [0, \infty)} |f(x)|$. Also $C_B^2 [0, \infty)$ denotes the space of f , for which f'' , f' and f are continuous on $[0, \infty)$. Then $C_2 [0, \infty)$ signifies the subspace of all continuous functions in $B_2 [0, \infty)$. Moreover, $C_2^* [0, \infty)$ indicates the subspace of all continuous functions in $B_2 [0, \infty)$ for which $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{1+x^2}$ is finite.

Theorem 1. Let $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x)$ satisfy the conditions, given in Remark 2 for $0 \leq \alpha \leq \beta$ and $0 < q_m < p_m \leq 1$. And then for each $f \in C_2^* [0, \infty)$, $B_{m,p_m,q_m}^{\alpha,\beta}(f;x)$ converge uniformly to f on $[0, \infty)$.

Proof. To give the proof, it is satisfactory by the weighted Korovkin theorem [14] to see that

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \|B_{m,p_m,q_m}^{\alpha,\beta} e_k - e_k\|_2 = 0,$$

where $e_k(x) = x^k$, $k = 0, 1, 2$.

(i) Using equality (4), it is clear that

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \|B_{m,p_m,q_m}^{\alpha,\beta} e_0 - e_0\|_2 = \lim_{m \rightarrow \infty} \sup_{x \geq 0} \frac{|B_{m,p_m,q_m}^{\alpha,\beta}(1;x) - 1|}{1+x^2} = 0.$$

(ii) Using equality (5), we write

$$\begin{aligned} \lim_{m \rightarrow \infty} \|B_{m,p_m,q_m}^{\alpha,\beta} e_1 - e_1\|_2 &= \lim_{m \rightarrow \infty} \sup_{x \geq 0} \frac{|B_{m,p_m,q_m}^{\alpha,\beta}(t;x) - x|}{1+x^2} \\ &= \lim_{m \rightarrow \infty} \sup_{x \geq 0} \frac{\left| \left(\frac{[m]_{p_m,q_m}}{\beta + [m]_{p_m,q_m}} - 1 \right) x + \frac{\alpha}{\beta + [m]_{p_m,q_m}} \right|}{1+x^2} \\ &\leq \lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{[m]_{p_m,q_m}}{\beta + [m]_{p_m,q_m}} \right) \sup_{x \geq 0} \frac{x}{1+x^2} + \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\alpha}{\beta + [m]_{p_m,q_m}} \sup_{x \geq 0} \frac{1}{1+x^2} \\ &\leq \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \left(1 - \frac{[m]_{p_m,q_m}}{\beta + [m]_{p_m,q_m}} \right) + \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\alpha}{\beta + [m]_{p_m,q_m}} \\ &= 0. \end{aligned}$$

(iii) By using equality (6), we have

$$\begin{aligned} \lim_{m \rightarrow \infty} \|B_{m, p_m, q_m}^{\alpha, \beta} e_2 - e_2\|_2 &= \lim_{m \rightarrow \infty} \sup_{x \geq 0} \frac{|B_{m, p_m, q_m}^{\alpha, \beta}(t^2; x) - x^2|}{1 + x^2} \\ &= \lim_{m \rightarrow \infty} \sup_{x \geq 0} \left| \frac{\left(\frac{[m]_{p_m, q_m}^2}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2} \left(1 + \frac{p_m^m}{q_m [m]_{p_m, q_m}} \right) - 1 \right) x^2 + \frac{[m]_{p_m, q_m}}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2} (p_m^{m-1} + 2\alpha) x + \frac{\alpha^2}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2}}{1 + x^2} \right| \\ &\leq \lim_{m \rightarrow \infty} \left| \frac{[m]_{p_m, q_m}^2}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2} \left(1 + \frac{p_m^m}{q_m [m]_{p_m, q_m}} \right) - 1 \right| \sup_{x \geq 0} \frac{x^2}{1 + x^2} \\ &\quad + \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{[m]_{p_m, q_m}}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2} (p_m^{m-1} + 2\alpha) \sup_{x \geq 0} \frac{x}{1 + x^2} + \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\alpha^2}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2} \sup_{x \geq 0} \frac{1}{1 + x^2} \\ &\leq \lim_{m \rightarrow \infty} \left(\left| \frac{[m]_{p_m, q_m}^2}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2} \left(1 + \frac{p_m^m}{q_m [m]_{p_m, q_m}} \right) - 1 \right| + \frac{1}{2} \frac{[m]_{p_m, q_m}}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2} (p_m^{m-1} + 2\alpha) + \frac{\alpha^2}{(\beta + [m]_{p_m, q_m})^2} \right) \\ &= 0. \end{aligned}$$

In section 3, we will give an auxiliary lemma to verify the main results and then treat the local approximation properties by the help of Peetre’s K-functionals and modulus of continuities.

3. Local approximation properties

First of all, we remember the properties of Peetre’s K-functionals. The norm in $C_B^2[0, \infty)$ is defined as

$$\|f\|_{C_B^2[0, \infty)} = \|f\|_{C_B[0, \infty)} + \|f'\|_{C_B[0, \infty)} + \|f''\|_{C_B[0, \infty)}.$$

Peetre’s K-functionals are defined as follows:

$$K_2(f, \delta) := \inf_{g \in C_B^2[0, \infty)} \left\{ \|f - g\|_{C_B[0, \infty)} + \delta \|g\|_{C_B^2[0, \infty)} \right\}.$$

The modulus of continuity of the function $f \in C_B[0, \infty)$ is given by

$$\omega(f, \delta) := \sup_{0 < h < \delta} \sup_{x, x+h \in [0, \infty)} |f(x+h) - f(x)|.$$

It is obvious that $\lim_{\delta \rightarrow 0^+} \omega(f, \delta) = 0$ for $f \in C_B[0, \infty)$; and for each $x, t \in [0, 1]$ and any $\delta > 0$, we have

$$|f(t) - f(x)| \leq \omega(f, \delta) \left(\frac{|t-x|}{\delta} + 1 \right). \tag{11}$$

For $\delta > 0$, second order modulus of smoothness of the function f is identified by

$$\omega_2(f, \delta) := \sup_{0 < h < \sqrt{\delta}} \sup_{x, x+h \in [0, \infty)} |f(x+2h) - 2f(x+h) + f(x)|.$$

By DeVore [15], for $M > 0$,

$$K_2(f, \delta) \leq M \omega_2(f, \sqrt{\delta}).$$

Lemma 3. For $f \in C_B[0, \infty)$, we have

$$|B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f; x)| \leq \|f\|_{C_B}. \tag{12}$$

Proof.

$$\begin{aligned} |B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f; x)| &= \left| \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) f\left(\frac{p^{m-1}q^{1-s}[s]_{p,q} + \alpha}{[m]_{p,q} + \beta}\right) \right| \\ &\leq \sum_{s=0}^{\infty} b_{m,s}^{p,q}(x) \left| f\left(\frac{p^{m-1}q^{1-s}[s]_{p,q} + \alpha}{[m]_{p,q} + \beta}\right) \right| \\ &\leq \|f\|_{C_B} B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(1; x) \\ &= \|f\|_{C_B}. \end{aligned}$$

Lemma 4. Let $f \in C_B[0, \infty)$ and $g \in C_B^2[0, \infty)$. We describe the auxiliary operators $B_{m,p,q}^*$ as

$$B_{m,p,q}^*(g; x) = B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(g; x) + g(x) - g\left(\frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}} + \frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}}x\right). \tag{13}$$

So, for all $g \in C_B^2[0, \infty)$, we get

$$|B_{m,p,q}^*(g; x) - g(x)| \leq \|g\|_{C_B} \left(\tilde{\mu}(m)(1+x)^2 + \eta_m^2(\alpha, \beta, x) \right),$$

where

$$\eta_m(\alpha, \beta, x) = \frac{\alpha - \beta x}{\beta + [m]_{p,q}}.$$

Proof. From the auxiliary operators $B_{m,p,q}^*$, we have

$$B_{m,p,q}^*(g; x) = B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(g; x) + g(x) - g\left(\frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}} + \frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}}x\right). \tag{14}$$

It is obvious from Lemma 2 that

$$\begin{aligned} B_{m,p,q}^*(1; x) &= 1, \\ B_{m,p,q}^*(t-x; x) &= B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}((t-x); x) + (x-x) - \left(\frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}} + \frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}}x - x\right) \\ &= \left(\frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}} - 1\right)x + \frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}} - \left(\frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}}x + \frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}} - x\right) \\ &= 0, \end{aligned} \tag{15}$$

which shows that $B_{m,p,q}^*(f; x)$ operators are linear. We have the Taylor expansion for $g \in C_B^2[0, \infty)$ as

$$g(t) = g(x) + (t-x)g'(x) + \int_x^t (t-v)g''(v)dv, \quad t \in [0, \infty). \tag{16}$$

When we apply $B_{m,p,q}^*$ operators to the equation (16), we obtain

$$\begin{aligned} B_{m,p,q}^*(g;x) &= B_{m,p,q}^* \left(g(x) + (t-x)g'(x) + \int_x^t (t-v)g''(v)dv; x \right) \\ &= g(x) + B_{m,p,q}^*((t-x)g'(x);x) + B_{m,p,q}^* \left(\int_x^t (t-v)g''(v)dv; x \right). \end{aligned}$$

Then

$$B_{m,p,q}^*(g;x) - g(x) = g'(x)B_{m,p,q}^*((t-x);x) + B_{m,p,q}^* \left(\int_x^t (t-v)g''(v)dv; x \right).$$

From (14) and (15), we get

$$\begin{aligned} B_{m,p,q}^*(g;x) - g(x) &= B_{m,p,q}^* \left(\int_x^t (t-v)g''(v)dv; x \right) \\ &= B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} \left(\int_x^t (t-v)g''(v)dv; x \right) + \int_x^x (t-v)g''(v)dv \\ &\quad - \int_x^{\frac{[m]_{p,q}x+\alpha}{[m]_{p,q}+\beta}} \left(\frac{[m]_{p,q}x+\alpha}{\beta+[m]_{p,q}} - v \right) g''(v)dv. \end{aligned} \tag{17}$$

Moreover,

$$\left| \int_x^t (t-v)g''(v)dv \right| \leq \int_x^t |t-v||g''(v)|dv \leq \|g''\|_{C_B} \int_x^t |t-v|dv \leq (t-x)^2 \|g''\|_{C_B} \tag{18}$$

and

$$\begin{aligned} \left| \int_x^{\frac{[m]_{p,q}x+\alpha}{[m]_{p,q}+\beta}} \left(\frac{[m]_{p,q}x+\alpha}{\beta+[m]_{p,q}} - v \right) g''(v)dv \right| &\leq \left| \|g''\|_{C_B} \int_x^{\frac{[m]_{p,q}x+\alpha}{[m]_{p,q}+\beta}} \left(\frac{[m]_{p,q}x+\alpha}{\beta+[m]_{p,q}} - v \right) dv \right| \\ &\leq \|g''\|_{C_B} \left(\frac{[m]_{p,q}x+\alpha}{\beta+[m]_{p,q}} - x \right)^2 \\ &= \|g''\|_{C_B} \left(\frac{\alpha - \beta x}{\beta+[m]_{p,q}} \right)^2. \end{aligned} \tag{19}$$

Let rewrite (18) and (19) in the absolute value of (17). So, we get

$$|B_{m,p,q}^*(g;x) - g(x)| \leq \|g''\|_{C_B} \left(\tilde{\mu}(m)(1+x)^2 + \eta_m^2(\alpha, \beta, x) \right). \tag{20}$$

Now, we will mention the rate of convergence of the constructed operators by using Peetre’s K-functionals.

Theorem 2. Let $f \in C_B[0, \infty)$, $0 < q < p \leq 1$ and $0 \leq \alpha \leq \beta$. Then there is a positive constant M such that

$$|B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x) - f(x)| \leq M \omega_2 \left(f, \sqrt{\tilde{\mu}(m)(1+x)^2 + \eta_m^2(\alpha, \beta, x)} \right) + \omega(f, \eta_m(\alpha, \beta, x)), \tag{21}$$

where $x \in [0, \infty)$.

Proof. From (13), for every $g \in C_B^2[0, \infty)$

$$\begin{aligned} |B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x) - f(x)| &= \left| B_{m,p,q}^*(f;x) - f(x) + f \left(\frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}} + \frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}} x \right) - f(x) \right. \\ &\quad \left. + B_{m,p,q}^*(g;x) - B_{m,p,q}^*(g;x) + g(x) - g(x) \right| \\ &\leq |B_{m,p,q}^*(f-g;x) - (f-g)(x)| + \left| f \left(\frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}} + \frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}} x \right) - f(x) \right| \\ &\quad + |B_{m,p,q}^*(g;x) - g(x)|. \end{aligned}$$

Using Lemma 3 and Lemma 4 we obtain

$$\begin{aligned} |B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x) - f(x)| &\leq 4 \|f-g\|_{C_B} + \left| f \left(\frac{\alpha}{\beta + [m]_{p,q}} + \frac{[m]_{p,q}}{\beta + [m]_{p,q}} x \right) - f(x) \right| \\ &\quad + \|g''\|_{C_B} \left(\tilde{\mu}(m)(1+x)^2 + \eta_m^2(\alpha, \beta, x) \right) \end{aligned} \tag{22}$$

and then we take the infimum on the right-hand side. Consequently, by using the property of Peetre’s K-functionals, we have

$$\begin{aligned} |B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x) - f(x)| &\leq 4K_2 \left(f, \tilde{\mu}(m)(1+x)^2 + \eta_m^2(\alpha, \beta, x) \right) + \omega(f, \eta_m(\alpha, \beta, x)) \\ &\leq M \omega_2 \left(f, \sqrt{\tilde{\mu}(m)(1+x)^2 + \eta_m^2(\alpha, \beta, x)} \right) + \omega(f, \eta_m(\alpha, \beta, x)). \end{aligned}$$

Just now, we calculate the rate of convergence of our $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x)$ operators by means of the modulus of continuity on the finite interval.

Theorem 3. Let $f \in C_2[0, \infty)$, $0 < q < p \leq 1$, $0 \leq \alpha \leq \beta$ and $\omega_{c+1}(f, \delta)$ represent the modulus of continuity on the finite $[0, c+1] \subset [0, \infty)$, where $c > 0$. Then we have the following inequality for all $x \in [0, \infty)$,

$$|B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x) - f(x)| \leq 4M_f(1+c^2)\tilde{\mu}(m)(1+x)^2 + 2\omega_{c+1}\left(f,(1+x)\sqrt{\tilde{\mu}(m)}\right).$$

There is a positive constant M_f , which is independent of m and $\tilde{\mu}(m)$.

Proof. We already know the following property of $\omega_{c+1}(\cdot, \delta)$

$$|f(t) - f(x)| \leq 4M_f(1+c^2)(t-x)^2 + \left(1 + \frac{|t-x|}{\delta}\right)\omega_{c+1}(f, \delta), \delta > 0. \tag{23}$$

By choosing $\delta = (1+x)\sqrt{\tilde{\mu}(m)}$ and applying Cauchy-Schwarz inequality, we obtain

$$\begin{aligned} |B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x) - f(x)| &\leq 4M_f(1+c^2)B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}((t-x)^2;x) + \left(1 + \frac{\sqrt{B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}((t-x)^2;x)}}{\delta}\right)\omega_{c+1}(f, \delta) \\ &\leq 4M_f(1+c^2)\tilde{\mu}(m)(1+x)^2 + 2\omega_{c+1}\left(f,(1+x)\sqrt{\tilde{\mu}(m)}\right). \end{aligned}$$

Section 4 gives the rate of convergence locally by using functions, which belong to the Lipschitz class.

4. Pointwise estimates

Definition 2. Let $0 < c \leq 1$ and $E \subset [0, \infty)$. Then if $f \in C_B[0, \infty)$ is locally in $Lip(c)$,

$$|f(y) - f(x)| \leq M|y-x|^c, \quad y \in E, \quad x \in [0, \infty) \tag{24}$$

holds.

Theorem 4. For each $x \in [0, \infty)$, $f \in Lip(c)$ and $0 \leq \alpha \leq \beta$, we obtain

$$|B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x) - f(x)| \leq M\left(\tilde{\mu}(m)^{c/2}(1+x)^c + 2(d(x, E))^c\right), \tag{25}$$

where the constant M depends on c and f . Here, $d(x, E) = \inf\{|t-x|: t \in E\}$ defines the distance between x and E .

Proof. Let x_0 be in the closure of E such that $|x-x_0| = d(x, E)$. By using the triangle inequality, we write

$$|f(t) - f(x)| \leq |f(t) - f(x_0)| + |f(x) - f(x_0)|. \tag{26}$$

From the inequality (24), we obtain

$$\begin{aligned} |B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x) - f(x)| &\leq B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(|f(t) - f(x_0)|; x) + B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(|f(x) - f(x_0)|; x) \\ &\leq M\left\{B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(|t-x_0|^c; x) + |x-x_0|^c\right\} \\ &\leq M\left\{B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(|t-x|^c + |x-x_0|^c; x) + |x-x_0|^c\right\} \end{aligned}$$

$$= M \left\{ B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} \left(|t-x|^c ; x \right) + 2|x-x_0|^c \right\}.$$

Then by taking $p = 2/c$ and $q = 2/(2-c)$ in the Hölder inequality, we get

$$\begin{aligned} |B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} (f; x) - f(x)| &\leq M \left\{ \left[B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} \left(|t-x|^{cp} ; x \right) \right]^{1/p} + 2(d(x, E))^c \right\} \\ &= M \left\{ \left[B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} \left(|t-x|^2 ; x \right) \right]^{c/2} + 2(d(x, E))^c \right\} \\ &\leq M \left\{ \left(\tilde{\mu}(m)(1+x)^2 \right)^{c/2} + 2(d(x, E))^c \right\} \\ &= M \left\{ \left(\tilde{\mu}(m)^{c/2} (1+x)^c \right) + 2(d(x, E))^c \right\}. \end{aligned}$$

In the following theorem, we will get a local direct estimation of the $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}$ operators by the Lipschitz-type maximal function of order c . Lenze [16] defined Lipschitz-type maximal function $\tilde{\omega}_c$ as follows

$$\tilde{\omega}_c(f, x) = \sup_{t \neq x, t \in [0, \infty)} \frac{|f(t) - f(x)|}{|t-x|^c}, \quad x \in [0, \infty) \text{ and } c \in (0, 1]. \tag{27}$$

Theorem 5. Let $0 < c \leq 1$ and $f \in C_B[0, \infty)$. For all $x \in [0, \infty)$,

$$|B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} (f; x) - f(x)| \leq \tilde{\omega}_c(f, x) \tilde{\mu}(m)^{c/2} (1+x)^c. \tag{28}$$

Proof. By using inequality (24) and the definition of the maximal function (27), we have

$$|B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} (f; x) - f(x)| \leq \tilde{\omega}_c(f, x) B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} \left(|t-x|^c ; x \right).$$

Then by taking $p = 2/c$ and $q = 2/(2-c)$ in the Hölder inequality, we get

$$\begin{aligned} |B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} (f; x) - f(x)| &\leq \tilde{\omega}_c(f, x) \left[B_{m,p,q}^{\alpha,\beta} \left(|t-x|^2 ; x \right) \right]^{c/2} \\ &\leq \tilde{\omega}_c(f, x) \tilde{\mu}(m)^{c/2} (1+x)^c. \end{aligned}$$

5. Graphical analysis

This section presents illustrative graphics and comparisons to show the convergence of (p, q) -Baskakov-Stancu operators to the selected functions.

First of all, Matlab algorithms of the constructed operators are illustrated. The first algorithm is the definition of (p, q) -integers.

Algorithm 1

```
function y=pqinteger(n,p,q)
    y=(p^(n)-q^(n))/(p-q);
end
```

With the help of the second algorithm, we exemplify (p, q) -Baskakov-Stancu operators. In addition, we check the convergence of the operators with the selected function for various values of p and q . Let the function f be chosen as $f(x) = 2x^2 - 3x + 4, x \in [0, 100], \alpha = 0.2$ and $\beta = 0.5$.

Algorithm 2

```

clear all close all clc
n=[20,30,40];
syms t
inf=100;
alpha=0.2;
beta=0.5;
b=100;
for j=1:3
    m=n(j);
    p1=[0.97, 0.98, 0.99];
    q1=[0.15, 0.2, 0.25];
    subplot(1,3,j)
    for i=1:3
        p=p1(i);
        q=q1(i);
        u=1;
        for x=0:1:b
            ts=0;
            for s=0:inf
                z=1;
                for j=1:m+s
                    z=z*((p^(j-1))+(q^(j-1)).*x);
                end
                h1=1;
                for a1=0:m+s-2
                    h1=h1*qpinteger(m+s-1-a1,p,q);
                end
                if (m==1)
                    h2=1;
                end
                if (m~1)
                    h2=1;
                    for a2=0:m-2
                        h2=h2*qpinteger(m-1-a2,p,q);
                    end
                end
                h3=1;
                for a3=0:s-1
                    h3=h3*qpinteger(s-a3,p,q);
                end
                fact=h1/(h2*h3);
                z;
                x1=(p^(m-1))*(q^(1-s)+alpha)/(qpinteger(m,p,q)+beta);
                f1=2*x1^2-3*x1+4;
                B=fact*(p^(s+m*(m-1)/2))*(q^(s*(s-1)/2))*(x^s)*f1;
                ts=ts+B/z;
            end
            a(u)=ts;
            u=u+1;
        end
        x=0:1:b;
        if (i==1)
            c=plot(x,a,'g');
            hold on
        elseif (i==2)
            c=plot(x,a,'r');
            hold on
        else (i==3)
            c=plot(x,a,'m');
        end
    end
end
x=0:1:b;
y=2*x.^2-3.*x+4;
plot(x,y,'--p')
legend('p=0.97, q=0.15','p=0.98, q=0.2','p=0.99, q=0.25','function')
end

```


In Figure 1 we have plotted the $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x)$ operators and $f(x) = 2x^2 - 3x + 4$ for different values of parameters p, q and m .

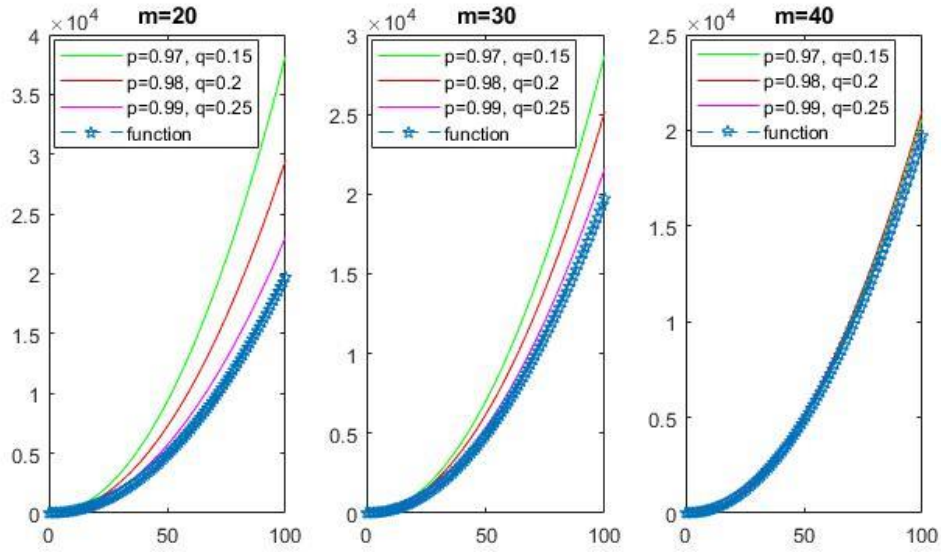


Figure 1. Convergence of $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x)$: (p,q) -analogue of Baskakov-Stancu operators for different values of m, p and q .

As a second example, we take $f(x) = 16x^3 - 12x^2 + 15, x \in [0,100], \alpha = 0.1$ and $\beta = 1.1$. The convergence of the constructed operators with $f(x) = 16x^3 - 12x^2 + 15$ is illustrated in Figure 2 by using various values of parameters p, q and m .

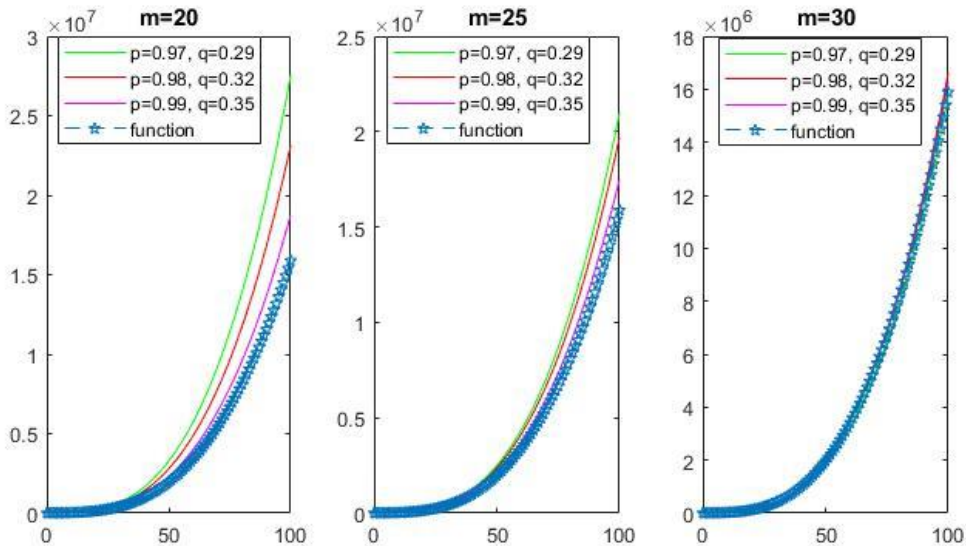


Figure 2. Convergence of $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}(f;x)$: (p,q) -analogue of Baskakov-Stancu operators for different values of m, p and q .

5. Conclusion

In this study, we have constructed Stancu type (p, q) -Baskakov operators and investigated the approximation properties of the new operators. The rate of convergence of these operators is examined by using Peetre's K-functionals, modulus of continuities and for the functions belong to a Lipschitz class. Finally, we have presented some figures to show the convergence of the $B_{m,p,q}^{\alpha,\beta}$ operators with some chosen functions by using MATLAB.

References

- [1] Aral A., Gupta V. 2011. Generalized q -Baskakov operators. *Mathematica Slovaca*, 61 (4): 619-634.
- [2] Büyükyazıcı İ., Atakut Ç. 2010. On Stancu type generalization of q -Baskakov operators. *Mathematical and Computer Modelling*, 52: 752-759.
- [3] Mishra V.N., Sharma P., Kılıçman A., Jain, D. 2016. Statistical Approximation Properties of Stancu Type q - Baskakov-Kantorovich Operators. *Filomat*, 30 (7): 1853-1868.
- [4] Mursaleen M., Ansari K.J., Khan A. 2015. On (p, q) -analogue of Bernstein Operators. *Appl. Math. and Comput.*, 266: 874-882 (Erratum: *Appl. Math. Comput.*, 266: 874-882. (2015)).
- [5] Acar T., Mursaleen M., Mohiuddine S.A. 2018. Stancu Type (p, q) -Szász-Mirakyan-Baskakov operators. *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series A1*, 67 (1): 116-128.
- [6] Acar T., Aral A., Mohiuddine S.A. 2016. On Kantorovich modification of (p, q) -Baskakov operators, *J. Inequal. Appl.*, 2016: 98.
- [7] Aral A., Ulusoy G., Deniz E. 2018. A new construction of Szász-Mirakyan operators. *Numerical Algorithms*, 77 (2): 313-326.
- [8] Kanat K., Sofyalıoğlu M. 2018. Some approximation results for Stancu type Lupaş-Schurer operators based on (p, q) – integers. *Appl. Math. and Comp.*, 317: 129-142.
- [9] Mishra V.N., Pandey S. 2017. On (p, q) Baskakov–Durrmeyer–Stancu Operators. *Adv. Appl. Clifford Algebras*, 27: 1633-1646.
- [10] Yüksel İ., Dinlemez Kantar U., Altın B. 2017. On the (p, q) -Stancu Generalization of a Genuine Baskakov-Durrmeyer Type Operators. *Int. J. of Analysis and App.*, 15 (2): 138-145.
- [11] Aral A., Gupta V. 2016. (p, q) -type beta functions of second kind. *Adv. Oper. Theory*, 1 (1): 134-146.
- [12] Hounkonnou M.N., Kyemba J.D.B. 2013. $R(p, q)$ -calculus: differentiation and integration. *SUT J Math.*, 49 (2): 145–167.
- [13] Sadjang P.N. 2013. On the fundamental theorem of (p, q) -calculus and some (p, q) -Taylor formulas. *arXiv:1309.3934v1 [math.QA]*.
- [14] Gadzhiev A.D. 1976. Theorems of the type of P. P. Korovkin type theorems. *Math. Zametki*, 20 (5): 781–786, (1976). English Translation, *Math. Notes* 20 (5–6): 996–998. <https://doi.org/10.1007/BF01146928>.
- [15] DeVore R. A., Lorentz, G. G. 1993. *Constructive Approximation*. Springer, 177s. Berlin.
- [16] Lenze B. 1988. On Lipschitz type maximal functions and their smoothness spaces. *Ned. Akad. Indag. Math.*, 50: 53-63.

Kapulukaya Barajı Aşağı Havza'sı Sediment Örneklerinde Ağır Metal Kirlilik Düzeylerinin Değerlendirilmesi (Kızılırmak, Kırıkkale)

Gökben BAŞARAN KANKILIÇ*

*Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 71450 Kırıkkale, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-7551-4899)*

Öz

Bu çalışmada Mayıs 2013-Şubat 2014 tarihleri arasında Kızılırmak Nehri'nin Kırıkkale il sınırları içerisinde kalan kısmında belirlenen altı istasyondan alınan sediment örneklerinde ağır metal kirlilik düzeyleri incelenmiştir. Al, Fe, As, Cr, Ni, Pb, Zn, Cd, Hg elementlerinin konsantrasyonları ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre, Fe tüm istasyonlarda en yüksek konsantrasyonda birikim gösteren element olurken Hg, S1 istasyonu hariç en düşük konsantrasyonda birikmiştir. Çalışmanın yapıldığı dönemde Kırıkkale iline ait atık su arıtma tesisi bulunmaması sebebiyle kanalizasyon atıkları doğrudan Kızılırmak Nehri'ne bırakılmaktaydı. Atık suyun Kızılırmak Nehri'ne boşaltıldığı nokta, çalışmanın gerçekleştirildiği istasyonlardan S3 ile S4 arasında yer almaktadır. Buna göre ilk üç istasyon (S1, S2, S3) ve son üç istasyon (S4, S5, S6) karşılaştırıldığında ortalama değerlerin Hg hariç arttığı belirlenmiştir. Mevsimsel olarak anlamlı farklılık sadece Zn elementi için ilkbahar ile sonbahar ve ilkbahar ile kış arasında tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Sediment kalite rehberinde belirtilen değerler kullanılarak ağır metal konsantrasyonları canlılık açısından değerlendirilmiştir. As, Ni element konsantrasyonlarının sedimentte sıklıkla yaşayan ve sedimentten beslenen organizmalar üzerinde zararlı etkilere yol açabilmesi muhtemel görülmüştür. Ayrıca Pb element konsantrasyonunun S4 istasyonunda canlılık açısından zararlı etkiler açığa çıkarabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kızılırmak, ağır metal, su kirliliği, sediment, sediment kalite rehberi.

Assessment of Heavy Metal Pollution Levels in Sediment Samples of Lower Catchment Area of Kapulukaya Reservoir (Kızılırmak, Kırıkkale)

Abstract

In this study, heavy metal pollution levels were investigated in the sediment samples which taken from six different sites in the Kızılırmak River in Kırıkkale province, between May 2013 and February 2014. The concentrations of Al, Fe, As, Cr, Ni, Pb, Zn, Cd and Hg were determined by using ICP-OES. According to the results, Fe was the element showing the highest concentration in all stations, while Hg was the element with lowest concentration except S1 site. During the study, sewage effluents were left directly to Kızılırmak River due to the lack of waste water treatment plant belonging to Kırıkkale province. The point where waste water is discharged to Kızılırmak River is located between S3 and S4 sites where the study is carried out. Accordingly to the results, when the first three stations (S1, S2, S3) and the last three stations (S4, S5, S6) were compared, it was found that the average values increased except Hg. Seasonally significant difference was found only for Zn element between spring and autumn and spring and winter seasons ($p < 0,05$). Heavy metal concentrations levels were evaluated for organisms using the values specified in the sediment quality guideline. The concentrations of As, Ni are likely to have harmful effects on sediment-dwelling organisms. In addition, it was determined that Pb element concentration could cause harmful effects on viability in S4 station.

Keywords: Kızılırmak, heavy metal, water pollution, sediment, sediment quality guideline.

*Sorumlu yazar: gokbenbasaran@kku.edu.tr
Geliş Tarihi: 02.07.2019, Kabul Tarihi: 23.07.2019

1. Giriş

Sucul sistemlerde biriken ağır metallerin doğal süreçler (erozyon, kayaçların ayrışması vb.) ve insan kaynaklı faaliyetler (tarım faaliyetleri, madencilik, endüstriyel, rafineri ve evsel atıklar, ulaşım, fosil yakıt kullanımı vb.) ile sisteme dahil olduğu bilinmektedir [1]. Son yüzyılda hızlı nüfus artışı, hızlı ve çarpık kentleşme, plansız sanayileşme nedeniyle doğal süreçlere kıyasla insan kaynaklı faaliyetler sonucu sucul sisteme dahil olan ağır metal miktarı daha fazla olmuştur [2,3]. Ağır metaller, biyolojik olarak bozunabilir değildir yani buldukları ortamda uzun süre kalabilirler. Yaygın şekilde bulunurlar. Düşük konsantrasyonlarda dahi toksik etki gösterebilirler, biyoakümüle ve biyomagnifiye olabilirler. Tüm bu nedenlerden dolayı, ağır metaller çevre kirliliği ve canlı sağlığı açısından ciddi kaygılar oluşturmaktadır[4-6].

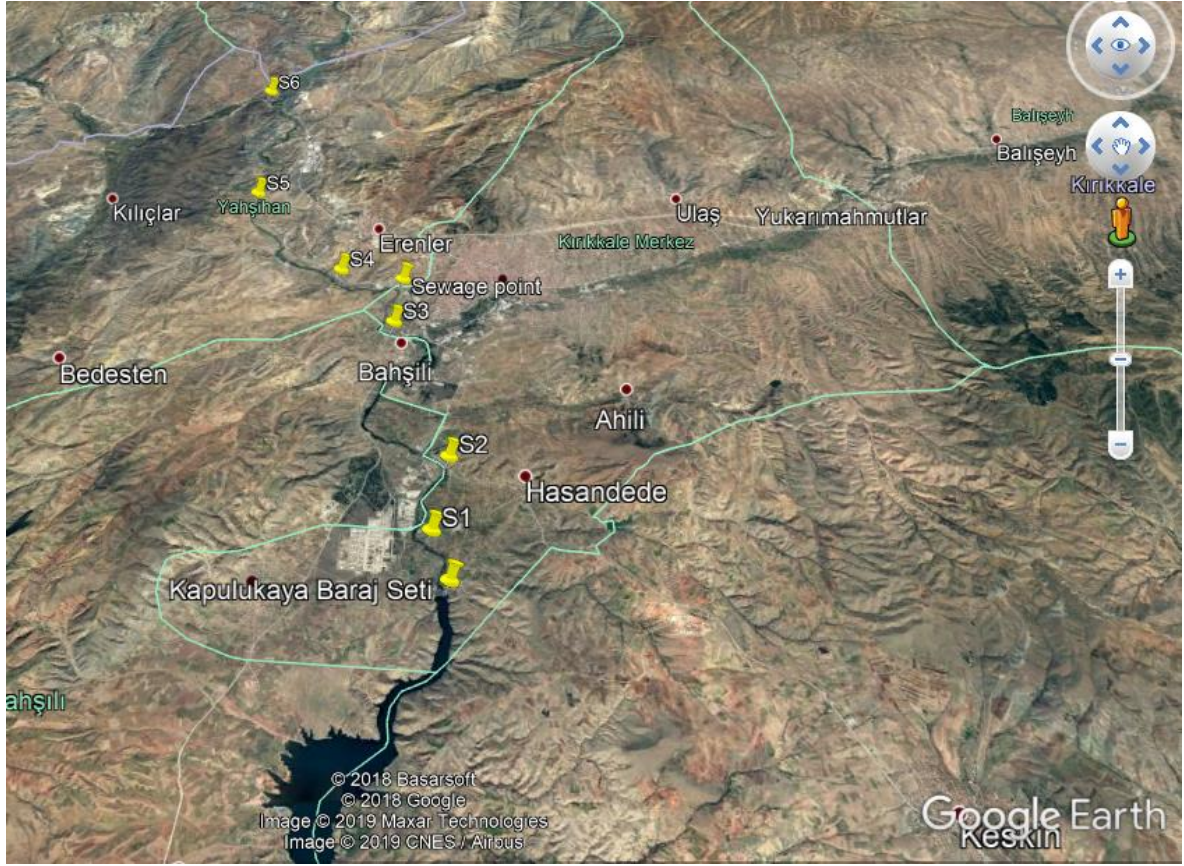
Doğal süreçler ve insan kaynaklı faaliyetler ile sucul sisteme dahil olan ağır metaller, su, sediment ve canlı organizmalar gibi sucul ekosistemin ögeleri arasında dağılırlar. Bununla birlikte ağır metallerin sahip olduğu bazı özellikler nedeniyle, çok az miktarı suda serbest iyon halinde kalırken büyük bir kısmı sedimentte çökler [7]. Bu nedenle sediment, ağır metallerin yerleşmesi ve taşınması için bir birikim alanı olarak rol oynar. Diğer taraftan sediment, sistemin temel bir bileşeni olarak çoğu sucul organizma için yaşam, beslenme, yumurta bırakma, yavru gelişim alanı olarak da görev yapmaktadır. Böylece sediment, su sütunu, organizmalar ve son olarak bu canlıları tüketen insanlar açısından kirleticilerin potansiyel kaynağını oluşturmaktadır [8-11]. Sediment yoluyla metal geçişi bazı organizmalar açısından önemli bir metal kaynağı olmakla birlikte [12]diğer taraftan sedimentteki ağır metal birikiminin organizmalar üzerine olumsuz etkilerinin de olduğu gösterilmiştir [8,13,14]. Bu nedenle sucul yaşamı korumak kadar tatlısu ekosisteminin biyolojik bütünlüğünü sürdürme noktasında sediment kalitesinin korunması da önemli bir nokta olarak dikkat çekmektedir [15]. Dolayısıyla sediment örneklerinin analizi, bir bölgedeki ağır metal kirlilik düzeylerinin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak karşımıza çıkmaktadır

Türkiye'nin en uzun nehri olan Kızılırmak, havza üzerinde insan faaliyetleri sonucu oluşan (endüstriyel, tarımsal vb.) farklı nitelikteki kirleticilere yoğun şekilde maruz kalmaktadır. Kızılırmak Nehri üzerinde Hirfanlı, Kesikköprü ve Kapulukaya barajlarından oluşan önemli bir baraj zinciri bulunmaktadır. Bu çalışmada baraj zincirinin son halkasını oluşturan Kapulukaya Barajı setinin aşağısından seçilen istasyonlarda yüzeyden alınan sediment örneklerindeki ağır metal miktarının mevsimsel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca mevcut durum sediment kalite rehberleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2 Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Kızılırmak Havzası (78.180 km²) içerisinde yer alan, 1355 km uzunluğundaki Kızılırmak Nehri, Türkiye'nin en uzun akarsuyudur. Havzada elektrik üretimi, sulama, taşkından koruma, içme suyu eldesi gibi farklı amaçlarla kullanılan toplam 33 baraj bulunmaktadır [16]. Bunlardan Kızılırmak Nehri'nin Kırıkkale il sınırları içerisinde, Orta Kızılırmak Havzası'nda yer alan Kapulukaya Barajı, Türkiye'nin önemli barajlarından olan yine aynı havza üzerinde kurulu, Hirfanlı ve Kesikköprü Barajlarının son halkasını oluşturmaktadır. Çalışma alanı olarak Kapulukaya Barajı Aşağı Havzası' dan itibaren yaklaşık 30 km'lik bir hat boyunca altı farklı örnekleme istasyonu (S1, S2, S3, S4, S5 ve S6) seçilmiştir (Şekil 1, Tablo 1). Örnekleme noktalarının seçiminde atıksu noktaları, tarım arazilerinin olup olmaması, yerleşim bölgeleri göz önüne alınmıştır.



Şekil 1. Kapulukaya Barajı Aşağı Havzası (Kızıllırmak) örnekleme istasyonlarının (S1, S2, S3, S4, S5, S6) Google Earth haritası üzerinde gösterimi

Tablo 1. Örnekleme yapılan istasyonların koordinat ve rakımları

Örnekleme Noktaları	Koordinat	Rakım
S1	39° 44'42.78''K, 33° 28'46.36''D	686 m
S2	39° 46'8.45''K, 33° 29'8.20''D	683 m
S3	39° 49' 11.59''K, 33° 28' 4.05''D	670 m
S4	39° 50' 33.37''K, 33° 26' 53.63''D	669 m
S5	39° 52' 48.79''K, 33° 24' 50.13''D	682 m
S6	39° 56'21.51''K, 33°24 49.06''D	665 m

2.2. Arazi Çalışması ve Örneklerin Hazırlanması

Örnekleme, Mayıs 2013 ve Şubat 2014 tarihleri arasında mevsimsel olarak yapılmıştır. Sediment örnekleri, yüzeyden yaklaşık 10 cm derinlikten üç tekrarlı olarak modifiye polipropilen borular kullanılmak suretiyle alınmıştır. Laboratuvara getirilen sediment örnekleri analiz edilmeden önce derin dondurucuda -20 °C de muhafaza edilmiştir. Kompozit haline getirilen örnekler 40-45 °C'lik etüvde kurutulduktan sonra, agat havan içerisinde öğütülerek 500 µm'lik elekten geçirilmiştir [17,18].

2.3. Ağır Metal Analizleri

Ağır metal analizleri için toplam 0,5 g kurutulmuş sediment örneği vessel olarak adlandırılan tüplere aktarılarak üzerlerine 12 ml nitrik asit:hidroklorik asit (HNO₃:HCl; 3:1) karışımı eklenmiştir [19]. Mikrodalga çözme sistemi olarak CEM MARS 6 cihazı kullanılmış ve asit hidrolizi için cihazda tanımlı olan USEPA 3051A metodu seçilmiştir [20]. Reaksiyonlar tamamlandıktan sonra oda sıcaklığına

gelmesi beklenen örnekler, 0,45 µm membran filtreden geçirilerek son hacim ultra saf su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır. Ağır metal derişimleri SPECTRO BLUE marka indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometrisi (ICP-OES) kullanılarak 3 tekrarlı olarak ölçülmüştür. Çalışmada Al, Fe, As, Cr, Ni, Pb, Zn, Cd, Hg elementlerinin miktarları belirlenmiştir.

2.4. İstatiksel Analizler

İstatiksel hesaplamalarda SPSS 20 paket programı kullanılmıştır. Elde edilen verilerin normal dağılıp dağılmadığını belirlemek amacıyla Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmıştır. Ağır metal konsantrasyonlarının örnekleme istasyonları arasında ve mevsimler arasında anlamlı bir farklılık sergileyip sergilemediklerini belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Veriler, varyans homojenliğini sağlamadığı durumda, Tamhane's T2 testi, normal dağılım göstermediği durumda ise Mann Whithney U testi uygulanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Ağır metal seviyelerinin İstasyon ve Mevsimlere Göre Değişimi

Çalışma periyodu süresince sediment örneklerinde incelenen ağır metallere ait ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre Fe tüm istasyonlarda en yüksek konsantrasyonda birikim gösteren element olurken Hg, S1 istasyonu hariç en düşük konsantrasyonda belirlenen element olmuştur. S1 istasyonunda en az birikim gösteren element Cd olarak belirlenmiştir. Yerkabuğunda sırasıyla en fazla bulunan 2. ve 3. element olan Fe ve Al [21] bütün istasyonlarda en yüksek konsantrasyonda olduğu görülmüştür. As elementi 120,31 µg/g ile S4 istasyonunda en yüksek konsantrasyonda belirlenmiştir. Yapılan fark analizi sonuçları incelendiğinde As elementinin S4 istasyonunda bütün istasyonlardan anlamlı derece farklı olduğu görülmüştür (One Way ANOVA, $p < 0,05$). Benzer şekilde Pb değerlerinin de S4 istasyonunda anlamlı derecede farklı olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$). S4 istasyonunda hesaplanan ortalama Pb konsantrasyonu 197,24 µg/g ile diğer istasyonlarda hesaplanan ortalama Pb değerlerinden oldukça yüksektir. Cr ve Ni elementlerinin ise S6 istasyonunda diğer tüm istasyonlardan farklı olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Cr ve Ni konsantrasyonları S6 istasyonunda sırasıyla 97,84 ve 162,65 µg/g olarak belirlenmiştir. Bu değerler diğer istasyonlara göre oldukça yüksektir. S4 istasyonundaki Al miktarının S1 ve S2 istasyonlarından istatistiksel olarak $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde farklı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca S6 istasyonundaki Al seviyesinin S1, S2 ve S3 istasyonlarından farklı olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Cd elementine göre istasyonlar arası farklılık incelendiğinde S1 ile S4 istasyonları arasındaki farklılığın anlamlı olduğu, S6 istasyonundaki Cd seviyesinin S4 hariç diğer tüm istasyonlardan farklı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Cd en yüksek konsantrasyonda (1,13 µg/g) S6 istasyonunda tespit edilmiştir. Fe elementine ait konsantrasyon değerleri S4 istasyonu ile S1 ve S2 istasyonları arasında anlamlı bir farklılık göstermiştir ($p < 0,05$). Benzer şekilde S6 istasyonu ile S1, S2 ve S3 istasyonları arasında da farklılığın önemli olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Zn ve Hg elementleri açısından istasyonlar arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p < 0,05$).

Çalışmanın gerçekleştirildiği 2013-2014 yılları arasında Kırıkkale ilinin Kızılırmak Havzası'nda yer alan yerleşim yerlerinin hiçbirinde atıksu arıtma tesisi bulunmamaktaydı ve atıksu kanal çıkışında açık akışa geçtikten yaklaşık 50 metre sonra Kızılırmak'a bırakılmaktaydı [16]. Atık suyun Kızılırmak nehrine boşaltıldığı nokta, çalışmanın gerçekleştirildiği istasyonlardan S3 ile S4 arasında yer almaktadır. Buna göre ilk üç istasyon (S1, S2, S3) ve son üç istasyon (S4, S5, S6) karşılaştırıldığında ortalama değerlerin Hg hariç arttığı belirlenmiştir (Tablo 2.). Kanalizasyon suyu ve endüstriyel atıklar genellikle tarım alanlarına ya da nehirlere boşaltılmaktadır. Bu atık sular, zengin bir organik madde kaynağı kabul edilmekle birlikte, alıcı ortamlarda Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd ve Co gibi ağır metal seviyelerini yükselttikleri literatürde belirtilmiştir [22]. Balkhair ve Ashraf (2016) yaptıkları çalışmada, arıtılmamış lağım suyunun ve endüstriyel atıkların toprağa yönelik başlıca kirlilik kaynağı olduğunu ve değişken miktarlarda ağır metal içeren kirli lağım suyu ile sulamanın, topraktaki metallerin konsantrasyonunda ve bu kirlenmiş su kullanılarak yetiştirilen sebzelerde ağır metal miktarının artmasına sebep olduğunu bildirmiştir [23]. Atık noktası öncesi (AO) istasyonlar ile atık noktası sonrası (AS) istasyonlar arasındaki farklılık Mann-Whitney U testi ile incelenmiş iki grup arasındaki farklılık $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde Zn ve Hg elementleri hariç anlamlı bulunmuştur.

Çalışmada elde edilen veriler mevsimsel olarak değerlendirildiğinde bütün mevsimlerde en fazla birikim gösteren elementler Al ve Fe olmuştur (Tablo 3). Al, Fe, Ni, Pb, Cd yaz mevsiminde en fazla birikim gösteren elementler olurken, As, Zn ve Hg elementlerinin ilkbaharda daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Cr element konsantrasyonu yaz ve sonbahar mevsimlerinde birbirine oldukça yakındır. Zn elementi hariç mevsimler arasında önemli bir farklılık tespit edilememiştir ($p<0,05$). Yapılan Mann Whitney U testi ile Zn elementi ilkbahar mevsiminde belirlenen 154,46 $\mu\text{g/g}$ konsantrasyon seviyesi ile sonbahar ve kış mevsimlerinden anlamlı derecede farklı bulunmuştur ($p<0,05$).

Yapılan çalışma ülkemizdeki göl, nehirler ve barajlarda yapılmış çalışmalardan bazıları ile Tablo 4’de karşılaştırılmıştır. Buna göre, Kankılıç vd. (2013) tarafından yine aynı havza içerisindeki Kapulukaya Barajında gerçekleştirilen çalışmada tespit edilen Hg değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür [24]. Baraj içerisindeki iki istasyonda ve barajın aşağı havzasında yer alan Tüpraş Petrol Rafinerisinin Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan atık noktası sonrasındaki bir istasyondan elde edilen Cr verilerinin yapılan bu çalışmadaki Cr değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Kızılırmak nehri üzerindeki 6 istasyonda gerçekleştirilen çalışmamızda en yüksek Cr konsantrasyonu 97 $\mu\text{g/g}$ ile S6 istasyonunda belirlenmiştir. Oysaki Kankılıç vd.(2013) tarafından en yüksek Cr konsantrasyonu 559, 16 $\mu\text{g/g}$ ile petrol rafineri atık noktası sonrası temsil eden S3 istasyonunda tespit edilmiştir [24]. Kalyoncu vd. (2016) Isparta Deresi’ndeki 6 istasyonda gerçekleştirdikleri çalışmadaki Ni konsantrasyonları S6 istasyonu hariç çalışmamızdaki diğer istasyonlardan daha yüksektir [25]. Dicle Nehri’nde Varol (2011) tarafından yürütülen çalışmada belirlenen Cr, Ni, Pb, Zn ve Cd değerlerinin genellikle çalışmamızdan çok daha yüksek olduğu görülmüştür [19].

3.2. Sediment Kalite Rehberi İle Değerlendirme

Sedimentte ağır metallerin birikimi sucul organizmaları negatif yönde etkilerken besin zinciri yoluyla da en üst düzeydeki tüketici olan insana kadar uzanabilen kaçınılmaz bir riski beraberinde getirdiği literatürde bildirilmiştir [26, 27]. Bu nedenle sediment kalite rehberlerinin (SQG) kullanılması, sediment ile birleşen kimyasalların toksikolojik etkilerinin değerlendirilmesinde, sedimentteki mevcut kirlilik durumlarının belirlenmesinde ve korunmasına yönelik önlemlerin alınmasında önemli bir yer teşkil etmektedir. Pek çok çalışmaya ait veriler sediment kalite rehberleri ile karşılaştırılarak mevcut durumun canlılar üzerindeki olası etkileri hakkında değerlendirmeler yapılmıştır [19, 27-30]. Ülkemizde henüz sediment için hazırlanmış bir kalite rehberinin bulunmaması sebebiyle sonuçlarının değerlendirilmesinde MacDonald vd. (2000) tarafından yayınlanmış sediment kalite rehberindeki Eşik Etki Konsantrasyonu (TEC) ve Olası Etki Konsantrasyonu (PEC) değerleri kullanılmıştır [31]. Bu rehberde göre sedimentte tespit edilen metal miktarı TEC değerinin altındaysa canlılık açısından zararlı etkilerin oluşması beklenmezken, metal konsantrasyon seviyeleri PEC değerinin üstünde tespit edildiğinde, muhtemel zararlı etkilerin açığa çıkabilmesinin söz konusu olabileceği bildirilmiştir [31]. Sediment kirlilik yükünün değerlendirilmesinde kullanılacak olan TEC ve PEC değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Buna göre; As değerleri S4 istasyonu hariç PEC değerlerinin altında tespit edilmiştir. S4 istasyonunda oldukça yüksek konsantrasyonda birikimi görülen As canlılık açısından zararlı etkiler açığa çıkarabilir. Cr ve Cd elementlerinin istasyonlarda belirlenen birikim değerlerinin S6 hariç TEC ve PEC değerlerinden düşük olduğu görülmüştür. S6 istasyonunda ise iki değer arasında kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum S6 istasyonunda potansiyel zararlı etkilerin açığa çıkabileceğinin sinyallerini vermektedir. Ni birikimi incelendiğinde S1 ve S2 hariç tespit edilen değerlerin PEC değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Pb ve Zn elementleri ise S4 hariç TEC ve PEC değerlerinden düşük konsantrasyonlarda birikim göstermiştir. Hg değerleri ilk üç istasyonda TEC ve PEC değerleri arasında kalırken son üç istasyonda bu iki değerden düşük konsantrasyonlarda birikim sergilemişlerdir.

Tablo 2. İstasyonlardan alınan sediment örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri ($\mu\text{g/g}$)

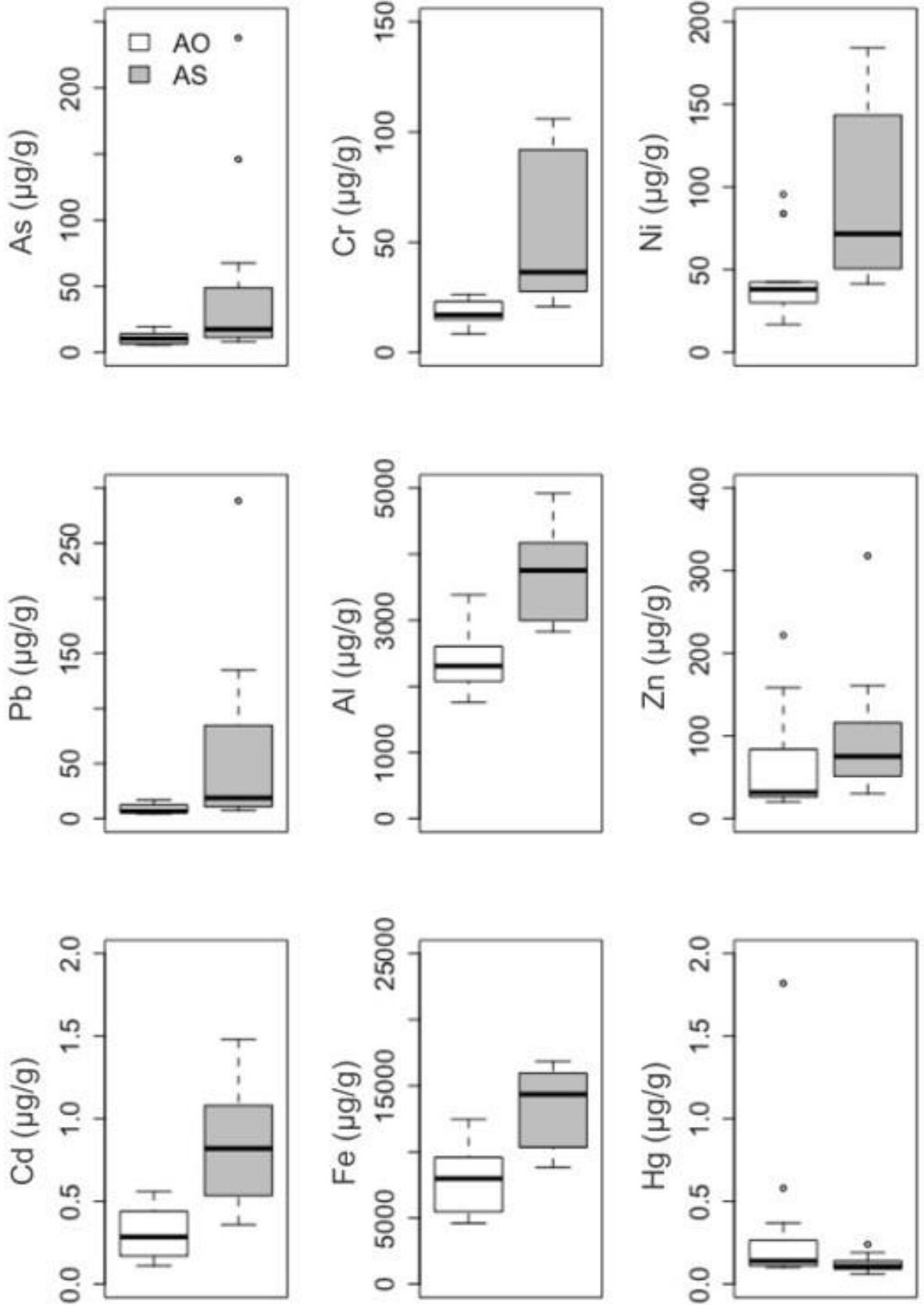
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Al	Ort	2212,00	2240,84	2770,43	3509,37	3260,18	4279,91
	Std. Sp	567,54	107,15	415,05	433,06	699,27	491,79
	Min-Maks	1757,52-3041,79	2111,81-2374	2484,91-3386,82	3014,13-3987,89	2827,71-4304,73	3779,31-4919,43
Fe	Ort	7093,82	7419,88	9000,99	13131,44	11257,06	16282,23
	Std. Sp.	2229,66	3513,07	1245,73	2168,17	3078,59	493,61
	Min-Maks	5080,87-9693,61	4605,40-12461,70	7753,53-10517,70	9897,97-14488,00	8832,76-15715,40	15656,20-16832,70
As	Ort	7,63	9,16	15,70	120,31	16,48	10,33
	Std. Sp.	2,71	3,48	2,91	91,96	4,46	1,75
	Min-Maks	6,12-11,69	5,71-13,97	12,77-19,44	30,16-237,74	10,61-20,49	8,00-11,74
Cr	Ort	15,09	18,78	19,88	28,89	33,22	97,84
	Std. Sp.	7,84	4,88	4,49	7,81	9,12	10,40
	Min-Maks	8,31-26,23	15,26-25,99	15,37-25,94	20,77-39,50	25,02-45,93	82,61-106,04
Ni	Ort	43,57	37,29	49,34	61,13	58,56	162,65
	Std. Sp.	35,31	6,13	23,55	13,98	21,54	22,24
	Min-Maks	16,83-95,54	29,00-42,47	30,97-83,86	48,74-63,57	41,46-87,82	140,62-184,24
Pb	Ort	6,33	8,17	11,41	197,24	14,08	13,42
	Std. Sp.	1,13	5,94	2,83	137,52	6,04	5,36
	Min-Maks	5,48-8,00	4,31-17,02	7,39-13,50	34,39-331,44	7,35-20,88	8,21-20,60
Zn	Ort	39,50	64,54	89,32	167,51	58,15	71,29
	Std. Sp.	33,94	62,79	91,23	106,61	31,48	30,55
	Min-Maks	23,89-90,35	28,82-158,58	28,44-221,85	72,10-317,87	30,20-91,61	39,82-112,97
Cd	Ort	0,25	0,29	0,38	0,75	0,62	1,13
	Std. Sp.	0,15	0,19	0,09	0,18	0,33	0,26
	Min-Maks	0,11-0,44	0,15-0,56	0,28-0,44	0,52-0,96	0,36-1,10	0,87-1,48
Hg	Ort	0,55	0,24	0,19	0,13	0,12	0,11
	Std. Sp.	0,85	0,23	0,13	0,07	0,05	0,04
	Min-Maks	0,11-1,82	0,10-0,58	0,11-0,37	0,07-0,24	0,09-0,19	0,06-0,16

Tablo 3. Sediment örneklerinde belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel değerleri (Ort: Ortalama, Std. Sp.: Standart sapma, Min: Minimum, Maks.: Maksimum) ($\mu\text{g/g}$ kuru ağırlık).

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Al	Ort	3031,36	3416,64	2957,52	2776,29
	Std. Sp.	1138,96	787,90	880,95	678,96
	Min-Maks	1757,52-4919,43	2374,05-4378,30	2004,99-4042,61	2043,68-3779,31
Fe	Ort	10213,90	11970,77	11502,16	9103,45
	Std. Sp.	4914,21	4162,72	3318,64	3557,52
	Min-Maks	4605,40-16382,70	5530,60-16448,80	8202,37-16191,20	5398,41-15656,20
As	Ort	49,58	35,54	20,46	14,16
	Std. Sp.	92,41	54,22	23,15	8,55
	Min-Maks	5,71-237,74	8,09-145-92	6,41-67,42	6,29-30,16
Cr	Ort	34,45	37,36	37,99±	32,67
	Std. Sp.	36,27	24,15	32,16	34,06
	Min-Maks	8,31-106,04	16,65-82,61	14,51-101,16	11,31-101,56
Ni	Ort	58,85	85,65	72,89	57,64
	Std. Sp.	62,45	33,10	54,77	44,21
	Min-Maks	16,83-184,24	42,47-140,62	32,75-179,18	29,17-146,54
Pb	Ort	56,81	65,04	33,78	11,47
	Std. Sp.	113,53	130,63	49,73	11,27
	Min-Maks	5,33-288,37	4,31-331,44	5,94-134,76	5,48-34,39
Zn	Ort	154,46	84,49	51,34	36,57
	Std. Sp.	103,91	41,68	36,92	18,50
	Min-Maks	23,89-317,87	36,94-160,94	23,71-119,14	20,07-72,10
Cd	Ort	0,63	0,67	0,58	0,40
	Std. Sp.	0,51	0,38	0,30	0,26
	Min-Maks	0,15-1,48	0,15-1,10	0,29-1,09	0,11-0,87
Hg	Ort	0,56	0,13	0,09	0,11
	Std. Sp.	0,64	0,02	0,02	0,01
	Min-Maks	0,16-1,82	0,10-0,16	0,06-0,11	0,09-0,13

Tablo 4. Çalışma periyodu süresince sedimentte tespit edilen ortalama ağır metal konsantrasyonlarının Türkiye’de yapılmış diğer çalışmaların ortalama değerleri ve sediment kalite rehberi (SQG) ile karşılaştırılması ($\mu\text{g/g}$ kuru ağırlık).

	Al	Fe	As	Cr	Ni	Pb	Zn	Cd	Hg
TEC değerleri (SQG) [31]	-	-	9,79	43,4	22,7	35,8	121	0,99	0,18
PEC değerleri (SQG) [31]	-	-	33,0	111	48,6	128	459	4,98	1,06
Kapulukaya Barajı Aşağı Havzası (Bu çalışma)	S1	2212,00	7,63	15,09	43,57	6,33	39,50	0,25	0,55
	S2	2240,84	9,16	18,78	37,29	8,17	64,54	0,29	0,24
	S3	2770,43	15,70	19,88	49,34	11,41	89,32	0,38	0,19
	S4	3509,37	120,31	28,89	61,13	197,24	167,51	0,75	0,13
	S5	3260,18	11257,06	16,48	58,56	14,08	58,15	0,62	0,12
	S6	4279,91	16282,23	10,33	97,84	162,65	71,29	1,13	0,11
Maden	-	-	8,9	119,0	216,8	393,9	530,4	2,4	-
Eğil	-	-	3,3	76,4	132,0	255,5	165,2	1,8	-
Diyarbakır	-	-	4,8	115,4	162,3	250,3	178,2	1,8	-
Bismil	-	-	3,5	83,8	149,6	274,3	146,1	1,6	-
Batman	-	-	3,6	50,5	93,9	163,7	129,6	1,2	-
Hasankeyf	-	-	2,9	54,6	91,0	221,8	120,5	1,6	-
Cizre	-	-	5,4	93,6	173,7	294,3	152,1	2,2	-
S1	-	18300	2,6	34,6	38,5	14,3	56,6	0,3	0,06
S2	-	18800	3,6	36,7	43,8	14,9	60,3	0,31	0,08
S3	-	19000	3,2	35,5	39,6	15,9	60,8	0,33	0,07
Eğirdir Gölü [33]	-	1369,97	-	2,64	6,67	1,49	27,82	0,04	-
S1	-	11380,19	-	120,8	86,25	17,19	98,30	0,63	-
S2	-	19606,81	-	78,84	139,27	15,13	69,20	0,60	-
S3	-	14910	-	55,67	136,76	14,76	69,07	0,44	-
S4	-	16044,69	-	56,48	129,00	12,20	57,94	0,52	-
S5	-	19317,82	-	120,98	165,31	15,01	87,13	0,71	-
S6	-	17139,77	-	69,64	145,71	13,41	62,70	0,49	-
Beyşehir Gölü [34]	113560	96668	L.A.	335	303	L.A.	221	-	-
S2	104767	119686	137	L.A.	708	L.A.	289	-	-
S3	9006	58425	L.A.	283	60	L.A.	88	-	-
İlkbahar	3780	3006	-	6,63	9,13	1,74	12,82	0,27	-
Yaz	9990	7345	-	17,59	25,93	4,42	23,14	L.A.	-
Sonbahar	5278	3873	-	8,81	11,95	1,96	33,42	L.A.	-
Kış	7642	5896	-	13,36	16,19	3,61	17,96	0,19	-
S1	31458	-	20,04	394,36	81,28	19,51	43,65	0,98	1,38
S2	36546	-	19,38	327,00	65,80	21,40	45,79	0,91	1,29
S3	34194	-	31,23	559,16	68,06	22,58	66,15	0,83	1,19
Kapulukaya Baraj Gölü [24]									



Şekil 2. Atık öncesi (AO) (S1, S2, S3 istasyonları) ve atık sonrası (AS) (S4, S5, S6 istasyonları) ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Her bir element için Y eksen değerleri farklı aralıklarda kullanılmıştır).

4. Sonuç

Yapılan çalışma ile Kızılırmak Nehri'nin Kırıkkale il sınırları içerisinde kalan kısmındaki ağır metal kirlilik yükü ortaya konulmuştur. Buna göre atık suyun bırakıldığı noktadan sonraki üç istasyona ait ortalama değerlerin Hg hariç artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar istasyonlar arasında farklılık göstermekle birlikte genel olarak As, Ni, element konsantrasyonlarının sedimentte sıklıkla yaşayan ve sedimentten beslenen organizmalar üzerinde zararlı etkilere yol açabileceğini göstermiştir. Bu çalışma ile sedimentten elde edilen bulgulara dayanarak, bölgedeki belirli elementlere ait ağır metal kirlilik seviyesi açıkça değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (KKU BAP, Proje No: 2012/31) kapsamında gerçekleştirilen projenin yürütüldüğü alanda ve zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda alınan örnekler, proje kapsamı dışındadır.

Kaynaklar

- [1] Xu F., Liu Z., Cao Y., Qiu L., Feng J., Xua F., Tian X. 2017. Assessment of heavy metal contamination in urban river sediments in the Jiaozhou Bay catchment, Qingdao, China. *Catena*, 150: 9-16.
- [2] Desaulles A. 2012. Critical evaluation of soil contamination assessment methods for trace metals *Science of the Total Environment*, 426: 120-131.
- [3] Teng Y.G., Wu J., Lu S.J., Wang Y.Y., Jiao X.D., Song L.T. 2014. Soil and soil environmental quality monitoring in China: a review. *Environment International*, 69: 177-199.
- [4] Yuan C., Shi J., He B., Liu J., Liang L., Jiang G. 2004. Speciation of heavy metals in marine sediments from the East China sea by ICP-MS with sequential extraction. *Environment International*, 30: 769-783.
- [5] Bjerregaard P., Andersen O. 2007. Ecotoxicology of Metals—Sources, Transport, and Effects in the Ecosystem in *Handbook on the Toxicology of Metals*. Elsevier Press, 251-277.
- [6] Liu J., Yin P., Chen B., Gao F., Song H., Li M. 2016. Distribution and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the Luanhe River Estuary, northwest of the Bohai Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 109: 633-639.
- [7] Zhuang W., Gao X. 2015. Distributions, sources and ecological risk assessment of arsenic and mercury in the surface sediments of the southwestern coastal Laizhou Bay, Bohai Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 99: 320-327.
- [8] Pham N.T.T., Pulkownik A., Buckney R.T. 2007. Assesment of heavy metals in sediments and aquatic organisms in West Lake (Ho Tay), Hanoi, Vietnam. *Lake & Reservoirs: Research and Management*, 12: 285-294.
- [9] Peng K., Luo C., Lou L., Li X., Shen Z. 2008. Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. And their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 392: 22-29.
- [10] Fu K., Su B., He D., Lu X., Song J., Huang J. 2012. Pollution assessment of heavy metals along the Mekong River and dam effects. *Journal of Geographical Sciences*, 22 (5): 874-884
- [11] Antizar-Ladislao B., Mondal P., Mitra S., Sarkar S.K. 2015. Assessment of trace metal contamination level and toxicity in sediments from coastal regions of West Bengal, eastern part of India. *Marine Pollution Bulletin*, 101: 886-894.
- [12] Zoumis T., Schmidt A., Grigorova L., Calmano W. 2001. Contaminants in sediments: remobilization and demobilization. *Science of the Total Environment*, 266: 195-202.
- [13] 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: 1371-1376.
- [14] Shen G., Lu Y., Wang M., Sun Y. 2005. Status and fuzzy comprehensive assessment of combined heavy metal and organo-chlorine pesticide pollution in Taihu Lake region of China. *Journal of Environmental Management*, 76: 355-362.

- [15] USEPA, 2001. Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual.
- [16] TÜBİTAK MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ, 2013. Havza Koruma Eylem Planı Final Raporu-Kızılırmak Havzası 529 pp.
- [17] Brekken A., Steinnes E. 2004. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals. *Science of the Total Environment*, 326: 181-195.
- [18] Teuchies J., De Deckere E., Bervoets L., Meyndonckx J., Van Regenmortel S., Blust R., Meire P. 2007. Influence of tidal regime on distribution of trace metals in a contaminated tidal freshwater marsh soil colonized with common reed (*Phragmites australis*). *Environmental Pollution*, 155 (1): 20-30.
- [19] Varol M. 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 195: 355-364.
- [20] USEPA, 2007. Method 3051a: Microwave Assisted Acid Dissolution of Sediments, Sludges, Soils, and Oils, Revision 1, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- [21] Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7 (2): 60-72.
- [22] Rattan R.K., Datta S.P., Chhonkar P.K., Suribabu K., Singh A.K. 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 109 (3-4): 310-322.
- [23] Balkhair K.S., Ashraf M.A. 2016. Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23: S32-S44.
- [24] Kankılıç G.B., Tüzün İ., Kadioğlu Y.K. 2013. Assessment of heavy metal levels in sediment samples of Kapulukaya Dam lake (Kırıkkale) and lower catchment area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (8): 6739-6750.
- [25] Kalyoncu H., Özan C., Tekin-Özan S. 2016. Isparta Deresi'nin Su ve Sedimentlerindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (1): 268-280.
- [26] Cheung K.C., Poon B.H.T., Lan C.Y., Wong M.H. 2003. Assessment of metal and nutrient concentrations in river water and sediment collected from the cities in the Pearl River Delta, South China. *Chemosphere*, 52: 1431-1440.
- [27] Hang X., Wang H., Zhou J., Du C., Chen X. 2009. Characteristics and accumulation of heavy metals in sediments originated from an electroplating plant. *Journal of Hazardous Materials*, 163: 922-930.
- [28] Farkas A., Erratico C., Viganó L. 2007. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere*, 68: 761-768.
- [29] Salati S., Moore F. 2010. Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 164: 677-689.
- [30] Zhang Z., Lu Y., Li H., Tu Y., Liu, B. Yang Z. 2018. Assessment of heavy metal contamination, distribution and source identification in the sediments from the Zijiang River. China. *Science of the Total Environment*, 15 (645): 235-243.
- [31] 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.
- [32] Kükrer S., Şeker S., Abacı Z.T., Kutlu B. 2014. Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of northern littoral zone of Lake Çıldır, Ardahan, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 186 (6): 3847-3857.
- [33] Kaptan H., Tekin-Özan S. 2014. Eğirdir Gölü'nün (Isparta) Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yaşayan Sazan'ın (*Cyprinus carpio* L., 1758) Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 9 (2): 44-60.
- [34] Tunca E.Ü. 2016. Beyşehir Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (2): 205-219.
- [35] Kır İ., Tekin Özan S., Tuncay Y. 2007. Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 24 (1-2): 155-158.

Araştırma Makalesi / Research Article

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş magnezyum matrisli kompozitlerin korozyon duyarlılıkları

Fevzi KELEN^{1*}, Tarık AYDOĞMUŞ², Mehmet GAVGALI³, Burak DİKİCİ⁴

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Van

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Van

³Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum

⁴Atatürk Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Erzurum

(ORCID: 0000-0003-3900-4503) (ORCID: 0000-00020928-5095)

(ORCID: 0000-0002-1581-2605) (ORCID: 0000-0002-7249-923X)

Öz

Bu çalışmada, hacimce %5-25 oranında TiNi mikro partikül içeren magnezyum matrisli kompozitlerin korozyon davranışları %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde potansiyodinamik polarizasyon (PDS) testleri ile belirlenmiştir. Korozyon potansiyeli (E_{cor}) ve korozyon akım yoğunluğu (i_{cor}) değerleri Tafel ekstrapolasyonu yöntemi ile saptanmıştır. İyapıdaki değişimler ve elektrokimyasal sonuçlar birbirini desteklemektedir. Kompozit malzemelerde artan takviye oranı ile birlikte hem korozyon potansiyeli hem de korozyon akım yoğunluğu değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Korozyon testlerinden sonra gerçekleştirilen morfolojik incelemelerde yüzeyde çukurcukların yanı sıra kurtçuklar da tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Magnezyum, TiNi Alaşımlar, Kompozit Malzemeler, Toz Metalürjisi, Korozyon.

Corrosion resistance of magnesium matrix composites produced by powder metallurgy method

Abstract

In this study, the corrosion behavior of magnesium matrix composites containing TiNi micro-particles of 5-25% by volume was investigated. Corrosion resistance was determined by potentiodynamic polarization (PDS) tests in 3,5% NaCl solution. The corrosion potential and corrosion current density values of the composites were determined by Tafel extrapolation method. Electrochemical evaluations were supported by metallographic investigations before and after corrosion. The results obtained from experimental studies showed that both the corrosion potential and the corrosion current density values increased with the increasing amount of reinforcement. In the morphological investigations made after the corrosion, pitting and filiform corrosion types were observed in all the composite samples.

Keywords: Magnesium, TiNi Alloys, Composite Materials, Powder Metallurgy, Corrosion.

1. Giriş

Düşük yoğunluğu ile tüm yapısal malzemeler arasında en hafif olan magnezyum, alüminyumdan %36, demirden ise %78 daha hafiftir. Magnezyum ve alaşımları düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek spesifik mukavemet, kolay geri kazanım, yüksek ısı iletkenlik ve mükemmel sönümlenme kapasitesi gibi üstün özelliklere sahiptir [1-4]. Bu tür malzemeler; cep telefonu, kamera ve taşınabilir bilgisayar kasalarının imalatı, çeşitli ev eşyalarının yapımı, biyomalzeme uygulamaları ve metalürjik prosesler gibi farklı alanlarda kullanım alanı bulmakta ve düşük yoğunluğun kritik bir parametre olduğu otomotiv endüstrisinde kullanımları giderek artmaktadır [5-6]. Nitekim magnezyum ve alaşımlarının otomobillerde birçok uygulaması bulunmasına karşın asıl kullanım alanlarının taşıt ağırlığının önemli

*Sorumlu yazar: fkelen@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.12.2018, Kabul Tarihi: 07.05.2019

bir kısmını oluşturan güç aktarma organları bileşenleri olacağı düşünülmektedir. Ancak magnezyumun zayıf korozyon direnci bu uygulamalardaki kullanımlarını sınırlamaktadır [7,8]. Magnezyumun düşük korozyon direncinin nedeni, yüksek elektronegatif potansiyel ve yüzeyde oluşan koruyucu oksit film tabakasının kararsız bir yapıya sahip olmasıdır. Yüzeyde meydana gelen oksit tabaka birçok sulu veya nemli ortamlarda çözünürken, yüksek elektronegatif potansiyelde oksijensiz ortamlarda dahi korozyonun devam etmesine sebep olur [9-10]. Bu nedenle gerek magnezyum ve alaşımlarının gerekse de magnezyum esaslı kompozitlerin korozyon dayanımlarının iyileştirilmesi büyük önem arz etmektedir [11,12]. Literatürde magnezyum matrisli kompozitlerin düşük mekanik özellikleri saf bakır, nikel, titanyum, Ti6Al4V ve TiNi alaşımları ile iyileştirilmeye çalışılmış olmasına karşın bu takviye materyallerinin korozyon özellikleri üzerine etkisi hakkında bilgi oldukça sınırlıdır [13-16]. Ayrıca TiNi alaşımının saf magnezyumun korozyon dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması literatürde bir ilk olma özelliğine sahiptir. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, korozyon direnci 300 serisi paslanmaz çelikler ile benzer olan [17] TiNi mikro partiküller ile takviye edilmiş magnezyum matrisli kompozitlerin korozyon özelliklerinin ortaya çıkarılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

Mevcut çalışmada, hacimce %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında TiNi mikro partiküller ile takviye edilmiş magnezyum matrisli kompozitler toz metalürjisi metotlarından biri olan tek eksenli sıcak presleme tekniği ile üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan, ticari saflıktaki magnezyum tozlar, Magnezyum ve Metal Tozları End. ve Tic. A.Ş. (Türkiye), TiNi mikro partiküller ise AP&CAdvanced Powders and Coatings Inc. (Kanada) firmasından tedarik edilmiştir. Ticari saflıktaki magnezyum partiküller ağırlıkça %99 magnezyumdan oluşurken, TiNi mikro partiküller atomik olarak %49,2 Ti ve %50,8 Ni'den meydana gelmektedir. Magnezyum partiküllerin boyutu 100-300 µm arasında değişmekte iken, takviye materyalinin partikül boyutu ise ortalama 45 µm'dur. Matris ve takviye partiküller yukarıda belirtilen oranlarda seramik bir kap içerisinde çelikten üretilmiş bir spatula vasıtasıyla karıştırılmış, optimum karıştırma süresi 10 dakika olarak belirlenmiştir. Karıştırma işleminden sonra matris ve takviye partiküller iç çapı 40 mm olan silindirik grafit kalıplarda, 420 °C'de, 1 saat süre ile 50 MPa basınç altında, argon gazı atmosferinde sıcak preslenmiştir. Numuneler; 40 mm çapında ve 10 mm kalınlığındaki kompozit malzemelerden tel erozyon yöntemiyle 5x5x10 mm³ boyutlarında kesilerek elde edilmiştir [18,19]. Korozyon özellikler potansiyodinamik polarizasyon (PDS) deneyleri ile tespit edilmiştir. Korozyon parametrelerinin hesaplanmasında Tafel ekstrapolasyonu yöntemi kullanılmıştır. Korozyon öncesi ve sonrası numunelerin yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile belirlenmiştir.

2.1. Elektrokimyasal deney

Elektrokimyasal testler için numuneler tel erozyon yöntemiyle 10 mm kalınlığında kesilmiş, daha sonra numune yüzeyine 1,5 mm çapında, 2,5 mm derinliğinde delikler açılmıştır. Elektrik iletkenliğinin sağlanabilmesi amacıyla bu deliklere bakır teller sıkı geçme olarak monte edilmiş ve polipropilen borular içerisinde epoksiye alınmıştır. Kompozit numunelerin soğuk kalıplama işlemleri NaCl çözeltisine yapılan daldırma yöntemiyle kontrol edilmiştir. Dolayısıyla epoksinin numune yüzeyine tam olarak temas edip etmediği belirlenmiştir. Sonrasında korozyona uğratılacak yüzeyler zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş, potansiyodinamik polarizasyon (PDS) testleri öncesinde tüm numunelere etil alkol içerisinde 5 dakika süreyle ultrasonik temizleme yapılmıştır. Korozyon deneyleri ASTM standartlarına göre GAMRY (USA) firması tarafından üretilen PCI14/750 potansiyostat/galvanostat test cihazı kullanılarak %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal test hücresi olarak 400 ml hacminde beher kap kullanılmıştır. Kompozit numunelerin korozyon davranışları üç elektrot tekniği vasıtasıyla belirlenmiş, referans elektrot (RE) olarak doymuş gümüş/gümüş klorür (Ag/AgCl), karşıt elektrot (CE) olarak platin (Pt) ve çalışma elektrodu (WE) olarak da yüzey alanı 0,25 cm² olan numuneler kullanılmıştır. Çalışma elektrodu ile referans elektrot arasındaki potansiyel farkının ölçülmesi sırasında akımın referans elektrot yerine, karşıt elektrottan geçmesi sağlanarak referans elektrot potansiyelinin, devreden geçen akım tarafından etkilenmesi önlenmiştir. PDS testleri öncesi elektrotlarla elektrolitin denge potansiyeline ulaşması için açık devre potansiyelleri izlenmiştir. PDS eğrileri -2 V'dan 1 V'a kadar, katodikten, anodik yöne doğru 0.5 mV/sn tarama hızında

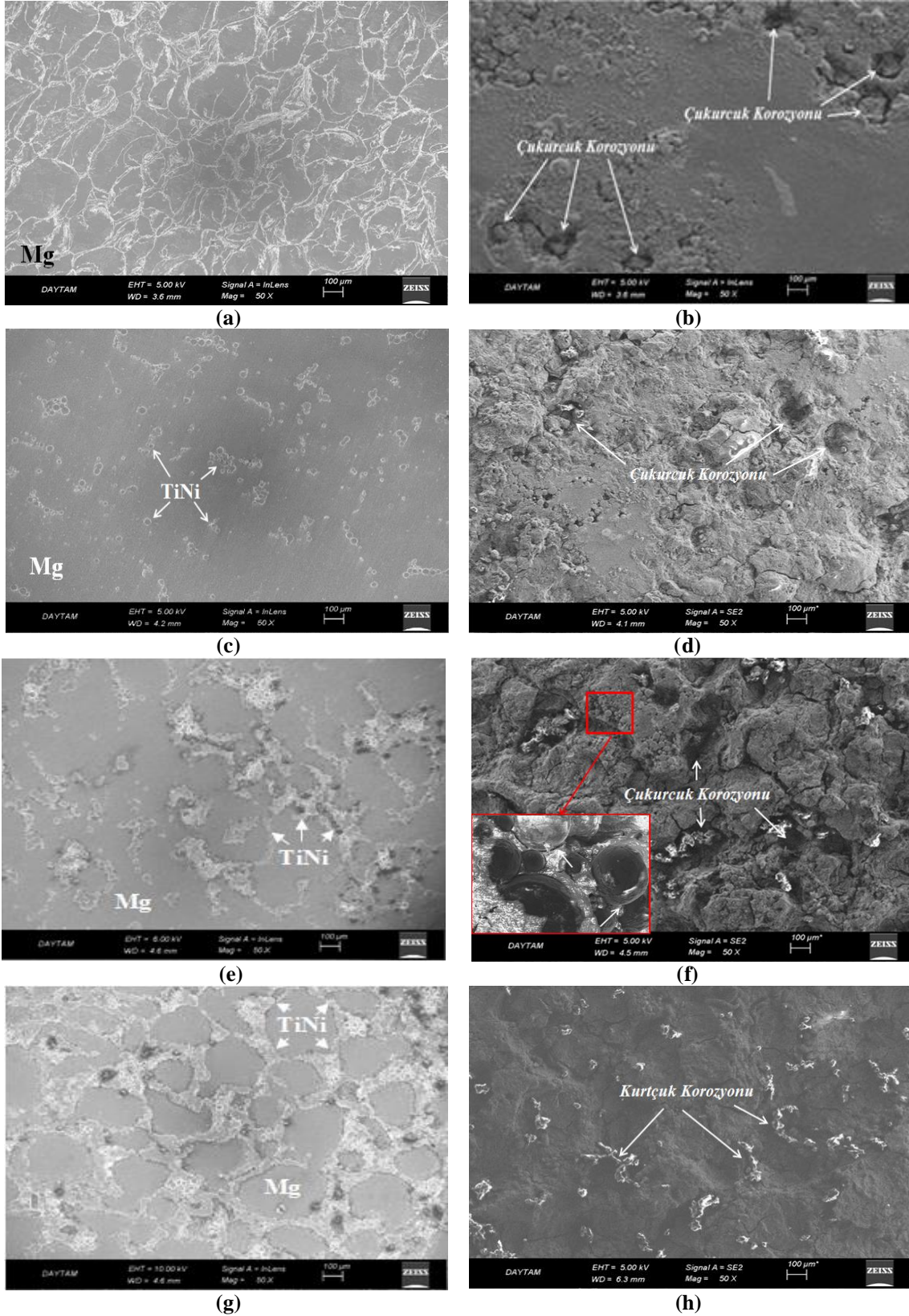
polarize edilmiştir. Deneyler en az üç kez tekrar edilerek eğrilerin yenilenebilirlik düzeyleri belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

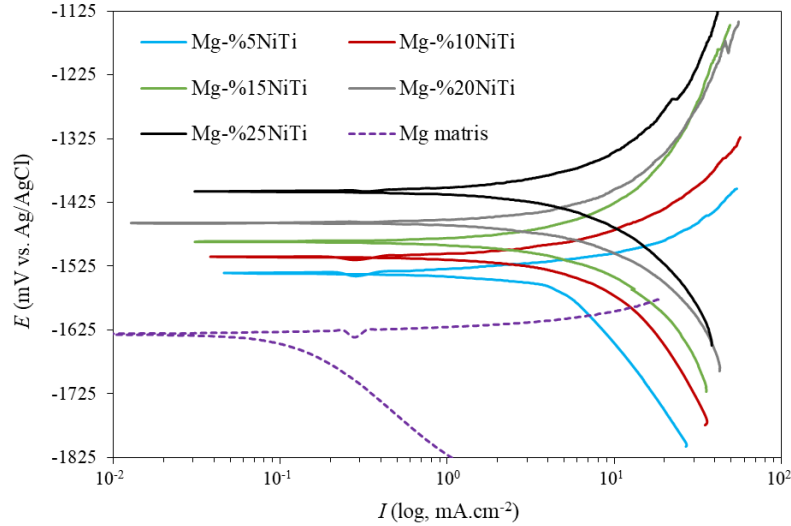
Matris malzemesi olarak kullanılan saf magnezyum ve TiNi ile güçlendirilmiş magnezyum matrisli kompozitlerin korozyon öncesi ve sonrası yüzey morfolojilerine ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 1a-h'de görülmektedir. Şekillerde yukarıdan aşağıya doğru takviye oranı % 0'dan başlayarak %25'e kadar artmaktadır. Korozyon öncesi saf magnezyum numunenin içyapısında sadece α fazı görülmektedir (Şekil 1a). TiNi ile güçlendirme sonrasında içyapı α fazın yanı sıra B2 (takviye elemanı TiNi'den gelen) fazını da içermektedir (Şekil 1c, e ve g). Tüm güçlendirici takviye oranları için B2 fazının matris faz içerisinde homojen olarak dağıldığı ve matris ile B2 fazı arasında gözeneksiz bir ara yüzey olduğu gözlenmiştir. Gözeneklerin takviye tozları arasında meydana geldiği ve artan takviye miktarıyla arttığı belirlenmiştir. %5 takviye içeriğinde ortalama gözeneklik %2,13 iken, bu değer %25 takviye oranında %5,13'e kadar yükselmiştir. TiNi fazının maksimum takviye içeriğinde (%25 TiNi) üç boyutlu bir ağ yapısına dönüştüğü ve bu yapının büyük çoğunluğunun birbiri ile bağlantılı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1g). Korozyon sonrası yapılan morfolojik incelemelerde ise numune yüzeyinde çok miktarda çukurcuk oluşumuna rastlanılmıştır (Şekil 1f). Literatürde magnezyum ve alaşımlarının klorlü ortamlarda çukurcuk korozyonu şeklinde hasara uğradığı rapor edilmektedir [20-22]. Kompozitlerde çukurcuk korozyonunun yanı sıra kurtçuk (filiform) korozyonu da gözlenmiştir (Şekil 1h).

Geliştirilen kompozitlerin otomobil silindir bloğu, silindir kapağı, vites kutusu ve diferansiyel kutusu gibi güç aktarma organı malzemesi olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir. Bu parçaların servis sırasında klorlü çözeltilere maruz kalmaları nedeniyle korozyon testleri %3,5 NaCl çözeltisinde gerçekleştirilmiştir. %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde saf magnezyum ve %5, %10, %15, %20 ve %25 TiNi ile takviye edilmiş magnezyum matrisli kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 2'de ve bu eğrilerden elde edilen korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) değerleri Tablo 1'de verilmiştir. TiNi oranındaki artış ile korozyon potansiyeli de pozitif yönde artmaktadır (Şekil 2). Fakat aynı grafikte takviye fazı TiNi oranındaki artış ile korozyon akım yoğunluğunun da arttığı görülmektedir. Her ne kadar takviye elemanı oranındaki artış ile mekanik özelliklerde artış sağlansa da [15-16, 23]; TiNi'in varlığı hem korozyon akım yoğunluğunun hem de korozyon potansiyelinin artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla her oranda TiNi ilavesi matris malzemesinin korozyon direncini azaltmış, korozyon hızını da artırmıştır (Şekil 2 ve Tablo 1). Kullanılan çözeltilerin yüksek oranda NaCl içermesi nedeniyle pasifleşme eğilimine rastlanılmamıştır. Artan TiNi miktarı ile korozyon akımındaki artışın, TiNi fazının matris fazına göre daha soy olması ve katot görevini üstlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla içyapıdaki TiNi oranı arttıkça katot yüzey alanı büyümekte ve korozyon akım yoğunluğu artmaktadır (büyük katot yüzey alanı etkisi). Magnezyum yüzeyinde oluşan oksit tabaka birçok sulu ortamda çözünebilir özelliğe sahiptir [9-10]. Bu nedenle magnezyum oksit genelde koruyucu değildir. Oluşan magnezyum oksitler yüzeye yapışmaz, yüzeyi terk eder. Ayrıca bölgesel olarak yüzeyde bulunan TiNi fazı, yüzeyde oluşan oksit tabakanın sürekliliğinin bozulmasına ve meydana gelen doku bozukluğuna, pasif tabakada kırılma ve ayrışmaya yol açan bası gerilmelerine de neden olabilir [24]. Korozyon testleri boyunca klor iyonları hasara uğramış pasif yapı içerisine sızarak asidik özellikte olan magnezyum tuzlarını oluşturup kompozitlerin çözünmesini hızlandırmış olabilir [25].

TiNi takviye fazının matrise göre daha soy olması nedeni ile korozyona uğramadığı, korozyonun matris ile takviye ara yüzeyinde ilerlediği, matris fazda meydana gelen hasar sonucu etrafı boşalan takviye elemanlarının yapı içerisinden ayrıldığı gözlenmiştir (Şekil 1f). Tane sınırlarında korozyonun büyük hızla ilerlediği ve TiNi fazının yapıyı terk ettiği Şekil 1f'de görülmektedir. Korozyon testleri sonrasında yüzeyde çukurcuk ve kurtçuklar (Şekil 1h) oluşmuştur. Yüzeyde çukurların oluşması korozyon türünün çukurcuk korozyonu olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca mikro yapıdaki mevcut poroziteler yüzey morfolojisinde süresizliklere sebep olmakta ve koruyucu oksit tabakayı zayıflatarak korozyon hızının artmasına neden olmaktadır. Klor (Cl^-) iyonu konsantrasyonunun porozitelerde artması durumunda, yüzey aktivitesinin arttığı ve pasif film tabakasının zayıfladığı spesifik noktalar haline gelerek korozyon dayanımının düşmesine neden olduğundan [26] çukurcuk içlerinde korozyon hızı daha etkin hale gelmektedir.



Şekil 1. Saf Mg ve Mg matrisli kompozitlerin korozyon öncesi/sonrası SEM görüntüleri, (a, b) Saf Mg, (c, d) % 5, (e, f) % 15, (g, h) %25 takviye içeren kompozitler; (a, c, e, g) Korozyon öncesi, (b, d, f, h) Korozyon sonrası



Şekil 2. Saf magnezyum ve magnezyum matrisli kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

Tablo 1. Polarizasyon eğrilerinden elde edilen, saf magnezyum ve magnezyum matrisli kompozitlerin korozyon potansiyeli (E_{corr}), korozyon akım yoğunlukları (i_{corr}) ve korozyon hızları

Numuneler	E_{corr} (V)	I_{corr} ($\mu A.cm^{-2}$)	Korozyon Hızı (mm/yıl)
Saf Magnezyum	-1.630	10.7	0.245
Mg - %5TiNi	-1.550	210	4.57
Mg - %10TiNi	-1.510	211	4.69
Mg - %15TiNi	-1.490	213	4.99
Mg - %20TiNi	-1.470	236	5.05
Mg - %25TiNi	-1.410	282	5.59

4. Sonuç ve öneriler

Tek eksenli sıcak presleme tekniği ile üretilen magnezyum matrisli kompozitlerde çalışılan tüm oranlarda TiNi takviye fazının matris tane sınırlarında yer aldığı ve takviye fazının yüksek oranlarda bir biri ile bağlantılı bir ağ yapısı oluşturduğu gözlenmiştir.

Kompozit malzemelerde artan takviye (TiNi) oranı ile birlikte oluşan ağ yapısındaki sürekliliğin arttığı belirlenmiştir.

TiNi ile takviye edilmiş magnezyum matrisli kompozitlerin polarizasyon eğrileri saf magnezyum numune ile kıyaslandığında % TiNi oranı arttıkça korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) değerlerinin de arttığı dolayısıyla korozyon direncinin azaldığı tespit edilmiştir. Yüzeyde oluşan pasif film tabakasının koruyucu olmaması ve mikroyapıdaki poroziteler nedeniyle yüzeyde çukurlar oluşmuştur. Kompozit malzemelerin tamamında çukurcuk korozyonunun yanı sıra kurtçuklarda gözlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmayı maddi olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na teşekkürlerimizi sunarız (Proje No: TÜBİTAK-215M808, BAP-2015-FBE-D275). Ayrıca saf magnezyum partiküllerinin tedarik edildiği, Magnezyum ve Metal Tozları Endüstri ve Ticaret Anonim Şirketine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Gaines L., Cuenca R., Stodolsky F., Wu S. 1996. Potential automotive uses of wrought magnesium alloys, In Automotive Technology Development Conference, pp: 24-28, 29-30 April, Detroit, Michigan, USA.
- [2] Mordike B.L., Ebert T. 2001. Magnesium: properties-applications-potential. *Materials Science and Engineering A*, 302 (1): 37-45.
- [3] Joost W.J. 2014. Automotive Magnesium: Impacts and Oppurtunities. *Magnesium Technology*, Edited by Alderman M., Manuel M.V., Hort N., Wiley-TMS, 3-4.
- [4] Friedrich H., Schumann S. 2001. Research for a “new age of magnesium” in the automotive industry. *Journal of Materials Processing Technology*, 117 (3): 276-281.
- [5] Kelen F., Aydoğmuş T., Gavgalı M. 2015. Otomotiv Uygulamaları için TiNi ile Takviye edilmiş Magnezyum Bazlı Kompozitlerin Geliştirilmesi. *Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu*, pp: 45, 22-24 Ekim, Bayburt.
- [6] Kelen F., Aydoğmuş T., Gavgalı M. 2016. Shape Memory Meterials for Improvement of the high Temperature Strenght of Magnesium and Its Alloys. *International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia*, pp: 538-543, 6-8 Nisan, Nevşehir.
- [7] Kelen F., Aydoğmuş T., Gavgalı M., Dikici B. 2018. Mg/NiTi Metal Matrisli Kompozitlerin Korozyon Duyarlılıklar. *XVth International Corrosion Symposium (KORSEM'18)*, pp: 19, 26-28 Eylül, Hatay.
- [8] Kelen F., Aydoğmuş T., Gavgalı M., Dikici B. 2018. TiNi ile Takviye Edilmiş AZ91D Matrisli Kompozitlerin Korozyon Davranışı, *XVth International Corrosion Symposium (KORSEM'18)*, pp: 20, 26-28 Eylül, Hatay.
- [9] Song G., StJohn D.H. 2005. Corrosion of magnesium alloys in commercial engine coolants. *Materials and Corrosion*, 56 (1): 15-23.
- [10] Esmaily M., Svensson J.E., Fajardo S., Birbilis N., Frankel G.S., Virtanen S., Arrabal R., Thomas S., Johansson L.G. 2017. Fundamentals and advances in magnesium alloy corrosion. *Progress in Materials Science*, 89: 92-193.
- [11] Brown R.E. 2006. Magnesium and Its Alloys, *Mechanical Engineers' Handbook*. Vol: 1, Third Edition, *Materials and Mechanical Design*, Edited by Kutz, M., New Jersey, 278-286.
- [12] Pekguleryuz M.O., Kaya A.A. 2003. Creep resistant magnesium alloys for powertrain applications. *Advanced engineering materials*, 5 (12): 866-878.
- [13] Nguyen Q.B., Gupta M. 2010. Enhancing mechanical response of AZ31B using Cu+ nano- Al_2O_3 addition. *Materials Science and Engineering A*, 527 (6): 1411-1416.
- [14] Hassan S.F., Gupta M. 2002. Development of a novel magnesium/nickel composite with improved mechanical properties. *Journal of alloys and compounds*, 335 (1-2): L10-L15.
- [15] Aydogmus T. 2015. Processing of interpenetrating Mg–TiNi composites by spark plasma sintering. *Materials Science and Engineering A*, 624: 261-270.
- [16] Esen Z. 2012. The effect of processing routes on the structure and properties of magnesium–TiNi composites. *Materials Science and Engineering A*, 558: 632-640.
- [17] Hodgson D.E., Wu M.H., Biermann R.J. 1990. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. *ASM Handbook Committee*, 2: 897-902.
- [18] Kelen F., Aydoğmuş T., Gavgalı M. 2018. TiNi İle Takviye Edilmiş Mg Matrisli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretilmesi. *1st International Symposium on Ligth Alloys and Composite Materials (ISLAC'18)*, pp: 288-289, 22-24 Mart, Karabük.
- [19] Aydoğmuş T., Kelen F., Gavgalı M. 2018. Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretilmiş AZ91/TiNi Kompozitlerinin Mikroyapısı. *1st International Symposium on Ligth Alloys and Composite Materials (ISLAC'18)*, pp: 290-291, 22-24 Mart, Karabük.
- [20] Kelen F. 2018. TiNi ile Takviye Edilmiş Mg/AZ91 Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 197s, Erzurum.
- [21] Ghali E., Dietzel W., Kainer K.U. 2004. General and localized corrosion of magnesium alloys: a critical review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 13 (1): 7-23.
- [22] Lindström R., Johansson L.G., Thompson G.E., Skeldon P., Svensson J.E. 2004. Corrosion of magnesium in humid air. *Corrosion Science*, 46 (5): 1141-1158.

- [23] Kelen F., Gavgalı M., Aydogmus T. 2018. Microstructure and mechanical properties of a novel TiNi particulate reinforced AZ91 metal matrix composite. *Materials Letters*, 233: 12-15.
- [24] Hillis J. 2006. *Corrosion, Magnesium Technology*. Edited by Friedrich H.E., Mordike B.L. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 469-498.
- [25] Ferrando W.A. 1989. Review of corrosion and corrosion control of magnesium alloys and composites. *Journal of Materials Engineering*, 11 (4): 299-313.
- [26] Dikici B., Esen Z., Duygulu O., Gungor S., 2015. *Corrosion of Metallic Biomaterials, Advances in Metallic Biomaterials Tissues Materials and Biological Reactions*. Edited by Niinomi M., Narushima T., Nakai M., Springer-Verlag, London, 275-303.

Araştırma Makalesi / Research Article

Demiryolu Yük Taşımacılığının Çok Türlü Rotalara Etkisinin Vaka Analizi ile İncelenmesi: Hatay-Van

Ömer Faruk CANSIZ, Kevser ÜNSALAN*

*İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay
(ORCID:0000-0001-6857-2513) (ORCID:0000-0002-9163-4855)*

Öz

Çalışmada, güzergâh karar değişkenleri ve bu değişkenlere bağlı performans indeksi dikkate alınarak güzergâh karşılaştırması yapılmaktadır. Çalışmanın amacı güzergâh karşılaştırmasında, tek türlü konteyner yük taşımacılığının dışına çıkıp çok türlü taşımacılığın avantajlarını ön plana çıkarırken, ulaşım coğrafyasının çok türlü taşımacılığa olan etkisi de incelenmektedir. Bu nedenle Türkiye'nin güneyinde filtre sanayisi gelişmiş olan Hatay ilinden, Türkiye'nin doğusundaki Van iline güzergâh karşılaştırması yapılmaktadır. Hatay ile Van arasında, ulaşım coğrafyasından dolayı sadece bir çeşit tek türlü yük taşımacılığı güzergâhı oluşturulmaktadır. Bunun yanı sıra iki il arasında karayolu, demiryolu ve feribot taşımacılığının birleştirilebilmekte ve böylece birden fazla çok türlü yük taşımacılık güzergâhı oluşturulabilmektedir. Güzergâhlar, rota seçiminde önemli yere sahip olan yakıt tüketimi, taşıma maliyeti, taşıma süresi ve CO₂ salınımı parametrelerine bağlı olarak incelenmektedir. Yapılan hesaplar sonucunda güzergâhların performans indeksleri incelendiğinde, çok türlü 3 rotasının diğer rotalar içerisinde dört parametreye bağlı olarak en uygun güzergâh olduğu bulunmaktadır. Burada şunu belirtmek gerekir ki, Hatay ile Van arasında tek türlü demiryolu taşımacılığı yapılamazken, feribot taşımacılığı ile avantajlı çok türlü taşımacılık güzergâhları oluşturulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Çok Türlü Taşımacılık, Tek Türlü Taşımacılık, Rota Optimizasyonu.

Investigation of the Effect of Railway Freight on Multimodal Routes by Case Study: Hatay-Van

Abstract

In this study, route comparison is made by considering route decision variables and performance index related to these variables. The aim of the study is highlight the advantages of multimodal transportation by out of the unimodal container freight transportation and also to examine the effect of transportation geography on multimodal transportation. Therefore, between Hatay province in southern Turkey and Van province in eastern Turkey route comparison are studied. There is only one kind of unimodal freight transportation route between Hatay and Van due to the transportation geography. In addition, it is possible to combine road, rail and ferry transport between the two provinces, thus creating more than multimodal freight transport route. The routes are examined according to the parameters of fuel consumption, transportation cost, transportation time and CO₂ emission which have an important place in route selection. When the performance indexes of the routes are examined as a result of the calculations, it is found that multimodal route 3 are the most suitable route among the other routes depending on the four parameters. It should be noted here that while there is no unimodal railway transportation between Hatay and Van, advantageous of multimodal transportation routes are being established by ferry transportation and railway transportation.

Keywords: Multimodal Transport, Unimodal Transport, Route Optimization.

*Sorumlu yazar: kevser.keskin@iste.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.12.2018, Kabul Tarihi: 17.07.2019

1. Giriş

Hatay'da konteyner kullanılarak taşınması yapılan filtre malzemesinin Hatay'ın sanayisinde önemli bir yeri vardır ve Türkiye'nin birçok iline satışı yapılmaktadır. Filtre yükünün taşınmasında kullanılan konteyner, çok türlü taşımacılık yapılmasında birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Bu avantajlardan en önemlisi çok türlü taşımacılıkta modlar arası yük aktarımında konteynerler, büyük kolaylık sağlamaktadır. Demirlioğlu [1], konteyner taşımacılığı ve Türkiye'nin liman altyapılarını incelemekte ve konteyner taşımacılığının avantajlarını liman altyapı imkânlarının geliştirilmesi üzerine öneriler sunmaktadır. Ateş vd. [2] önceki çalışmaları destekler nitelikte denizyolu taşımacılığında konteyner taşımacılığının yerini araştırmakta ve Türkiye'nin konteyner taşımacılığındaki mevcut durumunu inceleyerek, eksiklikleri tespit etmektedir. Ateş vd. [3] başka bir çalışmada Karadeniz etrafındaki konteyner taşımacılığı yapılabilen limanları veri zarflama analizi ile incelemekte ve bu limanların konteyner taşımacılığı için verimli olup olmadığına karar vermektedir. Analiz sonucu Karadeniz etrafında en verimli limanlar Poti ve Novorossisk terminaleri çıkmaktadır.

Çok türlü taşımacılıkta taşıma kabı seçimi önemini yanı sıra uygun yük aktarma istasyonlarının belirlenmesi de oldukça önemlidir. En uygun mod değişim noktalarının belirlenmesi, en iyi rotanın belirlenmesine bağlıdır. Bu nedenle en uygun rotaların oluşturulması, taşımacılık maliyetlerinin önemli ölçüde düşmesine sebep olmaktadır. Uygun rota belirleme ile çok türlü taşımacılığın yapılması, taşımacılıkla ilgili meydana gelen birçok olumsuz durumun da düzelmesine yardımcı olmaktadır. Çok türlü taşımacılığın avantajları ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır [4,5]. Sahin vd. [6] çalışmalarında yıllık kargo potansiyeli ve rotaların doluluk oranını dikkate alarak, intermodal ve çok türlü taşımacılık rotalarının, uygun filo boyutunun ve uygun araç kapasitelerinin belirlenmesine katkıda bulunduğunu belirtmektedir.

Çok türlü taşımacılıkta yük türüne, ağırlığına, hacmine, mali değerine göre ulaşım modu seçimi de oldukça önemlidir. Demiryolu taşımacılığı karayolu taşımacılığına kıyasla enerji tüketimi bakımından oldukça avantajlıdır [7-12]. Çok türlü taşımacılıkta, demiryollarının rotanın içerisine girmesi olumlu sonuçları beraberinde getirmektedir. Bu amaçla Vitoşoğlu ve Evren [13] demiryolu ağırlıklı kombine taşımacılık araştırması yapmaktadır. Bunun için yük ve yolcu taşımacılığı üzerinde uygulanabilir denklemler geliştirmektedir.

Çok türlü taşımacılıkta demiryolu taşımacılığının önemini yanı sıra, üç tarafı denizlerle kaplı yurtiçi ve yurtdışı deniz taşımacılığının uygun olduğu Türkiye'de çok türlü taşımacılık ve denizyolu taşımacılığı uyumu da birçok çalışmada incelenmektedir [14]. Balık vd. [15] Türkiye ve Dünya deniz taşımacılığını karşılaştırmakta ve denizyolu ile diğer taşıma modlarının birleştirilmesinin uluslararası ticarete birçok avantajı beraberinde getireceği vurgulanmaktadır. Saatçioğlu ve Saygılı [16], intermodal taşımacılıkta demiryolu ve denizyolu birleşiminde etkili olan parametreleri araştırmaktadır.

Taşımacılıkta en önemli konulardan biriside nakliye maliyetlerinin en doğru şekilde tahmin edilmesidir. Bu nedenle karayolu, denizyolu ve demiryolu ulaşım modlarında teknik, ekonomik ve operasyonel parametrelere dayanan gerçekçi bir analiz yapılması gerekmektedir [17]. Ozbay vd. [18] çoklu taşımacılıkta rota başına düşen marjinal maliyet hesabı için statik trafik ve mikroskobik trafik simülasyon yazılımlarını kullanarak tahmin yapmaktadır. Janic, intermodal ve karayolu taşımacılık maliyetlerini iç ve dış olmak üzere iki gruba ayırmaktadır. İç maliyetler başlığı altında nakliye, terminal operatörlerinin getirdiği operasyonel maliyetleri incelemekte, dış maliyetler başlığı altında ise taşıma araçlarından kaynaklı hava kirliliği, gürültü kirliliği, trafik tıkanıklığı ve trafik kazalarını incelemektedir [19]. Chang [20], uluslararası intermodal taşımacılığı çoklu hedef, teslimat süresi ve taşıma maliyetleri olmak üzere üç kategoride ele alarak sezgisel bir algoritma önererek optimize etmektedir.

Çok türlü taşımacılıkta uygun ulaşım modu seçiminde yük türü, birçok parametre seçimini etkilemesinden kaynaklı olarak literatürde bu konu üzerine vaka analizi çalışmaları yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada yük türü olarak filtre yükü seçilmekte ve filtre fabrikalarından alınan bilgiler doğrultusunda filtre yükünün taşınmasına uygun olan standart 40' konteyner ile taşınması dikkate alınmaktadır. Belirlenen yük türü için filtre fabrikasından alınan bilgilere göre, filtre çeşitlerine bağlı olarak üç farklı yük ağırlığı ve yük mali değeri belirlenmektedir. Çalışmada Türkiye'nin Akdeniz bölgesi ile Doğu Anadolu Bölgesi arasındaki ulaşım coğrafyasının çok türlü taşımacılık rota seçimini ne yönde etkilediğini görebilmek amacıyla Hatay-Van arasında vaka analizi çalışması yapılmaktadır. İki il arasında oluşturulan rotaların karşılaştırılması için yakıt tüketimi, maliyet, taşıma süresi, emisyon, performans indeksi gibi beş farklı karar değişkeni belirlenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yakıt tüketimi

Rota seçiminde en önemli parametrelerden biri maliyettir. Maliyeti etkileyen ana bileşenlerden biri ise taşıtın yakıt tüketimidir. Bu çalışmada yakıt tüketiminin güzergâh karar değişkeni olarak alınmasının nedenleri, maliyeti oluşturan ana bileşenlerden biri olmasının yanı sıra, Dünya’da yenilenemez enerji kaynaklarından biri olması da etkilidir. Türkiye’de ulaştırma sektörü içerisinde petrol ürünlerinin tüm sektörler içindeki payı %11,19’dur [21]. Petrol ürünlerinin tüketiminde ulaştırma sektörünün payı azımsanmayacak bir orana sahip olmasından dolayı çalışmada güzergâh karar değişkeni olarak alınmaktadır. Yakıt tüketim hesabı karayolu ve demiryolu ulaşım türleri için, farklı ulaşım aracı tiplerine göre ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

2.1.1. Karayolu yakıt tüketimi

Karayolu taşımacılığında yakıt tüketim hesabı yapılırken, taşıtın yüklü olarak varış yerine gittiği ve yüksüz olarak başlangıç noktasına geri geldiği kabul edilmektedir. Taşıtın taşıyacağı maksimum yük ise 26 ton olarak belirlenmektedir. Taşıtın 26 ton ile yüklü iken 100 km’de 40 litre, boş iken ise 100 km’de 30 litre dizel akaryakıt tükettiği kabul edilmektedir [14]. Karayolu yakıt tüketimi Denklem 1’e göre hesaplanmaktadır.

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + YT_{\text{min}}) \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} \quad (1)$$

Denklem 1’de YT_{karayolu} , karayolu yakıt tüketimini, YM; taşınan yük miktarını, MY; konteynerin maksimum yük kapasitesini, M; karayolu taşıma mesafesini, YT_{max} 100 km’de maksimum yükün taşınmasında tüketilen yakıt miktarını, YT_{min} boş iken tükettiği yakıt miktarını göstermektedir.

2.1.2. Demiryolu yakıt tüketimi

Demiryolu yük taşımacılığı için yakıt tüketimi hesabı Denklem 2’ye göre hesaplanmaktadır. Demiryolu taşımacılığında analizler yapılırken bir lokomotifte 80 adet vagon taşındığı ve bir vagonda bir adet standart konteyner taşındığı kabul edilmektedir. Lokomotifin 100 kilometre de en az 85 en çok ise 100 litre dizel yakıt yaktığı kabul edilmektedir [22]. Bu çalışmada lokomotifin en fazla yakıt tükettiği durum ele alınarak en elverişsiz şartlar değerlendirilmektedir.

$$YT_{\text{demiryolu}} = ((M/100) \times OYT) / KS \quad (2)$$

Bu denklemde $YT_{\text{demiryolu}}$ demiryollarında konteyner başına düşen yakıt tüketimini, M demiryolu taşıma mesafesini, OYT bir lokomotifin 100 kilometrede birim yakıt tüketim miktarını, KS bir lokomotifte taşınan toplam konteyner sayısını göstermektedir.

2.2. Maliyet hesabı

Taşımacılık rotalarının belirlenmesinde şirketlerin dikkat ettiği en önemli parametre nakliye ücretleridir. Çok türlü taşımacılığın maliyete etkisinin bilimsel çalışmalarla ortaya konması şirketlerin çok türlü taşımacılık rotalarını önemsemelerine sebebiyet vermektedir. Çünkü lojistikte en önemli rekabet maliyetlerin düşürülmesi ile sağlanabilmektedir [23].

2.2.1. Karayolu maliyet hesabı

Karayolu yük taşımacılığında ton başı birim maliyet hesabı Denklem 3 esas alınarak yapılmaktadır. Karayolu maliyeti taşıtın yakıt tüketim miktarı, sürücü ve dolaylı giderler dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Dizel yakıt litre fiyatı 2018 in ilk yarısında akaryakıt firmalarından alınan bilgilere göre 5,1 TL/lit alınarak hesap yapılmaktadır. Sürücü ve dolaylı giderler ton başı 5 TL kabul edilmektedir.

Dolaylı giderler başlığı altında, karayolu taşımacılığı yapan firmanın muhasebe, yönetici, idareye bağlı giderlerine ek olarak aracın bakım gibi kademe giderleri de yer almaktadır.

$$M_{\text{karayolu}}=(YT_{\text{karayolu}}\times YF_{\text{dizel}}+SDG\times YM\times SS)/YM \quad (3)$$

Denklemden M_{karayolu} , karayolunda bir konteyner için hesaplanan ton başı taşımacılık maliyeti; YT_{karayolu} , karayolu taşıtının yaktığı yakıt miktarı; YF_{dizel} , dizel yakıtın litre fiyatı, SDG ise ton başına sürücü ve dolaylı giderleri, YM ise taşınan yükün miktarını, SS sürücü sayısını göstermektedir.

2.2.2. Demiryolu maliyet hesabı

Demiryolu yük taşımacılığında ton başı maliyet hesabı TCDD'nin yayınladığı rapordan alınan birim fiyatlara göre hesaplanmaktadır [24]. Rapordan alınan birim fiyatlara ek olarak yükün mali değerine bağlı kıymet primi hesaba katılmaktadır. Kıymet primi 1000 kilometreden az taşımacılık mesafeleri için yükün mali değerinin 1/1000'i, 1000 kilometreden fazla taşımacılık mesafeleri için ise yükün mali değerinin 2/1000'i alınmaktadır. Demiryolu taşımacılık maliyeti Denklem 4'e göre hesaplanmaktadır.

$$M_{\text{demiryolu}}=(TBF\times YM+KP+YB)/YM \quad (4)$$

Denklemden $M_{\text{demiryolu}}$ demiryolu ton başı taşımacılık maliyetini, TBF TCDD raporundan alınan ton başı birim fiyatı, YM taşınan yükün ağırlığını, KP ise kıymet primini, YB bir konteynerin vagona yükleme ücretini göstermektedir.

2.3. Taşımacılık süresi hesabı

Günümüzde ucuz taşımacılığın yanı sıra, nakliyede en çok dikkat edilen unsur taşıma süresi olarak ön plana çıkmaktadır. Özellikle taze gıdaların taşınmasında zaman faktörü birinci sırada yer almaktadır. Bu nedenle rota seçiminde taşımacılık süresi karar değişkeni olarak ele alınmaktadır.

2.3.1. Karayolu taşımacılık süresi hesabı

Karayolu taşımacılık süresinde seyir esnasında geçen süreç, sürücü mola süreleri, yükleme boşaltma süreleri değerlendirmeye alınmaktadır. Yükleme boşaltma süresi 30 dk olarak kabul edilmektedir. Yönetmeliklere göre karayollarında sürücünün 4,5 saat devamlı sürüşten sonra zorunlu 45 dakika mola vermesi gerekmektedir. 24 saat içerisinde ise maksimum araç kullanma süresi 9 saat ile sınırlandırılmaktadır. En az iki sürücü olması halinde her 30 saatlik sürede her bir sürücü minimum 8 saat kesintisiz bir şekilde dinlenmektedir [25]. Yine belirlenen hız sınırlamalarına göre aracın ortalama hızı 80 km/sa olarak alınmaktadır [26]. Karayolunda taşımacılık süresi Denklem 5 dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

$$TS_{\text{karayolu}}=M/H+SDS+YBS \quad (5)$$

TS_{karayolu} karayolu yük taşımacılığında taşımacılık süresini, M parametresi karayolu taşıma mesafesini, H değeri taşıtın ortalama hızını, SDS sürücü dinlenme sürelerini, YBS ise yükleme boşaltma süresini göstermektedir.

2.3.2. Demiryolu taşımacılık süresi hesabı

Demiryolu yük taşımacılığında taşımacılık süresi trenin seyir süresi ve yükleme boşaltma süresi dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Trenin yükleme boşaltma süresi 45 dakika olarak alınmaktadır. Türkiye'de yük trenlerinin hızı en fazla 70 km/sa olabilmektedir. Avrupa ülkelerinde ise yük trenlerinin hızı 100 km/sa hızın üzerine çıkabilmektedir [27]. Bu çalışmada trenin hızı 70 km/sa alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Denklem 6'da demiryollarında yük taşımacılığı için taşımacılık süresinin denklemi verilmektedir.

$$TS_{\text{demiryolu}}=M/H+YBS \quad (6)$$

Denklemden $TS_{\text{demiryolu}}$ demiryolu taşımacılığında taşımacılık süresini, M değişkeni demiryolu taşımacılığında kat edilen mesafeyi, H parametresi trenin ortalama hızını, YBS ise yükleme boşaltma süresini temsil etmektedir.

2.4. Emisyon hesabı

Dünyada iklim değişikliklerinin etkisiyle sera gazı emisyonu araştırılmaya değer bir konu haline gelmektedir. En fazla karbondioksit salınımının olduğu ülkelerden biriside Çin'dir. Çin'de sera gazı salınımlarının azaltılmasına yönelik birçok çalışma mevcuttur [28-30]. Türkiye'de Kyoto Protokolü kapsamında düşük karbon ekonomisi modeli esas alınmaktadır [31]. Bu çalışma da ulaşım sektöründeki sera gazı emisyonunun rota seçimine etkisi incelenmektedir. Karayolu ve demiryolu yük taşımacılığı için emisyon değerleri Denklem 7 ye göre hesaplanmaktadır [32].

$$E=YM \times D \times EF \quad (7)$$

Denklemden E, gram cinsinden CO₂ salınım miktarını, YM taşınan yükün ağırlığını, D taşıma mesafesini ve EF ise ton başı CO₂ emisyon faktörünü göstermektedir. Emisyon faktörünün hesabı ise Denklem 8'de verilmektedir [32].

$$EF= T \times M \times e / (1\ 000\ 000) \quad (8)$$

Denklemden T yük ağırlığını, M taşıma mesafesini, e ise ton-km başı gram cinsinden CO₂ emisyon miktarını göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada yapılan Hatay-Van arası vaka analizi için geliştirilen rotalar ve çok türlü taşımacılık rotalarındaki ulaşım türü değişim noktaları Tablo1'de gösterilmektedir. Bir adet tek türlü karayolu taşımacılık rotası ve üç adet çok türlü taşımacılık rotası geliştirilmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi çok türlü rotalar karayolu, demiryolu ve feribot taşımacılığından oluşmaktadır. Ulaşım coğrafyasından kaynaklı olarak denizyolu taşımacılığı yapılamamaktadır. Feribot taşımacılığı ise TCDD'nin desteği ile yapılmaktadır.

Tablo1. Hatay-Van arasında geliştirilen tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotaları ve tür değişim noktaları

Ulaşım Rotası	Başlangıç Noktası	1. Ulaşım Modu	1. Mod Değişim Noktası	2. Ulaşım Modu	Variş Noktası
Tek türlü Karayolu		Karayolu	-	-	
Çok türlü 1	Hatay	Demiryolu	Siirt	Karayolu	Van
Çok türlü 2		Demiryolu	Bitlis	Karayolu	
Çok türlü 3		Demiryolu	Bitlis	Feribot	

Ulaşım rotalarında kullanılan ulaşım türlerine göre mesafe dağılımları Tablo 2'de verilmektedir. Tablodaki mesafe dağılımları incelendiğinde, çok türlü taşımacılık rotalarının demiryolu taşımacılığı odaklı olduğu göze çarpmaktadır.

Tablo 2. Hatay-Van arasında geliştirilen tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotalarındaki türlere göre mesafe dağılımları

Ulaşım Rotası	Mesafe	
	Karayolu(km)	Demiryolu (km)
Tek türlü Karayolu	879	-
Çok türlü 1	264	783
Çok türlü 2	152	834
Çok türlü 3	15,70	834

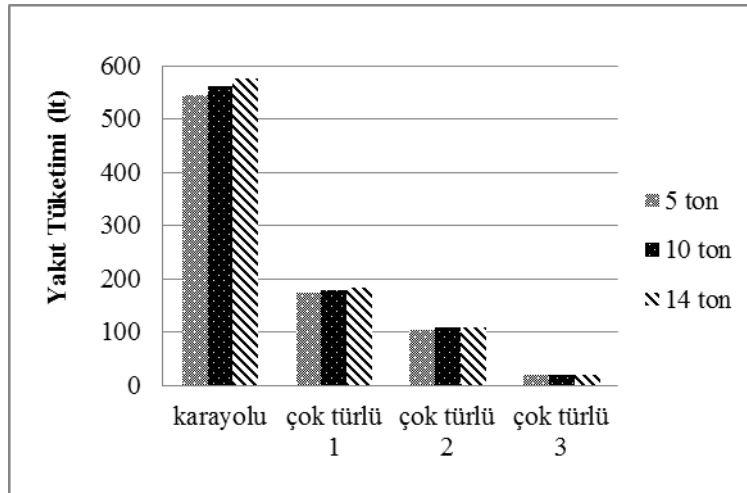
3.1. Yakıt tüketimi hesabı

Karayolu taşımacılığında yakıt tüketimini yükün ağırlığı etkilediği için hesaplar üç farklı yük tonajı için yapılmaktadır. Hatay-Van arası taşımacılık rotaları için yakıt tüketimi Denklem 1 ve 2'ye göre hesaplanmakta ve Tablo 3'teki sonuçlar elde edilmektedir.

Tablo 3. Hatay-Van arasında geliştirilen tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotalarında hesaplanan yakıt tüketim miktarları

Ulaşım Rotası	Yakıt Tüketim Miktarı (lt)		
	5 ton	10 ton	14 ton
Tek Türlü Karayolu	544,30	561,21	574,73
Çok Türlü 1	173,26	178,34	182,40
Çok Türlü 2	104,55	107,47	109,81
Çok Türlü 3	20,15	20,45	20,69

Hatay ve Van arasında yapılan taşımacılık türlerine göre yakıt tüketim grafiği Şekil 1'de verilmektedir. Grafikte karayolu taşımacılığı ile diğer ulaşım türlerine kıyasla açık ara fazla yakıt tüketildiği görülmektedir. Yük tonajının artışı ulaşım türleri içerisinde yakıt tüketiminde çok fark yaratmamaktadır. En az yakıt tüketimi, demiryolu ve feribot taşımacılığının birleşiminden oluşan çok türlü 3 rotasında görülmektedir. Bu da çok türlü taşımacılığı, tek türlü taşımacılığa kıyasla yakıt tüketimi açısından oldukça avantajlı duruma getirmektedir.



Şekil 1. Hatay-Van arası ulaşım türlerine göre yakıt tüketim miktarları

3.2. Maliyet hesabı

Hatay'dan Van'a yapılacak olan konteyner yük taşımacılığı rotaları için maliyet hesapları Denklem 2 ve 3'e göre hesaplanmaktadır. Hatay'dan Van'a demiryolu ağında Bitlis'ten sonra yük treni feribotla Van'a taşınmaktadır. TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporundan alınan ton başı birim fiyat tarifesine göre Hatay ve Bitlis arası maliyet 72,91 TL/ton ve Bitlis'ten feribot ile taşımacılık

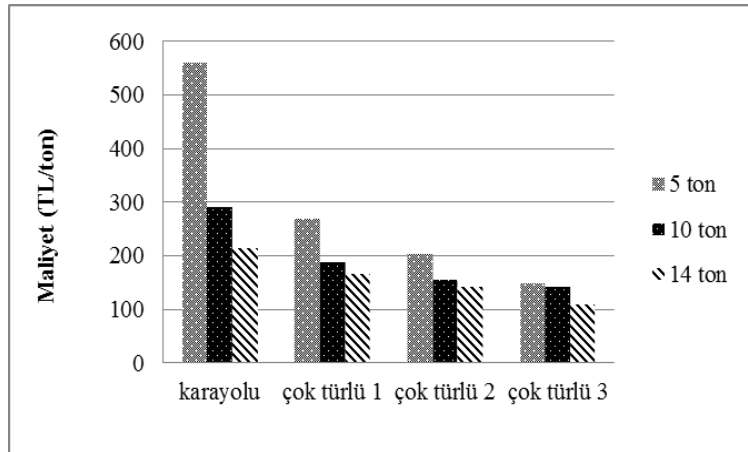
31,50 TL/ton olarak alınmaktadır. Konteynerin vagona yükleme ücreti 80 TL/konteyner alınmaktadır [33]. Maliyet hesap sonuçları Tablo 4’te verilmektedir.

Tablo 4. Hatay-Van arasında geliştirilen tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotalarında hesaplanan konteyner başı maliyet

Ulaşım Rotası	Maliyet (TL/t)		
	5 ton	10 ton	14 ton
Tek Türlü Karayolu	560	291	214
Çok Türlü 1	270	188	166
Çok Türlü 2	203	155	143
Çok Türlü 3	148	142	110

Karayolu taşımacılığında, yük tonajının artmasına bağlı olarak birim maliyetlerde azalma meydana gelmektedir. Güzergâhlar incelendiğinde minimum birim maliyet her üç yük birimi içinde çok türlü 3 güzergâhında gözlenmektedir. En yüksek birim maliyet Türkiye’de yaygın olarak yapılan tek türlü karayolu rotasında hesaplanmaktadır. Karayolu ve çok türlü 3 rotalarının birim maliyetleri karşılaştırıldığında taşımacılığın karayolu yerine çok türlü taşımacılıkla yapılması ile %74’e varan tasarruf sağlanmaktadır.

Şekil 2’de ulaşım modlarına ve yük tonajına göre maliyet analizi verileri görülmektedir. Grafik incelendiğinde çok türlü 3 ulaşım türünün diğer türlere göre en ucuz taşımacılık olduğu açıkça görülmektedir. En maliyetli taşımacılık ise üç yük birimi içinde karayolu taşımacılığıdır. Güzergâh kombinasyonları içerisinde bulunan demiryolu taşımacılığı oranına göre maliyetlerdeki artışın açık bir şekilde etkilendiği görülmektedir.



Şekil 2. Hatay-Van arası ulaşım modlarına göre ton başı maliyet değerleri

3.3. Taşımacılık süresi hesabı

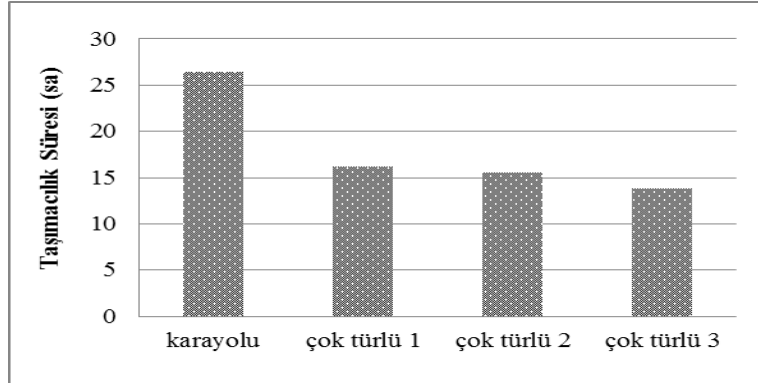
Her güzergâh için materyal metot bölümünde verilen Denklem 5 ve 6 dikkate alınarak taşımacılık süresi hesapları yapılmakta ve hesap sonuçları Tablo 5’te sunulmaktadır.

Tablo 5. Hatay-Van arasında geliştirilen tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotalarında hesaplanan taşımacılık süresi

Ulaşım Rotası	Taşımacılık Süresi (sa)
Tek Türlü Karayolu	26,4875
Çok Türlü 1	16,2357
Çok Türlü 2	15,5642
Çok Türlü 3	13,8605

Hatay-Van arasında tasarlanan güzergâh senaryolarının taşımacılık süreleri değerleri Şekil 3’te karşılaştırılmaktadır. En hızlı taşımacılık güzergâhı 13,86 saat ile çok türlü 3’tür. Karayolu

taşımacılığına bakıldığında çok türlü 3 rotasına göre %50 daha yavaştır. Doğu Anadolu Bölgesinde gerekli demiryolu altyapı yatırımlarının yapılması ile demiryolu taşımacılığı daha çok geliştirilmelidir. Böylelikle Doğu Anadolu Bölgesinin taşımacılık sektörü bakımından kalkınması sağlanacaktır.



Şekil 3. Hatay-Van arası ulaşım modlarına göre taşımacılık süresi dağılımları

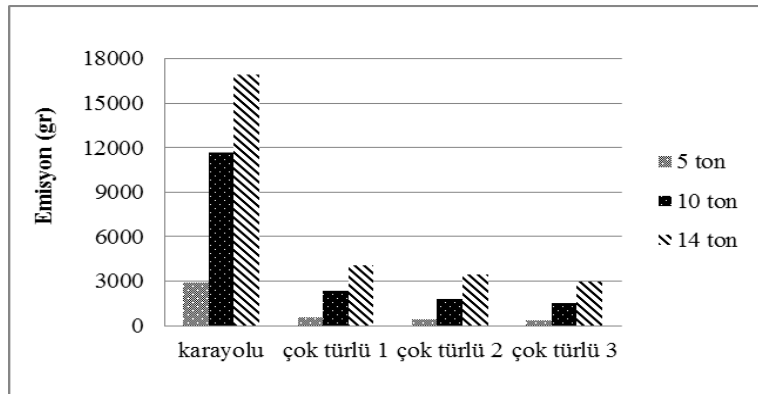
3.4. Emisyon hesabı

Hatay ve Van arasında gerçekleştirilen güzergahların emisyon hesapları Denklem 7 ve 8'e göre hesaplanmaktadır. Emisyon hesap sonuçları Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Hatay-Van arasında geliştirilen tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotalarında hesaplanan emisyon miktarları

Ulaşım Rotası	Emisyon Miktarı (gr)		
	5 ton	10 ton	14 ton
Tek Türlü Karayolu	2918,651	11674,606	16930,728
Çok Türlü 1	590,6919	2362,7675	4114,1201
Çok Türlü 2	464,28	1857,1129	3473,299
Çok Türlü 3	383,0827	1532,3309	3002,2941

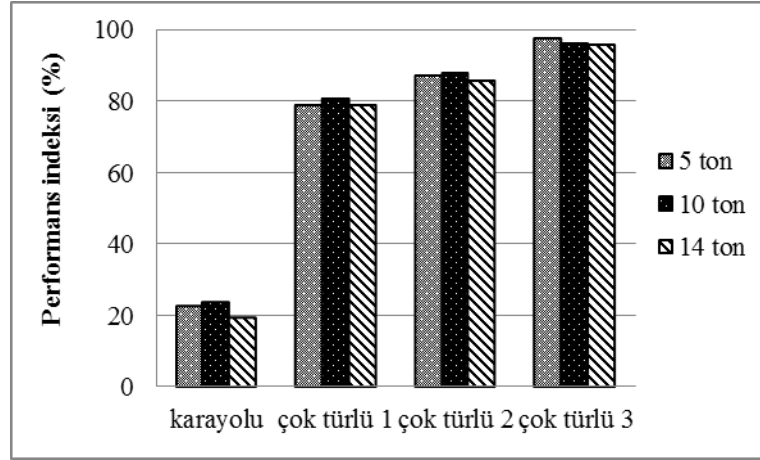
Şekil 4'te ulaşım modları ve taşınan yükün ağırlığına bağlı olarak hesaplanan emisyon miktarları verilmektedir. Grafik incelendiğinde minimum emisyon miktarı çok türlü 3 güzergahında görülmektedir. En fazla CO₂ salınımı ise 16933,06 gr ile 14 ton yükün karayolu ile taşınmasında gerçekleşmektedir. Ülkemizde yurtiçi yük taşımacılığında ağırlıklı karayolunun tercih edilmesinden dolayı, taşımacılıktan kaynaklanan emisyon değerleri oldukça yüksek çıkmaktadır. Taşımacılığın demiryoluna kaydırılması CO₂ salınımının indirgenmesinde oldukça etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4. Hatay-Van arası ulaşım modlarına göre emisyon miktarları

Hatay ve Van arasında geliştirilen güzergâh senaryolarının performans indeksi değerleri Şekil 5'deki grafikte görülmektedir. Grafığe göre performansı en yüksek güzergâh 5, 10, 14 ton için sırasıyla

%97,88, %96,48 ve %96,02 performans ile çok türlü taşımacılık güzergâhı en verimli çıkmaktadır. En verimsiz güzergâh ise grafikte görüldüğü gibi tüm yük birimleri içinde karayolu taşımacılık güzergâhıdır.



Şekil 5. Hatay-Van arası güzergâhların performans indeksleri

4. Sonuç

Yük taşımacılığında rotaların önceden belirlenerek lojistiğin planlı olarak yapılması maliyetlerin, taşıma süresinin, yakıt tüketiminin ve emisyon değerlerinin düşmesinde etkili olmaktadır. Bunlara ek olarak planlı bir şekilde çok türlü taşımacılığın kullanılması bahsedilen karar değişkenlerindeki miktarların optimum seviyelere çekilmesinde büyük rol oynamaktadır. Hatay-Van arasında yaptığımız bu vaka analizi ile bunlar hesaplarımızda net bir şekilde görülmektedir.

Yakıt tüketimi ele alındığında, rotalar arası karşılaştırmada minimum yakıt tüketimi 20,15-20,69 litre ile çok türlü 3 güzergâhında görülmektedir. En fazla yakıt tüketimi ise 544,30-574,73 litre ile tek türlü karayolu taşımacılığında görülmektedir. Taşımacılığın tek türlü karayolundan çok türlü taşımacılığa kaydırılması ile yakıt tüketiminde ciddi oranlarda tasarruf sağlanabilmektedir.

Rotalardaki ulaşım türlerine göre hesaplanan birim maliyet değerleri incelendiğinde, en ucuz taşımacılık 148 TL/t-110 TL/t aralığı ile çok türlü 3 rotasında yapılabilmektedir. Karayolu taşımacılığında bu durum 560 TL/t-214 TL/t aralığında seyretmektedir. Çok türlü 3 rotası ile Türkiye’de yaygın olarak yapılan karayolu taşımacılığına göre oldukça fazla ekonomik bir yük taşımacılığı yapılabilmektedir.

Taşımacılık sürelerine göre rotalar incelendiğinde en hızlı taşımacılık 13,86 saat ile çok türlü 3 rotası ile yapılmaktadır. Geleneksel taşımacılık türü olan karayolu ile taşımacılık süresi 26,49 saate çıkmaktadır.

Güzergâhlar karbondioksit salınım miktarlarına göre ele alındığında, en çevreci rota çok türlü 3 rotasıdır. Çevreye en çok karbondioksit salınımının yapıldığı rota ise tek türlü karayolu taşımacılık rotasıdır.

Dört güzergâh karar değişkenine göre rotaları eş zamanlı olarak değerlendirmek amacıyla performans indeksi değerlerine baktığımızda, %97,88-%96,02 performans aralığı ile en efektif rota çok türlü 3’tür. Performansı en zayıf rota ise %22,54-%19,21 performans aralığı ile tek türlü karayoludur.

Çalışma sonucunda görüldüğü gibi ulaşım coğrafyasından kaynaklı olarak bazı tek türlü taşımacılıkların yapılamadığı lokasyonlarda, çok türlü taşımacılığın yapılması ile yük taşımacılığında avantaj sağlayan demiryolu ve denizyolu ulaşım türlerinin katkısı artırılabilir. Yük taşımacılığında önemli yere sahip demiryolu ve denizyolu taşımacılık modlarının altyapı eksikliklerinin giderilmesi, yük taşımacılığının gelişmesine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] Demirlioğlu H. 2008. Türkiye’nin Denizyolu Konteyner Taşımacılığının, Kombine Taşımacılık ile Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 106s,

- İstanbul.
- [2] Ateş A., Karadeniz Ş., Esmer S. 2010. Dünya Konteyner Taşımacılığı Pazarında Türkiye'nin Yeri. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 2 (2): 83-98.
- [3] Ateş A., Esmer S., Çakır E., Balcı K. 2013. Karadeniz Konteyner Terminallerinin Göreceli Etkinlik Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 5 (1): 1-22.
- [4] Tanır, B. 2009. Marmara Bölgesindeki Karayolu Yük Taşımacılığına Alternatif Kombine Taşımacılık Sistemlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 135s, Ankara.
- [5] Göde M.G. 2011. Yük ve Yolcu Taşımacılığında Göller Bölgesi İçin Kombine Taşımacılık Sistemlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 148s, Isparta.
- [6] Sahin B., Yılmaz H., Ust Y., Guneri A.F., Gulsun B., Turan E. 2014. An Approach for Economic Analysis of Intermodal Transport. The Scientific World Journal, 2014: 1-11.
- [7] Cansız O.F., Arslan T., Çubuk M.K., Çalışıcı M. 2008a. Türkiye Demiryollarında Enerji Tüketim Analizi. 2. International Railway Symposium & Trade Exhibition, pp: 287-306, 15-17 Ekim, İstanbul.
- [8] Cansız O.F., Arslan T., Çubuk M.K., Çalışıcı M. 2008b. Yük Taşımacılığında Demiryollarından Uzaklaşan Türkiye'nin Enerji Kaybının İncelenmesi. 2. International Railway Symposium & Trade Exhibition, pp: 241-254, 15-17 Ekim, İstanbul.
- [9] Çubuk K., Cansız O.F. 2005a. Türkiye'de Ulaşım Sistemleri Arasındaki Enerji Durumu. 24. Enerji Verimliliği Haftası Etkinlikleri, 17-18, Ankara.
- [10] Çubuk K., Cansız O.F. 2005b. Energy Status Between Transportation System in Turkey. 24. Enerji Verimliliği Haftası Etkinlikleri, 47-49, Ankara.
- [11] Cansız O.F. 2007. Enerji Politikalarının Ulaştırma Sistemlerinin Optimizasyonu ile Geliştirilmesi ve Uygulamadan Elde Edilen Getirilerin Ortaya Konması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 352s, Ankara.
- [12] Cansız O.F., Çubuk M.K., Çalışıcı M. 2009. An Energy Analysis of Road Transportation in Turkey, Proceedings of the 3rd International Conference on Energy and Development - Environment – Biomedicine, pp: 91-95, 29-31 December 2009, Athens.
- [13] Vitoşoğlu Y., Evren G. 2008. Türkiye'de Demiryolu Ağırlıklı Kombine Yük Taşımacılığı Olanaklarının Araştırılması. İtü Dergisi/d mühendislik, 7 (1): 77-88.
- [14] Atar F. 2013. Kısa Mesafe Deniz Taşımacılığının Avantajları ve Kombine Taşımacılıktaki Önemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 89s, İstanbul.
- [15] Balık İ., Aksay K., Şenbursa N. 2015. Marine Transportation in Turkey ans Future Perspective. Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences, 1 (1): 48-60.
- [16] Saatçioğlu C., Saygılı M.S. 2013. İntermodal Taşımacılıkta Denizyolu- Demiryolu Entegrasyonunun Ekonomik ve Çevresel Açından Değerlendirilmesi. Journal of ETA Maritime Science, 1 (2): 19-26.
- [17] Sahin B., Yılmaz H., Ust Y., Guneri A.F., Gulsun, B. 2009. An approach for analysing transportation costs and a case study. European Journal of Operational Research, 193 (1): 1-11.
- [18] Ozbay K., Bartın B., Yanmaz-Tuzel O., Berechman J. 2007. Alternative methods for estimating full marginal costs of highway transportation. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 41 (8): 768-786.
- [19] Janic M. 2007. Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 12 (1): 33-44.
- [20] Chang T.S. 2008. Best routes selection in international intermodal networks. Computers & operations research, 35 (9): 2877-2891.
- [21] TÜİK. 2005. Sektörlere ve Kullanım Alanlarına Göre Nihai Enerji Tüketimi.
- [22] Demiryolu ve Karayolu Taşımacılığında Karşılaştırma. <http://www.ustaokan.com/?Syf=26&Syz=530815> (Erişim tarihi: 22.05.2018)
- [23] Cansız O.F., Ünsalan K. 2018. Cost analysis of çok türlü freight transportation: a case of Iskenderun, International Journal of Advanced Engineering Research and Science, 5 (5): 315-319.
- [24] [https://portal1.tcdtdasimacilik.gov.tr/tcdd\(bD10ciZjPTIwMCZkPW1pbg==\)/zy02/yuktasimafiyatlari](https://portal1.tcdtdasimacilik.gov.tr/tcdd(bD10ciZjPTIwMCZkPW1pbg==)/zy02/yuktasimafiyatlari), (Erişim tarihi: 10.02.2018).

- [25] Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyuma Mecburiyeti ve Denetleme Esasları. <https://www.tugem.com.tr/mevzuat?mlid=2528> (Erişim tarihi: 12.03.2018)
- [26] Şehirlerarası Çift Yönlü Karayollarında Hız Sınırı. www.kgm.gov.tr (Erişim tarihi: 05.05.2018)
- [27] Demiryolunda Rekabetçi Çözümler - Hızlı Trenler. <https://railturkeyakademi.wordpress.com/2015/04/08/demiryolunda-rekabetci-cozumler-hizli-trenler/#more-399> (Erişim tarihi: 29.04.2018).
- [28] Yang H., Chen W. 2017. Retailer-driven Carbon Emission Abatement with Consumer Environmental Awareness and Carbon Tax: Revenue-sharing Versus. *Omega*, 78: 179-191.
- [29] Zhang S.J., Niu T.L., Wu Y., Zhang K.M., Wallington T.J., Xie Q.Y., Wu X.M., Xu H.L. 2018. Fine-Grained Vehicle Emission Management Using Intelligent Transportation System Data. *Environmental Pollution*, 241: 1027-1037.
- [30] Kishimoto P.N., Karplus V.J., Zhong M., Saikawa E., Zhang X., Zhang X. 2017. The Impact of Coordinated Policies on Air Pollution Emissions from Road Transportation in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54: 30-49.
- [31] Bayrak M.R. 2012. Sürdürülebilir Kalkınma İçin Türkiye’de Düşük Karbon Ekonomisi ve Kyoto Protokolü’nün Finansman Kaynakları/Low Carbon Economy and Financial Sources of The Kyoto Protocol for Sustainable Development in Turkey. *Journal of History Culture and Art Research*, 1 (4): 266-279.
- [32] Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations-<http://www.cefic.org> (Erişim tarihi: 02.03.2018)
- [33] Kaya O. 2018. Öztrans Lojistik-Lojistik Operasyon Müdürü Telefonla Kişisel Görüşme.

Araştırma Makalesi / Research Article

Bitlis Devlet Hastanesinde 2010-2016 Yılları Arasında Görülen Gıda Zehirlenmesi Vakalarının İncelenmesi

Seda OĞUR*

*Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
(ORCID: 0000-0002-2041-0790)*

Öz

Bu araştırmada Bitlis Devlet Hastanesi'nde 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmesi vakalarının incelenmesi amaçlanmıştır. Gerekli izinler alındıktan sonra Bitlis Devlet Hastanesi İstatistik Merkezi'ndeki yetkiliden 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmesi vakalarıyla ilgili istatistiksel veriler istenmiştir. Bu veriler arasından hastaların yaşı, cinsiyeti, işlem tarihi, teşhis, poliklinik sonucu ve işlem gördüğü ya da yatırıldığı servis bilgileri alınmıştır. Veriler SPSS 20® programında, sıklık ve Paerson ki-kare (χ^2) testleriyle değerlendirilmiş, $p<0,05$ düzeyi istatistiki açıdan anlamlı kabul edilmiştir. Bitlis Devlet Hastanesi'nde 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmesi vakalarının sayısının 342 olduğu tespit edilmiştir. En çok gıda zehirlenmesi vakası 18-65 yaş arasındaki bireylerde (%59,1), erkeklerde (%54,4) ve 2012 yılının ilk 6 ayında (%51,8) görülmüştür. Vakaların %47,7'sine A05.8 ICD kodlu "gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmış" teşhisi konulurken; %43,6'sına T62.8 ICD kodlu "gıda olarak yenilen diğer tanımlanmış zararlı maddelerin toksik etkisi" teşhisi konulmuştur. Hastaların %83,9'u ayakta tedavi edilmiştir. Hastaların yaş aralığı ile poliklinik sonuçları arasındaki farkın anlamlı ($p<0,05$) olduğu, bağışıklık sistemi yetişkinlere göre daha zayıf olan çocukların (3-11 yaş) daha çok (%67,2) yatırılarak tedavi edildiği belirlenmiştir. Bitlis Devlet Hastanesi'nde görülen gıda zehirlenmesi vakalarıyla ilgili istatistiksel verilerin düzenli halleri oldukça zor elde edilmiş ve istatistiksel verilerin düzgün olarak kaydedilmediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Gıda zehirlenmesi, vaka, hastane, istatistiksel veri, kayıt.

Examination of the Cases of Food Poisoning Seen between 2010-2016 Years in Bitlis State Hospital

Abstract

In this research was aimed to examine the cases of food poisoning seen in Bitlis State Hospital between 2010-2016 years. After obtaining the necessary permits, statistical data about the cases of food poisoning seen between 2010-2016 were requested from the Bitlis State Hospital Statistics Center. From among these data, the age, sex, date of treatment, diagnosis, outcome of the outpatient clinic, and service information on which the patient was treated or hospitalized were obtained. The obtained data were evaluated in the SPSS 20® program using frequency and Pearson Chi-square (χ^2) tests, and $p<0,05$ level was accepted as statistically significant. It has been determined that the number of food poisoning cases in Bitlis State Hospital between 2010 and 2016 was 342. The most frequent food poisoning cases were seen in people aged 18-65 (59,1%), in men (54,4%) and in the first 6 months of 2012 (51,8%). 47,7% of the cases were diagnosed with ICD code A05.8 "food poisoning, other defined" diagnosis; 43,6% of them were diagnosed as "toxic effect of other defined harmful substances as food" with ICD code T62.8. 83,9% of the patients were treated outpatiently. It was determined the significant difference ($p<0,05$) between the age range of the patients and outcomes of the outpatient clinic and that the children with immune system weaker than the adults (3-11 years) were treated more (67,2%) by hospitalizing. Regular status of statistical data related

*Sorumlu yazar: ogursd@gmail.com

Geliş Tarihi: 25.01.2019, Kabul Tarihi: 16.07.2019

to food poisoning cases in Bitlis State Hospital has been found to be very difficult and statistical data are not recorded properly.

Keywords: Food poisoning, case, hospital, statistical data, record.

1. Giriş

Bakteriler, virüsler, küfler, mayalar, bitkiler, hayvanlar, parazitler, kimyasal ve fiziksel maddelerle kontaminasyona uğramış gıdaların tüketilmesi sonucu ortaya çıkan hastalıklar gıda kaynaklı hastalıklar olarak değerlendirilmektedir. Gıda kaynaklı hastalıklar kapsamında olan gıda zehirlenmesi ise herhangi bir katı ya da sıvı gıdanın tüketilmesinin ardından ortaya çıkan enfeksiyon veya intoksikasyon oluşumunun genel nitelendirmesidir [1, 2].

Zehirlenme halk sağlığını tehdit eden önemli bir sorundur. Zehirlenmelerin insidansı ve nitelikleri ortaya çıktığı toplumun sosyoekonomik ve kültürel özellikleri ile değişmektedir [3].

Gıda zehirlenmeleri üç grupta incelenmektedir. Bunlar; zehirli bitki ve hayvanların neden olduğu zehirlenmeler, kimyasal gıda zehirlenmeleri, gastrointestinal sistem bozukluklarına neden olabilen gıdalarda süratle üreyebilen mikrobiyal patojenlerin neden olduğu durumlardır. Bitkilerin neden olduğu enfeksiyonlar ve zehirlenmeler; bazı gıdaların içinde doğal olarak zehirli maddeler bulunmaktadır. Zehirli mantar, solaninli patates, zehirli bal bunlara örnektir. Bu tip gıdaların yanlışlıkla yenilmesi sonucunda bitkilerin neden olduğu gıda zehirlenmeleri görülür. Hayvanların neden olduğu enfeksiyonlar ve zehirlenmeler; bazı hayvanların dokularında tamamen taze de olsalar doğal olarak insanlar için zehirli olan maddeler vardır. Zehirlilikleri; görüntü, koku ve renk değişikliği gibi basit işaretlerle anlaşılabilir. Hayvanlardaki bu toksik maddeler pişirme derecelerine dirençlidir. Zehirli olan bu hayvanlar, bazı kabuklu deniz ürünleri ve bazı balıklardır. Kabuklu deniz hayvanlarından olan midye, zehirli bir plankton olan dinoflagellate ile beslendiğinde insanlar için tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca tropikal balıkların da bir kısmı zehirlidir ve yenilmemelidir. Balık zehirlenmeleri yedi grupta toplanır. Bunlar; tetraodon, ciuatera, scombroid, clupeoid, chimaeroid, gemphyid, hallucinatory mullet'dir. İçlerinde en yaygın ciuatera zehirlenmesidir. Pasifik ve Karaipler'de sık olarak rastlanır. Zehirlenmeye neden olan ısıya dirençli ciuatoksindir. Balıklar ayrıca metalleri vücutlarında biriktirerek de zehirlenmelere neden olurlar. Kimyasal gıda zehirlenmeleri; birkaç yolla olmaktadır. Bunlar inorganik maddelerin (bakır, kurşun, kalay, çinko, kadmiyum ve arsenik gibi), pestisitlerin, ilaç ve temizlik maddelerinin yanlışlıkla gıdalara bulaşması ile görülmektedir. Ayrıca, önerilen limitlerin üzerinde kullanılan gıda katkı maddeleri veya hile yaparak fazla kazanç sağlamaya çalışan kişilerin bilerek, kasıtlı olarak gıdalara ekledikleri (yağlara madensel yağlar, sütlere çamaşır sodası gibi) maddeler zehirlenmeye neden olmaktadır [4].

Gıda zehirlenmeleri her ülkede, hatta her yörede farklı özelliklere sahip olmakta, özellikle yaz dönemlerinde enfeksiyon hastalıkları polikliniklerine başvuran hastaların çoğunluğunu oluşturmakta, genellikle önem verilmemekte ve bu nedenle de yetkili mercilere bildirilmediği için asıl prevalansı hiçbir zaman öğrenilememektedir [3].

Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agricultural Organization- FAO), Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization-WHO) ve Dünya Gıda Güvenliği Komitesi (Committee on World Food Security- CFS), kontamine olmuş gıda tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan gıda kaynaklı hastalık ve salgınların Dünya'daki en sık görülen sağlık sorunu olduğunu bildirmektedir [2, 5].

Dünya Sağlık Örgütü'nün 1993-1998 yılları arasında 42 ülkeyi dahil ettiği araştırma sonucuna göre; 23,538 gıda zehirlenmesi olgusu kaydedilmiştir. Raporda bildirildiği üzere; *Salmonella* %77 ile gıda zehirlenmesine en fazla sebep olan bakteri olarak ilk sırada yer almakta, *Staphylococcus aureus* ise ikinci patojen olarak dikkati çekmektedir [5].

ABD Hastalıkları Kontrol ve Önleme Merkezi verilerine göre; 2010 yılında laboratuvar onaylı bir hastalığı olan 790 salgının %42'sine Norovirüs, %30'una *Salmonella* sebep olmuştur. Salgınla ilgili 29.444 hastalıktan 1.184'ü (%4) hastaneye yatışla sonuçlanmıştır. *Salmonella* salgınıla ilgili en fazla (%49) hastaneye yatışlara neden olmuştur, bunu Shiga toksin üreten *E. coli* (%16) ve norovirüs (%9) takip etmiştir. Bazı patojenlerin neden olduğu salgınlar özellikle ciddi seyretmiştir. Örneğin, *Listeria* salgınları hastaneye yatışa en yüksek oranda (%82) sebep olmuş; ardından *Clostridium botulinum* (%67) ve paralitık kabuklu deniz hayvanları zehirlenmesi (%67) gelmiştir. Ölümle sonuçlanan 23 vakanın 22'si

bakterilere (9 *Listeria*, 5 *Salmonella*, *E. coli* O157, 3 *Clostridium perfringens* ve 1 *Shigella*) ve biri norovirüse bağlanmıştır [6].

ABD'nin 2012 yılına ait Gıda Zehirlenmesi İstatistiklerine göre; *Salmonella*'nın gıda zehirlenmesi olgularının %40'ından sorumlu olduğu ortaya çıkmıştır. *Campylobacter* 2012 yılında 7000 kişinin hastalanmasına sebep olmuş ve bunlardan 6'sı hayatını kaybetmiştir. Daha çok kontamine deniz ürünleri sebebiyle görülen *Vibrio* enfeksiyonları 2012 yılında %43 artış göstermiştir [7].

Gıda zehirlenmeleri tüm dünyada, ancak özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha çok görülen, önemli bir halk sağlığı sorunudur. Çoğunlukla hafif seyretmesine rağmen, gıda zehirlenmesine sebep olan patojen ve konağın özellikleriyle ilgili etkenler hastalığın bazen daha ağır seyretmesine, hatta ölümcül olmasına yol açabilmektedir [8].

Gıda kaynaklı bir salgın olarak belirtilen gıda zehirlenme vakalarıyla karşılaşıldığında teşhisi konulmalı, bireysel mi kitlesel mi olduğu belirlenmeli, bir zehirlenme olgusu olduğu raporlandırılarak (Zehirlenme Vaka Bildirim Formu ile) adli makamlara ve İl Sağlık Müdürlüğüne gereken bildirimler yapılmalıdır. Gerektiği durumlarda Zehir Danışma Merkezlerinden de yardım alınabilir. Zehir Danışma Merkezleri tüm zehirlenme olgularında sağlık kurumlarına tanınan ve tedavinin belirlenmesinde rehberlik etmek, zehirlenmeye sebep olan etkenin saptanmasını sağlamak, etkenin değerlendirilerek zehirlenmelerin önlenmesi konularında yardımcı olmak amacıyla kurulmuştur [9].

Adli olgu grubuna giren ve davalara konu olabilen vakaların çözülebilmesi, salgın olarak görülen hastalıkların kontrol altında tutulabilmesi ve zaman kaybetmeden tedaviye başlanabilmesi için; salgının etkeni olan patojenlerin tespit edilebilmesi gerekir. Hasta ve kontrol gruplarından ve yenilen gıdalardan, kullanılan ekipmanlardan ilgili örnekler alınarak hızlı bir şekilde incelenmelidir.

Gıda zehirlenmesi belirtilerin yaşandığı hastalarda eğer Hastalıkların ve Sağlık Sorunlarının Uluslararası Sınıflama Sistemine ait ICD (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems) kodlarından [10] (Tablo 1) ilgili olan kodlar teşhis olarak kaydedilmezse, aslında gıda zehirlenmesi olan bir vaka farklı bir hastalık olarak kaydedilmekte ve böylece sanki gıda zehirlenmesi prevalansı azmış gibi görünmektedir.

Bu çalışmada Bitlis Devlet Hastanesi'nde 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmesi vakalarıyla ilgili istatistiksel veriler incelenerek; cinsiyet ve yaş aralığı dağılımının, ICD kodlarına göre teşhis dağılımının, poliklinik sonuçları dağılımının, tedavinin yapıldığı servis dağılımının ve 6 aylık dönemlerdeki prevalanslarının ortaya konması amaçlanmıştır.

Tablo 1. Gıda Zehirlenmesi Teşhis Kodları (ICD-10)

A05	Bakteriyel gıda zehirlenmeleri, diğer
A05.0	Gıda kökenli stafilocok zehirlenmesi
A05.1	Botulizm
A05.2	Gıda kökenli <i>Clostridium perfringens</i> [<i>Clostridium welchii</i>] zehirlenmesi
A05.3	Gıda kökenli <i>Vibrio parahaemolyticus</i> zehirlenmesi
A05.4	Gıda kökenli <i>Bacillus cereus</i> zehirlenmesi
A05.8	Gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmış
A05.9	Bakteriyel gıda zehirlenmesi, tanımlanmamış
T61	Deniz ürünü olarak yenilen zararlı maddelerin zehirli etkisi
T61.0	“Ciguatera” balığı zehirlenmesi
T61.1	“Scombroid” balığı zehirlenmesi
T61.2	Balık ve kabuklu deniz hayvanı zehirlenmesi, diğer
T61.8	Deniz ürünlerinin toksik etkisi, diğer
T61.9	Deniz ürünlerinin tanımlanmamış toksik etkisi
T62	Gıda olarak yenilen diğer zararlı maddelerin toksik etkileri
T62.0	Mantar yemenin toksik etkisi
T62.1	Böğürtlen yemenin toksik etkisi
T62.2	Yeme diğer (bazı) bitki(ler)in toksik etkisi
T62.8	Gıda olarak yenilen diğer tanımlanmış zararlı maddelerin toksik etkisi
T62.9	Gıda olarak yenilen zararlı maddelerin toksik etkisi, tanımlanmamış

2. Materyal ve Metot

Gerekli izinler (Bitlis Eren Üniversitesi Etik Kurul Başkanlığından (Tarih: 24.06.2016, Sayı: 5468) ve Bitlis Devlet Hastanesi Başhekimliğinden) alındıktan sonra Bitlis Devlet Hastanesi İstatistik Merkezindeki yetkiliden 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmeleri vakalarıyla ilgili istatistiksel veriler istenmiştir.

İstatistiksel veriler arasından hastaların yaşı, cinsiyeti, işlem tarihi, teşhis, poliklinik sonucu ve tedavinin yapıldığı servis bilgileri alınmıştır.

Elde edilen veriler IBM SPSS Statistics 20.0® programında, sıklık ve Paerson ki-kare testleriyle değerlendirilmiş, $p < 0,05$ düzeyi istatistiki açıdan anlamlı kabul edilmiştir.

Gıda zehirlenmesi vakası yaşayan kişilerin cinsiyeti, yaş aralığı ve hastaneye başvurduğu dönem değişkenlerine göre teşhis, poliklinik sonucu ve tedavinin yapıldığı servislerin ne şekilde değiştiği tespit edilmeye çalışılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bitlis Devlet Hastanesinde 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmesi vaka sayısının 342 olduğu ortaya çıkmış, gıda zehirlenmesi vakalarının cinsiyet, yaş aralığı, teşhis, poliklinik sonucu ve tedavinin yapıldığı servise göre dağılımı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Gıda Zehirlenmesi Vakalarının Cinsiyet, Yaş Aralığı, Teşhis, Poliklinik Sonucu ve Tedavinin Yapıldığı Servise Göre Dağılımı

		s	%
Cinsiyet	Kadın	156	45,6
	Erkek	186	54,4
Yaş aralığı	0-2	1	0,3
	3-11	61	17,8
	12-17	73	21,3
	18-65	202	59,1
	>65	5	1,5
Teşhis	A05.8	163	47,7
	T62.0	15	4,4
	T62.9	13	3,8
	T62.8	149	43,6
	A05.4	1	0,3
	A05.9	1	0,3
Poliklinik Sonucu	Ayakta Tedavi	287	83,9
	Yatırılarak Tedavi	55	16,1
Tedavinin Yapıldığı Servis	Acil Servis	329	96,2
	Enfeksiyon Servisi	1	0,3
	Çocuk Hastalıkları Servisi	5	1,5
	İç Hastalıkları Servisi	2	0,6
	Dermatoloji Servisi	4	1,2
	Genel Cerrahi Servisi	1	0,3

Genellikle ishal, mide bulantısı ve kusma belirtisiyle ortaya çıkan gıda zehirlenmesi vakalarında semptomlar ortadan kaldırılmaya çalışılmakta, semptomların asıl sebebinin araştırılması yoluna gidilmesi bir zaman kaybı olarak görüldüğü için, vakalarla ilgili raporlardan ulaşılabilen istatistiksel veriler asla gerçek vaka sayılarını yansıtmamaktadır.

Gıda zehirlenmesi yaşayan bireylerin çoğunluğunu literatürle uyumlu olarak [3, 11-14] erkeklerin (%54,4) ve 18-65 yaş aralığındaki yetişkinlerin (%59,1) oluşturduğu saptanmıştır. ICD-10 kodlarına göre hastalara konulan teşhisler incelendiğinde; ilk sırada (%47,7) “A05.8-Gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmış”, ikinci sırada (%43,6) “T62.8-Gıda olarak yenilen diğer tanımlanmış zararlı maddelerin toksik etkisi” teşhisinin yer aldığı görülmüştür. “T62.0-Mantar yemenin toksik etkisi” teşhisinin oranının ise %4,4 olduğu tespit edilmiştir. Hastaların çoğunluğunun (%83,9) ayakta tedavi edildiği ve bu tedavinin yapıldığı birimin de genellikle (%96,2) acil servis olduğu belirlenmiştir (Tablo 2).

Bütün ve ark. [3]’nin çalışmasında, gıda zehirlenmesi vakalarının %28,6’sının kadın, %71,4’ünün erkek olduğu saptanmıştır. Yaşları bilinen 81 vakadan %11,2’sinin 0-9 yaş grubunda, %41,8’inin 10-19 yaş grubunda ve %21,4’ünün 20-29 yaş grubunda olduğu bulunmuştur. Vakaların %51,0’inin acil servisteki tedavilerinden sonra taburcu olduğu, diğerlerinin ise acil servisteki ilk müdahalelerinden sonra, %3,1’inin Merkezi Yoğun Bakım Ünitesi’nde, %9,2’sinin Pediatri Kliniği’nde, %36,7’sinin Enfeksiyon Hastalıkları Kliniği’nde yatarak tedavi gördüğü belirlenmiştir [3].

Akköse ve ark. [15]’nin yürüttüğü araştırmada, gıda ve/veya mantar zehirlenmesi sebebiyle hastaneye başvuran kişilerin %88’inin acil servisteki tedavilerinden sonra taburcu olduğu kaydedilmiştir.

Ülkemizde yürütülmüş araştırmalarda, acil servise başvuran zehirlenme olguları arasında ilaç zehirlenmelerinin birinci sırada, gıda zehirlenmelerinin ise ikinci sırada yer aldığı bildirilmiştir [16-21].

Gıda zehirlenmesinin sebebi olan en önemli bakteri çeşitleri; *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Salmonella*, *Clostridium botulinum*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Yersinia*, *Shigella*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio vulnificus*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Bacillus cereus*, *Streptococcus*, *Listeria monocytogenes* sayılabilir [22].

Kuzey Avrupa ülkelerinde *Campylobacter* ve *Salmonella* en çok karşılaşılan patojen bakterilerdir. Ülkemizin de yer aldığı Akdeniz ülkelerinde yine *Salmonella* ve diğer zoonoz kaynaklı patojenler yaygın olarak görülmektedir. Türkiye’de gerçekleştirilmiş bir araştırmada güneyden kuzeye, batıdan doğuya gidildikçe gıda zehirlenmesi prevalansında bir artış olduğu belirlenmiştir [23].

Bitlis Devlet Hastanesindeki 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmesi vakalarının %3’ünü oluşturduğu tespit edilen, “A5.04-Gıda kökenli *Bacillus cereus* zehirlenmesi”nin etkeni olan *B. cereus* çoğunlukla toprak kaynaklı olduğu için sebze ve meyvelerin çoğunda bulunmakta ve genellikle sütlü pudingler, kremalar, makarna ve pirinçte hızlıca üreme yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir [24]. Ancak, buradaki tek faktör bu bakterinin hızlıca çoğalması değil, asıl sebebi özellikle pirinç ile yapılan yemeklerin uygun olmayan şartlarda (*B. cereus*’un üreyeceği sıcaklık aralıklarında uzun süre bekletmek gibi) soğutulması ya da yeniden ısıtma işlemi sırasında bakterinin inaktif olacağı sıcaklığa kadar yemeğin ısıtılmamasıdır [25].

Ülkemiz’de, gıda zehirlenmesine neden olan patojen bakterilerin genellikle; *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp. (termotolerant), koagülaz pozitif stafilokoklar, *E. coli* O157, Sülfite indirgeyen anaerob bakteri ve *B. cereus* olduğu bildirilmiştir [26]. Türk Gıda Kodeksi (TGK) Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği de özellikle bu bakterilerin potansiyel tehlikesine dikkat çekerek tespit edilmelerinde kullanılan analizler üzerinde yoğunlaşmaktadır [27]. Sözkonusu patojen bakterilerin analizi T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı laboratuvarları ile Adli Tıp Kurumunun laboratuvarlarında ve akredite olmuş özel gıda kontrol laboratuvarlarında yapılmaktadır. İstatistiki verilere göre kayıt altına alınan gıda zehirlenmesi olgularının oranının az olması gıda zehirlenmeleri prevalansının Türkiye’de az olduğu düşüncesini oluşturmamalıdır. Çünkü raporlarla kaydedilen gıda zehirlenmesi olgularının oranının asıl ve aslında görünenden çok daha büyük olan rakamların oldukça az bir kısmını yansıttığı hem yetkililerce hem de toplum tarafından bilinmektedir [28].

Bitlis Devlet Hastanesindeki 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmesi vakalarının %4,4’ünü “T62.0-Mantar yemenin toksik etkisi”nin teşkil ettiği görülmüştür. Zehirlenme vakalarına sebep olan mantar türü/türleri bilinmemekle birlikte; Türkiye’deki ölümle sonuçlanan mantar zehirlenmelerinin yaklaşık %95’inden, oldukça zehirli ve *Amanitaceae* familyasının üyesi olan Köygöçüren mantarı (*Amanita phalloides*)’nin sorumlu olduğu kaydedilmiştir. Bu mantar çeşidinin yetişkin bir kişinin ölümüne sebep olması için 20-25 gram kadar yenmesinin yeterli olduğu bildirilmiştir [22]. Ölüme sebebiyet veren etken madde mantar içerisindeki “amatoksin” lerdir. Amatoksinlerin sıklıkla bilinen beş tipi arasında alfa ve beta alt grupları en önemli olanlarıdır [29, 30]. Mantar zehirlenmesi vakalarının genellikle yağmurların fazlaca yağdığı sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde daha çok görüldüğü doğru olsa da; uygun şartlarda muhafaza edilmeyen kültür mantarlarının da toksik etkiye sahip olabileceği unutulmamalıdır [22].

Urazel ve ark. [14]’nın, gıda zehirlenmesiyle ilgili 215 adli olguyu retrospektif olarak inceledikleri araştırmada olguların %6,5’inin yoğun bakım servisinde, %7,4’ünün çocuk hastalıkları servisinde %29,8’inin enfeksiyon hastalıkları servisinde tedavi edildiği, %56,3’ünün ise acil servisteki tedavilerinin ardından taburcu oldukları belirlenmiştir.

Gıda zehirlenmesi vakalarının yaşandığı dönemlerin ne şekilde değiştiğinin irdelenmesi amacıyla oluşturulan, gıda zehirlenmesi vakalarının yaşandığı dönemlerin dağılımı Tablo 3’te verilmiştir.

Gıda zehirlenmesi vakalarının en çok yaşandığı dönemin (%51,8) 2012 yılının ilk 6 aylık döneminde olduğu, ikinci sırada 2013 yılının ikinci 6 aylık döneminin (%17,3) yer aldığı bulunmuştur. 2016 yılının ikinci 6 aylık döneminde ise; gıda zehirlenmesi vakasının yaşanmadığı görülmüştür (Tablo 3). Ancak il nüfusu 341.225, Bitlis Devlet Hastanesinin bulunduğu Merkez ilçesi nüfusu 69.222 olan bir şehirde bütün bir yıl boyunca 2 adet gıda zehirlenmesi vakasının yaşandığına inanılması çok zordur. Muhtemelen bu yılda gıda zehirlenmesi ile ilgili vakaların ICD kodları hiç kaydedilmemiş veya hatalı kaydedilmiş ya da istatistiksel veriler sisteme hiç girilmemiş olabilir.

Tablo 3. Gıda Zehirlenmesi Vakalarının Yaşandığı Dönemlerin Dağılımı

Dönem	s	%
2010 (İlk 6 Ay)	9	2,6
2010 (İkinci 6 Ay)	15	4,4
2011 (İlk 6 Ay)	5	1,5
2011 (İkinci 6 Ay)	7	2,0
2012 (İlk 6 Ay)	177	51,8
2012 (İkinci 6 Ay)	3	0,9
2013 (İlk 6 Ay)	13	3,8
2013 (İkinci 6 Ay)	59	17,3
2014 (İlk 6 Ay)	35	10,2
2014 (İkinci 6 Ay)	1	0,3
2015 (İlk 6 Ay)	9	2,6
2015 (İkinci 6 Ay)	7	2,0
2016 (İlk 6 Ay)	2	0,6
2016 (İkinci 6 Ay)	0	0,0
Toplam	342	100

Oğur [31]'un 2015 yılının bahar aylarında, Bitlis ilindeki tüketicilerin gıda zehirlenmesi konusundaki bilinç ve bilgi düzeylerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirdiği araştırmasında 405 kişinin %42,7'sinin kendisinin veya ailesindeki herhangi bir bireyin gıda zehirlenmesi yaşadığı tespit edilmiştir. Oysa Tablo 3'e göre; 2015 yılında sadece 16 gıda zehirlenmesi vakasıyla karşılaşıldığı anlaşılmaktadır.

Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2016 [32] verileri incelendiğinde; gıda zehirlenmesi vakalarının “Bazı Enfeksiyöz ve Paraziter Hastalıklar (ICD-10 Ana Tanı Kodu: A00-B99)” ve “Yaralanma, Zehirlenme ve Dış Nedenlerin Diğer Bazı Sonuçları (ICD-10 Ana Tanı Kodu: S00-T98)” kapsamına girdiği, ancak enfeksiyon hastalıklarının vaka sayıları ve insidansı tablosunda dört hastalığın dışında diğer enfeksiyon hastalıklarına yer verilmediği görülmektedir. Bu bilgilerle gıda zehirlenmesi vakalarının Türkiye genelindeki vaka sayısının ve insidansının ne olduğunu ortaya koymak mümkün değildir. Gıda zehirlenmesi vakalarında konulan teşhislerin cinsiyete göre dağılımı Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Konulan Teşhislerin Cinsiyete Göre Dağılımı ($p<0,05$)

		Teşhis						
		A05.8 (s=163)	T62.0 (s=15)	T62.9 (s=13)	T62.8 (s=149)	A05.4 (s=1)	A05.9 (s=1)	
Cinsiyet	Kadın (s=156)	s	80	8	3	64	0	1
		%	51,3	5,1	1,9	41,0	0	0,6
	Erkek (s=186)	s	83	7	10	85	1	0
		%	44,6	3,8	5,4	45,7	0,5	0

Gıda zehirlenmesi vakalarında en çok konulan teşhisin kadınlarda (%51,3) “A05.8-Gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmış” olduğu, erkeklerde (%45,7) ise; “T62.8-Gıda olarak yenilen diğer tanımlanmış zararlı maddelerin toksik etkisi” olduğu belirlenmiştir. “T62.0-Mantar yemenin toksik etkisi” teşhisinin konulduğu kadın ve erkek sayısının hemen hemen eşit olduğu görülmüştür. Cinsiyet ile gıda zehirlenmesi vakalarında konulan teşhisler arasındaki farkın anlamlı ($p<0,05$) olduğu bulunmuştur (Tablo 4).

Gıda zehirlenmesi vakalarında konulan teşhislerin yaş aralığına göre dağılımı Tablo 5'te verilmiştir. 0-2 yaş aralığında 1 vaka ve >65 yaşta 5 vaka olduğu için yaş aralığına göre yapılan karşılaştırmalarda bu vakalar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Diğer yaş aralıkları ile gıda zehirlenmesi vakalarında konulan teşhisler arasındaki farkın anlamlı ($p<0,05$) olduğu bulunmuştur. “A05.8-Gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmış” ve “T62.0-Mantar yemenin toksik etkisi” teşhisinin en çok 3-11 yaş aralığındaki çocuklara konulduğu tespit edilmiştir. “T62.8-Gıda olarak yenilen diğer tanımlanmış zararlı

maddelerin toksik etkisi” ve “T62.9-Gıda olarak yenilen zararlı maddelerin toksik etkisi, tanımlanmamış” teşhisinin ise 18-65 yaş aralığındaki yetişkinlere konulduğu saptanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Konulan Teşhislerin Yaş Aralığına Göre Dağılımı ($p<0,05$)

			Teşhis					
			A05.8 (s=163)	T62.0 (s=15)	T62.9 (s=13)	T62.8 (s=149)	A05.4 (s=1)	A05.9 (s=1)
Yaş Aralığı	3-11 (s=61)	s	57	3	0	0	0	1
		%	93,4	4,9	0,0	0,0	0,0	1,6
	12-17 (s=73)	s	27	1	3	3	0	0
		%	37,0	1,4	4,1	4,1	0,0	0,0
	18-65 (s=202)	s	76	8	10	10	1	0
		%	37,6	4,0	5,0	5,0	0,5	0,0

Gıda zehirlenmesi vakalarında poliklinik sonucunun cinsiyete göre dağılımı Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Poliklinik Sonucunun Cinsiyete Göre Dağılımı ($p>0,05$)

			Poliklinik Sonucu	
			Ayakta Tedavi Edildi (s=287)	Yatırılarak Tedavi Edildi (s=55)
Cinsiyet	Kadın (s=156)	s	126	30
		%	80,8	19,2
	Erkek (s=186)	s	161	25
		%	86,6	13,4

Yatırılarak tedavi edilen kadınların oranının (%19,2) erkeklerin oranından (%13,4) daha yüksek olduğu, ayakta tedavi edilen erkeklerin oranının (%86,6) kadınların oranından (%80,8) daha yüksek olduğu saptanmıştır (Tablo 6). Bu durumun erkek ve kadın metabolizmasının birçok hastalık karşısında gösterdiği tepkilerin farklı olmasında olduğu gibi, gıda zehirlenmesi olgusunda da farklı yanıt üretmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak cinsiyet ile poliklinik sonucu arasındaki farkın anlamlı olmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir.

Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2016 [32] verilerine göre; gıda zehirlenmesi vakalarının da içerisinde yer aldığı “Bazı Enfeksiyöz ve Paraziter Hastalıklar (ICD-10 Ana Tanı Kodu: A00-B99)”ın ve “Yaralanma, Zehirlenme ve Dış Nedenlerin Diğer Bazı Sonuçları (ICD-10 Ana Tanı Kodu: S00-T98)”n hastane yatışlarının dağılımı tablosundaki 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ait kadın hasta oranının erkek hasta oranından daha düşük olduğu bildirilmiştir. Gıda zehirlenmesi vakalarında poliklinik sonucunun yaş aralığına göre dağılımı Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Poliklinik Sonucunun Yaş Aralığına Göre Dağılımı ($p<0,05$)

			Poliklinik Sonucu	
			Ayakta Tedavi Edildi (s=287)	Yatırılarak Tedavi Edildi (s=55)
Yaş Aralığı	3-11 (s=61)	s	20	41
		%	32,8	67,2
	12-17 (s=73)	s	72	1
		%	98,6	1,4
	18-65 (s=202)	s	191	11
		%	94,6	5,4

3-11 yaş aralığındaki çocuk hastaların daha çok yatırılarak tedavi edildiği (%67,2) diğer yaş aralığındaki hastaların ise daha çok ayakta tedavi edildiği (%98,6 ve %94,6) görülmüştür. Ayrıca, yaş aralığı ile poliklinik sonucu arasındaki farkın anlamlı ($p<0,05$) olduğu bulunmuştur (Tablo 7). 3-11 yaş aralığındaki çocukların bağışıklık sistemi daha zayıf olduğu ve henüz tam olarak gelişmediği için gıda

zehirlenmesi olgusu adölesanlara ve yetişkinlere göre daha ağır seyredabilmektedir. Gıda zehirlenmesi vakalarında tedavinin yapıldığı servislerin cinsiyete göre dağılımı Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Tedavinin Yapıldığı Servislerin Cinsiyete Göre Dağılımı ($p>0,05$)

		Servis						
		Acil Servis (s=329)	Enfeksiyon Servisi (s=1)	Çocuk Hastalıkları Servisi (s=5)	İç Hastalıkları Servisi (s=2)	Dermatoloji Servisi (s=4)	Genel Cerrahi Servisi (s=1)	
Cinsiyet	Kadın (s=156)	s	149	1	2	1	3	0
		%	95,5	0,6	1,3	0,6	1,9	0,0
	Erkek (s=186)	s	180	0	3	1	1	1
		%	96,8	0,0	1,6	0,5	0,5	0,5

Gıda zehirlenmesi vakalarında tedavinin yapıldığı servislerin başında yer alan acil serviste tedavi gören erkeklerin oranının (%96,8) kadınların oranından (%95,5) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yatırılarak tedavi edilen kadınların oranının (%19,2) erkeklerin oranından (%13,4) daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Tablo 6). Ancak cinsiyet ile tedavinin yapıldığı servisler arasındaki farkın anlamlı olmadığı ($p>0,05$) saptanmıştır (Tablo 8).

Türkiye’de gıda zehirlenmesi olgusuna rastlayan acil servisteki sağlık personelinin, zehirlenmenin etkeni olan patojenler ve delil özelliğine sahip biyolojik materyallerin alınması ve korunmasıyla ilgili eksik bilgi sahibi olduğu bildirilmiştir [33, 34].

Acil servis kliniklerinde görev yapan doktor ve yardımcı sağlık personeli, gıda zehirlenmesi olgusuyla karşılaştığında öncelikle tedavinin başarısı için hastaya doğru teşhis konulmasının önemini gereği olarak; hastanın anamnezini ayrıntılı bir şekilde almalı ve vakit kaybetmeden yine tanıda gerekli olan kusmuk, kan, gaita gibi klinik örnekleri toplayarak ilgili laboratuvarlara hızlı bir şekilde ulaştırılmasını sağlamalıdır. Tedaviden önce veya tedavi sırasında adli merciler ile iletişim kurularak, muhakkak vakaya ait gıda zehirlenmesi bildirimini yapılması gerekmektedir. Acil servis kliniklerinde görev yapan doktor ve diğer sağlık çalışanları, gıda zehirlenmesi, bu zehirlenmenin sebebi olan patojenler konusunda hem teorikte hem de pratikte yeterli bilgi ve birikimi elde ederler, farklı eğitim uygulamaları ile bu bilgi ve birikimlerini daha da ileriye götürürler ise, gıda zehirlenmesi vakalarının kontrol altına alınabilmesi, tekrarının önlenmesi, ayrıca adli vakaların çözüme kavuşması daha da kolaylaşacaktır [26]. Gıda zehirlenmesi vakalarında tedavinin yapıldığı servislerin yaş aralığına göre dağılımı Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Tedavinin Yapıldığı Servislerin Yaş Aralığına Göre Dağılımı ($p<0,05$)

		Servis						
		Acil Servis (s=329)	Enfeksiyon Servisi (s=1)	Çocuk Hastalıkları Servisi (s=5)	İç Hastalıkları Servisi (s=2)	Dermatoloji Servisi (s=4)	Genel Cerrahi Servisi (s=1)	
Yaş Aralığı	3-11 (s=61)	s	58	0	3	0	0	0
		%	95,1	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0
	12-17 (s=73)	s	71	0	2	0	0	0
		%	97,3	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0
	18-65 (s=202)	s	196	1	0	1	4	0
		%	97,0	0,5	0,0	0,5	2,0	0,0

Yaş aralığı ile tedavinin yapıldığı servisler arasındaki farkın anlamlı ($p<0,05$) olduğu, 3-11 yaş aralığındaki çocukların ve 12-17 yaş aralığındaki adölesanların bir kısmının (%4,9 ve %2,7) çocuk hastalıkları servisinde yatırılarak tedavi edildiği anlaşılmıştır (Tablo 9).

Acil servis kliniklerine gelen gıda zehirlenmesi vakalarının genellikle gençlerin içinde bulunduğu yaş grubunda olduğu kaydedilmektedir [15]. Hall ve ark. [12]’nin araştırmasında gıda zehirlenmesi olgularının %75’inin, Weir ve ark. [13]’nin araştırmasında gıda zehirlenmesi olgularının

%70'inin 35 yaş altında olduğu, Özköse ve ark. [17]'nin araştırmasında ise gıda zehirlenmesi olgularının %63.6'sının 25 yaş altında olduğu bildirilmektedir. Gıda zehirlenmesi vakalarında teşhislerin dönemlere göre dağılımı Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Teşhislerin Dönemlere Göre Dağılımı

		Teşhis						
		A05.8 (s=163)	T62.0 (s=15)	T62.9 (s=13)	T62.8 (s=149)	A05.4 (s=1)	A05.9 (s=1)	
Dönem	2010 İlk 6 Ay (s=9)	s	9	0	0	0	0	0
		%	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2010 İkinci 6 Ay (s=15)	s	6	1	8	0	0	0
		%	40,0	6,7	53,3	0,0	0,0	0,0
	2011 İlk 6 Ay (s=5)	s	3	1	0	0	1	0
		%	60,0	20,0	0,0	0,0	20,0	0,0
	2011 İkinci 6 Ay (s=7)	s	3	1	3	0	0	0
		%	42,9	14,3	42,9	0,0	0,0	0,0
	2012 İlk 6 Ay (s=177)	s	26	3	1	147	0	0
		%	14,7	1,7	0,6	83,1	0,0	0,0
	2012 İkinci 6 Ay (s=3)	s	2	0	0	1	0	0
		%	66,7	0,0	0,0	33,3	0,0	0,0
	2013 İlk 6 Ay (s=13)	s	11	1	1	0	0	0
		%	84,6	7,7	7,7	0,0	0,0	0,0
	2013 İkinci 6 Ay (s=59)	s	59	0	0	0	0	0
		%	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2014 İlk 6 Ay (s=35)	s	33	1	0	1	0	0
		%	94,3	2,9	0,0	2,9	0,0	0,0
	2014 İkinci 6 Ay (s=1)	s	1	0	0	0	0	0
		%	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2015 İlk 6 Ay (s=9)	s	4	5	0	0	0	0	
	%	44,4	55,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
2015 İkinci 6 Ay (s=7)	s	5	1	0	0	0	1	
	%	71,4	14,3	0,0	0,0	0,0	14,3	
2016 İlk 6 Ay (s=2)	s	1	1	0	0	0	0	
	%	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2016 İkinci 6 Ay (s=0)	s	0	0	0	0	0	0	
	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Gıda zehirlenmesi vakalarının en çok yaşandığı dönem olan 2012 yılının ilk 6 aylık döneminde, en fazla oranda (%83,1) "T62.8-Gıda olarak yenilen diğer tanımlanmış zararlı maddelerin toksik etkisi" teşhisinin konulduğu belirlenmiştir. Gıda zehirlenmesi vakalarının en sık görüldüğü ikinci dönem olan 2013 yılının ikinci 6 aylık döneminde ise vakaların tamamına (%100) "A05.8-Gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmış" teşhisinin konulduğu tespit edilmiştir (Tablo 10). Gıda zehirlenmesi vakalarında poliklinik sonucunun dönemlere göre dağılımı Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Poliklinik Sonucunun Dönemlere Göre Dağılımı

		Poliklinik Sonucu		
		Ayakta Tedavi Edildi (s=287)	Yatırılarak Tedavi Edildi (s=55)	
Dönem	2010 İlk 6 Ay (s=9)	s	9	0
		%	100,0	0,0
	2010 İkinci 6 Ay (s=15)	s	15	0
		%	100,0	0,0
	2011 İlk 6 Ay (s=5)	s	5	0
		%	100,0	0,0
	2011 İkinci 6 Ay (s=7)	s	6	1
		%	85,7	14,3
	2012 İlk 6 Ay (s=177)	s	176	1
		%	99,4	0,6
	2012 İkinci 6 Ay (s=3)	s	3	0
		%	100,0	0,0
	2013 İlk 6 Ay (s=13)	s	12	1
		%	92,3	7,7
	2013 İkinci 6 Ay (s=59)	s	17	42
		%	28,8	71,2
	2014 İlk 6 Ay (s=35)	s	35	0
		%	100,0	0,0
	2014 İkinci 6 Ay (s=1)	s	1	0
		%	100,0	0,0
2015 İlk 6 Ay (s=9)	s	4	5	
	%	44,4	55,6	
2015 İkinci 6 Ay (s=7)	s	4	3	
	%	57,1	42,9	
2016 İlk 6 Ay (s=2)	s	0	2	
	%	0,0	100,0	
2016 İkinci 6 Ay (s=0)	s	0	0	
	%	0,0	0,0	

Gıda zehirlenmesi vakalarının en sık yaşandığı dönem olan 2012 yılının ilk 6 aylık döneminde, hastaların çoğunun (%99,4) ayakta tedavi edildiği saptanmıştır. Gıda zehirlenmesi vakalarının en sık yaşandığı ikinci dönem olan 2013 yılının ikinci 6 aylık döneminde ise hastaların çoğunun (%71,2) yatırılarak tedavi edildiği bulunmuştur (Tablo 11).

Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2016 [32] verileri incelendiğinde; gıda zehirlenmesi vakalarının da içerisinde yer aldığı “Bazı Enfeksiyöz ve Paraziter Hastalıklar (ICD-10 Ana Tanı Kodu: A00-B99)”ın hastane yatışlarının dağılımının 2014 yılında %2,9, 2015 yılında %2,6, 2016 yılında %2,6, “Yaralanma, Zehirlenme ve Dış Nedenlerin Diğer Bazı Sonuçları (ICD-10 Ana Tanı Kodu: S00-T98)”ın hastane yatışlarının dağılımının 2014 yılında %4,9, 2015 yılında %4,8, 2016 yılında %5,0 olduğu kaydedilmiştir. Ayrıca hastanelerde yatan hastaların ortalama kalış günü “Bazı Enfeksiyöz ve Paraziter Hastalıklar (ICD-10 Ana Tanı Kodu: A00-B99)”da 2013 yılında 3,5, 2014 yılında 3,5, 2015 yılında 3,6, 2016 yılında 4,0, “Yaralanma, Zehirlenme ve Dış Nedenlerin Diğer Bazı Sonuçları (ICD-10 Ana Tanı Kodu: S00-T98)”nda 2013 yılında 4,6, 2014 yılında 5, 2015 yılında 5, 2016 yılında 5 olduğu rapor edilmiştir. Gıda zehirlenmesi vakalarında tedavinin yapıldığı servislerin dönemlere göre dağılımı Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Tedavinin Yapıldığı Servislerin Dönemlere Göre Dağılımı

		Servis						
		Acil Servis (s=329)	Enfeksiyon Servisi (s=1)	Çocuk Hastalıkları Servisi (s=5)	İç Hastalıkları Servisi (s=2)	Dermatoloji Servisi (s=4)	Genel Cerrahi Servisi (s=1)	
Dönem	2010 İlk 6 Ay (s=9)	s	9	0	0	0	0	0
		%	100,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	2010 İkinci 6 Ay (s=15)	s	14	0	0	0	0	1
		%	93,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7
	2011 İlk 6 Ay (s=5)	s	4	0	1	0	0	0
		%	80,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0
	2011 İkinci 6 Ay (s=7)	s	6	0	0	0	1	0
		%	85,7	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0
	2012 İlk 6 Ay (s=177)	s	173	1	0	0	3	0
		%	97,7	0,6	0,0	0,0	1,7	0,0
	2012 İkinci 6 Ay (s=3)	s	3	0	0	0	0	0
		%	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2013 İlk 6 Ay (s=13)	s	12	0	1	0	0	0
		%	92,3	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0
	2013 İkinci 6 Ay (s=59)	s	58	0	1	0	0	0
		%	98,3	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0
	2014 İlk 6 Ay (s=35)	s	34	0	0	1	0	0
		%	97,1	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0
	2014 İkinci 6 Ay (s=1)	s	0	0	1	0	0	0
		%	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
2015 İlk 6 Ay (s=9)	s	9	0	0	0	0	0	
	%	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2015 İkinci 6 Ay (s=7)	s	6	0	0	1	0	0	
	%	85,7	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	
2016 İlk 6 Ay (s=2)	s	1	0	1	0	0	0	
	%	50,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	
2016 İkinci 6 Ay (s=0)	s	0	0	0	0	0	0	
	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Gıda zehirlenmesi vakalarının en çok yaşandığı dönem olan 2012 yılının ilk 6 aylık döneminde ve 2011 yılının ikinci 6 aylık döneminde bazı hastaların (s=4) dermatoloji servisinde tedavi gördüğünün tespit edilmesi ilginç bulunmuştur (Tablo 12).

Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2016 [32] verilerine göre; gıda zehirlenmesi vakalarının da içerisinde yer aldığı “Bazı Enfeksiyöz ve Paraziter Hastalıklar (ICD-10 Ana Tanı Kodu: A00-B99)”ın ölüm nedenlerinin dağılımındaki oranı 2014 yılında %1,78, 2015 yılında %2,10, 2016 yılında %2,07 olduğu, “Yaralanma, Zehirlenme ve Dış Nedenlerin Diğer Bazı Sonuçları (ICD-10 Ana Tanı Kodu: S00-T98)”ın ölüm nedenlerinin dağılımındaki oranı 2014 yılında %5,25, 2015 yılında %4,77, 2016 yılında %4,44 olduğu görülmektedir. Cinsiyete göre ölüm nedenlerinin dağılımı tablosunda “Bazı Enfeksiyöz ve Paraziter Hastalıklar (ICD-10 Ana Tanı Kodu: A00-B99)”ın kadınlarda ölüme sebep olma oranının erkeklerden daha yüksek olduğu, ancak, “Yaralanma, Zehirlenme ve Dış Nedenlerin Diğer Bazı Sonuçları (ICD-10 Ana Tanı Kodu: S00-T98)”ın kadınlarda ölüme sebep olma oranının erkeklerden daha düşük olduğu kaydedilmiştir. Gıda zehirlenmesi vakalarında teşhislerin mevsimlere göre dağılımı Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. Gıda Zehirlenmesi Vakalarında Teşhislerin Dönemlere Göre Dağılımı ($p<0,05$)

Mevsimler	A05.8		T62.0		T62.9		T62.8		A05.4		A05.9		Toplam	
	s	%	s	%	s	%	s	%	s	%	s	%	s	%
İlkbahar	71	43,6	9	60,0	1	7,7	148	99,3	1	100,0	0	0,0	230	67,2
Yaz	8	4,9	2	13,3	6	46,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	16	4,7
Sonbahar	9	5,5	2	13,3	5	38,4	1	0,7	0	0,0	1	100,0	18	5,3
Kış	75	46,0	2	13,3	1	7,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	78	22,8
Toplam	163	100,0	15	100,0	13	100,0	149	100,0	1	100,0	1	100,0	342	100,0

“A05.8-Gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmış” teşhisinin konulduğu gıda zehirlenmesi olgusunun yaz ve sonbahar mevsimlerinde en az (sırasıyla; %4,9, %5,5) yaşandığı, “T62.0-Mantar yemenin toksik etkisi” teşhisinin konulduğu gıda zehirlenmesi olgusunun en çok (%60,0) ilkbahar mevsiminde görüldüğü tespit edilmiştir. “T62.9-Gıda olarak yenilen zararlı maddelerin toksik etkisi, tanımlanmamış” teşhisinin konulduğu gıda zehirlenmesi olgusunun en çok (%46,2) yaz mevsiminde, “T62.8-Gıda olarak yenilen diğer tanımlanmış zararlı maddelerin toksik etkisi” teşhisinin konulduğu gıda zehirlenmesi olgusunun tamamına yakınının (%99,3) ilkbahar mevsiminde yaşandığı saptanmıştır. Sadece birer vakanın görüldüğü “A5.04-Gıda kökenli *Bacillus cereus* zehirlenmesi” teşhisinin konulduğu gıda zehirlenmesi olgusunun ilkbahar mevsiminde ve “A5.09-Bakteriyel gıda zehirlenmesi, tanımlanmamış” teşhisinin konulduğu gıda zehirlenmesi olgusunun sonbahar mevsiminde görüldüğü belirlenmiştir. Genel bir değerlendirme olarak ise; gıda zehirlenmesi vakalarının en fazla (%67,2) yaşandığı mevsimin ilkbahar olduğu anlaşılmıştır (Tablo 13).

Ülkemizde yapılan bazı çalışmalarda da ilkbahar ve yaz aylarında zehirlenme olgularında belirgin artış olduğu saptanmıştır [35, 36].

Türkiye’deki sağlık kurumlarında, gıda zehirlenmesi olgusuyla karşılaşıldığında 2007 yılına kadar kullanılan “Gıda Zehirlenmeleri Formu” uygulamadan kaldırılarak, tüm zehirlenmelerin tek bir çatı altında toplanması amacıyla “Zehirlenme Vaka Bildirim Formu” düzenlenmiş ve gıda zehirlenmesi de dahil tüm zehirlenme vakalarının 24 saat içinde İl/İlçe Sağlık Müdürlüklerine bu formla bildirim yapılması istenmiştir. Zehirlenme bildirimde bulunurken, müdahaleyi yapan personel ve müdahalenin gerçekleştiği kuruma ait bilgiler, bildirim formunun düzenlendiği tarih, hastaya ait adres ve kimlik bilgileri, zehirlenme vakasıyla ilgili bilgiler (başvuru tarihi, zehirlenme zamanı ve yeri, zehirlenmede etken olan madde, hastanın şikâyetleri, şikâyetlerin ortaya çıktığı zaman, ölümle sonuçlanmış durumda ölüm zamanı) eksiksiz bir şekilde belirtilmelidir [26].

Gıda zehirlenmesi olgularının adli olarak bildirim yapılması gerektiği, ilgili tüm sağlık personelinin yasal bir yükümlülüğü olduğu [26] ve Türk Ceza Kanunu’nun (TCK) 280. Maddesine (Görevini yaptığı sırada bir suçun işlendiği yönünde bir belirti ile karşılaşmasına rağmen, durumu yetkili makamlara bildirmeyen veya bu hususta gecikme gösteren sağlık mesleği mensubu cezalandırılır.) girdiği unutulmamalıdır [37].

Adli bir olguda kayıtların düzgün tutulması ve arşivlenmesi çok önemlidir. Gıda zehirlenmesi olgusuyla karşılaşıldığında, hastaya ait kimlik bilgileri, özgeçmiş, şikâyetler, anamnez, fiziki muayeneden elde edilen bulgular, gerçekleştirilen tetkikler ile ilgili sonuçlar ve uygulanmış olan tedavi bilgileri düzenli bir şekilde kayıt altına alınmalı ve gerektiği durumda adli mercilere iletmek üzere arşivlenmelidir [38, 39]. Ayrıca delil niteliği taşıyan, vakaya ait örneklerin usulüne uygun olarak alınması, muhafaza edilmesi ve yetkili kuruluşlara iletilmesi hususunda da tüm sağlık personelinin sorumluluklarını bilmesi ve yapması gerekmektedir [35].

Sebebi ne olursa olsun, tüm zehirlenme olgularında olduğu gibi gıda zehirlenmesi olgusunun da adli olgu kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir [38, 40, 41]. Eksik ya da yanlış bir adli rapor oluşturmak veya hiç düzenlememek, oldukça önemli olan, yasal bir yükümlülüğü yerine getirmemek demektir [40-43].

4. Sonuç ve Öneriler

Bitlis Devlet Hastanesi’nde 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmeleri vakalarının sayısının 342 olduğu tespit edilmiştir. En çok gıda zehirlenmeleri vakası 18-65 yaş arasındaki bireylerde (%59,1), erkeklerde (%54,4) ve 2012 yılının ilk 6 ayında (%51,8) görülmüştür. Vakaların %47,7’sine A05.8 ICD

kodlu “gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmış” teşhisi konulurken; %43,6’sına T62.8 ICD kodlu “gıda olarak yenilen diğer tanımlanmış zararlı maddelerin toksik etkisi” teşhisi konulmuştur. Hastaların %83,9’u ayakta tedavi edilmiştir. Hastaların yaş aralığı ile poliklinik sonuçları arasındaki farkın anlamlı ($p<0,05$) olduğu, bağışıklık sistemi yetişkinlere göre daha zayıf olan çocukların (3-11 yaş) daha çok (%67,2) yatırılarak tedavi edildiği belirlenmiştir.

Bitlis Devlet Hastanesi’nde görülen gıda zehirlenmesi vakalarıyla ilgili istatistiksel verilerin düzenli halleri oldukça zor elde edilmiş, gıda zehirlenmesi vaka bildirimlerinin eksik yapıldığı ve istatistiksel verilerin düzgün olarak kaydedilmediği görülmüştür.

Zehir Danışma Merkezlerinin yapısı ve kullandıkları mevcut bilgi sistemleri güçlendirilmeli, gıda kaynaklı zehirlenmelerde daha etkin olarak faydalanılmalıdır.

Yaygın bir halk sağlığı sorunu olan gıda zehirlenmesi vakalarına etkin bir müdahalenin yapılması için hekimlerin ilgili makamlara gerekli bildirimleri yapması ve ilgili verilerin düzenli bir şekilde kaydedilmesi oldukça önemlidir. Ancak bu sayede gıda zehirlenmesinin asıl sebebinin ve sorumlularının öğrenilmesi mümkün olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Baş M. 2004. Gıda hijyeni güvenliği ve HACCP. Sim Matbaacılık, Ankara.
- [2] Donald A.C. 1998. HACCP user’s manual. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland.
- [3] Bütün C., Beyaztaş F.Y., Engin A., Büyükkayhan D., Can M. 2009. Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Adli Tıp Anabilim Dalı’na Başvuran Besin Zehirlenmesi Olgularının Değerlendirilmesi. Van Tıp Dergisi, 16 (1): 19-23.
- [4] Merdol T.K., Başoğlu S., Örer N. 1999. Beslenme ve Diyetetik Açıklamalı Sözlük. 2. Baskı, Hatiboğlu Yayınları, Ankara.
- [5] FAO/WHO 2002. Pan European Conference on Food Safety and Quality. February, 2002. <http://www.fao.org> (Erişim Tarihi: 10.12.2016)
- [6] Centers for Disease Control and Prevention. 2011. <http://www.cdc.gov/Features/dsFoodborneOutbreaks/> (Erişim Tarihi: 08.05.2019).
- [7] Food Poisoning Statistics 2013. <https://www.edgarsnyder.com/food-poisoning/food-poisoning-statistics.html> (Erişim Tarihi: 08.05.2019).
- [8] Şimşek F. 2005. Besin Zehirlenmeleri. Toksikoloji Dergisi, 3 (1): 3-9.
- [9] Özcan N., İkinciogulları D. 2009. Ulusal Zehir Danışma Merkezi 2008 Yılı Çalışma Raporu Özeti. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 66 (3): 29-58.
- [10] WHO. 2016. Official World and Health Organization Updates 2016 Package. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems. 10th Revision, ICD-10 Version:2016. <https://www.who.int/classifications/icd/icd10updates/en/> (Erişim Tarihi: 22.01.2019).
- [11] Yücel F., Günay Y. 2000. Ölümcül Olmayan Zehirlenme Olgularının Adli Tıp Yönünden Değerlendirilmesi. Adli Tıp Bülteni, 5 (3): 251-253.
- [12] Hall A.K. 1994. Changing Epidemiology and Management of Deliberate Self Poisoning in Christchurch. New Zealand Medical Journal, 107 (987): 396-399.
- [13] Weir P. 1998. The epidemiology of deliberate self poisoning presenting to Christchurch Hospital Emergency Department. New Zealand Medical Journal, 111 (1063): 127-129.
- [14] Urazel B., Çelikal A., Karbeyaz K., Akkaya H. 2014. Gıda Zehirlenmesine Bağlı Rapor Düzenlenen Adli Olguların Değerlendirilmesi. Dicle Medical Journal, 41: 113-117.
- [15] Akköse Ş., Fedakar R., Bulut M., Çebiçi H. 2003. Zehirlenme Olgularının Beş Yıllık Analizi. Acil Tıp Dergisi, 3 (1): 8-10.
- [16] Yeşil O., Akoğlu H., Onur Ö., Güneysel Ö. 2008. Acil Servise Başvuran Zehirlenme Olgularının Geriye Dönük Analizi. Marmara Medical Journal, 21 (1): 26-32.
- [17] Özköse Z., Ayoğlu F. 1999. Etiological and Demographical Characteristics of Acute Adult Poisoning in Ankara, Turkey. Human and Experimental Toxicology, 18 (10): 614-618.
- [18] Kavalcı C., Durukan P., Çevik Y., Özer M., İkizceli İ. 2006. Zehirlenme Olgularının Analizi: Yeni Bir Hastanenin Bir Yıllık Deneyimi. Türkiye Acil Tıp Dergisi, 6 (4): 163-166.
- [19] Yılmaz A., Kukul Güven F., Korkmaz İ., Karabulut S. 2006. Acil Serviste Akut Zehirlenmelerin Retrospektif Analizi. Cerrahpaşa Üniversitesi Tıp Dergisi, 28: 21-26.

- [20] Ok G., Erbüyün K., Mirzai T., Vatansever D., Tok D. 2006. Acil Servise Başvuran Zehirlenme Olgularının Retrospektif Olarak İncelenmesi. *Toksikoloji Dergisi*, 4 (3-4): 5-9.
- [21] Akçay A., Gürses D., Özdemir A., Kılıç İ., Ergin H. 2005. Denizli İlindeki Çocukluk Çağı Zehirlenmeleri. *Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 6 (1): 15-19.
- [22] Tucer D. 2015. Gıda Zehirlenmeleri ve Toksik Hepatit. *Güncel Gastroenteroloji*, 19 (3): 188-196.
- [23] Besli G.E., Ergüven M. 2009. Çocuklarda Besin ve Mantar Zehirlenmeleri. *Çocuk Enfeksiyonları Dergisi*, 3 (3): 126-131.
- [24] Bilici S., Uyar F.M., Beyhan Y., Sağlam F. 2008. Besin Zehirlenmeleri, Nedenleri ve Korunma Yolları. T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Beslenme ve Fiziksel Aktiviteler Daire Başkanlığı, Sağlık Bakanlığı Yayın No: 727, Ankara.
- [25] Erkmek O. 2011. Gıda Mikrobiyolojisi. Elif Yayınevi, Ankara.
- [26] Öz V., Karadayı Ş., Çakan H., Karadayı B., Kaya A. 2014. Acil Tedavi Birimlerinde Gıda Zehirlenmeleri. *Marmara Medical Journal*, 27: 89-95.
- [27] TGK. 2011. Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği. Yayımlandığı Resmi Gazete Tarihi: 29.12.2011, Yayımlandığı Resmi Gazete Sayısı: 28157.
- [28] Ayçiçek H., Aktan H.T. 2003. Gıda Kaynaklı Salgınlarda Soruşturma İlkeleri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 60 (3): 95-99.
- [29] Bölükbaş F. 2009. İlaça ve toksik nedenlere bağlı karaciğer hastalıklarına yaklaşım. içinde: *Karaciğer Hastalıklarına Klinik Yaklaşım*, Değertekin H., Yalçın K. (Ed.), Pars Yayıncılık, İstanbul, 197-214.
- [30] Yardan T., Eden A.O., Baydın A., Aslan B., Vural K. 2008. Mantar Zehirlenmeleri. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 25 (2): 75-83.
- [31] Oğur S. 2016. Consciousness Level and Knowledge Level of Consumers in Bitlis City about Food Poisoning. *International Engineering, Science and Education Conference*, 01-03 December, Engineering Proceeding Book, pp: 1152-1168, Diyarbakır, Türkiye.
- [32] Sağlık Bakanlığı. 2016. T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2016. Sağlık Araştırmaları Genel Müdürlüğü, Sağlık Bakanlığı Yayın No: 727, Ankara.
- [33] İlçe A., Yıldız D., Baysal G., Özdoğan F., Taş F. 2010. Acil Servislerde Çalışan Sağlık Bakım Personelinin Adli Olgularda Delillerin Korunması ve Saklanması Yönelik Bilgi ve Uygulamalarının İncelenmesi. *Ulusal Travma ve Acil Cerrahi Dergisi*, 16 (6): 546-51.
- [34] Karadayı B., Kolusayın M.Ö., Kaya A., Karadayı Ş. 2013. Acil Tedavi Birimlerinde Adli Olgudan Biyolojik Materyal Alınması ve Gönderilmesi. *Marmara Medical Journal*, 26 (3): 111-117.
- [35] Bostancı İ., Küpelioglu M., Bedir E., Cinbiş M., Akşit M.A. 1999. Çocuk Zehirlenme Olgularının Retrospektif Değerlendirilmesi. *Türkiye Klinikleri Pediatri Dergisi*, 8: 143-146.
- [36] Aji D.Y., Keskin S., İltar Ö. 1998. İ. Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Acil Biriminde İzlenen Zehirlenmelerin Değerlendirilmesi. *Türk Pediatri Arşivi*, 33: 148-153.
- [37] Resmi Gazete 2014. Türk Ceza Kanunu. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/10/20041012.htm> (Erişim Tarihi: 16.01.2017)
- [38] Gürpınar T., Aşıröz M. 2006. Zehirlenmelerde Hekim Sorumluluğu. *Türkiye Klinikleri Journal of Surgical Medical Sciences*, 2 (50): 56-62.
- [39] Yavuz S. 2006. Tıbbi Kayıtların Düzenlenmesi ve Saklanması Görülen Eksiklikler ve Hukuki Sonuçları. *Türkiye Klinikleri Journal of Surgical Medical Sciences* 2 (50): 20-27.
- [40] Karbeyaz K., Gündüz T., Akkaya H., Urazel B., Kökçüoğlu M.A. 2012. Adli Raporlara Dikkat; Eskişehir Deneyimi. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 21 (5): 292-296.
- [41] Tuğcu H., Yorulmaz C., Ceylan S., Baykal B., Celasun B., Koç S. 2003. Acil Servis Hizmetine Katılan Hekimlerin, Acil Olgularda Hekim Sorumluluğu ve Adli Tıp Sorunları Konusundaki Bilgi ve Düşünceleri. *Gülhane Tıp Dergisi*, 45: 175-179.
- [42] Tüzün B., Elmas İ., Akkay E. 1998. Adli Rapor Düzenleme Zorunluluğuna Hekimlerin Yaklaşımı. *Adli Tıp Bülteni*, 3 (1): 27- 31.
- [43] Bengidal M.S., Keskinçilç B., Kuvan L., Odabaşı O., Bengidal S. 2001. Acil Servislerde Hekimin Adli Sorumluluğu. *Step*, 10 (8): 301-305.

Araştırma Makalesi / Research Article

Senkron Generatörlerde Farklı Stator Oluk Yapılarının Uç Gerilimine Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi

Selami BALCI*

*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Karaman
(ORCID: 0000-0002-3922-4824)*

Öz

Senkron generatörlerin uluslararası standartlara uygun değerlerde AA gerilim üretebilmeleri için stator ve rotorun mekanik yapısının tasarım aşamasında belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde, stator üzerindeki olukların yapısı, yerleşimi ve sargı adımı gibi tasarım parametreleri ile rotor kesitinin generatörde üretilen gerilimin temel ve harmonik bileşenlerini etkilediği bilinmektedir. Tasarım sürecini kısaltmak ve maliyetleri düşürmek için elektromanyetik yazılımlardan yararlanmak çok önemlidir. Bu çalışmada, hava araçlarının yer beslemesinde kullanılan 400 Hz frekanslı 5 kVA anma güç değerinde bir senkron generatorün stator olukları iki farklı yapıda tasarlanmış ve Ansys-Maxwell/RMxpert elektromanyetik modelleme yazılımı ile benzetimi yapılmıştır. Böylece, 400 Hz generator için stator oluk yapısında mekanik düzenleme ile çıkış filtre gereksinimlerini azaltan bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Senkron Generator, Stator Oluk Yapısı, THD, SEA.

Analysis of the Effect of Different Stator Slot structures on the Terminal Voltage of the Synchronous Generators with Finite Element Method

Abstract

It is of great importance to determine the mechanical structure of the stator and rotor at the design stage so that synchronous generators can produce AA voltage in accordance with international standards. Similarly, it is known that the design parameters such as the structure of the slots on the stator, placement and slot pitch of the winding on the stator and the rotor section affect the fundamental and harmonic components of the voltage generated in the generator. It is very important to use electromagnetic software to shorten the design process and reduce costs. In this study, the stator slots of a synchronous generator with a rated power of 5 kVA at 400 Hz frequency used in the ground feeding of aircraft are designed in two different structures and simulated with Ansys-Maxwell / RMxpert electromagnetic modeling software. Thus, a study was performed which reduce the output filter requirements by mechanical arrangement in stator slot structure for 400 Hz generator.

Keywords: Synchronous Generator, Stator Slot Structure, THD, FEA.

1. Giriş

Generatörlerin kutup yapıları silindirik ve çıkıntılı olmak üzere iki farklı yapıdadır. Çıkıntılı kutuplu senkron generatörler genellikle hidroelektrik ve rüzgâr santrali gibi çok kutuplu ve düşük devir gerektiren yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, küçük güçlü ve yüksek frekanslı generatörlerin kutup yapılarında da karşılaşılabilmektedir [1]. Generatörlerin saf sinüzoidale yakın formda gerilim üretebilmeleri için stator ve rotor arasındaki hava aralığı mesafesi en önemli parametrelerden birisidir ve hava aralığı akısının sinüzoidal formda olması için kutup yapıları ve stator sargılarında düzenlemeler yapılmaktadır [2]. Alçak gerilimli generatörlerde bu mesafe 1-3 mm gibi çok küçük değerlerde olmasına rağmen yüksek gerilim üreten büyük elektrik santrallerindeki generatörlerde

*Sorumlu yazar: sbalci@kmu.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.01.2019, Kabul Tarihi: 24.07.2019

ise yalıtım mesafesi nedeniyle hava aralığı çok fazla küçültülememekte ve 0,5-4 cm gibi daha büyük değerlerde olabilmektedir [3].

Çıkıntılı kutuplu generatörlerde genellikle kutup ayakları kavisli yapılıdır. Bu nedenle kutup ayakları ile stator oluklarının aralarındaki mesafe her yerde aynı değildir. Böylece, hava aralığındaki akı sinüzoidal formda oluşmaktadır [3]. Silindirik kutuplu generatörlerde ise rotor yüzeyi ile stator yüzeyi arasındaki hava aralığı her yerde eşit mesafede olduğundan bu tip generatörlerin stator sargılarında kısaltılmış adım yani kesirli sarımlar yapılarak sinüzoidal gerilimler elde edilebilmektedir [4, 5]. Stator kısmında yapılan bu düzenlemeler generatörün motor konumunda çalışması sırasında daha düzgün moment üretilmesini de sağlamaktadır. Bununla birlikte rotor kısımlarına sincap kafes sistemi ve kutup ayaklarına ise damper sargıları yani kısa devre çubukları yerleştirme gibi önlemler de literatürde sıklıkla karşılaşılan bir durumdur [6]. Asenkron motorlarda ise rotor oluklarının belirli bir açıda eksenden kayık (eğik) olarak yapılması moment vuruntularını azaltmaktadır [7-9]. Benzer olarak, senkron generatörlerde stator oluklarının eksenden kayık olarak yapılması da elde edilen gerilimin toplam harmonik bozulması (THD) değerine etki etmektedir [10].

Uluslararası harmonik standartları (IEEE-519) gereği 1 kV' un altındaki generatörlerin ürettiği oldukları gerilimlerin bireysel harmonik bozulma olarak %5 değerini, THD olarak gerilim dalga formundaki bozulma sınırları için ise %8 değerini aşmamalıdır [11]. Bu değerler 51. harmonik bileşenlere kadar tek sayılı olanlar hesaplamaya dahi edilerek belirlenmektedir. Generatörlerin gerilimlerinde standartların limitlerine göre kabul edilebilir sınırlar dâhilinde bazı durumlarda pasif filtre devreleri tasarlanabilmektedir. Genelde karşılaşılan durum, kutup ayaklarında bir takım mekanik şekillendirmeler olmakla beraber nadiren de olsa özel uygulamalarda stator oluklarının eksenden belirli bir açıda kayık olarak yapılmasıdır. Asimetrik stator sargı dağılımı gibi dağıtılmış sargıların tasarımları da üretilen gerilim dalga formuna etki etmektedir [12-14].

Bu çalışmada, 5 kVA güç değerinde 16 kutuplu 400 Hz frekanslı bir senkron generatorün iki farklı tasarımda stator oluk yapısına göre Ansys-RMxprt yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar analizi (SEA) ile modellenmiştir. Elektromanyetik modelleme ile elde edilen verilere göre farklı oluk tasarımları için üretilen gerilimlerin dalga formları, harmonik spektrum grafikleri, THD değerleri, nüve kayıpları ve moment eğrileri karşılaştırmalı olarak rapor edilmiştir. Böylece, 400 Hz generatör için stator oluk yapısında mekanik düzenleme ile harmonik filtre gereksinimlerini azaltan bir etki SEA ile rapor edilmiştir.

2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Elektromanyetik Modelleme

Elektrik makinelerinin modellenmesinde son yıllarda birçok disiplinde popüler hale gelen sonlu elemanlar metodu sıklıkla kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda problem bölgesi belirli sınırlar koşulunda belirli büyüklük ve geometrilerde alt problem parçacıklarına bölünerek analiz edilmektedir. Bu yöntem özellikle doğrusal olmayan davranıştaki modellemelerde daha gerçekçi ve daha doğru çözümler sağlamaktadır. Sonlu elemanlar metodu ile elektromanyetik, elektrostatik, elektriksel ve ısısal konularda hesaplamalar yapılabilmektedir [15].

Sonlu elemanlar analizi (SEA) ise belirli bir problemin çözümü için sonlu elemanlar yönteminin bir yazılım ile uygulamasıdır. Örneğin iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) bir modellemede problem çözülmesi isteniyorsa SEA matematiksel çözüm için bir varyasyonel çözücü olarak kullanılabilir. Problem bölgesi düzlemsel bir eleman olarak sonlu elemanlara ayrılabilir ve diferansiyel denklem olarak çözülebilir. Bu bağlamda, SEA yazılımı elektromanyetik analiz için elektromanyetik prensiplerin temelini oluşturan Maxwell denklemlerini kullanmaktadır. Aşağıda dört temel Maxwell denkleminin diferansiyel biçimleri Eş.1-4 ile verilmiştir. Bu denklemler Gauss, Faraday ve Ampere yasalarına dayandırılmaktadır [15, 16].

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (4)$$

Burada, B Tesla olarak akı yoğunluğunu, E Volt/cm olarak elektrik alanını, J A/mm² olarak akım yoğunluğunu, ρ siemens olarak iletkenliği, μ_0 $4\pi 10^{-7}$ H/m olarak boşluğun geçirgenliğini ve ϵ_0 ise $8,8510^{-12}$ F/m olarak boşluğun dielektrik katsayısını ifade etmektedir [16].

Elektromanyetik ve temel kavramları göreceli olarak basit olsa da gerçekçi problemler doğrusal olmayan davranışlarda çok karmaşık ve çözülmesi zor olabilir. Esasen, karmaşık geometriler, doğrusal olmayan sistemler, birçok statik olmayan alan kaynakları gibi bir araya gelen bu tür problemler için analitik çözümlerin neredeyse imkânsız olması ve özellikle sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal yöntemlerin elektrik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan araçlar haline gelmesinin nedenleridir. Yerel formdaki Maxwell denklemleri, bu formun altında herhangi bir noktada geçerli olduğu için güçlü bir denklem grubundan oluşur. Ayrıca, cebirsel açıdan kısa notasyonlara sahip olmak, bunları farklı fiziksel durumlara göre uyarlamak kolaydır. Ancak, bunları gerçekçi bir duruma uygulamak gerektiğinde, hacim, yüzey ve çizgi (fiziksel modelin kendisine doğrudan bağlı) kavramları dikkate alınmalıdır. Bu gibi durumlarda, sınırlı koşullar dâhilinde (yerel form) belirli bir duruma adapte edilebilir. Örneğin, bir elektrik makinesine uyarlanan Maxwell denklemleri, farklı bir modeli analiz etmek için uygun olmayabilir. Öte yandan, bunları integral formda kullanarak normalde ihtiyaç duyulan miktarlar hesaplanabilir. Uygulamada, hemen hemen her durumda, ilgili problemi çözebilmek için Maxwell denklemlerinin integral biçimleri tercih edilmektedir. Buna rağmen daha güncel olan diferansiyel biçimleri de SEA yazılımlarının çözücülerinde sıklıkla kullanılmaktadır [15-17].

Ansys-Maxwell yazılımı ile elektrik makinelerinin tasarımını ve benzetimini yapabilmek için elektromanyetik modellemede izlenen adımlar Şekil 1'de verildiği gibi sistematik olarak takip edilmektedir [15, 17].



Şekil 1. Elektromanyetik modellemede izlenen adımlar [17].

Bu adımlarda, çözüm türü belirlendikten sonra elektromanyetik modelleme için 2D/3D olarak model geometrisi çizilmekte, sınırlar ve uyarım şartları tanımlanmaktadır. Analiz ayarları aşamasında ise çözüm kurulumu için benzetim şartları belirlenmektedir. Analiz sonucunda elde edilen verilere göre sayısal değerler, 2D/3D grafikler ve elektromanyetik alan çizimleri gibi raporlar alınmaktadır.

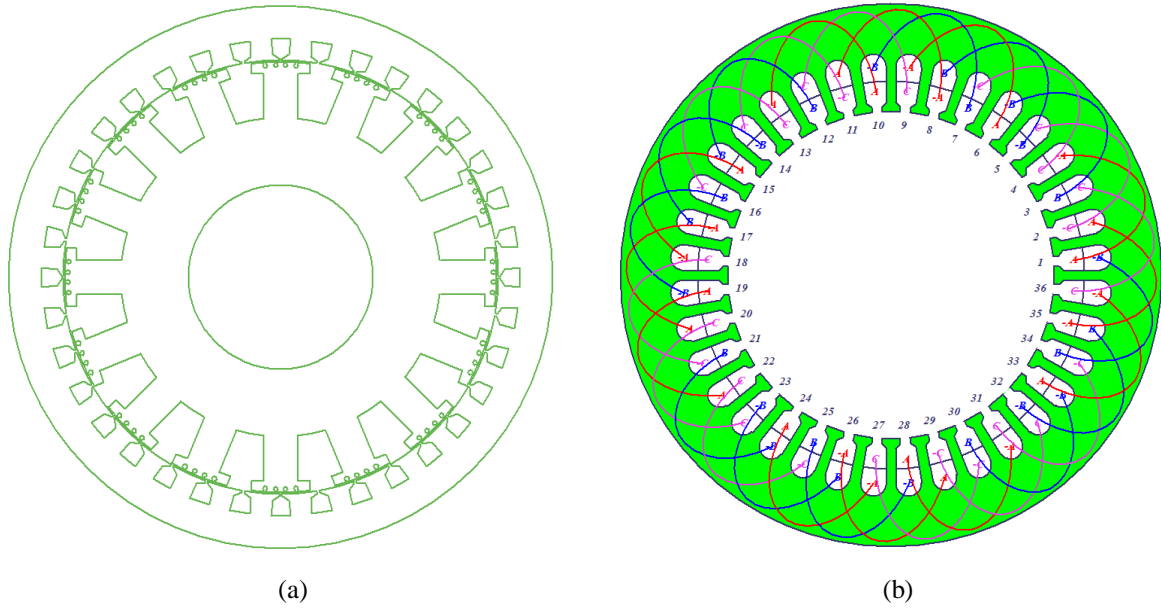
3. Benzetim Çalışmaları

Generatörün uygulamadaki gerçek boyutları ile analiz edilebilmesi için elektriksel ve manyetik davranışların etkileşimli olarak daha gerçekçi modellemesi sonlu elemanlar yöntemi ile yapılabilmektedir. Bu bağlamda Ansys-Electronics Desktop 2019.R2 yazılımı benzetim çalışmalarında kullanılmıştır ve bu yazılımda modellenen senkron generatörün teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [18]. Bu çalışmada iki farklı stator oluk yapısına göre üretilen gerilimin dalga formları, harmonik bileşenleri, kayıpları ve moment eğrileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Tablo 1. Sekron generatörün teknik özellikleri

Parametreler	Değeri
Faz sayısı	3
Çalışma frekansı	400 Hz
Senkron devir sayısı	3000 rpm
Güç değeri	5 kVA
Kutup sayısı	16
Gerilim değeri	200 V (tepe değer)
Stator oluk sayısı	36
Oluk Eğimi	Eğimsiz/1 oluk eğimli
Sargı Adımı	3 (1-4)
Bobin sarım sayısı	20
Bağlantı tipi	Yıldız
Stator dış çapı	250 mm
Stator iç çapı	200 mm
Stator uzunluğu	250 mm
Rotor dış çapı	198 mm
Rotor iç çapı	85 mm
Hava aralığı mesafesi	2 mm
Stator paketleme faktörü	0,98
Nüve malzemesi	M19_24G (M330-50A)

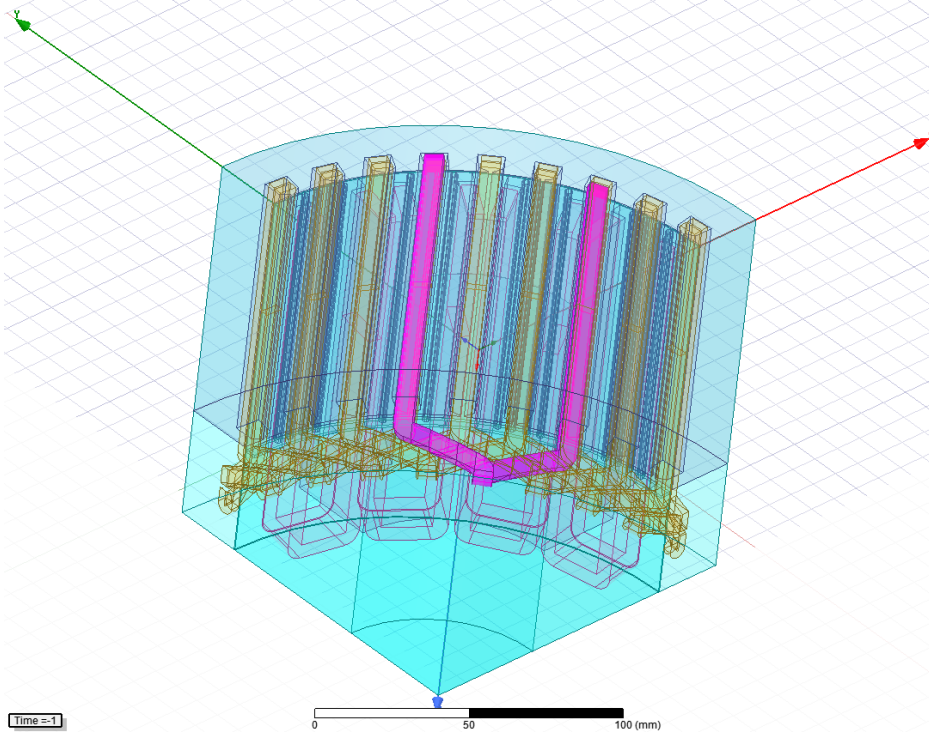
Elektromanyetik modellemesi ve benzetimi gerçekleştirilen generatörün yapısı Şekil 2’de verilmiştir. Burada stator ve rotor parçaları ile stator sargılarının yerleşimi görülebilmektedir. Stator oluk yapısında olukların yerleşiminde normal oluk yapısı ve eksenden bir oluk genişliği kadar kayık yapıda tasarlanarak istenilen analizler kolaylıkla yapılabilir. Asenkron motorların rotor yapılarında uygulamada en çok bir oluk genişliği kadar eğim yeterli olmaktadır [7-9]. Bu bağlamda, stator oluk yapısının modellenmesinde eksenden bir oluk açısı kadar kayık olarak tasarımı söz konusudur.

**Şekil 2.** a) Generatörün genel yapısı, b) stator sargılarının oluklara yerleşimi

3.1. Stator oluk yapısının normal olarak tasarımı

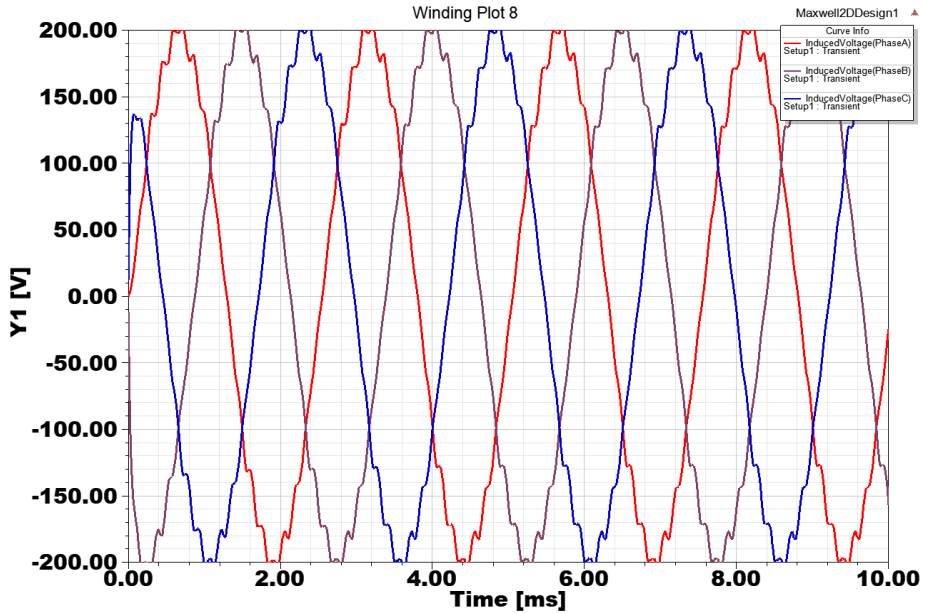
Generatörün normal oluk yapısında benzetimi için 3D SEA model görüntüsü Şekil 3’te verilmiştir. Burada görülebileceği gibi kutup ekseni ile stator oluklarının eksenleri birbirlerine paralel olarak

tasarlanmış ve modelin 1/4 oran için 3D görüntüsü verilmiştir. Bunun sebebi sonlu elemanlar analizi ile simetrik modellemelerde benzetim süresinin kısaltılabilmesidir.



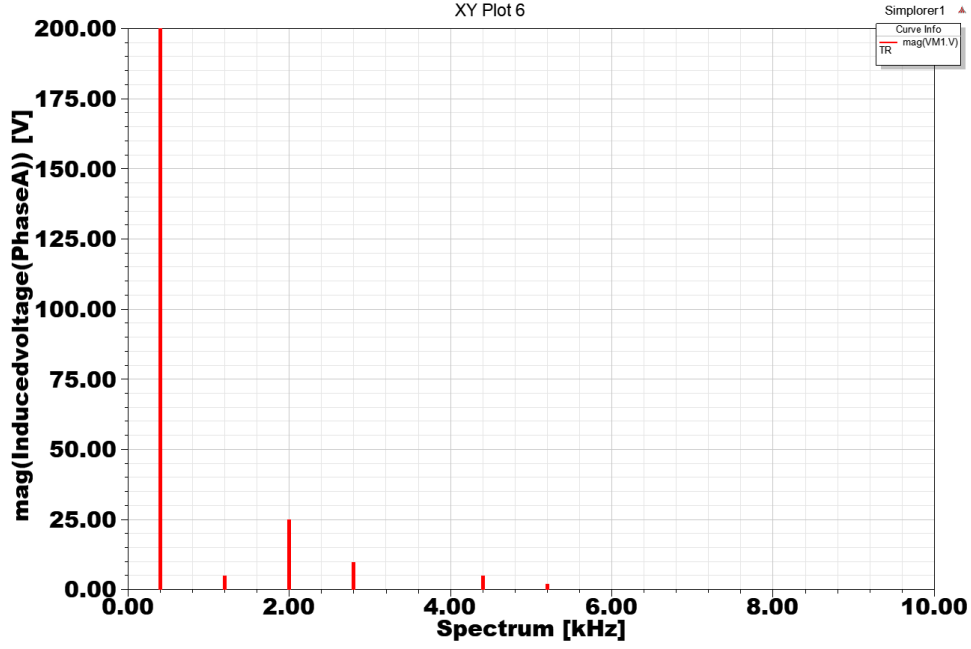
Şekil 3. Normal yapıdaki stator olukları

Normal oluk yapısında üretilen üç fazlı çıkış gerilim dalga formları ve harmonik bileşenler 400 Hz temel dalgaya göre Şekil 4’te verilmiştir. Üretilen faz gerilimlerindeki harmonik bileşenler nedeniyle bozuk bir sinüs eğrisi gözlenmiştir.



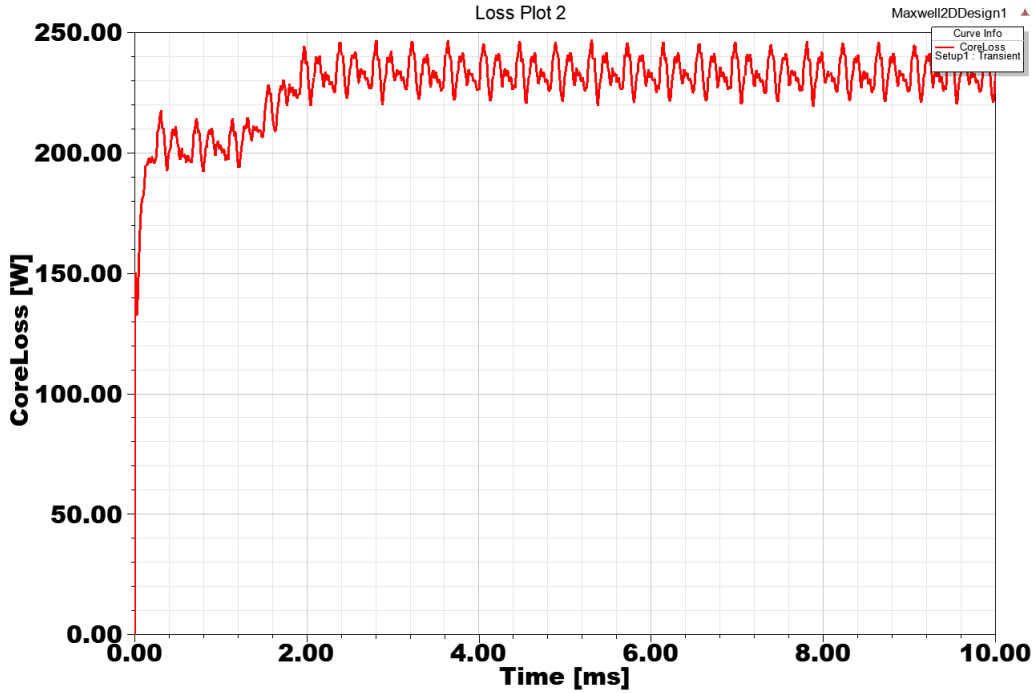
Şekil 4. Normal yapıdaki stator olukları için generatör faz gerilimlerinin dalga formları

Bu durumda gerilim dalga formlarından görülebileceği gibi 400 Hz temel frekansı için harmonik bileşenlerin etkileri Şekil 5'te verilen harmonik spektrumda görülebilmektedir. Buradan THD değeri hesaplandığında yaklaşık %15 gibi standartları aşan bir değer ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. Normal oluk yapısında üretilen gerilimin harmonik bileşenleri

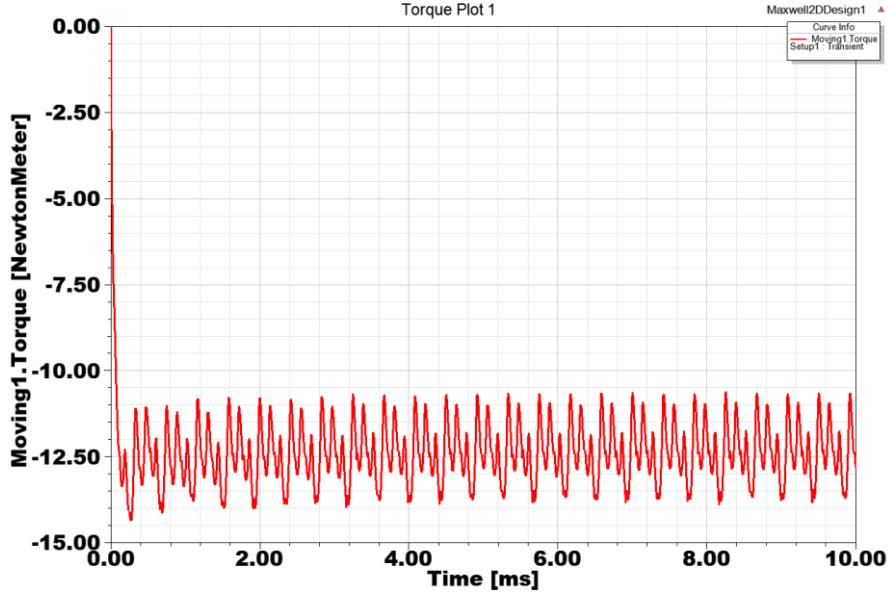
Bu durumda, özellikle 5, 7, 11 ve 13. sıralı harmonik bileşenlerin genlikleri belirgindir ve nüve kayıplarına etkisi Şekil 6'da nüve kaybı grafiğinde verilmiştir. SEA yazılımı ile hesaplatılan histerezis, girdap akım ve anormal girdap akım kaybı olarak stator ve rotor nüve paketinde oluşan kayıplardır.



Şekil 6. Normal oluk yapısında nüve kayıpları

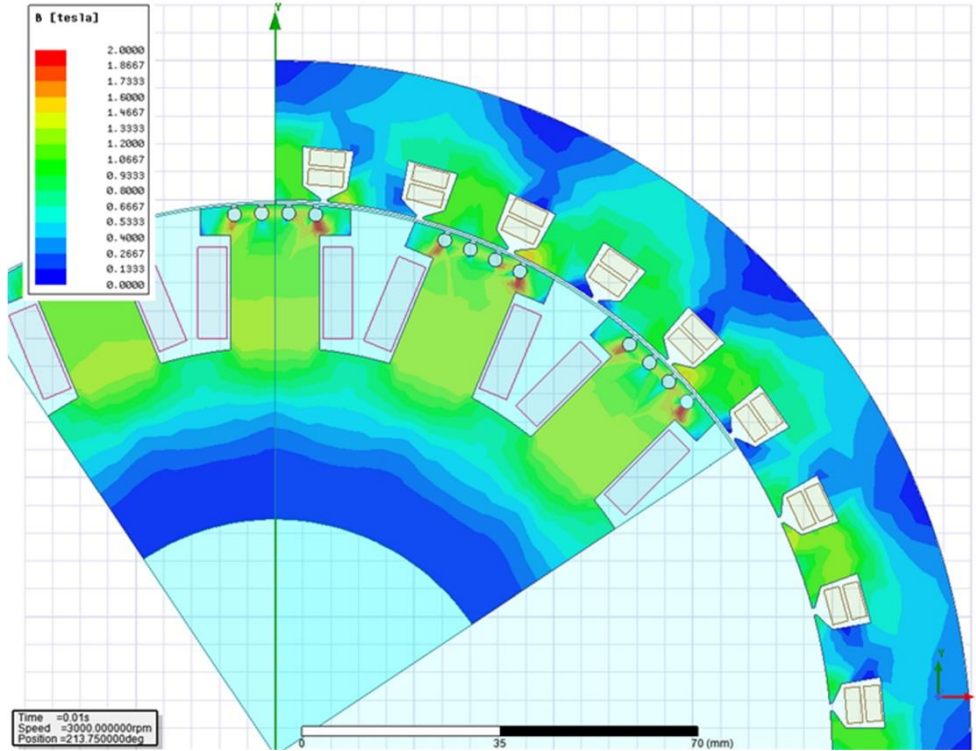
Harmonik etkiler generatöre uygulanan mekanik enerjinin moment eğrisini de belirgin bir biçimde bozmaktadır (Şekil 7). Generatörün rotoru yaklaşık olarak 3000 rpm hızda 12,5 Nm

büyükliğünde bir mekanik enerji ile döndürülmektedir. Ancak moment eğrisindeki dalgalanmanın genliği tepeden tepeye yaklaşık 3,5 Nm olarak dikkate alınması gereken önemli bir değerdir.



Şekil 7. Normal oluk yapısında moment eğrisi

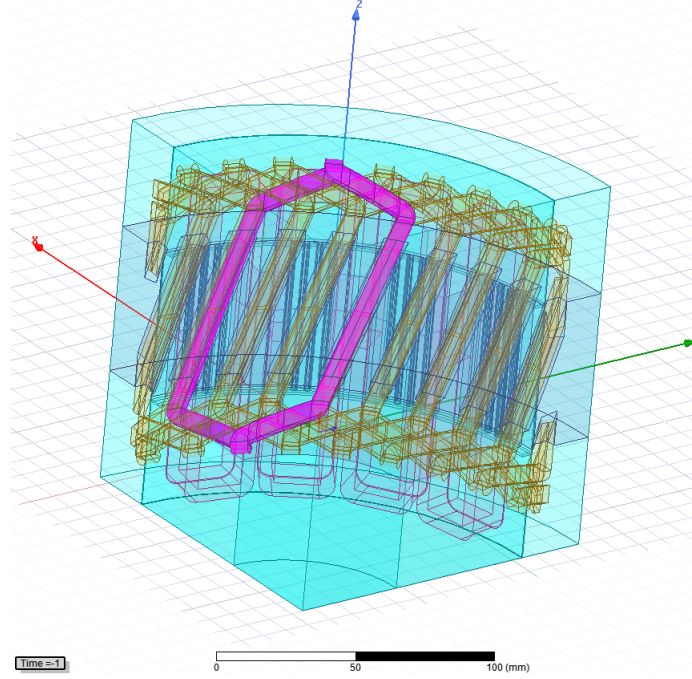
Stator ve rotordaki akı dağılımı Şekil 8’de verildiği gibi M19_24G nüve materyali için 2 T akıya göre görüntülenmiştir. Burada harmonik bileşenlerin akı dağılımına etkisi doyma noktasına yaklaşım olarak hem kayıpları artırması hem de oluk dişlerine yakın olan kısımlarda sıcaklık artışları daha fazla oluşması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 8. Normal stator oluk yapısında maksimum 2 T için akı dağılımı

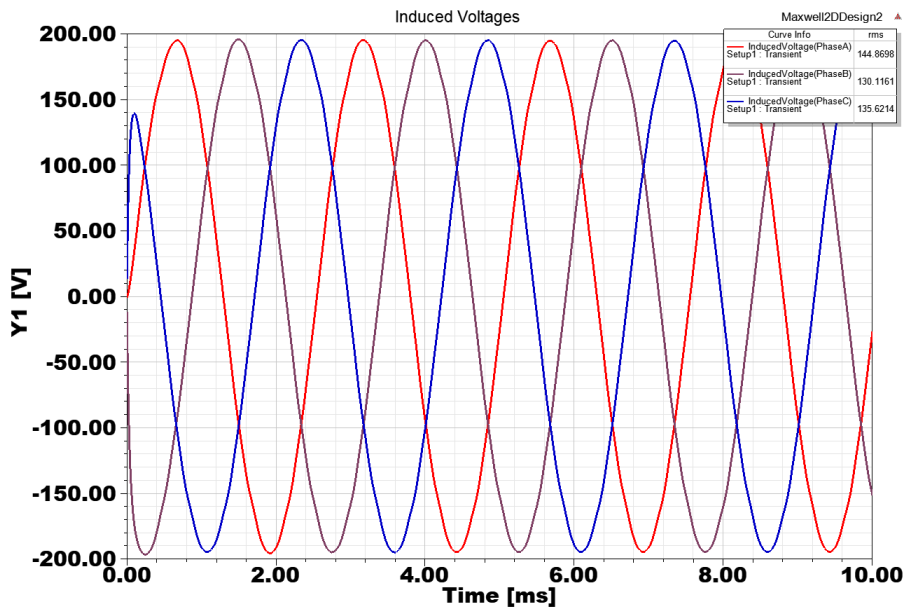
3.2. Stator oluk yapısının eksenden kayık olarak tasarımı

Generatörün yaklaşık bir oluk genişliği kadar 10 elektriksel derece ile eksenden kayık olarak oluk yapısında benzetimi için 3D FEA model görüntüsü Şekil 9’da verilmiştir. Burada görülebileceği gibi stator oluklarının eksenleri kutup eksenine göre yaklaşık bir oluk genişliği kadar kayık olarak tasarlanmıştır. Bu tasarımda kaymanın açısı ise en çok izin verilen $360^\circ/36=10$ elektriksel derece olacak şekilde modellenmiştir.



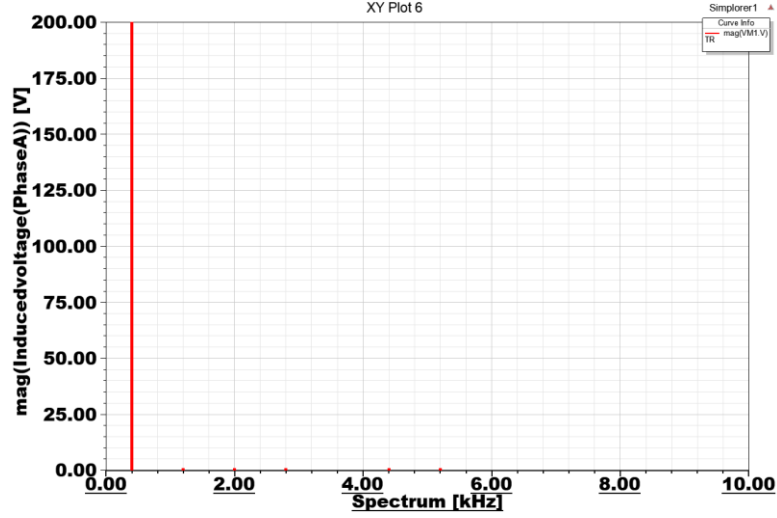
Şekil 9. Eksenden kayık olarak tasarlanan stator oluklarının görünümü

Statorun eksenden kayık oluk yapısında üretilen üç fazlı çıkış gerilim dalga formları ve harmonik bileşenler 400 Hz temel dalgaya göre Şekil 10’da verilmiştir. Üretilen gerilimlerde harmonik bileşenlerin etkileri normal oluk yapısındaki duruma göre azalmış ve dolayısıyla daha düzgün formda bir sinüs eğrisi gözlenmiştir.



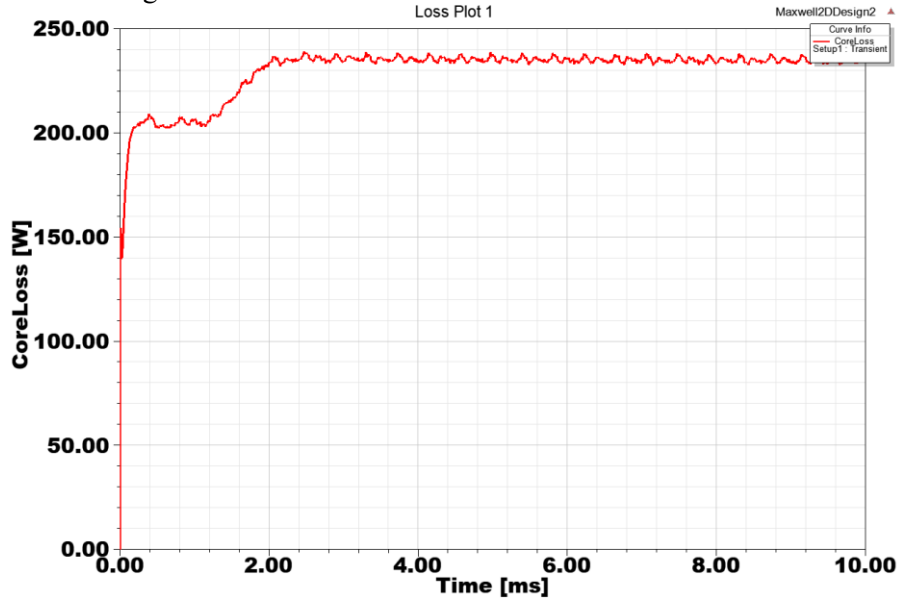
Şekil 10. Eğik stator oluk yapısında generatör faz gerilimleri

Stator oluk yapılarının kayık olduğu durum için harmonik bileşenlerin genlikleri Şekil 11’de görülebileceği gibi önemli miktarda küçülmüş ve standartları sağlamaktadır. Bu durumda gerilim dalga formundaki THD değeri yaklaşık %1 olarak standartları sağlamaktadır.



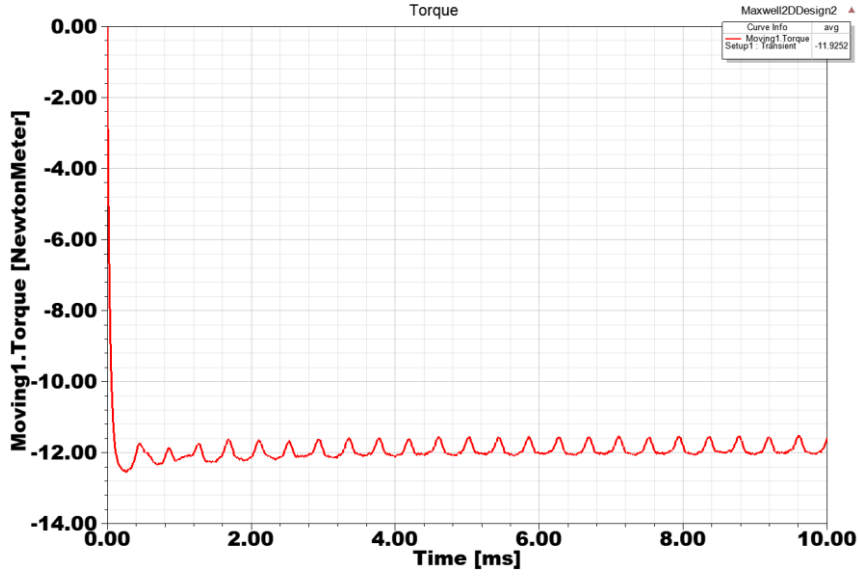
Şekil 11. Eksenden kayık stator oluk yapısında generatör geriliminin harmonik bileşenleri

Bu oluk yapısında azalan harmonik bileşenlerin nüve kayıplarına etkisi Şekil 12’de nüve kaybı grafiğinde verilmiştir. Nüve kayıpları dalga formunda önerilen sistemdeki dalgalanma genliği önemli oranda azalmakta ve kayıp grafiğinde açık olarak görülmektedir. Klasik oluk yapısında kayıp grafiği 245 W değerlerine kadar değerler ulaşmaktadır. Önerilen eksenden kayık stator oluk yapısında ise bu değer 235 W değerine indirgenmiştir. 5 kVA güç değerinde bir generatör için düşünüldüğünde 10 W nüve kaybı önemli bir değer olmaktadır.



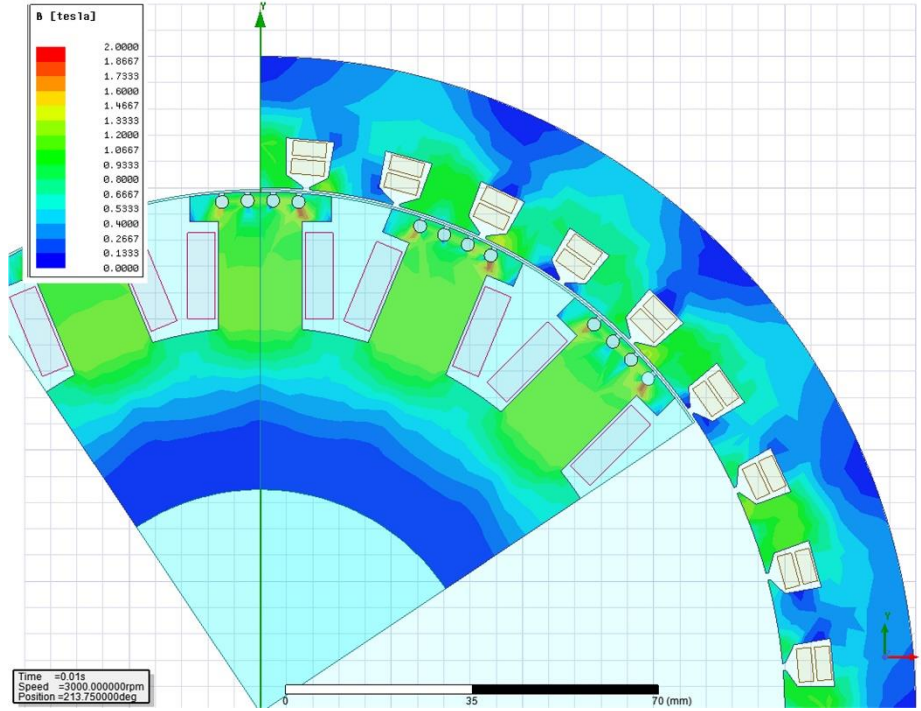
Şekil 12. Eksenden kayık oluk yapısında nüve kayıpları

Eksenden kayık oluk yapısında harmonik etkilerin azalmasıyla generatörün moment eğrisi de daha düzgün hale gelmiştir (Şekil 13). Böylece moment dalgalanması normal oluk yapısına göre yaklaşık üç kat daha küçük genliktir. Bu generatör yataklarının mekanik dayanımı ve ömrü için çok önemlidir, mekanik arızaların oluşma riski azalmaktadır.



Şekil 13. Eksenden kayık oluk yapısında moment eğrisi

Stator ve rotordaki akı dağılımı Şekil 14’te verildiği gibi kullanılan M19_24G nüve materyali için maksimum 2 T akıya göre görüntülenmiştir. Harmonik etkiler azaldığı için normal oluk yapısındaki duruma göre nüve materyalinin doyma sınırları zorlanmamaktadır.



Şekil 14. Eksenden kayık stator oluk yapısında maksimum 2 T için akı dağılımı

4. Sonuç

Bu çalışmada, 5 kVA, 16 kutuplu, 400 Hz frekanslı bir senkron generatorün stator olukları eksene göre kayma olmadan ve bir oluk genişliği kadar kayma olacak şekilde iki farklı tasarımda stator oluk yapısına göre Ansys-Electronics Desktop 2019.R2 (Maxwell/RMxprt) yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar analizi ile modellenmiş ve benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Elektromanyetik modelleme ile elde edilen verilere göre farklı oluk tasarımları için üretilen gerilimlerin dalga formları, harmonik spektrum grafikleri, THD değerleri, nüve kayıpları ve moment eğrileri karşılaştırmalı olarak rapor edilmiştir.

Örneğin, stator oluk yapısı eksenden kayık olarak tasarlandığında gerilimlerin dalga formları saf sinüs eğrisine daha yakın olmakta ve THD değeri %15 seviyesinden %1 değerine düşmektedir. Ayrıca, generatörün mekanik moment dalga formu da daha küçük genlikli dalgalanma ile yatak ve rulman gibi mekanik kısımlarının ömrü de artmaktadır. Kayık olmayan normal stator oluk yapısında moment dalgalanması yaklaşık 3,5 Nm iken eksenden bir oluk açısı kadar kayık yapısı ile modellemeye yaklaşık 1,1 Nm değerine kadar düşerek üç kat azaldığı görülmüştür. Diğer taraftan, stator oluk yapısındaki tasarım farklılığı ile hem elektromanyetik akı dağılımları hem de nüve kayıplarında da belirgin bir iyileştirme sağlanmıştır. Böylece, 400Hz generator için stator oluk yapısında mekanik düzenleme ile filtre gereksinimlerini azaltan bir etki SEA ile analiz ve rapor edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Dorrell D.G., Popescu M. 2011. Effect of Winding Asymmetries and Winding Connection on Small Synchronous Machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 47 (6): 2453-2459.
- [2] Liu M., Pei Y., Han Z., Shi P. 2013. Optimization of Permanent Magnet Motor Airgap Flux Density Based on the Non-uniform Air Gap. *International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*, pp:3422-3426, 20-22 Dec., Shenyang, China.
- [3] Peşint M.A. 1975. *Senkron Makinalar. Yüksek Teknik Öğrt. Okulu Matbaası*, 50-55s., Ankara.
- [4] Jiji K.S., Jayadas N.H., Babu, C.A. 2014. FEM-Based Virtual Prototyping and Design of Third Harmonic Excitation System for Low-Voltage Salient-Pole Synchronous Generators. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50 (3): 1829-1834.
- [5] Uygun D., Çetinceviz Y. 2018. Yüzey Yerleştirmeli Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatörlerin Tutma Torkunun Azaltılması için Stator Yapılandırması. *GU J Sci, Part C.*, 6 (3): 605-620.
- [6] Hargreaves P.A., Mecrow B.C., Hall R. 2010. Open Circuit Voltage Distortion in Salient Pole Synchronous Generators with Damper Windings. *5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010)*, 19-21 April, Brighton, UK.
- [7] Skalka M., Ondrusek C., Kurfurst J., Cipin R. 2012. Harmonic Reduction in Induction Machine Using Slot Wedges Optimization. *IEEE International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, pp: 1252-1255.
- [8] Kometani H., Sakabe S., Kameari A. 2000. 3-D Analysis of Induction Motor with Skewed Slots Using Regular Coupling Mesh. *IEEE Transactions on Magnetics*, 36 (4): 1769-1773.
- [9] Nau S.L. 1997. The Influence of the Skewed Rotor Slots on the Magnetic Noise of Three Phase Induction Motors. *IEE, EMD97 Conference Publication*, 444: 396-399.
- [10] Williamson S., Flack T.J., Volschenk A.F. 1995. Representation of skew in time-stepped two-dimensional finite-element models of electrical machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 31 (5): 1009-1015.
- [11] IEEE-SA Standards Board. 2014. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. IEEE Power and Energy Society, IEEE Std 519™-2014.
- [12] Tseng W.T., Chen W.S. 2016. Design Parameters Optimization of a Permanent Magnet Synchronous Wind Generator. *19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 13-16 Nov., Chiba, Japan.
- [13] Dorrell D.G., Popescu M. 2010. Effect of Winding Asymmetries and Winding Connection on Small Synchronous Machines. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, pp:17-22, 12-16 Sept. Atlanta, GA, USA.
- [14] Martin R., Bumbly J.R., Mueller M.A. 2004. Finite Element Analysis and Experimental Test of An Axial Flux Toroidal Generator. *Second International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2004)*, pp: 402-407, 31 March-2 April, Edinburgh, UK.
- [15] Balcı S. 2010. *Evirici Çıkış Transformatörlerinin Modellenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 53s., Ankara.
- [16] Bastos J.P.A., Sadowski N. 2003. *Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods. Universidade Federal de Santa Catarina Florianopolis, Brazil, Copyright by Marcel Dekker.*
- [17] Ansoft Corporation. 2005. *Maxwell 3D Field Simulator V11 Student Version User's Guide*, Ansoft Korea.
- [18] Ansys Electronics Desktop. 2019R2. *Rmxprt Help Datasheets*.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kuru Tip Trafoların Çevresel Gürültü ve Titreşim Seviyelerinin Değerlendirilmesi ve Çözüm Alternatiflerinin Belirlenmesi: İstanbul Durum Çalışması

Edip AVŞAR^{1*}, Haluk EROL², İsmail TORÖZ³, Ezgi PİRO⁴

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitlis

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

⁴Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis

(ORCID: 0000-0001-6249-4753) (ORCID: 0000-0003-4230-5921)

(ORCID: 0000-0002-0340-6925) (ORCID: 0000-0001-8781-5007)

Öz

Günümüzde evlerde kullandığımız cihazlardan, endüstride gerçekleştirilen kompleks üretim faaliyetlerine kadar enerji ihtiyacı her geçen gün artış göstermektedir. Artan enerji ihtiyacıyla birlikte elektriksel donanımlara olan ihtiyaç da artmaktadır. Enerji iletim ve dağıtımının temeli olarak niteleyebileceğimiz güç transformatörlerinin de kullanım alanlarında bu kapsamda artış görülmektedir. İyi bir elektrik altyapısı bağlamında düşünüldüğünde transformatörlerin sayısı kadar konumu da önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada; güç transformatörlerinden kaynaklanan çevresel gürültü ve titreşimin, transformatörün yerleştirildiği binadaki insanlara olan etkisinin belirlenmesi ve bu etkinin azaltılmasına yönelik alınabilecek önlemlerin ortaya konmasına çalışılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, transformatörden kaynaklanan çevresel gürültü ($L_{gece(kaynak)}=65$ dBA) ve titreşimin (1-3.15 Hz aralığı) Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Denetimi Yönetmeliği'nde gürültü ($L_{gece}=55$ dBA) ve titreşim için belirlenen sınır değerleri aştığı ve azaltılması gerektiği belirlenmiştir. Bu kapsamda Marshall Day Acoustics Firması tarafından üretilen INSUL Versiyon 6.2 Programı kullanılarak transformatörün konumlandırıldığı hacimde çevresel gürültü ve titreşimin azaltılması için gerekli yalıtım çalışması projelendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Insul, Gürültü, Transformatör, Titreşim.

Evaluation of Environmental Noise and Vibration Levels of Dry Type Transformers and Determination of Solution Alternatives: Istanbul Case Study

Abstract

Today, energy requirements are increasing day by day, from the devices we use at home to the complex production activities that are carried out in the industry. The need for electrical equipment is also increasing with increasing energy requirements. The use of power transformers, which can be specified as the basis of energy transmission and distribution, also increases in this scope. When it considered in the context of good electric infrastructure, location of the transformers is as important as the number of transformers. In this study; environmental noise and vibration originated by the power transformer located in the building and measures to be taken were determined in order to determine and reduce the environmental effect of the transformer on the people. When obtained data was evaluated, it was determined that the environmental noise ($L_{night(source)}=65$ dBA) and vibration (1-3.15 Hz range) caused by the transformer exceeded the noise ($L_{night}=55$ dBA) and vibration limit values given in the Environmental Noise Assessment and Management Regulation and reduction required. In this context, by using INSUL Version 6.2 Program produced by Marshall Day Acoustics Company, insulation work was performed to reduce environmental noise and vibration in the volume where the transformer was located.

Keywords: INSUL; Noise, Transformers, Vibration.

*Sorumlu yazar: eavsar@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.01.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

1. Introduction

One of the significant problems that seriously threaten people's environment and physiology is environmental noise [1-3]. Noise is defined as an unpleasant, unwanted, disturbing sound [1-4]. Nowadays, increases in rapid industrialization and therefore mechanization, increased traffic load due to widespread highways, increased prevalence of airway transportation and intense activities of construction make noise is a significant environmental problem [5-7]. Environmental noise is not only a phenomenon that is related to the sense of hearing, but it is also known that individuals who are exposed to noise are physiologically and psychologically affected, and their bodily balance is disturbed [8].

In order to reduce the negative effects of environmental noise on those who are exposed and achieve limit values that are indicated in legislation, it is needed to develop ergonomic methods. For this purpose, it has become a necessity for industrialists to develop and implement noise control systems [9-10].

Today, activities such as industry, transportation and construction cause vibration in addition to noise. The vibration that originates from the sources mentioned above and spreads through solid, flued and gaseous environments is defined as mechanical oscillation movements that are felt in the human body [11].

While vibration creates physical and psychological distress in people, there are also useful practices related to it in terms of structural analyses in civil engineering [12]. Due to their use in power systems, noise levels of transformers have become important topics of research. In the literature, the sources of noise in power transformers are discussed under 3 different main categories as "Core Noise", "Load Noise" and "Fan and Pump Noise." Dry Type transformers are preferred as they are relatively more environment-friendly and practical [13].

While transformers are functioning, they may lead to vibrations in their environment based on their location and usage capacity.

In order to prevent transformer-based noise and vibration from affect human health and equipment safety, the reasons for these should be accurately determined and relevant solutions should be produced. There are domestic and international standards that have been created towards determining noise that happens/might happen in transformers. In the time period of this study, it was observed that the standards IEC 60076-10 and IEEE Std. C57.12.90 were being used for determining noise levels, and the standard TS EN 60076-10 which is based on these two standards was active in Turkey.

While there is no standard for bringing an upper limit to restrict noise that originates from transformers, it is needed to achieve the limit values that are defined in the Directive for Analysis and Inspection of Environmental noise that was effective during the course of the study in the residential areas that are affected by transformer-based environmental noise and vibration [11]. In addition to this, regarding the levels of noise that disturb people, the effects of noise on human health are defined by the standards TS 9315 ISO 1996-1/T1 and TS ISO 1996-2/T1 [14-16].

2. Study Area

In the scope of the study, the noise and vibration effects of a transformer that was installed into the ground floor of a building on the residents were determined, and insulation project planning was carried out to reduce these effects. Because, especially people who had been living upstairs of the transformer in that apartment complained about noise and vibration of the transformer at night time.

The characteristics of the dry type transformer that was examined for its noise and vibration effects in the scope of the study are given in Table 1.

Table 1. Characteristics of the examined transformer

Characteristic	Unit	Value
Power	kVA	2000
Primary Voltage	kV	36/0.40
Type	-	Dry Type
Year of Production	-	2010
Dimensions (W x D x H)	meter	1.15 x 2.12 x 2.50

The central transformer unit mainly consists of two attached volumes in the ground floor of apartment. The first of these volumes is the low voltage volume on the right side including the control room, and the other volume is the volume on the left side containing the dry type transformer. There is no insulation on the walls of the two volumes. This apartment is reinforced concrete building. Figures 1, 2, 3 and 4 show the appearance of these volumes from inside and outside.



Figure 1. The transformer center from outside



Figure 2. Transformer center from inside -1 (control room)



Figure 3. Transformer center from inside -2 (control room)



Figure 4. Transformer center from inside -3 (transformer room)

2.1. The Devices and Measurement Standards Used in The Scope of The Study

The measurements were carried out with a Svan 958A 4-channel portable noise and vibration analyzer and based on the provisions of the standard “TS ISO 1996-2: Definition and Measurement of Acoustic-Environmental Noise, Part 2, Obtaining Data Regarding Noises in Field Usage – Description, Measurement and Analysis of Acoustic-Environmental Noise” [17].

2.2. Transformer Center Noise and Vibration Measurements

A detailed measurement process was carried out in compliance with the Environmental Noise Assessment and Management Regulation (ENAMR) in order to determine the effects of the transformer in enclosed and open spaces in its close proximity in terms of noise and vibration. In order to determine human exposure, all noise measurements were made at a 1.5 height from the floor [11]. The measurement process lasted from 23:00 at night to 06:00 in the morning. Device automatically gave the minimum and maximum noise levels and also calculated the equivalent noise level which defines the total sound energy over the 7 hours measurement period.

In the first part of the study, while the transformer was not working, measurements were made to determine the background noise, in front of the transformer center, outside in the bedroom of the apartment that is located about 3 meters above the ground right over the transformer center where the transformer noise is felt the most in the same building. The background noise measurements when the transformer was off are given in Table 2.

Table 2. Environmental noise measurements when the transformer was off (dBA) (background)

No	Measurement Point	Min. Noise		Eq.Noise		Max. Noise	
		L_{min}		L_{eq}		L_{max}	
		(dBA)	(dBC)	(dBA)	(dBC)	(dBA)	(dBC)
1	Next to transformer	47	56	52	60	64	64
2	Bedroom	29	32	31	45	41	62

Results indicate that there was an important variability in terms of background noise because of the human activities in the street. After determining the background noise, the transformer was turned on. After this, noise and vibration measurements were taken from the same points to determine the increase created in the background noise and vibration levels by the transformer. The results are in Table 3, Figure 5 and Figure 6. Results indicated that transformer had an important negative contribution to noise level.

Table 3. Environmental noise measurement results (dBA and dBC) (transformer is on)

No	Measurement Point	Min. Noise		Eq. Noise		Max. Noise	
		L_{min}		L_{eq}		L_{max}	
		(dBA)	(dBC)	(dBA)	(dBC)	(dBA)	(dBC)
1	Next to transformer	64	64	65	70	66	71
2.1	Bedroom	38	51	41	52	59	75
2.2	Bedroom	42	52	42	53	54	66
2.3	Bedroom	43	52	43	53	47	47
2.4	Bedroom	43	52	44	52	46	55

The bedroom where the measurements were taken from was defined as an area of “very sensitive usage” based on ENAMR Article 4 and Clause r. So, the measurement results that show the distribution of the noise measurements in cases where the transformer was on and off based 1/3 octave band analysis are given below. This way, it is possible to see the frequency ranges that contribute the most to the increase in the levels of background noise and should be eliminated by insulation. (RMS indicates the noise standard deviations for each sound tonnes)

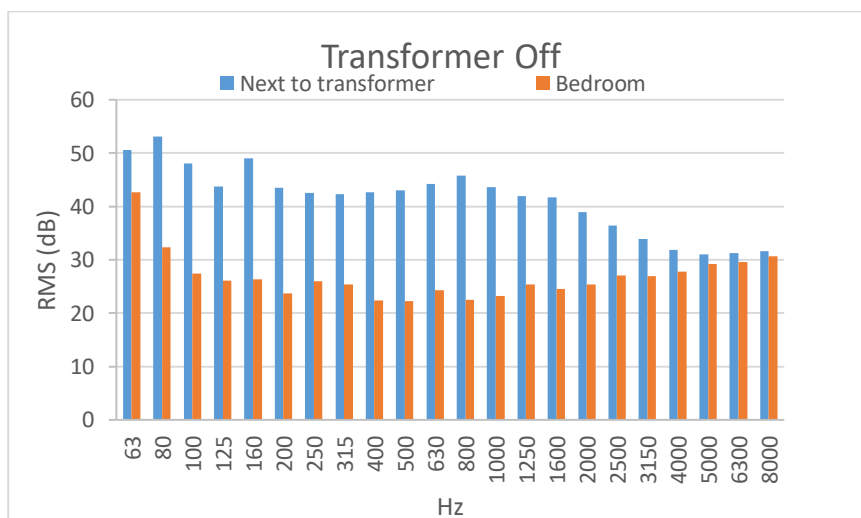


Figure 5. Environmental noise measurements based on 1/3 octave analysis (transformer off)

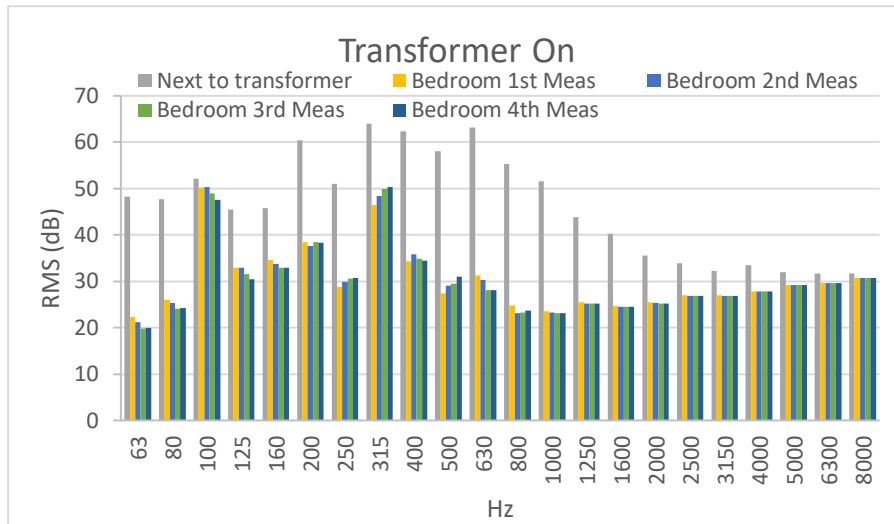


Figure 6. Environmental noise measurements based on 1/3 octave analysis (transformer on)

According to Figure 5 and 6 it was seen that most significant sound tones were 315-400 and 630 Hz in terms of noise pollution related with the transformer. When it was on most important contribution to the noise came from these tones.

Considering the background measurement when the transformer was off and the measurements when it was on, the L_{night} values of the measurement points were calculated (Table 4). This value is the average A-weighted long-term sound volume energy that is used to express a night-long discomfort that causes lack of sleep. The values are given in the Table 4.

Table 4. The L_{night} values for the noise levels outside

Parameter	Unit	Measurement Point
		Next to the Transformer
L_{night} (background)	dBA	52
L_{night} (source)		65

To determine and assess the effects of the transformer in the enclosed environment, 4 vibration rate measurements were made in parallel to the noise measurements in the bedroom, and Table 6 shows the measurement results and limit values based on frequency distributions.

The transformer center, due to its location, is considered to be in the scope of “areas where residential places are prevalent among areas where commercial structures sensitive usage areas are found together” based on ENAMR Appendix-7 Table 4 [11]. In this case, the limit value that needs to be achieved next to the transformer is $L_{night} = 55$ (dBA). If the measurement results given in Table 5 are compared to the limit value, it is seen that the transformer satisfies the limit value next to it when it is not working, while it does not satisfy this value when it is on.

Regarding interior noise, ENAMR Article 22 Clause b includes the provision “The level of environmental noise, which is transmitted to the environment through air or transferred to sensitive usage areas through shared separation elements, upholster, ceilings or walls from each business, workshop, shop and similar establishments in a way that may affect sensitive usage areas, cannot exceed the background noise level by more than 5 dBA in terms of L_{eq} noise levels” [11].

ENAMR Appendix-7 Table 9 has the provision that: “Regarding the internal noise levels, the $L_{eq} = 35$ dBA limit values should not be exceeded in the case of closed windows where there is no activity in the usage area” [11].

Table 5 shows that the increase in noise levels was higher than 5 dBA in all measurements in comparison to the background while the transformer was working. Moreover, all measurements were higher than the limit value of 35 dBA.

ENAMR Article 25 Clause c states that: “In buildings that are used as residences or offices, the vibrations to be caused by machinery and equipment such as electric motors, pumps and fans cannot exceed the limit values that are given in Appendix-7 Table-8.

Table 5. Comparison of inside measurements to background values

Parameter	Unit	Measurement Point			
		Bedroom			
		1 st Meas.	2 nd Meas.	3 rd Meas.	4 th Meas.
L _{eq}	dBA	41	42	43	44
L _{eq} (background)		31	31	31	31
Increase		10	11	12	12

For the machinery and equipment that exceed these values, the vibrations that are measured in the building are reduced to values below the limit values by taking technical measures, mainly vibration insulation. These limit values are also used regarding the vibrations that will be created in areas of highly sensitive and sensitive usage created by railway and highway transportation vehicles near such areas” [11]. Table 6 shows that the rates of vibration in the frequency range of 1-3.15 occasionally exceeded the limit values, and therefore, the requirements of the regulation could not be achieved. In this sense, it was projected that the insulation alternative to be employed for eliminating inconveniences related to the noise in the source would also eliminate the vibration that occurs at low frequencies and occasionally exceeds limit values.

Table 6. Bedroom vibration rate measurement results (while the transformer was working)

Vibration Frequency (Hz)	Limit Value (mm/s)	Measurement Results for the Bedroom (mm/s)														
		Background			1 st Measurement			2 nd Measurement			3 rd Measurement			4 th Measurement		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	1.50	2.13	7.31	30.80	3.65	3.33	12.74	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.17
1.25	1.46	2.30	6.58	29.82	2.35	2.07	9.66	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20
1.6	1.40	0.88	1.91	8.94	1.67	0.73	3.64	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09
2	1.33	0.38	0.80	3.84	1.25	0.49	2.66	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08
2.5	1.24	0.27	0.50	2.20	0.98	0.78	2.68	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
3.15	1.13	0.08	0.14	0.61	0.52	0.38	1.76	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
4	0.99	0.09	0.14	0.67	0.39	0.30	0.99	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
5	0.82	0.07	0.09	0.36	0.21	0.18	0.64	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6.3	0.59	0.03	0.05	0.21	0.13	0.12	0.44	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
8	0.30	0.03	0.04	0.17	0.09	0.10	0.35	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
10		0.03	0.03	0.08	0.05	0.08	0.27	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
31.5		0.01	0.02	0.04	0.03	0.04	0.12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
40		0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
50		0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
63		0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
80		0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
100		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

2.3. Insulation Calculations for the Transformer Center

A two-step process was carried out to eliminate airborne noise, structureborne noise and vibrations by insulation work in the transformer.

2.3.1. Controlling Airborne Noise

The design details and mounting schema of the noise panel that is needed to be installed on the ceiling and walls of the transformer center are given in Figure 7.

The loss of sound transmission to be created on the airborne noise that is spread from the transformer center by the projected noise panel design was modelled by using the INSUL Version 6.2 software developed by the firm Marshall Day Acoustics. Its a quick and accurate tool for predicting the sound insulation of walls, floors and ceilings. It has gradually developed into a unique tool that incorporates the best of many research papers published over the last 15 to 20 years.

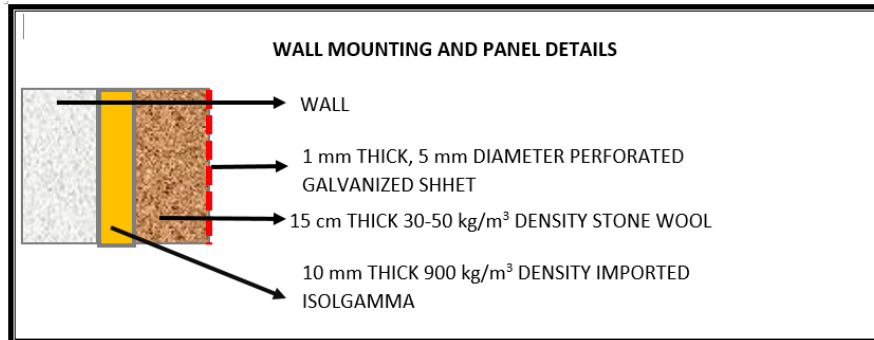


Figure 7. Features of the design that was developed for transformers

The results of the modelling study that was carried out towards the absorption of the components of noise by the panel design are given in Figure 8. By the design to be implemented on the ceiling and internal side walls of the transformer center, it was projected that an average sound transmission loss (noise isolation) level of 62 dB would be achieved depending on the frequency characteristics and the surroundings of the source of the noise according to Insul 6.2.

2.3.2. Controlling Structureborne Noise and Vibrations

Figure 9 shows the details of the design that needs to be implemented in transformer centers with the purpose of controlling the structureborne noise and vibrations that originate from the transformer. The software output of the projects design that shows the transformer-related vibration insulation capacity of the design is shown in Figure 10. According to the modeling software outputs, it was projected that the design to be implemented on the floor of the transformer would achieve 95% insulation. The insulator to be applied was determined as: rubber isolators (MASON EAFM 8852 Green preferred). If the approximate mass of the transformer is taken as 4980 kg, 74 pieces of the insulator needs to be applied.

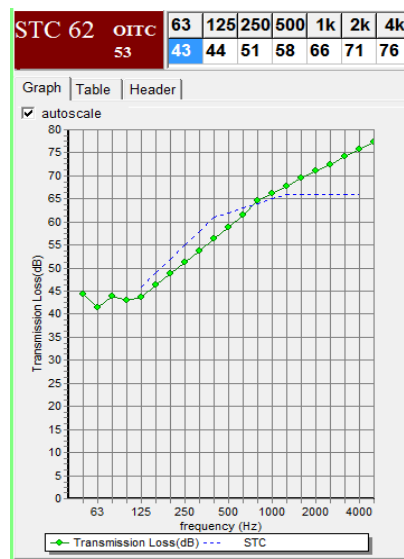


Figure 8. The sound transmission loss characteristics (STC) of the design developed for transformers based on frequency

2.3.3. Controlling Noise on The Ventilation Grills

The last part of the project planning process to be implementing for controlling the noise that spreads from the transformer center towards outside consists of the implementation to be used in the ventilation grills of the transformer center. The detailed drawing of the design to be implemented on the transformer grills is given in Figure 11. With the projected double-grill structure, it was estimated by means of INSUL Version 6.2 that a sound transmission loss (noise) isolation of 26 dB could be achieved depending on the frequency characteristics of the source of the noise and the environment. Sound transmission loss characteristics (STC) of the design developed based on frequency was given at the right side of Figure 11. The width and the height of the grill need to be determined with the aid of manufacturer or implementor during implementation and based on the need for ventilation.

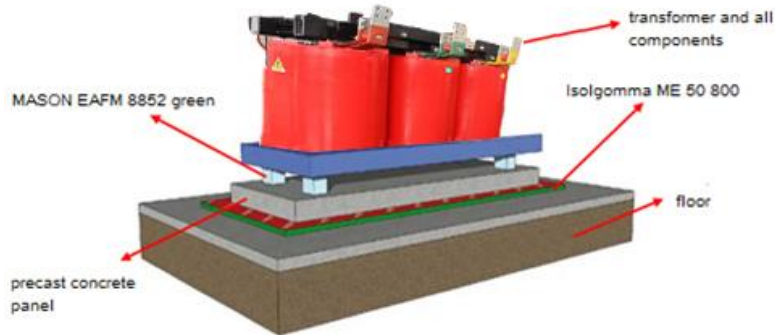


Figure 9. The characteristics of the design developed for transformers

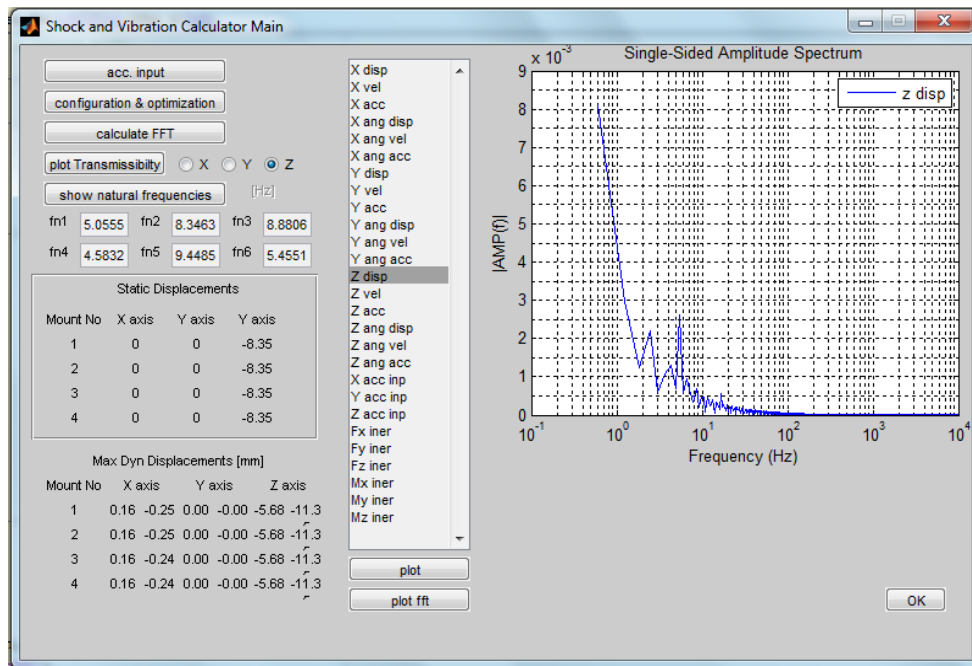


Figure 10. The frequency-dependent Vibration Insulation characteristics of the design developed for transformers

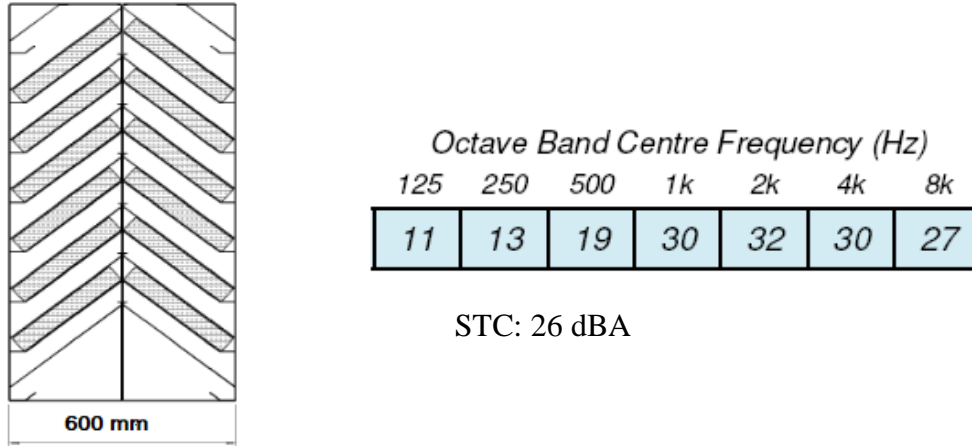


Figure 11. The ventilation grill design that was developed for transformers and the transmission loss (TL) values that in needs to satisfy

3. Conclusions

The study observed the noise and vibration effects of a dry type transformer that was installed into the ground floor of a building that is located in a residential area. The negative effects of building transformers in a residential area and related issues on people's health and psychology should be minimized. Therefore, after determining the effects, an insulation project planning process was carried out to reduce these noise- and vibration-related effects and achieve the limit values stated in the scope of ENAMR. The INSUL Version 6.2 software developed by the firm Day Acoustics was used for project planning.

The project planning process was designed with 2 steps. For the first step, the insulation project to be implemented on the ceiling and interior side walls of the transformer center was planned, and its effectiveness was tested with the help of the software mentioned above. According to the software outputs, it was projected that a sound transmission loss (noise insulation) of 62 dB could be achieved by the design in question depending on the frequency characteristics of the source of the noise and the environment.

In the second step, it was aimed to control the structureborne noise and vibration. As a result of the analysis on the modeling software mentioned above, it was projected that a 95% reduction could be achieved in vibration by using the design. Additionally, it was projected that a noise reduction of 26 dB could be achieved by the precaution to be taken for the ventilation grills on the door of the transformer center.

Consequently, while it is possible to reduce noise and vibration by taking precautions, the most effective solution would be building such equipment with high levels of noise and vibration effects in locations that are far from residential areas and centers that are designated for these.

References

- [1] Karpuzcu M. 2005. Environmental Pollution and Control. Kubbealti. İstanbul (In Turkish).
- [2] Li Q., Qing L., Qiao F.X., Yu L. 2016. Impacts of pavement types on in-vehicle noise and human health. Journal of the Air & Waste Management Association, 66: 87-96.
- [3] Tabraiz S., Ahmad S., Shehzadi I., Asif M.B. 2015. Study of physio-psychological effects on traffic wardens due to traffic noise pollution; exposure-effect relation. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 13: 1-8.
- [4] Stansfeld S.A., Matheson M.P. 2003. Noise pollution: non-auditory effects on health. British Medical Bulletin, 68: 243-257.
- [5] Lee S.C., Hong J.Y., Jeon J.Y. 2015. Effects of acoustic characteristics of combined construction noise on annoyance. Building and Environment, 92: 657-667.
- [6] Ataş A., Şahin E., Belgin E., Aktürk N. 1995. Effects on Industrial Hearing Thresholds. 5th. Ergonomics Congress, İstanbul, 261-269.

- [7] Mandula J., Salaiova B., Orolin P., Dubravsky M., Olexa T., Frolova O. 2015. Environmentally friendly road asphalt mixtures. International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering, 973-976.
- [8] Beranek L.L. 1971. Noise and Vibration Control. Mc Graw Hill Books, New York.
- [9] Kroemer K., Kroemer H., Kroemer E. 2001. Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency, Second Edition. Prentice Hall, Singapore.
- [10] Doğan E. 2016. Analysis of noise level in power transformers. Master Thesis, Yıldız Technical University, Institute of Science, İstanbul.
- [11] Ministry of Environment and Forestry (MOEF). 2010 Environmental risk assessment and management regulation. Official Newspaper, Date and issue: June 4: 2010/ 27601.
- [12] Kutanis M., Boru E.O., Işık E. 2017. Alternative instrumentation schemes for the structural identification of the reinforced concrete field test structure by ambient vibration measurements. KSCE Journal of Civil Engineering, 21: 1793-1801.
- [13] Wu W., Kern J.A. 2016. Temperature rise prediction of a natural cooling dry-type transformer. Southeast Conference, Atlanta, 1-2
- [14] Bilgili S., Gürtepe E., Türkel E., Altınoluk A.M., Hüsmen N., Bütün A., Ertorun H. 2016, Environmental Noise Measurement and Evaluation Guide, <http://gurultu.cevreorman.gov.tr/gurultu/Files/Gurultu/Dokumanlar/Kilavuz.pdf> (In Turkish) (Accessed date: 10.22.2016).
- [15] Tapiawala G., Mishra R.K. 2016. Comprehensive modeling of dry type foil winding transformer to analyse inter turn insulation under lightning impulse voltage. 19th National Power Systems Conference (Npsc), Bhubaneswar, 1-5
- [16] Toren M., Çelebi M. 2016. Impact on efficiency of core materials in dry type transformers. Electric, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO) National Conference, Bursa, pp: 308-312.
- [17] Svantek web page, 2016. (http://www.svantek.com/lang-en/product/6/svan_958a_four_channels_sound_vibration_analyser.html#specification) (Accessed 22.10. 2016).

Araştırma Makalesi / Research Article

Betonarme Yapılarda Kullanılan Malzeme Modellerinin Karşılaştırılması

Ercan IŞIK^{1*}, Mesut ÖZDEMİR², İbrahim Baran KARAŞİN³, Abdülhalim KARAŞİN³

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis

²Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis

³Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

(ORCID: 0000-0001-8057-065X) (ORCID:0000-0003-0769-5098)

(ORCID: 0000-0001-5990-1215) (ORCID: 0000-0002-8802-0588)

Öz

Malzeme modelleri yapıların sismik analizlerinde önemli rol oynamaktadır. Literatürde, betonarme yapılarda kullanılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkisini tanımlamak için çeşitli malzeme modelleri bulunmaktadır. Beton ve çelik gibi iki farklı yapı malzemesinin bir arada kullanılması ile elde edilen betonarme yapılarda malzeme modelleri ayrı bir öneme sahiptir. Hem beton hem de çelik için kullanılan farklı malzeme modellerinin karşılıklı etkileşimi çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Çalışmanın amacı betonarme yapılarda kullanılan farklı malzeme modellerinin birbirleri ile uyumlu olup olmadığını kontrol etmektir. Bu çalışmada dörder farklı beton ve çelik malzeme modeli dikkate alınarak seçilen iki katlı betonarme bir yapı için hesaplamalar yapılmıştır. Her bir malzeme modeli için X ve Y doğrultularında taban kesme kuvveti – deplasman eğrileri elde edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan malzeme modelleri hakkında bilgiler verilmiştir. Farklı malzeme modelleri arasında bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Bu malzeme modellerinin birlikte kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Beton, Çelik, Malzeme Modeli, Performans, Statik İtme Eğrisi

Comparison of Material Models Used in Reinforced Concrete Structures

Abstract

The material model takes a significant role in the seismic analysis of structures. There are several material models in the literature to define the stress-strain relationship of material that used in reinforced concrete buildings. The reinforced concrete has a particular importance in terms of its material models as it is obtained with the use of two different construction materials together such as concrete and steel. The mutual interaction of the different material models for both of concrete and steel comprises of the study's subject. The goal of study is to control whether the material models which are used in the reinforced-concrete structures are in compatible with each other or not. In this study, calculations are made for a two-story structure, taking four different concrete and steel models into account. For each model, displacement amount for X and Y axes and base shear force-displacement graphs are drawn. The obtained values are compared and suggestions are made.

Keywords: Concrete, Steel, Material Model, Performance, Pushover

1. Giriş

Yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi gerçekleştirilirken yapı malzemelerinin yük altındaki davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Yapı malzemelerinin yük altındaki davranışları matematiksel modeller yardımı ile yapılmaktadır. Literatürde malzemeler ile ilgili matematiksel modeller yaygın olarak bulunmaktadır. Matematiksel modelleme yapılırken malzemeye ait gerilme – şekil değiştirme (σ - ϵ) ilişkisinden faydalanılmaktadır. Gerilme - şekil değiştirme ilişkisi de gerilme veya kuvvete bağlı elde edilen denge denklemleri ve malzemede meydana şekil değişikliklerinin ifade edildiği uygunluk

*Sorumlu yazar: eisik@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 31.01.2019, Kabul Tarihi: 22.07.2019

denklemleri arasında oluşturulan bağlantılar ile ilişkilidir. Denge ve uygunluk denklemleri malzeme özelliklerinden bağımsız olarak elde edilmektedir. Bunlar ile ilgili çözümler yapılırken malzemenin gerilme şekil değiştirme ilişkisinin doğruluğuna bağlı olarak hata payı değişmektedir. Dolayısıyla çözümlerini kolaylaştırmak adına $(\sigma-\varepsilon)$ eğrileri idealize edilerek basitleştirilmektedir. Basite indirgenerek yapıların tasarımında ve değerlendirilmesinde kullanılan $(\sigma-\varepsilon)$ eğrilerine matematiksel model denilmektedir. Beton ve çelik ile ilgili mukavemet problemleri çok değişkenli olduğundan bu malzemelerin yük altındaki davranışı için de matematiksel modellere ihtiyaç duyulmaktadır [1-3].

Beton ve çelik gibi malzeme özellikleri farklı iki yapı malzemesinin bir araya gelmesinden oluşan betonarme yapılarda malzeme modelleri önemli bir yer tutmaktadır. Hem beton hem de çelik için kullanılan birçok malzeme modeli mevcuttur. Bu malzeme modelleri arasındaki ilişki ile çalışmalar çok kısıtlıdır. Bu çalışmada hem beton hem de çelik için değişik araştırmacılar tarafından önerilen malzeme modellerinin birbirleri ile karşılıklı etkileşimi ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan her bir malzeme modeli hakkında bilgiler verilmiştir.

Herhangi bir malzeme için gerilme – şekil değiştirme ilişkisinin bilinmesi inşaat mühendisliği tasarım ve değerlendirme esnasında yapı güvenliği hesaplamalarında çok önemlidir. Gerilme – şekil değiştirme ilişkisi genel olarak malzeme modelleri ile ifade edilmektedir. Hem beton hem de çelik için çeşitli malzeme modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, Mander vd. [4], İlki vd. [5], Chang ve Mander [6] ile Kappos- Konstandinis [7] olmak üzere dört farklı beton malzeme modeli kullanılmıştır. Çelik malzeme modelleri olarak da iki doğrultulu çelik modeli (stl_bl) [8], Menegetto-Pinto çelik modeli (stl_mp) [9], Monti-Nuti çelik modeli (stl_mn) [10] ile Dodd-Restrepo çelik modeli (stl_dr) [11] olmak üzere dört farklı seçim yapılmıştır. Her bir beton malzeme modeli için farklı çelik modelleri seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca her bir çelik malzeme modeli için de farklı beton malzeme modelleri seçilerek hesaplamalar ayrıca yapılmıştır. Çalışmada her bir malzeme modelinin birbirleri ile karşılıklı etkileşimi ortaya konmaya çalışılmıştır. Seçilen örnek bir betonarme yapı için farklı malzeme modelleri kullanılarak hem X hem de Y doğrultusu için statik itme eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak öneriler yapılmıştır. Çalışmada ayrıca dikkate alınan malzeme modelleri hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. Betonarme yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi için gerilme – şekil değiştirme ilişkisinin bilinmesi önem arz etmektedir.

2. Materyal ve Metot

Dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak kullanılan malzemelerden biri betonarmedir. Betonarme, beton ve çelik gibi iki farklı yapı malzemesinin birlikte çalışması sonucu oluşan bir yapı malzemesidir. Çelik ve betonun yük altındaki davranışları birbirlerinden farklıdır. Bu da her iki malzeme için gerilme ve şekil değiştirme ilişkilerinin farklı olması sonucunu doğurmaktadır. Dolayısıyla betonarme yapılar için yapılacak hesaplamalarda hem beton hem çelik için farklı malzeme modelleri kullanılmaktadır [12,13]. Beton ve çelik için farklı şekillerde malzeme modelleri literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada çelik ve beton için farklı malzeme modelleri dikkate alınmıştır.

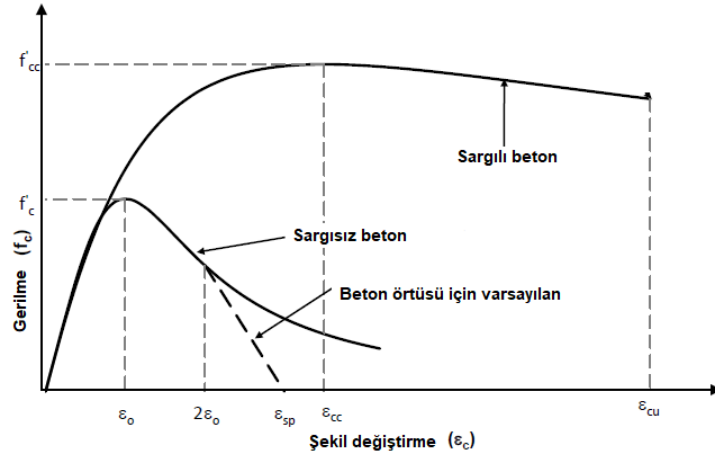
2.1. Çalışmada kullanılan beton modelleri

Bu çalışmada, Mander vd. [4], İlki vd. [5], Chang ve Mander [6] ile Kappos- Konstandinis [7] tarafından önerilen modeller olmak üzere dört farklı beton malzeme modeli kullanılmıştır. Seçilen bu malzeme modelleri yapı analizlerinin yapılacağı yazılım programı veri tabanında yer alan modellerdir.

2.1.1. Mander vd. doğrusal olmayan beton modeli (con_ma)

Bu model tek eksenli, sabit sargı modeli olup Mander vd. [4] tarafından ortaya konulmuştur. Bu model, statik ve dinamik eksenel sıkıştırma yükü altında dairesel ve dikdörtgen kesitler ile sınırlandırılmıştır [14]. Yatay sargı donatısı tarafından sabit bir sargı etkisi sağlamakta ve belirlenen kurallara göre hesaplanan bu gerilmenin bütün gerilme-birim şekil değiştirme boyunca aynı olduğu kabul edilmektedir. Bu modelin tanımlanmasında betonun basınç mukavemeti (f_c), çekme mukavemeti (f_t), en büyük gerilmedeki birim şekil değiştirme, elastisite modülü (E_c) ve öz ağırlık değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır [8]. Türk Deprem Yönetmeliğinde bu malzeme modeli kullanılmıştır [15]. Bu modelde, moment-eğrilik ilişkileri, nihai deformasyon kriterleri ve plastik mafsal boyu ($L_p = h/2$) kullanılarak her bir elemanın

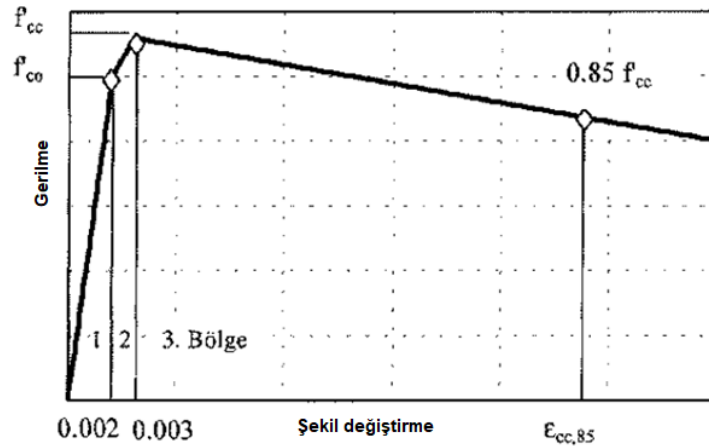
plastik dönme kapasitesi ve mafsal özellikleri belirlenmiştir [16]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mander vd. tarafından önerilen sargılı ve sargısız betonlar gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [17]

2.1.2. Üç doğrulu beton modeli (con_tl)

Bu model; basitleştirilmiş, tek eksenli, üç doğrulu bir beton modelidir. Bu modelde betona ait beş farklı mekanik özelliğin kalibrasyonu dikkate alınmıştır. Bunlar, basınç mukavemeti (f_{c1}), ilk rijitlik (E_1), pik sonrası rijitlik (E_2), kalan (nihai) mukavemet (f_{c2}) ve özağırlık değerleridir [8]. Bu modelde davranış üç ayrı bölgede incelenmektedir. Birinci bölge 0.002 eksenel kısılma şekil değiştirmesine kadar bir doğru ile tanımlanmakta ve 0.002 eksenel kısılmada sargılanmış betonda gerilmenin sargılanmamış eleman beton dayanımına eşit olduğu kabul edilmektedir [5]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir.

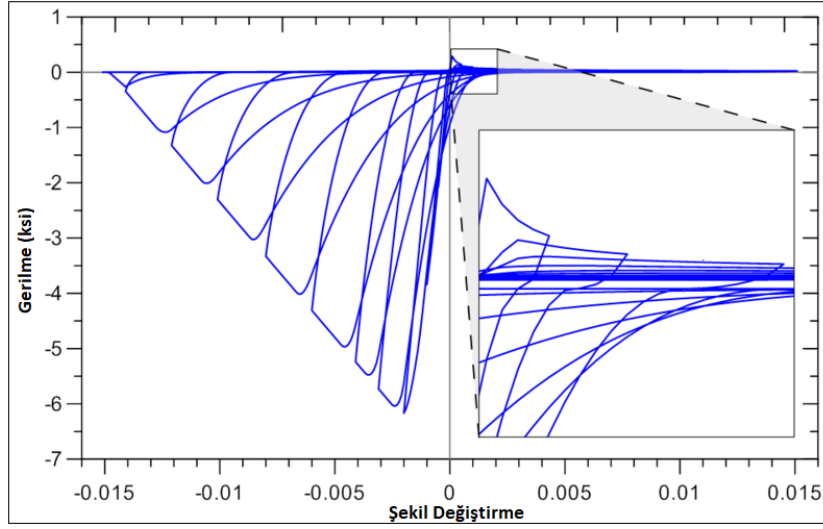


Şekil 2. Üç doğrultulu beton modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

2.1.3. Chang-Mander doğrusal olmayan beton modeli (con_cm)

Chang ve Mander'in (1994) tarafından geliştirmiş beton modelidir [6]. Bu beton modeli, ani çatlak kapanması sonucu kesit modüllerinde ani değişiklikler içeren diğer modellere nazaran, çatlak açılma-kapanma sırasında gerilme-birim şekil değiştirme davranışında geçişlere özel bir önem vermektedir. Çekme altındaki beton davranışı, basınç altında da olduğu gibi, tekrarlı bir davranışa sahip olup modele ait basınç ve çekme zarflarıysa orijindeki gerilme-birim şekil değiştirme davranışının eğimini ve aynı davranışın artan ve azalan kısımlarını (ör: pik-öncesi ve pik-sonrası kısımlar) kontrol etmektedir. Bu modelde sekiz adet parametre bulunmaktadır. Bu parametreler; betonun basınç mukavemeti (f_c), çekme mukavemeti (f_t), elastisite modülü (E_s), en büyük basınçta birim kısılma, en büyük çekme

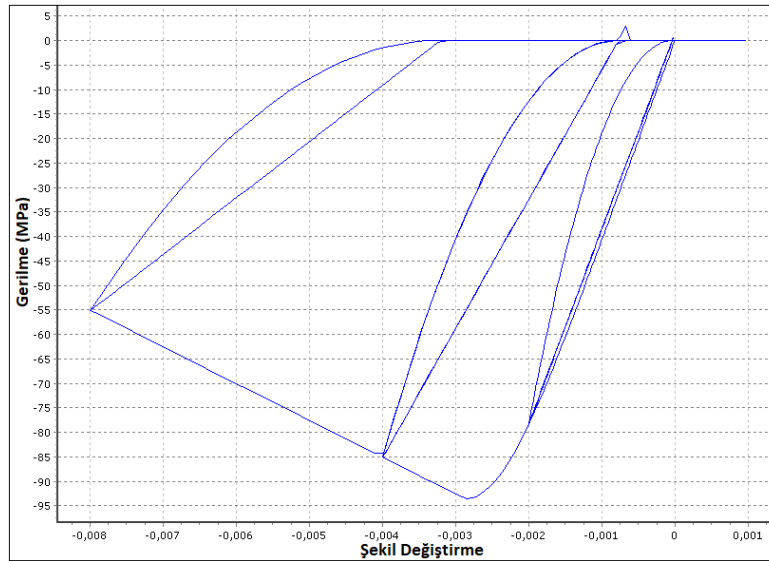
gerilmesindeki birim uzama, boyutsuz kritik basınç kısalması (X_{cr-}), boyutsuz kritik çekme uzaması (X_{cr+}) ve öz ağırlıktır [8]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Chang ve Mander beton modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [18]

2.1.4. Kappos ve Konstantinidis doğrusal olmayan beton modeli (con_hs)

Yüksek dayanımlı betonlar için Kappos ve Konstantinidis (1999) tarafından geliştirilmiş ve programlanmış, tek eksenli, doğrusal olmayan ve sabit sargı etkisine sahip bir modeldir [7]. Nagashima et al. (1992) tarafından önerilen konstitütif ilişkiyi kullanır ve istatistiksel olarak kalibrasyonu da yelpazesi çok geniş olan bir deneysel veriye göre yapılmıştır [19]. Enine donatı tarafından sağlanan sargı etkisi değiştirilmiş Sheikh ve Uzumeri (1982) faktörüyle (sargı etkisi katsayısı) ele alınmaktadır [20]. Bütün gerilme-birim şekil değiştirme tanım aralığı boyunca sabit bir sargı etkisinin varlığı kabul edilir. Bu modelde betonun basınç mukavemeti (f_c), çekme mukavemeti (f_t), elastisite modülü ve öz ağırlık parametreleri modeli tanımlayabilmek için gereklidir [8]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kappos ve Konstantinidis beton modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

Çalışmada ele alınan beton malzeme modelleri için kullanılan değişkenler ve değerler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan beton malzeme modellerinin karşılaştırılması

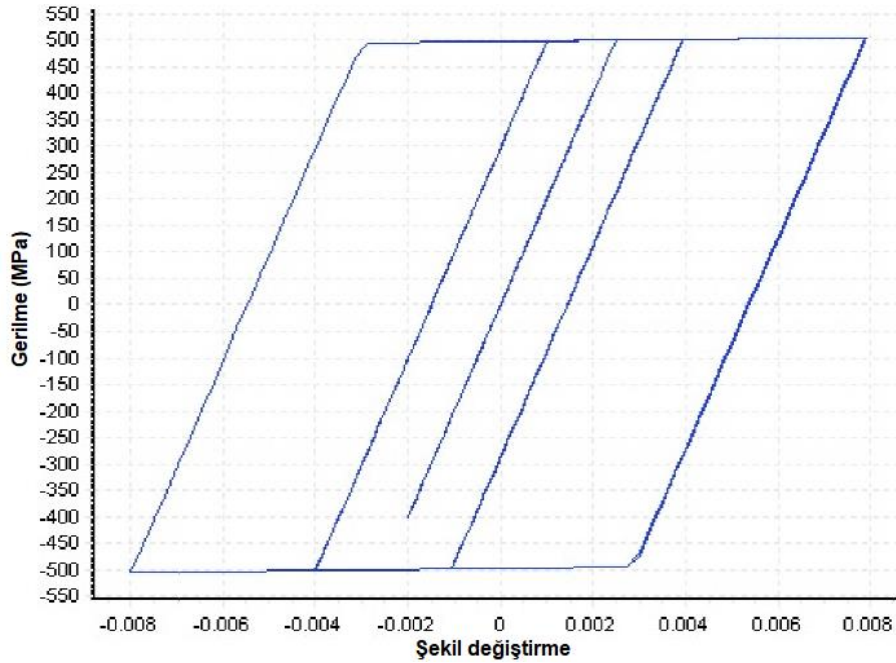
Malzeme Modeli	Mander vd.		Üç Doğrultulu		Chang-Mander		Kappos- Konsantinidis	
	Tipik Değerler	Varsayılan Değer	Tipik Değerler	Varsayılan Değer	Tipik Değerler	Varsayılan Değer	Tipik Değerler	Varsayılan Değer
Basınç mukavemeti – f_{c1} (kPa)	15000-45000	28000	15000-45000	28000	15000-45000	28000	50000-12000	78000
İlk rijitlik – E_1 (kPa)	---	---	1.50E+07-3.00E+07	2.00E+07	---	---	---	---
Pik sonrası rijitlik – E_2 (kPa)	---	---	5.00E+06- 3.00E+07	1.00E+07	---	---	---	---
Kalan mukavemet – f_{c2} (kPa)	---	---	5000-15000	5000	---	---	---	---
Öz ağırlık - (γ) (kN/m ³)	24	24	24	24	24	24	24	24
Çekme mukavemeti – f_t (kPa)	2000-3000	2200	---	---	---	2200	---	4600
Elastisite modülü (E_c) (MPa)	18000-30000	24870	---	---	10000-30000	22960	35000-45000	40742
En büyük basınçta kısılma – ϵ_c	0.002 -0.0022	0.002	---	---	0.002 -0.0022	0.002	---	---
En büyük çekmede uzama – ϵ_t	---	---	---	---	0.0002 -0.00022	0.0002	---	---
Boyutsuz kritik basınç kısılması - r	---	---	---	---	1.1-1.5[-]	1.3[-]	---	---
Boyutsuz kritik çekme uzaması – X_{CR}	---	---	---	---	1-5[-]	3[-]	---	---

2.2. Çalışmada Kullanılan Çelik Modelleri

Bu çalışmada, iki doğrulu çelik modeli (stl_bl) [8], Menegetto-Pinto çelik modeli (stl_mp) [9], Monti-Nuti çelik modeli (stl_mn) [10] ile Dodd-Restrepo çelik modeli (stl_dr) [11] olmak üzere dört farklı malzeme modeli dikkate alınmıştır. Modellerin tamamı yazılım programı içerisinde yer almaktadır.

2.2.1. İki doğrulu çelik modeli (stl_bl)

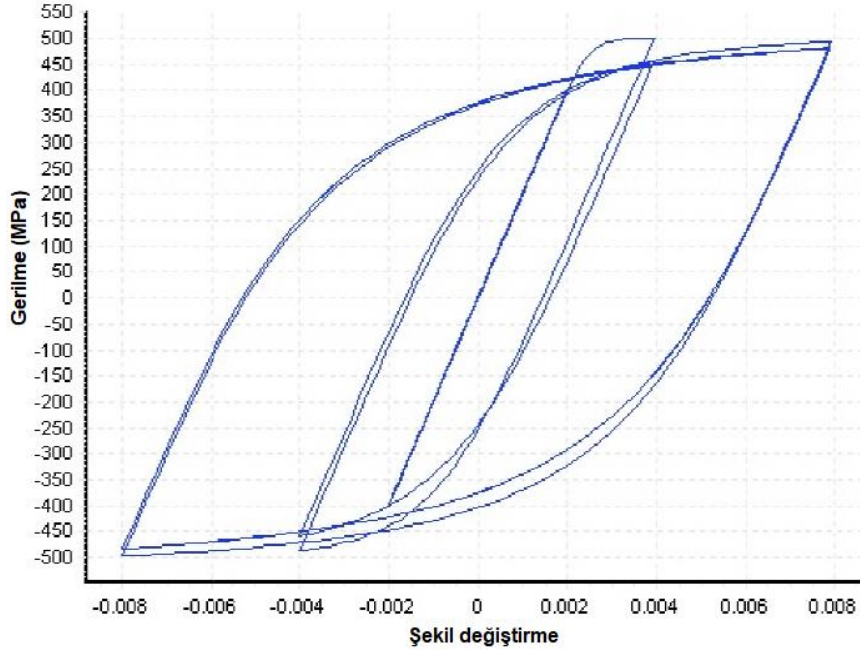
Çalışmada kullanılan bu model, iki doğrulu, tek eksenli kinematik pekleşmeli gerilme-şekil değiştirme modelidir. Bu modelde, elastik kısım değişik yüklemelerde aynı kalmakta ve çeliğin akmasından sonra pekleşme kuralı gereği akma yüzeyi birim plastik deformasyon artırımı ile doğrusal orantılı olduğu kabul edilmektedir. Bu bir temel model olup, hesaplama verimliliği ve değişkenleri kolaylıkla ayarlanabilen bir modeldir. Çelik yapılarda ve betonarme yapılarda kullanılabilir. Model, çok basit bir formülasyona sahip olmasından dolayı yük tersinimlerinin ciddi olduğu betonarme yapılarda kullanılması uygun olmamaktadır [8]. Elastisite modülü (E_s), akma dayanımı (f_y), pekleşme değişkeni (μ), kopma/burkulma-birim şekil değiştirmesi (ϵ_{ult}) ve öz ağırlık (γ) olmak üzere beş farklı değişken ile mekanik özellikler ifade edilmektedir. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. İki doğrulu çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

2.2.2. Menegetto-Pinto çelik modeli (stl_mp)

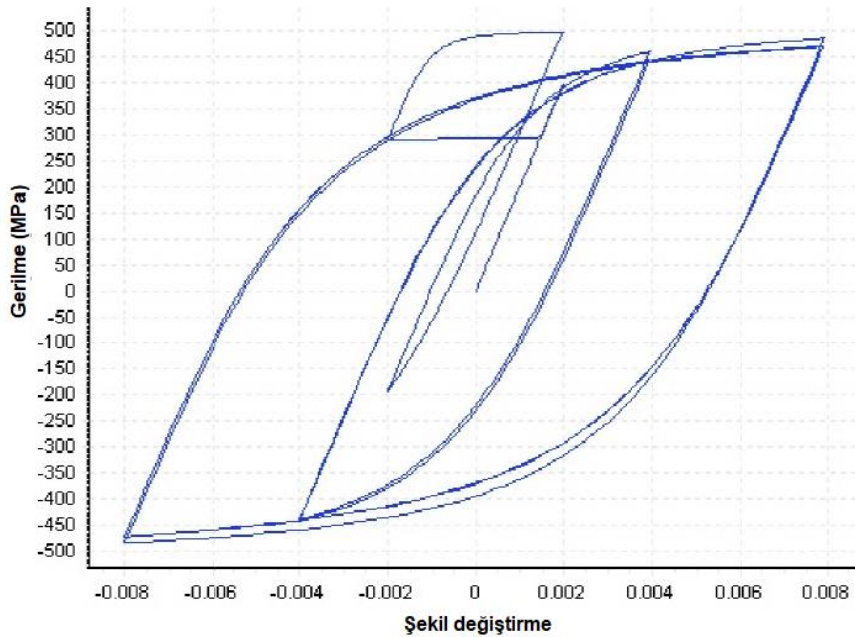
Bu tek eksenli bir çelik modeli olup ilk olarak Yassin [21] tarafından Menegetto-Pinto [9] tarafından önerilen basit ama etkili bir gerilme-şekil değiştirme ilişkisi temelinde programlanmıştır. Programlanan bu model Filippou vd. [22] tarafından tanımlanan izotropik pekleşme kuralları ile birleştirilmiştir. Programlanan uygulama Monti vd [10] çalışmasında belirtildiği gibidir. Modele, Fragiadakis vd. [23] tarafından ilave bir kural önerilmiştir. Betonarme yapılarda uygulaması sınırlı olmakla birlikte, yük tersinimlerinin var olduğu yüklem karmaşıklıklarının bulunduğu hallerde kullanılması daha uygun olmaktadır. Nervürlü betonarme çeliği için düşünülmüş ise de malzeme parametrelerinin doğru kalibrasyonunun sağlanması ile düz betonarme donatısı içinde kullanılabilir [24-26]. Bu modelde on farklı kalibrasyon değişkeni bulunmaktadır. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 6. Menegetto-Pinto çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

2.2.3. Monti-Nuti Çelik modeli (stl_mn)

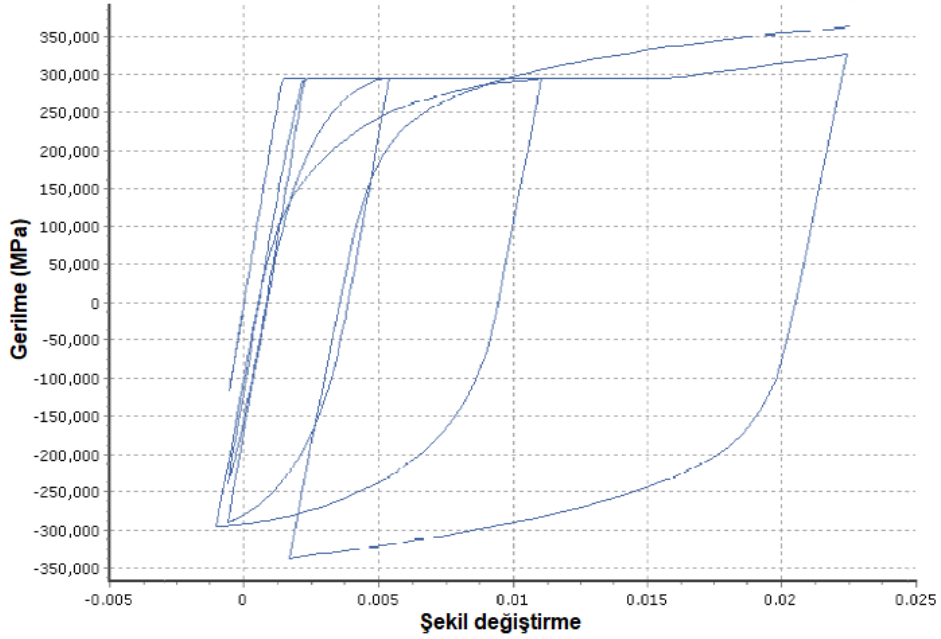
Bu model ilk defa Monti vd. (1996) tarafından programlanmıştır [10]. Bu modelde basınç etkisindeki betonarme çeliklerinin elastik sonrası burkulmasını modelleme imkanına sahiptir. Model, Menegetto-Pinto(1993) [9] tarafından önerilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, Filippou vd. (1983) [22] tarafından önerilen izotropik pekleşme ve Monti-Nuti (1992) tarafından önerilen burkulma kurallarının tümünü içermektedir [27]. Fragiadakis vd. (2008) tarafından geçici deprem yüklemesi esnasında kararlılık ve doğruluğu arttırmak adına ilave bir kural eklenmiştir [23]. Menegetto-Pinto çelik modelinde olduğu gibi nervürlü betonarme çeliği için düşünülmüş ise de malzeme parametrelerinin doğru kalibrasyonunun sağlanması ile düz betonarme donatısı içinde kullanılabilir [24]. Bu modelde on farklı kalibrasyon değişkeni bulunmaktadır. Bu model için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Monti - Nuti çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

2.2.4. Dodd – Restrepo çelik modeli (stl_dr)

Tek eksenli olarak modellenen çelik malzeme modeli ilk olarak Dodd ve Restrepo tarafından ortaya konmuştur [11]. Yük boşaltma modülü plastik birim şekil değiştirme değerine bağlı iken sonuç birim uzaması yalnızca sınır birim kısılma değerine bağlıdır. Malzeme modelinin tanımlanabilmesi için sekiz farklı değişkene ihtiyaç duyulmaktadır [8]. Bu model, herhangi bir gerilme adımındaki eksenel şekil değiştirmeyi doğru bir şekilde tahmin etmek için iki koordinat dönüşümüne dayanmaktadır. İlk koordinat dönüşümünden sonra, dönüştürülmüş gerilme ve şekil değiştirme eğrileri hemen hemen aynıdır, hesaplamaları basitleştirir. İkinci koordinat dönüşümü, betonarme çeliğinin spesifik malzeme özelliklerine göre eğriyi normalleştirir [28,29]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Dodd-Restrepo çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

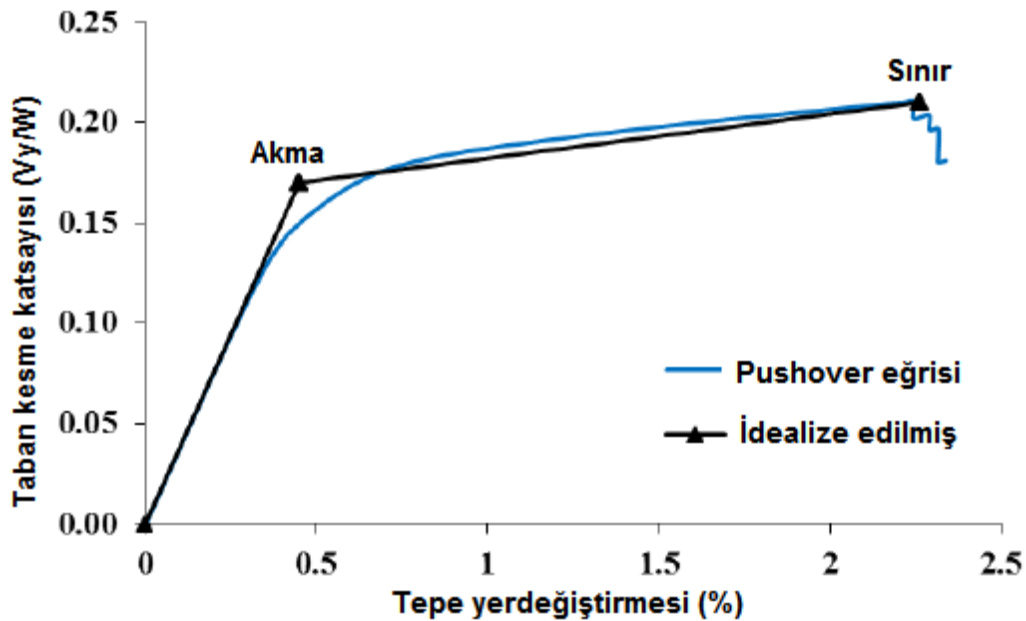
Çalışmada ele alınan dört farklı çelik malzeme modeli için kullanılan değişkenler ve değerlerin karşılaştırılması Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Çalışmada dikkate alınan çelik malzeme modellerinin karşılaştırılması

Malzeme Modeli	İki Doğrulu		Menegetto-Pinto		Munt-Nuti		Dodd-Restrepo	
	Tipik	Varsayılan	Tipik	Varsayılan	Tipik	Varsayılan	Tipik	Varsayılan
Malzeme Özellikleri								
Elastisite Modülü (E_s) (kPa)	2.00E+08 - 2.1E+08	2.00E+08	2.00E+08 - 2.1E+08	2.00E+08	2.00E+08 - 2.1E+08	2.00E+08	2.00E+08 - 2.1E+08	2.00E+08 - 2.1E+08
Akma Dayanımı (f_y) (kPa)	230000-650000	500000	230000-650000	500000	230000-650000	500000	230000-650000	295400
Pekleşme Değişkeni (μ)	0.005 - 0.015 (-)	0.005(-)	0.005 - 0.015 (-)	0.005(-)	0.005 - 0.015 (-)	0.005 (-)	---	---
Kopma-Burkulma Birim Şekil Değiştirilmesi	---	0.1 (-)	---	0.1(-)	---	0.1(-)	---	---
Özgül Ağırlık (γ) (kN/m ³)	78	78	78	78	78	78	78	78
Geçiş Eğrisinin İlk Şekil Değişkeni (R_p)	---	---	20(-)	20(-)	20 (-)	20 (-)	---	---
Geçiş Eğrisinin Şekil Kalibrasyon Değişkeni (A1)	---	---	18.5(-)	18.5(-)	18.5 (-)	18.5 (-)	---	---
Geçiş Eğrisinin Şekil Kalibrasyon Değişkeni (A2)	---	---	0.05-0.15 (-)	0.15 (-)	0.05-0.15 (-)	0.05-0.15 (-)	---	---
İzotropik Pekleşmenin Kalibrasyon Değişkeni (A3)	---	---	0.01-0.025 (-)	0(-)	---	---	---	---
İzotropik Pekleşmenin Kalibrasyon Değişkeni (A4)	---	---	2-7 (-)	1(-)	---	---	---	---
Kinematik / İzotropik Ağırlık Katsayısı (P)	---	---	---	---	0.9 (-)	0 (-)	---	---
Gerçek Olmayan Boşaltmayı Düzeltme Katsayısı (r)	---	---	---	---	2.5-5(%)	2.5 (%)	---	---
En Büyük Yükteki Gerilme (kPa)	---	---	---	---	---	---	---	479500
Pekleşme Eğrisinin Başlangıç Birim Şekil Değiştirilmesi	---	---	---	---	---	---	(-)	0.016 (-)
En Büyük Yükteki Şekil Değiştirme	---	---	---	---	---	---	(-)	0.207(-)
Pekleşme Eğrisinin Ara Noktasındaki Birim Şekil Değiştirme	---	---	---	---	---	---	(-)	0.053(-)
Pekleşme Eğrisinin Ara Noktasındaki Gerilme(kPa)	---	---	---	---	---	---	(-)	420000

2.3. Statik İtme Eğrisi

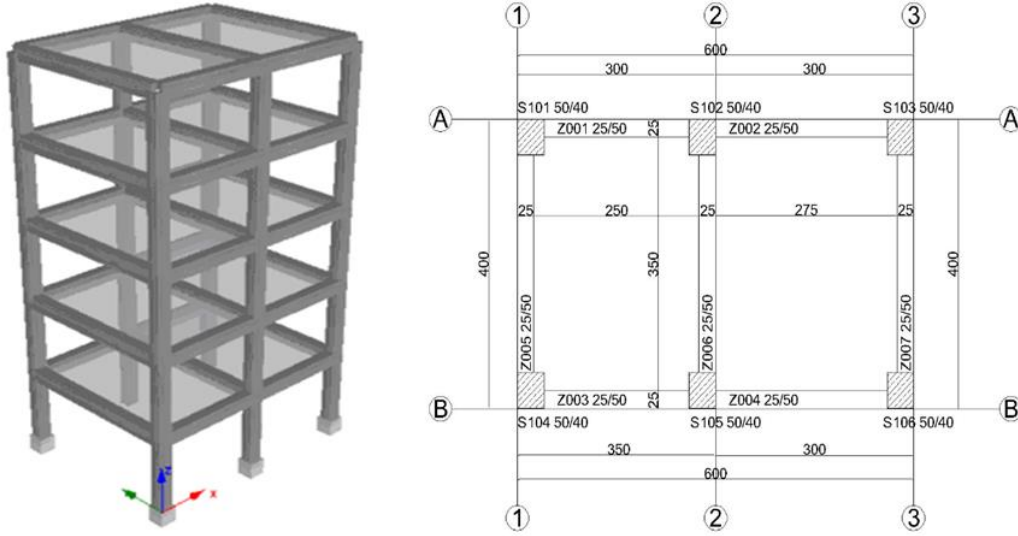
Herhangi bir yapıda tasarım yer hareketi altında oluşabilecek hasar düzeyleri belirlenirken performans dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Yapıyı meydana getiren her bir eleman için oluşacak hasar düzeylerinin kabul edilen sınır değerlerini sağlanıp, sağlanmadığının kontrolü mümkündür. Farklı büyüklükteki depremler için hedeflenen performans düzeylerinin öngörülen hasar sınır değerleri ile uyumlu olması gerekmektedir [30-34]. Bu amaç için koordinatları tepe yer değiştirilmesi – taban kesme kuvveti olan itme eğrisi (pushover eğrisi) elde edilmektedir. Bu eğrinin elde edilmesi statik itme analizi gereklidir. Mevcut veya tasarlanmış yapıların sismik performanslarını belirlemek için statik itme analizi popüler bir yöntem haline gelmiştir. Statik itme analizi ile tasarım yer hareketinden kaynaklanabilecek yapısal sistem ve bileşenlerinin sismik talepleri hakkında yeterli bir bilgiye ulaşılması amaçlanmaktadır. Statik itme analizi yapıda her iki doğrultu için farklı farklı uygulanabilmektedir. Herhangi bir yapının, herhangi bir doğrultusunda, sıfır konumundan yapının kararsız duruma geçmesine kadar artırılarak uygulanan yüklerin etkisinde elde edilen taban kesme kuvvetlerine karşılık gelen tepe yer değiştirme değerlerinin bir eğri üzerinde gösterilmesi statik itme eğrisini vermektedir (Şekil 9). Modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmesi ve yapının maksimum elastik ötesi yer değiştirme kapasitesinin hesaplanması ile statik itme eğrisi anlam kazanır [35-38].



Şekil 9. Tipik pushover ve ideal kapasite eğrisi [39]

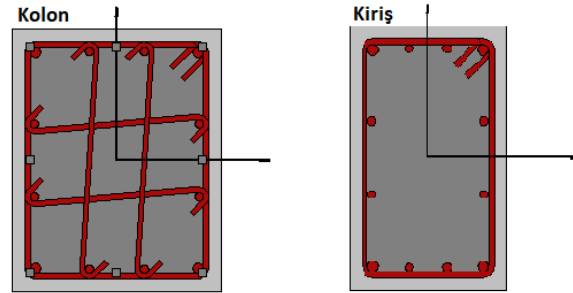
2.4. Bina Özellikleri

Çalışmada farklı malzeme modellerinin karşılıklı etkileşimini ortaya koymak adına beş katlı bir betonarme yapı seçilmiştir. Yapının her kati eşit yükseklikte olup 3m olarak alınmıştır. Betonarme malzeme sınıfı olarak C30-S420 seçilmiştir. Kolon ve kirişlerde kullanılan donatının çapı 14mm olarak seçilmiştir. Çalışmada dikkate alınan betonarme yapıya ait kat kalıp planı ve yazılım programından elde edile üç boyutlu modeli Şekil 10'da verilmiştir. Çalışmalarda Seismostruct yazılım programı kullanılmıştır [40].



Şekil 10. Yapıya ait kat kalıp planı ve üç boyutlu modeli

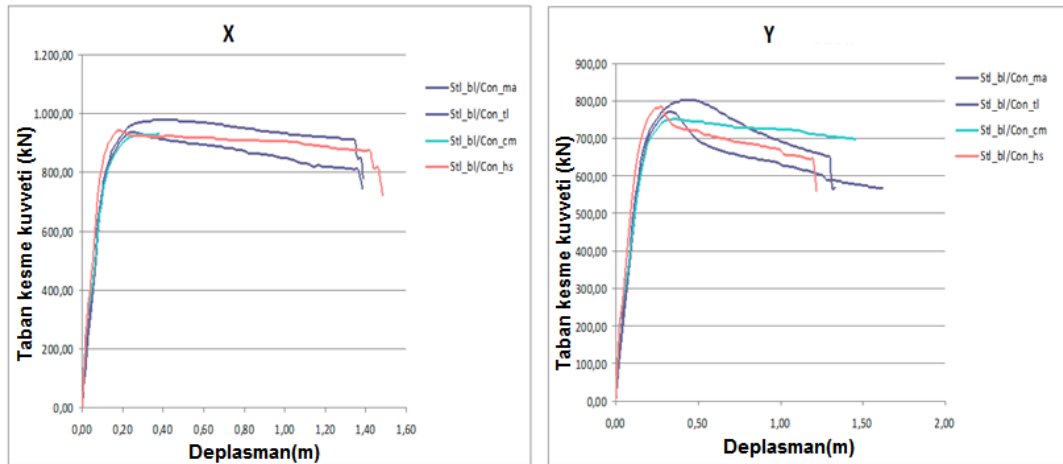
Yapıda kullanılan tüm kolonların boyutları 40*50cm ve tüm kirişler ise 25*50cm olarak seçilmiştir. Kiriş ve kolonlarda köşe donatısı olarak 4Φ20 iç kısımlarda ise 8Φ16 olarak belirlenmiştir. Kiriş ve kolonların tümünde enine donatı olarak $\phi 10/10$ dikkate alınmıştır. Kolon ve kiriş kesitleri Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Kolon ve kiriş en kesitleri

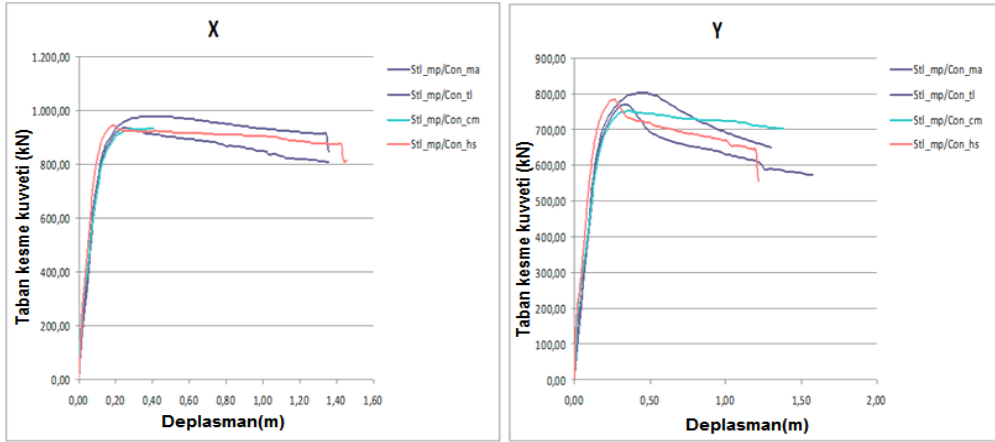
3. Bulgular

X ve Y doğrultuları için iki doğrulu çelik modeli için farklı beton modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 12'de gösterilmiştir.



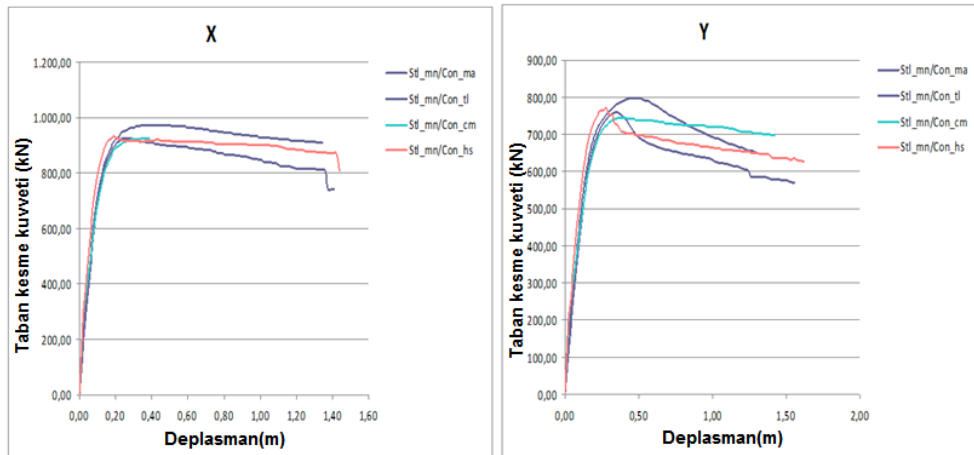
Şekil 12. İki doğrulu çelik modeli – dört farklı beton malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Menegetto-Pinto çelik malzeme modeli için farklı beton modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 13'te gösterilmiştir.



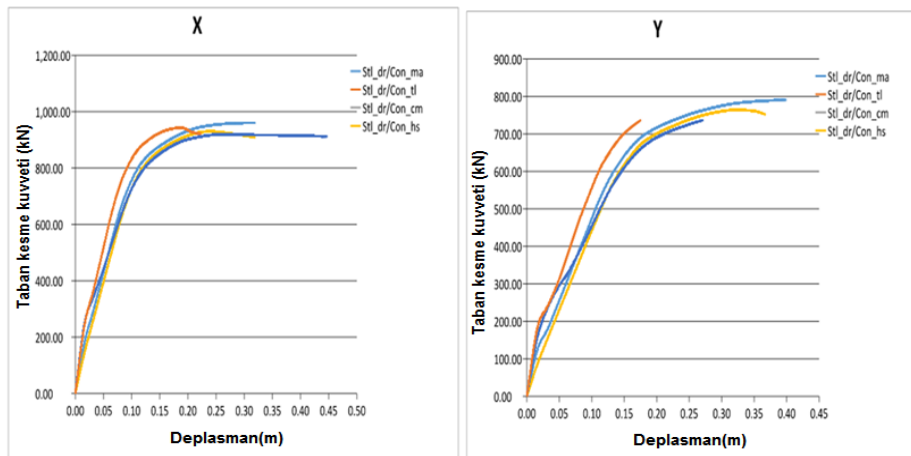
Şekil 13. Menegetto-Pinto çelik modeli – dört farklı beton malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Monti-Nuti çelik malzeme modeli için farklı beton modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 14'te gösterilmiştir.



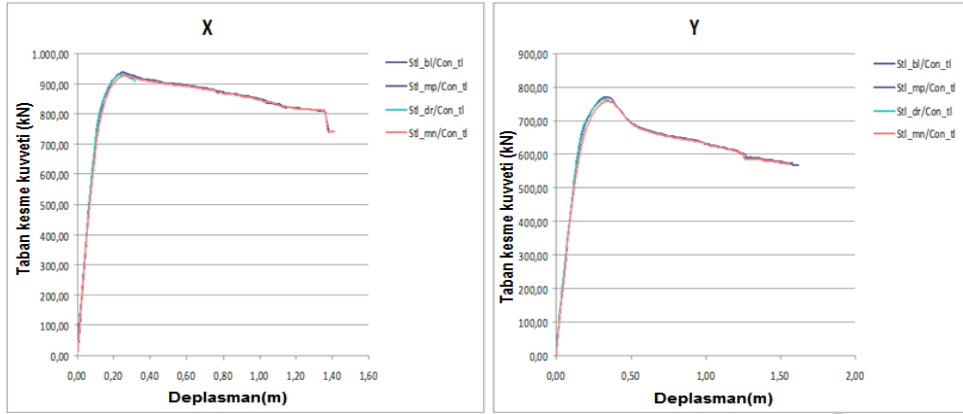
Şekil 14. Monti -Nutı çelik modeli – dört farklı beton malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Dodd-Restrepo çelik malzeme modeli için farklı beton modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 15'te gösterilmiştir.



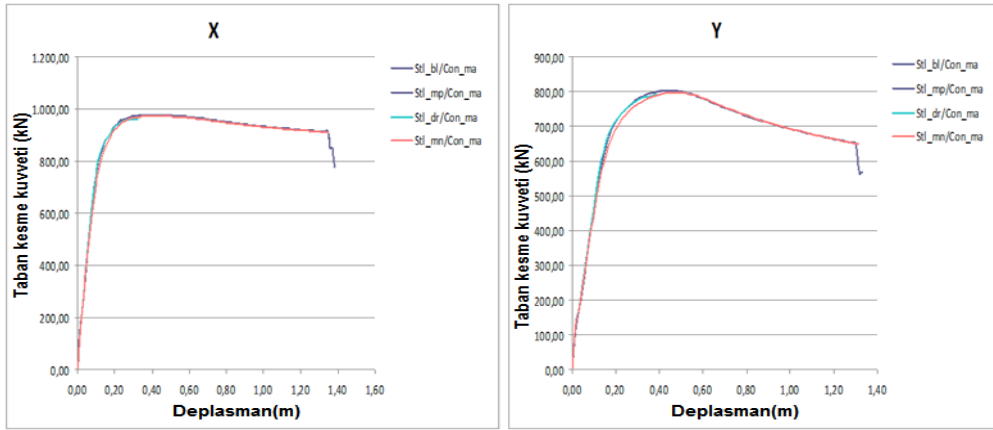
Şekil 15. Dodd-Restrepo çelik modeli – dört farklı beton malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için üç doğrulu beton malzeme modeli için farklı çelik malzeme modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 16’da gösterilmiştir.



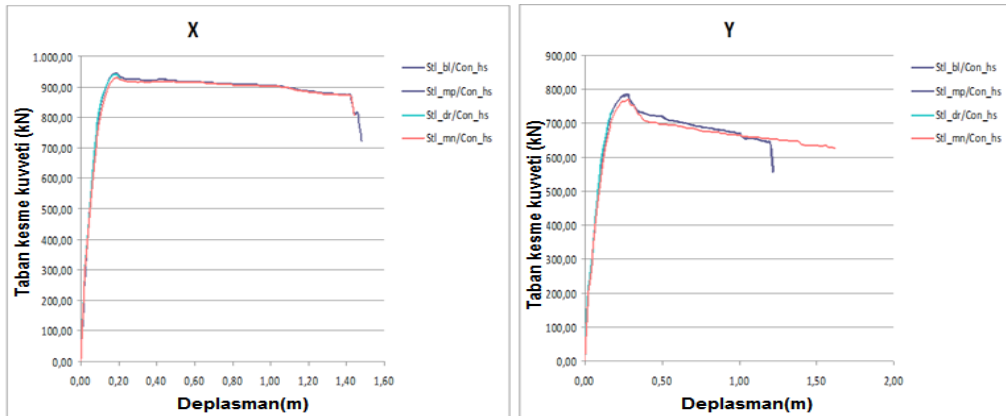
Şekil 16. Üç doğrulu beton modeli – dört farklı çelik malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Mander vd., beton malzeme modeli için farklı çelik malzeme modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 17’de gösterilmiştir.



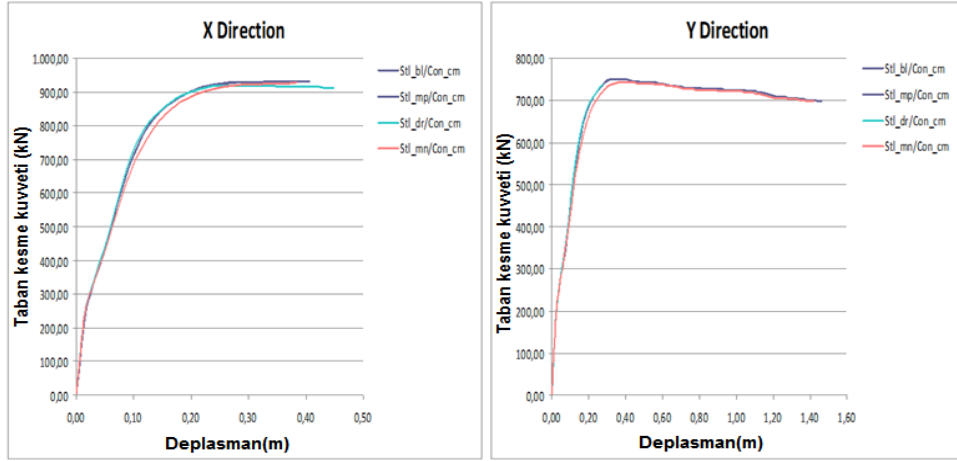
Şekil 17. Mander vd., beton modeli – dört farklı çelik malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Kappos- Konsantinidis beton malzeme modeli için farklı çelik malzeme modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Kappos- Konsantinidis beton modeli – dört farklı çelik malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Chang-Manderdoğrusal olmayan beton malzeme modeli için farklı çelik malzeme modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Chang-Mander doğrusal olmayan beton modeli – dört farklı çelik malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

Çalışmada dikkate alınan beton malzeme modellerinin her birinin sabit olması ve kullanılan çelik malzeme modelinin değişken olarak seçilmesi durumunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvetlerinin X ve Y doğrultularında karşılaştırılması Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Farklı beton malzeme modelleri için elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Beton Malzeme Modeli	Çelik Malzeme Modeli	Yer değiştirme (cm)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
		Doğrultu		Doğrultu	
		X	Y	X	Y
Mander vd.	İki doğrulu	138.6	132.9	778.084	568.29
	Menegetto-Pinto	135.8	130.2	845.19	650.90
	Monti-Nuti	134.4	131.1	910.16	649.12
	Dodd-Restrepo	32	40	960.53	790.78
Üç doğrulu	İki doğrulu	138	161.9	744.79	566.25
	Menegetto-Pinto	135.8	157.9	808.96	572.58
	Monti-Nuti	140.8	155.93	740.27	570.76
	Dodd-Restrepo	32	36.79	907.88	751,54
Chang-Mander	İki doğrulu	38	145.4	931.62	697.79
	Menegetto-Pinto	40.6	137.95	931.86	701.89
	Monti-Nuti	38.4	141.95	926.95	697.19
	Dodd-Restrepo	44.8	27.19	911.77	736.89
Kappos-Konsantinidis	İki doğrulu	148	121,9	722.60	557.41
	Menegetto-Pinto	145.6	121.57	815.03	555.74
	Monti-Nuti	144	161.9	807.06	627.13
	Dodd-Restrepo	22.4	17.60	921.24	737.36

Çalışmada kullanılan her bir beton modelinin sabit kalması ve çelik malzeme modelinin değişken olarak alındığında en büyük taban kesme kuvvetleri ve en küçük yer değiştirmeler Dodd-Restrepo çelik modelinin kullanılmasından elde edilmiştir. Beton modeli sabit kalmak kaydı ile diğer üç çelik modelinde değerler birbirlerine oldukça yakın çıkmışlardır. Taban kesme kuvvetleri açısından çelik malzeme modellerinin tamamen uyum içinde olduğu söylenebilir. Dodd-Restrepo modelinde dikkate alınan sekiz farklı parametrenin büyük bölümü gerilme ve şekil değiştirme değişkenlerini içermektedir.

Çalışmada dikkate alınan çelik malzeme modellerinin her birinin sabit olması ve kullanılan beton malzeme modelinin değişken olarak seçilmesi durumunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvetlerinin X ve Y doğrultularında karşılaştırılması Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Farklı çelik malzeme modelleri için elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Çelik Malzeme Modeli	Beton Malzeme Modeli	Yerdeğiştirme (cm)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
		Doğrultu		Doğrultu	
		X	Y	X	Y
İki doğrulu	Mander vd.	138.6	132.9	778.084	568.29
	Üç doğrulu	138	161.9	744.79	566.25
	Chang-Mander	38	145.4	931.62	697.79
	Kappos- Konsantinidis	148	121.9	722.60	557.41
Menegetto-Pinto	Mander vd.	135.8	130.2	845.19	650.90
	Üç doğrulu	135.8	157.9	808.96	572.58
	Chang-Mander	40.6	137.95	931.86	701.89
	Kappos- Konsantinidis	145.6	121.57	815.03	555.74
Monti-Nuti	Mander vd.	134.4	131.1	910.16	649.12
	Üç doğrulu	140.8	155.93	740.27	570.76
	Chang-Mander	38.4	141.95	926.95	697.19
	Kappos- Konsantinidis	144	161.9	807.06	627.13
Dodd-Restrepo	Mander vd.	32	40	960.53	790.78
	Üç doğrulu	32	36.79	907.88	751.54
	Chang-Mander	44.8	27.19	911.77	736.89
	Kappos- Konsantinidis	22.4	17.60	921.24	737.36

4. Sonuçlar

Bu çalışma, yapı hesaplamalarında kullanılan malzeme modellerinin farklılaşmasının sonuçları ortaya koymak amacı ile yapılmıştır. Betonarme yapılarda kullanılan farklı çelik ve beton malzeme modellerinin karşılıklı etkileşimi için analiz ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yazılım programı içerisinde yer alan dörder farklı çelik ve beton malzeme modeli dikkate alınmıştır. Her bir model için bilgiler verilmiştir. Hem çelik hem de beton modellerinin kendi aralarında parametre değişimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışma kapsamında seçilen örnek bir betonarme bina için X ve Y doğrultularında statik itme eğrileri elde edilmiştir. Öncelikle beton malzeme modeli sabit tutularak çelik malzeme modeli değişken olarak seçilmiştir. Ayrıca çelik malzeme modeli sabit tutularak beton malzeme modeli değişken olarak seçilmiştir. Tüm bu durumlar için ayrı ayrı tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri hesaplanarak, karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan her bir çelik modelinin sabit kalması ve beton malzeme modeli değişken olarak alındığında X doğrultusunda en büyük taban kesme kuvvetleri ve en küçük yer değiştirmeler Chang-Mander doğrusal olmayan beton modelinin kullanılmasından elde edilmiştir. Y doğrultusunda ise tüm modellerde değerler birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Özellikle Y doğrultusunda çelik malzeme modeli sabit kalmak kaydı ile diğer üç beton modelinde değerler birbirlerine oldukça yakın çıkmışlardır. Taban kesme kuvvetleri açısından beton malzeme modellerinin sınıflarının tamamen uyum içinde olduğu söylenebilir.

Mander vd. üç doğrulu, Chang-Mander veya Kappos- Konsantinidis beton modellerinden herhangi birinin seçilmesi durumunda iki doğrulu, Menegetto-Pinto, Monti-Nuti çelik modelleri arasında bir uyum olduğu söylenebilir. Bu beton modelleri için bu üç farklı çelik modelinin betonarme yapılarda kullanılabileceği söylenebilir. Bu üç model için Dodd-Restrepo çelik modeli için elde edilen yer değiştirme değerleri diğer modellere nazaran farklı değerler aldığından kullanılmaması daha uygun olacaktır.

Çelik malzeme modeli olarak iki doğrulu, Menegetto-Pinto veya Monti-Nuti modelinin seçilmesi durumunda Mander vd. üç doğrulu ve Kappos- Konsantinidis beton malzeme model değerleri birbirlerine yakın değerler almıştır. Bu da, seçilecek olan bu çelik modelleri ile beton modellerinin

birbirleri ile beraber kullanılabilen sonuçunu doğurmaktadır. Dodd- Restrepo çelik malzeme modeli ile birlikte çalışmada dikkate alınan dört farklı beton malzeme modelinin kullanılabilen söylenebilir.

Malzeme modellerinin bazı koşullar altında, yapısal modele ve uygulanan yüklere göre değişebileceği unutulmamalıdır. Yapı analizlerinde farklı malzeme modelleri kullanırken kullanılan yazılım programında yer alan malzeme modelleri incelenerek hangi modelinin kullanılacağına öyle karar verilmelidir.

Kaynaklar

- [1] Ersoy U., Özcebe G. 2007. Betonarme. Evrim Yayınevi, 816s, Türkiye.
- [2] Celep Z. 2014. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme. Beta Dağıtım, 236s. İstanbul.
- [3] Işık E., Özdemir M. 2017. Performance Based Assessment of Steel Frame Structures by Different Material Models. International Journal of Steel Structures, 17 (3): 1021-1031.
- [4] Mander JB., Priestley MJN., Park R. 1998. Theoretical Stress-strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering, 114 (8): 1804-1825.
- [5] İlki A., Fukuta T., Özdemir P. 2003. Sargılı Beton Davranışı ve Üç Doğrudan Oluşan Gerilme – Şekil Değiştirme Modeli. IMO Teknik Dergi, 190: 2853-2871.
- [6] Chang GA. Mander JB. 1994. Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns: Part 1 –Evaluation of Seismic Capacity. NCEER Technical Report No. NCEER-94-0006, State University of New York, Buffalo, N.Y.
- [7] Kappos A., Konstantinidis D. 1999. Statistical Analysis of Confined High Strength Concrete Materials and Structures, 32: 734-748.
- [8] Antoniou S., Pinho R. 2003. Seismostruct–Seismic Analysis Program by Seismosoft. Technical Manual and User Manual.
- [9] Menegotto M., Pinto PE. 1973. Method of Analysis for Cyclically Loaded RC. Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending. Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, 15-22.
- [10] Monti G., Nuti C. 1992. Nonlinear Cyclic Behaviour of Reinforcing Bars Including Buckling. Journal of Structural Engineering, 118 (12): 3268-3284.
- [11] Dodd L., Restrepo-Posada J. 1995. Model for Predicting Cyclic Behavior of Reinforcing Steel Journal of Structural Engineering, 121 (3): 433-445.
- [12] Işık E., Özdemir M., 2017. Consistency of Concrete Material Models that Used for RC Buildings. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture & Civil Engineering, 36 (4): 92-105.
- [13] Karaşin İB., Işık E., Karaşin A., Özdemir M. 2017. Consistency of Steel Material Models that Used in the Design of RC Buildings, International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis), Bitlis.
- [14] Wu H. 2007. Constitutive Model of Concrete Confined by Advanced Fiber Composite Materials and Applications in Seismic Retrofitting, ProQuest.
- [15] Turkish Earthquake Code, 2007. Turkish Earthquake Code-Specification for Structures to be Built in Disaster Areas, Turkey.
- [16] Özmen HB., İnel M. 2011. Betonarme Yapılarda Malzeme Dayanımı ve Detaylandırma Özelliklerinin Sismik Hasar Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Türkiye.
- [17] Rediiar MKM. 2009. Stress-strain Model of Unconfined and Confined Concrete and Stress-block Parameters Diss. Texas A&M University.
- [18] Concrete CM, 2015. Chang-Mander Concrete Model. [http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/ConcreteCM__Complete_Concrete_Model_by_Chang_and_Mander_\(1994\).](http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/ConcreteCM__Complete_Concrete_Model_by_Chang_and_Mander_(1994).) (Erişim tarihi: 29.05.2019)

- [19] Nagashima T., Sugano S., Kimura H., Ichikawa A. 1992. Monotonic Axial Compression Test on Ultra-high-strength Concrete Tied Columns. In 10th World Conference on EarthquakeEngineering, 5:2983-2988.
- [20] Sheikh SA., Uzumeri SM. 1982. Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns. Journal of Structural Divisio, 108 (12): 2703-2722.
- [21] Yassin MHM. 1994. Nonlinear Analysis of Prestressed Concrete Structures under Monotonic and Cyclic Loads. PhD Thesis, University of California, Berkeley, USA.
- [22] Filippou FC., Popov EP., Bertero VV. 1983. Effects of Bond Deterioration on Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Joints. Report EERC 83-19, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- [23] Fragiadakis M., Pinho R., Antoniou S. 2008. Modelling Inelastic Buckling of Reinforcing Bars under Earthquake Loading in Progress in Computational Dynamics and Earthquake Engineering. Eds. M. Papadrakakis, D.C. Charnpis, N.D. Lagarosand Y. Tsompanakis, A.A. BalkemaPublishers – Taylor & Francis, TheNetherlands.
- [24] Prota A., Cicco F., Cosenza E. 2009. Cyclic Behaviour of Smooth Steel Reinforcing Bars: Experimental Analysis and Modelling Issues. Journal of Earthquake Engineering, 13 (4): 500-519.
- [25] Bosco M., Ferrara E., Ghersi A., Marino E., Rossi PP. 2014. Improvement of the Model Proposed by Menegotto and Pinto for Steel. 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology.
- [26] Abdelnaby AE., Elnashai AS. 2015. Numerical Modeling and Analysis of RC Frames Subjected to Multiple Earthquakes. Earthquakes and Structures, 9 (5): 957-981.
- [27] Monti G., Nuti C., Santini S. 1996. CYRUS – Cyclic Response of Upgraded Sections Report No: 96-2, University of Chieti, Italy.
- [28] Kim SH. 2015. Cyclic Uniaxial Constitutive Model for Steel Reinforcement. Doctoral Dissertation, Virginia Tech.
- [29] Kim SH., Koutromanos I. 2016. Constitutive Model for Reinforcing Steel under Cyclic Loading. Journal of Structural Engineerings, 142 (12): 04016133.
- [30] Ademovic N., Hrasnica M., Oliveira DV. 2013. Pushover Analysis and Failure Pattern of a Typical Masonry Residential Building in Bosnia and Herzegovina. Engineering Structures, 50: 13-29.
- [31] Aydınöglü MN. 2007. A Response Spectrum-based Nonlinear Assessment Tool for Practice: Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA). ISET Journal of Earthquake Technology, 44 (1):169-192.
- [32] Kutanis M., Boru OE. 2014. The Need for Upgrading the Seismic Performance Objectives. Earthquakes and Structures, 7 (4): 401-414.
- [33] Foti D. 2015. A New Experimental Approach to the Pushover Analysis of Masonry Buildings. Computers and Structures, 147: 165-171.
- [34] Isik E., Kutanis M. 2015. Performance Based Assessment for Existing Residential Buildings in Lake Van Basin and Seismicity of the Region. Earthquakes and Structures, 9 (4): 893-910.
- [35] Krawinkler H., Seneviratna GDPK. 1998. Prosand Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation. Engineering Structures, 20 (4): 452-464.
- [36] Estêvão JM., Oliveira CS. 2015. A New Analysis Method for Structural Failure Evaluation. Engineering Failure Analysis, 56: 573-584.
- [37] Karakaš N., Kalman Šipoš T., Hadzima-Nyarko M. 2018. Application of Different Seismic Analyses to RC Structures. E-GFOS, 9 (17): 39-51.
- [38] Işık E., Özdemir M., Karaşin İB. 2018. Performance Analysis of Steel Structures with A3 Irregularities. International Journal of Steel Structures, 18 (3): 1083-1094.
- [39] Inel M., Meral E. 2016. Seismic Performance of RC Buildings Subjected to Past Earthquakes in Turkey. Earthquakes and Structures, 11 (3): 483-503.
- [40] SeismoStruct v6.5 2014 A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures. Seismosoft.

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı İlık Karışım Asfaltların Nem Hasarına Karşı Dayanımlarının İncelenmesi

Taner ALATAŞ^{1*}, Akın İSTEK²

¹Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ

²Fırat Üniversitesi, Geoteknik Programı, Elazığ

(ORCID: 0000-0002-2762-0440) (ORCID: 0000-0003-4736-1957)

Öz

Bu çalışmada, Low Energy and Low Carbon-Dioxide Asphalt (Leadcap) ve Pawma-1 ılık karışım asfalt katkı maddeleri ile Stiren-Butadien-Stiren (SBS) katkı maddesi karışım numunelerinde denenmiştir. Leadcap %1.5, Pawma-1 %0.35 ve SBS %2 oranlarında kullanılmıştır. Aynı zamanda sönmüş kirecin ılık karışım asfaltlarda filler olarak kullanımının nem hasarı dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Sönmüş kireç %2 oranında filler yerine kullanılmıştır. Her bir karışım türü için 6 adet %7± 0,5 boşluk oranına sahip numune hazırlanmıştır. Bu boşluk oranını sağlamak için Marshall tokmağı ile numunelerin iki yüzüne 30 darbe uygulanmıştır. Koşullandırılacak numunelere 5 dakika süresince vakum uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışım asfaltların çekme dayanımı değerlerinin kontrol numunelerine göre bir miktar azaldığı görülmüştür. Sönmüş kireç katkısı ile Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışım asfaltların indirek çekme dayanımı değerlerinin, kontrol numunelerine göre daha yüksek oranlarda arttığı ve kontrol numunelerine yakın çekme değerleri olduğu görülmüştür. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış karışımların indirek çekme dayanımı (ITS) ve indirek çekme dayanımı oranlarına (ITSR) bakıldığında SBS modifiyeli karışımların en olumlu sonuçları verdikleri görülmüştür.

Anahtar kelimeler: İlık karışım asfalt, Nem Hasarı, Leadcap, Pawma-1, Modifiye asfalt.

Investigation of Resistance to Moisture Damage of Different Warm Mix Asphalts

Abstract

In this study, (Low Energy and Low Carbon-Dioxide Asphalt) Leadcap and Pawma-1 warm mix asphalt admixtures and Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) admixture were tested in mixture samples. Leadcap was used at 1.5%, Pawma-1 at 0.35% and SBS at 2%. At the same time, the effects of the use of hydrated lime as a filler on the moisture damage resistance of warm mix asphalts were investigated. Hydrated lime is used in place of 2% filler. For each mixture type, 6 samples with 7% ± 0,5 voids were prepared. Marshall hammer was applied with 30 pulses to two sides of the samples to provide this void ratio. Vacuum was applied to the samples to be conditioned for 5 minutes. From the results obtained, it was observed that the tensile strength values of Leadcap and Pawma-1 modified warm mix asphalts decreased slightly compared to the control samples. The addition of hydrated lime additive showed that the tensile strength values of Leadcap and Pawma-1 modified warm mix asphalts increased at higher ratios than the control samples and that the values were close to the control samples. When ITS and ITSR values of conditioned and unconditioned mixtures were examined, it was seen that SBS modified mixtures gave the most positive results.

Keywords: Warm mix asphalt, Moisture damage, Leadcap, Pawma-1, Modified asphalt.

*Sorumlu yazar: talatas@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.02.2019, Kabul Tarihi: 14.05.2019

1. Giriş

Yüksek maliyeti nedeniyle esnek kaplamaları oluşturan bitüm ve agreganın özellikleri, yolun öngörülen ömür ve konfor seviyesinin sağlanması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu karışımlarda ağırlıkça, agrega %94–96, bitüm %4–6 oranlarında yer almasına rağmen, kaplamanın maliyeti ve performansı üzerinde bağlayıcının büyük önemi bulunmaktadır. Viskoelastik davranış gösteren ve termoplastik bir malzeme olan bitüm, trafik yükleri altında yükün şiddetine, yükleme zamanına ve sıcaklığına bağlı olarak farklı davranışlar göstermektedir. Bu reolojik özelliğinden dolayı bitümün yapısal ve fiziksel özellikleri ile bitümlü karışımın davranışları arasındaki ilişkinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Esnek üstyapı kaplamalarında, artan trafik yükü ve iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen tekerlek izi, soyulma, çatlama, ondülasyon gibi bozulmaları geciktirerek, bakım ve yenileme ihtiyacını daha seyrek aralıklara düşürmek ve kaplama performansını arttırmak amacıyla birçok ülkede, bitümlü bağlayıcılara veya karışımlara çeşitli katkı maddeleri eklenerek modifiye bitümler veya karışımlar elde edilmektedir [1, 2].

Karışımların performansının geliştirilmesine ek olarak, üretimde enerji tasarrufunun sağlanması ve çevreye verdiği zararlı etkilerin azaltılması da amaçlanmaktadır. Daha düşük maliyetli ve çevreye daha az zararlı bitümlü karışımlar hazırlamak amacıyla dünyada çeşitli teknolojiler geliştirilmiş ve bitümlü karışımların karıştırma sıcaklıkları düşürülmüştür [3, 4]. İlk karışım asfalt, bitümlü karışımların karıştırma sıcaklıklarının düşürülmesine imkân sağlayan teknolojileri ifade etmektedir. Bu teknolojilerin amacı, bitümlü sıcak karışımlara oranla 20°C ile 55°C daha düşük sıcaklıklarda bağlayıcının viskozitesini düşürerek bağlayıcının agregayı tamamen sarması ile agrega ile bağlayıcı arasında gerekli aderansın sağlanmasıdır [5]. Düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı, ılık asfalt kaplamaların soğuma süresinin azalmasını böylece yolun sıcak asfalt kaplamaya oranla trafiğe daha erken açılmasına olanak sağlamaktadır. Havaalanı kaplamalarında yapılması gereken bakım onarım işlerinde yolun uzun zaman trafiğe kapalı kalmaması gerektiğinden ılık asfalt kullanımı yerinde bir tercih olacaktır [6].

Pawma-1, ülkemizde üretilen, bitüme ilave edilen sıvı bir ılık karışım asfalt katkı maddesidir. Arazi deneylerinde kullanılmış ve olumlu sonuçlar vermiştir [7]. Leadcap ise, Kore İnşaat Teknoloji Enstitüsü ve Kumho Petrokimyasal şirketi iş birliği ile geliştirilen, bitüme veya karışıma ilave edilen bir ılık karışım asfalt katkı maddesidir. Laboratuvar ve arazi deneylerinde denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır [8]. Kim ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, ılık asfalt karışımların nem hasarına karşı dayanım karakteristikleri arazi ve laboratuvar testleri ile araştırılmıştır. Daha gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek için ılık asfalt katkılı deneme kaplamaları ve karşıtı sıcak asfalt katkılı test kaplamaları Nebraska'nın Antilop ilçesinde inşa edilmiştir. Arazide kullanılan karışımdan alınan numuneler laboratuvara gönderilmiştir. Laboratuvar test sonuçlarına göre ılık karışım asfaltların nem hasarına karşı dayanımı sıcak asfalt karışımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Asfalt kaplamaların inşasından sonra 3 yıl içinde alınan erken verilere göre tekerlek izi ve çatlak performansı hem ılık hem de sıcak karışım asfaltlarda laboratuvar test sonuçlarıyla uyumlu ve tatmin edici olmuştur [9]. Lee ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada Leadcap katkılı ılık karışım asfaltların nem hassasiyetlerinin arttığı görülmüştür [10].

Bitümlü sıcak karışımların trafik yüklerine ve sıcaklığa karşı dayanımlarını arttırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinden yaygın olarak kullanılan Stiren-Butadien-Stiren kopolimeridir. Yapılan çalışmalarda SBS'nin bitümlü sıcak karışımların yorulma, düşük ısı çatlakları ve tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımını arttırdığı görülmüştür. Sıcak iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde tekerlek izi oluşumuna karşı SBS kullanımının, bağlayıcı nedenli bozulmaların engellenmesine yardımcı olacağı, yüksek maliyetli bakım ve onarım masraflarının geciktirilmesini sağlayacağı görülmüştür [11, 12]. Alataş ve Kizirgil'in yaptıkları bir çalışmada, uçucu kül ve SBS birlikte kullanılmış ve hazırlanan numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. SBS ve uçucu kül kullanımı ile karışımların normal sıcaklıklardaki rijitliklerinin, stabiliteilerinin, yorulma ömürlerinin, nem hasarına ve kalıcı deformasyona karşı dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Bu katkıların birlikte kullanılması ile de bu olumlu etkilerin artacağı görülmüştür. Katkı maddeleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde SBS'nin uçucu küle oranla daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte karışımdaki SBS oranının artması ile uçucu külün etkinliğinin azaldığı görülmüştür [13]. Lu ve Isacson'un yaptıkları bir çalışmada, SBS modifiyeli bağlayıcıların reolojik özellikleri araştırılmıştır. SBS kopolimer ilavesi ile yüksek sıcaklıklarda bağlayıcının elastisitesinde ve düşük sıcaklıklarda

bağlayıcı esnekliğinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca SBS ilavesi ile bağlayıcının ısı hassasiyeti azalmıştır [14].

Bitümlü karışımlara sönmüş kireç ilave edilmesinin trafik yüklerinden doğan gerilmelerin yayılmasında yardımcı olduğu ve dayanımı arttırdığı, tekerlek izi oluşumuna karşı direnci arttırdığı görülmüştür [15]. Johansson tarafından yapılan bir çalışmada, sönmüş kireç soyulma önleyici katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Çalışma neticesinde sönmüş kireç ilavesinin bağlayıcının erken yaşlanmasını geciktirdiği böylelikle adezyon kuvvetini arttırdığı ortaya çıkmıştır [16]. Mohammad ve Abadie'nin yaptıkları bir çalışmada, sönmüş kirecin polimer katkılarla birlikte kullanıldığı zaman faydalarının daha da arttığı, bu performans artışlarının yalnız başına kullanılmasına kıyasla oldukça fazla olduğu görülmüştür [17]. Khodai ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, nem hasarına karşı etkinliği sıcak karışım asfaltlarda kanıtlanan sönmüş kirecin, ılık karışım asfaltlarda kullanıldığı zaman nasıl etki edeceği araştırılmıştır. Çalışmada yüzde 0-2 arasında değişen oranlarda sönmüş kireç kullanılmıştır. Çalışma neticesinde sürekli gradasyona sahip ılık asfalt karışımlarda kireç oranının artmasıyla nem hasarına karşı dayanım artmıştır. Fakat süreksiz gradasyona sahip ılık karışım asfaltların bir kısmında minimum yüzde 80 olan çekme direnci limitinin sağlanmadığı görülmüştür [18].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, aşınma tabakası için bitüm modifikasyonunda SBS, Pawma-1 ve Leadcap kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Marshall yöntemine göre optimum bitüm oranları belirlenerek karışım numuneleri hazırlanmıştır. Ilık karışımlarda, agrega ve bağlayıcı malzeme daha düşük sıcaklıklarda karıştırılıp sıkıştırılmıştır. Ayrıca filler olarak %2 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır. Her bir karışım türü için 6 adet $7 \pm 0,5$ boşluk oranına sahip (30 darbe ile) numune hazırlanmıştır. AASHTO T 283 yöntemi ile bitümlü karışım numunelerinin nem hasarına karşı dayanımları belirlenmiştir. Hazırlanan ılık karışım asfaltların ITS (İndirekt Çekme Direnci) ve ITSR (İndirekt Çekme Direnci Oranı) değerleri belirlenmiş, katkısız ve SBS katkılı sıcak karışım asfaltlarla karşılaştırılmıştır.

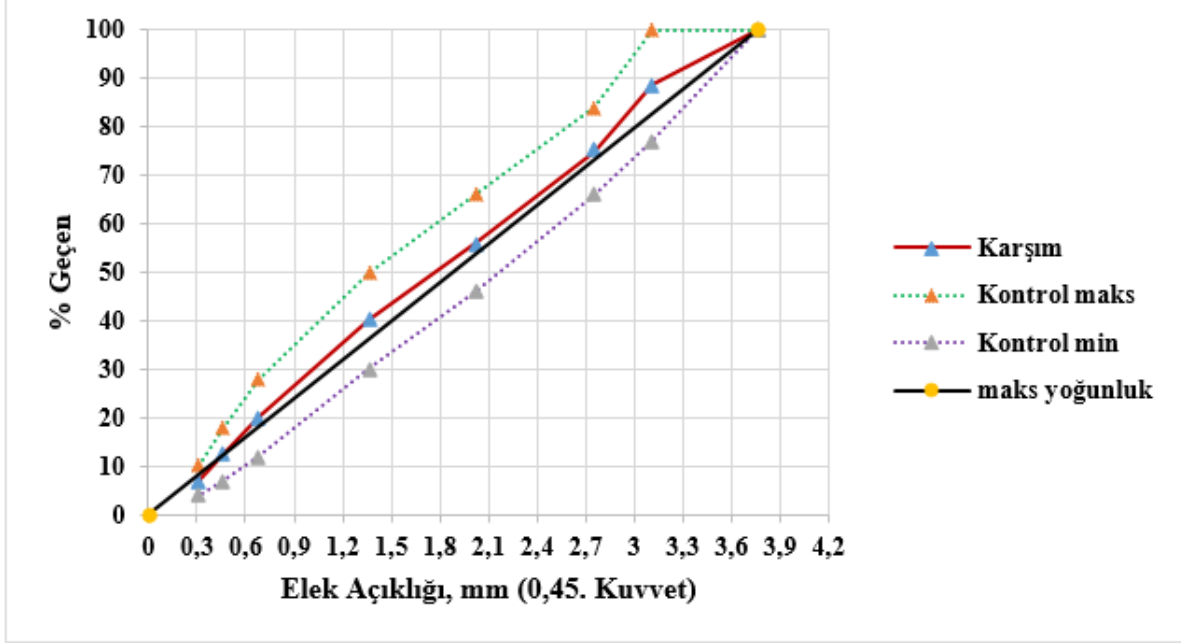
Deneysel çalışmalarda agrega olarak Elazığ Hankendi bölgesinden temin edilen kalker türü kırmataş malzeme ve bağlayıcı olarak TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Ilık karışım asfalt katkı maddeleri olarak İstanbulteknik firmasında üretilen Pawma-1 ve Kumho firması tarafından üretilen Leadcap (Low Energy and Low Carbon-Dioxide Asphalt Pavement) kullanılmıştır. Sıcak karışım asfalt katkı maddesi olarak Shell firması tarafından üretilen SBS (Stiren-Butadien-Stiren) kullanılmıştır. Bu katkılar bağlayıcıya ilave edilerek bağlayıcı malzeme modifiye edilmiştir. Sönmüş kireç ise agrega karışımındaki fillerin bir miktarının yerine kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 1'de, kullanılan gradasyon Tablo 2'de ve gradasyon eğrisi Şekil 1'de verilmiştir. Los Angeles aşınma kaybı deneyinde tambur dakikada 30-33 devir yapacak şekilde 500 devir döndürülmüştür. Bağlayıcı malzemeye ait özellikler Tablo 3'te verilmiştir. SBS Şekil 2'de, Pawma-1 Şekil 3'te, Leadcap Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.

Özellikler	Standart	Şartname Limitleri	Kaba	İnce	Filler
Dayanıklılık (Los Angeles Aşınma Kaybı), %	TS EN 1097-2	maks 27	24		
Sağlamlık (MgSO ₄ ile Donma Kaybı), %	TS 1367-2	maks 16	6.5		
Su Absorbsiyonu %	ASTM C127	maks 2	0.3		
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C127		2.677		
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C128			2.628	
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C127		2.698		
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C128			2.675	
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM D854				2.717

Tablo 2. Agrega gradasyonu.

Elek Boyutu (mm)	19,00	12,50	9,50	4,75	2,00	0,420	0,180	0,075
%Geçen	100	88,5	75	56	40	20	12,5	7
Karışımdaki Agrega Yüzdeleri								
Kaba						44		
İnce						49		
Filler						7		

**Şekil 1.** Agrega gradasyon eğrisi.**Tablo 3.** Bağlayıcı malzemenin özellikleri.

Özellikler	Standart	Sonuç	Şartname Limiti
Penetrasyon (0.1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	53	50-70
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	49,9	46-54
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-1,09	-
Özgül ağırlık	-	1,039	-
Viskozite (cP, 135°C)	ASTM D4402	400	-
Viskozite (cP, 165°C)	ASTM D4402	125	-
Karıştırma sıcaklığı (°C)	-	157	-
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	-	144	-
RTFOT Sonrası			
Kütle kaybı (%)	ASTM D2872	0,314	maks 0,5
Kalıcı penetrasyon, (%)	-	51	min 50
Yumuşama noktasındaki artış (°C)	-	4,4	maks 9
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-1,52	-



Şekil 2. Stiren-Butadien-Stiren.

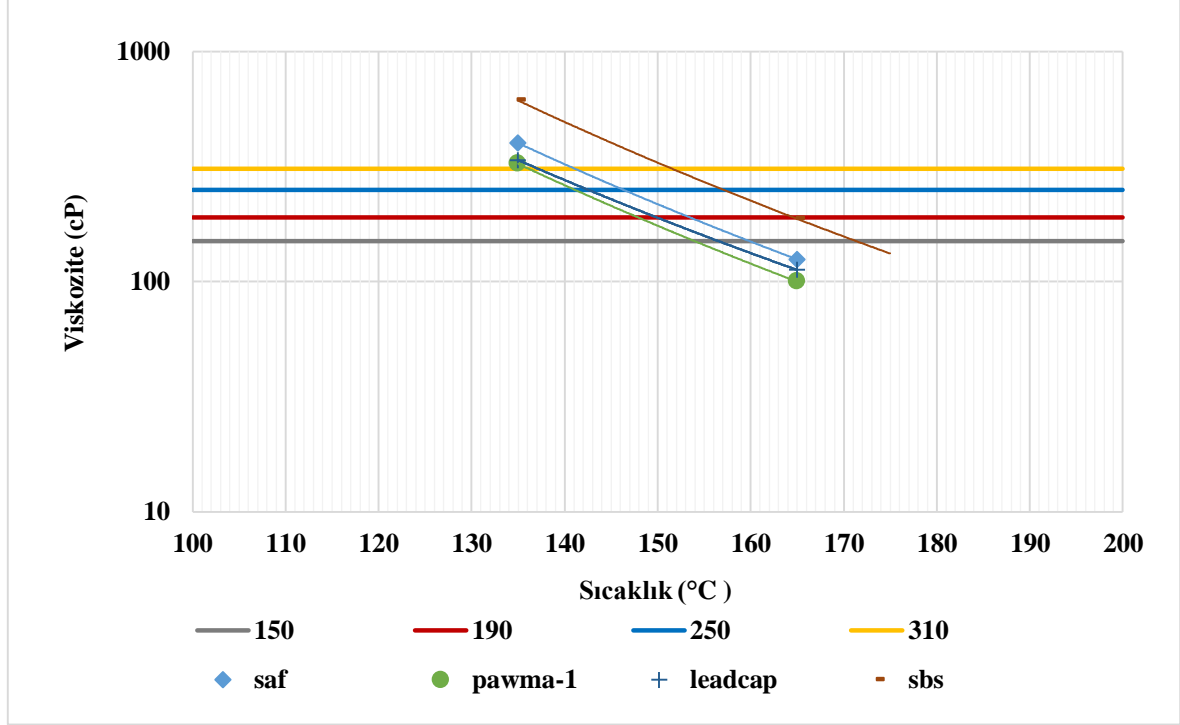


Şekil 3. Pawma-1.

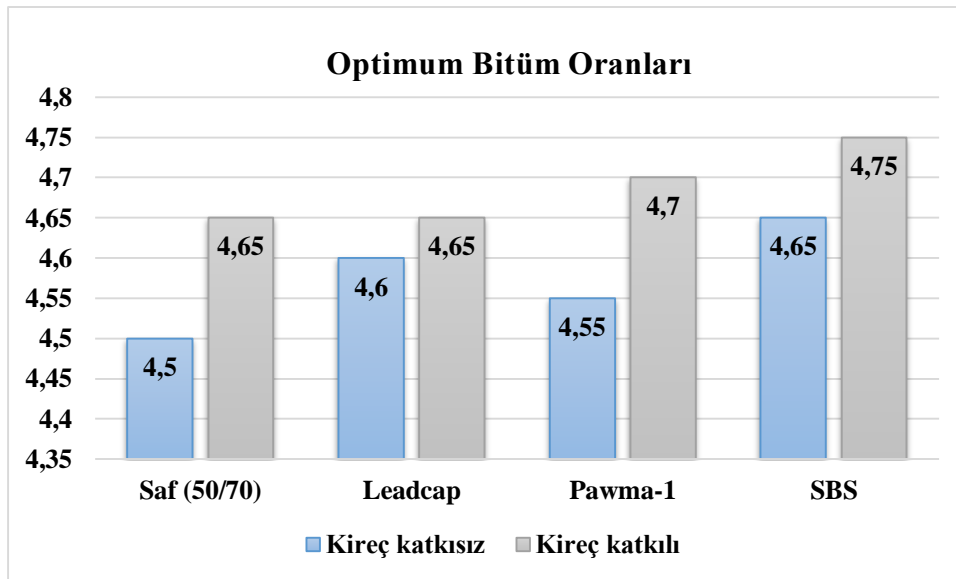


Şekil 4. Leadcap.

Çalışmada, öncelikle Dönel viskozimetre (RV) deneyi ile katkısız bağlayıcının karıştırma sıcaklığı 157°C, SBS katkılı bağlayıcının karıştırma sıcaklığı ise 168°C olarak bulunmuştur. Deney sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Üretici firmaların tavsiye ettikleri şekilde Pawma-1 %0.35, Leadcap %1.5 oranlarında katkısız bağlayıcının karıştırma sıcaklığı olan 157°C sıcaklıktaki bitüme ilave edilmiş ve 1000 devir/dakika hıza sahip karıştırıcıda 10 dakika süreyle karıştırılmıştır. SBS katkısı ise 180°C sıcaklıktaki bitüme ilave edilmiş ve 1000 devir/dakika sahip hızdaki karıştırıcıda 1 saat süreyle karıştırılmıştır. SBS oranı %2 olarak belirlenmiştir. Yapılan çeşitli çalışmalarda en etkin kireç oranının agrega ağırlığının %2'si olduğu belirlenmiştir [15]. Sönmüş kireç içeren karışımlarda %2 oranında kalker filler yerine sönmüş kireç kullanılmıştır. Karışımların optimum bitüm içerikleri Marshall yöntemine göre belirlenmiştir. Sönmüş kireç içeren ve içermeyen karışımların optimum bitüm içerikleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Dönel viskozimetre deney sonuçları.



Şekil 6. Optimum bitüm içerikleri.

2.1. Nem hasarına karşı dayanım deneyi

Bitümlü karışımların nem hasarına karşı direncini tayin etmek için çeşitli laboratuvar testleri geliştirilmiştir. Bu testler arazi koşullarını tam olarak yansıtmaları da faydalı bilgiler sağlamaktadırlar. Bu testler ile sıkıştırılmış bitümlü karışımlardaki bağlayıcının agrega yüzeyinden nem sebebiyle soyulması ile oluşan kuvvet kaybı hesaplanmaktadır.

AASHTO T 283 yöntemi, bitümlü karışımlarda nem hasarına karşı direnci belirlemede en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde %6-8 oranında hava boşluğu içeren 6 adet Marshall numunesi kullanılmıştır. Bu numuneler koşullandırılmış ve koşullandırılmamış olarak iki gruba ayrılmıştır. Koşullandırılan numuneler bir piknometre içerisine konularak hava boşluklarının %70-80'i su ile doluncaya kadar 10-26 in. Hg. (13-67 kPa) vakum uygulanmıştır. Vakum işleminden sonra numunelerin öncelikle -18°C sıcaklıkta 16-18 saat ardından 60°C su banyosunda 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra hem koşullandırılmış hem de koşullandırılmamış numuneler 25°C'deki su banyosunda 2 saat bekletilmiş ve Marshall cihazı ile 50,8 mm/dakika hızla çapsal düzlemde yükleme yapılarak kırılmıştır. Koşullandırılmış numunelerin çekme dayanımı değerlerinin, koşullandırılmamış numunelerin çekme dayanımı değerlerine oranının Superpave şartnamesine göre en az %80 olması istenmektedir [19]. Vakum işleminin yapıldığı piknometre ve vakum cihazı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Piknometre ve vakum cihazı

3. Bulgular ve Tartışma

Her bir karışım türü için 6 adet $7 \pm 0,5$ boşluk oranına sahip numune hazırlanmıştır. Bu boşluk oranını sağlamak için Marshall tokmağı ile numunelerin iki yüzüne 30 darbe uygulanmıştır. Koşullandırılacak numunelere 5 dakika süresince vakum uygulanmıştır. Koşullandırılmamış karışımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 4'te, koşullandırılmış karışımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 5'de, sönmüş kireç katkılı koşullandırılmamış karışımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 6'da, sönmüş kireç katkılı koşullandırılmış karışımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 7'de gösterilmiştir. Karışımların ITS değerleri Şekil 8'de, ITSR değerleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

Tablo 4. Koşullandırılmamış numunelerin çekme dayanımı oranı deney sonuçları.

Karışım	Numune No	H _{ort} (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlık (gr)	D _p	D _t	Boşluk (%)	Maksimum Yük. (kN)	Çekme Dayanımı (kPa)
Saf (50/70)	1	59.6	1145.67	658.35	1151.35	2.324	2.502	7.12	8.31	887.3
	2	59.5	1143.88	658.08	1150.03	2.325		7.07	8.19	875.9
	3	58.9	1144.64	657.98	1151.10	2.321		7.23	7.65	826.5
	Ort									
Leadcap	1	59.4	1145.48	659.04	1152.34	2.322	2.499	7.08	7.37	789.6
	2	58.8	1146.34	660.09	1152.91	2.326		6.92	7.49	810.6
	3	59.6	1143.51	658.49	1150.19	2.326		6.94	7.71	823.2
	Ort									
Pawma -1	1	59.9	1138.98	655.53	1145.23	2.326	2.501	7.00	7.16	760.7
	2	60.0	1146.65	659.16	1153.30	2.320		7.22	7.3	774.2
	3	60.4	1133.19	651.58	1139.16	2.324		7.07	7.21	759.6
	Ort									
SBS	1	59.4	1145.56	658.72	1150.72	2.328	2.497	6.75	9.55	1023.1
	2	59.5	1145.15	659.77	1151.66	2.328		6.77	8.95	957.2
	3	59.9	1147.18	660.07	1154.47	2.320		7.07	8.33	885.0
	Ort									

Tablo 5. Koşullandırılmış numunelerin çekme dayanımı oranı deney sonuçları.

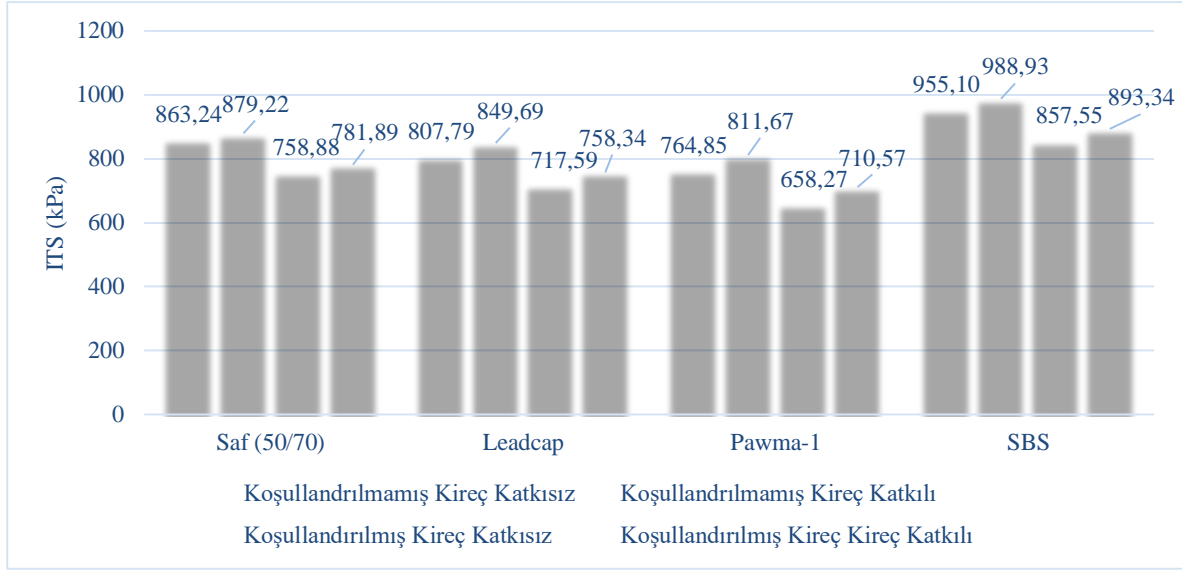
Karışım	Numune No	H _{ort} (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlık (gr)	Vakum Sonrası (gr)	D _p	D _t	Boşluk (%)	Doygunluk Derecesi (%)	Maksimum Yük. (kN)	Çekme Dayanımı (kPa)
Saf (50/70)	1	59.7	1143.79	658.43	1150.83	1169.29	2.323	2.502	7.16	72.34	7.49	798.4
	2	59.9	1144.44	658.86	1152.21	1171.48	2.320		7.28	75.24	6.68	709.7
	3	59.2	1134.27	653.88	1141.93	1159.52	2.324		7.11	72.76	7.15	768.6
	Ort											758.9
Leadcap	1	59.3	1145.92	660.63	1153.21	1171.32	2.326	2.499	6.91	74.64	6.79	728.7
	2	60.0	1145.73	660.15	1153.30	1172.33	2.323		7.03	76.71	6.69	709.5
	3	59.4	1145.69	659.39	1152.26	1171.39	2.325		6.98	74.69	6.67	714.6
	Ort											717.6
Pawma- 1	1	59.7	1145.27	659.25	1152.85	1172.45	2.320	2.501	7.23	76.19	6.28	669.4
	2	60.4	1144.13	659.58	1152.62	1171.68	2.321		7.21	77.45	6.03	635.3
	3	60.4	1146.34	659.75	1153.44	1172.62	2.322		7.16	74.37	6.36	670.1
	Ort											658.3
SBS	1	58.7	1143.93	658.62	1149.48	1168.17	2.330	2.497	6.67	74.04	8.43	913.9
	2	59.3	1145.67	659.09	1151.52	1170.92	2.327		6.83	75.12	7.82	839.2
	3	59.4	1143.40	656.04	1149.02	1169.98	2.319		7.11	75.79	7.65	819.6
	Ort											857.5

Tablo 6. Sönmüş kireç katkılı koşullandırılmamış numunelerin çekme dayanımı oranı deney sonuçları.

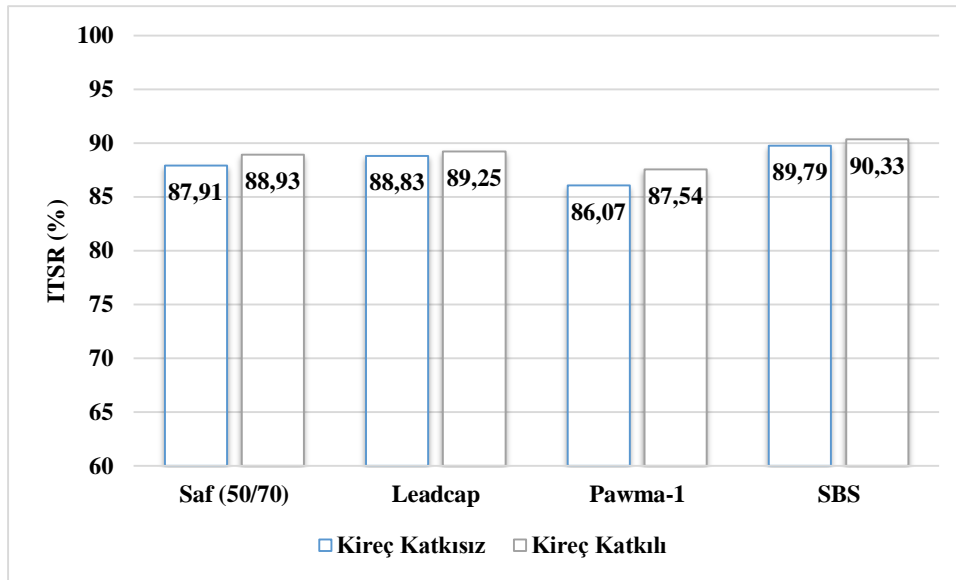
Karışım	Numune No	H _{ort} (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlık (gr)	D _p	D _t	Boşluk (%)	Maksimum Yükl. (kN)	Çekme Dayanımı (kPa)
Saf (50/70)	1	58.7	1146.45	649.49	1153.26	2.276	2.443	6.85	7.66	830.4
	2	59.9	1146.44	648.46	1152.93	2.273		6.98	8.55	908.3
	3	58.9	1144.44	647.47	1150.70	2.274		6.91	8.32	898.9
	Ort									
Leadcap	1	59.8	1144.96	647.32	1151.54	2.271	2.443	7.05	7.89	839.6
	2	59.5	1148.26	649.73	1154.50	2.275		6.88	7.96	851.3
	3	59.4	1146.14	646.75	1152.23	2.267		7.19	8.01	858.1
	Ort									
Pawma -1	1	59.6	1146.56	648.35	1153.42	2.270	2.442	7.04	7.33	782.6
	2	59.4	1147.34	646.69	1153.27	2.265		7.25	7.32	784.2
	3	59.3	1144.58	647.06	1150.65	2.273		6.93	8.09	868.2
	Ort									
SBS	1	59.3	1144.09	645.93	1150.66	2.267	2.440	7.10	9.58	1028.1
	2	59.0	1146.80	647.94	1153.60	2.268		7.05	9.08	979.4
	3	59.3	1144.53	645.31	1150.42	2.266		7.14	8.94	959.4
	Ort									

Tablo 7. Sönmüş kireç katkılı koşullandırılmış numunelerin çekme dayanımı oranı deney sonuçları.

Karışım	Numune No	H _{ort} (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlık (gr)	Vakum Sourası (gr)	D _p	D _t	Boşluk (%)	Doygunluk Derecesi (%)	Maksimum Yükl. (kN)	Çekme Dayanımı (kPa)
Saf (50/70)	1	58.9	1145.50	647.72	1151.93	1172.24	2.272	2.443	7.00	75.71	7.49	809.2
	2	59.9	1147.23	648.70	1155.42	1174.48	2.264		7.33	73.41	7.17	761.7
	3	59.8	1146.10	646.97	1153.06	1173.93	2.265		7.30	75.31	7.28	774.7
	Ort											781.9
Leadcap	1	60.0	1147.95	646.69	1153.28	1175.82	2.266	2.443	7.24	75.95	6.85	726.5
	2	60.3	1146.14	646.75	1152.83	1174.73	2.265		7.30	77.42	7.57	798.9
	3	59.0	1145.12	647.45	1151.63	1171.19	2.271		7.03	73.55	6.95	749.6
	Ort											758.3
Pavna-1	1	59.5	1147.64	647.40	1154.30	1174.33	2.264	2.442	7.29	72.25	6.95	743.3
	2	59.9	1148.66	647.84	1155.66	1176.69	2.262		7.37	74.86	6.29	668.2
	3	60.0	1144.70	647.87	1152.58	1172.42	2.268		7.12	77.10	6.79	720.2
	Ort											710.6
SBS	1	58.9	1144.64	648.69	1151.78	1169.18	2.275	2.440	6.75	72.23	8.65	934.6
	2	59.3	1144.41	647.22	1151.12	1170.90	2.271		6.92	75.95	8.07	866.0
	3	58.9	1147.28	649.89	1153.27	1171.83	2.279		6.59	73.98	8.14	879.5
	Ort											893.3



Şekil 8. Karışımların ITS değerleri.



Şekil 9. Karışımların ITSR değerleri.

Koşullandırılmamış kireç katkısız karışımlar incelendiğinde ITS değeri. Leadcap modifiyeli karışımlarda %6.42 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %11.39 oranında azalmış. SBS modifiyeli karışımlarda %10.64 oranında artmıştır. Sönmüş kireç katkısı ile bütün karışımların ITS değerlerinde artış meydana gelmiştir. ITS değeri sönmüş kireç katkısı ile saf (50/70) karışımlarda %1.85 oranında. Leadcap modifiyeli karışımlarda %5.18 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %6.12 oranında. SBS modifiyeli karışımlarda %3.54 oranında artmıştır. En yüksek ITS değeri sönmüş kireç katkılı SBS modifiyeli karışımlarda görülmüştür.

Koşullandırılmış kireç katkısız karışımlar incelendiğinde ITS değeri. Leadcap modifiyeli karışımlarda %5.44 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %13.26 oranında azalmış. SBS modifiyeli karışımlarda %13.0 oranında artmıştır. Sönmüş kireç katkısı ile bütün koşullandırılmış karışımların ITS değerlerinde artış meydana gelmiştir. ITS değeri sönmüş kireç katkısı ile saf (50/70) karışımlarda %3.03 oranında. Leadcap modifiyeli karışımlarda %5.68 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %7.95 oranında. SBS modifiyeli karışımlarda %4.17 oranında artmıştır. En yüksek ITS değeri sönmüş kireç katkılı SBS modifiyeli karışımlarda görülmüştür.

Bütün karışımların ITSR değerlerinin %80'in üzerinde olduğu görülmüştür. Sönmüş kireç katkısı bütün karışımların ITSR değerlerini arttırmıştır. Sönmüş kireç katkısı ile saf karışımlarda %1.16 oranında. Leadcap modifiyeli karışımlarda %0.47 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %1.70 oranında. SBS modifiyeli karışımlarda %0.60 oranında ITSR değerleri artmıştır. En yüksek ITSR değeri sönmüş kireç katkılı SBS modifiyeli karışımlarda görülmüştür. En düşük ITSR değeri kireç içermeyen Pawma-1 modifiyeli karışımlarda görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada bitüm modifikasyonunda SBS, Pawma-1 ve Leadcap kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Pawma-1 ve Leadcap modifiyeli karışımlar diğer karışımlara oranla daha düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında hazırlanmıştır. Ayrıca filler olarak %2 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır. Hazırlanan modifiye bitümlerle optimum bitüm içeriklerinde Marshall karışım numuneleri üretilmiştir. Bitümlü karışım numuneleri üzerinde nem hasarı deneyleri uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan, Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışım asfaltların çekme dayanımı değerlerinin kontrol numunelerine göre bir miktar azalması ile sönmüş kireç katkısının çekme dayanımına olumlu etki yapması, çalışmanın literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir. Sönmüş kireç katkısı ile Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışım asfaltların çekme dayanımı değerlerinin, kontrol numunelerine göre daha yüksek oranlarda arttığı ve kontrol numunelerine yakın çekme değerleri olduğu görülmüştür. Ilık karışım asfaltların sönmüş kireç katkısı ile beraber kullanımın yerinde olacağı görülmektedir. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış karışımların ITS ve ITSR değerlerine bakıldığında SBS modifiyeli karışımların en olumlu sonuçları verdikleri görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Francken L. 1998. Bituminous Binders and Mixes. Rilem Reports, 352s.
- [2] Nicholls C. 1998. Asphalt Surfacing. E & FN Spon, pp: 68–79.
- [3] Bueche N. 2009. Warm Asphalt Bituminous Mixture With Regards to Energy, Emissions and Performance. Young Researchers Seminar, 3-5 June, Torino.
- [4] Olard F., Noan C.L. 2007. Les Enrobés à Basse Température, 2ème Prix de la Sélection Française du Prix AIPCR. Catégorie Développement Durable, France.
- [5] D'Angelo J.A., Harm E.E., Bartoszek J.C., Baumgardner G.L., Corrigan M.R., Cowsert J.E., Newcomb D.E. 2008. Warm-mix asphalt: European practice.
- [6] Su K., Maekawa R., Hachiya Y. 2009. Laboratory Evaluation of WMA Mixture for Use in Airport Pavement Rehabilitation. Construction and Building Materials, 23 (7): 2709-2714.
- [7] AR-GE ile yeni ürünler geliştiriliyor. 2015. <http://yolteknolojileri.com.tr/icerik/10016/ar-ge-ile-yeni-urunler-gelistiriliyor>. (Erişim Tarihi: 17.11.2018).
- [8] Introducing a novel warm mix additive: Leadcap.2017. <http://www.leadcapwma.com/index.html>. (Erişim Tarihi: 17.11.2018).
- [9] Kim S., Lee S.-J., Yun Y.-B., Kim K.W. 2014. The use of CRM-Modified Asphalt Mixtures in Korea: Evaluation of High and Ambient Temperature Performance. Construction and Building Materials, 67: 244-248.
- [10] Lee J., Kim Y.R., Lee J., Kwon S.-A., Yang, S.-C. 2011. Comprehensive Laboratory Performance Evaluation of WMA with LEADCAP Additives. 2nd International Warm-Mix Conference, 11 Oct, Hyatt Regency at the Arch, St. Louis, Missouri.
- [11] Jenks C., Jencks C., Harrigan E., Adcock M., Delaney E., Freer H. 2011. NCHRP Report 673: A Manual for Design of Hot Mix Asphalt With Commentary. Washington, DC: Transportation Research Board of the National academies.
- [12] Yılmaz M., Kök B.V. 2008. Stiren-Butadien-Stiren Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Superpave Sistemine Göre Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesinin ve İşlenebilirliğinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (4): 811-819.
- [13] Alataş T., Kizirgil M.E. 2013. The Effects of Using Styrene-Butadiene-Styrene and Fly Ash Together on The Resistance to Moisture-Induced Damage, Permanent Deformation and Fatigue of Hot Mixture Asphalt. KSCE Journal of Civil Engineering, 17 (5): 1030-1039.

- [14] Lu X., Isacsson U. 1997. Rheological Characterization of Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer Modified Bitumens. *Construction and Building Materials*, 11 (1): 23-32.
- [15] Little D.N., Epps J.A., Sebaaly, P.E. 2006. Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt. National Lime Association.
- [16] Johansson L. 1995. Influence of Hydrated Lime on Bitumen Hardening. *Kth Infrastruktur Och Samhaellsplanering Rapport*, 95: 8.
- [17] Mohammad L., Abadie G. 2000. Puppala. Mechanistic Evaluation of Hydrated Lime in HMA Mixtures. *Transportation Research Record*, 1723 (1): 26-36.
- [18] Khodaii A., Tehrani H.K., Haghshenas H. 2012. Hydrated Lime Effect on Moisture Susceptibility of Warm Mix Asphalt. *Construction and Building Materials*, 36: 165-170.
- [19] Liang R.Y. 2008. Refine AASHTO T283 Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage for Superpave, FHWA/OH-2008/1, USA.

Araştırma Makalesi / Research Article

FV-RES ile Beslenen Anahtarlamalı Relüktans Motorun Analizi

Dilan DEMİR AKTAŞ¹, Serhat Berat EFE^{2*}

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis

²Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Bandırma
(ORCID: 0000-0002-0185-6375) (ORCID: 0000-0001-6076-4166)

Öz

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların artış göstermesi; birçok alanda olduğu gibi endüstriyel ve makine sanayiinde de tercih edilmesine neden olmaktadır. Motor sürücülerinde teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, klasik elektrik makinelerine alternatif olarak düşünülen Anahtarlamalı Relüktans Motor(ARM)lar, aynı güçteki klasik makinelerden daha ucuz ve basit yapılı olmasından ötürü daha avantajlı hale gelmiştir. Bu çalışmada bir fotovoltaik (FV) sistem ve rüzgâr enerjisi sistemi (RES) ile oluşturulan hibrit bir enerji üretim sistemi tarafından beslenen ARM'nin, depolama ünitesi ve depolama ünitesi olmadan doğrudan beslenme durumundaki performans analizi yapılmıştır. Analiz sisteminin fiziksel olarak kurulmasının yapılmasının ardından motorun depolama ünitesinden beslenme durumundaki davranışı belirlenmiştir. Daha sonra, bu çalışmanın temel amacı kapsamında, motor, hibrit sistemden doğrudan beslenmiş ve çeşitli yük durumlarına göre ARM'nin çalışma performansı gözlemlenmiştir. Kurulan bu sistem, endüstriyel sanayide ve tarımsal sulamada tercih edilmesi durumunda alınacak verim ve motorun potansiyeli açısından incelenmiş, elde edilen sonuçlar sistem grafikleri üzerinden yorumlanarak planlama ve sistem mühendisleri için öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Anahtarlamalı Relüktans Motor, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Fotovoltaik Sistem, Rüzgâr Enerjisi Sistemi.

Analysis of Switched Reluctance Motor Fed by PV-WES

Abstract

As the studies on renewable energy sources are increased in recent years, such systems are preferred in many areas like industrial and machine industry. The Switched Reluctance Motor (SRM), which is considered as an alternative to conventional electric machines, has become more advantageous with the developments in motor-drive technology, because it is cheaper and simpler than the conventional machines of the same power. In this study, performance analysis of a SRM which was fed by a hybrid system that consist of photovoltaic (PV) system and wind energy system (WES), was performed with and without storage unit conditions. The behavior of the SRM with storage unit was determined after physical installation of analysis system. Then, as the main purpose of this study, the motor was fed directly from the hybrid system and the operating performance of SRM was observed according to the various load cases. Installed system was investigated in terms of efficiency and motor performance if preferred in industry and agricultural irrigation, results were reviewed by using obtained system graphs suggestions were presented for planning and system engineers.

Keywords: Switched Reluctance Motor, Renewable Energy Sources, Photovoltaic System, Wind Energy System.

1. Giriş

Konvansiyonel enerji kaynak rezervlerinin azalması, hızlı sanayileşme ve kentleşmeye bağlı olarak enerji ihtiyacının artması, enerji fiyatlarındaki artış ve buna bağlı olarak gelecekteki üretim tüketim dengesinin tehlikede olması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu hale getirmiştir. Özellikle fosil yakıt kullanımına bağlı sera etkisinin artması, küresel ısınma, hammadde fiyatlarındaki

*Sorumlu yazar: sefe@bandirma.edu.tr

Geliş Tarihi: 07.02.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019

artış, çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, konvansiyonel enerji kaynak kullanımında bir takım zorlukların yaşanması yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların artan bir ivme göstermesinde etkili olmuştur. Ayrıca iletim ve dağıtım cihaz gereksinimini azaltması, yerel hizmet güvenini arttırması, son kullanıcının yakınına kurulabilmesi, çeşitli kontrol tekniklerinin kullanılması ile kurulu gücü düşük olan uygulamalar için verimli bir fotovoltaik sistem ve rüzgâr enerjisi sisteminden oluşan hibrit yapı oluşturmak daha avantajlı hale gelmiştir [1]. Bu sistemler elektriksel olarak paralel bağlanıp ve enerji şebekesi ile entegre edilip güç artırımını sağlanabilir [2-4]. Ulusal şebekeye bağlı ve ulusal şebekeden bağımsız olarak çalıştırılabilirler.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları(YEK) üzerine yapılan çalışmaların artışıyla birlikte hibrit sistemler; makine ve sanayi uygulamalarında da tercih edilmeye başlanmıştır. Günümüzde öncelikli yüklerin hayati önem kazandığı sanayi bölgeleri için hibrit sistem çözümlerinin sağlayacağı katkı çok önemlidir. Sanayide üretim sürekliliğinin sağlanması hayati önem taşımaktadır. Enerji kalitesi ve sürekliliği bu sektörün vazgeçilmez ana unsurlarıdır. Bu sürekliliğin hibrit sistemler ile sağlanabileceği elde edilen sonuçlar arasında en dikkat çekici sonuç olarak öne çıkmaktadır.

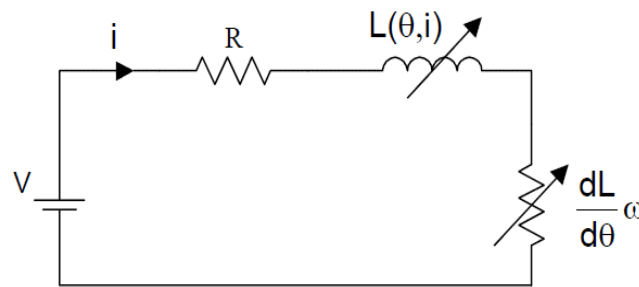
Son kırk yılda sürücü teknolojisindeki gelişmeler sayesinde klasik elektrik makinelerine alternatif olarak düşünülen Anahtarlamalı Relüktans Motorlar (ARM) diğer doğru akım (DA) motorlarına ve asenkron motorlara kıyasla yapısının basit, atalet momentinin düşük, imalatının ucuz olması ve yüksek hızlarda çalışabilmesi özelliklerinden dolayı makine sanayinde hızla yerini almıştır [5-7]. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenen motor çalışmaları incelendiğinde ARM ile yapılan çalışmalar azımsanamayacak kadar çoktur [8-10]. Bu çalışmaların çoğu su pompalama sistemlerine odaklanırken, araştırmacılar motor yükleri olan sistemlerin kontrol tekniklerini ve performanslarını da araştırmışlardır [11]. 1960'lı yılların sonlarına kadar çok küçük güçlerde imal edilen ve üzerinde pek durulmayan ARM'ler, yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak tekrar gündeme gelmiştir. 1970'li yıllarda ucuz ve hızlı elektronik güç anahtarlarının, anahtarlama döngülerini sağlayan yüksek performanslı mikroişlemcilerin ve yüksek güçlerde değişken relüktanslı motorların üretilmesi ile relüktans motorlar üzerine yapılan çalışmalar artmıştır ve günümüzde çeşitli alanlarda artarak devam etmektedir. [12-15].

2. Materyal ve Metot

Yenilenebilir enerji kaynakları ile konvansiyonel enerji üretim santrallerinin entegrasyonu sonucunda oluşturulan hibrit yapıların kullanımı, özel bölgelerin enerjilendirilmesinde kolayca uygulanabilmeleri, kaliteli ve kesintisiz enerji sağlayabildikleri için hızla yaygınlaşmaktadır. Güç sistemlerinde ana yüklerden biri motor yüklerdir. Motor parametrelerinin, gerilim ve akım gibi besleme parametrelerinden doğrudan etkilendiği bilindiğinden [16], bu çalışmada, Bitlis Eren Üniversitesi Rahva Yerleşkesi'nde kurulu olan ve FV sistem ile RES'ten oluşan hibrit enerji üretim sistemi tarafından beslenen ARM'nin depolama ünitesi ve depolama ünitesiz çalışması incelenmiştir. Bu sistemin bileşenleri izleyen bölümlerde detaylandırılmıştır.

2.1. Anahtarlamalı Relüktans Motor(ARM)

Mekanik olarak ARM oldukça basit yapıda bir elektrik makinasıdır. ARM'ler bir çeşit senkron motor olup ve rotorlarında sargı, mıknatıs ya da kısa devre halkası içermeyip saç paketinden oluşmaktadır. Bu motorların stator ve rotoru yüksek geçirgenlikli manyetik malzemeden yapılır [17]. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi

ARM'de bir faz için gerilim denklemi;

$$V = R.i + \frac{\partial \phi(\theta, i)}{\partial t} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada V, DA kaynak gerilimi; R, stator sargı direnci; ϕ , manyetik akı; i, faz akımı; M(θ), karşılıklı endüktans; θ , rotor pozisyon açısı ve i', bir önce uyarılan sargı akımıdır [18]. Doyum ihmal edildiğinde manyetik akı endüktans parametresi cinsinden yazılabileceğinden (1) eşitliği

$$V = R.i + \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial t} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2)$$

Şeklinde düzenlenebilir. Türevsel bileşen genişletildiğinde ve karşılıklı endüktans ihmal edildiğinde, ω açısal hız olmak üzere, (2) eşitliğinin son hali (3)'te verildiği gibi olacaktır,

$$V = R.i + L(\theta) \frac{\partial i}{\partial t} \omega + i \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta} \omega \quad (3)$$

Eşdeğer devreden görüleceği üzere, ARM'lar doğrudan DA ile çalışabilirler. Bu durum yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanımlarında, özellikle FV sistem uygulamalarında büyük avantaj sağlamaktadır. Tasarlanan sistemde kullanılan ARM ve sürücü devresi Şekil 2'de gösterilmiştir.

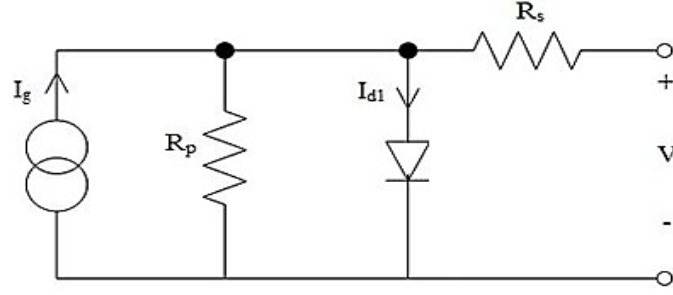


Şekil 2. ARM ve sürücü devresi

Şekilde verilen ARM'nin nominal çıkış gücü: 1.25 kW, besleme gerilim-frekans aralığı: 115 V-230 V / 50 Hz-60 Hz, ve devir sayısı aralığı 50-5500 (devir/dk) olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik (FV) modüller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen alternatif enerji üretim araçlarıdır [19-20]. FV hücrelerin seri ve paralel bağlanmaları ile istenilen gerilim ve güç değerlerinde FV paneller, panellerin seri ve paralel bağlanması ile de FV sistemler elde edilir. Fotovoltaik hücreler yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. Literatürde FV hücrelerin modellenmesi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır [21]. Bununla beraber, yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen en yaklaşık model olarak tek diyotlu yapı ön plana çıkmaktadır [22]. Çoklu kristal yapıdaki tipik bir FV hücresinin tek diyotlu modeli Şekil 3'te gösterilmiştir.



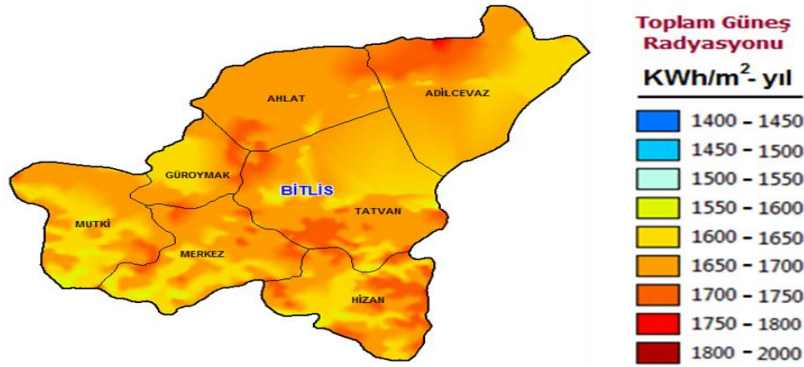
Şekil 3. Güneş pili eşdeğer DA akım modeli

Şekil 3'te verilen yapının matematiksel modeli denklem (4)'te verilmiştir.

$$I_{FV} = I_g - I_{d1} \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (4)$$

Burada V; hücrenin uç gerilimi, I_{FV} ; çıkış akımı, k; Boltzmann sabiti, T; Kelvin cinsinden mutlak ortam sıcaklığı ve q; elektron yüküdür [23].

FV panellerin enerji üretimini etkileyen en önemli faktörlerden biri panellere gelen güneş radyasyonu değeridir. Bitlis İline ait güneş radyasyonu haritası Şekil 4'te verilmiştir [24].



Şekil 4. Bitlis ili güneş enerjisi potansiyeli haritası

Şekilden görüleceği üzere Bitlis İli yüksek güneş radyasyonu değerine sahiptir. Bu durum güneş enerjisinden yüksek verim alınabileceğini göstermektedir.

Tasarlanan sistemin enerji üretim kaynaklarından olan FV sistem 6 adet panelden oluşmaktadır. FV panellerin her birinin maksimum gücü 150W, maksimum akımı 8.30A maksimum gerilimi 18.04V, açık devre gerilimi 22.59V ve kısa devre akımı 8.73A olarak verilmiştir. Sistemde kullanılan evirici ünitesi ise 3000VA/2400W anma gücünde 24 V DC giriş / 230V, 50 Hz AC çıkış değerlerine sahiptir.

2.3. Rüzgâr Enerjisi Sistemleri

Rüzgâr enerjisi; kaynağı güneş olup, elektrik üretirken doğaya sera gazı ya da zararlı bir gaz salınımı olmayan, tamamen doğal, yenilenebilir ve sonsuz bir güçtür. Rüzgâr, güneşin yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıcaklık ve basınç farkı hava hareketine neden olur. Rüzgâr enerjisi sistemleri tasarlanırken ilgili bölgedeki rüzgâr özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde bu bilgiler Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından sağlanmaktadır. İlgili kurum tarafından yayınlanan Bitlis İline ait rüzgâr hızı dağılım haritası Şekil 5'te verilmiştir [25].

eşitliği bilindiğinden türbin rotorundan elde edilecek mekanik tork ifadesi (9) eşitliği ile verilmektedir [23].

$$T_m = \frac{1}{2\omega} \rho \pi r^5 C_p (\beta, \lambda) V^3 \quad (11)$$

Sistemin diğer enerji kaynağı olan RES bileşenine ait türbin 500 W anma gücüne sahip olup, 12 m/s anma rüzgâr hızında üç fazlı 24V AC gerilim üretmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın kullanılmaya başlanması bu tip sistemlerin farklı uygulamalarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Makine sanayiinde yaygınlaşan depolama birimine sahip olmayan teknolojinin; azaltılmış bakım, artırılmış dayanıklılık, güvenilirlik ve düşük işletme maliyeti sağladığı kanıtlanmıştır. Bitlis ve çevresinde yaygın olarak tarımsal sulama yapıldığı ve tarımsal sulama alanda yapılan ARM'li çalışmalar da göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmada, enerji depolama ünitesiz sistem tasarlanıp, depolamalı sistemler ile performans açısından karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır [26]. Bu kapsamda çeşitli çalışma koşulları için ölçüm verileri alınarak daha kolay karşılaştırma yapılması açısından grafik olarak sunulmuştur. Tasarlanan sistem bileşenlerinden hibrit enerji sistemi Şekil 6'da, ARM'li uygulama sistemi ise Şekil 7'de gösterilmiştir.

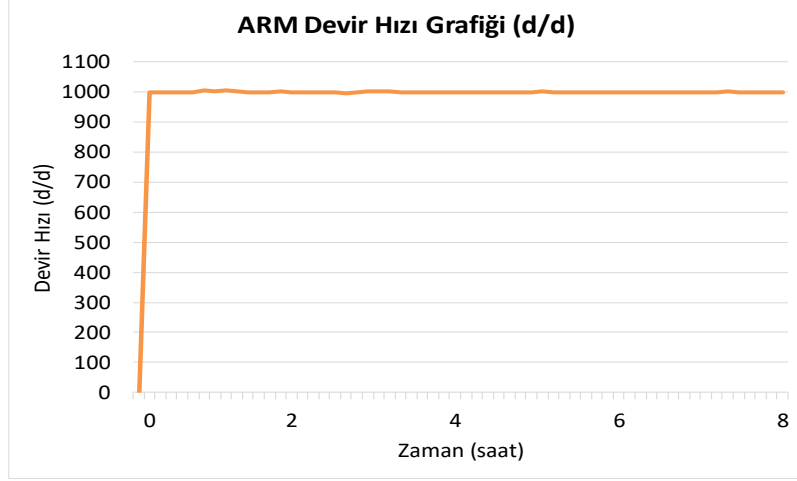


Şekil 6. Kurulu hibrit sistem



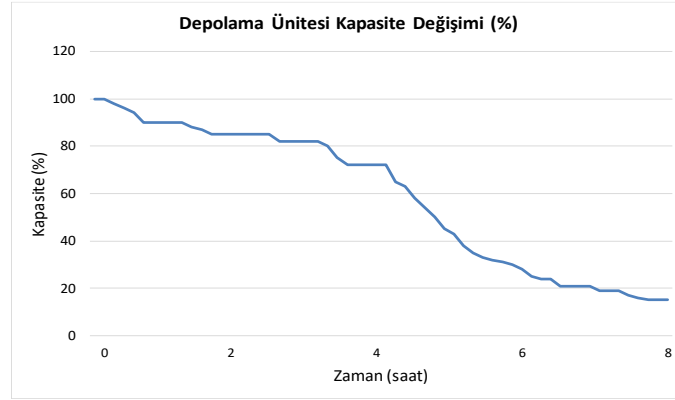
Şekil 7. Deneysel uygulama sistemi

Bu çalışmada ARM'nin yüksüz ve yük altında, farklı iklim koşulları için hız performans analizi yapılmıştır. Şekil 8'de hibrit sistem tarafından beslenen enerji depolama ünitesi ile enerjilendirilen, yüksüz durumdaki ARM'nin devir hızı grafiği gösterilmiştir.

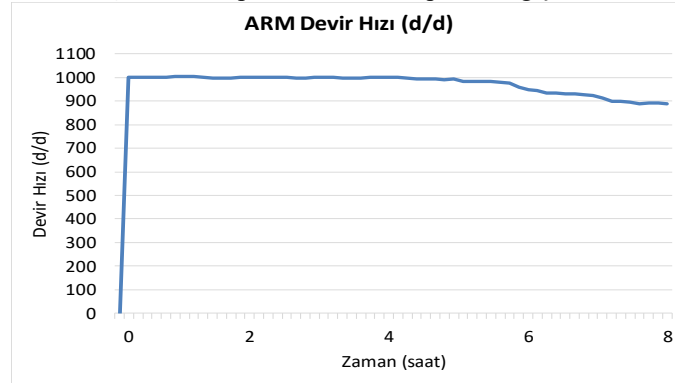


Şekil 8. Tam dolu depolama ünitesi beslemede ARM devir hızı grafiği

Grafikten anlaşılacağı üzere motor depolama ünitesinden beslendiğinde hız açısından kararlı bir karaktere sahip olmaktadır. Sistemin enerji üretim sistemleri devreden çıkarılarak depolama ünitesinin beslemesi kesildiğinde depolama ünitesi kapasitesi ile motor hızı değişimi sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



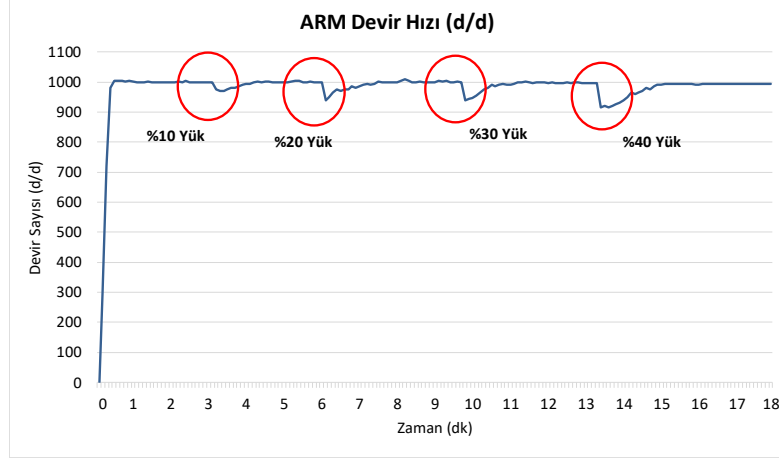
Şekil 9. Depolama ünitesi kapasite değişimi



Şekil 10. Depolama ünitesi kapasitesine göre ARM devir hızı grafiği

Grafikler bağlantılı olarak incelendiğinde depolama kapasitesinin yaklaşık %50 olduğu andan sonra motor hızının düşüş karakteri göstermeye başladığı anlaşılmaktadır. Bu durum depolama ünitesinin seçiminde detaylı analiz yapılmasının önemini bir kez daha ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı olan depolamasız sistem performansının incelenmesi için, hibrit sistem depolama biriminden ayrılmış ve analiz yapılmıştır. Şekil 11'de tam ışınım ve tam rüzgâr durumunda depolamasız sistemin farklı yükleme koşullarında devir hızı-zaman grafiği gösterilmektedir.

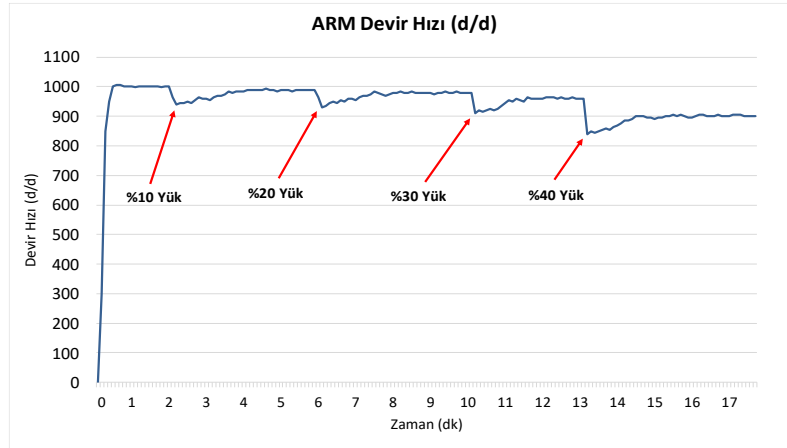


Şekil 11. Tam ışınım ve tam rüzgâr durumunda devir hızı değişimi

Şekil 11’de verilen grafiğin oluşturulmasında kullanılan ışınım ve rüzgâr verileri, sırasıyla evirici ve rüzgâr şarj kontrol biriminden alınan değerlerden elde edilmiştir. Buna göre, türbin çıkışındaki gerilim değeri 24 V olarak ölçülmüş, türbin yapısı gereği bu değer 12 m/s rüzgâr hızından elde edilebileceği için tam rüzgâr durumu olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde fotovoltaik panel çıkışlarından, panel özelliklerine göre açık devre gerilim değeri olan 18 V değeri ölçülmüş, dolayısıyla bu durum da tam ışınım durumu olarak değerlendirilmiştir.

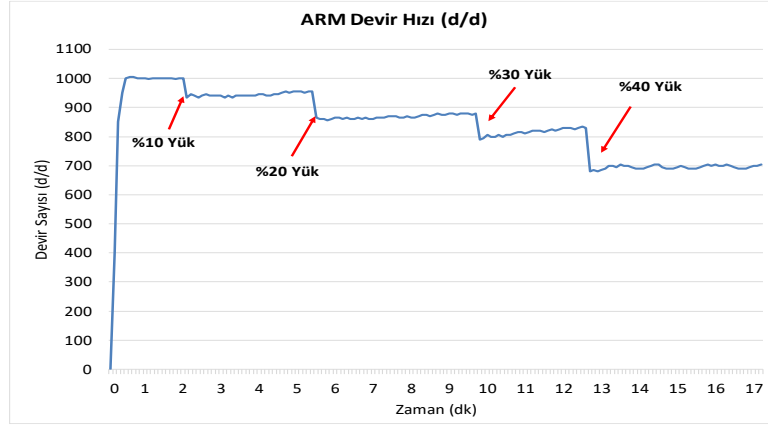
Farklı çalışma koşulları için yapılan analizlerdeki oransal ışınım ve rüzgâr değerleri de yine türbin şarj kontrolör ve panel çıkış değerlerinden elde edilmiştir. Rüzgâr değerinin elde edilmesinde herhangi bir dış müdahalede bulunulmamış, tamamen sistemin kurulu bulunduğu bölgenin meteorolojik şartlarından yararlanılmıştır. Bununla birlikte ışınım değeri panellerin kontrollü biçimde karartılması ile ayarlanmıştır. Sistem bütünlüğünün bozulmaması için devreden panel çıkarma yerine karartma yapma yolu izlenmiştir.

Motor 1000 dev/dk hızına ulaştıktan sonra %10 oranında yüklenmiş ve hızda ilk anda düşüş gözlenirse de motor hızını korumuş ve yeniden 1000 dev/dk hızına ulaşmıştır. Kademe kademe artırılan yüke rağmen motor tam ışınım ve tam rüzgâr durumunda %40 yükte hızını korumuştur. Bölgemize ait güneş ve rüzgâr haritaları göz önüne alınarak Bitlis ilinde kurulacak sistemden istenen verimin alınacağı aşikârdır. Değişken rüzgâr ve %75 ışınım durum grafiği Şekil 12’de verilmiştir. Rüzgâr değişimi, şarj kontrol biriminden alınan verilere göre 7 m/s ile 11 m/s aralığındadır.



Şekil 12. Değişken rüzgâr ve %75 ışınım durumunda devir hızı değişimi

Şekil 12’de verilen grafikten görüleceği üzere, %10 oranında yüklenen motorun tam ışınım ve rüzgâr durumuna göre toparlanma süresi uzasa da istenen performans sağlanmıştır. Yük kademe kademe %10 oranında artırılarak hızdaki değişim gözlenmiştir. Son olarak %40 oranındaki yük durumunda motor hızında yalnızca %10 oranında düşüş gözlenmektedir. Rüzgârsız ve %60 ışınım durumunda devir hızı değişimi Şekil 13’te gösterilmiştir. Rüzgârsız durum türbin kanatlarının dönmediği durumdur.



Şekil 13. Rüzgârsız ve %60 ışınım durumunda devir hızı değişimi

Rüzgâr türbininin devreden çıkarıldığı ve %60 ışınım ile yüksüz durumda motor 1000 dev/dk hızına ulaşmıştır. %40 oranındaki yük durumunda motor hızı küçük salınımlar göstermekle birlikte 700 dev/dk da sabitlenmiştir. Depolama ünitesiz sistemde yaşanan hız düşüşlerini önlemek amacıyla; sisteme entegre edilecek akıllı bir yük kontrol sistemi; devir sayısı düşüşlerine ya da ışınımına bağlı kontrollü yük atma işlemi gerçekleştirilerek hız optimizasyonu sağlanabilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenen ARM'nin depolama ünitesi ve depolama ünitesiz analizi yapılmıştır. Tam ışınım ve tam rüzgâr durumu ile tam dolu depolama ünitesi durumu karşılaştırıldığında, motorun her iki sistem için neredeyse aynı performansı sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, maliyet açısından depolama ünitesiz sistemin daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Değişken rüzgâr ve %75 ışınım durumu için grafik incelendiğinde sistem %40 yüklü olmasına rağmen hızında yalnızca %10 düşüş yaşanmıştır. Elde edilen deneysel verilere göre; YEK ile beslenen ARM'nin tarımsal sulama açısından uygunluğu kanıtlanmıştır. Sistemde depolama birimi bulunmamasının azaltılmış bakım, artırılmış dayanıklılık, güvenilirlik ve düşük işletme maliyeti gibi avantajlar sağladığını söylemek mümkündür. Ancak bölgemizdeki mevsim şartları, güneşlenme süresi ve rüzgâr haritası göz önünde bulundurulduğunda depolama ünitesiz sistem için verimi arttıracak, yüklenme durumlarındaki hız düşüşlerini optimize edecek akıllı sistemler üzerinde çalışılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, BEBAP 2017.09 ve BEBAP 2018.06 numaralı projeler kapsamında verdikleri desteklerden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Çetin E., Ahmet Y., Öner Y., Öztürk H.K. 2007. Aydınlatmada Fotovoltaik-Hidrojen Hibrit Enerji Kaynağı Kullanımı. IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 13-15 Aralık 2007, İzmir.
- [2] Fulzele J.B., Daigavane M.B. 2018. Design and Optimization of Hybrid PV-Wind Renewable Energy System. Materials Today: Proceedings, 5: 810-818.
- [3] Sigarchian S.G., Malmquist A., Fransson T. 2014. Modeling and control strategy of a hybrid PV/Wind/Engine/Battery system to provide electricity and drinkable water for remote applications. Energy Procedia, 57: 1401-1410.
- [4] Engin M. 2013. Sizing and Simulation of PV-Wind Hybrid Power System. International Journal of Photoenergy, 2013: 1-10.
- [5] Miller T.J.E. 1989. Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives, Clarendon Press, Oxford.

- [6] Ishikawa T., Dohmeki H. 2012. The fundamental design technique of switched reluctance motors, and comparison with PMSM. XXth International Conference on Electrical Machines, 2-5 Sept. 2012, Marseille.
- [7] Tseng G.M., Jhong K.J., Tsai M.C., Huang P.W., Lee W.H. 2016. Application of Additive Manufacturing for Low Torque Ripple of 6/4 Switched Reluctance Motor. 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 13-16 Nov. 2016, Chiba.
- [8] Indragandhi V., Selvamathi R., Arunkumari T. 2017. Speed Control of a Switched Reluctance Motor Using PID Controller for PV Based Water Pumping Applications. International Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, 21-22 April 2017, Vellore.
- [9] Ronanki D., Parthiban P. 2012. PV-Battery Powered Direct Torque Controlled Switched Reluctance Motor Drive. 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 27-29 March 2012, Shanghai.
- [10] Singh B, Mishra A.K., Kumar, R. 2015. Buck-Boost Converter Fed SRM Drive for Solar PV Array Based Water Pumping. IEEE IAS Joint Industrial and Commercial Power Systems / Petroleum and Chemical Industry Conference (ICPSPCIC), 19-21 Nov. 2015, Hyderabad.
- [11] Efe S.B., Demir D. 2018. Analysis of PV Supplied SRM for Different Operating Conditions. 7th International Conference on Advanced Technologies, April 28- May 01 2018, Antalya.
- [12] Miller T.J.E. 1993. Switched Reluctance Motors and Their Control, Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford.
- [13] Llibre J.-F., Martinez N., Leprince P., Nogarede B. 2013. Analysis and Modeling of Linear-Switched Reluctance for Medical Application. *Actuators*, 2 (2): 27–44.
- [14] Rasakannu J., Chinnagounder C. 2016. Design and implementation of small power switched reluctance generator-based wind energy conversion system. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24 (4): 3228–3239.
- [15] Kentli F., Çalik, H. 2011. Matlab-simulink modelling of 6/4 SRM with static data produced using finite element method. *Acta Polytechnica Hungarica*, 8 (6): 23–42.
- [16] Efe S.B., Kocaman B., Aktaş Demir D. 2018. Operational Analysis of a Switched Reluctance Motor Fed by PV System. International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 9-10 August 2018, Amsterdam.
- [17] Mishra A.K., Singh B. 2016. A Single Stage Solar PV Array Based Water Pumping System Using SRM Drive. 2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2-6 Oct. 2016, Portland.
- [18] Dursun M., Saygın A. 2006. Güneş Enerjisi ile Çalışan Bir Sulama Sistemi için Boost Konvertörlü Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücüsü. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (1-2):57-65.
- [19] Çelik A., Kılıç I.M.K. 2008. Fotovoltaik Sistem Eğitimi İçin Bir Simulink Araç Kutusu Tasarım ve Uygulaması. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 3 (3) :499-514.
- [20] Cengiz M.S., Mamiş M.S. 2015. Price-efficiency relationship for photovoltaic systems on a global basis. *International Journal of Photoenergy*, 2015: 1-12.
- [21] Yılmaz M., Kentli, F. 2014. Increasing of Electrical Energy with Solar Tracking System at the Region which Has Turkey's Most Solar Energy Potential. *Journal of Clean Energy Technologies*, 3 (4): 287–290.
- [22] Kentli F., Yılmaz, M. 2015. Mathematical modelling of two-axis photovoltaic system with improved efficiency. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 21 (4): 40–43.
- [23] Efe S.B. 2014. Mikro Şebekelerde Güç Akış Analizi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 103s, Elazığ.
- [24] Güneş Enerjisi. <http://www.yegm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 05.02.2019)
- [25] Rüzgar Enerjisi. <http://www.yegm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 05.02.2019).
- [26] Demir Aktaş D. 2018. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Beslenen Anahtarlamalı Relüktans Motorun Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 46s, Bitlis.

Araştırma Makalesi / Research Article

Computational Assessment of Zeolitic-Imidazolate Frameworks (ZIFs) for Adsorption and Diffusion Based Separation of Noble Gas Mixtures

Yeliz GÜRDAL DURĞUN*

*Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü, Adana, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-6245-891X)*

Abstract

Zeolite imidazolate frameworks (ZIFs) possess exceptional chemical and thermal stabilities together with tunable pore sizes, high porosities, and large surface areas which opens new and exciting application areas of ZIFs, such as gas separation and purification. Although, there have been significant number of studies investigating syngas separation performances of ZIFs, currently very little is know about their noble gas separation performances. We, therefore, computationally investigate adsorption and membrane oriented Xe/Kr and Xe/Ar separation performances of ZIF-6, ZIF-60, ZIF-65, and ZIF-79. Single component and mixture gas uptakes, Xe adsorption selectivities, gas permeabilities, and Xe permeation selectivities are predicted for all ZIFs under consideration. Our results suggest that while ZIF-79 is ideal for adsorption-based Xe separation, ZIF-60 can be considered as a promising candidate for membrane oriented separation of Xe.

Keywords: GCMC, classical MD, adsorption, diffusion

Zeolitik-İmidazolat İskelet Yapılarının Adsorpsiyon ve Difüzyon-bazlı Soy-gaz Karışımı Ayırma Potansiyellerinin Hesapsal Yöntemlerle İncelenmesi

Öz

Zeolitik-imidazolat iskelet yapılarının (ZIF), yüksek kimyasal ve termal stabiliteye sahip olmalarının yanısıra ayarlanabilir gözenek boyutları, yüksek gözeneklilikleri ve geniş yüzey alanına sahip olmaları; ZIF'ler için gaz ayırma ve saflaştırma gibi yeni ve ilgi çekici bir uygulama alanı oluşturmuştur. ZIF'lerin sentez gazları saflaştırma performanslarını araştıran çok sayıda çalışma olmasına rağmen, soy-gaz ayırma performansları hakkında çok az bilgi birikimi mevcuttur. Bu nedenle, çalışmamızda ZIF-6, ZIF-60, ZIF-65 ve ZIF-79'un adsorpsiyon ve difüzyona dayalı Xe/Kr ve Xe/Ar ayırma performanslarının hesaplamalı yöntemlerle araştırılması amaçlanmıştır. Tek bileşenli ve karışım gaz adsorpsiyonları, Xe adsorpsiyon seçiciliği, gaz geçirgenliği ve Xe geçirgenlik seçiciliği araştırdığımız ZIF'ler için tahmin edilmiştir. Sonuçlarımız, ZIF-79'un adsorpsiyona dayalı Xe ayrımı için ideal olmasına rağmen, ZIF-60'ın Xe'nin membran bazlı ayırımı için umut vaadeden bir aday olarak kabul edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: GCMC, klasik moleküler dinamik, adsorpsiyon, difüzyon

1. Introduction

There has been a significant development in the adsorption, diffusion, and separation of gas mixtures using nanoporous materials. Having pioneered the synthesis of new materials, Park and Yaghi et. al [1] introduced a highly porous membrane material called Zeolitic Imidazolate Frameworks (ZIFs). ZIFs are synthesized through copolymerization of Zn(II) or Co(II) transition metals with imidazolate-type ($C_3N_2H_3^-$) linkers (Im)[2]. They are structurally similar to zeolites, where Si-O-Si bonds in zeolites are replaced by (Zn/Co)-Im-(Zn/Co) bonds in ZIFs in which case both bonds have $\approx 145^\circ$ bond angles.

*Sorumlu yazar: ygurdal@atu.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

Although, zeolites are heavily used in industry for catalytic and membrane-based applications, one of their drawback appears in difficult incorporation of desired transition metals and organic linkers to their structures. ZIF structures, on the other hand, can be considered as a solution for overcoming the drawbacks in zeolite-based applications by improving performances through selectivity, electronic, and steric properties [3]. By changing transition metals and organic linkers in the structure, wide variety of ZIF membranes have been synthesized showing exceptional chemical and thermal stability and their electronic and structural properties have been tailored for a target application [4].

In terms of adsorption and membrane based separation of gas mixtures, ZIFs are mainly considered for separation of several gas mixtures, e.g., CO₂/CH₄, CO₂/CO, CO₂/H₂, CH₄/H₂, and CO₂/N₂ [5–9]. Although, their exceptionally high performance of gas separation and purification has been especially validated for CO₂, CH₄, and H₂ gas mixtures by many experimental and theoretical works [10,13], we know very little about potential of the ZIFs for separation of noble gas mixtures, such as Xe/Ar and Xe/Kr. Noble gases play significant role in both industry and biomedical applications including imaging, anesthesia, nuclear magnetic resonance, thanks to their chemical inertness, low solubility, and low conductivity. Noble gases and their radioisotopes are emitted to the atmosphere as a by product of nuclear fission [14]. Besides, during cryogenic distillation of air Xe/Kr mixture of 0.2/0.8 molar concentration is obtained where further distillation is required to obtain pure Xe and Kr. The current technologies for obtaining pure noble gases are energy intensive, hence, adsorption and diffusion based separation of noble gases using nanoporous materials should be encouraged for a cheaper and large scale purification of noble gases.

To date, there have been a few literature investigating noble gas separation performances of ZIFs. Wang et al. [15] both experimentally and theoretically investigate Xe adsorption capacity of ZIF-8, showing that at low pressures (< 1 bar) Xe uptake of ZIF-8 could reach 300 mg/g which is relatively a good performance comparing with other metal organic frameworks (MOFs), such as IRMOF-1 and UMCM-1. Same research group also show that Xe/Kr adsorption selectivity of CuBTC outperforms ZIF-8, by 6.7, which is attributed to the Xe uptake tendency of open metal sites present in CuBTC [12]. Magdysyuk et al. [16] investigate Xe and Kr adsorption in ZIF-8 and results show that while metal sites of ZIF-8 are not accessible by noble gases, imidazolate ligands shows tendency for Xe and Kr adsorption. Gurdal and Keskin [17] computationally explore separation and purification of Xe/Ar and Xe/Kr gases in four ZIF structures, e.g, ZIF-1, ZIF-2, ZIF-3, and ZIF-10. According to the results, ZIF-1 and ZIF-2 shows higher Xe/Ar and Xe/Kr adsorption selectivities. Permeabilities of selected noble gas mixtures through ZIF membranes, on the other hand, follows the order of ZIF-2>ZIF-10>ZIF-3 and ZIF-10>ZIF-3>ZIF-2, respectively [18]. Literature on noble gas separation focuses on a few ZIF materials, hence, the noble gas separation performance analysis of several ZIFs is still lacking.

The scope of this work is to computationally explore adsorption and permeation selectivities of four representative ZIFs for Xe/Ar and Xe/Kr separations. We calculate single specie and binary adsorption of Xe, Ar, and Kr by varying pressures applying Grand Canonical Monte Carlo (GCMC) simulation method. Besides, self-diffusivities of Xe, Kr, as well as Ar species in their binary mixtures are calculated by classical molecular dynamics. We compare Xe/Kr and Xe/Ar uptakes, gas permeabilities, adsorption and permeation selectivities of ZIFs and discuss which material is more appropriate for noble gas separations and which property is playing a critical role in adsorption and membrane-based separation.

2. Computational Details

We use GCMC [19] simulation method to compute single specie adsorption of Xe, Kr, Ar and their binary mixture adsorptions in ZIFs. Gas diffusivities and permeabilities, on the other hand, are calculated using classical molecular dynamics simulations [20]. We focus on four representative ZIFs having Zn and Co metal atoms, linkers, porosities, and pore dimensions which are summarized in Table I. Among the ZIFs that we consider, ZIF-60 has the highest porosity, 70.82 %. While ZIF-6 and ZIF-60 have large pores, ZIF-65 and ZIF-79 have heterogeneity in pore sizes. All ZIFs contain Zn as transition metal center, except for ZIF-65 which has Co instead. In terms of organic linkers, all the ZIFs in this work have different organic linkers from each other. While ZIF-6 is (ZIF-65) composed of only Im (nIm) linkers, ZIF-60 (ZIF-79) possesses mixed organic linkers of Im and mIm (mbIm and nIm).

Table 1. Structural properties of ZIFs used in this work. For more details on structures, see Ref [19]. Imidazolate, methylimidazole, nitroimidazole, and methylbenzimidazole organic linkers in ZIFs are abbreviated as Im, mIm, nIm, and mbIm, respectively.

ZIF materials	Metal Atom	Linker	Porosity (%)	Pore size (Å)	Density (g/cm ³)	Volume (Å ³)
ZIF-6	Zn	Im	62.70	8.2/8.8	0.764	6940
ZIF-60	Zn	Im, mIm	70.82	7.2/9.4	0.769	14270
ZIF-65	Co	nIm	67.90	3.4/10.4	1.095	5152
ZIF-79	Zn	mbIm, nIm	56.87	4.0/7.5	1.075	11441

The atomic positions of all ZIFs under consideration are obtained from their XRD data [1-2]. Geometrical representations of ZIFs under consideration are depicted in Figure 1. Rigid structures of ZIFs are used throughout our simulations, which is shown to be an appropriate estimate in our previous works [17-18]. Spherical Lennard Jones 12-6 potentials are used to calculate atomic interactions [22]. Electrostatic interactions, on the other hand, are not considered which is shown to be an effective assumption for the calculations of Xe and Kr uptakes of several MOFs [23]. Lorentz-Berthelot mixing rules are applied to calculate gas-gas and gas-adsorbate cross interaction contribution. Force field parameters of the ZIF atoms are taken from Dreiding force field [24] and, if not available, Universal Force Field (UFF) [25] parameters are applied. Force field parameters of the gas species, instead, are taken from previous studies [17, 26]. The Xe/Kr gas uptake predictions of UFF and Dreiding force fields for several MOFs show good agreement with the experimental data [17]. A cutoff for the van der Waals interactions is set to 13 Å. While simulation box size of 2x2x2 is used for all GCMC simulations, it is increased up to 3x3x3 during the molecular dynamics runs. Periodic boundary conditions are always applied.

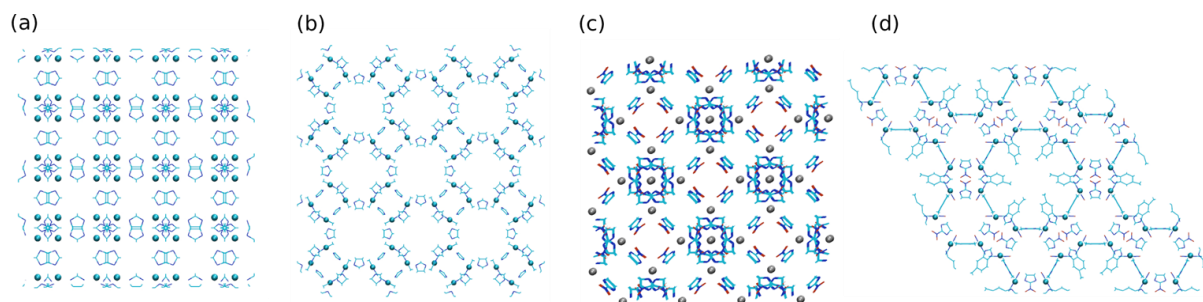


Figure 1. Ball and stick representations of a) ZIF-6, b) ZIF-60, c) ZIF-65, and d) ZIF-79. While organic linkers are depicted with sticks, metal atoms Zn and Co are shown with blue and grey balls, respectively.

Single component and mixture adsorption data of gases are calculated via conventional GCMC method. The temperature is set to 298 K, and pressure is increased from 1 bar to 10 bar, by 1 bar, and from 15 bar to 30 bar, by 5 bar. Using this temperature and pressure set-up, concentration of adsorbed phase molecules are determined at thermodynamic equilibrium. GCMC runs for each system at the lowest pressure are started from an empty ZIF structure. At higher pressures, on the other hand, the last configuration of the previous run is taken as a starting configuration of the next simulation. Simulations consist of 3×10^7 trial configurations in total. While insertion, deletion, and translation moves are considered for single component adsorption calculations, a swap of gas particles are also considered for mixture adsorption runs. Adsorption selectivity of ZIFs for Xe from its binary mixtures are calculated using the standard definition below [27].

$$S_{ads}(i/j) = x_i/x_j y_i/y_j \quad (1)$$

where x and y are the adsorbed and feed gas phase molar fractions of the components in i/j mixture, respectively. We calculate mixture self-diffusivities of each component by classical molecular dynamics (MD) in NVT ensemble [28]. The self diffusivity, abbreviated as D_{self} , depicts the motion of

individual particles in a nanoporous material. D_{self} is calculated by Einstein relation as shown below [29],

$$D_{self} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{6t} \left\langle \frac{1}{N_t} \sum_{k=1}^{N_i} [r_{ik}(t) - r_{ik}(0)]^2 \right\rangle \quad (2)$$

where number of molecules is depicted by N and $r_{ik}(t)$ shows the position of atom k of component i at time t . NVT ensemble average is denoted by angular brackets. Temperature is kept constant using the Nose-Hoover thermostat in all runs. We calculate D_{self} of each atomic types in Xe/Kr and Xe/Ar samples having 0.2/0.8 molar fractions at 10 bar. Initial MD states are created using appropriate loadings calculated by GCMC simulations. After equilibrating each system for about 8 ns with MD, production runs are collected for 16 ns. Permeation selectivities of ZIFs for Xe/Ar and Xe/Kr are calculated using following equation [18],

$$S_{permeation}(i/j) = \frac{x_i/x_j D_{self}(i)}{y_i/y_j D_{self}(j)} \quad (3)$$

The equation above predicts a membrane's separation performance at a specific bulk pressure (10 bar in our case), and feed gas composition obtained by GCMC simulation (also at 10 bar) at room temperature. Gas permeability is another important criterion for deciding gas separation performances of nanoporous materials [30] which is calculated as:

$$P_i = \frac{c_i D_{self}(i) \vartheta}{f_i}$$

In the expression above, permeability of species i in mol/(msPa) is depicted by P_i , ϑ and c_i are the pore volume of the material and adsorbed concentration of species i in the mixture (mol/m³), respectively. Feed gas fugacity of the species i , on the other hand, is depicted by f_i (Pa). Gas permeabilities of Xe is reported in Barrers in entire paper.

3. Results and Discussion

Single specie adsorption data of Xe, Ar, and Kr and their mixture adsorption data, Xe/Ar and Xe/Kr, in corresponding ZIFs at 298 K are depicted in Figure 2 as a function of bulk pressure. In general, adsorption of single component Xe is larger than Kr and Ar in almost all ZIFs. The reason can be attributed to the energetic effects. As it can be seen from Figure 2, Xe atoms adsorb to ZIF pores and reaches saturation at lower pressures, however Kr and Ar atoms can still locate on adsorption sites in ZIF pores enabling them to reach saturation at higher pressures. Single component adsorption of Kr in ZIF-79 becomes slightly larger than Xe especially at higher pressures, entropic effects might be the reasoning. In ZIF-65 single component adsorption data of Xe and Kr are similar, especially at higher pressures. As it can be deduced from single component gas uptakes of ZIFs calculated by GCMC, mixture adsorption data show that ZIFs prefer Xe over Kr and Ar in both Xe/Kr and Xe/Ar samples. The reason is attributed to the strongly adsorbing Xe specie, which eliminates weakly adsorbing species of Kr and Ar in ZIFs. Xe uptake of ZIFs follows the order of ZIF-60 > ZIF-79 > ZIF-6 > ZIF-65. While same ordering also applies for single component Kr adsorption, in the case of Ar uptake performances of ZIFs the ordering changes as ZIF-60 > ZIF-6 > ZIF-79 > ZIF-65. In the case of mixture adsorption simulations, we observe that, in general, adsorption amount of each specie decreases substantially. The difference between single component and mixture Xe uptake is significant in the case of Xe/Kr mixture adsorption with respect to Xe/Ar. For instance, while in ZIF-60 single component Xe uptake is 70 molecules/unitcell, in the case of mixture adsorption Xe adsorption decreases to 45 and 30 molecules/unitcell in Xe/Ar and Xe/Kr mixtures, respectively. The reason is attributed to the energetic effects. In mixture adsorption simulations Xe atoms has to compete with Kr and Ar adsorptions, where adsorption sites of ZIF structure are occupied by Kr and Ar atoms before

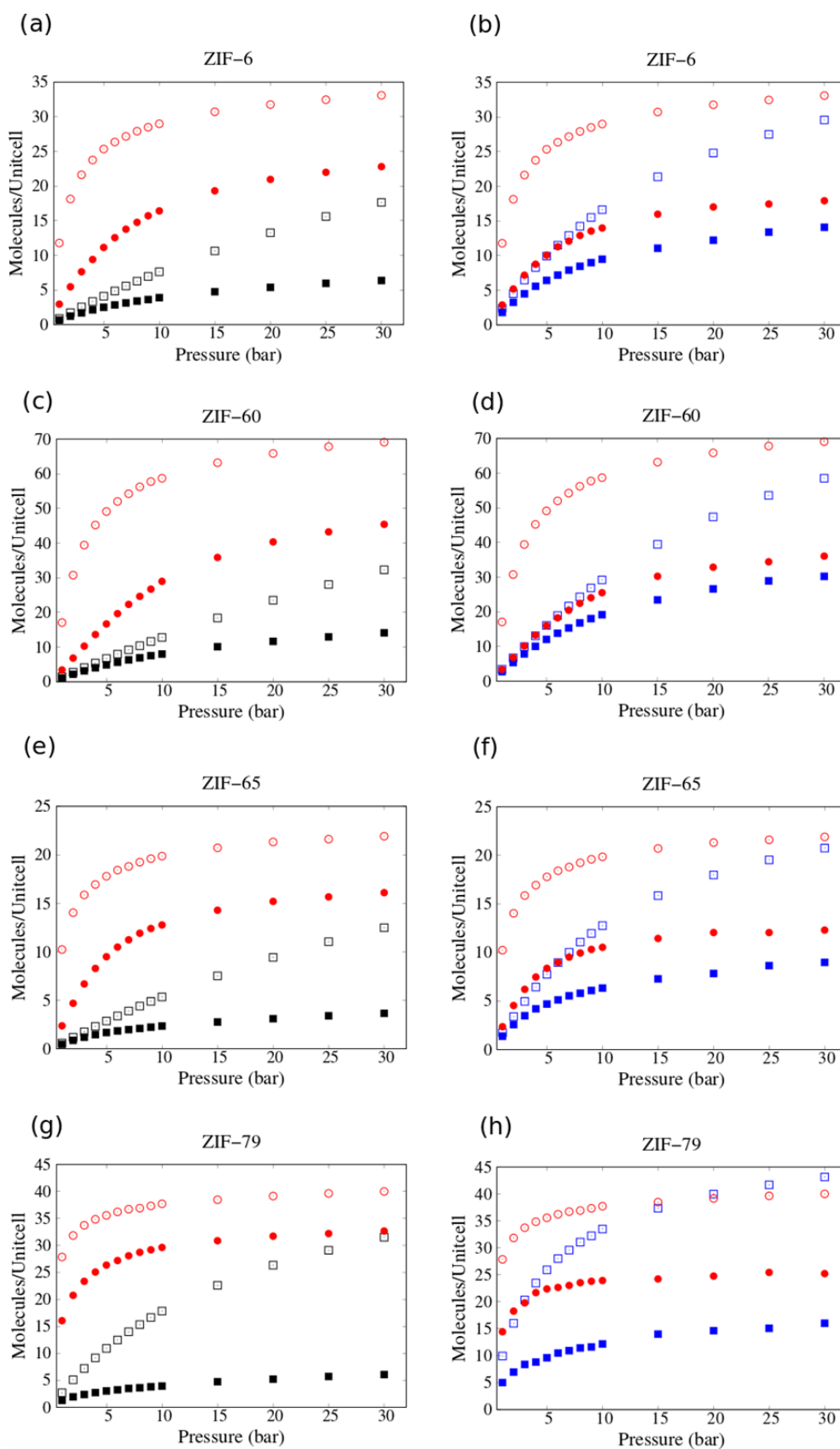


Figure 2. Single specie and mixture uptake data of Xe/Ar and Xe/Kr in (a - b) ZIF-6, (c - d) ZIF-60, (e - f) ZIF-65, and (g - h) ZIF-79. Gas uptake calculations are carried out at 298 K. The composition of feed gas is set to 0.2/0.8 for both Xe/Kr and Xe/Ar. While empty symbols show single component adsorption data of each species, filled symbols depict adsorption of species in binary mixtures. Black, red, and blue colors show the adsorption data of Ar, Xe, and Kr, respectively.

Xe adsorption, hence adsorption of Xe decreases in the mixture case. Comparing with Ar, Kr has larger energy parameter, hence, ZIF adsorption sites are more strongly occupied by Kr atoms explaining the larger decrease in Xe adsorption amount in Xe/Kr with respect to Xe/Ar. We also observe a decrease in Ar and Kr uptakes for gas mixtures with respect to their single component adsorption data. For Ar, this result is more pronounced in the case of ZIF-79 where at 30 bar single component Ar adsorption of 30 molecules/unitcell decreases to 3 molecules/unitcell in Xe/Ar mixture adsorption. In the case of Kr, 43 molecules/unitcell single adsorption amount in ZIF-79 falls to 10 molecules/unitcell in Xe/Kr mixture adsorption.

Mixture adsorption GCMC data is used to calculate Xe adsorption selectivities of ZIFs and predict their adsorption-based noble gas separation performances. For an adsorption-based gas mixture separations, sustaining the selectivity across several pressure ranges is one of the most important characteristics of promising adsorbents. The adsorption selectivities of Xe/Ar and Xe/Kr mixtures having 0.2/0.8 molar fractions are shown in Figure 3 as a function of pressure. Selectivity values larger than 1 indicates that ZIFs are selectively separate Xe from its mixtures of Xe/Kr and Xe/Ar. ZIF-79 shows the largest Xe adsorption selectivity for both Xe/Ar and Xe/Kr. The trend in Xe adsorption selectivity of all ZIFs, especially the ordering of ZIF-79 > ZIF-65 > ZIF-6 > ZIF-60, is similar for both Xe/Kr and Xe/Ar samples. ZIF-79 shows larger Xe adsorption selectivity especially at low pressures, between 1 bar and 10 bar. The other ZIFs, instead, show slight decrease in Xe adsorption selectivity with increase in pressure. All the ZIFs that we consider, Xe adsorption selectivity decreases gradually as pressure increases. This effects is more pronounced in ZIF-79, where Xe adsorption selectivity of 50 (12) in Xe/Ar (Xe/Kr) mixture at 1 bar, drops to 20 (7) at 30 bar.

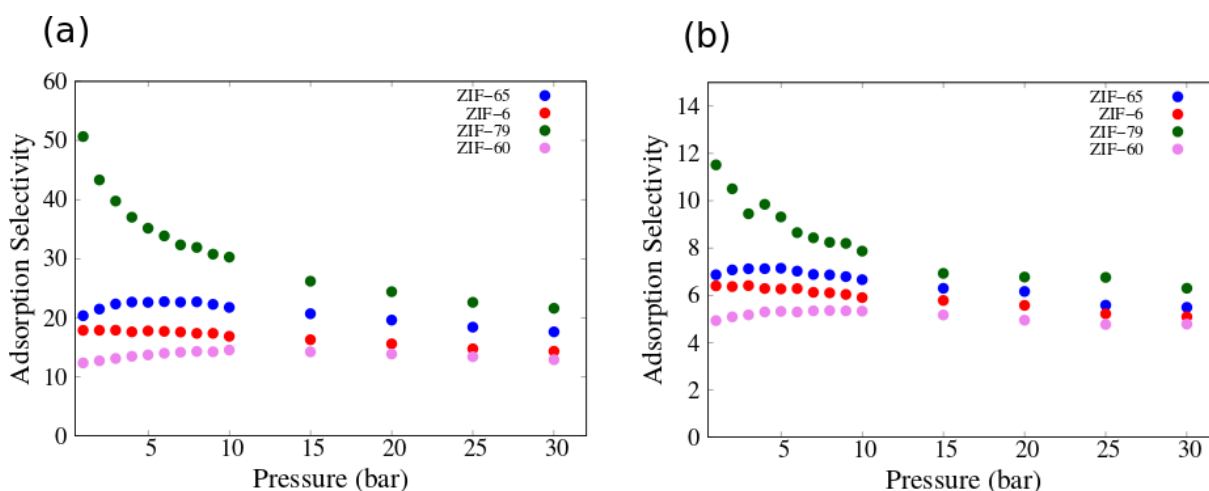


Figure 3. Adsorption selectivity of ZIFs with respect to feed pressure for (a)Xe/Ar and (b)XeKr separations.

Concerning the pore dimensions of the ZIFs under consideration, ZIF-79 and ZIF-65 have heterogeneous pore dimensions being 4.0/7.5 Å and 3.4/10.4 Å respectively, see Table 1. ZIF-60 and ZIF-6, on the other hand, have larger pore dimensions. Our results show that ZIFs possessing heterogenous pore sizes favor more Xe adsorption which leads to larger Xe adsorption selectivities. Larger pore sizes, instead, enables adsorption of each species which results in lower Xe uptake selectivities for both Xe/Kr and Xe/Ar samples. Entropic effects are considered to be the main reason of this observation. Xe atom shows strong confinement with the ZIFs having smaller pores. The confinement of Kr and Ar, on the other hand, can be thought as being smaller and being similar in both small and larger pores leading to comparable adsorption strength. The enhanced confinement of Xe in ZIFs having small pores, thus, results in larger Xe adsorption selectivities. Our result also agrees with the literature where MOFs having heterogeneous pore-sizes, such as ZIF-1 and ZIF-2, also show larger Xe adsorption selectivities with respect to the MOFs with larger pores [17]. One another important observation from Figure 3 is that, Xe adsorption selectivity from Xe/Ar are always larger than the selectivity observed for Xe/Kr. As it is expected, adsorption selectivity of Xe enhances when it is mixed

with an atom having smaller energy parameter, Ar, with respect to the atoms having larger energy parameters, Kr.

For determining overall noble gas separation performances of ZIFs under consideration, the transport rates of gas species should be also considered. We compute self diffusivities of gas species using MD, and calculate Xe permeabilities and permeation selectivities in Xe/Ar and Xe/Kr mixtures with 0.2/0.8 gas composition at 10 bar and 298 K. The results are summarized in Table 2. As a general observation, Xe diffuses slower than Kr and Ar components due to its stronger adsorption on ZIF pores. For instance, in ZIF-6, Xe and Ar (Kr) self-diffusivities in Xe/Ar (Xe/Kr) mixture are calculated as 5×10^{-5} (4.37×10^{-5}) cm^2/s and 2.57×10^{-4} (1×10^{-4}) cm^2/s , respectively. In the case of ZIF-79, on the other hand, Xe and Ar (Kr) self-diffusivities in Xe/Ar (Xe/Kr) mixture is computed as 1.77×10^{-6} (2.38×10^{-6}) cm^2/s and 1.20×10^{-5} (8.16×10^{-6}) cm^2/s , respectively. We notice that, although ZIF-79 shows promising character as an adsorbent by separating Xe from both Xe/Kr and Xe/Ar, Xe diffusion in ZIF-79 pores is limited due to stronger interaction of Xe with ZIF-79 adsorption sites, as well as smaller pore distribution of ZIF-79. Comparing Kr and Ar separations, Kr adsorbs stronger than Ar in ZIF pores which leads to slower diffusion of Kr with respect to Ar in binary diffusion simulations.

We predict Xe permeabilities and permeation selectivities of ZIFs for dual mixtures of Xe, Kr, and Ar, see Table 2. A promising nanoporous material for a permeation-based separation of a specific gas from its mixture should possess high permeation selectivity as well as high permeability. High permeability is an important criterion for industrial-scale gas separations, since it succeeds higher gas purification with smaller membrane area, hence lowering capital cost. Xe permeation selectivities of ZIFs become significantly smaller with respect to their Xe adsorption selectivities. The reason is attributed to the enhanced confinement of Xe atom in ZIF pores which leads to its slower diffusion and compensates its larger adsorption selectivity. For Xe/Ar mixture, ZIF-6 shows the largest Xe permeability with respect to the other ZIFs due to its homogeneously distributed large pores. Considering permeation selectivities, on the other hand, ZIF-6 shows the poorest performance since larger pores also allow Ar diffusion leading to smaller Xe permeation selectivity. For Xe/Kr mixture, on the other hand, while ZIF-60 has the highest Xe permeation selectivity, the highest Xe permeability is observed in ZIF-6. Taking the results into consideration, ZIF-60 showing high Xe permeation selectivity and also high Xe permeability can be considered as a promising candidate for membrane-based separation of Xe from its binary mixtures.

Table 2. Mixture self-diffusivities of Xe ($D_{\text{self(Xe)}}$), Xe permeation selectivities ($S_{\text{permeation}}$), Xe permeabilities in ZIFs for both Xe/Ar and Xe/Kr mixtures are reported.

ZIF materials	$D_{\text{self(Xe)}}$ in Xe/Ar (cm^2/s)	$D_{\text{self(Xe)}}$ in Xe/Kr (cm^2/s)	$S_{\text{permeation}}$ (Xe/Ar)	$S_{\text{permeation}}$ (Xe/Kr)	P_{Xe} in Xe/Ar ($/10^2$ Barrer)	P_{Xe} in Xe/Kr ($/10^2$ Barrer)
ZIF-6	5.02×10^{-5}	4.37×10^{-5}	3.28	2.56	1847.34	1369.82
ZIF-60	3.71×10^{-5}	4.06×10^{-5}	3.52	2.82	1323.78	1275.27
ZIF-79	1.77×10^{-6}	2.38×10^{-6}	4.47	2.28	61.30	66.46

We observe single-file diffusion of Xe for both Xe/Kr and Xe/Ar samples in ZIF-65. The self-diffusivities of gas particles can be considered as normal when gas molecules can pass one another in the pores of nanoporous materials. The reverse situation, on the other hand, is considered as single file diffusion when gas molecules of one specie cannot pass one another in the pore leading to only small fluctuations in the mean-square displacement of the particle in three dimensions over simulation time [31]. ZIF-65 has heterogeneous pores with the size of 3.4/10.4 Å where steric hindrance and topology effects become dominant for Xe preventing its diffusion from the pores. Single file diffusion of Xe is also observed in zeolite AlPO4-31 by molecular dynamics study of Sholl et al. [32]. Since we do not observe diffusion of Xe, Xe permeability and permeation selectivity values are not calculated for ZIF-65.

4. Conclusions

We investigate adsorption and diffusion-based noble gas separation performances of ZIF membranes, particularly ZIF-6, ZIF-60, ZIF-65, and ZIF-79 using GCMC and MD simulations. Results show that

ZIF-79 has the highest Xe uptake selectivities for both Xe/Kr and Xe/Ar mixtures. ZIF-79 has heterogeneous and small pore distribution which potentially creates stronger confinement for Xe atom, thus, explaining higher uptake of Xe over the other ZIFs. ZIFs showing a good performance for adsorption-based Xe separation, are shown to be poor for Xe permeation. While ZIF-79 can be a promising candidate for adsorption-based purification of Xe, however Xe diffusion is limited in ZIF-79 which can be the side effects of stronger adsorbate-adsorbent interactions as well as steric hindrance effects observed in ZIF-79. We suggest that ZIFs possessing heterogeneous and relatively small pore distribution are ideal candidates for adsorption-based separation of Xe. Concerning gas permeabilities, ZIF-6 shows the highest Xe permeabilities for both Xe/Kr and Xe/Ar mixtures, which is related with its homogeneously distributed large pores. However, its larger pores also allow Kr and Ar diffusion, thus, reducing Xe permeation selectivity of ZIF-6. ZIF-60, on the other hand, showing both high Xe permeation selectivity and Xe permeability can be a potential candidate for diffusion-based separation of Xe. Our results suggest that ZIFs that are promising candidates for adsorption-based separation of noble gases might not satisfy also membrane-based separation at the same time. Nonetheless, ZIFs that are investigated in this study are shown to be better adsorbents and membranes than zeolites [33] and polymeric membranes [34].

Acknowledgement

The numerical calculations reported in this paper were fully performed at TUBITAK ULAKBIM, High Performance and Grid Computing Center (TRUBA resources), located in Turkey.

References

- [1] Park K.S., Ni Z., Cote A.P., Choi J.Y., Huang R., Uribe-Romo F.J., Chae H.K., O’Keeffe M., Yaghi O. M. 2006. Exceptional Chemical and Thermal Stability of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (27): 10186–10191.
- [2] Banerjee R., Phan A., Wang B., Knobler C., Furukawa H., O’Keeffe M., Yaghi O.M. 2008. High-throughput Synthesis of Zeolitic Imidazolate Frameworks and Application to CO₂ Capture. *Science*, 319 (5865): 939–943.
- [3] Grau-Crespo R., Aziz A., Collins A.W., Crespo-Otero R., Hernández N.C., Rodriguez Albelo L.M., Ruiz-Salvador A.R., Calero S., Hamad S. 2016. Modelling a Linker Mix and Match Approach for Controlling the Optical Excitation Gaps and Band Alignment of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Angewandte Chemie International Edition*, 55 (52): 16012–16016.
- [4] Banerjee R., Furukawa H., Britt D., Knobler C., O’Keeffe M., Yaghi O.M. 2009. Control of Pore Size and Functionality in Isoreticular Zeolitic Imidazolate Frameworks and Their Carbon dioxide Selective Capture Properties. *Journal of the American Chemical Society*, 131 (11): 3875–3877.
- [5] Liu J., Keskin S., Sholl D.S., Johnson J.K. 2011. Molecular Simulations and Theoretical Predictions for Adsorption and Diffusion of CH₄/H₂ and CO₂/CH₄ Mixtures in Zifs. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115 (25): 12560–12566.
- [6] Liu Y., Hu E., Khan E.A., Lai Z. 2010. Synthesis and Characterization of Zif-69 Membranes and Separation for CO₂/CO Mixture. *Journal of Membrane Science*, 353 (1): 36–40.
- [7] Yumru A.B., Safak Boroglu M., Boz I. 2018. Zif-11/matrimid R Mixed Matrix Membranes for Efficient CO₂, CH₄, and H₂ Separations. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 8 (3): 529–541.
- [8] Battisti A., Taioli S., Garberoglio G. 2011. Zeolitic Imidazolate Frameworks for Separation of Binary Mixtures of CO₂, CH₄, N₂ and H₂: A Computer Simulation Investigation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 143 (1): 46–53.
- [9] Chokbunpiam T., Fritzsche S., Chmelik C., Caro J., Janke W., Hannongbua S. 2016. Gate Opening, Diffusion, and Adsorption of CO₂ and N₂ Mixtures in Zif-8, *The Journal of Physical Chemistry C*, 120 (41): 23458–23468.
- [10] McDaniel J.G., Yu K., Schmidt J.R. 2012. Ab Initio, Physically Motivated Force Fields for CO₂ Adsorption in Zeolitic Imidazolate Frameworks. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116 (2): 1892–1903.

- [11] Chen B., Yang Z., Zhu Y., Xia Y. 2014. Zeolitic Imidazolate Framework Materials: Recent Progress in Synthesis and Applications. *Journal of Material Chemistry A*, 2: 16811–6831.
- [12] Günay Sezer G., Erucar I. 2017. Hydrothermal Synthesis, Crystal Structure, and Properties of 1D Zigzag Chain Zinc(ii) Coordination Polymer Constructed From Nicotinic Acid and 1,4-bis(imidazol-1-ylmethyl) benzene. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 23–38.
- [13] Gulcay, E., Erucar, I. 2019. Molecular Simulations of Cofs, Irmofs and Zifs for Adsorption-based Separation of Carbon Tetrachloride from Air. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 86: 84–94.
- [14] Wang Q., Xiong S., Xiang Z., Peng S., Wang X., Cao D. 2016. Dynamic Separation of Xe and Kr by Metal-Organic Framework and Covalent-Organic Materials: A Comparison with Activated Charcoal. *Science China Chemistry*, 59 (5): 643–650.
- [15] Wang Q., Wang H., Peng S., Peng X., Cao D. 2014. Adsorption and Separation of Xe in Metal–Organic Frameworks and Covalent–Organic Materials. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (19): 10221–10229.
- [16] Magdysyuk O.V., Adams F., Liermann H.-P., Spanopoulos I., Trikalitis P.N., Hirscher M., Morris R.E., Duncan M.J., McCormick L.J., Dinnebier R.E. 2014. Understanding the Adsorption Mechanism of Noble Gases Kr and Xe in CPO-27-Ni, CPO-27-Mg, and Zif-8. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16: 23908–23914.
- [17] Gurdal Y., Keskin S. 2012. Atomically Detailed Modeling of Metal Organic Frameworks for Adsorption, Diffusion, and Separation of Noble Gas Mixtures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51 (21): 7373–7382.
- [18] Gurdal Y., Keskin S. 2013. Predicting Noble Gas Separation Performance of Metal Organic Frameworks Using Theoretical Correlations. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117 (10): 5229–5241.
- [19] Allen M., Tildesley J. 1987. *Computer Simulations of Liquids*. Oxford Science Publications, Oxford.
- [20] Frenkel D., Smit B. 1987. *Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications*. Academic Press, San Diego.
- [21] Atci E., Keskin S. 2012. Understanding the Potential of Zeolite Imidazolate Framework Membranes in Gas Separations Using Atomically Detailed Calculations. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116 (29): 15525–15537.
- [22] Maitland G.C., Rigby M., Smith E.B., Wakeham W.A. 1981. *Intermolecular Forces: Their Origin and Determination*. Clarendon Press, Oxford.
- [23] Ryan P., Farha O.K., Broadbelt L.J., Snurr R.Q. 2011. Computational Screening of Metal-Organic Frameworks for Xenon/Krypton Separation, *AIChE Journal*, 57 (7): 1759–1766.
- [24] Mayo S L., Olafson B.D., Goddard W.A. 1990. Dreiding: A Generic Force Field for Molecular Simulations. *The Journal of Physical Chemistry*, 94 (26): 8897–8909.
- [25] Rappe A.K., Casewit C.J., Colwell K.S., Goddard W.A., Skiff W M. 1992. UFF, A full Periodic Table Force Field for Molecular Mechanics and Molecular Dynamics Simulations. *Journal of the American Chemical Society*, 114 (25): 10024–10035.
- [26] Talu O., Myers A.L. 2001. Reference Potentials for Adsorption of Helium, Argon, Methane, and Krypton in High-Silica Zeolites. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 187-188, 83–93.
- [27] Gurdal Y., Keskin S. 2016. A New Approach for Predicting Gas Separation Performances of Mof Membranes, *Journal of Membrane Science*, 519: 45–54.
- [28] Ackerman D.M., Skoulidas A.I., Sholl D.S., Johnson J.K. 2003. Diffusivities of Ar and Ne in Carbon Nanotubes. *Molecular Simulation*, 29 (10-11): 677–684.
- [29] Keil F., Krishna R., Coppens M. 2011. Modeling of Diffusion in Zeolites. *Reviews in Chemical Engineering*, 16: 71–197.
- [30] Altintas C., Keskin S. 2017. Molecular Simulations of Mof Membranes for Separation of Ethane/Ethene and Ethane/Methane Mixtures. *RSC Advances*, 7: 52283–52295.
- [31] Keffer D., McCormick A., Davis H. 1996. Unidirectional and Single-file Diffusion in AlPO4-5: Molecular Dynamics Investigations. *Molecular Physics*, 87 (2): 367–387.

- [32] Sholl D.S., Lee C.K. 2000. Influences of Concerted Cluster Diffusion on Single-file Diffusion of CF₄ in Alpo4-5 and Xe in Alpo4-31. *The Journal of Chemical Physics*, 112 (2): 817–824.
- [33] Sumer Z., Keskin S. 2017. Molecular Simulations of Mof Adsorbents and Membranes for Noble Gas Separations. *Chemical Engineering Science*, 164: 108–121.
- [34] Nakai Y., Yoshimizu H., Tsujita Y. 2005. Enhanced Gas Permeability of Cellulose Acetate Membranes Under Microwave Irradiation. *Journal of Membrane Science*, 256 (1): 72–77.

Araştırma Makalesi / Research Article

PECVD Yöntemi ile Polimerik Hidrojel İnce Filmlerin Üretimi

Mehmet GÜRSOY*

Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Konya

Öz

Bu çalışma ile hidrojel özellikteki PHPMA (poli(hidroksipropil metakrilat)) ince filmleri gaz fazı bir yöntem olan plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) yöntemi ile üretilmiştir. Substrat sıcaklığının, reaktör basıncının ve plazma gücünün, PHPMA ince filmlerinin kaplama hızları üzerine etkileri incelenmiştir. PECVD parametrelerinin, PHPMA ince filmlerinin morfolojileri, kimyasal yapıları ve ıslanabilirlik özellikleri üzerine etkileri açığa çıkarılmıştır. Ayrıca, bu çalışma kapsamında PHPMA ince filmlerinin, kaplama mekanizması ve kinetiği de incelenmiştir. En yüksek kaplama hızı (120,2 nm/dk) 20 °C substrat sıcaklığında, 250 mtorr reaktör basıncında ve 20 W plazma gücünde elde edilmiştir. PHPMA kaplamasının aktivasyon enerjisi -22,16 kJ/mol olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: CVD, PHPMA, Hidrojel, İnce film.

Synthesis of Polymeric Hydrogel Thin Films by PECVD Method

Abstract

In this study, PHPMA (poly (hydroxypropyl methacrylate)) thin films, which have hydrogel properties, were synthesized by gas phase plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) method. The effects of substrate temperature, reactor pressure and plasma power on the deposition rates of PHPMA thin films were investigated. The effect of PECVD parameters on the morphology, chemical structure and wettability properties of PHPMA thin films were revealed. Furthermore, the deposition mechanisms and kinetics of PHPMA thin films were also investigated in this study. The highest deposition rate (120.2 nm/min) was obtained at the substrate temperature of 20°C, reactor pressure of 250 mtorr and plasma power of 20 W. The activation energy of PHPMA deposition was found to be -22.16 kJ / mol.

Keywords: CVD, PHPMA, Hydrogel, Thin film.

1. Giriş

Sahip oldukları önemli özelliklerden dolayı polimerik hidrojellere karşı olan ilgi her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu özellikler arasında, biyoyumlu olmaları, reaktif fonksiyonel grupları, kimyasalları veya hücreleri hareketsiz hale getirebilecek miktarlarda üretimi arzulanmaktadır [1-7]. Yapılarında bulunan -OH, -NH₂, -SO₃H ve -COOH benzeri hidrofilik özellikteki fonksiyonel gruplar sayesinde büyük miktarlarda suyu absorbe edebilme ve tutabilme kabiliyetleri vardır. Ayrıca, pH, sıcaklık, manyetik, elektriksel alan, ışık gibi çevre koşullarına göre bir takım kimyasal ve fiziksel özelliklerinin değişebilmesi de polimerik hidrojellere çeşitli kullanım alanları sunmaktadır [8-12].

Polimerik hidrojel ince filmlerin, dayanıklı olması, tekrarlanabilirliği yüksek bir şekilde üretilmesi ve endüstrinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek miktarlarda üretimi arzulanmaktadır. Arzu edilen özellikteki polimerik hidrojel ince filmlerin üretimi için, üretim yöntemi dikkatlice seçilmelidir. Bugüne kadar polimerik hidrojelleri üretmek için birçok yöntem kullanılmıştır. Polimerik hidrojelleri üretmek için kullanılan yöntemler çözelti bazı yöntemler (ıslak prosesler) ve gaz fazı yöntemler (kuru prosesler) olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Atom transferi radikal polimerizasyonu (ATRP),

*Sorumlu yazar: mgursoy@ktun.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019.

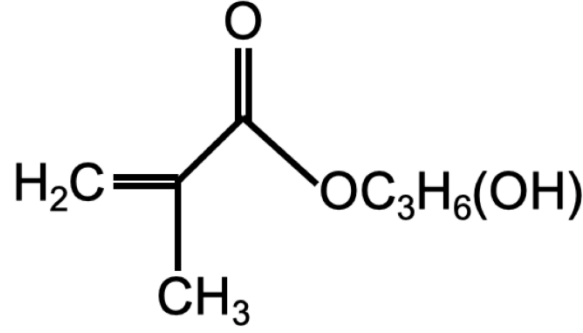
daldırma kaplama, sol-jel teknikleri, çözelti bazlı polimer hidrojel üretim yöntemlerini oluşturmaktadır [13]. Kolay uygulanabilmesi ve özel ekipmanlara ihtiyaç duymamasından dolayı, ıslak yöntemler yaygın bir şekilde polimerik hidrojel film üretiminde kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin uygulanması esnasında kullanılan çözeltiler, bazı problemlere neden olmaktadır. Örneğin, ilaç salınımı uygulamalarında nano ve/veya mikro boyuttaki malzemelerin enkapsülasyonunun yapılması gerekebilmektedir. Çözelti bazlı yöntemlerde kullanılan sıvıların yüzey gerilimleri sonucu parçacıkların birbirine yapışmasına ve bunun neticesinde parçacıkların topaklaşmasına sebep olabilmektedir [14, 15]. Gözenekli yapıların enkapsülasyonunda kullanılan sıvılar, malzeme yapısındaki gözenekleri kapatabilir. Öte yandan gaz fazı ince film üretim yöntemlerinden olan kimyasal buhar biriktirme (CVD) yönteminde herhangi bir çözelti kullanılmaması birçok avantajı bünyesinde bulundurmasını sağlamaktadır. Örneğin, çözelti bazlı yöntemlerle kaplanması mümkün olmayan ıslanmaya karşı hassas yüzeylere zarar vermeden kaplamalar yapmak mümkün olabilmektedir. Geometrik olarak girintili çıkıntılı yüzeylerin, yüzey yapılarını bozmadan açıklorur kaplamalara olanak vermektedir [16, 17]. Ayrıca, kaplamalar esnasında herhangi bir çözelti kullanılmaması, çözelti bazlı kaplama yöntemlerinde olduğu gibi ortamdaki çözeltinin giderimi için bir çaba ve maliyet gerektirmemektedir. Genellikle CVD yöntemi ile ince film üretiminde, başlatıcılı kimyasal buhar biriktirme (iCVD) ve plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) yöntemleri tercih edilmektedir. Her ne kadar iCVD yöntemi ile elde edilen kaplamalardaki fonksiyonel grupların korunumu daya yüksek olsa da özellikle homopolimer olarak üretilen filmlerin çözeltilere dayanımı ve kaplanan yüzeye tutunumları beklentinin altında kalabilmektedir. PECVD yöntemiyle yapılan kaplamalarda ise, yoğun enerjik ortam filmlerin çapraz bağlanmasına sebep olarak dayanımı yüksek filmlerin eldesini mümkün kılmaktadır [18]. Yoğun plazma ortamı aynı zamanda substrat yüzeylerinde nano ve mikro boyutta pürüzlülük oluşturabilmektedir [19]. Bu durum ince filmlerin, yüzeylere tutunumunu artırabilmektedir. Ayrıca, büyük ölçekli kaplamalar göz önüne alındığında iCVD kaplamaları sadece filament tellerin altında yer alan kısıtlı alanda gerçekleşebilirken, PECVD kaplamaları reaktör içerisindeki tüm alanda gerçekleşebilmesi mümkündür. Dolayısıyla, iCVD yöntemi ile kıyaslandığında, PECVD sistemi ile çok daha geniş yüzey alanlarının kaplanması mümkündür. Bu çalışma kapsamında sahip olduğu tüm bu avantajlarından dolayı, ince film üretiminde PECVD yöntemi tercih edilmiştir.

Bu çalışma ile, hidrojel özellikteki PHPMA (poli(hidroksipropil metakrilat)) polimeri, tek adımda gerçekleştirilen PECVD yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Farklı substrat sıcaklığı, reaktör basıncı ve plazma güçlerinde üretilen PHPMA ince filmleri, silikon tabaka ve bu çalışma kapsamında üretilen PMMA (Poli(metil metakrilat)) fiber yüzeylerine kaplanmıştır. Yapılan çalışmalarla PECVD parametrelerinin, PHPMA ince film kaplama mekanizması ve ıslanabilirlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

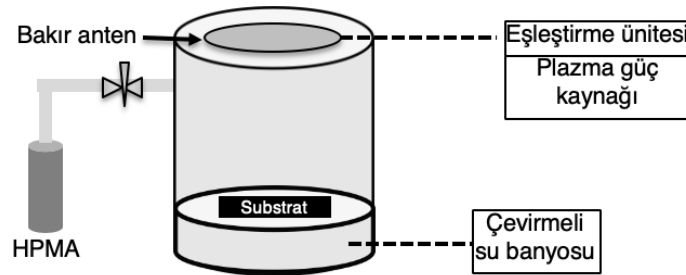
Monomer olarak kullanılan %97 saflıktaki hidroksipropil metakrilat (HPMA) Sigma-Aldrich'den satın alınıp; herhangi bir saflaştırma işlemine ya da modifikasyona tabii tutulmadan doğrudan kullanılmıştır. HPMA monomerinin, kimyasal yapısı şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Sigma-Aldrich'den satın alınan 150 000 ortalama molekül ağırlığına sahip PMMA ve %99,8 saflıktaki dimetilformamit (DMF) kullanılarak elektro eğirme fiberleri hazırlanmıştır. Yapılan kaplama işlemlerinde, substrat olarak silikon tabaka (100, p-tipi) ve bu çalışma kapsamında üretilen elektro eğirme PMMA fiberleri kullanılmıştır.



Şekil 1. HPMA monomerinin kimyasal yapısı

2.2. PECVD ince film kaplamaları

PHPMA ince filmlerinin üretiminde RF (Radyo Frekansı) tipi bir PECVD reaktörü kullanılmıştır (Şekil 2). Substratlar, altında çevirmeli su banyosuna bağlı ısı değiştiricisi bulunan, reaktör zeminine yerleştirilmiştir. Su banyosunun sıcaklığı değiştirilerek, substrat sıcaklığı değiştirilmiştir. Substrat sıcaklığı olarak verilen değerler, ayarlanan su banyosunun değerleridir. HPMA monomerinin içerisine konduğu çelik kap ve monomer kabını reaktöre bağlayan hat üzeri ısıtıcı bantlarla sarılmıştır. Isıtıcı bantlar, PID tipi sıcaklık kontrol edici bir sistem kullanılarak ısıtılmıştır. Monomer, 65°C'ye ısıtılıp; bu değerde sabit tutulmuştur. Monomer buharının, reaktöre ilerlediği hat duvarlarına çarpıp yoğunlaşmaması için ise hat daha yüksek bir sıcaklığa (75°C) ısıtılıp; bu sıcaklıkta deney boyunca sabit tutulmuştur. Monomer ile reaktör arasındaki hat üzerinde bulunan iğne vana ile monomerin akış hızı ayarlanmıştır. Yapılan tüm deneylerde monomer 0,54 sccm akış hızı ile vakum altındaki PECVD reaktörüne beslenmiştir. Polimerleşme için gerekli olan aktivasyon enerjisi bir adet 13,56 MHz RF plazma kaynağı aracılığı ile sağlanmıştır. Reaktörün kuvars kapağın hemen üzerine konumlandırılmış bakır anten aracılığı ile reaktör içerisinde plazma oluşturulmuştur. Plazma güç kaynağı ve bakır anten arasında yer alan plazma eşleştiricisi ile plazma güç kaynağında ayarlanan plazma gücünün düzgün bir şekilde antenlere iletilmesini sağlamıştır. Deneyler esnasında reaktör içerisindeki basınç, kapasitans tipi bir manometre aracılığı ile okunmuştur; çalışılmak istenen basınç değerleri, PID kontrollü bir basınç kontrol sistemi ve ona bağlı olan kelebek vana aracılığı ile ayarlanmıştır.



Şekil 2. PECVD sistemi şematik çizim

Deneyel parametre olarak, reaktör basıncı, substrat sıcaklığı ve plazma gücü çalışılmıştır. Kaplama hızları, kaplanan filmlerin temas açıları, kimyasal ve morfolojik yapıları ise bağımlı parametreler olarak çalışılmıştır. Çalışılan PECVD deneysel parametreleri, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışılan PECVD deneysel parametreleri

Parametreler	Değerler
Monomer akış hızı (sccm)	0,54
Substrat sıcaklığı (°C)	20, 30, 40, 50
Plazma gücü (W)	1, 20, 40, 60
Reaktör basıncı (mtorr)	75, 150, 250, 350, 450

2.3. Elektroğirme PMMA fiberlerinin üretimi

Elektroğirme PMMA fiberlerini üretmek için gerekli olan çözelti, 2 g PMMA, 30 mL DMF içerisinde ısıtmalı manyetik karıştırıcı üzerinde 80°C sıcaklıkta, 200 rpm karıştırma hızında 2 saat boyunca karıştırılarak elde edilmiştir. Hazırlanan çözelti oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra, şırınga içerisine konulmuştur. Elektroğirme sistemi olarak, NE-100 Inovenso cihazı kullanılmıştır. Şırınga ucu ile toplayıcı üzerinde bulunan alüminyum folyo arasındaki mesafe 15 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Polimer çözeltisinin akış hızı saatte 0,3 mL olarak ayarlanmıştır. Şırınga ucuna 20 kV güç uygulanmıştır.

2.4. Karakterizasyon işlemleri

Elde edilen filmlerin kimyasal yapıları, FTIR analizleri ile aydınlatılmıştır. Bruker Vertex 70 FTIR spektrum cihazı ile yapılan çalışmalar 4 cm^{-1} çözünürlükte, atenü tam yansıtıcı (ATR) aparatı ile gerçekleştirilmiştir. ATR aparatı sayesinde numunelerin FTIR analizleri, herhangi bir ön işleme gerek duyulmadan, doğrudan yapılabilmektedir.

Elektroğirme PMMA fiberleri kaplandıktan sonra, SEM analizi ile kaplanmadan önceki ve sonraki fiber yüzeylerinin morfolojileri incelenmiştir. SEM analizleri, Zeiss marka LS-10 model cihazı kullanılarak, ikincil elektron modunda, 20 kV güçte gerçekleştirilmiştir. Numuneler, üzerinde karbon disk bulunan alüminyum iskelete sahip numune tutucu üzerine yerleştirilip, yaklaşık 5 nm kalınlığında bir altın tabaka ile püskürtme cihazı (Model 108, Cressington Scientific Instruments Ltd) kullanılarak kaplanmıştır.

Temas açıları, OCA 50 Model (Data Physics Instruments GmbH) genyometrik tipi temas açısı cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Bu amaçla incelenecek yüzeylere 2 μL hacminde su damlatılmıştır.

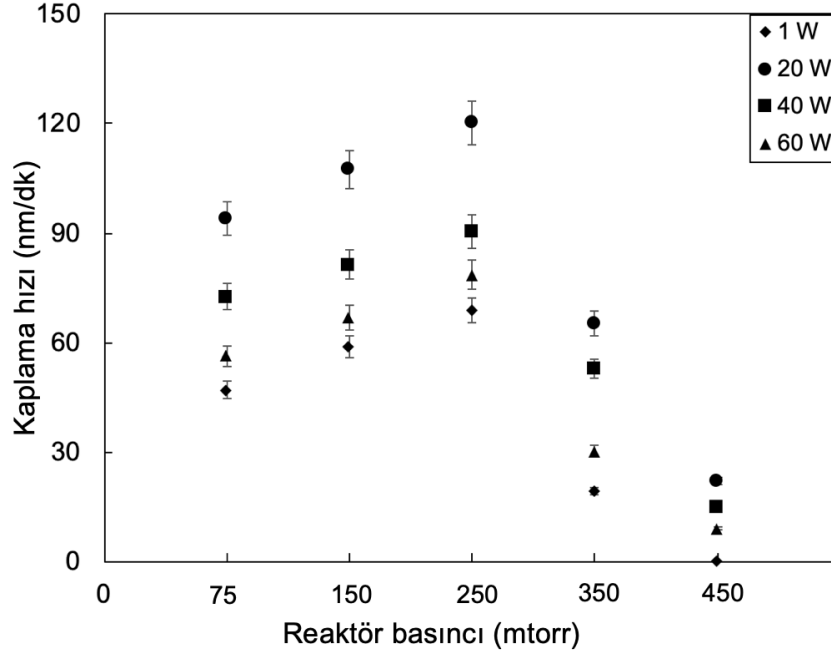
PECVD sisteminin reaktör kapağında yer alan kuvars cam üzerinde sisteme entegre halde bulunan lazer interferometre sistemi vasıtasıyla, kaplamalar esnasında anlık kalınlık kontrolü yapılmıştır. Deneyler tamamlandıktan sonra, silikon tabaka üzerindeki film kalınlıkları, Avantes marka rekletometre cihazı ile tekrar ölçülüp; kontrol edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. PHPMA filmlerinin kaplama kinetiği

Çalışmada PHPMA filmlerinin kaplama hızları, silikon tabaka üzerindeki film kalınlıklarından yola çıkılarak hesaplanmıştır. İnterferometre ile ölçülen kaplama kalınlıkları, reflektometre cihazı ile de ölçülmüştür. Her iki kaplama değeri sonuçları da benzer çıkmıştır. Reaktör basınçlarının, kaplama hızlarına etkisi, sabit sıcaklıkta farklı plazma güçlerinde araştırılmıştır. Bu kapsamda, substrat sıcaklığı 20°C'de sabit tutulup; 1, 20, 40 ve 60 W plazma güçlerinde; 75, 150, 250, 350 ve 450 mtorr basınçlarında kaplamalar yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde, mevcut PECVD parametrelerinde 75 mtorr'dan daha düşük basınçlarda kararlı HPMa plazması elde edilememiştir. Bundan dolayı en düşük reaktör basıncı olarak 75 mtorr'da çalışılmıştır. Yine mevcut deneysel şartlarda, 450 mtorr reaktör basıncının üzerindeki değerlerde, reaktör içerisinde monomerin yer yer yoğunlaştığı gözlemlendiğinden 450 mtorr'dan daha yüksek basınç değerlerinde kaplamalar yapılmamıştır.

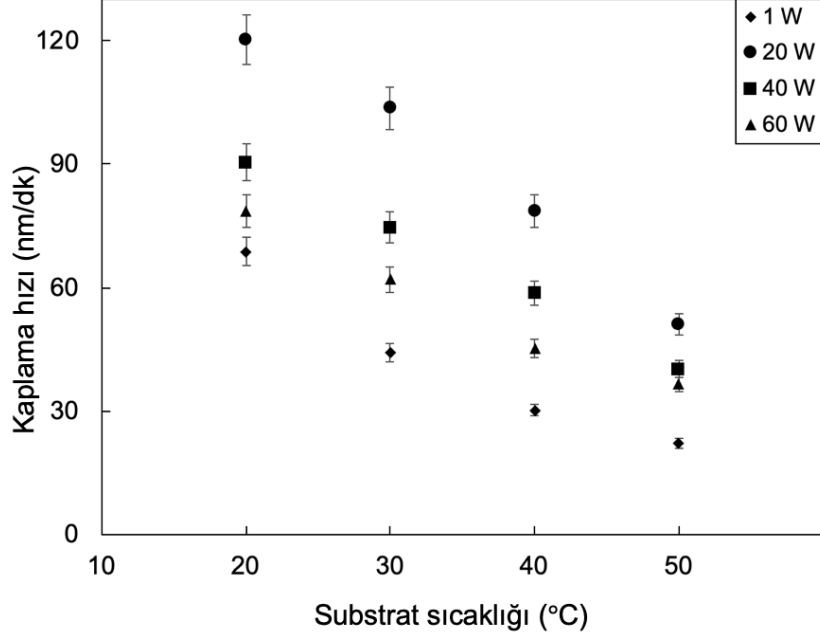
Reaktör basıncının ve plazma gücünün, PHPMA ince film kaplama hızları üzerine etkisi Şekil 3'teki grafikte gösterilmiştir. Tüm reaktör basınçlarında, 1 W plazma gücü uygulandığında en düşük kaplama hızları elde edilmiştir. Plazma gücü 20 W'a ulaştığında ise en yüksek kaplama hızları elde edilmiştir. Plazma gücü, 40 W'a çıkarıldığında ise kaplama hızları, 20 W plazma gücünde elde edilen kaplama hızlarına göre düşmüştür. Aynı koşullar altında, plazma gücü 60 W'a çıkarıldığında ise kaplama hızlarındaki düşüş artmıştır. Çalışmada gözlemlenen plazma güçleri ile kaplama hızları arasındaki ilişki, beklenen bir durumdur. Çünkü, plazma polimerizasyonlarında, genellikle belli bir plazma gücüne kadar, uygulanan plazma gücü arttıkça, polimerlerin kaplama hızlarının da artması beklenmektedir. Ancak, belli bir plazma gücünden sonra, yoğun plazma ortamının aşındırıcı etkisi; kaplama etkisinin önüne geçebilmektedir. Bu noktadan sonra, plazma gücünün artması ile kaplama hızlarında bir düşüş ile karşılaşılabilir [20].



Şekil 3. Farklı reaktör basınçlarındaki plazma güçlerinin üretilen filmlerin kaplama hızlarına etkisi

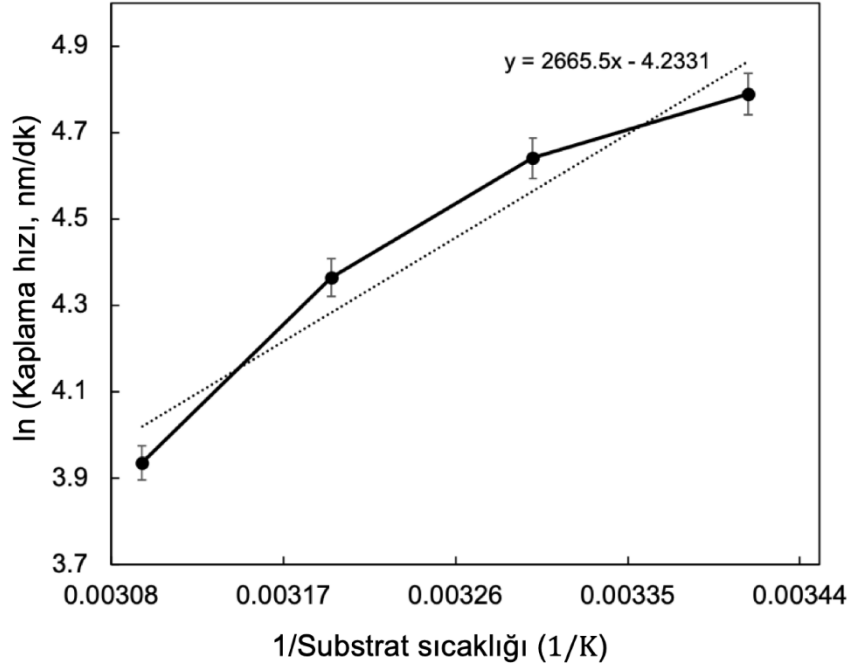
Şekil 3'te görüldüğü üzere, tüm plazma güçlerinde, reaktör basıncı 75 mtorr'dan 250 mtorr'a yükseltildiğinde kaplama hızlarının arttığı gözlemlenmiştir. Artan basınç ile reaktör içerisinde bulunan gaz moleküllerinin konsantrasyonu artmaktadır. Bunun sonucunda, gaz moleküllerinin alıkonma süresinin artması ve gaz molekülleri arasındaki ortalama serbest yolun azalması beklenebilmektedir. Dolayısıyla, reaktör basıncının 75 mtorr'dan 250 mtorr'a yükselmesi ile kaplama hızında gözlemlenen artış, gaz moleküllerinin daha çok etkileşim halinde bulunmasından dolayı olabilir [21]. Tüm plazma güçlerinde, en yüksek kaplama hızları 250 mtorr basınç değerinde elde edilmiştir. 250 mtorr'un üzerindeki basınç değerlerinde ise, reaktör basıncı arttıkça kaplama hızlarında bir düşüş gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin, yüksek basınç değerlerinde, polimerleşme reaksiyonunu başlatacak daha yüksek enerjili gaz moleküllerinin oranının azalmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir [22, 23].

Substrat sıcaklıklarının, kaplama hızlarına etkisi, sabit basınçta farklı plazma güçlerinde araştırılmıştır. Sabit basınç değeri olarak, en yüksek kaplama hızlarının elde edildiği 250 mtorr reaktör basıncı alınmıştır. Bu kapsamda, 1, 20, 40 ve 60 W plazma güçlerinde, 20, 30, 40 ve 50°C substrat sıcaklıklarında kaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmektedir. Tıpkı farklı basınçta yapılan kaplamalarda gözlemlendiği gibi, en yüksek kaplama hızı tüm substrat sıcaklıklarında 20 W plazma gücünde elde edilirken, en düşük kaplama hızları yine 1 W plazma gücünde elde edilmiştir. Tüm plazma güçlerinde en yüksek kaplama hızları 20°C substrat sıcaklığında elde edilmiştir. Sıcaklık arttıkça, kaplama hızlarının tüm plazma güçlerinde kademeli bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Kimyasal reaksiyonlarda, sıcaklık arttıkça reaksiyon hızlarının artması beklenmektedir. Ancak, burada elde edilen sonuçlarda tam tersi bir trend gözlemlenmiştir. CVD polimerizasyon çalışmalarında kinetik temelli yüzey reaksiyonları ve adsorpsiyon temelli kaplamalar çoğunlukla aynı anda gerçekleşmektedir [24]. Substrat sıcaklıkları ve kaplama hızları arasındaki ilişkiye bakılarak, PECVD ile bu çalışmadaki mevcut koşullarda gerçekleştirilen PHPMA kaplamalarında ağırlıklı olarak adsorpsiyon modelinin baskın olduğu çıkarımı yapılabilir.



Şekil 4. Farklı reaktör basınçlarındaki plazma güçlerinin üretilen filmlerin kaplama hızlarına etkisi

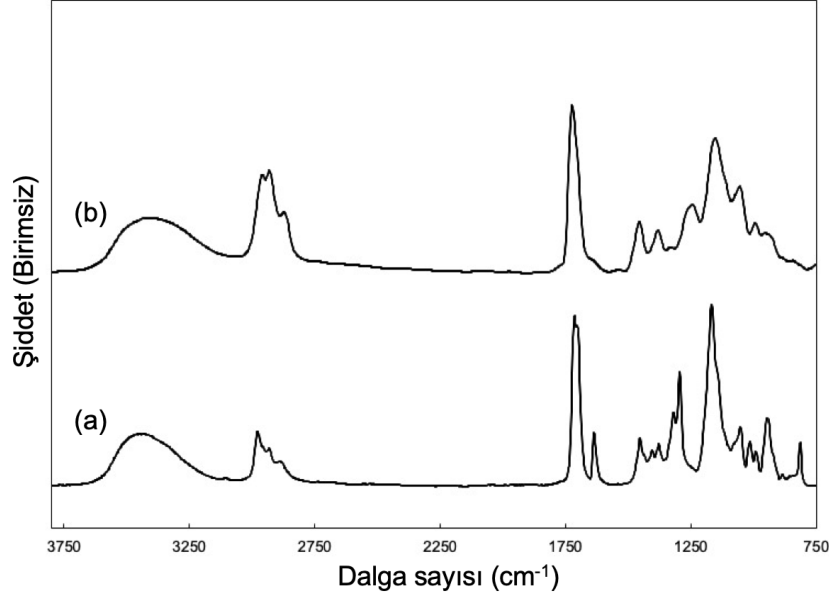
PHPMA ince film kaplama kinetiği ile ilgili daha detaylı bulgulara ulaşmak için, PHPMA kaplamasının aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Eğer aktivasyon enerjisi sıfırdan büyükse, polimerizasyonun kinetik modele uygun; eğer aktivasyon enerjisi negatif bir değer ise adsorpsiyon modele uygun bir kaplama gerçekleştiği söylenebilir. Bu çalışmada, aktivasyon enerjisini hesaplayabilmek için 250 mtorr reaktör basıncında, 20 W plazma gücündeki farklı substrat sıcaklıklarında elde edilen hız verileri kullanılmıştır. Söz konusu veriler kullanılarak hazırlanan yarı logaritmik formdaki grafik Şekil 5'te verilmiştir. Grafiğin eğiminden yararlanılarak, aktivasyon enerjisi -22,16 kJ/mol olarak bulunmuştur. Elde edilen sıfırın altındaki aktivasyon enerjisi değeri de kaplamanın adsorpsiyon mekanizması üzerinden yürüdüğünü göstermektedir.



Şekil 5. 250 mtorr basınçta 20 W plazma gücünde, farklı substrat sıcaklıklarında elde edilen hız verileri

3.2. PHPMA filmlerinin kimyasal yapısı ve ıslanabilirlik özellikleri

PHPMA ince filminin kimyasal yapısı FTIR analizi ile açığa çıkarılmıştır. Bu amaçla, en yüksek kaplama hızının elde edildiği 250 mtorr reaktör basıncında, 20 W plazma gücünde ve 20°C substrat sıcaklığında üretilen PHPMA ince filminin FTIR analizi yapılmıştır. Söz konusu FTIR spektrumu, monomerden alınan FTIR spektrumu ile karşılaştırılmalı olarak Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. FTIR spektrumları (a) HEMA monomeri, (b) PHPMA ince filmi

Şekil 6’ya bakıldığında her iki spektrumda da bulunan pikler: O-H gerilmesi (3750-3050 cm^{-1}), akrilat C-H gerilmesi (3050-2800 cm^{-1}), C=O gerilmesi (1720 cm^{-1}), C-C gerilmesi (1164 cm^{-1}) ve C-H bükülmesi (1500-1350 cm^{-1}) [17, 25]. Öte yandan, 1633 cm^{-1} ’de yer alan C=C gerilmesi, monomer spektrumunda gözlemlenirken, PHPMA’ya ait spektrumda gözlemlenmemiştir. Söz konusu pikin monomerde bulunurken, elde edilen polimer filmde bulunmaması, polimerleşmenin doymamış C=C bağı üzerinden gerçekleştiğini işaret etmektedir. FTIR sonuçlarına göre monomerin yapısındaki karbonil ve hidroksil grupların iyi korunduğu görülmektedir.

250 mtorr reaktör basıncında farklı plazma güçlerinde ve farklı substrat sıcaklıklarında üretilen PHPMA ince filmleri ile kaplanmış silikon tabaka yüzeylerinden elde edilen temas açısı sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

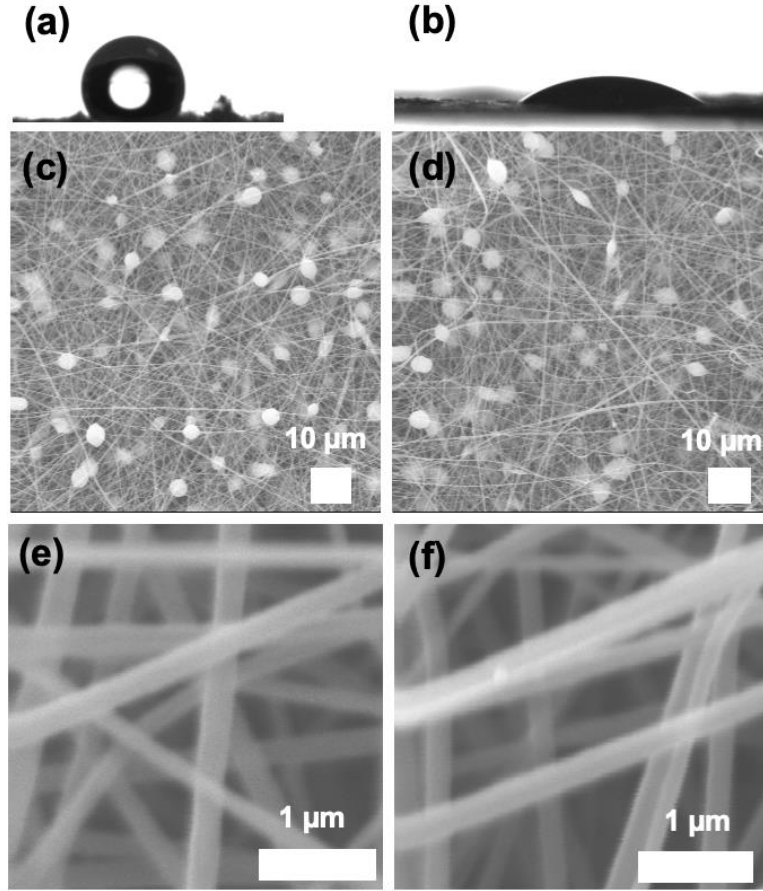
Tablo 2. Farklı substrat sıcaklıklarında ve farklı plazma güçlerinde üretilen PHPMA ince filmleri ile kaplanmış silikon tabaka üzerinden ölçülen temas açısı değerleri

Substrat sıcaklığı	Temas açısı (°)			
	1 W	20 W	40 W	60 W
20°C	36,2 ± 1,0	37,5 ± 1,0	40,0 ± 1,0	43,2 ± 1,0
30°C	35,5 ± 1,0	35,9 ± 1,0	41,2 ± 1,0	41,8 ± 1,0
40°C	36,5 ± 1,0	35,5 ± 1,0	39,7 ± 1,0	44,0 ± 1,0
50°C	35,8 ± 1,0	37,1 ± 1,0	42,2 ± 1,0	42,3 ± 1,0

Boş silikon tabaka yüzeyinden temas açısı, 52,5° olarak ölçülmüştür. Tablo 2’deki temas açısı sonuçlarına bakıldığında, tüm şartlarda elde edilen PHPMA ince film kaplamalarının beklenildiği üzere hidrofilik özellikte olduğu gözlemlenmiştir. Aynı plazma güçlerinde, farklı substrat sıcaklıklarında üretilen PHPMA filmlerinin yüzeylerinden ölçülen temas açısı değerleri arasında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Aynı substrat sıcaklıklarında, farklı plazma güçlerinde elde edilen PHPMA ince film kaplama yüzeylerinden ölçülen temas açısı sonuçları incelendiğinde; daha yüksek plazma güçlerinde kaplanan filmlerin hidrofilik özelliklerinin, daha düşük plazma güçlerinde kaplanan filmlerden göreceli olarak daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedenin, yüksek plazma

güçlerinde reaktör ortamındaki yoğun elektron bombardımanın, filmlerin fonksiyonel gruplarını olumsuz yönde etkilemiş olmasına bağlanabilir.

Çözelti bazlı kaplama yöntemleri ile kaplanması oldukça zor olan narin yapıdaki PMMA fiber matları, PHPMA ince filmiyle kaplanmıştır. Söz konusu kaplama, en yüksek kaplama hızının elde edildiği 250 mtorr reaktör basıncında, 20°C substrat sıcaklığında 20 W plazma gücünde gerçekleştirilmiştir. Elektroçirime PMMA fiber matlarının kaplama öncesi ve sonrası SEM görüntüleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Kaplama sonrası fiberlerin yapısında bir kusur olmadığı net bir şekilde görülebilmektedir. Yine kaplama sonrası, fiberlerin yüzeylerinin açığorur bir şekilde kaplandığı ve fiber matın gözenekli yapısının korunduğu gözlemlenmiştir. Kaplanmamış PMMA fiber matlarının temas açısı, 132,7° olarak ölçülürken (Şekil 7.a), PHPMA filmi ile kaplandıktan sonra 19,2° olarak ölçülmüştür (Şekil 7.b).



Şekil 7. (a) Kaplanmamış PMMA fiberlerin temas açısı görüntüsü, (b) PHPMA ince film kaplı PMMA fiberlerin temas açısı görüntüsü, (c) Kaplanmamış PMMA fiberlerin 1 000 büyütme SEM görüntüsü, (d) PHPMA ince film kaplı PMMA fiberlerin 1 000 büyütme SEM görüntüsü, (e) Kaplanmamış PMMA fiberlerin 30 000 büyütme SEM görüntüsü, (f) PHPMA ince film kaplı PMMA fiberlerin 30 000 büyütme SEM görüntüsü

Dikkat çekici bir diğer bulgu ise, PHPMA ince film kaplı PMMA fiber mat yüzeyinden, aynı koşullarda PHPMA film kaplı silikon tabakaya kıyasla daha düşük temas açısı değerinin ölçülmesi olmuştur. Yüzeylerin ıslanabilirliği üzerinde sadece yüzeyin kimyasal yapısının değil aynı zamanda yüzey morfolojisinin de etkili olduğu bilinmektedir [26]. Söz konusu temas açıları arasındaki fark, Wenzel denklemi ile açıklanabilir [27]. Denklem 1'de verilen Wenzel denklemi, yüzeylerin temas açısı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi belirtmektedir.

$$\cos \theta = R_f \cos \theta_0 \quad (1)$$

Wenzel denkleminde yer alan θ değeri, pürüzlü bir yüzeyin temas açısını; θ_0 , düz bir yüzeyin temas açısını ve R_f , yüzeyin pürüzlülük derecesini temsil etmektedir. Yüzey pürüzlülük derecesi, gerçek

yüzeyin alanının; geometrik yüzey alanına bölünmesiyle bulunmaktadır. Wenzel denklemine göre, düz bir yüzeyin pürüzlülük derecesi 1 olarak kabul edilmektedir. Pürüzlü yüzeylerde, bu değer 1'den büyüktür ve pürüzlülük arttıkça da söz konusu değer büyümektedir. Bilindiği üzere, hidrofilik yüzeylerin temas açısı değeri (θ_0) 0 ile 90° arasındadır. Wenzel eşitliği göz önüne alındığında hidrofilik yüzeylerde, yüzey pürüzlülük değeri arttıkça, temas açısı değerinin azalması beklenebilir. PMMA fiberler mat yüzeyinin, silikon tabaka yüzeyinden çok daha pürüzlü olduğu aşıkardır. Bundan dolayı, PMMA fiber matı gibi pürüzlü yüzey üzerine aynı şartlarda kaplanan PHPMA ince filmlerinin, silikon tabaka yüzeyine kaplanan filmlerden daha hidrofilik özellik göstermesi beklenebilir. Bu çalışmada yapılan temas açısı ölçüm sonuçlarının Wenzel denklemi ile uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, hidrojel özellikteki PHPMA ince filmleri, çevre dostu bir yöntem olan PECVD yöntemiyle tek adımda üretilmiştir. Islak yöntemlerle kaplanması oldukça güç olan PMMA fiberlerinin yüzeylerine herhangi bir zarar vermeden başarıyla kaplanabilip; hidrofilik hale dönüştürülebilmiştir. PECVD ile kaplanan PHPMA ince filmlerinin kaplama kinetiği araştırılmıştır. Substrat sıcaklığının, reaktör basıncının ve plazma gücünün kaplama hızı üzerinde önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Substrat sıcaklığı ve kaplama hızları arasındaki veriler incelendiğinde PHPMA kaplamalarında baskın olan mekanizmanın adsorpsiyon temelli olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek kaplama hızı, 20°C'de, 250 mtorr reaktör basıncında ve 20 W plazma gücünde; 120,2 nm/dk olarak elde edilmiştir. 250 mtorr ve 20 W plazma gücünde farklı substrat sıcaklıklarında yapılan kaplamalar neticesinde, kaplamanın aktivasyon enerjisi -22,16 kJ/mol olarak bulunmuştur.

Kaynaklar

- [1] Caliari S.R., Burdick J.A. 2016. A practical guide to hydrogels for cell culture. *Nature methods*, 13 (5): 405-414.
- [2] Ullah F., Othman M.B.H., Javed F., Ahmad Z., Akil H.M. 2015. Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Materials Science and Engineering C*, 57: 414-433.
- [3] Ghobril C., Grinstaff M. 2015. The chemistry and engineering of polymeric hydrogel adhesives for wound closure: a tutorial. *Chemical Society Reviews*, 44 (7): 1820-1835.
- [4] Caló E., Khutoryanskiy V.V. 2015. Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products. *European Polymer Journal*, 65: 252-267.
- [5] Ahmed E.M. 2015. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of advanced research*, 6 (2): 105-121.
- [6] Sevgili E., Karaman M. 2018. Başlatıcı kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile poli(hidroksipropil metakrilat) ince flmlerin sentezi. 13. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül, Van.
- [7] Delavoipière J., Heurtefeu B., Teisseire J., Chateauminois A., Tran Y., Fermigier M., Verneuil E. 2018. Swelling dynamics of surface-attached hydrogel thin films in vapor flows. *Langmuir*, 34 (50): 15238-15244.
- [8] Green J.J., Elisseff J.H. 2016. Mimicking biological functionality with polymers for biomedical applications. *Nature*, 540 (7633): 386-394.
- [9] Wei M., Gao Y., Li X., Serpe M.J. 2017. Stimuli-responsive polymers and their applications. *Polymer Chemistry*, 8 (1): 127-143.
- [10] Tokarev I., Minko S. 2009. Stimuli-responsive hydrogel thin films. *Soft Matter*, 5 (3): 511-524.
- [11] Mari-Buyé, N., O'Shaughnessy S., Colominas C., Semino C.E., Gleason K.K., Borrós S. 2009. Functionalized, swellable hydrogel layers as a platform for cell studies. *Advanced functional materials*, 19 (8): 1276-1286.
- [12] Schmaljohann D. 2006. Thermo-and pH-responsive polymers in drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*, 58 (15): 1655-1670.
- [13] Karaman M., Gürsoy M., Kus M., Özel F., Yenel E., Sahin Ö.G., Kivrak H.D. 2017. Chemical and Physical Modification of Surfaces in Surface Treatments for Biological, Chemical, and Physical Applications. Edited by Gürsoy M., Karaman M., Wiley, 23-66.

- [14] Hilding J., Grulke E.A., George Zhang Z., Lockwood F. 2003. Dispersion of Carbon Nanotubes in Liquids. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 24 (1): 1-41.
- [15] Chen C., Chen X., Xu L., Yang Z., Li W. 2005. Modification of multi-walled carbon nanotubes with fatty acid and their tribological properties as lubricant additive. *Carbon*, 43 (8): 1660-1666.
- [16] Virendra K., Jerome P., Hubert R., Ilaria M., Francois R., Farzaneh A.K. 2010. Fluorocarbon Coatings Via Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition of 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyl Acrylate - 2, Morphology, Wettability and Antifouling Characterization. *Plasma Processes and Polymers*, 7 (11): 926-938.
- [17] Gürsoy M., Karaman M. 2018. Improvement of wetting properties of expanded perlite particles by an organic conformal coating. *Progress in Organic Coatings*, 120: 190-197.
- [18] Peri S.R., Habersberger B., Akgun B., Jiang H., Enlow J., Bunning T.J., Majkrzak C.F., Foster M.D. 2010. Variations in cross-link density with deposition pressure in ultrathin plasma polymerized benzene and octafluorocyclobutane films. *Polymer*, 51 (19): 4390-4397.
- [19] Tourrette A., De Geyter N., Jovic D., Morent R., Warmoeskerken M.M., Leys C. 2009. Incorporation of poly (N-isopropylacrylamide)/chitosan microgel onto plasma functionalized cotton fibre surface. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 352 (1-3): 126-135.
- [20] Gürsoy M., Karaman M. 2016. Hydrophobic Coating of Expanded Perlite Particles by Plasma Polymerization. *Chemical Engineering Journal*, 284: 343-350.
- [21] Pathak S.C., Hess D.W. 2008. Dissolution and swelling behaviour of plasma-polymerized polyethylene glycol-like hydrogel films for use as drug delivery reservoirs. *ECS Transactions*, 6 (20): 1-12.
- [22] Seah M. 1981. Pure element sputtering yields using 500–1000 eV argon ions. *Thin Solid Films*, 81 (3): 279-287.
- [23] Demircioğlu Z., Özkol E., Nasser H., Turan R. 2015. Low temperature aluminum doped zinc oxide thin film deposition on ultra-thin flexible glass and PET substrates by RF magnetron sputtering. *physica status solidi (c)*, 12 (9-11): 1215-1219.
- [24] d'Agostino R., Cramarossa F., Fracassi F., Illuzzi F. 1990. Plasma polymerization of fluorocarbons in Plasma Deposition, Treatment, and Etching of Polymers. Edited by d'Agostino R. Academic Press Inc. 95-162.
- [25] Gürsoy M., Ucar T., Tosun Z., Karaman M. 2016. Initiation of 2-Hydroxyethyl Methacrylate Polymerization by Tert-Butyl Peroxide in a Planar PECVD System. *Plasma Processes and Polymers*, 13 (4): 438-446.
- [26] Cassie A., Baxter S. 1944. Wettability of porous surfaces. *Transactions of the Faraday society*, 40: 546-551.
- [27] Wenzel R.N. 1949. Surface Roughness and Contact Angle. *The Journal of Physical and Colloid Chemistry*, 53 (9):1466-1467.

Araştırma Makalesi / Research Article

Yara Örtü Malzemesi Olarak Elektroğrılmış PCL/PHBV Membranların Hazırlanması ve Karakterizasyonu

İsmail Alper İŞOĞLU*

*Abdullah Gül Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü, Kayseri
(ORCID: 0000-0001-6428-4207)*

Öz

Bu çalışmada, yara örtü malzemesi olarak polikaprolakton (PCL), poli(3-hidroksibütirik asit-ko-3-hidroksivalerik asit) (PHBV) ve ağırlıkça farklı oranlarda (100:0, 50:50, 75:25, 0:100) PCL/PHBV karışımları, farklı çözücüler (kloroform (CHCl₃), 1,1,1,3,3,3-Hexfluoro-2-propanol (HFIP) ve bunların karışımları) kullanılarak elektroğirme tekniği ile fibroz yapıda membranlar hazırlanmıştır. Tüm elektroğrılmış membranlar Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapı, morfoloji ve ısıl özellikleri açısından karakterize edilmiştir. Ayrıca, absorpsiyon testi ile sıvı tutma kapasiteleri analiz edilmiştir. Karakterizasyon basamağında sonra, seçilen membranların üzerine insan fibroblast hücreleri ekilmiş, *in vitro* hücre canlılık ve toksisite, MTT testi ile 24, 48 ve 72. saat için analiz edilmiştir. Membranların üzerine ekilen hücrelerin çoğalması 36, 72 ve 120. saat olmak üzere 3 farklı süre için incelenmiş, sonuçlar SEM ile gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar PCL/PHBV (75:25) karışım ile HFIP çözeltilisinde elektroğrilen membranın yara örtü malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: PCL, PHBV, Elektroğirme, Yara Örtü Malzemesi.

The Preparation and Characterization of Electrospun PCL/PHBV Membranes as Wound Dressing Material

Abstract

In this study, fibrous membranes of Polycaprolactone (PCL), Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) and PCL/PHBV blends in different weight ratios (100:0, 50:50, 75:25, 0:100) were prepared using different solvents (chloroform (CHCl₃), 1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-propanol (HFIP) and their blends) via electrospinning technique as wound dressing materials. Structural, morphological, and thermal characterizations of membranes were performed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Differential Scanning Calorimetry (DSC), respectively. Moreover, the water-uptake capacity of the membranes were analyzed using absorption test. Following that, human fibroblast cells were seeded on the selected membranes and *in vitro* cell viability and toxicity were monitored by MTT assay for 24, 48 and 72th hours. The seeded cell proliferation on membranes was conducted for 36, 72 and 120th hours and the results were examined by SEM. The results of this study relieved that electrospun PCL/PHBV (75:25) blend membrane solved in HFIP can be used as wound dressing materials.

Keywords: PCL, PHBV, Electrospinning, Wound Dressing Material.

1. Giriş

Deri insan vücudunun en geniş organıdır ve vücudumuzu çepeçevre sararak diğer organlarımızı mekanik ve kimyasal dış etmenlerden ve özellikle mikrobiyal patojenlere karşı koruyan bir bariyer olarak görev yapmaktadır. Bir diğer önemli görevi ise vücut sıcaklığını ve hidrasyon seviyesini düzenlemektir [1-3]. Deri dokusu, doğrudan dış etmenlerle temas halinde olduğundan yaralanma ve yanma sonucu kolayca

*Sorumlu yazar: alper.isoglu@agu.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

tahrip olmaktadır [4]. Özellikle geniş bir bölgede meydana gelen deri dokusu kayıpları, dünyada milyonlarca kişiyi etkileyen en önemli klinik problemler arasında yer almaktadır [5]. Hasarlı deri dokusunun iyileşmesi, dermal, epidermal ve bağışıklık sistemi hücreleri gibi çok farklı tipte hücrenin, ekstra sellülar matriksin, plazma türevli proteinler ve büyüme faktörlerinin birlikte etkili olduğu oldukça karmaşık ve interaktif bir süreçtir [6]. Ototraflar, allograflar ve zenograflar günümüzde kullanılan geleneksel yara örtü malzemeleridir. Ancak, bu malzemelerin donör bölge kısıtı, antijen özelliklerinin düşük olması, kullanım ömrü kısıtlılığı, düşük güç ve dayanım, ve enzimatik direnç gibi birçok dezavantaja sahip olduğu bilinmektedir [7-8]. Geleneksel yara örtü malzemelerinin yanında, doğal ve sentetik polimerlerden üretilen hücre büyümesini destekleyen, yüksek biyouyumluluğa sahip, güçlü ve dayanımı yüksek, ve kontrollü bozunma gibi üstün özelliklere sahip deri dokusu ikameleri de kullanılmaya başlanmıştır [9].

Son yıllarda, yara örtüsü hazırlanması amacıyla, kendiliğinden bir araya gelme, faz ayrımı, ıslak eğirme ve elektroegirme gibi birçok farklı yöntem kullanılmakta, çok çeşitli, yeni ve modern yara örtü malzemeleri elde edilmektedir [10-11]. Elektroegirme çok basit ve ucuz bir yöntem olmasına rağmen nanometre boyuttan mikrometre boyutuna kadar farklı çaplarda fiber yapıya sahip membran elde edilmesinde kullanılan çok etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [12]. Elektroegirme sistemi temel olarak yüksek güç kaynağı, polimer çözeltisinin yerleştirildiği kapiler tüp (iğne) ve topraklanmış toplayıcı olmak üzere üç temel üniteden oluşmaktadır. Bu yöntemde, güç kaynağı kullanılarak uygulanan yüksek gerilim sayesinde polimer çözeltisi iğnenin ucundan buhar jeti şeklinde zıt yüklü olan metal toplayıcıya doğru püskürtülmekte, yol boyunca çözücünün buharlaşması ile polimerin fiber yapıda toplayıcıda birikmesi amaçlanmaktadır [13]. Elektroegirme yöntemi, esnek ve düşük maliyetli bir yöntem olması, kullanım kolaylığı sağlaması ve proses parametrelerinin ayarlanması ile istenilen boyutta (nano ya da mikro) fiber çaplarına sahip membran üretimine olanak sağlaması gibi önemli özelliklerinden dolayı son 20 yıl içerisinde global anlamda oldukça ilgi çekici bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [14].

Geleneksel yara örtü malzemeleri ile karşılaştırıldığında, elektroegirme yöntemi ile elde edilen malzemelerin ayarlanabilir gözenek yapısı, hücre dışı matriksi oldukça yüksek oranda biyotaklit etmesi, sıvı ve gaz geçirgenliği sağlaması, yara bölgesinin mikroçevresini nemli tutması ve yara izi oluşumunu azaltması gibi sıra dışı özelliklere sahip oldukları görülmektedir [15-16]. Bu özelliklerin yanı sıra, yüksek yüzey alanına sahip olmalarından dolayı hücre yapışması ve çoğalmasına olanak sağlamakta, yara bölgesine sıvı toplanmasının önüne geçmektedir [17-18]. Yara örtüsü, yenilenebilir tıp, doku mühendisliği ve ilaç salım sistemleri gibi birçok biyomedikal uygulamada elektroegirme yöntemi ile uygun bir çözücü içerisinde çözünebilir çok çeşitli doğal ve sentetik polimerler kullanılarak hazırlanmış membranlar literatürde bilinmektedir [19].

Elektroegirme tekniği kullanılarak yara örtü malzemesi üretimi için poli(kaprolakton) (PCL), poli(α -hidroksi asitler), laktik asit, glikolik asit ve bunların kopolimerleri en sık kullanılan sentetik polimerler olarak bilinmektedir [20-22]. Yarı-kristalin yapıya sahip biyobozunur ve biyouyumlu bir polyester olan Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Kurumu (FDA) onaylı PCL, sahip olduğu mekanik ve yapısal özelliklerinden dolayı bu sentetik polimerler arasında en çok tercih edilen polimer olarak karşımıza çıkmaktadır [23]. Özellikle, PCL kullanılarak elde edilen elektroegirilmiş membranlar, birbiriyle bağlantılı gözenekli yapıya sahip elastik morfoloji sayesinde gaz değişimine olanak sağlamakta ve yara bölgesindeki eksudatı absorblamaktadır. Ayrıca, bu elastik yapı yara bölgesinde hareket rahatlığı sağlamaktadır [24]. Ancak, yukarıda ifade edilen birçok özelliğine rağmen PCL membranların yara iyileşme sürecine etki eden bazı dezavantajları vardır. Özellikle, yara bölgesine kuvvetli şekilde tutunma eğilimi göstermektedirler. Bu durumda tamir olan yeni deri dokusunun zarar görmesine ve yara iyileşme sürecinin uzamasına neden olmaktadır (24). Bunun yanı sıra diğer alifatik polyesterlerde olduğu gibi yüksek hidrofobik özelliği PCL'nin yara örtü malzemesi olarak tek başına kullanımını sınırlamaktadır [25].

Polihidroksi alkonatlar (PHA), mikroorganizmalar tarafından üretilen biyobozunur doğal termoplastik alifatik polyesterlerdir ve yüksek biyouyumluluk özellikleri sebebiyle biyomalzeme olarak kullanılmaktadırlar [26]. Yapılan bilimsel çalışmalarda PHA'lar kullanılarak üretilen malzemelerin fibroblast, osteoblast, kondrosit, sinir ve kök hücre gibi çok farklı hücrelerin çoğalmasına olanak sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca, özellikle fibroblast ve keratinosit hücreleri için polilaklatlar dahil diğer polimerlere oranla daha etkin olduğu gösterilmiştir [27-28].

Günümüzde gerçekleştirilen çalışmalarda, sentetik veya doğal polimerlerin karışım olarak kullanıldığı elektroğrılmış membranlardan elde edilen yara örtü malzemelerinin sözü geçen polimerlerin tek başına kullanılmalarına kıyasla sinerjik bir etkisi olduğu ve yara iyileşme sürecine pozitif katkı sağladığı gösterilmiştir. Örneğin literatürde yer alan bir çalışmada Tohidi ve arkadaşları elektroğrılmış amoksilin yüklü halloysit nanokil içeren PLGA/kitosan membranlar hazırlamışlar ve yara örtüsü olarak kullanımını araştırmışlardır [16]. Martins ve arkadaşları, elektroğrılmış PCL/amino-fonksiyonel tanen membranlar hazırlamışlar ve yara örtüsü olarak performansını değerlendirmişlerdir [25]. Adeli-Sardou ve arkadaşları elektroğirme yöntemi ile PCL/jelatin membranlar hazırlamışlar, bu membran içerisine kına yaprağı ekstratı olan lawsone yüklemişler ve deri doku mühendisliği için doku iskelesi olarak kullanımını araştırmışlardır [29]. Ehtrami ve arkadaşları insülin içeren kitosan nanopartikül yüklü elektroğrılmış PCL/kollajen nanofibröz matrisleri potansiyel bir yara örtü malzemesi olarak denemişlerdir [30]. Bir başka çalışmada Veleirinho ve arkadaşları, nanofibröz PHBV/kitosan membran hazırlamışlar, hasarlı deri dokusu rejenerasyonu için etkisini incelemişlerdir [27]. Yuan ve arkadaşları, elektroğrılmış nanofibröz PHBV/keratin membranlar hazırlamışlar ve yeni bir yara örtü malzemesi olarak literatüre raporlamışlardır [15].

Bu çalışmada, elektroğirme yöntemi kullanılarak PCL, PHBV ve farklı oranlarda PCL/PHBV karışımından membranlar hazırlanmış, yapısal, morfolojik ve ısıl karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon sonrası en uygun özelliklere sahip membranlara insan fibroblast hücreleri ekilmiş, *in vitro* hücre canlılık, toksisite ve hücre çoğalması çalışmaları yapılarak sonuçlar rapor edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Polikaprolakton (PCL, Mw: 80 kDa) ve Poli(3-hidroksibütirik asit-ko-3-hidroksivalerik asit) (PHBV, Mw: 690 kDa, 12% PHV içerikli) Aldrich'ten (ABD) satın alınmıştır. İnsan fibroblast hücreleri Erciyes Üniversitesi Genom ve Kök Hücre Merkezi (Kayseri, Türkiye) tarafından laboratuvarımıza hibe edilmiştir. Kullanılan diğer kimyasal ve çözücüler analitik kalitede olup, herhangi bir saflaştırma işlemine tabi tutulmadan satın alındıkları gibi kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Elektroğrılmış PCL, PHBV ve PCL/PHBV karışım fibroz membranların hazırlanması

PCL, PHBV ve PCL/PHBV karışımları ağırlıkça farklı oranlarda (100:0, 50:50, 75:25, 0:100) olacak şekilde kloroform (CHCl_3), kloroform-1,1,1,3,3,3-hekzafluro-2-propanol (CHCl_3 -HFIP) ve sadece HFIP içerisinde çözülerek hacimce %15'lik elektroğirme çözeltileri hazırlanmıştır. Her bir çözelti ayrı ayrı iç çapı 14.53 mm olan ve 21G iğne ucuna sahip 10 mL'lik şırıngalara alınmış ve otomatik programlanabilir şırınga pompasına (NE-1000, ABD) yerleştirilmiştir. Elektroğirme prosesi, topraklanmış toplayıcı ve iğne ucu arasında gerekli elektrik potansiyel oluşturması için bir yüksek gerilim ünitesi (Inevenso NE100, Türkiye) kullanılarak, akış hızı 1 mL/h ve uygulanan gerilim 15 kV olacak şekilde sistem ayarlanmıştır. Toplayıcı ve iğne ucu arasındaki mesafe 15 cm'ye set edilmiştir.

2.2.2. Yapısal ve Morfolojik Karakterizasyon

FT-IR Analizi

Elektroğrılmış PCL, PHBV ve PCL/PHBV membranlarının FT-IR analizi Thermo Scientific Nicolet 6700 FT-IR Spektrometre kullanılarak $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ aralığında gerçekleştirilmiştir.

DSC Analizi

Elektroğrılmış membranların ısıl analizleri, DSC (Perkin Elmer, ABD) ile $10\text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ ısıtma hızı ve $0\text{'dan } 200\text{ }^\circ\text{C}$ derece sıcaklık aralığında azot ortamında gerçekleştirilmiş, termal döngü birbirini takip eden bir ısıtma ve bir soğutma taraması ile gerçekleştirilmiştir.

Morfolojik Çalışmalar

Elektroēirilmiş membranların morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak araştırılmıştır. Bunun için öncesinde membranlar vakum altında ince bir altın tabaka ile kaplanmış (Quorum Q150RES, Birleşik Krallık) ve daha sonra SEM görüntüleri alınmıştır (Carl Zeiss EVO LS10, Almanya). SEM görüntüleri üzerinden JMicroVision 1.2.7 (Ulusal Sağlık Örgütü, ABD) programı kullanılarak farklı noktalardaki rastgele seçilen fiberlerin çapları ölçülmüş, membranlara ait fiberlerin ortalama çapları standart sapmaları ile birlikte sunulmuştur.

Absorbsiyon Testi

Yara sıvısını taklit etmek için “*Pseudo Extra Cellular Fluid (PECF)*” çözeltisi hazırlanmıştır. Bunun için, sodyum klorür (NaCl), potasyum klorür (KCl), sodyum bikarbonat (NaHCO₃) ve dipotasyum fosfat (K₂HPO₄) distile su içerisinde çözülmüş, çözeltinin pH'ı 8 olarak ayarlanmıştır. Elektroēirme yöntemi ile hazırlanan PCL/PHBV (75:25, HFIP) membran ile çözücü uzaklaştırma yöntemi ile hazırlanan PCL/PHBV (75:25, HFIP) membran karşılaştırılmıştır. Her iki membran 1x1.5 cm² olarak kesilmiş ve ilk tartımları alınmıştır. Daha sonra bu membranlar, PECF içeren petri kapları içerisine yerleştirilmiş ve 24 saat 37 °C inkübatör içerisinde bekletilmiştir. Beklemenin ardından fazlalık olan PECF çözeltileri petri kabından uzaklaştırılarak membranlar tekrar tartılmıştır. Yüzde absorpsiyon miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır [31].

$$%W_C = (W - W_0)/W_0 \times 100 \quad (1)$$

Burada, W₀ membranların ilk kuru tartımı, W ıslak iken tartımıdır.

2.3. Hücre Kültürü Çalışmaları

In vitro Hücre Kültürü ve Sitotoksisite Testi

İnsan fibroblast hücreleri 10 cm² doku kültür kabında, 4.5 mg/ml glikoz, %10 fetal sığır serumu (FBS) ve %1 penisilin ve streptomisin içeren 10 mL DMEM besi yerinde çoğaltılmıştır. Besi yeri her gün değiştirilmiş ve hücreler %5'lik CO₂ inkübatöründe 37 °C tutulmuşlardır. Morfolojik ve yapısal karakterizasyon sonrası en uygun özelliklere sahip olduğu belirlenen elektroēirilmiş PCL/PHBV (75:25, HFIP) membranı *in vitro* hücre kültür çalışmaları için seçilmiştir. Seçilen membranın toksisitesi MTT testi ile 24, 48 ve 72. saatlerde ölçülmüştür. Bu amaçla, membran çapı 2,5 cm olacak şekilde dairesel olarak kesilmiş ve %70'lik etanol içerisinde steril edildikten sonra 96'lık hücre kuyucuklarına yerleştirilmişlerdir. Yerleştirilen membranlar üzerine hücre sayısı 1x10⁴ olacak şekilde insan fibroblast hücreleri ekilmiştir. Kuyucuklarda yer alan besi yeri 20 µl MTT çözeltisi ve 100 µl kültür besi yeri ile değiştirilmiştir. Daha sonra hücreler 37°C ve 4 saat boyunca inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası, tüm besi yeri özenle uzaklaştırılmış formazan kristalleri DMSO'da çözülmüş, 490 nm absorpsiyon değerinde ölçüm gerçekleştirilmiştir (Thermo Scientific Varioskan Lux, ABD).

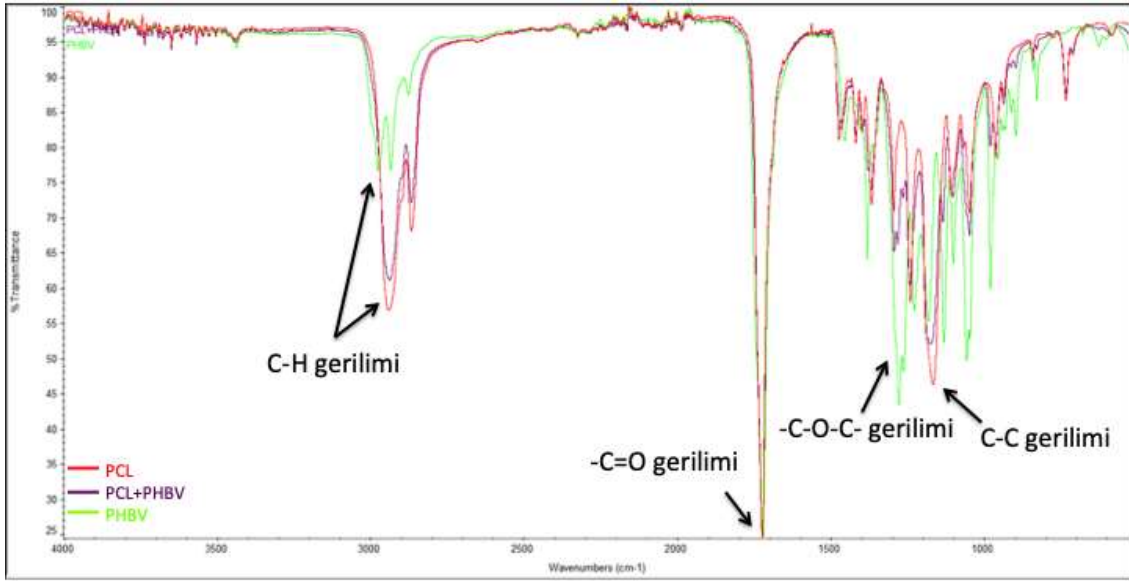
Hücre Çoğalması Çalışması

Seçilen elektroēirilmiş PCL/PHBV (75:25, HFIP) membran çapı 2,5 cm olacak şekilde dairesel olarak kesilmiş ve %70'lik etanol içerisinde 1 saat ve sonrası UV altında bekletilmek suretiyle steril edildikten sonra 96'lık kuyucuklara yerleştirilmiştir. Her bir membran üzerine hücre yoğunluğu 1x10⁴ olacak şekilde insan fibroblast hücreleri ekilmiş, 37 °C sıcaklıkta %5'lik CO₂ ortamında inkübe edilmişlerdir. Önceden belirlenen 36, 72 ve 120. saat sonunda inkübe edilen hücreler PBS çözeltisi ile 3 kez yıkanmış, membranın üzerine tutunmayan hücrelerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra hacimce %2.5'lük gluteraldehit çözeltisinde 2 saat fikse edilmiş, %30, 50, 70, 90 ve 100 kademeli etanol çözeltisi içerisinde 10'ar dakika dehidrate edilmişlerdir. Bu işlemlerin ardından kurutulan membranlarda hücre çoğalmaları SEM görüntüleri alınarak gösterilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. FT-IR

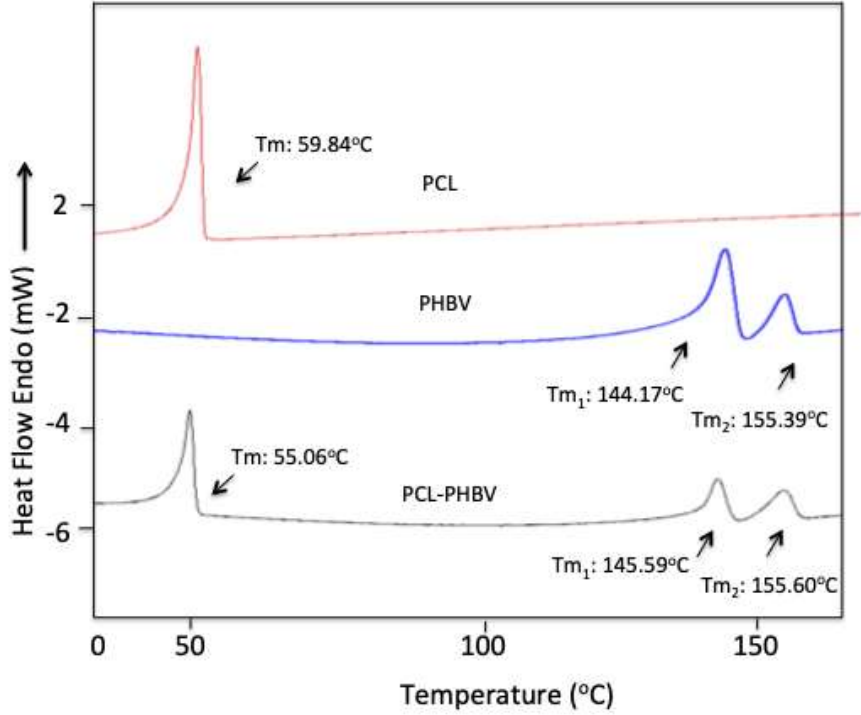
Elektroğrılmış PCL, PHBV ve PCL/PHBV karışım membranların yapısal analizleri FT-IR ile gösterilmiştir. Şekil 1’de, membranlara ait FT-IR spektrumları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Spektrumlarda yer alan, 1750-1710 cm^{-1} arasında görülen geniş pikin nedeni hem PCL hem de PHBV’de bulunan -C=O ester karbonil grubuna ait gerilimdir. 2950-2860 cm^{-1} arasında gözlenen pikler polimerlerin yapılarında yer alan CH geriliminden kaynaklanmaktadır. 1238 cm^{-1} ve 1164 cm^{-1} civarında görülen piklerin nedeni sırasıyla polimer zincirindeki asimetrik -C-O-C- gerilimi ve -C-C- gerilimidir. PCL/PHBV karışımına ait spektrum incelendiğinde piklerin yoğunluklarının arttığı değerlendirilmiştir. Ayrıca, yine karışım için piklerde herhangi bir kayma gözlenmemiş bunun da PCL ve PHBV molekülleri arasında spesifik bir etkileşim olmadığı belirtilmiştir [32].



Şekil 1. Elektroğrılmış PCL, PHBV ve PCL/PHBV karışım membranlarına ait FT-IR spektrumları

3.2. DSC

Biyobozunur polimerlerde kristal yapısı (kristalinite yüzdesi, morfolojisi, vb.) materyallerin mekanik, ısıl, kimyasal ve bozunma davranışlarını etkileyen önemli özelliklerinden biridir. Bu kapsamda elektroğrılmış PCL, PHBV ve PCL/PHBV (75:25, HFIP) karışım membranlarının DSC termogramları çekilmiş ve elde edilen termogramlar Şekil 2’de verilmiştir. Isıl geçişleri temsil eden erime sıcaklıkları (T_m) grafikler üzerinde sayısal olarak gösterilmiştir. Elektroğrılmış PCL membran için T_m , 59.84 $^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur. PCL için yapılan önceki çalışmalarda erime sıcaklığının 60 $^{\circ}\text{C}$ derece civarı olarak raporlanmıştır. Dolayısıyla bulunan değerler literatürle uyumludur [33]. Elektroğrılmış PHBV için 144.71 $^{\circ}\text{C}$ (T_{m1}) ve 155.39 $^{\circ}\text{C}$ (T_{m2}) derece olmak üzere iki adet erime sıcaklık değerleri literatürde de verildiği gibi gözlenmiştir. Bu durum birincil kristalitlerin erimesine ve kristalize edilmiş malzemenin tekrar erimesine atfedilmektedir [34]. Elektroğrılmış PCL/PHBV membran için ise hem 55.06 $^{\circ}\text{C}$ derecede bir pik, hem de 145.9 $^{\circ}\text{C}$ ve 155.60 $^{\circ}\text{C}$ derece olmak üzere iki pik gözlenmiştir. Bu değerlere bakıldığında, membran karışımının, hem PCL hem de PHBV içerdiği açık bir şekilde anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Elektroeğrilmiş PCL, PHBV ve PCL/PHBV karışım membranlara ait DSC termogramları

3.3. Morfolojik Analiz

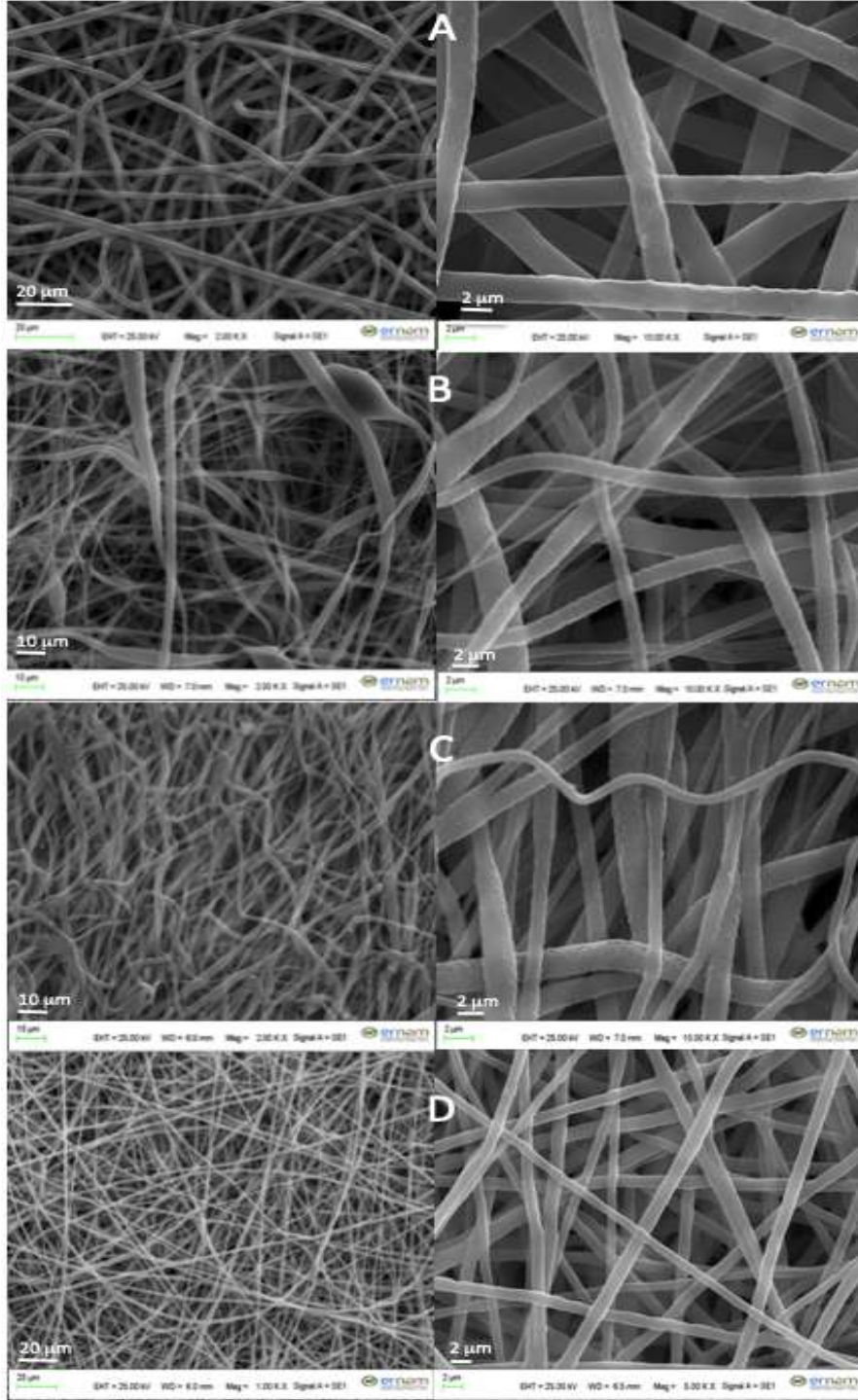
İdeal bir yara örtü malzemesinin, hasarlı deri dokusunun iyileşmesi için bölgeye göç eden hücrelerin yapışması ve çoğalmasını sağlayacak morfolojiye sahip olması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, yara bölgesindeki gaz geçirgenliğini sağlaması ve yara bölgesinden eksudatın uzaklaştırılması için birbirleriyle bağlantılı gözenek yapıda olması gerekmektedir. Bunun dışında, yara örtü malzemesinin dış kısmının dışarıdan gelecek bakteri tehdidine karşı bir bariyer görevi görmesi beklenmektedir. Bu özelliklere sahip bir yara örtü malzemesi hazırlanması için en uygun yöntemlerden bir tanesi elektroeğirme yöntemidir. Elektroeğirme yönteminde kullanılan polimerin cinsi, molekül ağırlığı, başlangıç polimer konsantrasyonu, polimer çözeltisinin viskozitesi ve yüzey gerilimi, uygulanan voltaj, iğne ucu kalınlığı ve toplayıcı ile iğne ucu arasındaki mesafe, çevresel koşullar gibi parametreler fiberlerin çaplarına ve morfolojilerine doğrudan etki ettiği birçok çalışmada gösterilmiştir. Bu bilgilerden yola çıkarak PCL ve PHBV karışımlarından boncuksuz yapıda ve homojen dağılmış fiberlere sahip membranların elde edilmesi için en uygun elektroeğirme parametreleri belirlenmiş ve bu çalışmalardan elde edilen elektroeğrilmiş membranların morfolojileri SEM ile incelenmiştir. Ayrıca fiber morfolojisine çözücünün etkisi incelenmiştir. Çözücü olarak kloroform kullanılarak elde edilen membranlar her ne kadar boncuksuz yapıda olsa da SEM görüntüleri ayrıntılı incelendiğinde fiberler çaplarının çok heterojen olduğu ve kloroform tamamen uzaklaşmadığından dolayı fiberler üzerinde kuyucuklar olduğu görülmektedir (Şekil 3A, B, C). Bu durum fiberlerin daha kırılabilir olmasına sebep olacağı düşünülmektedir. O sebeple çözücü olarak $\text{CHCl}_3/\text{HFIP}$ karışımı ve HFIP tek başına kullanılarak polimer karışımı hazırlanmış ve elektroeğirme prosesine tabi tutulmuştur. Fiber morfolojisi incelendiğinde fiberler üzerinde o kırılabilir yapının ortadan kalktığı gözlenmiş ve iki çözelti sistemi arasından fiber çapları ve gözenek yapılarının daha homojen olarak elde edildiği HFIP tek başına çözücü olarak kullanılarak hazırlanan membranlar bir sonraki aşama için seçilmiştir.

Yapılan ön çalışmalardan elde edilen bulgulara göre boncuksuz yapıda ve homojen fiberlere sahip membranların eldesi için PCL/PHBV ağırlıkça %50:50 ve %75:25 olacak şekilde karıştırılmış ve çözelti hacimce %15 olacak şekilde CHCl_3 , $\text{CHCl}_3/\text{HFIP}$ (v/v, 50:50) ve HFIP çözücü sistemlerde hazırlanmıştır. Elektroeğirme parametreleri için ise en optimum koşullar iğne ucu-toplayıcı arası mesafe 15 cm, uygulanan gerilim 15 kV ve akış hızı ise 1 mL/h olarak belirlenmiştir. Hazırlanan elektroeğrilmiş PCL, PHBV ve PCL/PHBV membranların karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir.

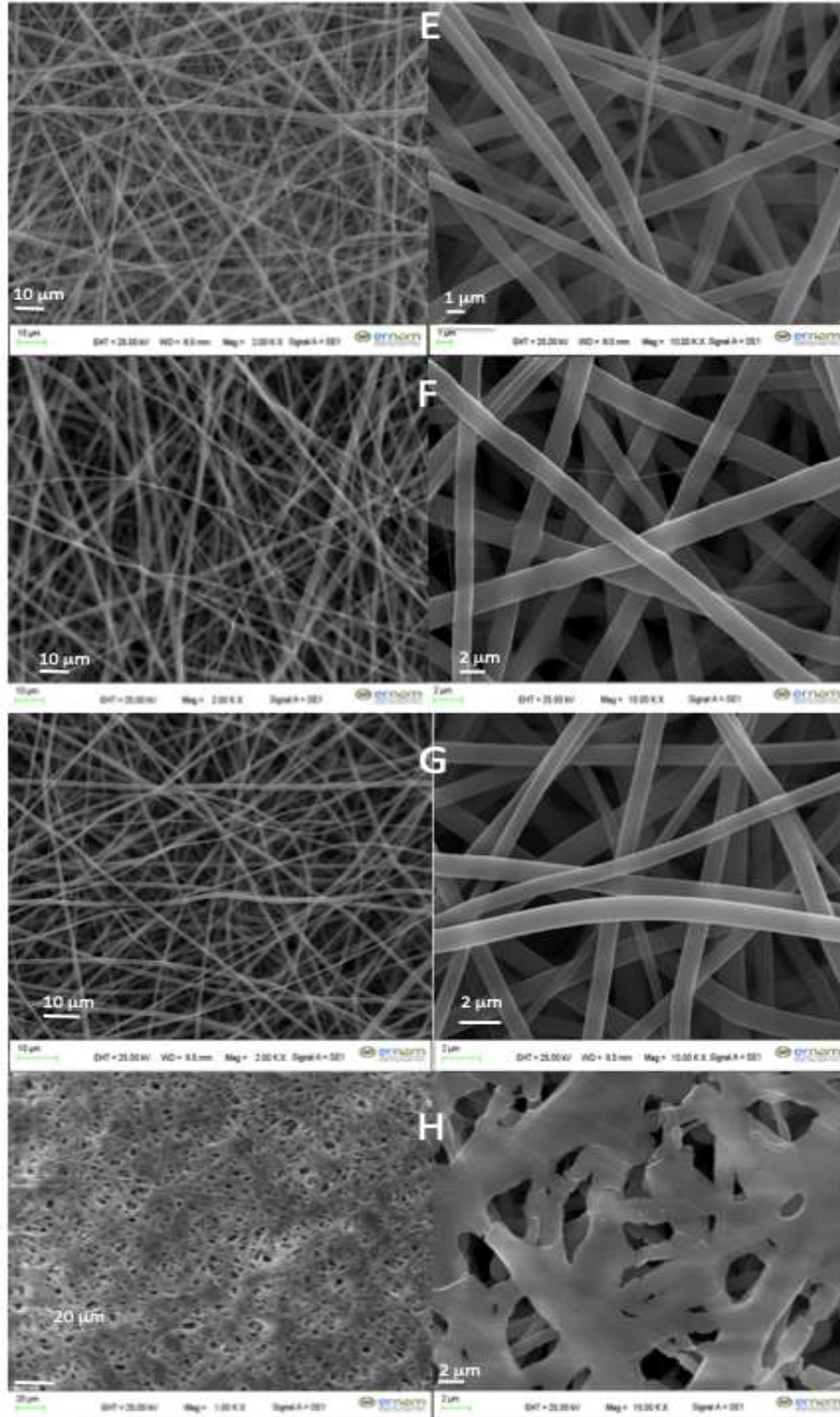
Tablo 1. Hazırlanan elektroeğrilmiş PCL, PHBV ve PCL/PHBV membranların % karışım oranları ve ortalama fiber çapları (μm)

PCL	PHBV	Çözücü	Ortalama Fiber Çapı
100	0	CHCl_3	$2,116 \pm 0,350$
50	50	CHCl_3	$1,327 \pm 0,570$
50	50	$\text{CHCl}_3/\text{HFIP}$ (50:50)	$1,141 \pm 0,200$
50	50	HFIP	$1,067 \pm 0,331$
75	25	CHCl_3	$1,373 \pm 0,561$
75	25	$\text{CHCl}_3/\text{HFIP}$ (50:50)	$1,560 \pm 0,267$
75	25	HFIP	$0,933 \pm 0,186$
0	100	CHCl_3	Fiber gözlenmedi

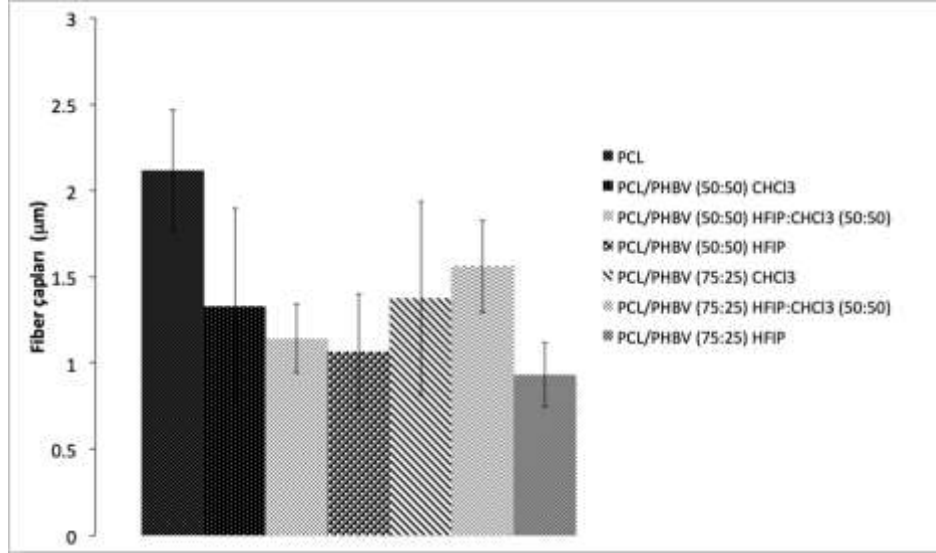
Elektroeğrilmiş PCL ve PCL/PHBV karışım membranlarına ait SEM görüntülerinden (Şekil 3) fiberlerin toplayıcı üzerine kesintisiz ve homojen şekilde rastgele yayıldığı, herhangi bir boncuk yapısının yer almadığı görülmektedir. Ancak, %100 PHBV membrana ait SEM görüntülerinde herhangi bir fiber yapısı gözlenmemiştir. SEM görüntüleri üzerinde farklı noktalardan rastgele seçilen 50 fiber kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerde membranları oluşturan fiberlerin ortalama çapları $1 \mu\text{m}$ ile $2,12 \mu\text{m}$ arasında bulunmuştur. Ortalama fiber çapları standart sapmaları ile birlikte Şekil 4'te sunulmuştur. Bu sonuçlara göre PCL/PHBV (75:25) karışımı olarak %100 HFIP içerisinde hazırlanan membranına ait fiberlerin gerek morfolojisi gerekse fiber çapları göz önüne alındığında *in vitro* hücre çalışması için uygun bulunmuştur.



Şekil 3. Elektroöğrilmiş membranlara ait SEM görüntüleri **A)** PCL (CHCl₃), **B)** PCL/PHBV (50:50, CHCl₃), **C)** PCL/PHBV (75:25, CHCl₃), **D)** PCL/PHBV (50:50, CHCl₃/HFIP), **E)** PCL/PHBV (50:50, HFIP), **F)** PCL/PHBV (75:25, CHCl₃/HFIP), **G)** PCL/PHBV (75:25, HFIP), **H)** PHBV (CHCl₃)



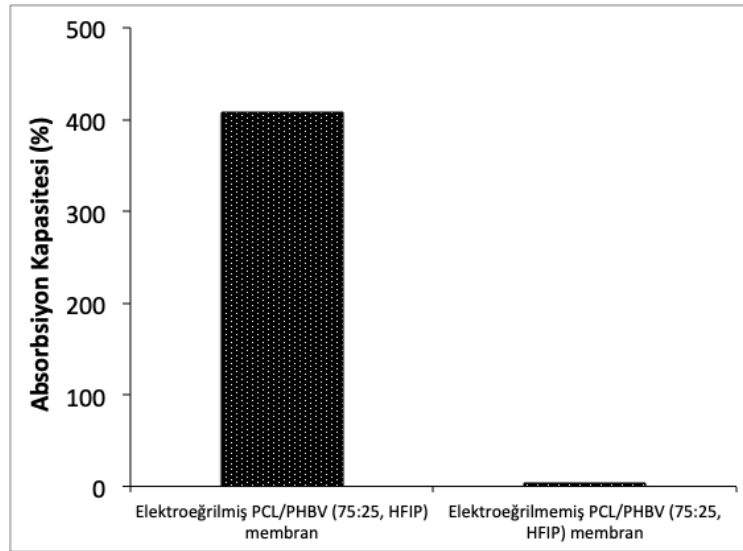
Şekil 3 (devamı). Elektroğrılmış membranlara ait SEM görüntüleri **A)** PCL (CHCl_3), **B)** PCL/PHBV (50:50, CHCl_3), **C)** PCL/PHBV (75:25, CHCl_3), **D)** PCL/PHBV (50:50, $\text{CHCl}_3/\text{HFIP}$), **E)** PCL/PHBV (50:50, HFIP), **F)** PCL/PHBV (75:25, $\text{CHCl}_3/\text{HFIP}$), **G)** PCL/PHBV (75:25, HFIP), **H)** PHBV (CHCl_3)



Şekil 4. Elektroğrılmış membranların ortalama fiber çapları

3.4. Absorbsiyon Testi

Yara bölgesinden eksudatın uzaklaştırılması için yüksek absorpsiyon kapasitesi, yara örtü malzemeleri için önemli ve kritik bir parametredir [21]. Çalışmada, çözücü uzaklaştırma yöntemi ile petri kapı üzerinde üretilen PCL/PHBV membran ile elektroğrılmış PCL/PHBV (75:25, HFIP) karışım membranının absorpsiyon kapasitesi ölçülmüş ve Şekil 5'te sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi elektroğrılmış membranın absorpsiyon kapasitesi yaklaşık %407 olarak ölçülürken, petri kabı üzerinde çözücü uzaklaştırma yöntemi ile elde edilen elektroğrilmemiş membranın sıvı tutma kapasite yaklaşık %3 olarak ölçülmüştür. Aradaki farkın bu kadar yüksek olması elektroğrılmış membranın birbiriyle bağlantılı gözenekli fibroz yapısından kaynaklanmaktadır.

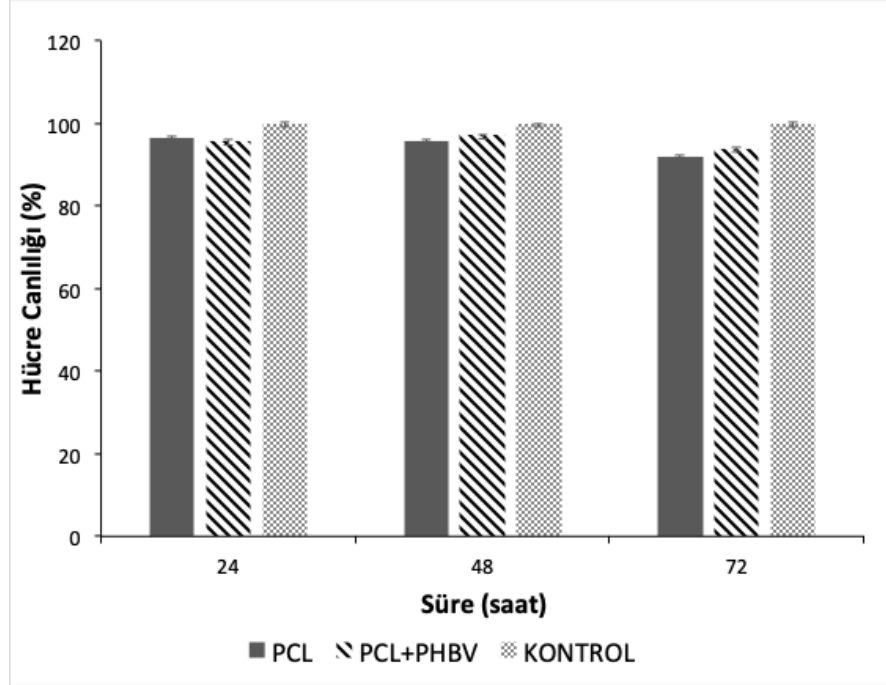


Şekil 5. Absorpsiyon Kapasite Testi Sonuçları

3.5. *In vitro* Hücre Kültürü ve Sitotoksite Testi

Hücre canlılığı MTT testi ile 24, 48 ve 72. saat için ölçülmüştür. MTT testinde, sarı tetrazoliumun yalnız canlı hücreler içerisinde mor formazan kristallerine dönüşmekte ve bu dönüşüm prosesi her bir kuyucuktaki canlı hücreleri göstermektedir [35]. Elektroğrılmış PCL ve PCL/PHBV (75:25, HFIP) membranları üzerine ekilmiş insan fibroblast hücrelerinin 24, 48 ve 72. saat hücre canlılık sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi hücrelerin membran yüzeylerine tutunduğu ve canlılık

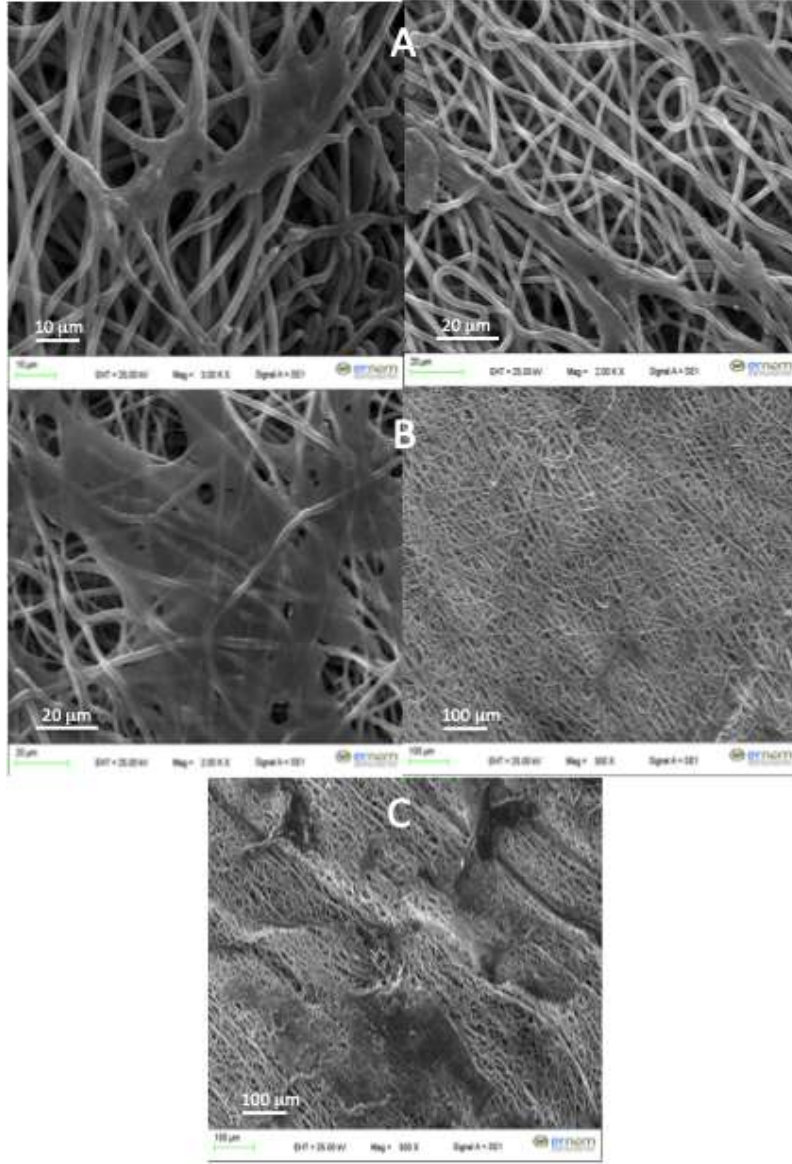
oranlarının %92'in üzerinde olduğu görölmektedir. Elektroeğrilmiş PCL/PHBV (75:25, HFIP) membranına ekilen hücrelerin elektroeğrilmiş PCL membrana kıyasla canlılık oranlarının daha yüksek olduğu görölmüştür. Bu artışın, sentetik bir polimer olan PCL'in tek başına kullanılmasından ziyade doğal bir polimer olan PHBV ile birlikte kullanımının sinerjik bir etki oluşturduğu ve 3 boyutlu olarak hücre canlılığı açısından daha etkili olduğunu göstermektedir.



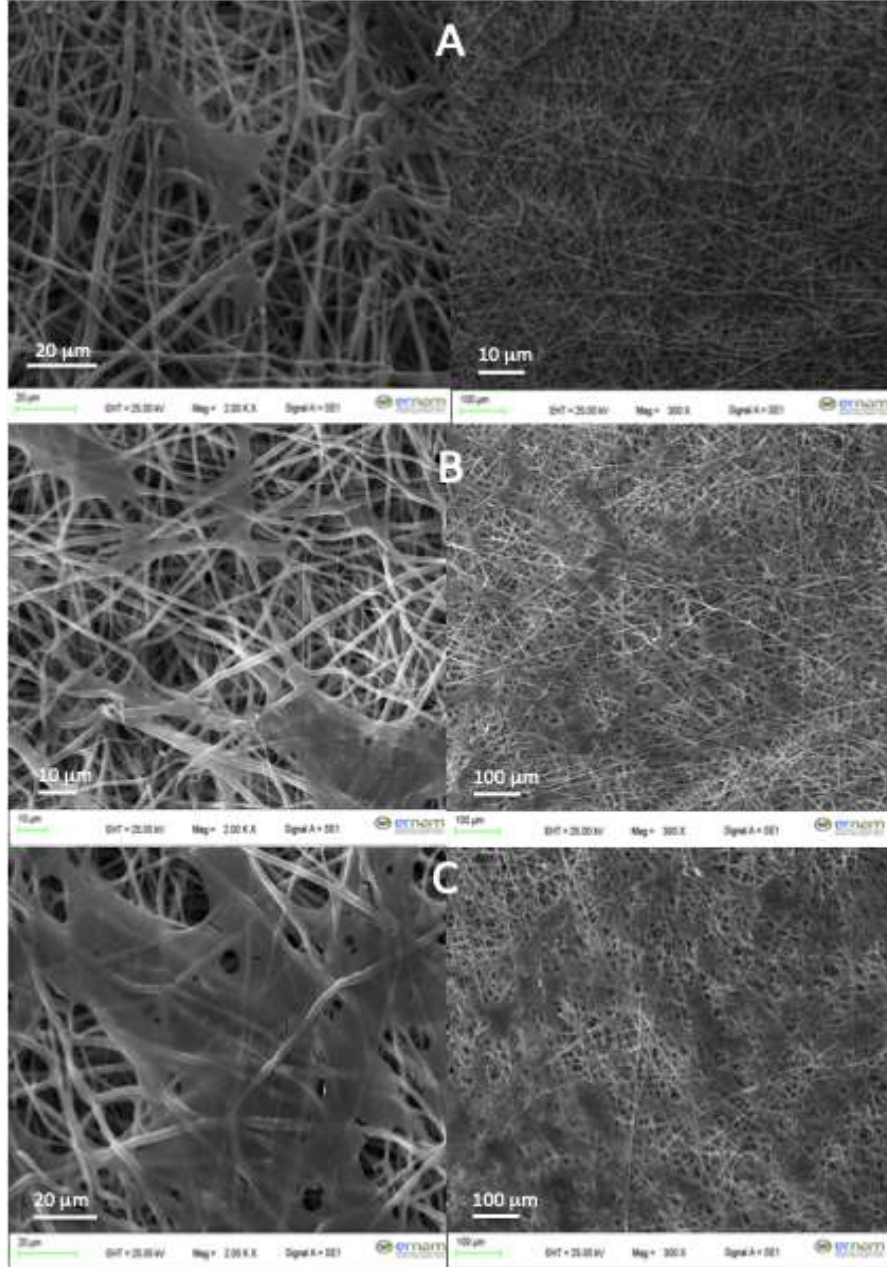
şekil 6. Hücre canlılığı ve sitotoksisite testi, x eksenini süre (saat)

3.6. Hücre Yapışması

Elektroeğrilmiş PCL ve PCL/PHBV (75:25, HFIP) membranları üzerine ekilmiş insan fibroblast hücrelerinin 36, 72 ve 120. saat hücre yapışmalarına ait SEM görüntüleri şekil 7 ve 8'de sunulmuştur. SEM görüntülerinden de açıkça gözlemlendiği gibi PCL/PHBV (75:25, HFIP) membranına ekilen hücrelerin 120. saat sonunda neredeyse tüm membran yüzeyini kapladığı ve PCL membrana orana göre daha fazla hücrenin yayıldığı görölmüştür. Bunun sebebinin PCL/PHBV membranının PCL membrana oranla 3 boyutlu morfolojik yapısının hücrelerin fiberler arasında yayılmasına desteleyecek özellikte olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 7. Hücre yapışması SEM görüntüleri A) PCL (CHCl_3), 36. saat, B) PCL (CHCl_3), 72. saat, C) PCL (CHCl_3), 120. saat



Şekil 8. Hücree yapışması SEM görüntüleri A) PCL/PHBV (75:25, HFIP), 36. saat, B) PCL/PHBV (75:25, HFIP), 72. saat, C) PCL/PHBV (75:25, HFIP), 120. saat

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, yara örtü malzemesi olarak değerlendirmek üzere PCL, PHBV ve PCL/PHBV karışımları ağırlıkça farklı oranlarda (100:0, 50:50, 75:25, 0:100) ve farklı çözücüler kullanılarak (CHCl_3 , $\text{CHCl}_3/\text{HFIP}$ (v/v, 50:50) ve HFIP) elektroöğirme işlemine tabi tutularak fibroz yapıda membranlar üretilmiştir. Elde edilen membranların kimyasal analizi FT-IR ile termal analizi ise DSC ile gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar literatürde yapılan benzer çalışmalarda bulunan sonuçlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Membranların yapısal analizi ise SEM ile incelenmiştir. SEM görüntülerinden elektroöğrılmış membranların boncuksuz yapıda ve rastgele dağılan fiberlere sahip olduğu ve membranların ortalama fiber çaplarının 1 µm ile 2,12 µm arasında değiştiği gösterilmiştir. Membranlar arasında PCL/PHBV (75:25, HFIP) 0.933±0.186 µm fiber çapı ile en küçük fiber çapına sahip membran olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra bu membrana ait fiber dağılımı diğer membranlara kıyasla daha homojen olduğu belirlenmiştir. Elektroöğrılmış PCL/PHBV (75:25, HFIP) membranının absorpsiyon kapasitesi ayrıca ölçülmüş ve %407 gibi yüksek bir sıvı tutma kapasitesine sahip olduğu

gösterilmiştir. Elektroeğrilmiş PCL ve PCL/PHBV (75:25, HFIP) membranları üzerine insan fibroblast hücreleri ekilmiş, hücre canlılığı ve toksisite davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her iki membranın da toksik özellik göstermediği ve 24, 48 ve 72. saat için hücre canlılık yüzdeleri PCL membran için yaklaşık %92 ve PCL/PHBV (75:25, HFIP) membran için ise yaklaşık %97 olduğu belirlenmiştir. Membranların üzerine ekilen hücrelerin 36, 72 ve 120. saat için çoğalmaları SEM ile gösterilmiştir. Buna göre PCL/PHBV (75:25, HFIP) membranı üzerindeki hücre çoğalmasının PCL membranına kıyasla daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, doğru elektroeğirme parametreleri ve çözücü sistemleri kullanıldığında PCL ve PHBV'nin tek başına kullanılmasından ziyade karışım olarak kullanılmasının sinerjik bir etki oluşturduğu ve elektroeğrilmiş PCL/PHBV karışım membranlarının yara örtü malzemesi olarak çok iyi bir aday olduğu değerlendirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kuppan P., Kirthanashri S.V., Dhakshinamoorthy S., Uma M.K., Swaminathan S. 2011. Development of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Fibers for Skin Tissue Engineering: Effects of Topography, Mechanical, and Chemical Stimuli. *Biomacromolecules*, 12 (9): 3156–3165.
- [2] Zonari A., Cerqueira M.T., Novikoff, S., Goes A.M., Marques, A.P., Corrello, V.M., Reis, R.L. 2014. Poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) Bilayer Skin Tissue Engineering Constructs with Improved Epidermal Rearrangement. *Macromolecular Bioscience*, 14 (7): 977–990.
- [3] Du L., Xu H.Z., Li T., Zhang Y., Zou F.Y. 2017. Fabrication of Ascorbyl Palmitate Loaded Poly(caprolactone)/Silver Nanoparticle Embedded Poly(vinyl alcohol) Hybrid Nanofibre Mats as Active Wound Dressings: Via Dual-Spinneret Electrospinning. *RSC Advances*, 7 (50): 31310–31318.
- [4] Augustine R., Anto Dominic E., Reju I., Kaimal B., Kalarikkal N., Thomas S. 2015. Electrospun Poly(ϵ -caprolactone)-Based Skin Substitutes: In Vivo Evaluation of Wound Healing and The Mechanism of Cell Proliferation. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 103 (7): 1445–1454.
- [5] Sahana T.G., Rekha, P.D. 2018. Biopolymers: Applications in Wound Healing and Skin Tissue Engineering. *Molecular Biology Report*, 45 (6): 2857-2867.
- [6] Moura D., Souza M.T., Liverani L., Rella G., Luz G.M., Mano J.F., Boccaccini A.R. 2017. Development of A Bioactive Glass-Polymer Composite for Wound Healing Applications. *Materials Science and Engineering C*, 76: 224-232.
- [7] Sundaramurthi D., Krishnan U.M., Sethuraman S. 2014. Epidermal Differentiation of Stem Cells on Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) Nanofibers. *Annals of Biomedical Engineering*, 42 (12): 2589–2599.
- [8] Lee J.M., Chae T., Sheikh F.A., Ju H.W., Moon B.M., Park H.J., Park Y.R., Park C.H. 2016. Three Dimensional Poly(ϵ -caprolactone) and Silk Fibroin Nanocomposite Fibrous Matrix for artificial Dermis. *Materials Science and Engineering: C*, 68: 758–67.
- [9] MacEwan M.R., Macewan S., Kovacs T.R., Batts J. 2017. What Makes the Optimal Wound Healing Material? A Review of Current Science and Introduction of a Synthetic Nanofabricated Wound Care Scaffold, 9 (10): 1736-1748.
- [10] Biazar E. 2017. Application of Polymeric Nanofibers in Medical Designs, Part I: Skin and Eye. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 66 (10): 521–531.
- [11] Miguel S.P., Figueira D.R., Simões D., Ribeiro M.P., Coutinho P., Ferreira P., Correia I.J. 2018. Electrospun Polymeric Nanofibres as Wound Dressings: A Review, *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 169: 60–71.
- [12] Lv F., Wang J., Xu P., Han Y., Ma H., Xu H., Chen S., Chang J., Ke Q., Liu M., Yi Z., Wu C. 2017. A Conducive Bioceramic/Polymer Composite Biomaterial for Diabetic Wound Healing. *Acta Biomaterialia*, 60: 128–143.
- [13] Bölgen N., Menciloğlu Y.Z., Acatay K., Vargel I., Pişkin E. 2005 In Vitro and in Vivo Degradation of Non-Woven Materials Made of Poly(E-Caprolactone) Nanofibers Prepared by Electrospinning Under Different Conditions. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 16 (12): 1537–1555.

- [14] Rather H.A., Thakore R., Singh R., Jhala D., Singh S., Vasita R. Antioxidative Study of Cerium Oxide Nanoparticle Functionalised PCL-Gelatin Electrospun Fibers for Wound Healing Application. *Bioactive Materials*, 3 (2): 201–211.
- [15] Yuan J., Geng J., Xing Z., Shim K-J., Han I., Kim J-C., Kang I-K., Shen J. 2015. Novel Wound Dressing Based on Nanofibrous PHBV–Keratin Mats. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 9: 1027–1035.
- [16] Tohidi S., Ghaee A., Barzin J. 2016, Preparation and Characterization of Poly(lactic-co-glycolic acid)/Chitosan Electrospun Membrane Containing Amoxicillin-Loaded Halloysite Nanoclay. *Polymers for Advanced Technologies*, 27: 1020-1028.
- [17] Dias J.R., Granja P.L., Bártolo P.J. 2016. Advances in Electrospun Skin Substitutes. *Progress in Materials Science*, 84: 314-334.
- [18] Zhang W., Ronca S., Mele E. 2017. Electrospun Nanofibres Containing Antimicrobial Plant Extracts. *Nanomaterials*, 7 (2): 42-59.
- [19] Patil J.V., Mali S.S., Kamble A.S., Hong C.K., Kim J.H., Patil P.S. 2017. Electrospinning: a Versatile Technique for Making of 1D Growth of Nanostructured Nanofibers and Its Applications: An Experimental Approach. *Applied Surface Science*, 423: 641–674.
- [20] Chen S., Liu B., Carlson M.A., Gombart A.F., Reilly D.A., Xie J. 2017. Recent Advances in Electrospun Nanofibers for Wound Healing. *Nanomedicine*, 12: 1335-1352.
- [21] Liu M., Duan X., Li Y., Yang D., Long Y. 2017. Electrospun Nano Fibers for Wound Healing. *Materials Science and Engineering C*, 76: 1413-1423.
- [22] Mir M., Ali M.N., Barakullah A., Gulzar A., Arshad M, Fatima S., Asad M. 2018. Synthetic Polymeric Biomaterials for Wound Healing: A Review. *Progress in Biomaterials*, 7 (1): 1-21.
- [23] Siddiqui N., Asawa S., Birru B., Baadhe R., Rao S. 2018. PCL-Based Composite Scaffold Matrices for Tissue Engineering Applications. *Molecular Biotechnology*, 60: 506–532.
- [24] Thanh Tra N., Minh H.H., Nam T.M.H., Thien D.B.T., Hoai, N.T.T., Phuoc, T.V., Thai D.M., Hai, N.D., Toi, V.V., Hiep, N.T. 2018. Optimization and Characterization of Electrospun Polycaprolactone Coated with Gelatin-Silver Nanoparticles for Wound Healing Application. *Materials Science & Engineering C*, 91: 318-329.
- [25] Martins A.F., Facchi S.P., da Câmara P.C.F., Camargo S.E.A., Camargo C.H.R., Popat K.C., Kipper M.J. 2018. Novel Poly(ϵ -Caprolactone)/Amino-Functionalized Tannin Electrospun Membranes as Scaffolds for Tissue Engineering. *Journal of Colloid and Interface Science*, 525: 21-30.
- [26] Mutlu G., Calamak S., Ulubayram K., Guven E. 2018. Curcumin-Loaded Electrospun PHBV Nanofibers as Potential Wound-Dressing Material. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 43: 185-193.
- [27] Veleirinho B., Coelho D.S., Dias P.F., Maraschin M., Ribeiro-do-Valle R.M., Lopes-da-Silva J.A. 2012. Nanofibrous Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)/Chitosan Scaffolds for Skin Regeneration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 51 (4): 343-350.
- [28] Shishatskaya E.I., Nikolaeva E.D., Vinogradova O.N., Volova T.G. 2016. Experimental Wound Dressings of Degradable PHA for Skin Defect Repair. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 27 (11): 165.
- [29] Adeli-Sardou M., Yaghoobi M.M., Torkzadeh-Mahani M., Dodel M. 2019. Controlled Release of Lawsone from Polycaprolactone/Gelatin Electrospun Nano Fibers for Skin Tissue Regeneration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124: 478-491.
- [30] Ehterami A., Salehi M., Farzamfar S., Vaez A., Samadian H., Sahrapeyma H., Mirzaii M., Ghorbani S., Goodarzi A. 2018. In Vitro and In Vivo Study of PCL/COLL Wound Dressing Loaded with Insulin-Chitosan Nanoparticles on Cutaneous Wound Healing in Rats Model. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117: 601-609.
- [31] İšođlu İ.A., Demirkan C., Şeker M.G., Tuzlakođlu K., İšođlu S.D. 2018. Antibacterial Bilayered Skin Patches Made of HPMA and Quaternary Poly(4-Vinyl Pyridine). *Fibers and Polymers*, 19 (11): 2229-2236.
- [32] K-Hasuwan P.R., Pavasant P., Supaphol P. 2011. Effect of the Surface Topography of Electrospun Poly(ϵ -caprolactone)/Poly(3-hydroxybuterate-co-3-hydroxyvalerate) Fibrous Substrates on Cultured Bone Cell Behavior. *Langmuir*, 27: 10938-10946.

- [33] Malikmammadov E., Tanir T.E., Kiziltay A., Hasirci V., Hasirci N. 2018. PCL and PCL-Based Materials in Biomedical Applications. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 29 (7-9): 863-893.
- [34] Del Gaudio C., Ercolani E., Nanni F., Bianco A. 2011. Assessment of Poly(ϵ -caprolactone)/Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Blends Processed by Solvent Casting and Electrospinning. *Materials Science and Engineering A*, 528 (3): 1764-1772.
- [35] Chanda A., Adhikari J., Ghosh A., Roy S., Thomas S., Datta P., Saha P. 2018. Electrospun Chitosan/Polycaprolactone-Hyaluronic Acid Bilayered Scaffold for Potential Wound Healing Applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116: 774-785.

Araştırma Makalesi / Research Article

Ramor 500 Çeliğinde Isıl İşlemin Mikroyapı, Mikrosertlik ve Abrasiv Aşınma Direncine Etkisinin Taguchi Metoduyla Değerlendirilmesi

Ali Kaya GÜR¹, Semih TAŞKAYA^{1*}, Çetin ÖZAY²

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-6077-1892) (ORCID: 0000-0003-1524-4537) (ORCID: 0000-0001-9958-519X)

Öz

Ramor 500 zırh çeliği; 2-30 mm kalınlıklara sahip, 505-590 HV sertliklerde bulunan yüksek mukavemetli bir balistik koruma çeliği olarak sınıflandırılır. Aşınma, kayma yüzeyleri arasındaki mekanik etkinin etkisiyle yüzeyler üzerinde malzemenin deformasyonuna ve kaybına neden olan bir etkileşim işlemidir. Bu çalışmada, konstrüksiyon imalat sanayisinde kullanılan Ramor 500 çeliğinin ısıtma işlemi sonrası mikroyapı, mikrosertlik ve abrasiv aşınma direncine etkisinin taguchi metoduyla değerlendirilmesi ve etkileri incelenmiştir. Bu amaçla Ramor 500 çeliği 900°C sıcaklıkta tavllanmış ve 3 farklı ortamda soğutulmuştur. İnceleme sonucunda mikroyapı ve mikrosertlik incelenmiştir. Ayrıca ısıtma işlemi yapılmamış numunelerle kıyaslamak amacıyla abrasiv aşınma testine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler Taguchi metoduyla değerlendirilip Varyans analizleriyle seviye ve parametrelerin aşınmaya olan etkileri incelenmiştir. Yapılan ısıtma işlemleri sonrasında sertlik değerlerinde esas metalin altında kalmıştır. Seçilen bütün parametrelerin aşınmaya etkisi olmuştur. Kütle kaybının kontrol faktörleri üzerindeki etkisi countour plot renk dağılımı metoduyla gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ramor 500, Isıl işlem, Taguchi.

The Evaluation of the Effect of Heat Treatment on Microstructure, Microhardness and Abrasive Wear Resistance with Taguchi Method of Ramor 500 Steel

Abstract

The Ramor 500 armor steel is classified as a high strength ballistic protection steel with 2-30 mm thicknesses and 505-590 HV hardnesses. Wear is an interaction process that causes deformation and loss of the material on surfaces due to the mechanical effect between the sliding surfaces. In this study, the effect of Ramor 500 on the microstructure, microhardness and abrasive wear resistance of heat treatment after Ramor 500 steel used in the construction manufacturing industry was investigated by taguchi method. For this purpose, Ramor 500 steel was annealed at 900°C and cooled in 3 different environments. The microstructure and microhardness were investigated. In addition, it has been subjected to abrasive abrasion test to compare with non-heat-treated samples. The data obtained were evaluated by Taguchi method and the effects of level and parameters on wear were examined with variance analysis. After the heat treatment, the hardness values were below the base metal. All selected parameters had an effect on wear. The effect of mass loss on control factors was observed by countour plot color distribution method.

Keywords: Ramor 500, Heat treatment, Taguchi.

1. Giriş

Ramor 500 zırh çelikleri yüksek hız darbelerine karşı üretilir. Ayrıca araç aydınlatması için otomotiv endüstrisinde kullanılır. Örneğin, beton bir karıştırıcıda yerleşik donanım, yapısal çelikten daha ince

*Sorumlu yazar: muh.semihtaskaya@gmail.com

Geliş Tarihi: 25.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

plaka ile Ramor 500 çelik kullanılarak üretilebilir. Böylece daha dinamik verimlilik ve yakıt tasarrufu sağlar [1]. Koruyucu malzeme seçimi ateşli silahlardan çıkan merminin, penetratörün ya da ateşli parçacığın türü, geometrisi ve penetrasyon kinetiğine göre yapılır. Belirtilen malzemeler arasında homojen olarak haddelenmiş zırh çelikleri (RHA, Rolled Homogeneous Armor) askeri platformlarda çok çeşitli, personel ve mühimmat taşıyan araçlarda koruyucu malzeme olarak kullanılmalıdır [2]. Zırh çeliği, günümüzde özellikle askeri alanda kullanılan tank ve benzeri savunma ve saldırı amaçlı olarak en yaygın kullanılan zırh malzemesidir. Çelik kullanılmasının başlıca nedeni çeliklerde yüksek dayanım özellikleri görülmesi, yeterli tokluk, yüksek kaynak kabiliyeti gibi malzeme özellikleri ve diğer zırh malzemelerine göre daha düşük olan üretim maliyetleridir. Kaynak endüstride çok yaygın olarak kullanılan bir imalat yönteminin yanı sıra, tamir amaçlı bir yöntem olarak da çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Zırh uygulamalarının yapıldığı ağır ve hafif taşıtların değişik ve çetin arazilerdeki hareketlerinden, mermi mukavemetlerine karşı kaynak bölgelerinin yorulma direncinin yüksek olması gereklidir [3-7]. Taguchi deney tasarım yöntemi, deneysel çalışmaların daha kısa ve kolay yapılmasını sağlayan deney sayısını minimize etmeye çalışan bir deney tasarım yöntemidir. Taguchi dizayn metodu, Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bir deneysel dizayn metodudur. Bu metod 1980 yıllarından sonra Avrupa ve Amerika endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu yöntem sayesinde uzun ve pahalı deneylerin optimizasyonunu tam faktöryel yöntemine göre daha az deney ile yapılabilmektedir. Deneysel çalışmalardaki parametrelerin etkinliğini belirleyebilen ve bunun yanı sıra deney süresini düşüren, maliyeti azaltan bir yöntemdir. Deneysel çalışma planı hazırlanırken, deneylerde kullanılacak parametre ve bunlara ait seviyeleri belirir. Daha sonra, bunların serbestlik derecelerine uygun ortogonal dizinlerin seçilmesi ile sistem oluşturulur. Deneysel çalışmaların yorumlanmasında S/N (sinyal/gürültü) oranı denilen performans karakteristikliğine dönüştürülmektedir. En çok kullanılan performans karakteristiklikleri en küçük en iyi (the smallest, the best), en büyük en iyi (The biggest, the best) ve nominal en iyi (Nominal best) karakteristiklikleridir [8-13]. Gajjal vd., çalışmalarında farklı tip ve miktarda dolgu maddesi içeren PEEK kompozitlerin tribolojik davranışlarını incelemiştir. PEEK kompozit malzemelerin kayma hızı, basınç ve zaman gibi çalışma parametrelerinin tribolojik performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Taguchi'nin tekniğine dayanan deney planı kullanılarak, bir diske bağlı pin üzerinde aşınma testleri yapılmıştır. PEEK'nin CF, PTFE ve grafit ile güçlendirilmiş olduğu, tribolojik performansı etkili bir şekilde artırabileceği görülmüştür [14]. Paturkar vd., çalışmasında hint keneviri / epoksi ve hint keneviri/ cam / epoksi kompozitlerin davranışlarını mekanik aşınma koşulu altında incelemiştir. Sonuçlar, Taguchi tekniği kullanılarak ayrıca analiz edildi. Kompozit plakaların aşınma performansına etkisi, farklı kayma hızları (1 m/s, 2 m/s ve 3 m/s), uygulanan yükler (10 N, 20 N ve 30 N) ve kayma mesafeleri (1000 m, 1500 m ve 2000 m) için araştırıldı. Deneysel sonuçlar, jüt epoksi cam elyaf ile melezleştirilmesinin aşınmaya karşı daha iyi direnç gösterdiğini göstermiştir. Ayrıca uygulanan yükün kompozitlerin tribolojik performansı üzerinde daha etkili parametreler olduğu görülmüştür [15]. Hofinger vd., bu çalışmada farklı ısıl işlemlerin mikroyapı gelişimi ve ikincil sertlik üzerindeki etkisini incelemiştir. Mikro yapıyı görselleştirmek için farklı metalografik hazırlama yöntemleri test edilmiştir. Karbürler, spot paternli elektron geri saçılma kırınımı kullanılarak karakterize edilmiştir. Östenitlemeden önce homojenleştirme işleminin, çözünmüş karbür miktarını arttıramadığı ve dolayısıyla ikincil sertlik üzerinde bir etkisinin olmadığı bulunmuştur [16]. Atapek yaptığı çalışmada, zırh çeliklerinin sahip olduğu mekanik ve balistik performansa eşdeğer ve yüksek performanslı malzeme üretimi için yeni bir alaşım tasarımı ile farklı ısıl işlem uygulamaları seçmiştir. Isıl işlem koşullarına bağlı olarak geliştirilen zırh çeliğinin sertlik, mukavemet, tokluk, aşınma gibi mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin dışında, V50 balistik limiti ve yüksek çarpma hızlarındaki performansını araştırmıştır. Araştırmaları sonucunda zırh çeliklerinin alaşım tasarımı üzerine daha farklı çalışmalar yapılması gerektiği kanısına varmıştır. Hızlı su verme ile çeliklerde martenzitik/beynitik dönüşüm gözlemlenmiş olup, martenzit/bennit başlangıç sıcaklığının oda sıcaklığının çok üzerinde bir değer olduğunu görmüştür. Aşınma davranışlarını incelediğinde yüksek sertlikteki zırh çeliklerinin düşük sertlikteki zırh çeliklerine göre daha düşük aşınma dayanımı gösterdiğini gözlemlenmiştir. Yapılan balistik testler sonucunda geliştirilen zırh çeliğinin daha yüksek V50 balistik limitlere sahip olduğunu gözlemlenmiştir [17]. Atapek çalışmasında, bor katkılı yeni tür bir alaşımlandırma dizaynı geliştirilerek, uygulanan çeşitli ısıl işlemlerle zırhın performansında etkili olan optimum mekanik özelliklerin balistik karakteristiğine uygun bir aralık içinde elde edilmesini araştırmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda, bor katkılı kompozisyon doğrultusunda sadece değişen ısıl işlem koşulları altında geniş bir sertlik ve dolayısı ile mukavemet aralığında zırh

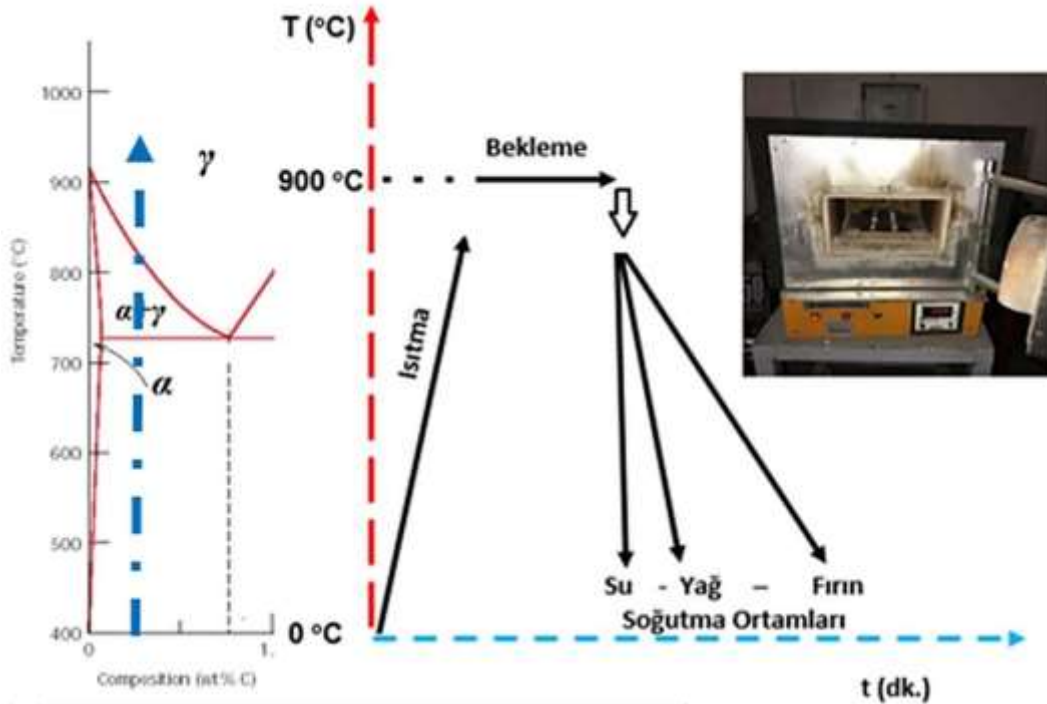
çeliği üretimi sağlamıştır [18]. Karakoç vd., çalışmalarında toz metalurjisi yöntemi ile hazırlanan SiC, B4C ve Al2O3 içeren ve parçacık içermeyen Al sandviç köpüklerin (ASK) balistik performansları araştırmışlardır. Üretilen sandviç köpükler 50x50x7 mm2 boyutlara sahip olan Ramor 500 zırh çeliği silikon esaslı reçine ile yapıştırılarak balistik test için zırh numuneleri hazırlamışlardır. Yapılan çalışmada sonucunda, sandviç köpüklerin önde olduğu tasarımlarda zırh çeliğinden kopan parçacık çapının daha az olduğu tespit edilmiştir [19].

Bu çalışmada, Ramor 500 çelik numunelere ısı işlem uygulanarak mikrosertlik, mikroyapı değişimleri incelenmiş ve abrasiv aşınma sistemiyle SiC partiküllü aşındırıcıda meydana gelen kütle kaybı aşınma davranışı Taguchi yöntemiyle incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Isıl İşlem ve Taguchi Dizayını

Bu çalışmada endüstriden temin edilen mikroalaşım Ramor 500 kullanılmıştır. Bu çeliğe östenitleme sıcaklığı üzerinde ısı işlem uygulanmıştır. Bu ısı işlem sonucunda Ac3+(30°-50°C) sıcaklığı üzerinde ki bekletme işlemiyle, çeliğin yapısının tamamen östenit yapılması ya da sementitin parçalanması sonucu karbonun yapı içerisinde tamamen çözünmesi amaçlanmıştır. Bu süre genellikle 1 inç (25,4 mm) kalınlık için 1 saat olarak kabul edilmektedir. Çelikteki C miktarına bağlı olarak tavlama sıcaklığındaki değişim C oranı 0.29-0.38 olan çelikler için 840-900°C olarak belirlenmiştir [20].



Şekil 1. Isıl işlem grafiği ve tav fırını

Bu amaçla seçilen numuneler Şekil 1'de ki ısı işlem tav fırınında 900 °C'ye kadar ısıtılmış, bu sıcaklıkta 30 dk. beklenmiş ve numunelerin biri suda, diğeri yağda ve sonuncusunda fırın içinde soğutulmuştur. Deneyde kullanılan Ramor 500 çeliğinin kimyasal kompozisyonu fiziksel ve mekanik özellikleri toplu olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ramor 500 çeliğinin kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri [3, 22-23]

Kimyasal Kompozisyon (%)									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Fe
0.32	0.70	1.50	0.015	0.005	1.00	2.00	0.70	0.005	Balans
Fiziksel Özellikler									
Malzeme Ramor 500	Termal Genleşme		Termal İletkenlik		Elektrik		Elastisite Modülü		
	Katsayısı ($\alpha \cdot 10^{-6}$)		(20 °C), (λ , W/m. °K)		Direnci		(20 °C)		
					(20 °C), (Ω)		(E, kN/mm ²)		
	12		58		140-250		210		
Mekanik Özellikler									
Akma Dayanımı		Çekme Dayanımı		Uzama		Mikrosertlik		Tokluk	
0,2 % (MPa)		(MPa)		%5		(Vickers HV)		V J	
1450		1700		7		505-590		20	

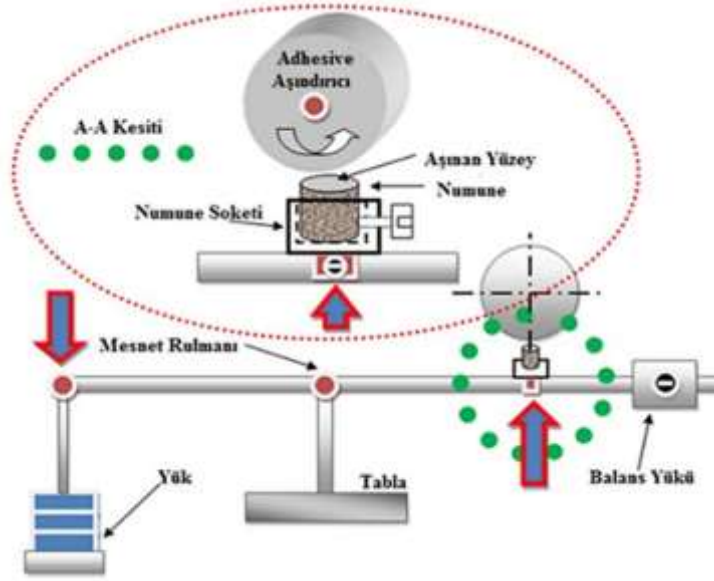
2.2. Taguchi Dizaynı

Bu çalışmada; numuneler, aşınma mesafesi, aşındırıcı tane boyutu ve uygulanan yük olmak üzere dört ayrı kontrol faktörü kullanılmıştır. Bu dört faktör için ilk ikisi 4 diğer ikisinin 2'li seviyeleri seçilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız parametreler ve her parametrenin kendi seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Parametre ve seviyeleri eşit olmadığından Tablo 2'deki karışık seviyeli dizin olan L16 (4*2, 2*2) Taguchi dizini seçilerek Taguchi tasarımı oluşturulmuştur.

Tablo 2. Numunelerin Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Sembol	Test Parametresi	Seviye I	Seviye II	Seviye III	Seviye IV
A	Numuneler	Fırın	Yağ	Su	Isıl İşlemsiz
B	Aşınma Mesafesi (m)	10	20	30	40
C	Uygulanan Yük (N)	6	16	-	-
D	Aşındırıcı Tane Boyutu(mesh)	120	180	-	-

Abrasiv aşındırma numuneleri; Taguchi dizaynlarında verilen parametrelerin dizaynına göre seviyeleri; aşındırıcı olarak 120 ve 180 mesh'lik zımpara kâğıdı ile 6 N ve 16 N'luk iki farklı yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her yük altında 10, 20, 30 ve 40 m'lik mesafelerde ayrı ayrı aşınma deneyi yapılmıştır. Abrasiv aşınma deneyleri Şekil 2'de şematik resmi verilen aparatın torna tezgahına bağlanmasıyla gerçekleştirilir. Abrasiv aşınma deneylerinde aşınma hızı 16 devir/dakika olarak seçilmiştir. Aşınma hızının düşük seçilmesi; aşınma sırasında oluşan aşınma direnci sebebiyle sıçramaları en az seviyeye çekmektir [12-13]. Aşınan numunenin zımpara yüzeyinde elde ettiği aşınma mesafesi torna tezgâhındaki vida adımı ve devir/dakika hesabıyla tespit edilmiştir.



Şekil 2. Abrasiv aşınma mekanizması [11]

Ramor 500 mikroalaşımli çeliğin Taguchi dizaynı, Minitab 14 paket programından faydalanılarak yapılmıştır. Bu işlem için Tablo 3’de verilen parametreler ve seviyelerinin $L_{16}(4*2, 2*2)$ Taguchi dizini oluşturulmuştur. Bu parametreler dört adet numune (fırında soğutulmuş, yağda soğutulmuş, suda soğutulmuş ve ısıtılmış), dört adet aşınma mesafesi (m), iki adet yük(N) ve iki adet aşındırıcı (tane boyutu-grid) seviyeye sahip parametrelerdir.

Tablo 3. Deney numuneleri ve aşınma parametreleri

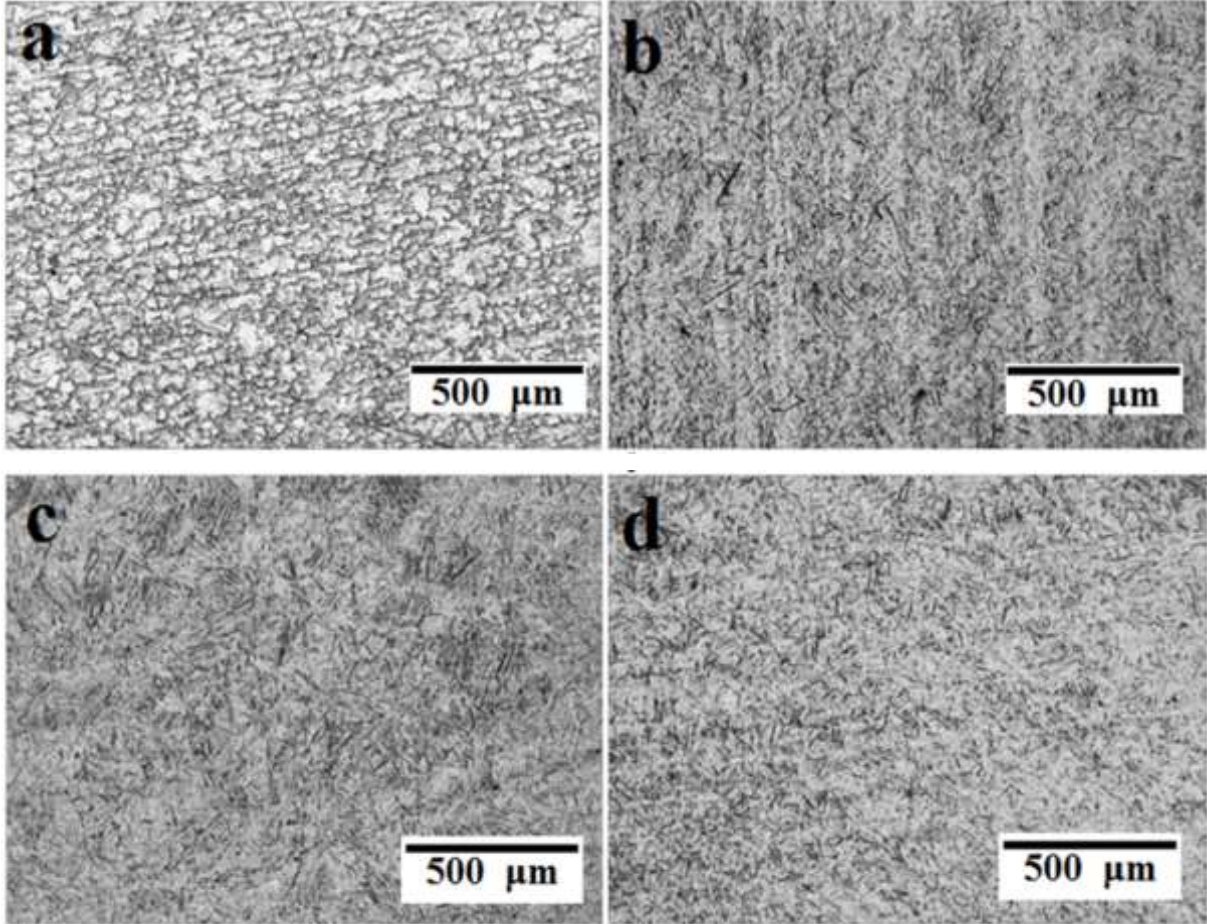
Sıra No	Parametreler			
	Numune	Aşınma Mesafesi (m)	Yük (N)	Aşındırıcı (grid)
1	1	10	6	120
2	1	20	6	120
3	1	30	16	180
4	1	40	16	180
5	2	10	6	180
6	2	20	6	180
7	2	30	16	120
8	2	40	16	120
9	3	10	16	120
10	3	20	16	120
11	3	30	6	180
12	3	40	6	180
13	4	10	16	180
14	4	20	16	180
15	4	30	6	120
16	4	40	6	120

Kaplama tabakalarının abrasiv aşınma direnci, bu orthogonal dizin kullanılarak en düşük en iyi kontrol özelliğiyle deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Taguchi metoduyla elde edilen veriler, deney sonuçlarına göre grafiksel analizleriyle değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikroyapının İncelenmesi

Isıl işlem sonrası soğutma ortamlarının farklılığı soğutma hızlarını etkilediğinden, tavlama sıcaklığından yani östenit yapıdan dönüşümler soğuma zamanına bağlı olarak homojen tamamlanamamaktadır. Bu durumda mikroyapılardaki farklılığı oluşturmaktadır. Şekil 3’de de görüldüğü gibi en yavaş soğuma hızı fırın ortamında gerçekleştiğinden taneler diğerlerine nazaran daha iri görünümündedir. En küçük tane yapısı ise ısıl işleme tabi tutulmamış numunede mevcuttur.



Şekil 3. Isıl işlem uygulanmış numunelerin mikroyapıları a) Fırın b) Yağ c) Su d) Isıl İşlemsiz

Bu mikroyapıların tamamı aynı büyütme oranlarında alınmıştır. Ancak her optik resim farklı ısıl işlem uygulanmış numuneye aittir. Şekil 3’de resmi ısıl işlemsiz numuneye aittir. Bu resimde asiküler martenzit içeren yapılar mevcuttur [21]. Isıl işlemsiz numunede yapı oldukça homojen görünümündedir. Tane boyutları ve yapıları haddeleme yönüne göre değişmemektedir. Yapı içerisinde martenzit ve östenit yapılar mevcuttur.

Isıl işlem genel olarak çelik malzemede istenilen sıcaklığa kadar çıkılması bir süre bekletilmesi ve sonra tekrar (farklı ortamlar) soğutulması esasına dayanır. Bu farklı soğutma ortamları sayesinde aynı çelik malzemeden farklı yapısal fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek mümkün olmaktadır. Ötektoid altı çeliklerde ısıl işlemler yapılırken Ac_3 sıcaklığının üzerine çıkmak gereklidir. Çünkü haddeden çıkan ürünlerde oluşan martenzit yapıları dağıtmak için östenit fazına çıkmak gerekir. Dolayısıyla Ramor 500 çeliğinin içeriğinin % 0.3 C ihtiva ettiğininde bildiğimize göre ısıl işlemlerin 900 °C civarında oluşu Ac_3 çizgisini geçmek için yeterlidir. Ancak soğutma ortamları oluşacak yeni mikroyapıların durumuna göre farklı sertlik ve mekanik özellikler göstermesine neden olur. Şekil 3’a ısıl işlem uygulanmış ancak fırın içerisinde soğutulmuş numuneye aittir. Isıl işlem için östenit fazına çıkmış numune fırın ortamında soğutulurken kısmen martenzit oluştururken östenit yapısında korumaya devam etmektedir. Östenit

yapı “a” içerisinde homojen olarak dağılmıştır. “a” resmi dikkatli incelendiğinde östenit yapılar hadde yönünde birbirine paralel uzanmıştır. Şekil 3’b de ısıtma işlemi uygulanmış yağ ortamında soğutulmuş numuneye aittir. Yapıya bakıldığında birbirine paralel bantlaşmış tanelerin görüldüğü, açık atmosferdeki soğutmaya göre daha ince taneler oluşmuştur. Şekil 3’c de ısıtma işlemi uygulanmış suda soğutulmuş numuneye ait olup, yapıdaki taneler tamamen martenzitik yapıya ulaştığından fırın, ve yağ’daki soğutma işlemindeki yapılardan daha ince taneli yapıya ulaşmıştır.

3.2. Mikrosertliğin İncelenmesi

Numunelerin 0.5 HV yükünde 0.5 mm aralıklarla 5 ayrı noktadan sertlikleri alınıp ortalama değerleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Isıtma işlemi uygulanmış numunelerin mikro sertlik işlemleri

Isıtma işlemi sonrası suya çekilmiş numunenin soğuma hızı yağda soğutma işlemine göre 3 kat daha hızlıdır. Bu sebeple suda soğutma yağda soğutmadan daha fazla sertlik değeri Şekil 4’de görüldüğü gibi ortaya çıkmıştır. En düşük soğuma hızı ise fırın ortamında gerçekleştiğinden en düşük sertlik değeri fırın ortamında oluşmuştur. Bu sebeple yüksek hızlı soğutma, malzemenin sertliğinde görüldüğü gibi önem arz etmektedir. Sertlik analizleri sonucunda, ısıtma işlemi görmüş numunelerin ısıtma işlemi görmemiş ana numuneden düşük çıkmasının nedeni, Ramor 500 zırh çeliğinin üretici firma tarafından yapılan farklı özel ısıtma işlemlerinin olduğudur.

3.3. Abrasiv Aşınma Sonuçlarının Taguchi Metoduyla İncelenmesi

Tablo 3’deki parametreler ve seviyesine göre yapılan abrasiv aşınma işlemleri karışık orthogonal $L_{16}(4*2, 2*2)$ dizinine göre yapılmıştır. Tablo 4’de abrasiv aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma kütle kayıpları ve S/N oranları verilmektedir. Tablo 5’de abrasiv aşınma işlemi sonunda elde edilen en küçük en iyi (the smallest, the best), ilkesiyle çalışan sisteme göre, faktör seviyelerine göre S/N oranları verilmektedir. İşlemden S/N oranlarının ortalaması -35,4307 dB olarak hesaplanmıştır.

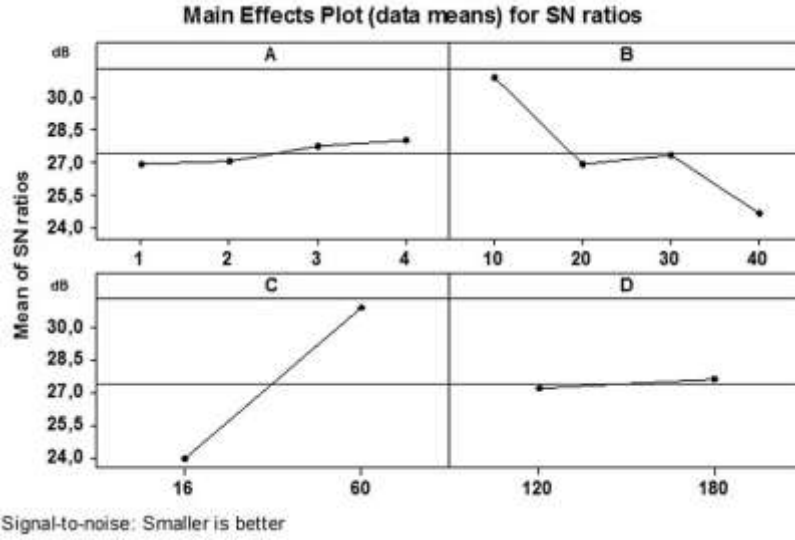
Tablo 4. Numunelerin deneysel kütle kaybı oranı ve S/N oranının hesaplanması

Sıra No	Kontrol Faktörleri				Ölçülen Kütle Kaybı (gr)	S/N Oranı
	A	B	C	D		
1	Fırın	10	6	120	0,0189	-40,72424345
2	Fırın	20	6	120	0,0307	-40,17547849
3	Fırın	30	16	180	0,0808	-27,01330283
4	Fırın	40	16	180	0,0888	-24,42251056
5	Yağ	10	6	180	0,0235	-41,83029962
6	Yağ	20	6	180	0,0302	-38,06179974
7	Yağ	30	16	120	0,0621	-31,83520069
8	Yağ	40	16	120	0,0881	-30,78204314
9	Su	10	16	120	0,0421	-38,93843113
10	Su	20	16	120	0,0784	-31,83520069
11	Su	30	6	180	0,0218	-36,02685826
12	Su	40	6	180	0,0393	-34,47076392
13	Isıl İşlemsiz	10	16	180	0,0355	-35,54567058
14	Isıl İşlemsiz	20	16	180	0,0568	-34,51684301
15	Isıl İşlemsiz	30	6	120	0,0315	-40,17547849
16	Isıl İşlemsiz	40	6	120	0,0389	-40,53744293

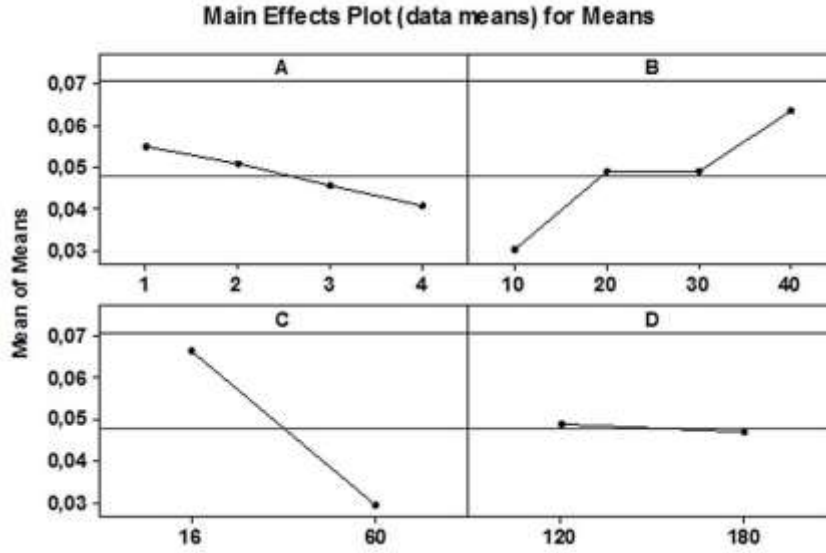
Tablo 5. Numunelerin ve seviyelerinin S/N tablosu

Parametreler	S/N oranı			
	Seviye I	Seviye II	Seviye III	Seviye IV
A	26,90	27,05	27,74	28,04
B	30,89	26,92	27,31	24,61
C	23,96	30,91		
D	27,23	27,64		

Tablo 4 ve Tablo 5’de kontrol faktörü olarak seçilen verilerin, abrasiv aşınma direnci sonucu elde edilen kütle kayıpları hesaplanarak S/N oranları tablosu yapılmıştır. Her kontrol faktörü için S/N oranında en büyük değere sahip olan seviye, o faktör için en iyi seviye anlamına gelmektedir. Tablo 5 bu şekilde oluşturulmuştur [5-7]. Dolayısıyla A1B2C1D1 denklemi optimum şartların sağlandığı değerlerdir. S/N oranın sonucu büyük çıktığı seviye tüm faktörlerin seviyeleri karşılaştırılırsa o seviye en optimum seviyeyi vermektedir. Şekil 5’de çalışmanın S/N oranlarının, kontrol faktörleri ve seviyeleri arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekil 6’da ise mikro alaşımlı Ramor 500 çeliğinin Taguchi dizaynına göre aşındırıldıktan sonra, bu numunelerin faktör ve seviyelerin abrasiv aşınma direncinde kütle kaybına etkileri görülmektedir.

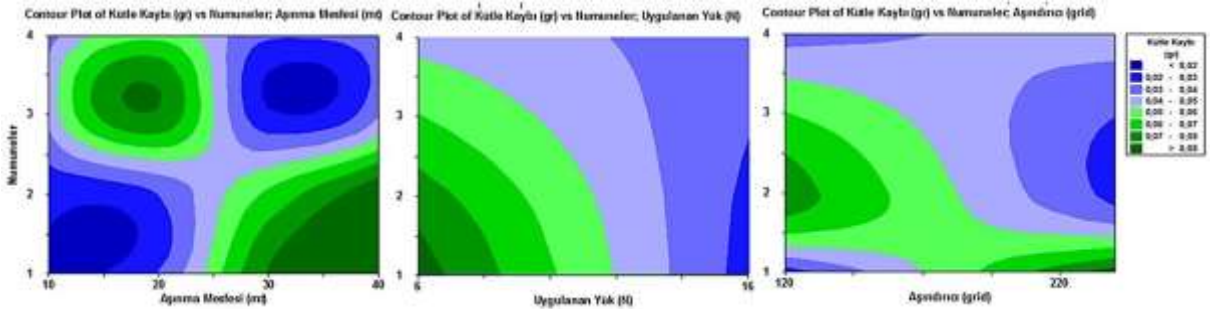


Şekil 5. Numunelerin S/N oranları etki grafiği (dB)



Şekil 6. Numunelerin gerçek kütle kaybı oranları etki grafiği (gr)

Şekil 7’de kütle kaybının kontrol faktörleri üzerindeki etkisi countour plot renk dağılımı metoduyla verilmiştir. Bu grafiklerde kaplama tabakasının diğer her bir kontrol faktörünün kütle kaybına olan etkisi harita olarak verilmiştir.



Şekil 7. Numunelerin kütle kaybının Contour Plot renk grafiği

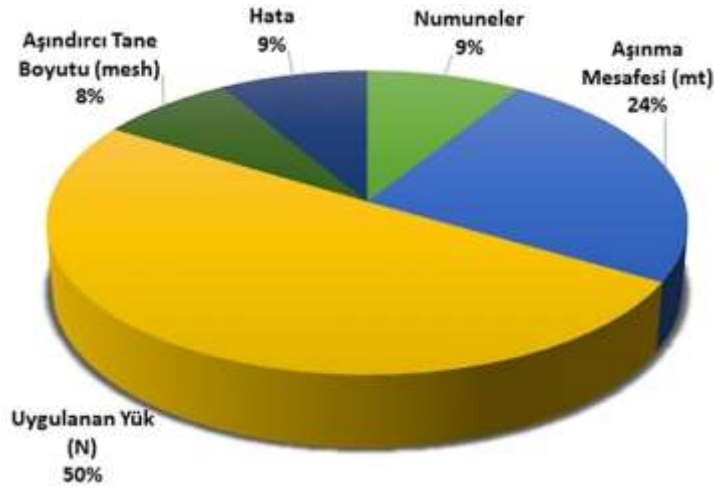
Abrasive aşınma davranışının yapılan varyans analizleri sonuçlarında faktörlerin aşınma direnci üzerindeki etkileri sayısal olarak hesaplanmıştır. Varyans analizi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Numunelerin kütle kaybı Varyans analizi sonuçları

Sembol	Df	Ss	Variance	F	p ^a (%)
Numuneler	3	42,72337	14,24112	6,232047	8,946156
Aşınma Mesafesi (m)	3	104,947	34,98234	15,3086 ^b	24,46594
Uygulanan Yük (N)	1	203,8696	203,8696	89,21521 ^b	50,27905
Aşındırıcı Tane Boyutu (mesh)	1	33,39531	33,39531	14,6141 ^b	7,759476
Hata	7	15,99601	2,285144	0	8,549384
TOPLAM		400,9313			

Df ; Serbestlik derecesi; ss; Kareler Toplamı; a Katkı Oranı, b 99 % Güven seviyesi

Ayrıca kontrol faktörlerinin aşınma direncine yüzde olarak etkileri ve hata yüzdesi grafiksel olarak Şekil 8'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde bütün faktörlerin sonuç üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi uygulanan yük %50 oranıyla en büyük etkiye sahiptir.



Şekil 8. Numunelerin kontrol faktörlerinin aşınma direncine % etkisi

S/N oranı grafikleri incelendiğinde en optimum seviyelerin A4B1C1D2 olduğu görülmektedir. Bu seviyelerdeki optimum S/N oranının elde edilmesinde 1 nolu denklem kullanılmıştır.

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \quad (1)$$

η_{opt} , optimum S/N oranını, η_m , ortalama S/N oranlarının ortalaması, η_i her bir parametrenin ideal olan seviyesinin S/N oranını göstermektedir. Yapılan hesaplamada optimum S/N oranı 16. satırda -25,19206145 dB bulunmuştur. Bu denklemden elde edilen optimum S/N oranı en küçük en iyi (the smallest, the best), kalite karakteristiğine göre optimum ortalama aşınma miktarının hesaplanması sağlanmıştır.

$$Wear_{opt} = \sqrt{10^{-\frac{\eta_{opt}}{10}}} \quad (2)$$

2.nolu denklemde $Wear_{opt}$, optimum ortalama aşınma miktarını ifade etmektedir. Optimum ortalama aşınma miktarı 16. satırda 0,055004336 gr olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuçlar

Aşınma, yüzeyler birbirine temas ettiğinde ortaya çıkar. Temas yüzeyinden aşınma kaybı getirir. Az mukavemet, aşınma direncinde az dayanıklılığa sebebiyet verir. Yüke dayanmak, sertliğini arttırmak, korozyon direnci sağlamak için uygun alaşımlı malzeme seçimi esas temeldir. Bu çalışma sonucunda;

- Yapılan ısıl işlemler sonrasında sertlik değerlerinde esas metalin altında kalınmıştır. Çünkü Ramor 500 serisi çeliklerde üretimde kullanılan soğutma sistemleri ticari sır olarak saklanıyor.
- Seçilen bütün parametrelerin aşınmaya etkisi olmuştur.
- Kütle kaybının kontrol faktörleri üzerindeki etkisi contour plot renk dağılımı metoduyla gözlemlenmiştir.
- Yapılan Varyans analizine göre aşınmaya en yüksek etkiyi uygulanan yükler, en düşük etkiyi ise numuneler yapmıştır.
- S/N grafikleri incelendiğinde en optimum seviyelerin A1B2C1D1 olduğu görülmüştür.
- Optimum aşınma oranı 16. satırda 0,055004336 gr olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; ısıl işlem Hardox 400 çeliğin aşınma özelliklerine çok etki etmemiştir. Çünkü Varyans analizinde numunelerin % 9 gibi çok küçük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu durumda da olsa sonuçlar göz ardı edilmeyecek olan sertlik değerlerinde belirgin düşüşe sebep olmaktadır. Bu durum en çok kaynaklı birleştirmelerde ITAB oluşan mikroyapısal değişimlerde kaynaklı birleştirmelerin mukavemet özelliklerinde sıkıntıya sebep olabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi tarafından TEKF. 16.24 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Memiş İ. 2016. Impact Response Of Ramor 500 Armor Impact Response Of Ramor 500 Armor Steel Subjected To High Velocities. Graduate School of Natural and Applied Science of Dokuz Eylül University In Partial Fullfilment of the Requirements for the Master of Science of Mechanical Engineering, Mechanic Program, İzmir.
- [2] Karagöz Ş., Atapek Ş.H., Yılmaz A. 2008. Zırh çeliklerinde perforasyon ve balistik korumanın anlaşılması açısından fragtografik etüd. Metal Dünyası, 182: 102-107.
- [3] Taskaya S., Gur A.K., Orhan A. 2019. Joining of Ramor 500 Steel by Submerged Welding and its Examination of Thermal Analysis in Ansys Package Program. Thermal Science and Engineering Progress, 11: 84-110.
- [4] Lane R., Craig B., Babcock W. 2002. Materials for Blastand Penetration Resistance, The Amptiac Quartely, 6 (4): 39-45.
- [5] Sangoy L., Meunier Y., Pont G. 1988. Steelsfor Ballistic Protection. Israel Journal of Technology, 24: 319-326.
- [6] Ade F. 1991. Ballistic Qualification of Armor Steel Weldments. Welding Journal, 70: 53-58.
- [7] Jacobi H., Batinmann H.J., Gronsfeld J. 1988. New Method of Determining the Macrocleanness of Unconventionally Rolled Continuously Cast Steel. StahlEisen, 108 (20): 54-66.
- [8] Taguchi G. 1988. Introduction To Taguchi Methods., Eng., 228 (1).
- [9] Savas V., Ozay C., Ballikaya H. 2016. Experimental investigation of cutting parameters in machining of 100Cr6 with tangential turn-milling method. Adv. Manuf., 4 (1): 97-104.
- [10] Ross P.J. 1998. Taguchi Techniques for Quality Engineering, Loss Fuction, Orthogonal Exp. Param. Toler. Des., p: 279, McGraw-Hill, New York.
- [11] Gür A.K., Yıldız T., Kati N., Kaya S. 2019. Microstructure and wear of FeCrC, SiC and B4C coated AISI 430 stainless steel. Materials Testing, 61 (2): 173-178.
- [12] Ozay C. 2014. Investigating the Surface Roughness after Tangential Cylindrical Grinding by the Taguchi Method. Materials Testing, 56 (4): 306-311.
- [13] Yıldız T., Gür A.K., Aba S. 2014. Examination of the Wear Behavior of Cu-Ni/B4Cp Composite by the Taguchi Method. Materials Testing, 56 (11-12): 1009-1014.

- [14] Gajjal S.Y., Unkule A.J., Gajjal, P.S. 2018. Taguchi technique for dry sliding wear behavior of PEEK composite materials. *Materials Today: Proceedings*, 5 (1): 950-957.
- [15] Paturkar A., Mache A., Deshpande A., Kulkarni A. 2018. Experimental investigation of dry sliding wear behaviour of jute/epoxy and jute/glass/epoxy hybrids using Taguchi approach. *Materials Today: Proceedings*, 5 (11): 23974-23983.
- [16] Hofinger M., Staudacher M., Ognianov M., Turk C., Leitner H., Schnitzer R. 2019. Microstructural evolution of a dual hardening steel during heat treatment. *Micron*, 120: 48-46.
- [17] Atapek Ş.H. 2011. Bor katkılı bir zırh çeliğinin fiziksel metalurjik esaslar doğrultusunda geliştirilmesi ve balistik performansının değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [18] Atapek Ş.H. 2006. Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit.
- [19] Karakoç H., Ulutaş A., Çinici H. 2019. B4C/SiC/Al₂O₃ Parçacık Takviyelendirilmiş Alüminyum Sandviç Köpük ile Ramor 500 Zırh Çeliğinin bir araya getirilmesi ve Balistik Performansının Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 22 (3).
- [20] Cengiz M.H. 2018. Hardox 400 Çelik Yüzeyinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Alaşımlandırılması ve Taguchi Metoduyla Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [21] Balakrishnan M., Balasubramanian V., Madhusudhan Reddy G. 2013. Microstructural Analysis Ballistic Tests on Welded Armor Steel Joints. *Metallogr. Microstruct. Anal.*, 2: 125–139.
- [22] Taşkaya S., Gür A. 2019. Ramor 500 Zırh Çeliğinin Tozaltı Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Tel İlerleme Hızının Kaynak Metalindeki Nüfuziyet Dengesinin İncelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (2).
- [23] Taşkaya S., Yıldız T., Gür A. 2018. The Effect of Voltage on Joining of Ramor 500 Armor Steel With Submerged Arc Welding Method. *Sakarya University Journal of Science*, 22 (2): 357-363.

Araştırma Makalesi / Research Article

Diferansiyel Gelişim Algoritma Tabanlı Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi ile Kısa Dönem Rüzgar Hızı Kestirimi

Emrah DOKUR¹, Uğur YÜZGEÇ², Mehmet KURBAN^{1*}

¹*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye*

²*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID:0000-0002-4576-1941) (ORCID:0000-0002-5364-6265) (ORCID:0000-0003-2618-2861)*

Öz

Üretim planlaması ve güç sistemlerinin yönetilmesi açısından rüzgar enerji sistemlerinden üretilecek elektrik enerjisinin belirli periyotlar için tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, asimetrik ve kararsız yapıdaki rüzgar hızı verilerinin hassas bir şekilde tahmin edilebilmesi için bir çok farklı rüzgar hızı kestirim yaklaşımları önerilmiştir. Bu çalışma kapsamında, diferansiyel gelişim algoritması (DE) yaklaşımı ile optimize edilen uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak kısa dönemli (1 saat) rüzgar hızı tahmin modelleri geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan yöntemde, diferansiyel gelişim sezgisel yaklaşımı kullanarak model parametreleri kısa dönemli rüzgar hızı tahmini için belirlenmiş ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Önerilen yaklaşımın tahmindeki performans kriterlerini doğrulamak için Bilecik ilinde bulunan bir gözlem istasyonundaki rüzgar hızı serileri kullanılmıştır. ANFIS model parametrelerinin optimizasyonunda kullanılan sezgisel algoritma 10 kez tekrarlı bağımsız olarak çalıştırılmış ve eğitim-test performans sonuçları istatistiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca önerilen hibrit modelin performansı literatürde iyi bilinen Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilen ileri beslemeli yapay sinir ağı (ANN) sonuçları ile de karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Diferansiyel Gelişim Algoritması, ANFIS, Rüzgar Hızı Kestirimi, ANN.

Short-Term Wind Speed Forecasting Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based on Differential Evolution Algorithm

Abstract

The electrical energy to be produced from wind energy systems should be estimated for some periods in order to generation planning and power systems management. In this context, many different wind speed forecasting approaches have been proposed for accurate estimation of asymmetric and unstable wind speed data. In this paper, short-term (1h) wind speed forecasting models have been developed by using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) based on Differential Evolution Algorithm (DE). In this paper, the model parameters have been determined by differential evolution heuristic approach for short-term wind speed forecasting and analyzed comparatively. To validate the effectiveness of the proposed approach, wind speed series collected from a wind observation station located in Bilecik, Turkey are used in the short-term wind speed forecasting. The meta-heuristic algorithm used in the optimization of ANFIS model parameters are run 10 times independently and the performance results are calculated statistically for training and test phases of ANFIS model. The performances of proposed hybrid models are also compared with the well-known feed forward ANN model which is trained by Levenberg-Marquardt in the literature.

Keywords: Differential Evolution Algorithm, ANFIS, Wind Speed Forecasting, ANN

*Sorumlu yazar: mehmet.kurban@bilecik.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.03.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

1. Giriş

İklimdeki endişe verici değişiklikler ve artan nüfusa bağlı olarak, enerji üretim süreçlerinden kaynaklanan emisyonların çevre açısından değerlendirildiğinde giderek azaltılması talep edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisinin üretimi dikkate değer düzeyde bu emisyonların azaltılmasını bizlere sunmaktadır [1]. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinde biri olan rüzgar enerjisinin de kullanımı hızla artmaktadır. Global rüzgar enerjisi konseyi (GWEC) raporuna göre, dünyada 2017 yılında kurulan rüzgar enerji sistemlerinin kurulu gücü 52.492 MW iken global bazda toplam kümülatif kurulu güç değeri 539.123 MW'a ulaşmıştır. Kıtalar bazında 2017 sonu itibarıyla, Asya ve Avrupa kıtaları sırasıyla 228.684 MW, 177.506 MW değerleri ile en yüksek toplam kurulu güce sahiptir [2]. Ülkeler açısından Çin ve Amerika dünya genelinde yaklaşık olarak toplam kurulu gücün %52'sini oluşturmaktadır. Türkiye ise 2017 yılında yeni kurulan rüzgar enerji dönüştürme sistemleri açısından dünyada ilk 10 arasında yer almaktadır. 2018 ilk yarısında toplam kümülatif kurulum değeri Türkiye için 7.012,75 MW a ulaşmıştır. Türkiye'de Temmuz 2018 verilerine göre inşa halinde 885,27 MW'lık rüzgar enerji santrali yer almaktadır. Türkiye'nin ulusal hedefi 2023 yılı itibarıyla rüzgar gücü için 20 GW değerine ulaşmaktır [3].

Rüzgarın anlık değişim gösterebilen kesikli, asimetrik ve kaotik bir yapıya sahip olması rüzgar gücü tahminini güçleştirmekte ve enerji üretimi açısından öngörülebilirliğe engel olmaktadır. Rüzgar hızının ve buna bağlı olarak da rüzgar gücünün hassas bir şekilde tahmini; kurulması düşünülen rüzgar çiftliklerinin konumlarının belirlenmesi, verimli yönetimi, teknik servis talebi ve maliyeti, enerji birim maliyetlerinin önceden şekillendirilmesi, etkili ve verimli enerji piyasası, trafo merkezlerine aşırı yüklenme risklerinin en aza indirilmesi, rüzgar santrallerinin şebeke ile güvenli bağlantı kurabilmesi açısından da büyük öneme sahiptir [4].

Günümüzde, kısa dönemli rüzgar hızı tahminleri üzerine araştırmalar dikkat çekmektedir [5]. Literatürde, rüzgar hızı ve enerjisi tahmini için bir çok farklı yöntem kullanılmaktadır [6-10]. Bunlar, sayısal hava tahmin modelleri, istatistiksel yaklaşımlar ve hibrit metotlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Sayısal hava tahminleri, sayısal prosedürler kullanılarak atmosferdeki hemen hemen tüm dinamik ve fiziksel süreçleri tanımlayan kapsamlı bir matematiksel denklemler dizisinin zaman-entegrasyonu yoluyla bir tahmin üretimi olarak tanımlanmaktadır [11]. Bu modeller, bir dizi iklimsel ve fiziksel giriş parametresi aracılığıyla rüzgardaki değişiklikleri tahmin edebilen akışkanlar mekaniğinin matematiksel modellerine dayanmaktadır [12]. Bu yöntemin en büyük dezavantajları arasında; sıcaklık, basınç ve nem gibi farklı ölçüm sistemlerine ihtiyaç duyması, işlem adım sürecinin uzun ve maliyetli oluşudur.

Literatürde rüzgar hızı tahmini üzerine yapılan çalışmalarda, istatistiksel yaklaşımlar zaman serisi analizleri üzerine olmakta iken, daha sonraki yıllarda hızla akıllı sezgisel yaklaşımlar üzerine yoğunlaşmakta ve son yıllarda hibrit modeller oldukça sık kullanılmaktadır [13-15]. Cadenas ve Rivera kısa dönem rüzgâr hızı tahmin analizlerini Meksika'da yer alan La Venta, Oaxaca bölgesinden alınan saatlik rüzgâr hızı verileri ile yapay sinir ağları kullanarak gerçekleştirmişlerdir [16]. Bu çalışmalarında 2 ve 3 katmanlı 3, 4, 6 ve 7 nöron sayısına sahip farklı yapay sinir ağı modelleri oluşturularak kısa dönemli tahminler yapılmıştır. Ocak ayına ait saatlik alınan 744 verinin 550 verisi eğitim, geri kalanı ise test verisi olarak seçilmiştir. Yapılan karşılaştırmalı analizlerde 2 katmanlı 3 nöronlu modelin diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Catalão ve arkadaşları, rüzgar gücü tahminini Portekiz verileri kullanarak kısa dönemli olarak gerçekleştirmişlerdir [17]. Önerilen yapay sinir ağı modeli sonuçlarına göre ortalama mutlak yüzdelik hata değerlerine bakıldığında % 7.26 hata oranı ile ortalama 5 sn'den kısa sürede hesaplanan rüzgâr gücü tahminini yapmışlardır. Moustris ve arkadaşları, güneş ve rüzgar enerji santrallerini bir arada bulunduran hibrit güç istasyonlarının optimum düzeyde çalıştırılması için yapay sinir ağlarını kullanarak 800kW'lık bir rüzgar türbinine sahip olan Yunanistan'ın Tilos adası için 24 saatlik kısa dönemli rüzgar hızı tahmini geliştirmişlerdir [18]. Yapay sinir ağının giriş verisinde geçmiş rüzgâr hızı verilerini kullandıkları gibi aynı zamanda hava basıncı değerinden de yararlanmışlardır. Sonuçlar ele alındığında, tahmin yöntemlerinin otomatik bir rüzgar gücü bilgi sistemini tasarlamak için yeterli sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Türkiye'de yapılan çalışmalara bakıldığında; Akıncı, farklı yapay sinir ağı modelleri kullanarak Batman bölgesi için kısa dönemli rüzgar hızı tahmini gerçekleştirirken, Nogay ve arkadaşları benzer analizler kullanarak Mardin bölgesi için çalışmalarını yapmışlardır [19,20]. Bilgili ve arkadaşları yapay sinir ağlarını kullanarak Türkiye'deki Akdeniz bölgesinde bulunan 8 farklı ölçüm istasyonundaki verilerden yararlanarak rüzgar hızı tahmini üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Eğitim algoritması olarak esnek yayılım kullanılmıştır.

Çalışmalarındaki hata performans kriterleri en çok %14,13 ile Antakya’da, en az hata ise %4,49 ile Mersin’de elde edilmiştir. Bu sonuçlar ANN modellerinin rüzgar hızı tahmininde başarılı sonuçlar ürettiğini göstermiştir [21].

Rüzgar hızı tahmini üzerine yapılan çalışmalarda farklı yöntemlerin birlikte kullanılarak daha hassas yaklaşımlar ile kestirimlerin hibrit bir yapıda gerçekleştiği görülebilir [22]. Gerek zaman serisi analizleri gerekse akıllı sezgisel yaklaşımlarda, farklı ayırıştırma metotları veya farklı optimizasyon teknikleri ile birlikte hibrit kullanımı daha hassas modellerin kurulabilmesi açısından önemlidir. Rüzgar hızı tahmini üzerine yapılan hibrit yaklaşımlarda, görgül kip ayrışımı, dalgacık dönüşümü gibi farklı ayırıştırma tekniklerini kullanarak orijinal işaretler ayrıştırılıp akıllı sezgisel yaklaşımlar ile bir arada kullanıldığı da görülmektedir [23]. Diğer hibrit yaklaşımlar ise farklı sezgisel metotlar kullanılarak optimize edilen yapay sinir ağları, uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) veya çok katmanlı algılayıcı (MLP) sistemlerin parametrelerinin optimize edilerek yapılan tahmin işlemlerdir. Wang ve diğerleri, Diferansiyel gelişim algoritmasını birleştiren bir hibrit yük tahmin modeli önermekte ve bu problemi çözüm önerisi noktasında vektör regresyonunu desteklemektedir. Burada DE, destek vektör makineleri için yük tahmin modeli amacıyla uygun parametreleri seçmek için kullanılır. Bu modelin etkinliğini ise geri yayılım yapay sinir ağı kullanarak karşılaştırmışlar ve önerilen hibrit yaklaşımın yük tahmininde iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir [24].

Yapılan bu çalışmada, kısa dönem rüzgar hızı tahmini için hibrit ANFIS modeli önerilmiştir. ANFIS modelinin ağırlık ve kural parametrelerinin optimizasyonunda diferansiyel gelişim algoritması kullanılmıştır. Önerilen hibrit ANFIS yapısı ve yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulan model ile de rüzgar hızı tahmini için karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

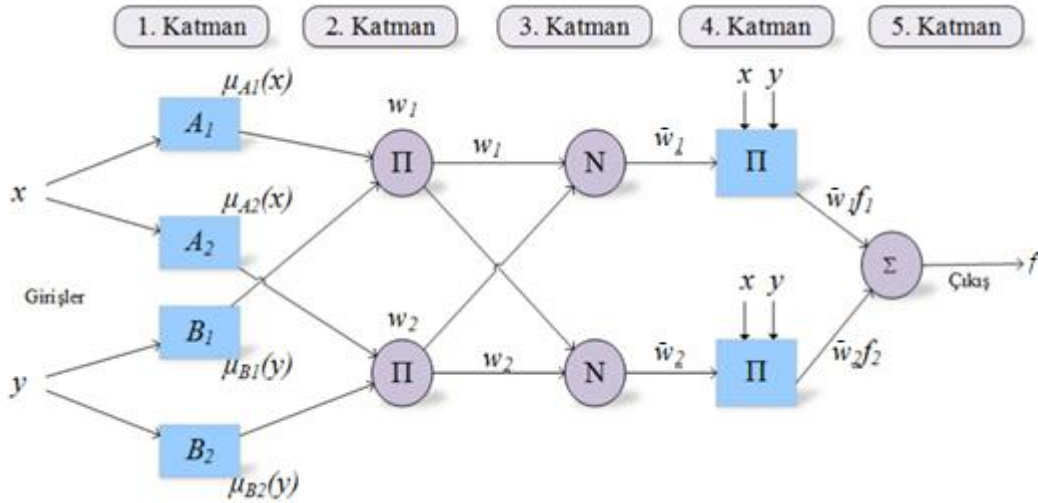
Bu çalışmada Bölüm 2 ve 3’de sırasıyla uyarlamalı bulanık çıkarım sistemi ve diferansiyel gelişim algoritması sunulmuş; Bölüm 4’ de ise diferansiyel gelişim algoritması ile optimize edilmiş ANFIS hibrit modeli uygulama sonuçları ile birlikte verilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve gelecek çalışmalara ilişkin yorumlar ele alınmıştır.

2. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi

Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), yapısında hem bulanık mantığı hem de yapay sinir ağlarını barındıran Sugeno tipi bulanık sisteminin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısını temsil etmektedir [25]. Bulanık sinir ağı olarak yapılan tanımlamada bulanık sistemin kombinasyonu olarak ifade edilmektedir. ANFIS yapısında uyarlamalı sistemlerden yararlanan bulanık Sugeno modeli öğrenme ve adaptasyon işlemlerini kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Böylece hibrit yaklaşım ile bulanık mantık daha sistematik ve tecrübeye daha az bağlı hale getirilmektedir [26]. Burada ki temel amaç, giriş-çıkış veri kümelerini kullanarak bir öğrenme algoritması vasıtasıyla eşdeğer bulanık mantık sisteminin parametrelerini optimize etmektir. Parametrelerin en iyilime durumu, hedefteki çıkış ile gerçek değer arasındaki hatanın minimize edilmesine dayanmaktadır [27].

Şekil 1’de birinci derece bulanık Sugeno modeli için olası ANFIS mimarisi iki bulanık kurala bağlı olarak verilmiştir

ANFIS modelinin katmanlarına baktığımızda, bulanıklaştırma işlemi giriş verilerine üyelik fonksiyonları uygulanarak 1. Katmanda yapılırken, bulanık mantık çıkarım sistemine göre 2. kurallar oluşturulur. Kural katmanından gelen her bir düğüme, ağırlıklı ortalama ile normalizasyon işlemi 3. katmanda uygulanır. Bulanık sonuçlar 4. katmanda nümerik değerlere dönüştürülür ve son adımda 5. katmanda tüm düğümlerin çıkış değerleri toplanarak sistemin tek çıkış değeri üretilir [28].



Şekil 1. 2 Giriş ve 1 çıkışlı ANFIS yapısı [29].

Tüm katmanlar aşağıdaki denklemlerle verilebilir:

$$\mu_{A_i}(x) = e^{\left(\frac{-(x-c_i)^2}{2\sigma_i^2}\right)}, i = 1,2 \quad (1)$$

$$\mu_{B_{i-2}}(y) = e^{\left(\frac{-(y-c_i)^2}{2\sigma_i^2}\right)}, i = 3,4 \quad (2)$$

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), i = 1,2 \quad (3)$$

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i}, i = 1,2 \quad (4)$$

$$f_i = p_i x + q_i y + r_i, i = 1,2 \quad (5)$$

$$\bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), i = 1,2 \quad (6)$$

$$z = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

ANFIS'in ilk katmanında yer alan Eşitlik (1) ve (2)' de gösterilen, c_i ve σ_i önceden belirlenmiş geçmiş parametreleri ve μ üyelik fonksiyonunu gösterir. İkinci katmandaki öncül kural sonuçları Eşitlik (3)' de gösterilmiştir. Ortalama öncül sonuçlar (\bar{w}_i) üçüncü katmanın çıkışında hesaplanır. Eşitlik (5)'deki p_i, q_i, r_i sonuç parametrelerini gösterirken, f_i Sugeno tip bulanık sistemin kurallarını göstermektedir. Uygulama ve kural sonuçlarının değerlendirilmesi, son katmanın çıktısında sunulmuştur.

3. Diferansiyel Gelişim Algoritması

Diferansiyel gelişim algoritması (DE) popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniği olup, Rainer Storn ve Kenneth Price tarafından ortaya atılan Chebyshev polinomsal uyum problemini çözme amacı ile geliştirilmiş bir optimizasyon tekniğidir [30-31]. Genetik algoritmalarda kullanılan çaprazlama, karşılaştırma ve mutasyon işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilir. Bu sebeple genetik algoritmalarda optimizasyon için uzun zamana ihtiyaç duyulurken DE'de ise her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanır, böylece DE'de gelişime dayalı bir strateji önerilerek problemin çözümüne daha kısa sürede ulaşılır. Algoritmada öncelikle en iyi kromozomlar başlangıç popülasyonunda seçilerek çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak yeni bir birey elde edilir. Mevcut kromozomlar arasındaki en iyi olan birey seçim operatörü de kullanılarak bir sonraki popülasyona aktarılmaktadır. Bu şekilde tüm popülasyon, istenilen iterasyon sayısı veya hata değeri sağlanıncaya kadar mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemin amacı problemin tüm koşullarını sağlayan en iyi çözüme ulaşmaktır.

DE'nin kaba kodu aşağıda verilmiştir.

Başlangıç Fazı;

WHILE

DO Maksimum İterasyon Sayısı;

Rekombinasyon Fazı (mutasyon & çaprazlama);

Değerlendirme Fazı (yeni değerleri hesaplama);

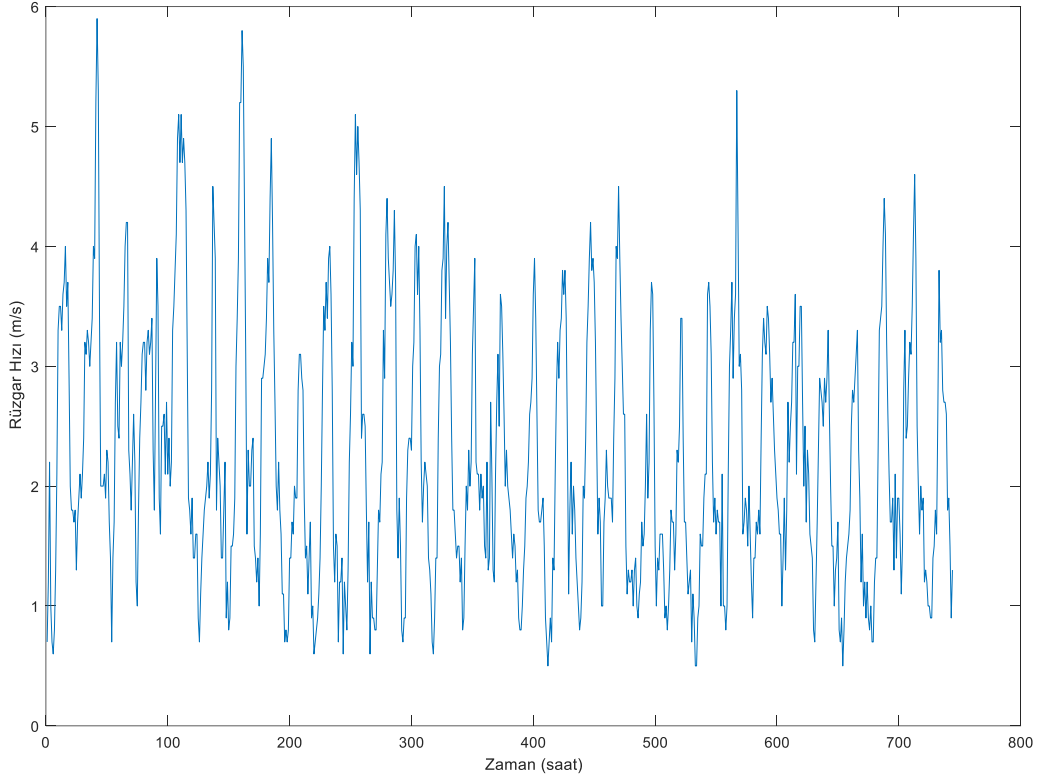
Seçim Fazı (en iyi adayı seçimi);

Şimdiye kadar elde edilen en iyi değeri sakla;

ENDWHILE;

4. ANFIS-DE Modeli Kullanılarak Kısa Dönemli Rüzgar Hızı Kestirimi

Çalışmamız kapsamında Bilecik ili gözlem istasyonundan alınan saatlik rüzgar hızı değerleri çalışmamızın veri kümesini oluşturmuştur. Bu kapsamda yapılan aylık analizde veri seti içerisinde rüzgar hızı değerlerinin bir önceki zaman, şimdiki zaman değerlerini içeren, giriş ve bir sonraki zaman dilimi ile oluşturulan çıkış yapısının toplam rüzgar hızı verisi içerisindeki %70'lik kısmı eğitim, geriye kalan %30'luk rüzgar hızı verisi ise aynı geçmiş veri tekniği referans alınarak test aşamasında kullanılmıştır. Şekil 2'de örnek bir aya ait zamana bağlı rüzgar hızı verileri yer almaktadır.



Şekil 2. Rüzgar hızı verileri

Analizlerde kullanılmak üzere seçilen ANFIS modeli Şekil 3'de gösterilmiştir. 2 giriş bir çıkışlı sistem için model oluşturulmuştur. Seçilen ANFIS model parametreleri sezgisel yaklaşımlar arasında yer alan diferansiyel gelişim algoritması ile belirlenerek kısa dönemli rüzgar hızı tahmini için hibrit bir yapı önerilmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (8)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (10)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (11)$$

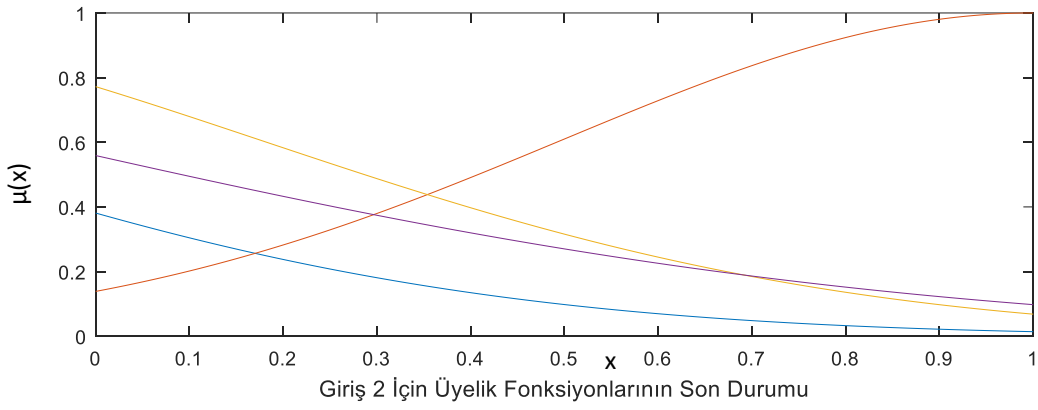
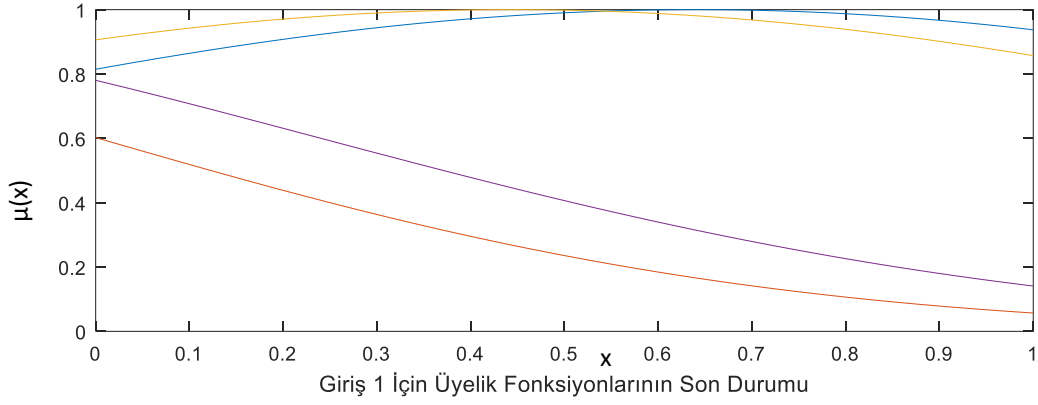
Hibrit ANFIS model kodu, Intel® (Intel Core) TM (i5-3230M CPU@2.60GHz/8.00GB RAM) olan bilgisayarda çalıştırılmıştır. Önerilen hibrit model için 10 tekrarlı analizlerde elde edilen hata performans kriterlerinin en yüksek, en düşük, ortalama değerleri ile standart sapma sonuçlarının istatistiksel bilgileri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Tekrarlı analizlerde ANFIS-DE ve ANN test ve eğitim sonuçları

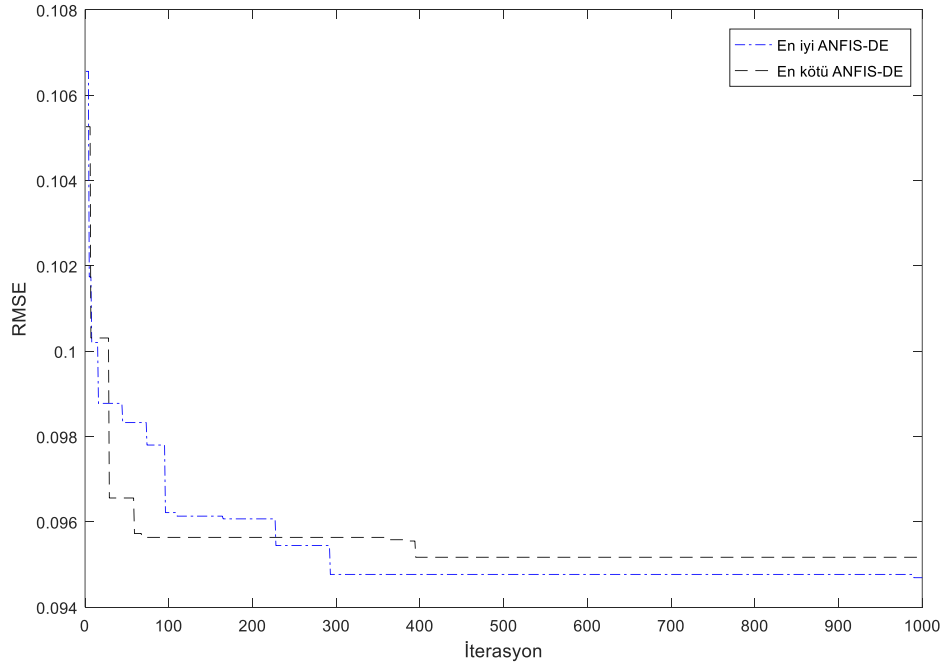
		Eğitim Sonuçları				Test Sonuçları			
		MSE	RMSE	MAE	MAPE	MSE	RMSE	MAE	MAPE
ANFIS-DE	en iyi	8.97e-03	9.47e-02	7.20e-02	%26.13	8.44e-03	9.19e-02	7.13e-02	%27.74
	en kötü	9.06e-03	9.52e-02	7.31e-02	%30.32	8.70e-03	9.33e-02	7.29e-02	%32.47
	ort.	9.01e-03	9.49e-02	7.26e-02	%27.58	8.60e-03	9.27e-02	7.22e-02	%29.22
	std.	3.22e-05	1.69e-04	3.40e-04	%1.28	1.08e-04	5.81e-04	5.55e-04	%1.46
ANN	en iyi	8.59e-03	9.27e-02	7.05e-02	%25.85	8.18e-03	9.04e-02	6.94e-02	%28.12
	en kötü	1.00e-02	1.00e-01	7.66e-02	%30.15	9.32e-03	9.65e-02	7.24e-02	%31.39
	ort.	8.95e-03	9.46e-02	7.21e-02	%27.34	8.58e-03	9.26e-02	7.11e-02	%29.42
	std.	4.43e-04	2.30e-03	1.84e-03	%1.28	3.27e-04	1.75e-03	9.96e-04	%1.19

Tablo 1’den de görülebileceği üzere ANN ve ANFIS-DE performans verilerine bakıldığında, eğitim ve test verilerinde her iki modelinde birbirlerine alternatif olarak kullanılabilenliği söylenebilir. Bu kapsamda eğitim ve test sonuçlarına göre 10 tekrarlı analizlerde birbirlerine yakın hata oranlarının yer aldığı gözlemlenmektedir.

Şekil 5’de eğitim sonunda elde edilen üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. Aynı zamanda hibrit modelin en iyi ve en kötü eğitim sonundaki yakınsama değerleri Şekil 6’da ele alınmıştır.

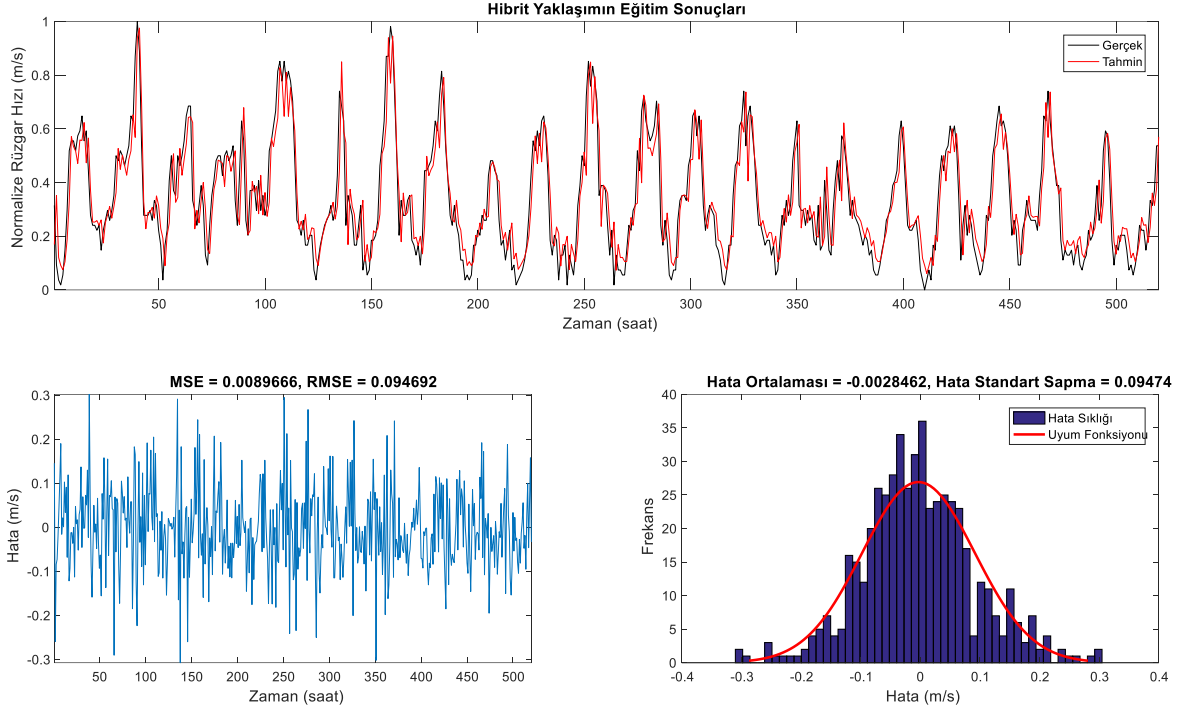


Şekil 5. En iyi ANFIS-DE eğitimi sonunda elde edilen üyelik fonksiyonları

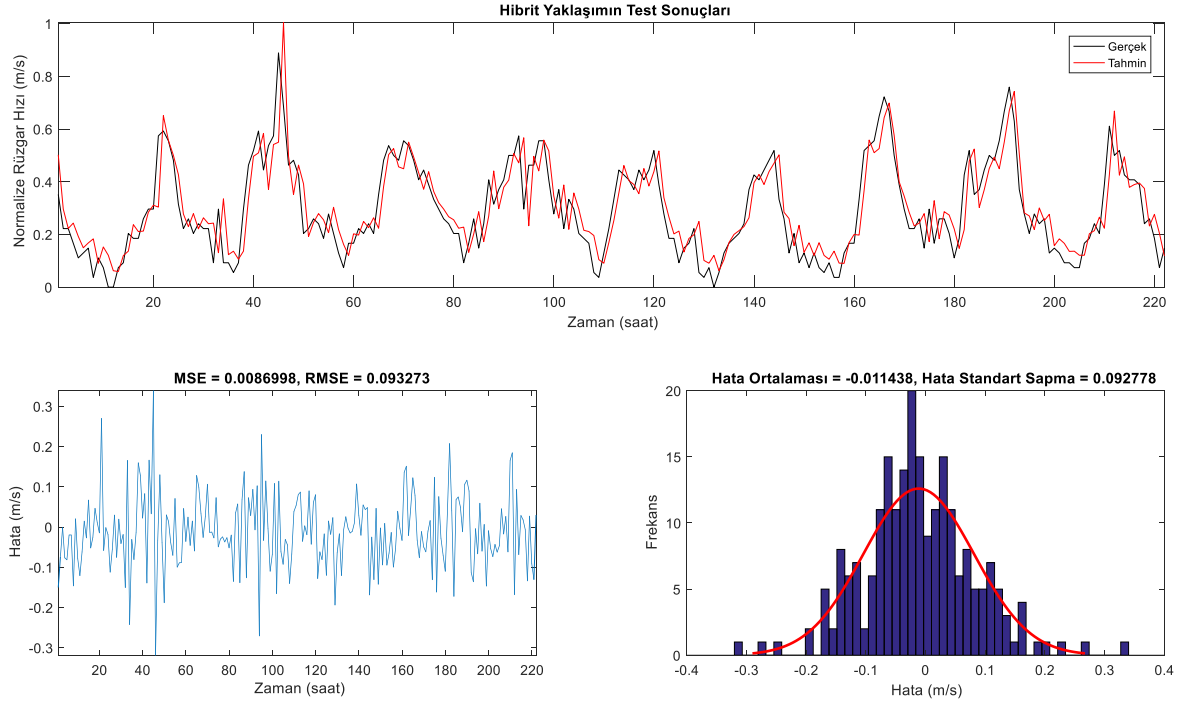


Şekil 6. En iyi ve en kötü ANFIS-DE eğitimi sonunda elde edilen yakınsama eğrileri

ANFIS-DE hibrit yaklaşımının eğitim ve test sonuçları ile hata performans analizleri kısa dönemli rüzgar hızı tahmini için Şekil 7’de gösterilmektedir. Şekil 8’den de görülebileceği üzere rüzgar hızı verilerinin ani değişim gösterdiği aşım noktalarında tahmin performansının düştüğü görülebilir.

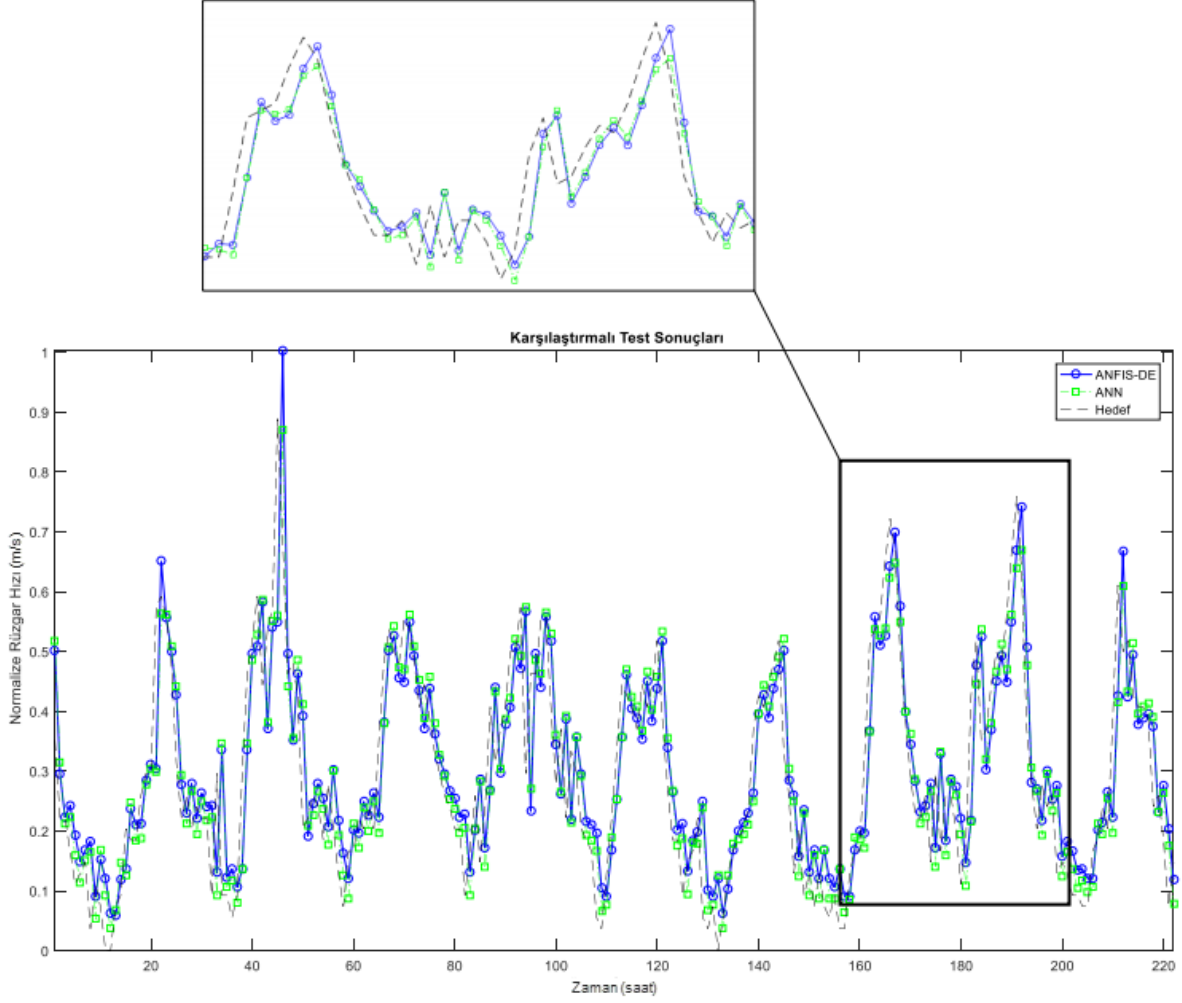


Şekil 7. Kısa dönem rüzgar hızı kestirimi için en iyi ANFIS-DE eğitim sonuçları



Şekil 8. Kısa dönem rüzgar hızı kestirimi için en iyi ANFIS-DE test sonuçları

Önerilen hibrit yaklaşım ve ANN test sonuçlarının karşılaştırmalı analiz sonuçları ise Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Kısa Dönem Rüzgâr Hızı Kestirimi için Test Sonuçları

Şekil 9'dan görülebileceği üzere, ANN'in en büyük performans avantajı rüzgâr hızı verilerinin ani değişim gösterdiği aşım noktasını ANFIS-DE'ye göre daha iyi yakalayabilmesi olmuştur. Fakat genel olarak RMSE, MSE, MAE ve MAPE performans kriterleri göz önüne alındığında bu aşım noktası dışında her iki modelde birbirlerine alternatif olarak kullanılabilirliği öngörülebilmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde artan enerji ihtiyacına paralel olarak rüzgâr enerjisi dönüştürme sistemlerinin şebekeye entegrasyonunda rüzgâr hızı tahmini büyük öneme sahiptir. Rüzgârın anlık değişim gösterebilen kesikli, asimetrik ve kaotik bir yapıya sahip olması rüzgâr gücü tahminini güçlendirmekte ve enerji üretimi açısından öngörülebilirliğe engel olmaktadır. Bu çalışmada diferansiyel gelişim algoritması (DE) ile optimize edilen ANFIS parametreleri kullanılarak hibrit model, kısa dönemli rüzgâr hızı tahmini için önerilmektedir. Rüzgâr hızı veri setinin iki giriş ve bir çıkışlı durumu için ANFIS-DE hibrit yaklaşımının hata performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde 10 tekrarlı hata performans sonuçlarının en iyi, en kötü, ortalama ve standart sapma değerleri sunulmuştur. Bu kapsamda önerilen hibrit yaklaşımın RMSE, MSE ve MAE test performans kriterlerine bakıldığında değerleri sırasıyla $8.60e-03$, $9.27e-02$, $7.22e-02$ olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmada iki girişli bir çıkışlı durum içinde yapay sinir ağları ile analizler gerçekleştirilmiş ve hibrit modellerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırma sonuçlarına göre her iki modelinde birbirlerine alternatif olarak kullanılabilirliği öngörülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, farklı giriş ve çıkış sayılarına göre ve aynı zamanda birden fazla adımlı durumlar için analizlerin yapılabilmesi hata performans kriterlerinin azalmasında rol oynayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Dinçer F., Rüstemli S., Yılmaz Ş., Çıngı A. 2017. Kilis İli İçin Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (1): 12-20.
- [2] GWEC. 2017. Global Wind Report Annual Market Update, Global Wind Energy Council.
- [3] Turkish Wind Energy Association, Turkish Wind Energy Statistics Report, 2018.
- [4] Redlinger R., Andersen P., Morthorst P. 2016. Wind Energy in the 21st Century: Economics, Policy, Technology and the Changing Electricity Industry, Springer.
- [5] Deo R.C., Ghorbani M.A., Samadianfard S., Maraseni T., Bilgili M., Biazar M. 2018. Multi-layer perceptron hybrid model integrated with the firefly optimizer algorithm for wind speed prediction of target site using a limited set of neighboring reference station data. Renewable Energy, 116 (2018): 309-323.
- [6] Su Z., Wang J., Lu H., Zhao G. 2014. A new hybrid model optimized by an intelligent optimization algorithm for wind speed forecasting. Energy Conversion and Management, 85 (2014): 443-452.
- [7] Liu H., Chen C., Tian H.Q., Li Y.F. 2012. A hybrid model for wind speed prediction using empirical mode decomposition and artificial neural networks. Renewable Energy, 48 (2012): 545-556.
- [8] Liu H., Tian H.Q., Pan D.F., Li Y.F. 2013. Forecasting models for wind speed using wavelet, wavelet packet, time series and Artificial Neural Networks. Applied Energy, 107 (2013): 191-208.
- [9] Guo Z., Chi D., Wu J., Zhang W. 2014. A new wind speed forecasting strategy based on the chaotic time series modelling technique and the Apriori algorithm. Energy Conversion and Management 84 (2014): 140-151.
- [10] Zhang C., Wei H., Zhao X., Liu T., Zhang K. 2016. A Gaussian process regression based hybrid approach for short-term wind speed prediction. Energy Conversion and Management, 126 (2016): 1084-1092.
- [11] Hu J., Wang J., Ma K. 2015. A hybrid technique for short-term wind speed prediction. Energy, 81 (2015): 563-574.
- [12] Hu J., Wang J., Zeng G. 2013. A hybrid forecasting approach applied to wind speed time series. Renewable Energy, 60 (2013): 185-194.
- [13] Rahmani R., Yusof R., Seyedmahmoudian M., Mekhilef S. 2013. Hybrid technique of ant colony and particle swarm optimization for short-term wind energy forecasting., Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 123 (2013): 163-170.
- [14] Kassa Y., Zhang J.H., Zheng D.H., Wei D. 2016. A GA-BP hybrid algorithm based ANN model for wind power prediction. Smart Energy Grid Engineering (SEGE) IEEE, 2016.
- [15] Pousinho H.M.I., Catalao J.P.S., Mendes V.M.F. 2010. Wind power short-term prediction by a hybrid PSO-ANFIS approach. MELECON 2010, 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference. IEEE, 2010.
- [16] Cadenas E., Rivera W. 2009. Short-term wind speed forecasting in La Venta, Oaxaca, México, using artificial neural networks, Renewable Energy, 34 (1): 274-278.
- [17] Catalão J.P.S., Pousinho H.M.I., Mendes V.M.F. 2009. An artificial neural network approach for short-term wind power forecasting in Portugal. Intelligent System Applications to Power Systems, ISAP'09. 15th International Conference on. IEEE, 2009.
- [18] Moustris K.P., Zafirakis D., Alamo D.H., Medina R.N., Kaldellis J.K. 2017. 24-h ahead wind speed prediction for the optimum operation of hybrid power stations with the use of artificial neural networks. Perspectives on Atmospheric Sciences, Springer, Cham, 409-414.
- [19] Akinci T.C. 2011. Short-term wind speed forecasting with ANN in Batman, Turkey. Elektronika ir Elektrotechnika, 107 (1): 41-45.
- [20] Nogay S.H., Akinci T.C., Eidukeviciute M. 2012. Application of artificial neural networks for short-term wind speed forecasting in Mardin, Turkey, Journal of Energy in Southern Africa 23 (4): 2-7.
- [21] Bilgili M., Sahin B., Yasar A. 2007. Application of artificial neural networks for the wind speed prediction of target station using reference stations data. Renewable Energy, 32 (14): 2350-2360.

- [22] Dokur E., Kurban M., Ceyhan S. 2015. Hybrid model for short-term wind speed forecasting using empirical mode decomposition and artificial neural network. Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2015 9th International Conference on. IEEE, 2015.
- [23] Liu H., Tian H., Li Y. 2015. Comparison of new hybrid FEEMD-MLP, FEEMD-ANFIS, Wavelet Packet-MLP and Wavelet Packet-ANFIS for wind speed predictions. Energy Conversion and Management 89: 1-11.
- [24] Wang J., Li L., Niu D., Tan Z. 2012. An annual load forecasting model based on support vector regression with differential evolution algorithm. Applied Energy, 94: 65-70.
- [25] Avcı E., Akpolat Z. H. 2002. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile doğru akım motorlarının hız denetimi. Pp: 193-196. ELECO'2002 ElektrikElektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Aralık, 2002, Bursa.
- [26] Özgan E., Kap T., Beycioğlu A., Emiroğlu M. 2009. Asfalt betonunda Marshall stabilitesinin uyarlamalı sinirsel bulanık mantık yaklaşımı ile tahmini. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- [27] Güney K., Sarıkaya, N., 2008. Dairesel mikroşerit antenlerin yama yarıçapının çeşitli algoritmalarla optimize edilen bulanık mantık sistemine dayalı uyarlanırlar ağlar ile hesaplanması. ELECO'2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, 26-30 Kasım, 2008, Bursa.
- [28] Haznedar B., Kalinli A. 2016. Training ANFIS using genetic algorithm for dynamic systems identification, pp. 22-26. International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16), 1-3 Eylül, 2016, Konya, Turkey.
- [29] Haznedar B. 2017. Benzetilmiş Tavlama Algoritması İle Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sisteminin (Anfis) Eğitilmesi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 174s, Kayseri.
- [30] Storn R. 1997. Differential Evolution-A Simple and Efficient Heuristic Strategy for Global Optimization Over Continuous Spaces. Journal of Global Optimization, 11: 341-359.
- [31] Yılmaz A.R. 2014. FPGA Üzerinde Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Yapay Sinir Ağı Eğitimi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 77s, İstanbul.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kalsiyum Oksalat Kristalizasyonunun Engellenmesi Üzerine Nar (*Punica granatum L*) Suyunun Etkisi: Bir Optimizasyon Çalışması

Muhammed Bora AKIN*, Hasan ÖKMEN, Seval ALKAN, Hülya TÜRKOĞLU

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çankırı
(ORCID: 0000-0003-3841-1633) (ORCID: 0000-0002-2297-3386)
(ORCID: 0000-0001-6420-2697) (ORCID: 0000-0003-0136-663X)

Öz

Ürolitiazis, idrar yollarının herhangi bir bölümünde taş oluşması veya taş bulunması durumu olarak açıklanmaktadır. İdrar taşlarının sık sık tekrarlandığı bilinmektedir ve tıbbi tedavideki ilerlemelere rağmen, bu durumun tedavisinde sonuç veren bir ilaç tedavisi bulunmamaktadır. Böbrek taşları çeşitli organik ve inorganik bileşiklerden oluşur. Kalsiyum oksalat monohidrat, (COM), böbrek taşlarının ana bileşenidir. Bununla birlikte, böbrek taşlarının oluşum mekanizmaları iyi anlaşılmamıştır. Bu bağlamda, çekirdeklenme, kristal büyümesi ve oluşan COM kristallerinin bir araya gelmesi gibi birkaç varsayım vardır. Bu nedenle çalışmalar yürütülürken doğal ve sentetik katkı maddelerinin kalsiyum oksalat (CaC_2O_4) kristalizasyonu üzerine etkilerinin araştırılması şeklinde pek çok çalışma ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada nar suyunun CaC_2O_4 kristalizasyonu üzerine engelleme etkisi araştırılmıştır. Laboratuvar ortamında belirlenmiş faktörler ışığında CaC_2O_4 kristalizasyon sürecinin nar suyu tarafından engellenmesi Taguchi ortogonal deneysel tasarımı uygulanarak araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda nar suyunun CaC_2O_4 kristalizasyonu üzerine yavaşlatma ve geciktirme etkisi olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Kristalizasyon, Engelleme, Katkı maddesi, Nar

Effect of Pomegranate (*Punica granatum L*) Juice on Inhibition of Calcium Oxalate Crystallization: An Optimization Study

Abstract

Urolithiasis is defined as the occurrence of stone or being found stone in any part of the urinary tract. It is known that urine stones are frequently repeated and, despite advances in medical treatment, there is no drug treatment that results in the treatment of this condition. Kidney stones are composed of various organic and inorganic compounds. Calcium oxalate monohydrate (COM) is the main component of kidney stones. However, the mechanisms of the formation of kidney stones are not well understood. In this case, there are some assumptions such as nucleation, crystal growth and the aggregation of formed COM crystals. In this study, the inhibitory effect of pomegranate juice on calcium oxalate (CaC_2O_4) crystallization was investigated. In the light of the factors determined in the laboratory, using Taguchi orthogonal experimental design on inhibition of CaC_2O_4 crystallization process in the presence pomegranate juice was investigated. As a result of study, pomegranate juice has a slowing and inhibition effect on CaC_2O_4 crystallization.

Keywords: Crystallization, Inhibition, Additive, Pomegranate.

1. Giriş

Böbrek taşı günümüze kadar devam edip önemini koruyan yaygın bir hastalıktır. Çünkü kesin bir ilaç tedavisi mümkün değildir ve cerrahi müdahale ile ortadan kaldırılsa da tekrarlama olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle böbrek taşı oluşumuna ait alternatif çözüm önerileri geliştirilmektedir. Böbrek taşlarının oluşumunda kalsiyum oksalat öne çıkan bileşik olup bu malzemenin kristallenmesi ardından büyümesiyle kalsiyum oksalat monohidrat (COM) ve kalsiyum oksalat dihidrat (COD) türevli böbrek taşları oluşmaktadır [1-2].

*Sorumlu yazar: mbakin@karatekin.edu.tr

Geliş Tarihi: 04.03.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

Pek çok etken kristalizasyon prosesini etkilemektedir. Sıcaklık, pH, aşırı doygunluk, karıştırma, safsızlıklar ve katkı maddeleri başlıca etkenler olarak sayılabilir. Bunların içinde kristalizasyonu en çok etkileyen katkı maddeleridir. Çekirdek oluşumu, kristal büyümesi ve kristal morfolojisi ile boyutu katkı maddeleri sayesinde kolayca değiştirilebilmektedir [3]. Ürün kalitesi ve kristalizasyon parametrelerini etkilemek için katkı maddeleri kullanılmaktadır [4]. Biyomineralizasyon sayesinde organik doku matrisi inorganik kristalleri kontrol etmektedir. Bu kontrol, kristalin çözeltide büyümesi esnasında kullanılan bazı maddelerin kristal yüzeylerine bağlanması ve kristal büyümesini engellemesiyle oluşmaktadır. Bir grubu kristal yüzeyinde ve diğer grubu çözelti içinde bulunan bu moleküller sayesinde kristali oluşturan fazın özelliklerinin etkilenebileceği düşünülmektedir [5]. Yapılan çalışmalarda polimerlerin katkı olarak kullanılmaları yeni polimerlerin üretilmesi ve bunların engelleme etkisinin incelenmesi yolunu açmıştır. Özellikle buharlaştırıcılar ve kazanlarda ısı transferine engel teşkil eden kabuk oluşumunun önüne geçmek için bir seçenek oluşturmaktadırlar [6]. Diğer yandan insan vücudunda oluşan taşları önlemeye yönelik olarak biyopolimer sentezleme yöntemleri denenirken doğada bulunan çeşitli kaynaklardan ekstraksiyon vb. süreçlerle ele geçirilen maddeler de kristalizasyonu engelleme amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmalardan birinde karahindiba ekstraktının kristalizasyona etkisi incelenmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir [7]. Yapılan çalışmalarda sentetik ve doğal katkı maddelerinin üretilmesi ve bunların engelleme etkisinin incelenmesi yolunu açmıştır.

Nar, ılıman iklimlerde yetişen bir meyve türüdür. Punicaceae ailesinden olan bu meyve, gövdesini oluşturan yüzlerce tanecikten oluşmuştur ve taneciklerin herbirinde küçük çekirdekler bulunmaktadır. Tadı yöreye ve toprak yapısıyla bağlantılı olarak bazen hafif ekşi ve bazen de tatlı olabilmektedir.

Meyvenin yenilebilir kısmı “sarcotesta” olarak isimlendirilir ve bu yenilebilir kısım, narın toplam ağırlığının %52’sini meydana getirir. 100 g nar tanesinde; 79 g su, 16,7 g karbonhidrat, 0,7 g protein ve 0,6 g yağ olduğu ve 78 kcal enerji verdiği bildirilmektedir [8-9]. Nar suyunun kimyasal bileşimi incelendiğinde genetik ve ekolojik faktörlerle bazı değişikliklerin olduğu görülür. Bu faktörlerin yanısıra, nar suyu üretim şartları da kimyasal bileşimi etkiler. Kimyasal bileşim değerleri için endüstriyel şartların uygulandığı çok sayıda nar suyu analizlerinin kullanımı bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir [10-12]. Nar suyu vitamince oldukça zengin bir karışım içerir. Bu vitaminlerin başında gelen askorbik asit, bazı nar suyu içeriklerinde ortalama 135,8 mg/L olurken başka içeriklerde 7 mg/L gibi düşük düzeylerde de görülebilmektedir. Nar suyu, vitamin B açısından da zengindir. Nar suyunun 5,73 mg/L riboflavin ve 48,5 mg/L tiamin içerdiği bir çalışmada bildirilmektedir. Aynı bölgede yetiştirilen farklı beş nar çeşidi incelendiğinde, narın C vitamini içeriği, çekirdekli taze ağırlık göz önüne alındığında 52,8-72,0 mg/100 g arasında; kabuk göz önüne alındığında ise 76,8-118,4 mg/100 g arasında değişmektedir [12]. Nar incelendiğinde laktik, tartarik, fumarik, malik ve sitrik asit başlıca organik asitler olarak sıralanabilir. Narın yenilebilir kısmını oluşturan tohumların zarlarında sitrik asit diğerlerine nazaran baskındır ve sitrik asit titrasyon asitliğinin kaynağıdır [13]. Sitrik asit miktarının değişimi, narın olgunlaşma durumu ve yetiştiği çevresel şartlara bağlıdır [14]. Çeşitler arasında asit içeriği farklılığının yüksek olması ve bulunan asit miktarlarının da geniş sınırlar arasında değişmesi nedeniyle narların sınıflandırılması yapılırken tat duyusuna dayalı olarak tatlı, ekşi, mayhoş ifadelerinin kullanılması seçilmiştir [12]. Olgunlaşma sırasında aşamalı bir şekilde asitliğin düşmesi ile toplam şeker miktarının artması söz konusudur ve bu doğal bir durumdur. Bu durum narın tat ve kokusunu sağlayan en önemli olgu olarak karşımıza çıkarken, diğer yandan asitlikteki bu değişim antosiyanin pigmentlerinin renginin değişimini de getirmektedir [15].

Kalsiyum oksalat kristalizasyonuna çeşitli nar suyunun etkisi bu çalışma kapsamında sıcaklık, nar suyu miktarı ve nar suyu türü parametre olarak seçilerek engelleme etkisi, kristalizasyon hızının değişimi ve gecikme zamanı incelenmek üzere iki cevaplı Taguchi L₉ ortogonal deneysel tasarımı kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

CaC₂O₄’ün elde edildiği deneylerde kullanılan kalsiyum klorür (CaCl₂.2H₂O) ve sodyum oksalat (Na₂C₂O₄) Sigma Aldrich’ten temin edilmiştir. Taze olarak sağlanan nar tanelerinden ayrılmış, ayrılan taneler elle sıkılarak suyu biriktirilmiştir. Daha sonra süzülerek kabuk ve diğer kısımlardan gelmesi muhtemel katı parçacıkların ayrılması sağlanmıştır. Elde edilen nar suyu bekletilmeden kristalizasyon deneylerinde kullanılırken, ayrılan bir miktar nar suyu da bir hafta sonra kristalizasyon deneylerinde

kullanılmıştır. Bu işlemlerle kullanılan nar suyu dışında ticari olarak satılan nar suyu da kristalizasyon deneylerinde katkı maddesi olarak kullanılmıştır.

Kristalizasyon deneyleri eş molaritede CaCl_2 ve $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ çözeltilerinin karıştırılması ile başlatılırken deneylerde kullanılan 1 L hacimli çift cidarlı cam reaktörün ısısının sabit tutulması için otomatik sıcaklık kontrollü su banyosu kullanılmıştır. Tüm deneylerde başlangıç konsantrasyonu $7,0 \cdot 10^{-4}$ M olan CaCl_2 ve $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ çözeltileri kullanılarak CaC_2O_4 konsantrasyonunun $3,5 \cdot 10^{-4}$ M olması sağlanırken, deney boyunca karıştırma bir manyetik karıştırıcı ile sağlanmıştır. 90 dk süren deneyler sonunda reaktör ortamının sıcaklık ve iletkenlik değerleri bir multimetre (WTW inoLab® Multi 9420 IDS) vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen iletkenlik değerleri zamana karşı grafik haline getirildikten sonra kristalizasyonun gecikme süreleri ve katkı kullanılmaksızın yapılan deneylerle kıyaslanarak yavaşlama etkileri bulunmuş ve bu sayede deneylerdeki parametrelerin kristalizasyonu engelleme etkisi ortaya çıkarılmıştır.

Deneylerde sıcaklık (30, 33,5 ve 37 °C), katkı miktarı (25, 50 ve 75 mL) ve nar suyu tipi (tanelerden sıkılmış hemen kullanılmış, tanelerden sıkılmış bir hafta bekletilerek kullanılmış ve ticari nar suyu) faktörler olarak kullanılmıştır (Tablo 1). Buzdolabında bir hafta süre ile 4 °C’de bekletilen ürünün bu süre içinde dibe çöken kısmı deneylerde kullanılmamıştır. Ticari ürün kullanımında her deney öncesi elle çalkanarak paket açılmış ve daha sonra deneyde kullanılmıştır.

Tablo 1. Taguchi deneysel tasarım modelinde kullanılan parametreler ve seviyeleri

Faktörler	Sıcaklık (°C)	Miktar (mL)	Nar suyu tipi
Seviye 1	30	25	Tanelerden sıkılmış hemen kullanılmış
Seviye 2	33,5	50	Tanelerden sıkılmış bir hafta bekletilmiş
Seviye 3	37	75	Ticari

Taguchi deneysel tasarımıyla yapılan bu çalışmada elde edilen cevaplar iletkenlik değerlerinin oluşturduğu eğrilerle sağlanmaktadır: Kristalizasyon hızı ve gecikme zamanı. Gecikme zamanı, aşırı doygunluk oluşumu ve kristallerin görünmesi arasındaki zaman olarak tanımlanmaktadır ve çekirdeklenme hızının bir ölçüsüdür [3]. Kristalizasyon hızı ile ilgili yorum yapılabilmesi için çalışmanın başında üç ayrı sıcaklık için katkısız kontrol deneyleri yapılmıştır. Bu sıcaklıklarda iletkenlik değerleri zamana karşı grafik haline getirildiğinde, birbirlerinden farklı eğimler oluşturmaktadır. Kristalizasyon boyunca, ortamda bulunan Ca^{2+} ve $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ iyonlarının reaksiyona girmesiyle katı CaC_2O_4 oluşarak çökmekte ve böylece zamanla azalan iyonik kuvvet sayesinde iletkenlik zamanla azalmaktadır. Bu durumdan hareketle kristalizasyon takip edilebilmektedir. Başlangıç zamanlarında eğimlerin elde edilmesiyle hızlı gerçekleşen kristalizasyon sürecinde yüksek bir eğim görülürken, hızın düştüğü ya da kristalizasyonun hiç gerçekleşmediği durumlarda iletkenlik değerinin zamanla oluşturacağı eğrinin eğimi daha düşük bir değer vermektedir. Katkısız deneylerde gerçekleşen kristalizasyon sürecinde zamana karşı iletkenlik değerleri grafiğe geçirilmiş ve eğim değerleri (k_0) elde edilmiştir. Aynı işlem katkı olarak kullanılan nar suları varlığında tekrar edilmiş ve eğim değerleri (k_i) elde edilmiştir. Katkısız deneylerde elde edilen eğimler (k_0) ve katkı varlığında elde edilen deneylerde elde edilen eğimler (k_i) oranlanarak (k_0/k_i) elde edilen değerler yavaşlamanın bir ölçüsü olarak cevap olarak deneysel tasarımda kullanılmıştır. Ancak, bazı deneylerde iletkenliğin değişmediği ve kristalizasyonun gerçekleşmediği görüldüğünden CaC_2O_4 büyümesini engelleyici olarak etkinin ortaya çıkarılmasında gecikme zamanı da kullanılmıştır. Tablo 2’de görülebileceği gibi Taguchi L_9 ortogonal deney tasarımı için, üç seviyeli üç parametrelilik dokuz deney oluşturulmuştur. Taguchi deney tasarımında en iyi sonuç için çalışma yapılmıştır. En iyi sonuç hem k_0/k_i değerinin hem de gecikme zamanına ait cevaplarda en yüksek sayısal değerinin bulunmasıyla oluşmaktadır.

Elde edilen cevaplar MiniTab programı kullanılarak oluşturulan Taguchi deneysel tasarımına yerleştirilmiş ve elde edilen etki değerlendirmesi çizimi ve ortalamalar için cevap tablosundan sonuçların yorumlanmasında yararlanılmıştır.

Tablo 2. Taguchi L₉ ortogonal deneysel tasarım modeli

Seviye Deney	Kristalizasyon Geciktirme Parametre Seviyesi		
	A	B	C
	Sıcaklık (°C)	Miktar (mL)	Nar suyu tipi
1	30	25	Tanelerden sıkılmış hemen kullanılmış
2	30	50	Tanelerden sıkılmış bir hafta bekletilmiş
3	30	75	Ticari
4	33,5	75	Tanelerden sıkılmış bir hafta bekletilmiş
5	33,5	25	Ticari
6	33,5	50	Tanelerden sıkılmış hemen kullanılmış
7	37	50	Ticari
8	37	75	Tanelerden sıkılmış hemen kullanılmış
9	37	25	Tanelerden sıkılmış bir hafta bekletilmiş

3. Bulgular ve Tartışma

Tasarıma göre yapılan deneyler sonucunda k_0/k_i değerleri ve gecikme süreleri elde edilmiştir. Elde cevaplar Tablo 3'te verilmektedir. Çalışmada elde edilen değerlerin analizinde MiniTab programı kullanıldığında Tablo 4'te ve Tablo 5'te verilen her iki cevap için verilen ortalamalar için cevap tabloları program tarafından oluşturulmaktadır.

Tablo 3. Deneyler sonucunda elde edilen cevaplar

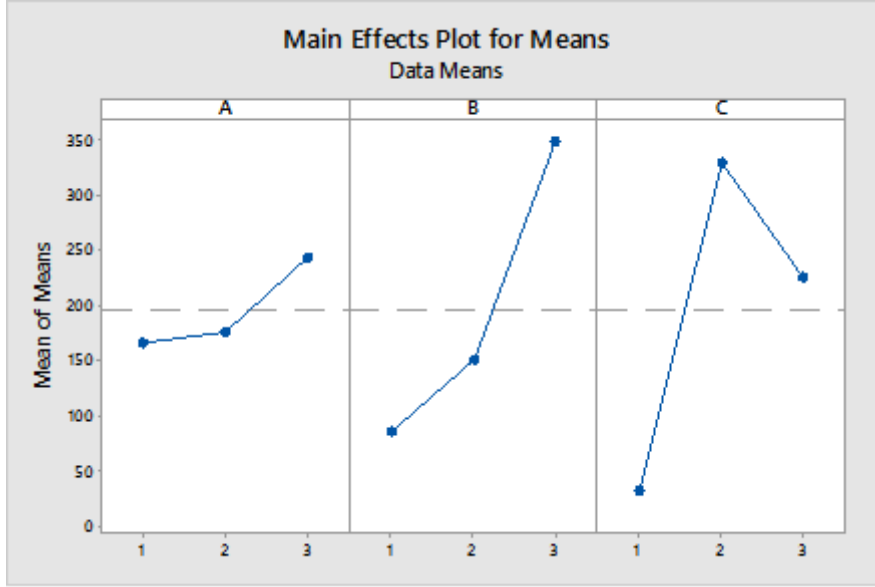
Deney	Sıcaklık (°C)	Miktar (mL)	Nar suyu tipi	k_0/k_i	Gecikme Süresi, T_{ind} (dk)
1	30	25	Tanelerden sıkılmış hemen kullanılmış	4,23	3,34
2	30	50	Tanelerden sıkılmış bir hafta bekletilmiş	103,75	52,83
3	30	75	Ticari	393,78	90
4	33,5	75	Tanelerden sıkılmış bir hafta bekletilmiş	244,24	79,83
5	33,5	25	Ticari	271,52	48
6	33,5	50	Tanelerden sıkılmış hemen kullanılmış	14,6	7,83
7	37	50	Ticari	12,18	4
8	37	75	Tanelerden sıkılmış hemen kullanılmış	79,91	31,84
9	37	25	Tanelerden sıkılmış bir hafta bekletilmiş	640,04	90

Tablo 4'deki durum incelendiğinde C2B3A3 sıralamasının en iyi gecikme süresinin oluşturulmasında kullanılabileceği görülmektedir. Bu sonuç üzerine yapılan kontrol denemesinde hedeflenen 90 dk gecikme süresi elde edilmiştir.

Tablo 4. k_0/k_i kullanılarak oluşturulan ortalamalar için cevap tablosu

Level	A	B	C
1	167,25	86,88	32,91
2	176,79	151,73	329,34
3	244,04	349,47	225,83
Delta	76,79	262,59	296,43
Rank	3	2	1

Şekil 1'de MiniTab programı tarafından Tablo 4'de elde edilen tablo ortalamalarının ana etki çizimi şeklinde verilmektedir.



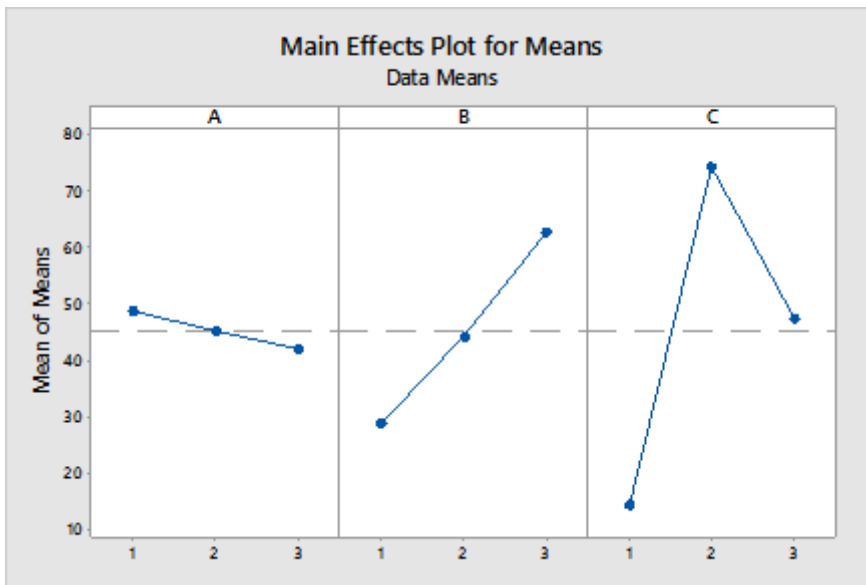
Şekil 1. k_0/k_i kullanılarak oluşturulan ortalamaların ana etki çizimi

Tablo 5'deki durum incelendiğinde C2B3A1 sıralamasının en iyi gecikme süresinin oluşturulmasında kullanılabileceği görülmektedir. Bu sonuç üzerine yapılan kontrol denemesinde hedeflenen 90 dk gecikme süresi elde edilmiştir.

Tablo 5. Gecikme zamanı kullanılarak oluşturulan ortalamalar için cevap tablosu

Level	A	B	C
1	48.72	29.06	14.34
2	45.22	44.22	74.22
3	41.95	62.61	47.33
Delta	6.78	33.55	59.88
Rank	3	2	1

Şekil 2'de MiniTab programı tarafından Tablo 4'deki durum ortalamaların ana etki çizimi şeklinde verilmektedir.



Şekil 2. Gecikme zamanları kullanılarak oluşturulan ortalamaların ana etki çizimi

4. Sonuç ve Öneriler

CaC₂O₄ kristalizasyonunun engellenmesinde nar suyunun çeşidi fark etmeksizin etkili bir katkı olduğu görülmüştür. Sonuçlar nar suyunun kalsiyum oksalat kristalizasyonunun yavaşladığını ve engellendiğini göstermektedir.

Çalışmada Taguchi L₉ ortogonal dizisi, performansın birçok faktöre bağlı olduğu ürün ve işlemlerin kalitesini artırmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu çalışmada sıcaklık, nar suyu miktarı ve nar suyu tipi dikkate alındığında kristalizasyonun yavaşlaması ve gecikme süresi üzerinde en etkili faktörün nar suyu tipi olduğu görülmüştür. İkinci etkili parametre ise nar suyu miktarı olarak bulunmuştur. Sıcaklık bu iki parametre ile kıyaslandığında en az etkili parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Kristalizasyonun en yavaş gerçekleşeceği parametre kombinasyonu, 75 mL taze sıkıldıktan sonra bir hafta bekletilen nar suyunun 37 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen kristalizasyon deneyinde kullanımı ile elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] El-Shall H., Jeon JH., Abdel-Aal E.A., Khan S., Gower. L., Rabinovich Y. 2004. A Study of Primary Nucleation of Calcium Oxalate Monohydrate: II. Effect of Urinary Species, *Cryst. Res. Technol.* 39(7): 577-585.
- [2] Atuş F., Canoruç N. 2006. Tekrarlayan Üriner Sistem Kalsiyum Taşlarının Metabolik Değerlendirmesi ve Medikal Yaklaşımlar, *Dicle Tıp Dergisi* 33(1): 48-52.
- [3] Jones, A.G. 2002. *Crystallization Process Systems*, Butterworth tleinemann, London UK.
- [4] Sarig S., Kahana F., Leshe, R. 1975. Selection of Threshold Agents for Calcium Sulfate Scale Control on the Basis of Chemical Structure, *Desalination*,17, 215-229.
- [5] Westbroek P., de Jong E.W. 1983. *Biomineralization and Biological Metal Accumulation*, Reidel, Dordrecht, Holland.
- [6] Akyol E., Öner M. 2007. The Effect of Polyelectrolytes on Calcium Oxalate Crystallization, *Journal of Engineering and Natural Sciences - Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 25(1): 48-57.
- [7] Akyol E. 2016. Kalsiyum Oksalat Monohidrat Kristal Büyümesine Karahindiba (*Taraxacum Officinale*) Bitkisinin Etkisinin İncelenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Der./Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.*, 6 (3): 97-105.
- [8] Kulkarni A.P., Aradhya S.M. 2005. Chemical Changes and Antioxidant Activity in Pomegranate Arils During Fruit Development. *Food Chemistry*, 93 (2): 319-324.
- [9] Hernandez F., Melgarejo P., Tomas-Barberan F.A., Artes F. 1999. Evolution of Juice Anthocyanins During Ripening of New Selected Pomegranate (*Punica granatum*) Clones, *Eur. Food Res. Technol.* 210: 39-42.
- [10] Bayındırlı L., Şahin S., ve Artık N. 1994. The Effects of Clarification Methods of Pomegranate Juice Quality. *Fruit Processing*, 94 (9): 267-270.
- [11] Alper N. 2001. *Nar Suyu Üretimi Üzerine Araştırmalar*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, Ankara.
- [12] Karaca E. 2011. *Nar Suyu Konsantresi Üretiminde Uygulanan Bazı İşlemlerin Fenolik Bileşenler Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [13] Saxena A.K., Manan J.K., Berry S.K. 1987. Pomegranates; Postharvest Technology, *Chemistry and Processing*. *Indian Food Packer*, 41 (4): 43-60.
- [14] Cabrita L., Fossen T., Anderson O.M. 2000. Colour and Stability of The Six Common Anthocyanidin 3-glucosides in Aqueous Solutions. *Journal of Food Science*, 68: 101-107.
- [15] Cordenunsi B.R., Nascimento J.R.O., Lajolo F.M. 2003. Physicochemical Changes Related to Quality of Five Strawberry Fruit Cultivars During Cool-Storage. *Food Chemistry*, 83: 167-173.

Araştırma Makalesi / Research Article

Üç Kademeli Soğurmalı Soğutma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi

Kenan SAKA*

*Bursa Uludağ Üniversitesi Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksek Okulu, 16900 Yenişehir, Bursa
(ORCID: 0000-0002-2296-894X)*

Öz

Soğurmalı soğutma sistemleri atık ısı kullanarak soğutma yapmanın en etkili yollarından birini sunmaktadırlar. Yapısal açıdan soğurmalı soğutma sistemleri tek, çift ve üç kademeli olarak tasarlanırlar. Üç kademeli soğurmalı soğutma sistemleri çift ve tek kademeli soğurmalı soğutma sistemlerinden daha verimlidirler. Fakat bu sistemler daha fazla sistem elemanına sahip ve termodinamik açıdan daha karmaşıktırlar. Bu çalışmada üç kademeli bir soğurmalı soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. İncelenen sistem seri akışlı ve lityum bromür – su çözeltisiyle çalışmaktadır. Ek olarak üç farklı ısı değiştiricisi yardımıyla sistem içerisinde ısı kazanımı sağlanmıştır. Yapılan analizde düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak sistem elemanlarının ekserji yıkımları ve sistemin toplam ekserji yıkımındaki değişim gösterilmiştir. Ayrıca birinci ve ikinci kanun verimliliğinde meydana gelen değişimde artış ve azalış olarak analiz sonuçlarına eklenmiştir. Sonuç olarak düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığının artmasıyla sistemin toplam ekserji yıkımında azalma olmuştur. Sistemin toplam ekserji yıkımındaki azalma birinci ve ikinci kanun verimliliklerine artış olarak yansımıştır. Sistem elemanları içerisinde yüksek ve düşük basınçlı kaynatıcıya ait ekserji yıkımında azalma meydana gelirken absorbere ait ekserji yıkımında ise artma olmuştur. Isı geri kazanımı sağlayan ısı değiştiricilere ait ekserji yıkımlarında ise azalma görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Üç kademeli soğurmalı soğutma sistemi, seri akış, enerji analizi, ekserji analizi.

Energy and Exergy Analysis of a Triple-Stage Absorption Refrigeration System

Abstract

Absorption refrigeration systems offer one of the most effective ways of cooling by using waste heat. Absorption refrigeration systems are designed as single, double and triple stage structurally. Triple stage absorption refrigeration systems are more efficient than double and single stage absorption refrigeration systems. But also the systems have more system components and they are more complex in terms of thermodynamics. In this study, energy and exergy analyses are performed on a triple stage absorption refrigeration system. The system is series flow and it works with lithium bromide – water solution. In addition, three different heat exchangers are used to achieve heat recovery within the system. In the analysis performed exergy destruction of the components and changes of total exergy destruction of the system are shown due to the low pressure generator temperature. It is also been added to the analysis results in the change in efficiency of the first and second laws as increasing and decreasing. As a result, there is decreasing in the total exergy destruction of the system with increasing of the low pressure generator temperature. The decreasing in the total exergy destruction of the system is reflected to the first and second laws efficiency as increasing. Within the system components, there is decreasing in the exergy destruction of the high and low pressure generator and there is increasing in the exergy destruction of the absorber. The decreasing in exergy destruction of heat exchangers providing heat recovery is observed.

Keywords: Triple stage absorption refrigeration system, series flow, energy analysis, exergy analysis.

*Sorumlu yazar: kenansaka@uludag.edu.tr
Geliş Tarihi: 06.03.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları çevreyi koruma bilincinin yaygınlaşmasına bağlı olarak her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Fosil yakıtlarının kullanımına bağlı olarak artan karbon salınımı ve buna bağlı olarak yaşanan küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en aza indirilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları çözüm odağında yer alırlar. Başta güneş enerjisi olmak üzere rüzgâr, biyogaz ve jeotermal kaynaklı güç santrallerinin kurulu gücü her geçen gün artmaktadır. Çevre dostu akışkanlarla çalışan soğurmalı soğutma sistemleri ise yenilenebilir enerji kaynakları ve endüstriyel atık ısı kullanarak soğutma uygulamasına fırsat sunmaktadırlar.

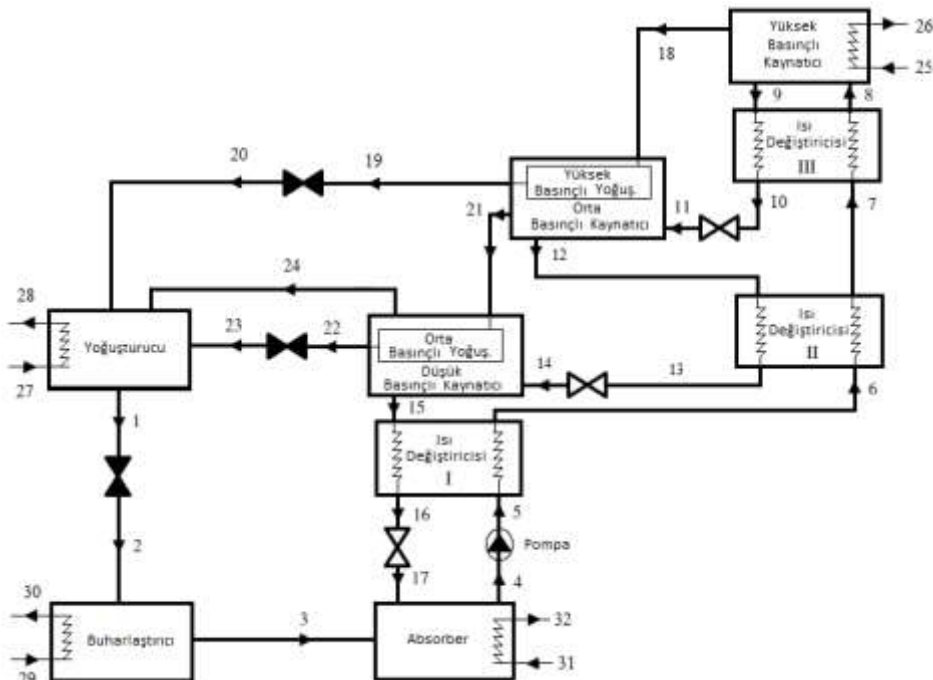
Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisini kullanan soğurmalı bir sistem Pastakkaya vd. [1] tarafından deneysel olarak incelenmiştir. İncelenen sistem 40 m² yüzey alanına sahip güneş kolektörleri tarafından ısıtılan suyla desteklenmiştir. 30 m² taban alanına sahip bir konfor odasının ısıtma ve soğutma yükünü karşılamak amacıyla 2010 yılında yaptıkları deneylerde lityum klorür – su çözeltisi kullanan ve 20 kW soğutma kapasitesine sahip bir sistemin soğutma tesir katsayısı (STK) değerini 0,283 olarak hesaplamışlardır. Kurtulmuş ve Horuz [2] ise endüstriyel bir fırının 270 °C de çıkan baca gazından gelen atık ısıyla çalışan ve 90 kW soğutma kapasitesine sahip tek kademeli ve ısı geri kazanımı sağlayan bir ısı değiştiricisine sahip bir sistem üzerinde çalışmışlardır. İnceledikleri sistemin STK değerini 0,64 olarak hesaplayan araştırmacılar sistemdeki en büyük ekserji yıkımının 37,19 kW değerle kaynaticıda meydana geldiğini elde etmişlerdir. Ayrıca sisteme ait ekserji verimini 0,082 olarak hesaplanmıştır. Yılmaz vd. [3] ise çift kademeli bir sisteme ait yüksek basınçlı yoğunlaştırıcı üzerine odaklanmıştır. Yaptıkları analizde yüksek basınçlı yoğunlaştırıcı ve düşük basınçlı kaynaticı arasındaki termal ilişkide yüksek basınçlı yoğunlaştırıcı düşük basınçlı kaynaticıdan daha yüksek sıcaklıkta çalışmaktadır. Yüksek basınçlı yoğunlaştırıcıdan düşük basınçlı kaynaticıya olan ısı transferinin sistem performansına olan etkisi araştırmacılar tarafından açıklanmıştır. Endüstriyel atık ısı kaynakları farklı türlerde ortaya çıkabildikleri için Kaynaklı vd. [4] çift kademeli bir sistemin sıcak su, su buharı ve sıcak hava ile desteklenmesi durumunda gerekli debi ve ekserji yıkımlarını hesaplamıştır. Sisteme ait STK değerini 1,23 olarak hesapladıkları analizlerinde sistem elemanları içinde en fazla ekserji yıkımının absorberde olduğunu göstermişlerdir. Yüksek basınçlı kaynaticının sıcak havayla desteklenmesi durumunda ise sıcak su ve su buharına göre daha fazla ekserji yıkımı olduğunu çalışma sonucuna eklemiştir. Soğurmalı soğutma sistemlerinde sıklıkla karşılaşılan çözelti lityum bromür – su çözeltisidir. Bu çözeltiyle çalışan sistemlerin termodinamik analizleri üzerine yoğunlaşan çalışmalar literatürde yerini almıştır. Arora ve Kaushik [5] kaynaticı sıcaklığına bağlı olarak tek ve çift kademeli iki ayrı sisteme ait enerji ve ekserji verimliliğindeki değişimi göstermiştir. Çalışmada belirtilen şartlar altında tek kademeli sisteme ait performans katsayısını 0,7609 ve çift kademeli sisteme ait performans katsayısını 1,26 olarak hesaplamışlardır. Kaynaticı sıcaklığına bağlı analiz sonuçları verdikleri çalışmalarında sistemlerin daha yüksek kaynaticı sıcaklıklarında soğutma performanslarında yükselme olduğunu göstermişlerdir. Gomri [6] ise çalışmada benzer şekilde kaynaticı sıcaklığına bağlı olarak tek ve çift kademeli sistemlerin birinci ve ikinci kanun verimliliklerinin nasıl değiştiğini incelemiştir. Bu çalışmaya göre tek kademeli sistemde 75 °C ve çift kademeli sistemde 120 °C kaynaticı sıcaklıklarında sistemler en yüksek ekserji verimine sahiptirler. Ayrıca yazar diğer bir arkadaşıyla çift kademeli seri akışlı bir sistemde düşük basınçlı kaynaticıda sıcaklık artışının sistem performansındaki iyileştirici etkisini göstermiştir. Bu çalışmaya göre diğer sabit çalışma şartları altında yüksek basınçlı kaynaticının sıcaklığının artmasının sistem performansı üzerinde olumsuz etkisi vardır [7]. Üç kademeli sistemler üzerinde de çalışan yazar seri akışlı bir sistemin soğutma tesir katsayısının tek ve çift kademeli sistemlere göre daha iyi olduğu bildirmiştir [8]. Yazar tarafından incelenen seri akışlı üç kademeli sistemin STK değeri 10 °C buharlaştırıcı sıcaklığında 1,9 değerine yaklaşmıştır. Gebreslassie vd. [9] soğurmalı soğutma sistemlerine ait yedi farklı konfigürasyonun termodinamik karşılaştırmasını yaptıkları analizde en yüksek soğutma tesir katsayısının ve ekserji veriminin üç kademeli sistemlere ait olduğu sonucuna varmışlardır. Yarım, tek ve çift kademeli sistemleri inceledikleri çalışmalarında çift kademeli sisteme ait üç farklı, üç kademeli sisteme ait iki farklı konfigürasyonu çalışmalarına dâhil etmişlerdir. Maryami ve Dehghan [10] ise beş farklı konfigürasyonun karşılaştırmasına yer verdikleri çalışmalarında en yüksek verim yine üç kademeli sisteme aittir. Soğurmalı soğutma sistemlerine olan ilgi ve bu konudaki bilimsel çalışmalar artarak devam etmektedir [11-12]. Buraya kadar olan literatür sonuçları göz önüne alındığında tek ve çift kademeli sistemlere göre daha yüksek verimliliğe sahip olan ve atık ısıyla

soğutma yapabilme imkânı sunan üç kademeli soğurmalı sistemlerin bilimsel açıdan halen incelenmeye değer olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada ise üç kademeli bir soğurmalı soğutma sisteminin termodinamik analizi üzerinde durulmuştur. Yapılan analizlerde lityum bromür – su çözeltisiyle çalışan ve seri akışlı olan bir üç kademeli soğurmalı soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizine sistemde yer alan düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığı odaklı olarak yer verilmiştir. İki kademeli soğurmalı soğutma sistemlerinde düşük basınçlı kaynatıcının daha yüksek sıcaklıklarda çalıştırılması sistem verimliliğini artırmaktadır. Hazırlanan bir simülasyon yardımıyla düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığındaki artışın üç kademeli soğurmalı soğutma sistem performansına olan etkisi incelenmiştir. Termodinamiğin birinci ve ikinci kanun analizleri ışığında birinci kanun verimini ifade eden soğutma tesir katsayısı ve ikinci kanun verimini ifade eden ekserjitik soğutma tesir katsayısı değerlerindeki değişim grafiklerle gösterilmiştir. Ayrıca her bir sistem elemanında yaşanan ekserji yıkımlarındaki değişim ve sisteme ait toplam ekserji yıkımındaki değişim ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

2. Üç Kademeli Soğurmalı Soğutma Sistemi

Üç kademeli soğurmalı soğutma sistemi her biri önemli görevler yapan sistem elemanlarından oluşan bir soğutma çevrimidir. Bu elemanlardan yüksek basınçlı kaynatıcı ısı kaynağından sistem için gerekli olan ısıyı sisteme çeker. Buharlaştırıcıdan da sisteme enerji girdisi olur fakat buharlaştırıcı sistemin kuruluş amacını gerçekleştiren ve soğutma yapan tek elemandır. Yoğuşturucu ve absorberden sistem dışına ısı atımı gerçekleştirilir. Absorber sisteme adını veren ve soğurma işleminin gerçekleştiği sistem elemanıdır. Sistemde yer alan üç farklı ısı değiştiricisi yüksek basınçlı kaynatıcının çekeceği ısı yükünü azaltarak sistem performansını iyileştirmeye katkı sağlarlar. Sistemde dört farklı basınç seviyesi bulunur ve kısımla vanalarıyla bu seviyeler birbirinden ayrılır. Lityum bromür – su çözeltisindeki su soğutucu akışkan görevi görmektedir. Absorberden çıkan ve lityum bromür yönünden fakir olan çözelti, çözelti pompasıyla basılarak yüksek basınçlı kaynatıcıya gelir. Yüksek basınçlı kaynatıcıda buhar fazında çözülden ayrılan su yüksek basınçlı yoğuşturucuya gelerek ısısını orta basınçlı kaynatıcıya verir. Lityum bromür yönünden daha zengin hale gelen çözelti benzer şekilde orta basınçlı kaynatıcı ve düşük basınçlı kaynatıcıda da içindeki sudan ayrışma işlemine tabi tutulur. Sonuç olarak çözelti sistemde dört farklı konsantrasyon seviyesinde dolaşırken çözülden ayrılan su yoğuşturucuda toplanarak buharlaştırıcıya gelir. Absorberde zengin çözelti tarafından soğurulan su sistem içindeki döngüsünü tamamlamış olur. Şekil 1’de üç kademeli seri akışlı bir soğurmalı soğutma sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Üç kademeli seri akışlı bir soğurmalı soğutma sisteminin şematik gösterimi

Soğurmalı soğutma sistemlerini teorik açıdan incelerken karmaşıklığı ortadan kaldırmak üzere literatürde bazı kabuller geliştirilmiştir [13]. Tek ve çift kademeli sistemlerde olduğu gibi bu çalışmada incelenen üç kademeli sisteminde öncelikle kararlı halde çalıştığı, sistemden belirtilen şartlar dışında çevreyle herhangi bir ısı alış verişinin olmadığı ve sistem içerisinde kısımla vanaları haricinde herhangi bir basınç düşüşünün meydana gelmediği yapılan başlıca kabullerdir. Bunların yanı sıra sistemin tasarımına özgü olarak yapılan kabullerde vardır. Bu çalışmada incelenen sistem enerji kaynağı olarak atık su buharıyla desteklenmekte ve buharlaştırıcı tarafından soğuk su üretilmektedir. Ayrıca absorber ve yoğuşturucu su soğutmalı ısı atım sistemine sahiptirler. Buharlaştırıcı 100 kW sabit kapasitede soğutma yapmaktadır. Sistemde yer alan elemanlara ait çalışma şartları ise analiz sonucunu gösteren şekiller üzerinde verilmiştir.

3. Termodinamik Analiz

Soğurmalı soğutma sistemlerinin termodinamik analizlerinde kullanılan simülasyonlar her bir sistem elemanın kütle ve enerji korunumunu ifade eden denklemlerden oluşan bir matematiksel modeldir. Aşağıdaki genel denklemlerin bilgisayar ortamında her bir sistem elemanı için tanımlanmasıyla bütün sistem elemanlarının kapasite değerleri ve ekserji yıkımları hesaplatılmıştır. Oluşturulan matematiksel modelde bulunan onlarca denklemin çözdürülmesi için yazılım dili olarak Delphi tercih edilmiştir. Aşağıda verilen genel denklemlerde fakir çözelti, f; zengin çözelti ise z kısaltmasıyla gösterilmiştir. Ayrıca debi, m; entalpi, h; konsantrasyon, X; sıcaklık, T ve son olarak entropi ise s ile ifade edilmiştir.

$$\dot{m}_f = \dot{m}_z + \dot{m}_{H_2O} \quad (1)$$

$$\dot{m}_f X_f = \dot{m}_z X_z \quad (2)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c h_c - \sum \dot{m}_g h_g \quad (3)$$

$$\psi = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (4)$$

Sisteme ait soğutma tesir katsayısı (STK) olan birinci kanun verimliliği ifade eden Denklem (5) aşağıda verilmiştir. Buharlaştırıcı kapasitesinin yüksek basınçlı kaynatıcı ve çözelti pompası kapasitelerine bölünmesiyle sisteme ait enerji verimliliği hesaplatılmıştır. Sistemde yer alan çözelti pompasına ait kapasitenin diğer sistem elemanlarına göre çok az olması nedeniyle literatürde bazı çalışmalarda ihmal edilmektedir. Buharlaştırıcı ve yüksek basınçlı kaynatıcı sıcaklıkları kapasiteleri ile ilişkilendirilerek ikinci kanun verimliliği olan ekserjitik soğutma tesir katsayısını (ESTK) ifade eden Denklem (6) elde edilmiştir. Ayrıca su ve sistemde kullanılan çözeltinin termodinamik özelliklerini tanımlayan denklemler literatürden alınmıştır [14-15]. Aşağıda verilen genel denklemlerde buharlaştırıcı, B; yüksek basınçlı kaynatıcı, YBK ve pompa ise p kısaltmasıyla gösterilmiştir.

$$STK = \frac{\dot{Q}_B}{\dot{Q}_{YBK} + \dot{W}_P} \quad (5)$$

$$ESTK = \frac{-\dot{Q}_B (1 - T_0/T_B)}{\dot{Q}_{YBK} (1 - T_0/T_{YBK}) + \dot{W}_P} \quad (6)$$

Hazırlanan matematiksel modele ısı değiştiricileri de dâhil edilmiştir. Isı değiştiricileri fakir eriyiğin daha yüksek entalpide yüksek basınçlı kaynatıcıya girmesini sağladığından yüksek basınçlı kaynatıcı tarafından çekilen ısı yükünü azaltırlar. Bu durum performans artışı olarak sonuçlara yansırken ısıveren çözelti için kristalizasyon sorunu yaşanabilir. Bu durum yapılan bütün analizlerde ısı değiştiricisi çıkışlarında kristalizasyon sıcaklığı hesaplatılarak denetlenmiştir. Ayrıca sistemde noktasal olarak basınç değerleri de hesaplatılmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

Üç kademeli soğurmalı soğutma sisteminin termodinamik açıdan davranışlarının belirlenmesi amacıyla hazırlanan matematiksel modelin bilgisayar ortamında çalıştırılması yapılan analizler için imkân sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde yer alan çalışmalarla uyumluluk göstermiştir. Tablo 1’de Gomri’nin [16] 300 kW sabit soğutma yapan bir sistemi incelediği çalışmasında elde ettiği sonuçlarla bir karşılaştırma yapılmıştır. Yazar sistemde ısı geri kazanımı sağlayan ısı değiştiricisi etkenliklerini 0,85 olarak seçtiği için STK sonuçları daha yüksek çıkmıştır. Bu çalışmanın genelinde ısı değiştiricisi etkenlikleri 0,7 olarak seçilmiştir. Tablo 1’de verilen diğer çalışma şartlarına bağlı olarak %50, %70 ve % 85 ısı değiştiricisi etkenliğine bağlı olarak elde edilen kapasite değerlerindeki değişim ve ısı değiştiricisi kullanımının enerji verimliliği açısından önemi gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması beklenen bir yaklaşım olmasına rağmen üç kademeli soğurmalı soğutma sistemleri için bu yaklaşım mümkün olmamaktadır. Tek kademeli soğurmalı soğutma sistemlerinin keşfi ve yaygınlaşması çok uzun zaman önce başlasa bile üç kademeli sistemlerin üretimine başlanması henüz yenidir. Bu tür sistemlerin henüz daha yeni olması bu çalışmanın yapılmasının nedenlerinden biri olmakla birlikte bu çalışmada incelenen sistemle aynı özelliklere sahip bir ürüne ait bilgilere literatürde karşılaşılmadığından deneysel sonuçlarla karşılaştırma yapılamamaktadır.

Tablo 1. Sistem bileşenlerinin kapasiteleri ve literatürle karşılaştırma

$T_{YBK} = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{OBK} = 134,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{DBK} = 81\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_B = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_A = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_Y = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$
Sistem Bileşeni	Kapasite (kW) Mevcut çalışma $\varepsilon_{I,II,III} = 0,50$	Kapasite (kW) Mevcut çalışma $\varepsilon_{I,II,III} = 0,70$	Kapasite (kW) Mevcut çalışma $\varepsilon_{I,II,III} = 0,85$	Kapasite (kW) Mevcut çalışma $\varepsilon_{I,II,III} = 0,85$	Kapasite (kW) Gomri [16] $\varepsilon_{I,II,III} = 0,85$
Yüksek Basıncılı K.	228,13	191,42	170,40	170,40	169,68
Yoğuşturucu	142,44	123,23	115,33	115,33	112,23
Buharlaştırıcı	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Absorber	386,21	368,60	355,40	355,40	357,67
Çözelti Pompası	0,243	0,237	0,234	0,234	0,220
STK	1,314	1,565	1,758	1,758	1,766

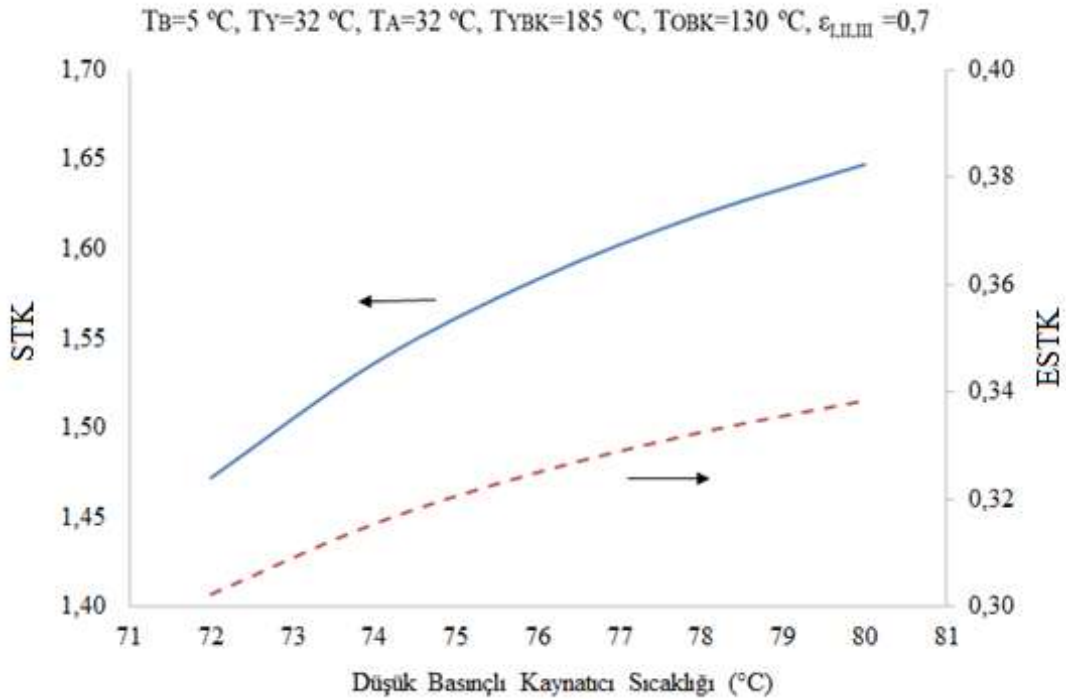
Tablo 1’de verilen sistemde yer alan elemanların kapasiteleri incelendiğinde öncelikle absorberin sahip olduğu yüksek kapasite dikkati çekmektedir. Yoğuşturucu ve absorber her ikisi de ısı atan eleman olmalarına rağmen absorberin kapasitesinin yoğuşturucu kapasitesinin iki katından fazla olması sistem elemanlarının boyutlandırılmasında ve sistemin ısı atım kısmının tasarımında üreticilere ışık tutmaktadır. Ayrıca pompanın kapasitesi diğer sistem elemanlarıyla karşılaştırıldığında son derece azdır. Bu durum enerji verimliliği açısından avantaj gibi görünse de üretim aşamasında bu kadar küçük bir pompanın sistem ile uyumlu çalışması üzerinde durulması gereken bir konudur. Sistemde ısı geri kazanımı için kullanılan ısı değiştiricilerin etkenliğinin artması sistem verimliliğini ciddi oranda etkilemektedir. Görüldüğü gibi sabit soğutma kapasitesine bağlı olarak ısı değiştiricisi etkenliklerinin artması yüksek basınçlı kaynatıcı kapasitesini azaltmakta ve bu durum daha yüksek STK olarak kendini göstermektedir.

Tablo 2’de sisteme ait verilen çalışma şartları altında sistem elemanlarının ısı kapasiteleri ve ısı kapasitelerine bağlı olarak meydana gelen ekserji yıkım değerleri gösterilmiştir. Sistemde yer alan üç farklı ısı değiştiricisine ait 0,7 etkenlik ve diğer çalışma şartları altında sisteme ait STK değeri 1,647 olarak hesaplanmıştır. Tabloya göre sistemde en yüksek ısı yük 120,552 kW kapasiteyle absorbere aittir. Absorberi buharlaştırıcı ve yüksek basınçlı kaynatıcı takip etmektedir. Benzer sıralama ekserji yıkım değerlerinde de geçerlidir. En fazla yıkım 5,915 kW ile absorberde sonra buharlaştırıcıda sonrada yüksek basınçlı kaynatıcıda yaşanmıştır. Absorberdeki ekserji yıkımı tüm sistemdeki yıkımın % 32’sini oluşturmaktadır. Buharlaştırıcı % 19,3 ve yüksek basınçlı kaynatıcı sistemdeki ekserji yıkımının % 9,9 oranına sahiptirler. Sistemin toplam ekserji kaybı 18,460 kW olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Sistem elemanlarının kapasiteleri ve ekserji yıkım değerleri

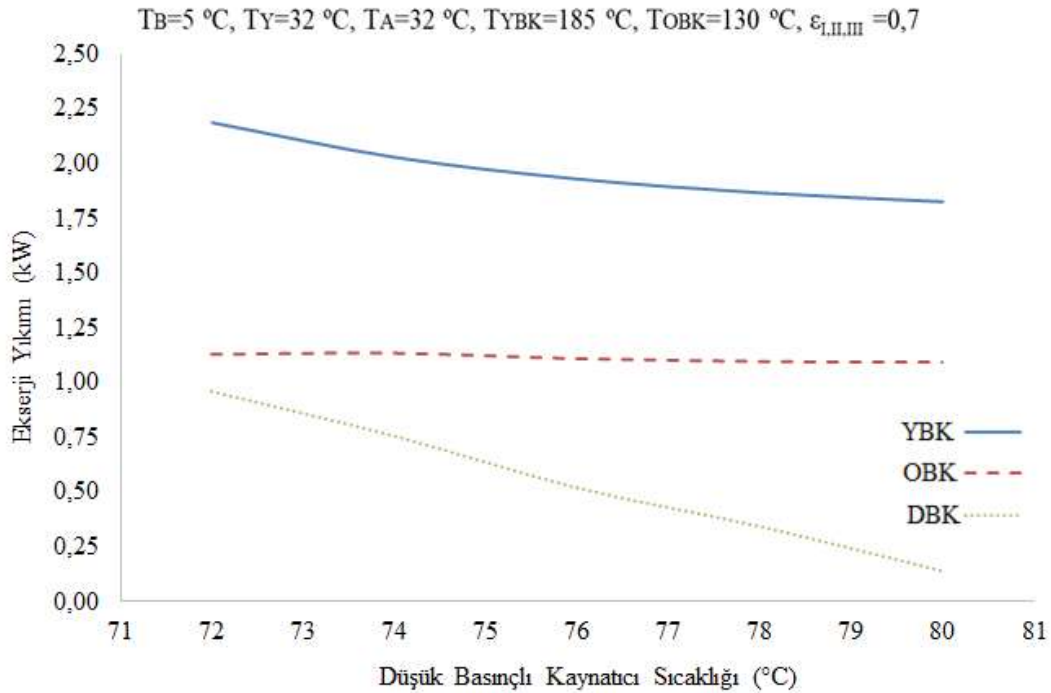
$T_{YBK}=185\text{ °C}$	$T_{OBK}=130\text{ °C}$	$T_{DBK}=80\text{ °C}$	$T_B=5\text{ °C}$	$T_A=32\text{ °C}$	$T_Y=32\text{ °C}$	$\varepsilon_{I,II,III}=0.7$
Sistem Bileşeni	Isıl Kapasite (kW)	Ekserji Yıkımları(kW)			Ekserji Yıkım Oranı %	
Yüksek Basınçlı Kaynatıcı	60,655	1,826			9,90	
Orta Basınçlı Kaynatıcı	37,127	1,090			5,90	
Düşük Basınçlı Kaynatıcı	32,870	0,140			0,80	
Yoğusturucu	40,175	0,863			4,70	
Buharlaştırıcı	100,000	3,565			19,3	
Absorber	120,552	5,915			32,0	
Pompa	0,0626	0,000			0,00	
Isı Değiştiricisi I	17,058	0,769			4,20	
Isı Değiştiricisi II	27,642	1,423			7,70	
Isı Değiştiricisi III	35,414	1,528			8,30	
Kısılma Vanası I	0	0,919			5,00	
Kısılma Vanası II	0	0,190			1,00	
Kısılma Vanası III	0	0,243			1,30	
STK	1,647	Toplam = 18,469			Toplam = 100	
ESTK	-	0,339			-	

100 kW soğutma yapabilen üç kademeli bir soğurmalı soğutma sisteminde yaklaşık 18,5 kW kullanılabilirlik kaybı olmaktadır. Soğurmalı soğutma sistemlerinde yüksek basınçlı kaynatıcıları besleyen ısı kaynağı sıcaklığına bağlı olarak literatürde yer alan bazı çalışmalarda yüksek basınçlı kaynatıcıda yaşanan ekserji yıkımları çok fazla çıkmaktadır. Bu çalışmada ısı kaynağındaki ekserji yıkımlarının sistemin ekserji yıkım değerlerini örtmesi istenmediği için yüksek basınçlı ısı kaynağı düşük basınçlı kızgın su buharı ile beslenerek ısı kaynağındaki ekserji yıkımları minimize edilmiştir. Sistemde yer alan ısı değiştiricilere ait ısıl yük ve ekserji kayıpları incelendiğinde yüksek basınçlı kaynatıcıya yakın olan ısı değiştiricilerin ısıl yük ve ekserji yıkım değerlerinde artış olduğu tablodan anlaşılmaktadır. Sistemin ekserji verimi 0,339 olarak hesaplanmıştır. Şekil 2 üzerinde düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak sistem verimliliğindeki değişim gösterilmiştir.

**Şekil 2.** Düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı STK ve ESTK değişimi

Sistemde yer alan bütün elemanların çalışma şartlarının sistem üzerinde etkisi olmakla beraber düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak analizler yapılmıştır. Literatürde yer alan tek ve çift kademeli sistemler üzerinde kaynatıcının etkisini gösteren çalışmalar göz önüne alındığından üç kademeli soğutma sistemlerinde yer alan üç farklı kaynatıcı içerisinde düşük basınçlı kaynatıcının tek kademeli sistemlerde yer alan kaynatıcıyla benzer davranışlar gösterdiği görülmüştür. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar bu yargıyı desteklemektedir.

Şekil 2 üzerinde düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak sisteme ait birinci kanun verimi ve ikinci kanun veriminde yaşanan değişimler gösterilmiştir. Şekil üzerinde verilen diğer çalışma şartlarına bağlı olarak sistemdeki düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığının artmasının sistem performansı üzerinde olumlu sonuçları görülmektedir. Düşük basınçlı kaynatıcının 72 °C'de çalıştırılması sonucu sisteme ait performans değeri 1,472 iken sıcaklık 80 °C çıkarıldığında STK değeri % 12'lik bir artışla 1,647 olmuştur. Benzer şekilde düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığının artırması ekserji verimliliğinde de artışa neden olmuş ve ESTK değeri 0,302 değerinden 0,338 değerine çıkmıştır. Şekil üzerinde görüldüğü gibi eğrinin davranışı azalan artış türündendir. Sistemin diğer çalışma şartları ise düşük basınçlı kaynatıcı için sınırlayıcı etkiye sahiptir. Verilen şartlar için düşük basınçlı kaynatıcının daha yüksek sıcaklıkta çalıştırılması ısıl dengesizliğe neden olduğu için 80 °C'nin üzerine çıkılmamıştır. Düşük basınçlı kaynatıcının ısıl sınırlar içerisinde daha yüksek sıcaklıklarda çalıştırılmasının sistem performansı üzerindeki olumlu etkilerinden yukarıda bahsedilmiştir. Bir soğutma sisteminin daha verimli hale getirilmesi sistemde yaşanan ekserji yıkımlarını ya da diğer bir ifadeyle kullanılabilirlikte yaşanan azalmaları daha aza indireceği ön görülebilir. Fakat üç kademeli bir soğutma sistemi gibi birçok sistem elemanına sahip bir çevrim için sistem elemanlarında yaşanan ekserji yıkımlarındaki değişimin ayrıntılı olarak ifade edilmesi ancak bir analizle mümkündür. Sistem elemanlarının ekserji yıkımlarındaki değişimin bulunması bu çalışmanın kapsamına dâhil edilmiş ve aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur.

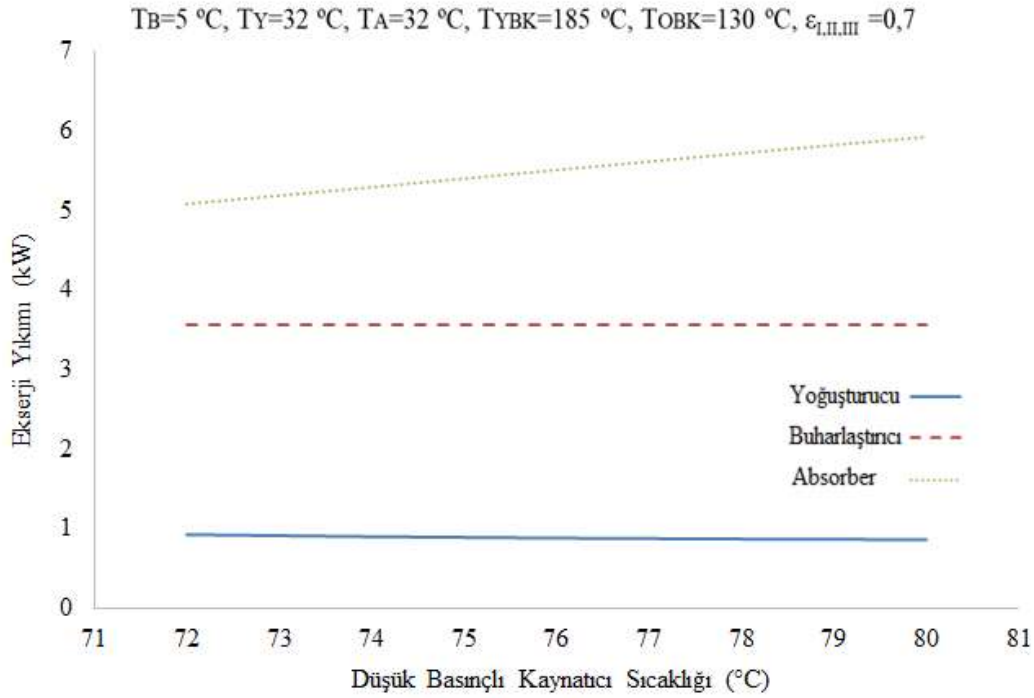


Şekil 3. Düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak kaynatıcılara ait ekserji yıkımındaki değişim

Üç kademeli soğutma sistemleri çalışma prensibine has olarak üç farklı basınç değerinde çalışan üç farklı kaynatıcıya sahiptirler. Bunlar yüksek basınçlı kaynatıcı, orta basınçlı kaynatıcı ve düşük basınçlı kaynatıcılardır. Şekil 3 üzerinde düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak üç farklı kaynatıcıya ait ekserji yıkımındaki değişim gösterilmiştir. Şekil üzerinde gösterildiği gibi orta basınçlı kaynatıcıya ait ekserji yıkımı düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığından çok fazla etkilenmemektedir ve sadece %3 oranında bir azalma olmuştur. Bu durum orta basınçlı kaynatıcının sistem üzerinde

bulunduğu konum ile açıklanabilir. Ekserji yıkımdaki azalmanın en fazla olduğu kaynatıcı ise düşük basınçlı kaynatıcıdır. Kaynatıcının çalışma sıcaklığının 8 °C artırılması başlangıçta 0,96 kW olan ekserji yıkımını %85 oranında bir azalışla 0,14 kW değerine indirmiştir. Benzer şekilde yüksek basınçlı kaynatıcıya ait ekserji yıkımında % 17 oranında bir azalma olmuştur.

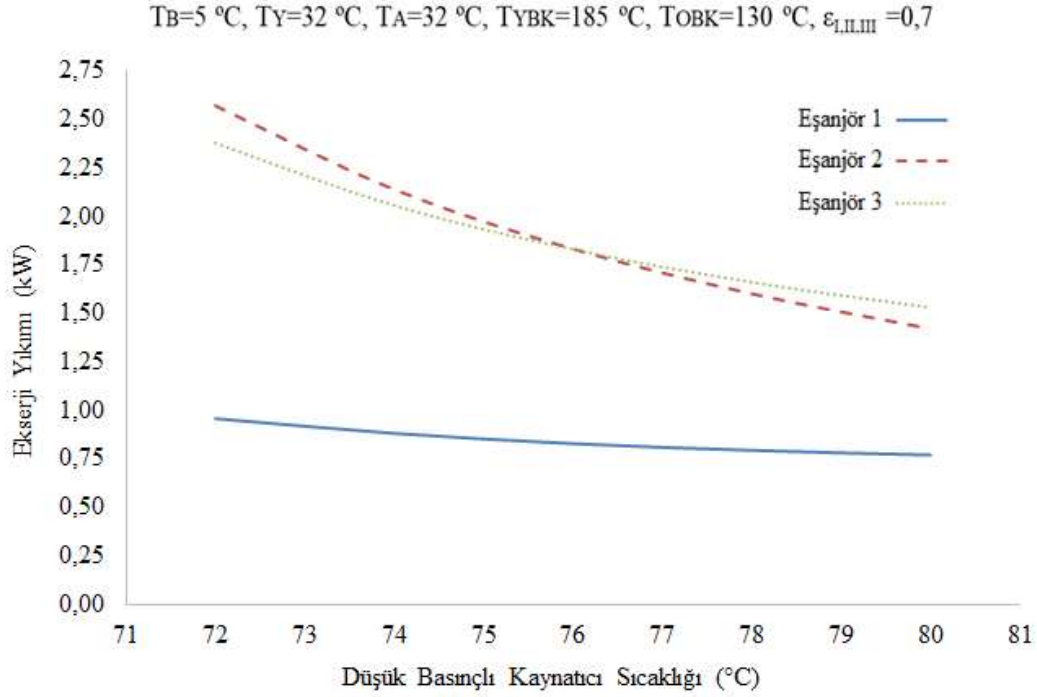
Üç kademeli bir soğurmalı soğutma sisteminin diğer konfigürasyon türleriyle ortak olarak değerlendirilebilecek olan sistem elemanları yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve absorberdir. Şekil 4 üzerinde düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve absorberde yaşanan ekserji yıkımındaki değişim gösterilmiştir. Şekil üzerinde görüldüğü gibi üç ayrı sistem elemanı içinde en fazla ekserji yıkımı absorberdedir. Bu durum daha önce kapasite değerlerinin verildiği bölümle ilişkilendirildiğinde absorberin sistem içerisinde en fazla kapasiteye sahip eleman olmasıyla açıklanabilir. Absorberden sonra sırasıyla buharlaştırıcıda ve yoğuşturucuda ekserji yıkımları en fazla olmaktadır. Şekil 4 üzerinde görüldüğü gibi buharlaştırıcıya ait ekserji yıkımında düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı herhangi bir değişim olmamaktadır. Şekil üzerinde verilen çalışma şartları altında 3,565 kW olarak hesaplanan ekserji yıkımının değişmemesi analizlerde buharlaştırıcı kapasitesinin sabitlenmesiyle açıklanabilir. Fakat şekil üzerinde dikkati çeken nokta yoğuşturucuya ait ekserji yıkımının etkilenmemesidir. Başlangıçta 0,926 kW olan ekserji yıkımı 0,863 kW değeri gerilemiştir. Bu değişim şekil üzerinde fark edilemeyecek kadar azdır.



Şekil 4. Yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve absorbere ait ekserji yıkımındaki değişim

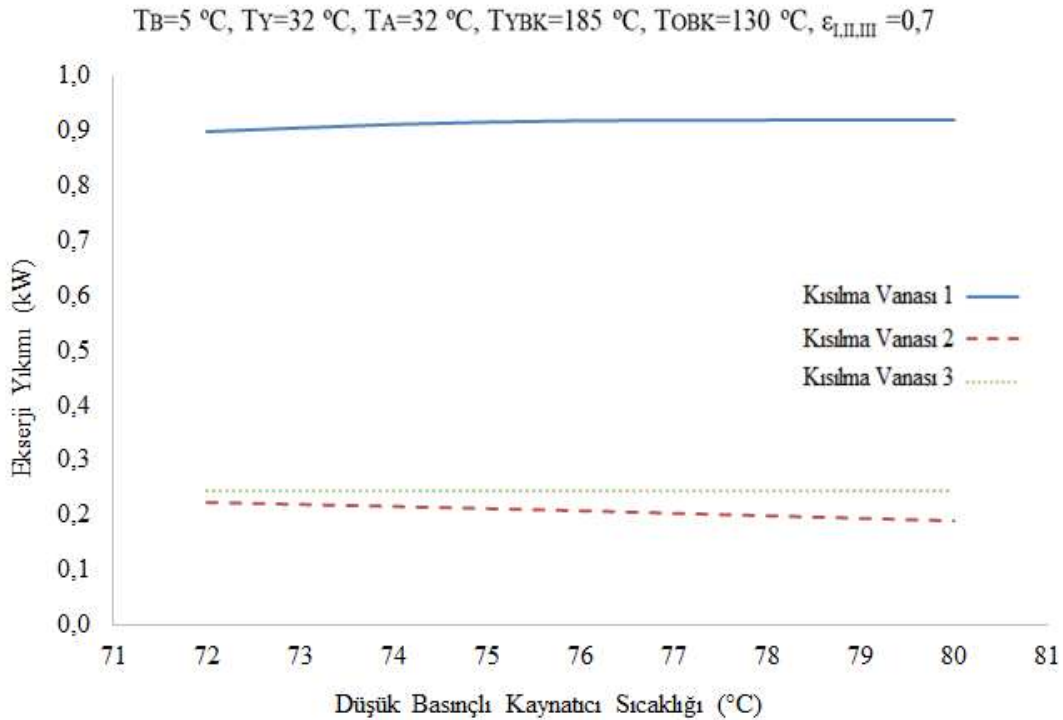
Şekil 4 üzerinde dikkati çeken diğer bir nokta absorberdeki ekserji yıkımının artmasıdır. Absorber bu yönüyle sistemde bir istisna teşkil etmektedir. Düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığının artmasıyla sisteme ait verim seviyesinin artması ve sistem elemanlarına ait ekserji yıkım değerlerinde genel olarak bir azalma olurken sadece absorberde artış olmuştur. Başlangıçta 5,069 kW olan ekserji yıkımı 5,915 kW seviyesine yükselmiştir. Bu değişim % 17 oranında bir artışa tekabül etmektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenen sistemde ısı geri kazanımı sağlamak ve dolayısıyla sistemin enerji performansını artırmak amacıyla üç farklı ısı değiştiricisi kullanıldığından daha önce bahsedilmişti. Şekil 5 üzerinde ısı değiştiricilerine ait ekserji yıkımındaki değişim düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak gösterilmiştir.



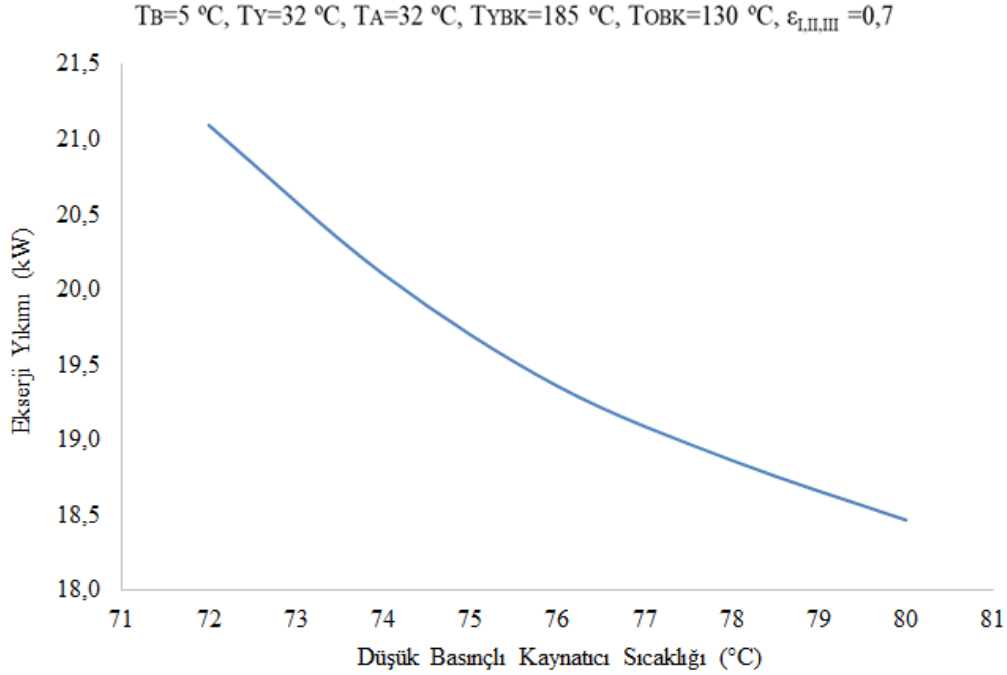
Şekil 5. Düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı olarak ısı değıştircilerine ait ekserji yıkımındaki değışim

Düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığının artmasıyla ısı değıştircilerindeki ekserji yıkım miktarları da azalmaktadır. Buna göre bir numaralı ısı değıştircisine ait ekserji yıkımı %19,64 oranında düşerek 0,188 kW azalmıştır. İki numaralı ısı değıştircisi ise 2,568 kW değerinden 1,423 kW değerine düşmüştür. Bu durum % 45 oranında bir azalma demektir. Benzer şekilde üç numaralı ısı değıştircisine ait ekserji yıkımında eğri sonunda %35,7 oranında bir azalma olmuştur. Eğrilerin son halinde ısı değıştircilerine ait ekserji yıkım miktarı sıralaması da değışmiştir.



Şekil 6. Düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı kısılma vanalarındaki ekserji yıkımındaki değışim

Şekil 6 üzerinde sistemdeki kısılma vanalarında meydana gelen ekserji yıkımındaki değişim gösterilmiştir. Buna göre en fazla ekserji yıkımı bir numaralı kısılma vanasında meydana gelmiştir. Daha sonra sırasıyla üç numaralı ve iki numaralı kısılma vanalarında ekserji yıkımı olmuştur. Üç numaralı kısılma vanası düşük basınçlı kaynatıcının çalışma sıcaklığından etkilenmemektedir. Bir numaralı kısılma vanasında grafik boyunca azda olsa yani % 2,3 oranında bir artış olmuş iki numaralı kısılma vanasında ise % 14,8 oranında bir azalma olmuştur.



Şekil 7. Düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı sistemdeki toplam ekserji yıkımındaki değişim

Şekil 7 üzerinde düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı sistemde meydana gelen toplam ekserji yıkımının değişimi verilmiştir. Başlangıçta 21,095 kW olan ekserji yıkımı düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığının artmasıyla azalmış ve 18,469 kW değerine gerilemiştir. Bu durum grafik boyunca %12,5 oranında bir azalma anlamına gelmektedir. Buraya kadar verilen analiz sonuçları göz önüne alındığında her bir sistem elemanının ekserji yıkımındaki azalmaya katkısının farklı olduğu görülür. Bunun sebebi sistem elemanlarının ısıl kapasitelerinin ve sistemdeki konumlarının farklı olmasıyla açıklanabilir. Çalışmada incelenen on iki farklı sistem elemanında yüksek basınçlı kaynatıcı ve düşük basınçlı kaynatıcıya ait ekserji yıkımlarında belirgin bir azalma olmuştur. Ayrıca bir ve iki numaralı ısı değiştiricilerindeki ekserji yıkım miktarı belirgin bir şekilde azalmaktadır. Ekserji yıkımının belirgin bir şekilde arttığı tek eleman absorberdir. Geriye kalan sistem elemanlarındaki değişim ya sabit yada çok az olarak gerçekleşmiştir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada üç kademeli seri akışlı lityum bromür – su çözeltisiyle çalışan bir soğurmalı soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizine yer verilmiştir. Öncelikle literatür sonuçlarında üç kademeli sistemlerin tek ve çift kademeli sistemlere göre daha yüksek verimliliğe sahip olduğu ve atık ısıyla soğutma imkânı sunan bu sistemlerin bilimsel açıdan halen incelenmeye değer olduğu görülmüştür. Çalışma sıcaklığının sistem verimliliği üzerinde etkileyici bir yönü olan düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığına bağlı analizler yapılmıştır. Sistem içerisinde geçerli olan ısıl denge gereği diğer çalışma şartlarına bağlı olarak düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığı en fazla 80 °C'ye kadar çıkartılmıştır. Tablo halinde verilen sonuçlarda sistemde ısı geri kazanım amacıyla kullanılan üç farklı ısı değiştiricisi etkinliğinin sistem performansı üzerindeki olumlu etkileri gösterilmiştir. Sistem elemanları içinde en fazla ısı yük absorbere aittir. Çalışmada verilen şartlar altında STK değeri 1,647 olarak hesaplanmıştır.

Ekserji yıkım oranları kıyaslandığında ise % 32 oranla en fazla ekserji yıkımı absorberde

meydana gelmiştir. Absorberi buharlaştırıcı ve yüksek basınçlı kaynatıcı takip etmektedir. 100 kW sabit soğutma yüküne sahip olan sistemde toplam ekserji yıkımı 18,5 kW olarak hesaplanmıştır. Sisteme ait ESTK değeri ise 0,339 olarak bulunmuştur. Sisteme ait yapılan diğer analizlerde düşük basınçlı kaynatıcı sıcaklığının 72 °C'den 80 °C'ye kadar artmasıyla sisteme ait STK ve ESTK değerlerinde % 12 oranında bir iyileşme görülmüştür. Sistem üzerinde meydana gelen genel performans iyileşmesinin sistem elemanları üzerindeki etkileri farklı olmuştur. Yüksek basınçlı kaynatıcı ve düşük basınçlı kaynatıcıya ait ekserji yıkımlarında belirgin bir şekilde azalma olurken orta basınçlı kaynatıcıda sadece % 3 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Buharlaştırıcıda sabit, yoğunlaştırıcıda % 6,8 azalma fakat absorberde % 16,7 oranında bir artış olmuştur. Her üç ısı değiştiricisine ait ekserji yıkımında azalma olurken bu oran bir numaralı ısı değiştiricisinde % 19,6 ve iki numaralı ısı değiştiricisinde %44,6 olmuştur. Üç numaralı ısı değiştiricisine ait oran ise % 35,7'dir. Kısılma vanaları içinde en fazla % 14,8 oranla iki numaralı kısılma vanasına ait ekserji yıkımında azalma yaşanmıştır. Sistem elemanlarına ait ekserji yıkım miktarlarının toplanmasıyla elde edilen sisteme ait ekserji yıkım oranındaki toplam azalma ise %12,5 olarak gerçekleşmiştir.

Kaynaklar

- [1] Pastakkaya B., Yamankaradeniz N., Kaynaklı Ö., Coskun S., Yamankaradeniz R. 2012. Experimental analysis of a solar absorption system with interior energy storage. *Journal of Energy in Southern Africa*, 23 (2): 39-49.
- [2] Kurtulmuş N., Horuz İ. 2017. An Industrial vapor absorption air conditioning application. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36 (2) :49-60.
- [3] Yılmaz İ.H., Saka K., Kaynaklı O. 2016. A thermodynamic evaluation on high pressure condenser of double effect absorption refrigeration system. *Energy*, 113: 1031-1041.
- [4] Kaynaklı O., Saka K., Kaynaklı F. 2015. Energy and Exergy Analysis of a Double Effect Absorption Refrigeration System Based on Different Heat Sources. *Energy Conversion and Management*, 106: 21-30.
- [5] Arora A., Kaushik S.C. 2009. Theoretical analysis of LiBr/H₂O absorption refrigeration systems. *International Journal of Energy Research*, 33: 1321-1340.
- [6] Gomri R. 2008. Thermodynamic evaluation of triple effect absorption chiller. *Thermal Issues in Emerging Technologies, ThETA 2, Cairo, Egypt*.
- [7] Gomri R., Hakimi R. 2008. Second law analysis of double effect vapor absorption cooler system. *Energy Conversion and Management*, 49: 3343-3348.
- [8] Gomri R. 2010. Investigation of the potential of application of single effect and multiple effect absorption cooling systems. *Energy Conversion and Management*, 51: 1629-1636.
- [9] Gebressie B.H., Medrano M., Boer D. 2010. Exergy analysis of multi-effect water-LiBr absorption systems: From half to triple effect. *Renewable Energy*, 35: 1773-1782.
- [10] Maryami R., Dehghan A.A. 2017. An exergy based comparative study between LiBr/water absorption refrigeration systems from half effect to triple effect. *Applied Thermal Engineering*, 124: 103-123.
- [11] Yılmaz İ.H., Saka K., Kaynaklı Ö., Kaşka Ö. 2019. Performance Assessment and Solution Procedure for Series Flow Double-Effect Absorption Refrigeration Systems Under Critical Operating Constraints. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44: 5997-6011.
- [12] Saka K., Yılmaz İ.H., Göksu T.T. 2018. Üç-kademeli Bir Soğurmalı Soğutma Siteminde Kaynatıcılara Bağlı Enerji ve Ekserji Analizi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 4 (1): 67-76.
- [13] Kaynaklı O., Kılıç M. 2007. Theoretical study on the effect of operating conditions on performance of absorption refrigeration system. *Energy Conversion and Management*, 48: 599-607.
- [14] Chua H.T., Toh H.K., Malek A., Ng K.C., Srinivasan K. 2000. Improved thermodynamic property field of LiBr-H₂O solution. *International Journal of Refrigeration*, 23: 412-429.
- [15] Mostafavi M., Agnew B. 1996. The impact of ambient temperature on lithium bromide-water absorption machine performance. *Applied Thermal Engineering*, 16: 515-522.
- [16] Gomri R. 2009. Second law comparison of single effect and double effect vapor absorption refrigeration systems. *Energy Conversion and Management*, 50: 1279-1287.

Araştırma Makalesi / Research Article

Van Gölü'nde Sedimentasyon Hızının Fizyografik Değişimi, Doğu Anadolu/Türkiye

Ayşegül Feray MEYDAN*, Sefer ÖRÇEN

*Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van
(ORCID: 0000-0002-3842-1711) (ORCID: 0000-0002-6099-7725)*

Öz

Gölsel çökel istifler geçmişte olmuş iklimsel, tektonik, volkanik, su seviyesi değişimleri ve sedimentasyon hızı gibi değişikliklerin kayıtlarının tutulduğu önemli arşivlerdir. Van Gölü dip çökelleri karasal olarak uzun bir geçmişi simgelemesi nedeni ile bu tip çalışmalar için karakteristik bir örneği temsil etmektedir. Gölsel çökel istifler farklı disiplinlerde çalışılırken kronolojik olarak yaşlandırılması gerekmektedir. Bu açıdan farklı birçok yaşlandırma metodu mevcuttur. Bu çalışma kapsamında, Van Gölü'nün farklı fizyografik bölgelerinden alınan altı adet kısa karot üzerinde dengeüstü ^{210}Pb aktiviteleri hesaplanmış ve CRS modeline göre ortalama sedimentasyon hızı belirlenmiştir. ^{137}Cs aktivitesi bu çalışma kapsamında kronostratigrafik referans (1963, 1986) olarak kabul edilmiş ve hesaplanan sedimentasyon oranları ile uyumlu bulunmuştur. Hesaplanan sedimentasyon hızları 0.5 mm/yıl ile 1.3 mm/yıl arasında değişmektedir. Sedimentasyon hızlarındaki farklılığın sadece su derinliği ve drenaj havzası kontrollü olmadığı bununla birlikte göl tabanındaki morfolojik unsurların kontrolü altında olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Van Gölü, ^{210}Pb - ^{137}Cs , sedimentasyon oranı, morfoloji

Physiographic Variations of Sedimentation Rate in Lake Van, Eastern Anatolia/Turkey

Abstract

Lacustrine sedimentary sequences are important archives that keep records of past climatic, tectonic, volcanic, lake level and sedimentation rate changes. Lake Van sediments represent a characteristic example of this type research because it represents a long terrestrial history. The lacustrine sediments should be dated chronologically while working in different disciplines. There are many different dating methods. In this study, on the six cores taken from the different physiographic regions of Lake Van, unsupported ^{210}Pb activities were calculated and the average sedimentation rate was determined according to the CRS model. ^{137}Cs activity was accepted as chronostratigraphic marker (1963, 1986) and it was found that the dates are compatible with the calculated sedimentation rates. The calculated sedimentation rates are between 0.5 mm/year and 1.3 mm/year. The differences in sedimentation rates were not only controlled by water depth and drainage basin, but also by the morphological elements at the lake basin.

Keywords: Lake Van, ^{210}Pb - ^{137}Cs , sedimentation rate, morphology

1. Giriş

Göl sedimanları geçmiş ortam koşullarının saklandığı arşivleri kesintisiz olarak barındırmaktadırlar. Bu nedenle son yıllarda göllerde yapılan paleolimnolojik çalışmalar, başta geçmiş iklim değişikliklerinin açıklığa kavuşturulması gibi birçok bilimsel araştırmanın odağı olmaktadır. Paleolimnolojik araştırmalarda, sedimanların depolanma hızının belirlenmesi çok önemli bir parametredir. Sedimentasyon hızı geleneksel yöntemlerin yanında hidrografik haritalar, fiziksel ölçümler ve

*Sorumlu yazar: feraygokdere@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.03.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

izotopların kullanıldığı yeni yöntemlerle ölçülebilmektedir. Sedimanların güncel sedimantasyon hızının (<150 yıl) belirlenmesinde en yaygın kullanılan metot ^{210}Pb yöntemidir. ^{210}Pb , yeryüzünde düzenli dağılım gösteren ^{238}U serisinin bir üyesidir ve yarılanma ömrü 22.3 yıldır. Bu tarihlendirme yöntemi, ^{222}Rn gazının topraktan atmosfere salınması temeline dayanmaktadır. Kısa ömürlü ^{222}Rn (3.82 gün) ^{210}Pb 'ye bozunur ve ^{210}Pb haftalar içerisinde katı bir serpinti olarak dünya yüzeyine veya su rezervuarına geri döner. ^{210}Pb aktivitesi, ^{226}Ra 'nın doğal bozunmasıyla oluşan dengedeki ^{210}Pb ve atmosferik serpinti ile oluşan dengeüstü ^{210}Pb olmak üzere iki bileşenlidir. Sedimantasyon hızı hesaplanırken dengeüstü ^{210}Pb profilinden faydalanılmaktadır. Bir sediman tabakası yeni çökelen malzemenin altına gömüldüğünden, dengeüstü aktivitesi doğal bozunma yasasında olduğu gibi azalır [1]. Kilit nokta, sedimanın yaşını iyi bir doğrulukla belirlemeye izin veren başlangıç aktivitesinin tahminidir. Bu sorunu çözmek için birçok model kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ve CRS (Constant Rate of Supply) olarak adlandırılan model, değişen sediman birikim hızına karşılık sedimana aktarılan ^{210}Pb akısının sabit olduğunu varsaymaktadır [2]. Taşkın olayları veya arazi kullanımındaki değişim nedeni ile yukarıda sözü edilen modellerde kullanılan ^{210}Pb akısının konsantrasyonunda hatalar olabilir. Bu nedenle ^{210}Pb modeli, ^{137}Cs yapay radyonüklid serpintisinin bağımsız olarak ölçümü ile doğrulanabilir [1]. ^{137}Cs radyonüklid serpintisi ilk olarak 1950'li yılların başında ilk nükleer silah denemeleri ile ortaya çıkmıştır. 1965 yılında nükleer silah denemeleri ve 1986 yılında meydana gelen Çernobil kazasında atmosferde en yüksek değerlere ulaşmıştır [1].

Van Gölü özellikle son yıllarda başta ICDP-PaleoVan projesi olmak üzere birçok paleolimnolojik araştırmaya ev sahipliği yapmıştır. 2004, 2012 ve 2014 yıllarında yapılan sismik araştırmalar neticesinde göl tabanı morfolojisi ve gölün batimetrisi ortaya konulmuştur [3-5]. Bu çalışmanın amacı sismik araştırmalarla varlığı belirlenmiş olan gölün farklı fizyografik bölgelerinden alınan kısa karotların güncel sedimantasyon oranlarının belirlenmesi ve bu oranların birbirleri ve taban morfolojisi ile olan ilişkisini ortaya koymaktır. Bu amaçla karotların ^{210}Pb aktivite profillerine CRS modeli uygulanarak sedimantasyon oranları hesaplanmış ve bu oranların doğruluğu ^{137}Cs aktivitesinden elde edilen kronostratigrafik referans tarihleri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sedimantasyon oranları arasındaki ilişki, morfolojik unsurlar ile açıklanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı ve Sediman Karotlar

Doğu Anadolu'nun doğusunda deniz seviyesinden 1648 metre yükseklikte yer alan Van Gölü, alansal açıdan dünyanın en büyük sodalı gölü (3570 km²) ve hacimsel açıdan (607 km³) dördüncü en büyük kapalı havza gölüdür (Şekil 1). Maksimum derinliği 460 metre olan gölün suları 9.7 pH ve 21g/kg tuzluluğa sahiptir [6, 7]. Van Gölü'nün drenaj havzası içerisinde güneyde Bitlis-Pötürge masifine ait metamorfik kayalar, doğusunda ise Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı konglomeralar, karbonatlar ve kumtaşları yüzlek vermektedir. Kuzey ve batısı ise volkanik kayalar ile örtülüdür [8, 9]. Göl havzası tektonizma açısından oldukça aktif bir bölgede şekillenmiştir [10, 11]. Gölün kuzeyinde Süphan Volkanı (4058 m) ve batısında Nemrut Volkanı (2948 m) yer almaktadır. Bu volkanlardan türeyen yaklaşık 500 tefra seviyesi göl tabanında volkanik olmayan sedimanlar içerisinde katmanlanmıştır [12, 13]. Bununla birlikte Van Gölü'nün evrimini ve bölgedeki iklim değişikliklerini araştıran ICDP-PaleoVan çalışmalarının sonuçlarına göre; göl havzası 600 bin yıl önce Nemrut Volkanının Muş Havzası'nın önünü kapatmasıyla oluşmaya başladığı bildirilmiştir [4, 14].

meydana gelebilecek deformasyonun önüne geçilebilmektedir. Alınan sediman karotlara ait konumlar (Şekil 1) ve bu karotlara ait detaylı bilgiler verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Kısa karotların özellikleri

Karot No	Koordinat (N/E)	Havza	Karot Su Derinliği (m)
Van04-2V	38°39.939'/42°40.214'	Ahlat Sırtı	375
Van04-5V	38°44.929'/42°39.429'	Kuzey Havzası	247
Van04-6V	38°43.017'/42°39.879'	Kuzey Sırtı	145
Van04-9V	38°35.813'/42°49.665'	Tatvan Havzası	420
Van05-01	38°33.437'/43°10.038'	Doğu Şelfi	50
Van05-03	38°40.144'/42°54.471'	Erek Yelpazesi	216

2.2. Analitik Metotlar

Alınan sediman karotlar iki kısma ayrılmış ve ilk 10 cm lik kısmı her yarım cm'de bir örneklenmiştir. Diğer kısım sonraki çalışmalar için soğutucu odada +4°C'de saklanmıştır. Örnekleme yapılan sedimanların yaş ağırlıkları hesaplanmıştır. Örnekler dondurulduktan sonra liyofilizatör cihazı ile içeriğindeki su uzaklaştırılmış ve kuruması sağlanmıştır. Kurutulmuş örnekler pudra haline getirilmiş ve ardından Canberra marka çok kanallı analizörüne bağlı HPGe kuyu tipi dedektörü (High Purity Ge well detector) ile gama sayımı yapılmıştır. ²¹⁰Pb için veriler 46.5 keV'deki gama spektrometresi ile tespit edilirken, ¹³⁷Cs için veriler 662 keV gama enerjisi kullanılarak elde edilmiştir. Analizler Zürih/İsviçre'de bulunan Eawag Enstitüsü, Yüzeysel Suları Araştırmaları ve Yönetimi Bölümü (EAWAG/ Department Surface Waters Research and Management) Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında sedimantasyon oranı hesaplanırken CRS modeli kullanılmıştır. CRS modeli, atmosferden deniz suyuna sabit bir ²¹⁰Pb akışı olduğunu varsaymaktadır. Bu durumda sedimantasyon hızında oluşabilecek herhangi bir değişkenlikten bağımsız olarak, sedimanların ²¹⁰Pb akışı sabittir [17]. Bu modelin geçerli olduğu durumlarda; sedimanın "t" yaşına bağlı olarak dengeüstü ²¹⁰Pb (A) konsantrasyonundaki değişim aşağıdaki bağlantıda verilir [2].

$$A = A(0)e^{-\lambda t} \quad (1)$$

A(0) sediman kolonundaki toplam dengeüstü ²¹⁰Pb aktivitesidir ve λ , ²¹⁰Pb'nin radyoaktif bozunma sabitidir ($\lambda = -0,0311$). A ve A(0), ²¹⁰Pb profilinin sayısal integrali kullanılarak direk hesaplanabilmektedir. x derinliğinin yaşı t olmak üzere;

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A(0)}{A} \quad (2)$$

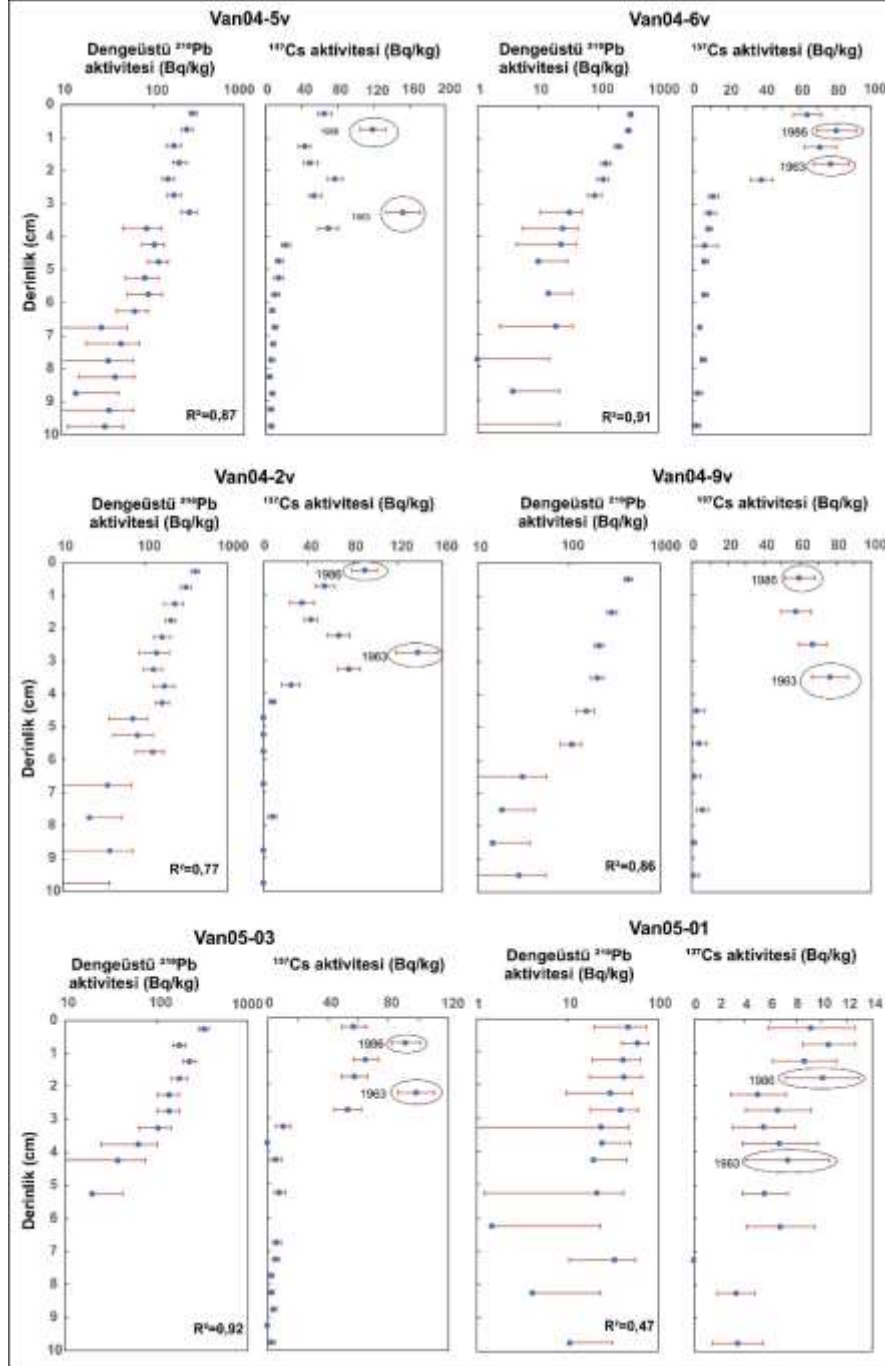
formülü ile ve sedimantasyon oranı CRS modeline göre aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [2].

$$r = \frac{\lambda A}{C} \quad (3)$$

Yarılanma ömrü 30.1 yıla denk gelen ¹³⁷Cs, Cs izotopunun radyoaktif izotopudur ve atmosferdeki ¹³⁷Cs radyonüklidi yağışlarla yeryüzüne inmekte ve kil tanelerinin yapısına hızlıca hapsolmektedir. Daha sonra bu taneler erozyonla birlikte göllerin tabanında depolanır. Bu çalışmada kronostratigrafik referans tarihi olarak ¹³⁷Cs radyonüklidi kullanılmıştır. Çünkü atmosferde 50'li yıllardan önce sıfır olan ¹³⁷Cs serpintisi, nükleer denemelerle atmosfere salınım yapmaya başlamıştır. 1963 nükleer testler nedeni ile atmosferde ilk yüksek değeri verirken, ikinci yüksek piki 1986 Çernobil Nükleer kazası ile vermiştir. Bu nedenle ¹³⁷Cs profillerine bakıldığı zaman 1963 ve 1986 yılları kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında alınan tüm karotlar için ayrı ayrı dengeüstü ^{210}Pb ve ^{137}Cs aktivitelerinin derinliğe göre değişimi hesaplanmış ve grafiklerde verilmiştir (Şekil 3). Genel radyoaktif bozunma yasalarına göre sedimanın üst yüzeyinden daha alt katmanlara doğru dengeüstü ^{210}Pb konsantrasyonunun azalması gerekmektedir. Tüm karotlarda dengeüstü ^{210}Pb aktivitesinin derinliğe bağlı üssel olarak azalma gösterdiği gözlenmiştir ($R^2 > 0.46$) ve bu durum genel radyoaktif bozunma yasaları ile uyumludur.



Şekil 3. Karotlardan elde edilen dengeüstü ^{210}Pb , ^{137}Cs aktiviteleri

Buna göre gölün farklı fizyografik bölgelerinden alınan karotlardan elde edilen toplam dengeüstü ^{210}Pb aktivitesi, ^{137}Cs aktivitesi ve CRS modeline göre hesaplanan ortalama güncel sedimentasyon oranları aşağıda verilmiştir (Tablo 2). Bu oranlara göre, Van Gölü'nün farklı fizyografik

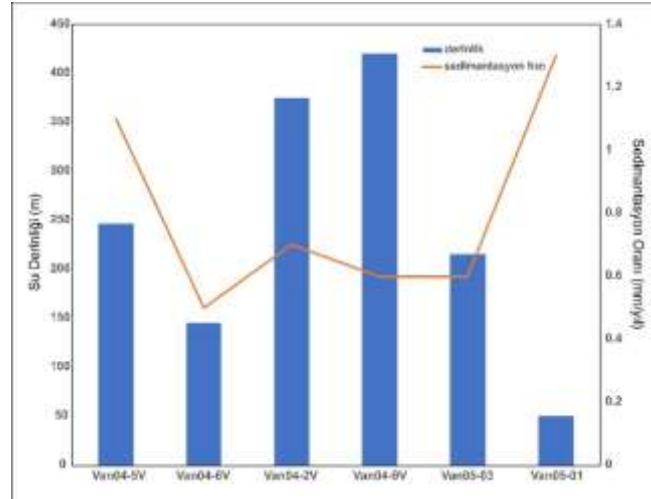
bölümlerinden elde edilen sedimantasyon oranlarının birbirinden farklı olduğu bulunmuştur. ^{137}Cs yapay bir radyonüklidtir ve önceden sözü edildiği gibi atmosferde nükleer silah denemelerinin 50'li yıllarda başlaması ile gözlenmeye başlamış ve 1963 yılında ilk yüksek değeri vermiştir. Daha sonra 1986 yılı Çernobil Kazası ile ikinci yüksek piki vermiştir. Kronostratigrafik referans (1963 ve 1986) olarak kullanılan ^{137}Cs aktivitesinde gözlenen pik noktaları, dengeüstü ^{210}Pb profillerinden yola çıkılarak ve CRS modeli ile elde edilen sedimantasyon oranlarının doğruluğunu desteklemektedir. Karot profillerinde dikkati çekeceği üzere daha derinlerde ^{137}Cs aktivitesi sıfırdır.

Tablo 2. Toplam dengeüstü ^{210}Pb , ^{137}Cs aktivitesi ve sedimantasyon oranları

Karot No	Havza	Dengeüstü toplam ^{210}Pb aktivitesi (Bq/kg)	Toplam ^{137}Cs aktivitesi (Bq/kg)	Sedimantasyon Oranı (mm/yıl)
Van04-2V	Ahlat Sırtı	2330 ± 653	546 ± 92	0.7
Van04-5V	Kuzey Havzası	2212 ± 596	752 ± 126	1.1
Van04-6V	Kuzey Sırtı	1356 ± 352	400 ± 70	0.5
Van04-9V	Tatvan Havzası	1532 ± 325	278 ± 54	0.6
Van05-01	Doğu Şelfi	395 ± 313	89 ± 32	1.3
Van05-03	Erek Yelpazesi	1417±355	470 ± 82	0.6

Su derinliklerine göre elde edilen sedimantasyon oranları aşağıdaki grafikte karşılaştırılmalı olarak verilmiştir (Şekil 4). Üzerinde çalışılan karotlardan hesaplanan en hızlı sedimantasyon oranı 1.3 mm/yıl ile doğu şelfinden alınan Van05-01 karotundan elde edilmiştir. Bu noktadaki sedimantasyon oranının göreceli olarak hızlı olmasını akarsu kontrolünün bu bölgede yoğun olması ve akarsuların bol miktarda malzemeyi bu noktada biriktirmesine bağlamak mümkündür. Aynı zamanda bu noktanın kıyıya yakın olması ve bu bölgede insan etkisinin (tarım faaliyetleri, yapılaşma vs) son yıllarda gözle görülür biçimde artmış olması sedimantasyon hızını artıran diğer nedenler arasında sayılabilir.

Erek yelpazesinden alınan karotun (Van05-03) sedimantasyon hızı oldukça düşüktür (0.6 mm/yıl). Bu durumu karot alınan noktanın akarsu kontrolünden uzak olmasına bağlamak mümkündür. Bununla birlikte bu nokta fizyografik olarak gölsel yamaç olarak tanımlanan bölgede yer almaktadır [5]. Buradan yola çıkarak bu noktadaki eğim düşünülecek olursa, malzemenin burada çökelmeyeceği ve yamaç aşağı hareket ederek uygun koşullar altında çökeleceği sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 4. Su derinliği – sedimantasyon oranı ilişkisi

Kuzeyden güneye doğru (Van 04-5V, Van04-6V, Van04-2V, Van04-9V; Şekil 2) elde edilen sedimantasyon oranları 1.1 mm/yıl ile 0.5 mm/yıl arasında değişmektedir. Bu aralıkta önceden yapılan çalışmaların sonucuna göre drenaj havzasının kontrolü ve su derinliği düşünüldüğünde sedimantasyon oranının azalması beklenmektedir [4, 5]. Ancak elde edilen sedimantasyon oranları sırasıyla, 1.1 mm/yıl (Kuzey Havzası), 0.5 mm/yıl (Kuzey Sırtı), 0.7 mm/yıl (Ahlat Sırtı) ve 0.6 mm/yıl (Tatvan Havzası) şeklindedir. Bu hat üzerinde su derinliği ve sedimantasyon hızı arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($r = -0,019$). Kuzey Havzası'ndan elde edilen karotun sedimantasyon oranı kıyıya yakın olması nedeni

ile bol miktarda malzemenin erozyon ile taşınmasından dolayı yüksektir (1.1 mm/yıl). Bunu takiben Kuzey Sırtı'ndan elde edilen sedimantasyon oranı 0.5 mm/yıl dır. Su derinliğinin göreceli olarak az olmasına rağmen sedimantasyon oranı düşmüştür. Bu durumu Kuzey Sırtı'nın morfolojisine bağlamak mümkündür. Kuzey Sırtı morfolojik olarak Kuzey Havzası'ndan taşınarak gelen malzemenin büyük bir kısmının önünü kapatarak güneye doğru taşınmasını engellemektedir ve güneydeki havzalarda sedimantasyon oranını düşürmektedir şeklindeki kanı doğruluk kazanmaktadır. Ahlat sırtında sedimantasyon oranı tekrar artmaktadır ve 0.7 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Van Gölü'nde gerçekleştirilen önceki çalışmalara göre son 600 bin yıllık süreçte ¹⁴C ve Ar-Ar metoduyla yaşlandırılması yapılan karotlardan elde edilen verilere göre Kuzey Havzası'ndaki sedimantasyon oranının Ahlat Sırtına oranla 3.5 kat daha hızlı olduğu söylenmiştir [4, 18]. Bu çalışmalara göre; Kuzey Havzası'nda sedimantasyon hızının fazla olması farklı nedenlere bağlanmıştır. Bunlardan biri, bu havzanın Nemrut Volkanı'na yakınlığı ve bu nedenle volkanoklastiklerin taşınarak burada çökmesi ve sedimantasyon oranını yükseltmesidir. Bir diğeri ise Kuzey Sırtı'nın Ahlat Sırtı ve Tatvan Havzası'na volkanoklastiklerin taşınmasına engel olan bir bariyer görevinin görmüş olabileceği ve Ahlat Sırtı ile Tatvan Havzasında sedimantasyon oranının bu nedenle nisbeten daha düşük olduğu düşünülmektedir [5]. Bizim çalışmamıza göre son 150 yıllık süreçte bu oran 1.5 kata düşmektedir. Bu azalmanın nedenini volkanik aktivitenin günümüzde gözlenmemesi ve yağış miktarının düşmesine bağlamak mümkündür.

Tatvan Havzasında elde edilen sedimantasyon oranı 0.6 mm/yıl'dır. Önceki çalışmalardan elde edilen ve varv sayımı ile yaşlandırılması yapılan karotların sedimantasyon oranı Tatvan Havzası için 0.5 mm/yıl'dır [19, 20]. Sedimantasyon oranlarının önceki çalışmalar ve bu çalışmadaki farklı çıkmasının nedenini yaşlandırma yönteminin ve karot alınan noktanın farklı olmasına bağlamak mümkündür.

4. Sonuç ve Öneriler

Van Gölü'nün farklı fizyografik bölgelerinden elde edilen karotların sedimantasyon oranları ²¹⁰Pb-¹³⁷Cs radyonüklid kronolojisine göre CRS modeli kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akarsu kontrolü ve insan etkisinin (yapılaşma, tarım faaliyetleri vs) yoğun olduğu kıyıya yakın bölgeden elde edilen sedimantasyon oranının derin havzalara göre daha hızlı olduğu ortaya konulmuştur. Bununla birlikte bugüne değin farklı göllerde yapılan benzer çalışmalarda sedimantasyon oranını kontrol eden faktörlerin özellikle su derinliği ve/veya drenaj havzası ve insan etkisinin kontrolü altında olduğu vurgulanmıştır. Fakat bu çalışma kapsamında yapılan çalışmaların sonuçlarına göre sedimantasyon oranını kontrol eden bir başka faktörün göl tabanında yer alan morfolojik yapılar olduğu ve bu yapıların sedimantasyon oranını değiştirebileceği ortaya koymuştur. Bu nedenle Van Gölü ve diğer tüm göllerde yapılacak paleolimnolojik çalışmalarda tek bir karot üzerinden tüm göl tabanındaki sedimalara yaş vermek doğru bir yaklaşım değildir. Bunun için öncelikle göl tabanı morfolojisinin iyi bilinmesi ve bununla birlikte farklı birçok kısa karotta yaşlandırma yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın arazi ve laboratuvar aşamalarının gerçekleştirilmesinde maddi ve manevi katkılarını sağlayan İsviçre Su Bilimleri ve Teknolojisi Federal Enstitüsü (Eawag), Yüzey Suları Bölümü öğretim üyelerinden Prof.Dr. Rolf KIPFER, Dr. Michael Sturm, Dr. Thomas KULBE ve teknisyenlerden Alois Zwysig'e teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1] Appleby P.G. 2008. Three decades of dating recent sediments by fallout radionuclides: a review. *Holocene*, 18 (1): 83-93.
- [2] Appleby P.G., Oldfield F. 1978. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ²¹⁰Pb to the sediment. *Catena*, 5 (1): 1-8.
- [3] Cukur D., Krastel S., Tomonaga Y., Cagatay M.N., Meydan A.F. 2013. Seismic evidence of shallow gas from Lake Van, eastern Turkey. *Marine and Petroleum Geology*, 48: 341-3 53.
- [4] Cukur D., Krastel S., Schmincke H.U., Sumita M., Cagatay M.N., Meydan A.F., Damcı E., Stockehecke M. 2014. Seismic stratigraphy of Lake Van, eastern Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 104: 63-84.

- [5] Cukur D., Krastel S., Tomonaga Y., Schmincke H.U., Sumita M., Meydan A.F., Çağatay M.N., Toker M., Kim S.P., Kong G.S., Horozal Ş. 2017. Structural characteristics of the Lake Van Basin, eastern Turkey, from high-resolution seismic reflection profiles and multibeam echosounder data: geologic and tectonic implications. *International Journal of Earth Science*, 106 (1): 239-253.
- [6] Kempe S., Kazmierczak J., Landmann G., Konuk T., Reimer A., Lipp A. 1991. Largest Known Microbialites Discovered in Lake Van, Turkey. *Nature*, 349 (6310): 605-608.
- [7] Reimer A., Landmann G., Kempe S. 2009. Lake Van, Eastern Anatolia, Hydrochemistry and History. *Aquatic Geochemistry*, 15 (1-2): 195-222.
- [8] Degens E.T., Wong H.K., Kempe S., Kurtman F.A. 1984. Geological Study of Lake Van, Eastern Turkey. *Geologische Rundschau*, 73 (2): 701-734.
- [9] Lemcke G., Sturm M. 1997. delta O-18 and trace element measurements as proxy for the reconstruction of climate changes at Lake Van (Turkey): Preliminary results. *Nato Asi Ser Ser I.*, 49: 653-678.
- [10] Keskin M. 2003. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30 (24): 1-4.
- [11] Sengor A.M.C., Ozeren S., Genc T., Zor E. 2003. East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30 (24).
- [12] Sumita M., Schmincke H.U. 2013. Impact of volcanism on the evolution of Lake Van I: evolution of explosive volcanism of Nemrut Volcano (eastern Anatolia) during the past > 400,000 years. *Bulletin of Volcanology*, 75 (5).
- [13] Sumita M., Schmincke H.U. 2013. Impact of volcanism on the evolution of Lake Van II: Temporal evolution of explosive volcanism of Nemrut Volcano (eastern Anatolia) during the past ca. 0.4 Ma. *Journal of Volcanology Geothermal Research*, 253: 15-34.
- [14] Litt T., Anselmetti F.S. 2014. Lake Van deep drilling project PALEOVAN. *Quaternary Science Reviews*, 104: 1-7.
- [15] Wong H.K., Degens E.T. 1978. The bathymetry of Lake Van: a preliminary report. In: Degens ET, Kurtman F, editors. *Geology of Lake Van* 169. Ankara: M.T.A Press, 20-7.
- [16] Litt T., Krastel S., Sturm M., Kipfer R., Orcen S, Heumann G., Franz S.O., Ülgen U.B., Neissen F. 2009. 'PALEOVAN', International Continental Scientific Drilling Program (ICDP): site survey results and perspectives. *Quaternary Science Reviews*, 28 (15-16): 1555-1567.
- [17] Krishnaswamy S., Lal D., Martin J.M., Meybeck M. 1971. Geochronology of lake sediments. *Earth Planet Science Letters*, 11 (1-5): 407-414.
- [18] Stockhecke M., Sturm M., Brunner I., Schmincke H.U., Sumita M., Kipfer R., Cukur D., Kwiecien O., Anselmetti F.S. 2014. Sedimentary evolution and environmental history of Lake Van (Turkey) over the past 600 000 years. *Sedimentology*, 61 (6): 1830-1861.
- [19] Landmann G., Reimer A., Lemcke G., Kempe S. 1996. Dating Late Glacial abrupt climate changes in the 14,570 yr long continuous varve record of Lake Van, Turkey. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 122 (1-4): 107-118.
- [20] Landmann G., Reimer A., Kempe S. 1996. Climatically induced lake level changes at Lake Van, Turkey, during the Pleistocene/Holocene transition. *Global Biogeochemical Cycles*, 10 (4): 797-808.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kızılötesi Kurutucuda Nane Bitkisinin Optimum Kurutma Sıcaklığının Belirlenmesi

Özgür DEMİR*

*Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş
(ORCID: 0000-0001-6889-7940)*

Öz

Bu çalışmada, tasarım ve imalatı yapılan kızılötesi ısıtıcı kurutma fırınında, nane bitkisi farklı sıcaklıklarda kurutularak optimum kurutma sıcaklığı belirlenmiştir. Kurutma fırınında kurutma işlemine tabi tutulan nane yaprakları 50°C, 60°C, 70°C, 80°C ve 90°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kurutma süreleri özgül enerji tüketimleri, yaş ve kuru esasa göre nem miktarları ortaya koyulmuştur. Nane yapraklarının kurutma işlemleri başlangıç nem oranı 8,12 g su/ g kuru madde iken bu oranın 0,094545 g su/ g kuru madde ye kadar düştüğü görülmüştür. Özgül enerji tüketimi ise 21,10 MJ/kg ile 52,08 MJ/kg arasında bulunmuştur. Tüm deneylerde elde edilen kuru ürün kaliteleri farklılık gösterirken renk, aroma, koku ve enerji tüketimi bütün olarak değerlendirildiğinde optimum kurutma sıcaklığının 70°C olduğu ortaya koyulmuştur. Bu sıcaklığın altında yapılan kurutma işlemlerinde aroma ve koku artmakta, lakin enerji tüketimi de artmaktadır. 70°C üzeri sıcaklıktaki kurutma işlemleri incelendiğinde aroma ve koku azalırken enerji tüketimi de düşmektedir.

Anahtar kelimeler: Kızılötesi kurutucu, Nane, Kurutma.

Optimum Drying Temperature of Mint Plant in Infrared Dryer

Abstract

In this study, mint plants were dried at different temperatures to determine the optimum drying temperature in infrared heat dryers. The mint leaves were dried at 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, and 90 °C in the drying oven. Specific energy consumption of leaves during drying time and their moisture contents according to dry and wet basis were determined. Whereas the initial moisture contents of leaves were 8.12 g water / g dry matter, this value decreased to 0.094545 g water / g dry matter after drying process. With regard to specific energy consumption, it was between 21.10 MJ / kg and 52.08 MJ / kg. Whereas the dry product quality obtained in all experiments varied, all other parameters including the color, aroma, odor, and energy consumption were optimum at 70 °C. The drying processes below this degree causes increase of aroma and smell in parallel with energy consumption. On the other hand, at higher temperatures from 70 °C smell, aroma and energy consumption decrease.

Keywords: Infrared drying, Mint, Dry.

1. Giriş

Gıda maddelerinin uzun süre korunması için uygulanan birçok yöntem vardır. Gıdalara uygulanan kurutma işlemi en eski ve en çok kabul gören muhafaza yöntemidir. Gıda ürünlerinin kontrollü bir şekilde kurutulması çok büyük bir öneme sahiptir. Gıda maddeleri yetiştirilebildikleri aylar dışında da kullanılabilmesi veya iklim, toprak şartları yetiştirilmesine uygun olmayan bölgelere ulaştırılabilmesi veya ihtiyaç anında kullanılabilmek üzere muhafaza edilmektedir. Gıda muhafaza yöntemi olarak kurutmanın tercih edilmesinin sebebi, mikrobiyolojik ve enzimsel değişimlerin önüne geçmesi veya azaltmasıdır [1]. Kullanım açısından en yaygın kurutma yöntemi olan güneş altında yaygıda kurutma, kalite ve hijyen noktasında olumsuz sonuçlar vermektedir. Her enlem boylamda bulunan yerleşim

*Sorumlu yazar: o.demir@alparslan.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.04.2019, Kabul Tarihi: 26.07.2019

bölgesinin sahip olduğu güneş ışınımının kurutma için yeterli olmayışı, kurutulan ürünün yaygıda toz, böcek, mikroorganizma vb. etkenlere maruz kalması, kurutma süresine bağlı olarak fermantasyon riski gibi önemli etkenler göz önüne alındığında güneşaltında kurutma zamanla uzaklaşılabilir bir yöntem haline gelmiştir [2]. Hijyen, kalite vb. problemler ortaya koyulmaya başlandıkça daha profesyonel kurutma sistemlerinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Teknik kurutma önem kazanmaya başlamıştır [3]. Gıdalar için kurutucu tasarımı yapılırken kurutulacak gıda için kurutma gereksinimlerini iyi tespit etmek gerekir [4]. Nane (*Mentha spicata* L.) yenilebilir, menthol içeriği sebebi ile de tıbbi bir aromatik bitki olarak tanımlanabilmektedir. Mutfak kültürümüze yaş ve kuru yaprak olarak yerleşen nane bitkisi tükettiğimiz birçok yemek, salata, meze vb içerisinde çokça kullanılmaktadır. Nane bitkisi tıbbi etkisi vesilesi ile ilaç sektöründe, hoş kokusu sebebi ile kimya sanayinde, güzel ve keskin aroması nedeni ile gıda ve içki sanayisinde kullanımı yaygındır [5]. Nane limon ve limon kabuğu ile demlenerek kullanıldığında üst solunum ve sindirim rahatsızlıklarına iyi gelmektedir, ayrıca kuru hali baharat çeşidi olarak kullanılmaktadır [6] Nane bitkisi içeriğinde bulunan su miktarı göz önüne alındığında bozulmadan uzun süre saklanması mümkün olmayan bir bitki olarak karşımıza çıkmaktadır. Uzun süre muhafazası için kurutma işlemine tabi tutulması en geçerli yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Gıdalar için birçok kurutma yöntemi kullanılmaktadır. Kızıl ötesi ısıtıcı ile kurutma yöntemi enerji tüketimi açısından birçok yönetime göre avantajlı olup çalışmamızda bu yöntem kullanılmıştır. Kocabıyık ve Demirtürk [7], 1080W/m² yoğunlukta infrared radyasyonla farklı hava hızlarında nane yaprağı kurutmuş hava hızı artışının kurutma süresini (64dk-180dk arası) olumsuz etkilediği bilgisini ortaya koymuşlardır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde 37.04 ile 106.58 MJ/kg özgül enerji tüketimi olduğu bildirilmiştir. Doymaz [8], 35-60 °C sıcaklıklarda nane yaprağı kurutmuşlardı ve sıcaklık artışının kurutma süresinde azalmaya sebep olduğunu ortaya koymuştur. Park vd. [9], nane kurutma parametrelerinin değerlendirilmesi üzerine yaptığı çalışmada nane bitkisini konveksiyonel sıcak havalı bir kurutucuda kurutmuşlardır. Nane yaprakları ve kızılötesi kurutma ile ilgili kurutma çalışmaları incelenmiş ve tespit edilen üstünlüklerinden dolayı kurutma sistemi ısı kaynağı tercihi olarak kızıl ötesi ışınım kullanımının doğru olacağı birçok çalışmada irdelenmiştir [10-13].

2. Teorik Analiz

Çalışmada deneysel metot kullanılmış olup hesaplamalar için faydalanılan eşitlikler ve eşitliklere ilişkin gösterimler aşağıda verilmiştir.

Ürünlerin kuru esasa göre hesaplanan nemliliği MR_K ;

$$MR_K = \frac{m_Y - m_K}{m_K} \quad (1)$$

Ürünlerde yaş esasa göre hesaplanan nemliliği MR_Y ;

$$MR_Y = \frac{m_Y - m_K}{m_Y} \quad (2)$$

$$No = \frac{m_Y - m_K}{Mo - m_K} \quad (3)$$

Özgül enerji tüketimi kurutulan birim kütle ürün için harcanan enerji miktarı olup Es ;

$$Es = \frac{Et}{Wr} \quad (4)$$

Özgül nem çekme oranı üründen 1 kg suyu uzaklaştırmak için harcanan enerjidir $SMER$;

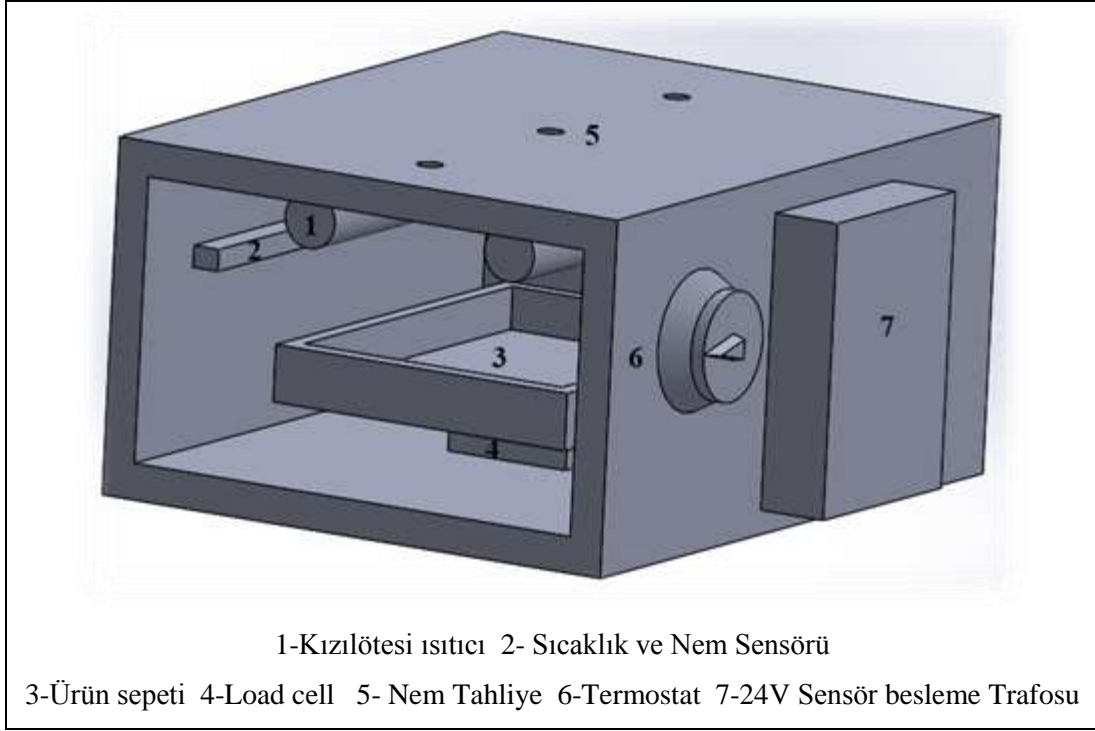
$$SMER = \frac{m_{su}}{Q_h} \quad (5)$$

Burada;

- m_Y : Yaş ürün kütlesi (g)
 m_K : Kuru ürün kütlesi (g)
 M_0 : İlk kütle (g)
 N_o : Nem Oranı
 E_s : Özgül enerji tüketimi (MJ/kg),
 E_t : Toplam enerji (MJ),
 W_r : Örnekten uzaklaştırılan suyun kütlesi (kg)
 m_{su} : Üründen çekilen su kütlesi, $kg s^{-1}$
 Q_h : Kurutucuda harcanan enerji, kJ

3. Kurutma Sistemi

Kurutma fırını, özellikleri bakımından deneysel çalışma için uygun şekilde tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. İmalatı yapılan kurutma fırınında 2 adet 100W halojen ısıtıcı kullanılmıştır. Kurutma havası sıcaklığı için analog termostat kullanılmıştır. Loadcell den gelen veri ışığında sistemi kapatma işlemi veri toplama cihazı özelliği olarak bulunan röle sayesinde sağlanmıştır.



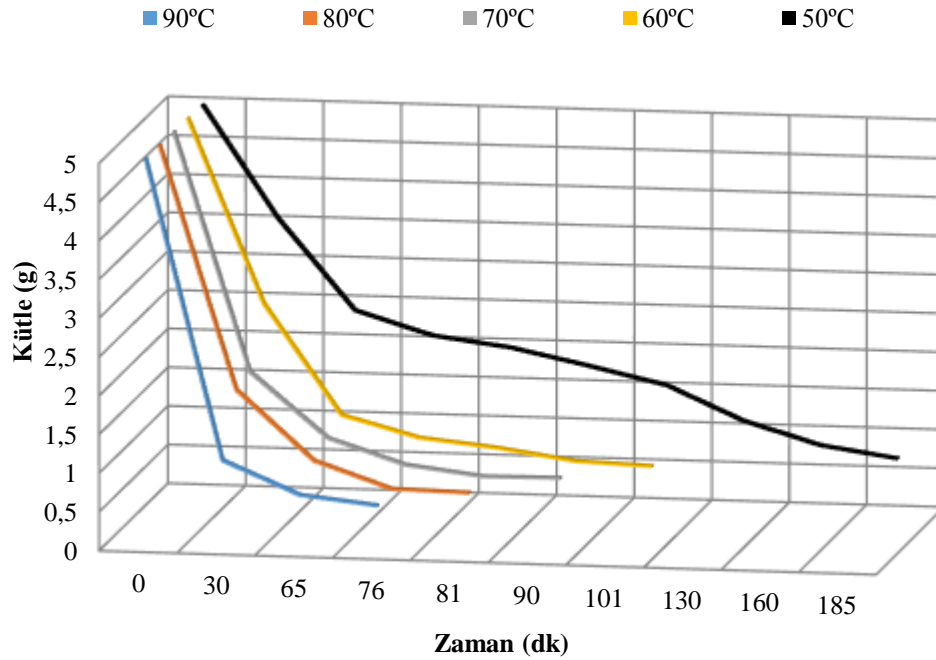
Şekil 1. Kurutma Fırını Bileşenleri

Kurutucu sistem Şekil 1’de gösterilen bölüm ve bileşenlerden oluşmaktadır. Sistemde kullanılan ölçüm alet ve cihazları Tablo 1’de verilmiştir. Deneyler esnasında load-cell ile anlık kütle ölçümü yapılmış olup son üç değer aynı ölçülene kadar kurutmaya devam edilmiştir. Sıcaklık ve bağıl nem değerleri, hem ortam havası hem de kurutucu iç hacmi için veri toplama ve izleme cihazı ile kayıt edilmiştir. Ürünlerin başlangıç ve deney sonu kütleleri yüksek hassasiyetli dijital terazi ile teyit edilmiştir. Kurutucu hacmi $0,3375 m^3$ olup kurutma tepsi $0,0169 m^2$ ’dir. Kurutulacak ürünler delikli tepsiye dağınık ve olabildiğince eşit yükseklikte serilmiştir. Deneylerde kullanılan ürün kütlesi 5 g ($\pm 0,1$) olarak belirlenmiştir. Kurutma fırınına $295,8 g/m^2$ kurutulacak ürün yüklemesi yapılmıştır. Kurutucuda hava hareketi $0,2 m/s$ altında olup cebri bir sistem kullanılmamıştır. Ürünün tam kuru ağırlığı belirlenmesi işlemi için etüv fırını kullanılmıştır. Tam kuru ağırlık belirlenirken ön hazırlıktan geçirilen $100 g$ ’lık ürün $105 ^\circ C$ sıcaklıkta ön ısıtması yapılmış etüv fırınında son üç kütle ölçüm değeri için aynı değer gözlemlenene kadar kurutulmuştur. Kurutulan ürün kütlesinin $100 g$ ’dan $10,5 g$ ’a düştüğü görülmüştür. Tüm ölçü aletleri kalibrasyonu ve hata analizi yapılarak deneysel çalışmada kullanılmıştır.

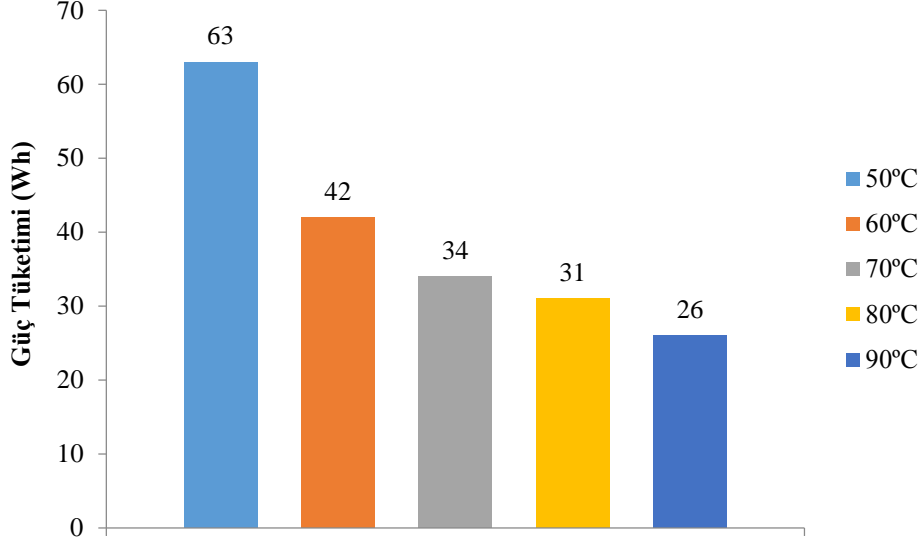
Tablo 1. Kullanılan ölçü aletleri ve özellikleri

Kullanılan Cihaz	Marka Model	Teknik Özellikleri	Hata Analizi
Dijital tartı	Desis Ehb 300	300g kapasiteli 0,001g hassasiyetli	$\pm 0,012g$
Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı	Blitz-sens TH2-3W-U	Sıcaklık Ölçüm Aralığı: -30..+70°C Nem Ölçüm Aralığı: 0..100 Rh Sinyal Çıkışı: 4..20 mA / 0-10 V	$\pm 0,04^{\circ}C$ $\pm \%0,02$
Veri Toplama ve İzleme Cihaz	Graphtec GL 240	10 Kanallı	
Etüv	Kenton GX40	40lt PID kontrollü $\pm 5-50^{\circ}C$	%2
Yük Hücresi	Celtron Lps	0,6kg, alüminyum, tek nokta,	$\pm 0,024$
Yük Hücresi Transmitteri	Esit TR03	0-10V çıkış, 1 kanal röle çıkışı	0,03

Deneylere başlamadan önce nane yaprakları dallarından koparılmış, ön hazırlık işleminden geçirilmiştir. Oda sıcaklığından kaynaklı nem kaybına maruz kalmaması için hemen kurutma işlemine başlanmıştır. İlk olarak tam kuru ağırlık için $105^{\circ}C$ 'de etüv fırınında kurutulan nane yapraklarının içeriğindeki su oranı belirlenmiştir. Deneyler sırasında sıcaklık, bağıl nem ve kütle değişimi dakikalık olarak takip edilmiş olup kurutma süreleri ortaya koyulmuştur (Şekil 2). Kurutma işlemi süresince harcanan enerji Wh cinsinden ölçülmüş olup Şekil 3'te verilmiştir.

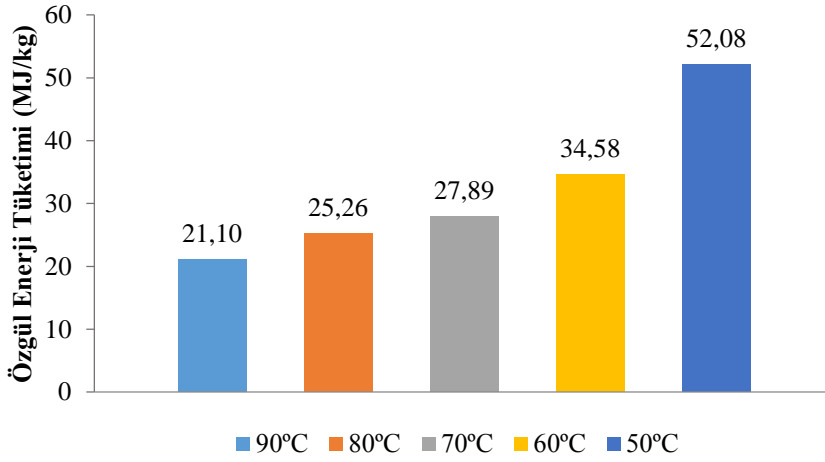
**Şekil 2.** Nananın değişik sıcaklıklarda kızılotesi kurutulmasında Kütle-Zaman değişimi

Şekil 3 incelendiğinde tüketilen enerji miktarı kurutma süresi ile ters orantılı olduğu, kurutma havası sıcaklığı arttıkça tüketimin düştüğü görülmektedir.



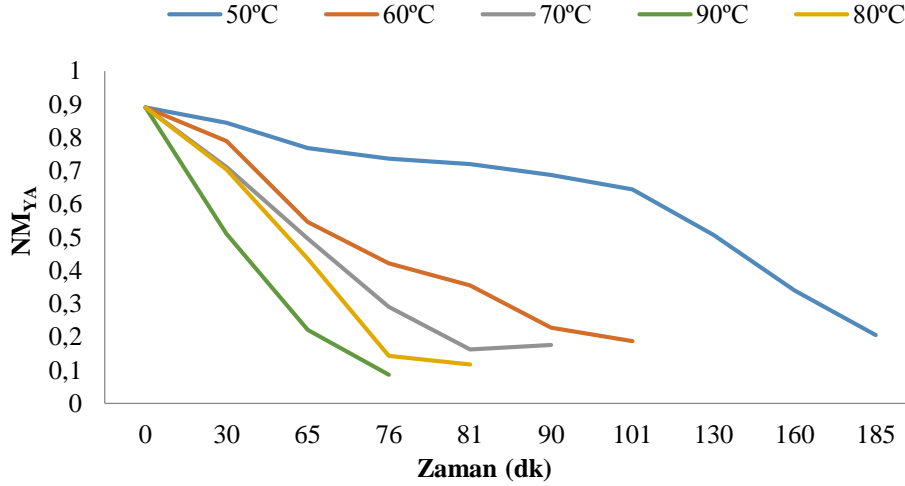
Şekil 3. Nananin değişik sıcaklıklarda kızılötesi kurutulmasında tüketilen enerji miktarları

Özgül enerji tüketimi Eşitlik 4 yardımı ile her bir kurutma sıcaklığı için hesaplanmış ve Şekil 4'te verilmiştir. Özgül enerji tüketimi kurutma sıcaklığı ile doğru orantılı olduğu ortaya konulmuştur.



Şekil 4. Nananin değişik sıcaklıklarda kızılötesi kurutulmasında özgül enerji tüketimi

Yapılan her deney için kurutma süresince ürün içinde kalan su miktarı Eşitlik 2 yardımı ile hesaplanmış yaş esasa göre hesaplanmış olup Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Kurutma esnasında zamanla yaş esasa göre nemliliğin değişimi

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada nane bitkisi kurutmak amacı ile halojen lambalı bir kurutucu tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Ön hazırlıktan geçirilen ve dalından kopartılan nane yaprakları 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, ve 90°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Her bir kurutma işlemi için kurutma işlem süreci takip edilmiştir. Kurutma işlemleri sonucu ürünlerin nem miktarları 8,12g su/ g kuru madde değerinden 0,259928 g su/ g kuru madde, 0,230677 g su/ g kuru madde, 0,214318 g su/ g kuru madde, 0,133477 g su/ g kuru madde, 0,094545 g su/ g kuru madde değerlerine kadar düşürülmüştür. Kurutma süreleri yine sırasıyla 185 dakika, 101 dakika, 90 dakika, 81 dakika, 76 dakika olarak belirlenmiştir. Alınan veriler ışığında yapılan hesaplamalar sonucu özgül enerji tüketimleri sırasıyla 52,08MJ/kg, 34,58 MJ/kg, 27,89 MJ/kg, 25,76 MJ/kg, 21,10 MJ/kg olarak bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre eitlik 5 ile hesaplanan SMER değerleri sırasıyla 0,42 kg buharlaştırılan nem/ kWh, 0,48 kg buharlaştırılan nem/ kWh, 0,52 kg buharlaştırılan nem/ kWh, 0,57 kg buharlaştırılan nem/ kWh ve 0,59 kg buharlaştırılan nem/ kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler literatürde Kocabıyık H. Ve Demirtürk B.S.(2008) in ulaştığı 37,04 ile 106,58 MJ/kg özgül enerji tüketimi değerleri ile karşılaştırıldığında da verimli bir kurutma sistemi ortaya koyulduğu görülmektedir. Deneyler sonucu elde edilen ürünlerde duyusal analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu optimum kurutma sıcaklığı 70°C olarak belirlenmiştir. 70°C altındaki sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemi neticesinde, ürün içeriğinde kalan nem miktarının nispeten fazla olduğu görülmüştür. 70°C üzeri sıcaklıklarda yapılan deneylerde enerji tüketimi ve süresi aşırı düşmekte lakin elde edilen kuru ürünlerde yapısal bozulmalar gözlemlenmiştir. 70°C kurutma havası sıcaklığının üzerine çıkıldıkça üründe bölgesel olarak yeşilden, açık kahve rengine dönüşen renk değişimi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bize yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma işleminin, üründe yanmalara yol açtığını göstermiştir. İlerleyen çalışmalarda 70°C kurutma sıcaklığında, farklı hava hızlarında kurutma işlemi yapılması ve optimum kurutma havası hızının belirlenmesi düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Heybeli N., Ertekin C. 2007. Elma Dilimlerinin İnce Tabaka Halinde Kuruma Karakteristiği. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 3 (3). 179-187.
- [2] Cemeroglu B. 2004. Meyve Sebze İşleme Teknolojisi. 2. Cilt. ISBN 975-98578- 2-0, Ankara.
- [3] Doymaz İ. 2003. Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots. Journal of Food Engineering, 61: 359-364.
- [4] Ertekin C., Yıldız O. 2001. Patlıcan kurutmada kurumanın çeşitli modeller ile açıklanması. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 399-404, Şanlıurfa.
- [5] Özbek B., Dadalı G. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. Journal of Food Engineering, 83: 541-549.

- [6] Türkan Ş., Malyer H., Özaydın S., Tümen G. 2006. Ordu ili ve çevresinde yetişen bazı bitkilerin etnobotanik özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,10 (2).
- [7] Kocabıyık H., Demirtürk B.S. 2008. Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (3): 239-246
- [8] Doymaz İ. 2005. Sun Drying of Figs: an Experimental Study. Journal of Food Engineering, 71: 403-407.
- [9] Park K.J., Vohnikova Z., Brod F.P.R. 2002. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L). Journal of Food Engineering, 51: 193–199.
- [10] Fasina O. 2003. Infrared heating of food and agricultural materials. ASAE Paper No.036219 St. Joseph, Mich.: ASAE.
- [11] Strumillo C., Kudra F.T. 1986. Drying: Principles, Applications and Design. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- [12] Lewis M.J. 1996. Physical Properties of Food and Food Processing Systems, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- [13] Hebbar H., Vishwanathan K.H., Ramesh M.N. 2004. Devolopment of combined infrared and hat air dryer for vegetables. Journal of Food Engineering, 65: 557-563.

Araştırma Makalesi / Research Article

A Case Study for Tunnel Lighting Lifetime Account

Mehmet Sait CENGİZ*

*Bitlis Eren University, Department of Technical Vocational School, Bitlis
(ORCID: 0000-0003-3029-3388)*

Abstract

A lighting device is required to provide minimum lighting level during the operating time. Contamination on lighting device causes luminous flux to be lost in lamp and structural imperfections to be formed on the surface of optical elements. This deficiency in the performance of lighting makes maintenance of lighting devices necessary. This effect formed by the common effect of various parameters and implemented periodically is called maintenance factor. Maintenance factor varies by lighting system, environmental conditions and features of luminaires. In this study, calculation of maintenance factors by years and change of lighting levels by different maintenance factors have been analyzed for high-pressure sodium vapour luminaires in tunnel lighting. Accordingly, increasing the maintenance factor used as multiplier in performance calculations will decrease the energy consumed. Therefore, increasing the Maintenance Factor increases the lighting efficiency.

Keywords: Efficiency, Lighting, Maintenance factor, Tunnel lighting.

Tünel Aydınlatma Ömür Hesabı İçin Bir Vaka Çalışması

Özet

Bir aydınlatma cihazı işletim süresi boyunca asgari aydınlatma seviyesini sağlamalıdır. Aydınlatma cihazındaki kirlenme, lambadaki ışık akısının kaybolmasına ve optik elemanların yüzeyinde yapısal kusurların oluşmasına neden olur. Aydınlatma performansındaki bu eksiklik aydınlatma cihazlarının bakımını gerekli kılar. Çeşitli parametrelerin ortak etkisi ile oluşan ve periyodik olarak uygulanan bu etki bakım faktörü olarak adlandırılır. Bakım faktörü aydınlatma sistemine, çevresel koşullara ve aydınlatma armatürlerinin özelliklerine göre değişir. Bu çalışmada tünel aydınlatmasında yüksek basınçlı sodyum buharlı aydınlatma armatürlerinde yıllara göre bakım faktörlerinin hesaplanması ve farklı bakım faktörlerine göre aydınlatma seviyelerinin değişimi incelenmiştir. Buna göre, performans hesaplamalarında çarpan olarak kullanılan bakım faktörünün artırılması, tüketilen enerjiyi azaltmaktadır. Bu nedenle, Bakım Faktörünü artırmak aydınlatma verimliliğini arttırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Verimlilik, Aydınlatma, Bakım faktörü, Tünel aydınlatması.

1. Introduction

Lighting level, uniformity and glare restrictions are specified by the standards in lighting systems. Lighting system should be designed as so it would provide all these parameters during the operating time.

The operating conditions of the luminaires and lighting directly affect the lighting efficiency. [1]. The most important reason why luminaires' loss their performance is that luminous transmittance decreases since luminaires are dirty because of environmental [2, 3].

As for another reason of the performance loss, efficiency of lamp decreases and the lamp last for shorter time depending on operating time. Since performances of luminaires decrease over the time, performance of the lamp will be described for a specified period of time. This period of time may be maintenance processes such as cleaning the glass of luminaire or replacing the lamp by which performances of the luminaires can be improved as well as it may be renewal of all luminaires at the

*Sorumlu yazar: msaitcengiz@gmail.com

Geliş Tarihi: 12.03.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

end of operating time for the luminaries [4-7]. Lighting system could supply minimum lighting, even at the end of the period when it displayed the lowest performance, by including the estimated performance loss in the system performance at design phase. Figure 1 illustrates the graphic of tolerance range belonging to Maintenance Factor (MF) exposed to performance loss.

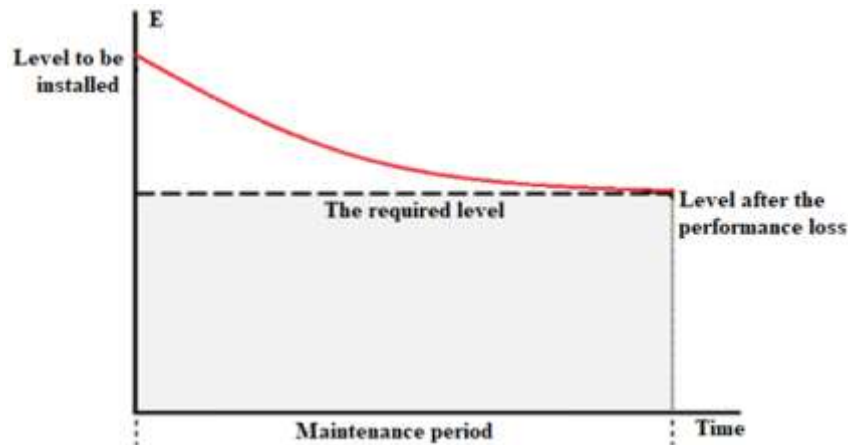


Figure 1. Graphic of tolerance range belonging to MF exposed to performance loss

MF is a parameter specifying performance ratio to be supplied by lighting system at the end of period depending on beginning of the period. Maintenance factor is described as 80% for a system for which 20% of performance loss is estimated at the end of maintenance period. Since MF is used as multiplier in programs of lighting calculation, lighting levels reached by lighting calculations display the values at the end of period. MF varies by technology level of the luminaries. According to CIE 154:2003, maintenance factor of luminaries is formed by the product of more than one indicators of performance [4-6]. MF depends on protection classes of the luminaries against contamination (IP65), sources of light used on luminaries and all effects which can cause decreasing the illumination.

2. Illumination level

Proportion of flux blazing through a lamp that affects the optic is luminous flux. Its unit is lumen and it represents ability of radiation to stimulate sense of radiance. As for total luminous flux, it is described as the sum of luminous fluxes arising from a source and spreading over various parts of the space. It is measure of light energy. In other words, total output from a lamp is defined by lumen [7-9]. The more lumen is high, the light is seen as clearer (1 lumen=0.00146 W).

Total luminous flux falling within unit surface is defined as illumination level of that surface and it is represented by E [10-14]. Its unit is lux. Radiant power of a lux is equal to a candle light. Illumination level belonging to point P and geometrical representation of illumination level of a point is illustrated on Equation 1 and Figure 2, respectively.

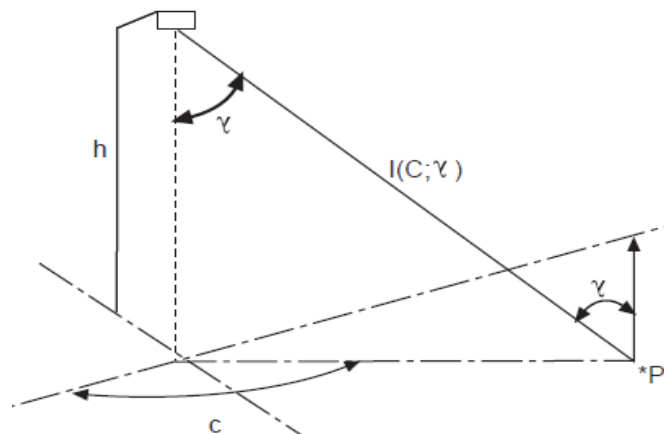


Figure 2. Geometrical representation of illumination level of a point

$$E_P = \sum_{i=1}^a \frac{I(C, \gamma)}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma \quad (1)$$

Where,

E_P : Illumination level for point P

$I(C, \gamma)$: is value of light intensity reaching from luminaire i to point P (cd),

γ : is angle of gleam falling within point P by the vertical line,

a : is amount of luminaires contributing to point P,

h : is ground clearance of luminaire photometric center (m)

C : is plane angle.

For luminaires, MF is defined as proportion of total light coming from luminaire at the end of maintenance period to total light of the luminaire during the primary use. If initial luminous flux of 5000 Lumens of a luminaire drops to 4000 Lumens one year later, maintenance factor is 80% for one-year maintenance factor of that luminaire.

In accordance with standards associated with the use of maintenance factor in lighting, lighting system is specified by the chosen lighting equipment, environmental conditions and the maintenance factor calculated for a specified period of maintenance CIE 154:2003. According to CIE 154:2003, lighting performance should not drop below minimum levels specified in the standards [4-6].

MF consists of Lamp Lumen Maintenance Factor (*LLMF*) is proportion of performance loss in the lamp, luminous flux at the end of specified period, to the initial luminous flux. *LLMF* value is reached by catalogue of the manufacturer.

Lamp Survival Factor (*LSF*) is the percentage of lamp survival ratio for maintenance factor. *LSF* value is reached by the catalogue of lamp.

Luminaire Maintenance Factor (*LMF*) is proportion of luminous flux, which decreases at the end of described/specified period as a result of structural feature of luminaire and also environmental factors, to the initial luminous flux. *LMF* depends on protection class of luminaire against contamination (IP) and environmental pollution. It is specified by the designer according to contamination condition of the environment during maintenance period or the relevant specification is consulted. *MF* is calculated according to equation 2.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \quad (2)$$

In the standard concerning calculation of lighting performances, *MF* is formed by the product of luminous flux *MF* and luminaire *MF*. Equation 3 demonstrates the relationship between *MF* and Lighting Level [1, 8-10, 13].

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot MF}{h^2} \quad (3)$$

3. Determination of Maintenance Factor for HPS Lamp Luminaires

High-pressure sodium vapor (HPS) lamps are preferred under conditions of higher luminance level, including under water tunnels, as HPS lamps have higher light flux and smaller dimensions than low-pressure lamps. As a result, less luminaries and area are required for lighting. Lighting efficiency (in terms of electricity consumption) of a similar lighting system increases up to 90% with HPS lamps compared to fluorescent lamps based on results obtained from various tunnels with different structures that are open to vehicular traffic [15-24]. The luminance efficiency is defined as the luminance level from the power required for the tunnel (for 1 m²).

In this study, HPS 100 W lamp luminaires inserted dually 6 m high are used in the tunnel. Maintenance factor for high pressure sodium vapor (HPS) lamp luminaires is specified by the product of three main factors described above. Determination of maintenance factor for a 100 W HPS lamp

luminaire with protection class IP65 is calculated numerically. Figure 3 illustrates sample tunnel lightings [25].

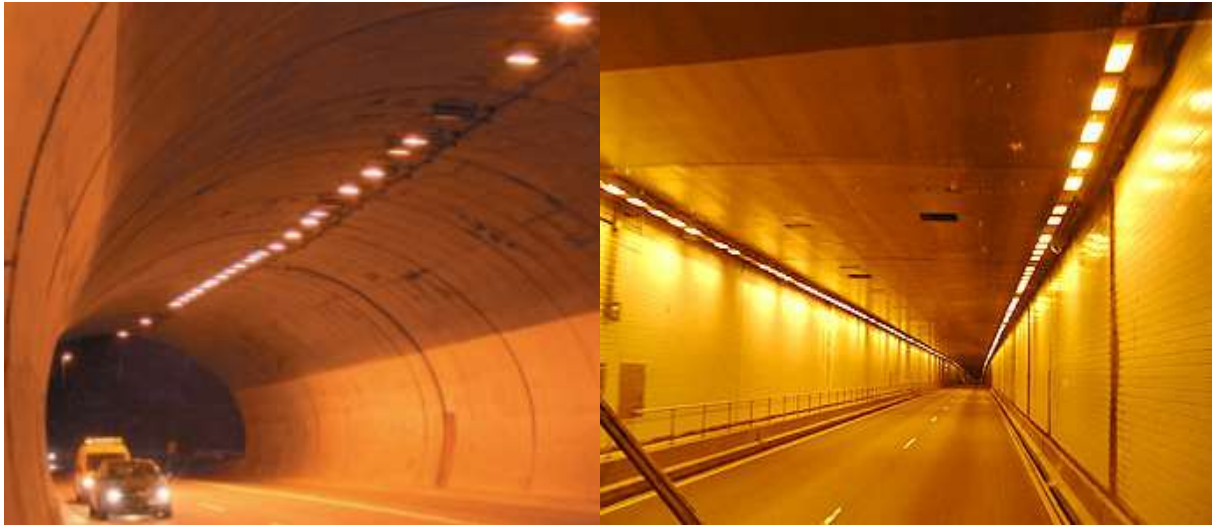


Figure 3. Sample tunnel lightings

3.1. Luminaire Maintenance Factor Depending on Contamination

Time intervals for maintenance (glass cleaning of the luminaire) should be specified by pollution level of the environment where lighting system will be installed for tunnel lighting. According to the principal of maintenance every other year and environmental conditions with high level of pollution, luminaire maintenance factor (*LMF*) depending on contamination of a luminaire with protection class IP65 is specified as 0.91 over the table included in report CIE 154. *LMF* according to protection class of luminaire and category of environmental pollution is illustrated in Table 1.

Table 1. Table type styles luminaire maintenance factor by protection class of luminaire and category of environmental pollution

Optical Compartment IP Rating	Pollution Category	Exposure time (Years)				
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
IP2X	High	0.53	0.48	0.45	0.43	0.42
	Medium	0.62	0.58	0.56	0.54	0.53
	Low	0.82	0.80	0.79	0.78	0.78
IP5X	High	0.89	0.87	0.84	0.80	0.76
	Medium	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82
	Low	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88
IP6X	High	0.91	0.90	0.88	0.85	0.83
	Medium	0.92	0.92	0.89	0.88	0.87
	Low	0.93	0.93	0.91	0.90	0.90

3.2. Lamp Lumen Maintenance Factor

Decrease in luminous flux depending on operating time of the lamps is reached by catalogue of producing company. Figure 4 presents the graphic reached by the catalogue of the producing company displaying performance loss of 100 W HPS lamps, depending on operating time, which supply lighting in the tunnel for 24 hours. Decrease in luminous flux is determined as 6%, 10% and 13%, respectively, at the end of operating times 1 year (8766 hours), 2 years (17532 hours) and 3 years (26298 hours), respectively. Figure 4 displays the decrease in luminous flux depending on operating time of 100 W HPS lamps.

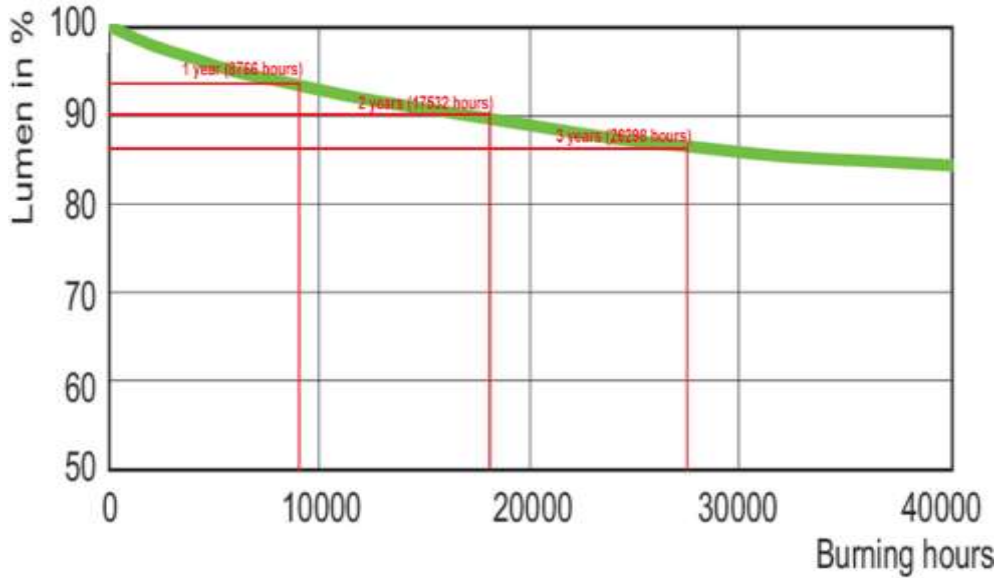


Figure 4. Decrease in luminous flux depending on operating time of 100 W HPS lamps [25]

Within this frame, maintenance factor depending on operating time of the lamps are determined as shown in the following for replacing periods of the lamps for 1 year, 2 years and 3 years: $LLMF_{(1year)} = 0.94$, $LLMF_{(2year)} = 0.90$ and $LLMF_{(3year)} = 0.87$.

3.3. Lamp Survival Factor

It is required to determine LSF for three different maintenance periods through survival lines declared by producers of the lamps. In operation strategy, $LSF=1$ is accepted in case each attenuated lamp is replaced as soon as possible. However, since it is not possible to replace the far and wide broken lamps in a short time in general lighting applications, lamps are replaced periodically and collectively. All lamps are replaced in a period of attenuation by 10% in an area where 10% is accepted as maximum ratio of the prescribed attenuation of lamps to replace lamps collectively. Figure 5 displays the Line of lamps survival factor for 100 W HPS lamps.

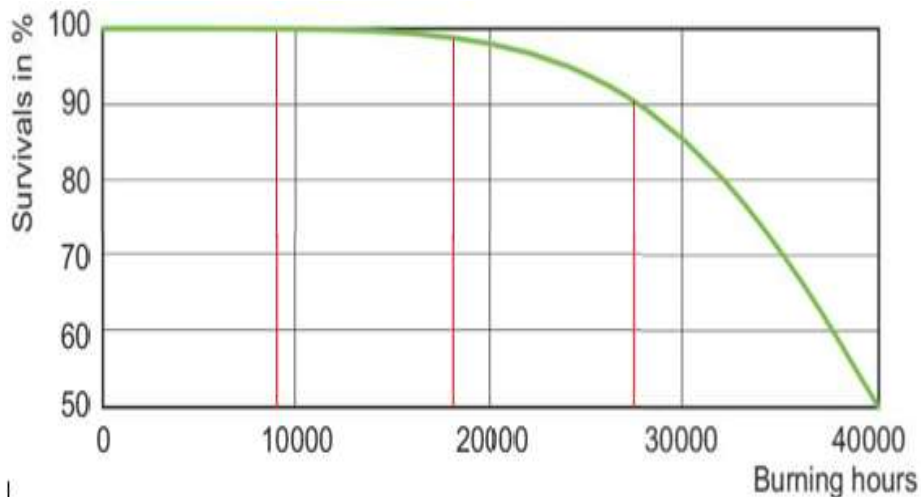


Figure 5. Line of lamps survival factor for 100 W HPS lamps [25]

From the graphic above, LSF is determined as the following for replacing periods of the lamps in 1 year (8766 hours), 2 years (17532 hours) and 3 years (26298 hours) depending on operating time of the lamps in interior zone of the tunnel: $LSF_{(1year)} = 0.99$, $LSF_{(2year)} = 0.98$, $LSF_{(3year)} = 0.90$.

According to lamp survival line, 10% of attenuation rate occurred after 3 year. Lamps with 10% of attenuation ratio demonstrate that it is not possible to use them more than 3 years.

3.1.4. Calculation of Maintenance Factor

Variable MF can be calculated for various maintenance periods by using coefficients determined by all these details and clarifications. According to years, the MF calculation is shown in equations 4, 5 and 6.

$$MF_{(2/1\text{year})} = LMF_{(1\text{year})} \times LLMF_{(1\text{year})} \times LSF_{(1\text{year})} = 0.91 \times 0.94 \times 0.99 = 0.8468 \quad (4)$$

$$MF_{(2/2\text{year})} = LMF_{(1\text{year})} \times LLMF_{(2\text{year})} \times LSF_{(2\text{year})} = 0.91 \times 0.90 \times 0.98 = 0.8026 \quad (5)$$

$$MF_{(2/3\text{year})} = LMF_{(1\text{year})} \times LLMF_{(3\text{year})} \times LSF_{(3\text{year})} = 0.91 \times 0.87 \times 0.90 = 0.712 \quad (6)$$

4. Results and Discussion

Accordingly, when equation 4, 5 and 6 is examined;

- While MF decreases to 84.68% at the end of 1st year, MF increases to 91% by cleaning glasses of luminaire.
- While MF decreases to 80.26% at the end of 2nd year, MF increases to 88% by cleaning glasses of luminaire.
- While MF decreases to 71.25% at the end of 3rd year, all lamps should be replaced as the cleaning glasses of luminaire is not sufficient. All lamps were changed since decrease in illumination level couldn't be tolerated as a result of decrease in luminous flux at the end of 3rd year of MF .
- The average illuminance ($E_{average}$) represented by red in Figure 6 decreased gradually. While $E_{average}$ started with 100% in 1st year, it went down below 91% and 88% in 2nd and 3rd year, respectively. Accordingly, lamps operated for 24 hours in tunnel lighting should be changed collectively at the end of 3rd year.

According to these results, the following comments can be made:

a) In case of cleaning glasses of luminaires every 1 year and replacing all of the lamps in 3rd year, it is seen that illumination more than by 40.35% will be required in case illumination level to be supplied at the end of period is reached up to 100% ($1/0.7125=1.4035$) for this lighting system.

b) In case of cleaning glasses of luminaires every 1 year and replacing all of the lamps in 2nd year, illumination more than by 24.6% will be required ($1/0.8026=124.6$) for this lighting system. In terms of energy consumption, it is seen that changing the lamps every 2 years is more advantageous by 6.5% than changing them every 3 years.

In that, illumination level in interior zone of the tunnel is required to be more than 124.6 rather than 100 since it is understood that illumination level of the lamps will decrease from 24.6% to 100% at the end of 1-year period. If tolerance margin of 24.6% in question is not left, then illumination deficiencies could cause accidents as they affect adversely visual comfort in the tunnel.

c) In case all of the lamps every 1 year, illumination more than by 18.1% will be required ($1/0.8468=1.181$) for this lighting system. In other words, illumination level supplied by lighting in interior zone is required to be 118.1 rather than 100 in design of tunnel lighting since it is understood by this calculation that illumination level will decrease from 118.1% to 100 at the end of 1-year period. If tolerance margin of 18.1% in question is not left, then illumination deficiencies could cause accidents as they affect adversely visual comfort in the tunnel. In terms of energy consumption, it is seen that changing the lamps every 1 year is more advantageous by 6.5% than changing them every 2 years and by 22.25% than changing them after 3 years.

5. Conclusion

It is critical to calculate properly MF in order to install lighting systems of road pursuant to the purposes and maintain the performance to meet the expectations even at the end maintenance period or operating time of the system.

MF takes an important part in total cost of a lighting system since it affects directly energy consumption. It is required to determine which one of these options are more economic depending on energy consumption, and cost of lamps and changing lamps.

Start-up costs and maintenance costs of the systems should be considered to compare energy efficiency.

Increasing the maintenance factor used as multiplier in performance calculations increases the energy efficiency by decreasing the energy consumed.

In order to maintain routine maintenance activities, in the first scenario, once a year cleaning and at the end of 3 years all lamps are replaced. Brightness level should be 40.35% tolerance. The required illumination level should be approximately $1.40xE$. In the second scenario, once a year cleaning and 2 years after the replacement of all lamps; The luminance level should be 24.6% tolerance. The required illumination level should be approximately $1.24xE$. For periods of 2 and 3 years, replacing the lamp every 2 years is 6.5% more advantageous than every 3 years. Lighting deficiencies for both scenarios can cause accidents as they negatively affect visual comfort in the tunnel.

In the first scenario, provided that all lamps are replaced after 1 year, brightness level should be 18.1% tolerance. The required illumination level should be approximately $1.18xE$. In case of cleaning and replacement of each lamp every 1 year, more than 18.1% of lighting will be achieved for this lighting system.

In terms of energy consumption, it is seen that replacing the lamp every 1 year is 6.5% more advantageous than the change every 2 years and 22.25% more than the change every 3 years.

References

- [1] Cengiz M.S., Cengiz Ç. 2018. Numerical Analysis of Tunnel LED Lighting Maintenance Factor. *IIUM Engineering Journal*, 19 (2): 154-163.
- [2] Eren M., Kaynaklı M., Yapıcı I., Gencer G., Yurci Y., Cengiz M.S., Cengiz Ç. 2017. Numerical Analysis of Maintenance Factor for Tunnel and Road In Solid State Lighting. In: *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology 2017*, Bitlis, 2017, October 27-29, Turkey.
- [3] Gencer G., Eren M., Yildirim S., Kaynaklı M., Palta O., Cengiz M.S., Cengiz Ç. 2017. Numerical Approach to City Road Lighting Standards. In: *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology 2017*, Bitlis, October 27-29, Turkey
- [4] CIE Technical Report, CIE-88. 2004. Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses [R]-2004
- [5] CIE Technical Report, CIE-154. 2003. The Maintenance of Outdoor Lighting Systems.
- [6] CIE Technical Report, CIE-194. 2011. On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting.
- [7] Efe, S.B. 2018. UPFC Based Real-Time Optimization of Power Systems for Dynamic Voltage Regulation. *CMES*, 116 (3): 391-406.
- [8] Cengiz M.S., 2019. The Relationship Between Maintenance Factor and Lighting Level in Tunnel Lighting. *Light & Engineering*, 2019: 27 (3).
- [9] Cengiz M.S. 2019. A Simulation and Design Study for Interior Zone Luminance in Tunnel Lighting. *Light & Engineering*, 27 (2): 42-51.
- [10] Çıbuk M., Cengiz M.S. 2019. Determination of Energy Consumption According to Wireless network Topologies in Grid-Free Lighting Systems. *Light & Engineering*, 27.
- [11] Cengiz M.S., Cengiz Ç. 2018. Numeric Analysis for the Efficiency of LED and Traditional Luminaries used in Tunnel Lighting. *International GAP Renewable Energy and Energy Efficiency Congress*, 10-12 May 2018, Şanlıurfa, 347-348.
- [12] Cengiz M.S., Cengiz Ç., Mamiş M.S. 2018. Contribution of Reflector Design formed by Numeric Calculations to Energy Efficiency. *International GAP Renewable Energy and Energy Efficiency Congress*, 10-12 May 2018, Şanlıurfa, 349-350.
- [13] Özkaya M. 1994. *Aydınlatma Tekniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [14] Tetri, E., Chenani, S.B., Rasanen R.S. 2018. Advancement in Road Lighting. *Light & Engineering*, 26 (1): 99-109.
- [15] Cengiz M.S. 2014. Evaluation of Smart Grids and Turkey. *Global Advanced Research Journal of Engineering Technology and Innovation*, 3 (7): 149-153.
- [16] Efe S.B. 2015. Harmonic filter application for an industrial installation. *Engineering of Modern Electric Systems 2015 13th International Conference on*, Oradea, Romania, 11-12 June 2015.

- [17] Cengiz M.S. 2013. Smart meter and cost experiment. *Przeglad Elektrotechniczny*, 89 (11): 206-209.
- [18] Iacomussi Rossi G., Soardo P. 2012. Energy Saving and Environmental Compatibility in Road Lighting. *Light & Engineering*, 20 (4): 55–63.
- [19] Van Bommel W., Van Den Beld G., Van Ooyen M. 2003. Industrial Light and Productivity. *Lighting & Engineering*, 11 (1): 14–21.
- [20] Cengiz M.S. Mamiş M.S. 2015. Endüstriyel tesislerde verimlilik ve güneş enerjisi kullanımı. VI. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 21-25. 4-6 Haziran 2015, Sakarya, Türkiye
- [21] Cengiz M.S., Mamiş M.S. 2015. Solution Offers For Efficiency and Savings in Industrial Plants. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 5 (1): 24-28.
- [22] Cengiz M.S. 2019. Efficiency Relationship of LED Parameters in Solid State Lighting. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 9 (1): 22-26.
- [23] Barua P., Mazumdar S., Chakraborty S., Bhattacharjee S. 2018. Road Classification Based Energy Efficient Design and its Validation for Indian Roads. *Light & Engineering*, 26 (2): 110-121.
- [24] Peña-García A., Gil-Martín L.M. 2013. Study of pergolas for energy savings in road tunnels, Comparison with tension structures. *Tunnel. Undergr. Space Technology*, 35 (1): 172–177.
- [25] Master Son-T Apia Plus–Xtra, HPS-100, 2019. http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-tubes/high-intensity-discharge-lamps/son-highpressure-sodium/master-son-t-apia-plus-xtra/928150219230_EU/product, (Access date: 04.05.2018).

Araştırma Makalesi / Research Article

Metin Özetlemesi için Düğüm Merkezliklerine Dayalı Denetimsiz Bir Yaklaşım

Cengiz HARK^{1*}, Taner UÇKAN², Ebubekir SEYYARER², Ali KARCI³

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Enformatik Bölümü, Bitlis

²Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Van

³İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya
(ORCID:0000-0002-5190-3504) (ORCID: 0000-0001-5385-6775)
(ORCID: 0000-0002-8981-0266) (ORCID:0000-0002-8489-8617)

Öz

Cümle seçerek özetleme çalışmaları kapsamında birçok farklı yaklaşım mevcuttur. Bu çalışmada tek dokümanlı çıkarıcı metin özetleme için yeni ve denetimsiz bir süreç önerilmektedir. Çalışma kapsamında metin dokümanları çizgelerle temsil edilmektedir. Sunulan yaklaşım temel olarak metinleri temsil eden çizgeleri kullanmakta ve cümlelere yönelik bir ağırlıklandırma önermektedir. Önerilen sürecin farklı düğüm ağırlıklandırma yöntemlerini kullanarak önemli düğümleri belirlenmesi, önerilen özetleme sisteminin cümle puanlandırma aşamasını oluşturmaktadır. Son olarak bu çalışma kapsamında metin özetleme amaçlı önerilen yaklaşımın, açık erişimli metinler ve bu metinlere ait özetleri içeren Document Understanding Conference (DUC-2002) veri seti üzerindeki performansı ROUGE değerlendirme metrikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda önerilen özetleme sisteminin geleneksel çizge tabanlı yaklaşımlar ile rekabet edebilir ölçüde performans değerleri ortaya koyduğunu göstermektedir. Önerilen özetleme yaklaşımı ile elde edilen ROUGE-2 metriğinin Duyarlılık, Kesinlik ve F-Skor değerleri sırasıyla 0.17068, 0.15772, 0.16383 olarak hesaplandı. Ayrıca sunulan bu basit ve etkili yöntemin dilbilimsel bir süreç izlememesi oldukça önemlidir.

Anahtar kelimeler: Çıkarıcı Metin Özetleme, Düğüm Merkezliği, Cümle Sıralama, ROUGE Metrikleri.

An Unsupervised Approach Based on Node Centralization for Text Summarization

Abstract

There are many different approaches to summarizing through sentence selection. In this study, a new and unsupervised process is proposed for single document extractor text summarization. Within the scope of the study, text documents are represented by graph. Our method basically uses the graph representing texts and proposes a weighting for sentences. Using the different node weighting methods of the proposed process, identifying important nodes and thus important sentences constitutes the sentence grading stage of the proposed summarizing system. Finally, within the scope of this study, the proposed approach for text summarization was calculated by using Document Understanding Conference (DUC-2002) evaluation metrics in the ROUGE dataset containing open access texts and summaries of these texts. As a result of the experimental studies, the proposed summarization system shows the performance values that can compete with the traditional graph-based approaches. It is also important that this simple and effective method does not follow a linguistic process.

Keywords: Extractive Text Summarization, Node Centrality, Sentence Ranking, ROUGE Metrics.

1. Giriş

Ham veri, bir olgu hakkında birbirleri ile olan ilişkileri henüz tam olarak ortaya konmamış bilgi toplulukları olmakla birlikte sayısal formatlarla ifade edilebilen, taşınabilen dizeler olarak da

*Sorumlu yazar: chark@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.05.2019, Kabul Tarihi: 08.08.2019

tanımlanabilmektedir. Bu ham verilerin bilinen bir amaç doğrultusunda anlamlı birlikteliklerinin elde edilmiş hali ise bilgidir. Her geçen gün büyüyen veri miktarı yeni yaklaşımlar ile çözülmeyi bekleyen problemlere kapı açmaktadır. İşlenmeyi bekleyen dijital veriler çok büyük oranda belirli bir formatı olmayan ham metinlerdir. Sözü edilen verilerin anlamlı ve faydalanılabilir veri kaynaklarına dönüşmesi için üzerinde çalışılarak analiz edilmeleri gerekmektedir [1, 2]. Bilgiye erişim zamanının kısaltılarak kabul edilebilir erişim sürelerinin elde edilmesi için yeni yöntemlerin geliştirilmesi gerektiği kadar verinin analiz edilmesi de gerekmektedir [3, 4].

Otomatik metin özetleme, bu analiz yöntemleri arasında yer almaktadır. Son yıllarda araştırmacılar metin dokümanlarının özetlenmesi amacı ile yeni algoritma ve yöntemler geliştirmek için çalışmaktadırlar. Zira uzun metin belgelerinin insanlar tarafından özetlenmesi hem çok zor hem de gerçekten fazla zaman gerektirmektedir. İş dünyası, akademi, sağlık gibi birçok alanda özetleme oldukça gerekli görülmektedir. Araştırmacılar için metin özetleme hala önemli bir çalışma alanıdır. Radev [5] özeti, özgün metin veya metinlerdeki önemli bilgileri taşıyan, çoğunlukla daha kısa olan metinler olarak adlandırmaktadır. Erkan [6] 2004’de metin özetlemeyi, kullanıcı için faydalı bilgiler sağlayan belirli bir metnin sıkıştırılmış bir versiyonunu otomatik olarak oluşturma işlemi olarak tanımlamaktadır. 2019’da Joshi [7] otomatik metin özetleme çalışmalarını, son kullanıcılar için hızlı bir şekilde anlaşılabilir olması amacı ile uzun metin belgelerini sıkıştırılmış bir şekilde temsil etmeyi amaçlayan önemli bir Doğal Dil İşleme süreci olarak tanımlamaktadır.

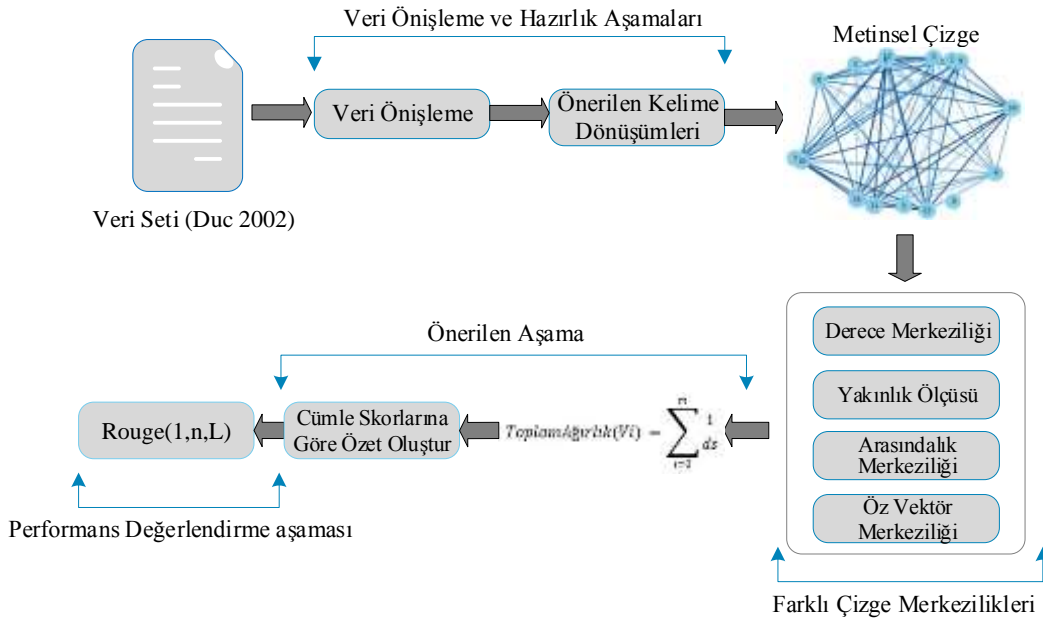
Bir özetin taşınması istenen bilgi içeriği kullanıcı tarafından özel olarak belirlenebilir. Bu şekilde konu-odaklı özetler (topic-oriented summarization) kullanıcının ilgilendiği konuya odaklanır ve belirtilen konu ile ilgili metindeki bilgileri çıkarır. Genel Özetleme (Generic summarization) ise, orijinal metnin genel konu içeriğini koruyarak, mümkün olduğunca fazla bilgiyi kapsamaya çalışır [6, 8]. Metin özetleme çalışmalarında temel anlamda iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yöntemler çıkarıcı özetleme (extractive summarization) sistemleri ve yorumlayıcı özetleme (abstractive summarization) sistemleri olarak kategorize edilebilmektedir. Metin belgesinden önemli cümleleri seçmek yolu ile özetleme yapmak çıkarıcı özetleme olarak adlandırılmaktadır. Skor değeri atanan cümle parçacıkları hakkında bir önem düzeyi belirlenmiş olur. Belirlenen bir üst limit ile sınırlandırılarak özetler elde edilir. Yorumlayıcı özetleyici sistemlerde süreç tamamen farklıdır. Bu yaklaşımda cümleler belirli adımlar ile yorumlanarak tekrar ifade edilir. Paragraflar veya cümleler gibi metin içerisinde yer alan kısımlar dilbilimsel metotlar kullanılarak ana metinden elde edilir. Bu metot gerçek metni anlamaya yorumlamaya ve daha az kelime kullanarak özlü bir şekilde elde etmeye dayanan bir yöntemdir [7, 9]. Yorumlayıcı özetleme sistemleri çıkarıcı özetleme sistemine göre daha karmaşık adımlardan oluşmaktadır. Ayrıca özetleme sistemleri, verilen girdi belgelerinin sayısına bağlı olarak, tekli doküman özetleme (single-document summarization) ve çoklu doküman özetleme (multi-document summarization) olarak da sınıflandırılabilir [10].

Son zamanlarda metin özetlemeye yönelik olarak etkili çizge tabanlı yaklaşımlar öne sürülmüştür. Mihalcea TextRank [11] adını verdiği yaklaşımında çizge bazlı cümle skorlama yöntemi ile metinleri özetleme yoluna gitmiştir. Benzer şekilde LexRank yaklaşımı ile Erkan [6] cümlelere puan vererek çıkarıcı özetleme gerçekleştirmiştir. Yine Parveen [12] Egraph’ı tanıtmıştır.

Bu çalışmada denetimsiz çizge tabanlı, genel, tekli ve çıkarıcı özetlemeye odaklanılmaktadır. Önerilen metot, metinde yer alan cümlenin önemini, çizgedeki düğümlerin öneminden yola çıkarak belirlemekte ve merkezlik ölçülerini doğrudan çizge ilişkilerine bağlı olarak hesaplamaktadır. Çizge teorisi literatüründe yer alan düğüm merkezlik ölçüm değerleri hesaplanmakta ve elde edilen puanların birleştirilmesi ile düğüm önem sıralaması oluşturulmaktadır. Bu bağlamda bir düğümün merkezlik değeri yani düğümün önemi, düğümün derecesi, diğer düğümlere olan yakınlığı, kendisi dışındaki düğümlerle sahip olduğu en büyük mesafesi vb. düğüme ait birçok özellik ile ifade edilmektedir. Farklı yöntemlerle merkezi düğümlerin belirlenmesi ile düğümleri temsil eden cümlelerin belirlenmesi önerilen özetleme sisteminin bu adımını oluşturmaktadır. Hesaplanan düğüm merkezlik ölçütlerinden elde edilen puanlar ile bir cümle seçim stratejisi ve hatta cümle sıralaması ortaya konmaktadır. Çıktı özeti, önceden tanımlanmış bir uzunluk ile sınırlandırılmış (bu çalışma için 200 kelime) en üst puanları alan cümleleri seçerek üretilmektedir.

2. Önerilen Yöntem

Metin özetleme için önerilen modelin süreçlerine dair blok diyagramı Şekil 1’de gösterilmektedir. Bu çalışmada, verilen metinlerden uygun özetler çıkarılması amacıyla çizge tabanlı genel, çıkarıcı ve tek belgeli bir özetleme yöntemi sunulmuştur. Çalışmanın ayrıntılı blok diyagramı Şekil 1’de adım adım gösterilmektedir. Önerilen otomatik özetleme yöntemi temelde üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada bir takım ön işlemler yapılmakta, yazarlar tarafından geliştirilen metin ön işleme aracı kullanılarak yazım şekilleri bakımından birbirlerinden farklı olan ancak anlamsal olarak ortak bir kelime kökünden türeyen yakın anlamlı kelimelerin çizgeler oluşturulurken farklı kelimeler gibi işleme alınmasının önüne geçilmektedir. İkinci aşamada cümleler arasındaki ilişkiler şekilsel ve matematiksel olarak temsil edilmektedir. Üçüncü ve son aşamada çizgeye ait farklı düğüm merkezlik yaklaşımları uygulanarak önemli düğümlere ve dolayısı ile önemli cümlelere ulaşılmaktadır.



Şekil 1. Önerilen özetleme modelinin şematik taslağı

2.1. Metin Önileme Hazırlık

Yoğun veri kümelerinin pek azı yapılandırılmış formatlara sahip veri kümeleridir. Yapılandırılmış veri kümeleri tablolar halinde satır ve sütunlarla ifade edilebilen veya etiketlere sahip veri kümeleridir. Bu çalışmada da üzerinde çalışılacak veriye belirli bir yapısalılık kazandırılması aşamaları oldukça karmaşık ve zaman alıcı aşamaların geride bırakılması ile mümkün olmuştur. Belirli bir bütünlük taşımayan, buna karşın bir yapısalılık kazandırılması gereken veri kümeleri için bazı ön işlemler zorunludur. Sisteme girdi olarak kullanılacak metinlerin üzerinde çalışılabilecek biçimlere aktarılması ayırt ediciliği olmayan gereksiz verilerden soyutlanmış olması sistemin başarımını arttıracığı öngörülmektedir. Zira bahsedilen yoğun kümeler doğal dil kullanılarak oluşturulmuşlardır [13]. Metin özetleme sürecinde, üzerinde çalışılacak metinler herhangi bir ön işleme sürecine katılmadan kullanılmamaktadır. Durak kelimeler (zamirler, edatlar, bağlaçlar, vb.) özetleme öncesinde veri setinden uzaklaştırılması gereken ve ayırt edici özelliği olmayan ifadelerdir. Bu nedenden ötürü verileri, üzerinde çalışılabilecek formatlara aktararak metin özetleme işleminin gerçekleştirilebilmesi için cümleler üzerinde temsil gücü olmayan durak kelimeler orijinal veri kümelerinden çıkarılmaktadır. Böylece özetleme sürecindeki işlem yükü azaltılmaktadır [1]. Sözü edilen bu normalizasyon adımları NET framework 4.7’de C# kullanılarak geliştirilmiştir. Bu normalizasyon adımları tek başına veri önileme aşamasında yeterli olmamaktadır. Bu adımlara ilaveten yazım şekilleri bakımından birbirlerinden farklı olan ancak anlamsal olarak ortak bir kelime kökünden türeyen yakın anlamlı kelimelerin çizgeler oluşturulurken farklı kelimeler gibi değerlendirilmesi, cümleler arasındaki bağlantı ve ilişkilerin tespitini zorlaştırmaktadır. Sezgisel olarak

sözü edilen problemin, özetleme sonrasında elde edilen başarıyı ciddi bir şekilde etkileyeceği öngörülerek özetleme öncesinde kelimeler ve ifadeler üzerinde bir dönüşüm sağlanmıştır. Sözü edilen dönüşüm Net framework 4.7 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 1, durak kelimeler çıkarıldıktan sonra elde edilen kelimeler üzerinde gerçekleştirilen dönüşüme dair bazı örnekler içermektedir.

Tablo 1. DUC 2002 Veri Seti'nde yer alan d070f isimli örnek metin dokümanının geliştirilen yazılım aracı ile gerçekleştirilen bazı dönüşümlerini içeren tablo

Ön İşleme yazılımından önce	Ön İşleme yazılımından sonra
Lawyer, Lawmaker	Law
powerful	power
husband's	husband
Russian	Russia
Chilean	Chile
newspaper	news

Bazı kelimeler üzerinde hiçbir değişiklik gerçekleştirilmemektedir. Geliştirilen yazılım aracının herhangi bir değişikliğe gitmediği kelimeler metinde yalnızca bir adet bulunan kelimelerdir. Dolayısı ile anlamsal bakımından benzeştiği veya yakın anlamlı olduğu bir ifade ile değişimi mümkün olamamaktadır. Buna karşılık Tablo 1'de yer alan "Lawyer" ve "lawmaker" gibi kelimeleri, tüm metinde bulunan anlamlı en yalın halleri ile yani "Law" kelimesi ile değiştirilmiştir. Ekli ifadelerin yerini alan "Law" kelimesi yine metnin tamamında aranmış ve belirlenmiştir. Böylelikle sözü edilen ekli kelimelerin farklı anlamlar taşıyormuş gibi çizgeye aktarılmalarının önüne geçilmektedir. Özetle değişikliğe uğrayan kelimenin yerini alacak olan en yakın ve anlamlı kelime gerçekleştirilen yazılım tarafından yine metin içinde aranmakta ve değişim yapılmaktadır.

Bu çalışmada açıklandığı gibi ham ve günlük konuşma dili özelliklerini taşıyan metinler, metin ön işleme ve hazırlık süreci ile evvela gereksiz ve istenmeyen verilerden arındırılmıştır. Daha sonra geliştirilen yazılım aracı kullanılarak benzer veya çok benzer anlamlar taşıyan ifadelerin çizgeler oluşturulurken farklı anlamlar taşıyor gibi algılanmasının önüne geçilmiştir. Bu sayede cümleler arasındaki bağlantıların ve ilişkilerin tespitinin kolaylaştırılması hedeflenmiştir.

2.2. Metinsel Çizge

Özellikler ve bu özellikler arasındaki ilişkilerin şekilsel olarak temsil edilmesi ile problemlerin çizgeler ile modellenmesi gerçekleştirilebilmektedir. Çizgeler, kavramsal olarak düğümlerden ve düğümler arası ilişkileri temsil eden ayrıtlardan oluşmaktadır. Düğümler ve ayrıtlar iki sonlu kümedirler. Düğümler, çizgenin temsil ettiği topluluğu oluşturan esas bireylerdir. Ayrıtlar ise, esas bireyler arasındaki söz konusu ilişkilerdir. Genel olarak çizge $G=(V,E)$ ile gösterilmektedir. Düğümler kümesi $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, ayrıtlar kümesi ise $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ ($E \subseteq V \times V$) dir. $e_i=\{v_j, v_j+1\}$ ayrıtı için uç düğümler v_j ve v_j+1 düğümleridir. v_j ve v_j+1 komşu düğümleri için $e_i=(v_j, v_j+1) \in E$ ve $(v_j+1, v_j) \in E$ ise, bu ayrıtlar yönlendirilmemiş ayrıtlardır. Bu tarz ayrıtların oluşturduğu çizgeler yönlendirilmemiş çizgelerdir. Eğer v_j ve v_j+1 komşu düğümleri $e_i=(v_j, v_j+1) \in E$ ve $(v_j+1, v_j) \notin E$ ise, bu tür ayrıtlar yönlendirilmiş ayrıtlardır. Yönlendirilmiş ayrıtların oluşturduğu çizgeye yönlendirilmiş çizge adı verilmektedir [2, 14, 15]. Bir $G=(V,E)$ çizgesi üzerinde $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ düğümleri arasındaki ilişkileri temsilen iki düğüm arasındaki ayrıtlar $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ eksi olmayan ağırlıklar taşıyor ise, bu tarz çizgeye ağırlıklı çizge adı verilmektedir [16]. Bu çalışmada metinleri temsilen oluşturulan çizgeler yönlendirilmemiş ve ağırlıklı çizgelerdir. Metinsel çizgelerin temsil edilmesi amacıyla literatürde farklı yaklaşımlar söz konusudur. Tam bir cümle veya bir cümlecik düğümler ile temsil edilebilirken, düğümler arasındaki kesişim, birlikte oluşumlar gibi farklı ilişki şekilleri ise, ayrıtlar ile temsil edilebilmektedirler.

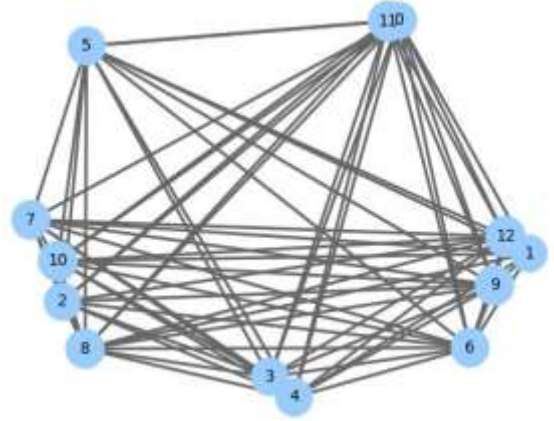
Genel olarak bir çizgede yer alan düğümlerin metinleri temsili noktasında kavramlar, terimler, cümleler, paragraflar ve belgeler düzeyinde karşılıkları olabilmektedir. Düğümler arasındaki ilişkileri temsil etmesi için ise anlamsal ilişkiler, kelime birliktelikleri çerçeve modeli gibi farklı yaklaşımlara sahip temsil tiplerine rastlanmaktadır.

Bu çalışmada metinleri temsil eden çizgeler oluşturulmuştur. Temsili çizgelerdeki sonlu kümelerden ilkini yani düğümleri cümleler temsil etmekte iken, diğer sonlu küme olan ayrıtları ise, ortak kelime sayıları temsil etmektedir. Böylece metinlerin yönlendirilmemiş ve ağırlıklı çizgeler ile temsili

sağlanabilmektedir. İfade şekilleri bakımından ise dinamik olarak ifade ve matrislerle ifade temsil tipleri mevcuttur. Bu bölümde gerçekleştirilen işlemler Şekil 1’de şematize edilen aşamalardan Metinsel Çizge aşamasına karşılık gelmektedir.

Şekil 2, basit bir metin örneğini ve bu metin için oluşturulan çizgeyi içermektedir. Oluşturulan çizge ağırlıklı ve yönsüz bir çizgedir. Deneysel çalışma sürecinde düğümlerin cümleler ile ayrıtların ise ortak kelime sayıları ile temsil edildiği bir dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Cümlelerin her birinin, diğer bütün cümlelerle mevcut kelime kesişim sayıları hesaplanarak cümle ikililerinin ilişki düzeyleri ortaya konmaktadır. Bu sayede cümleleri ve cümleler arasındaki ilişkileri temsil gücü yüksek bir çizge ile ifade edebilmekteyiz. Elde edilen çizgeler tüm cümle çiftleri arasındaki bağlantı ve ilişkilerin düzeyini ortaya koyan bir çizgedir.

The mass emigration of thousands of disaffected East Germans has rekindled reunification talk in West Germany, where some legislators plan to begin exploring the possibility of reuniting the two Germans. No one is predicting a date for a possible reunification. Proponents acknowledge the risks of assuming too much of East Bloc reform trends, and most hedge their thoughts with careful references to Washington and Moscow. Yet growing signs of ferment in East Germany have given Chancellor Helmut Kohl's government reason to consider the possibilities. Eduard Lintner, parliamentary speaker on German affairs for the joint Christian Democrat and Christian Socialist caucus in the Bundestag, said his committee has placed reunification on its October agenda. He said the sessions, which will include government officials and outside experts, hopefully can devise reunification models to discuss with West Germany's Western allies, particularly the US "It has become clear to the world that the Communist system in East Germany is in trouble," Mr Lintner said. "The time has come for us to show our allies, but also reform-minded people in the East, that German reunification is no longer just a theory but a subject requiring a serious appraisal of how it could come about. "There are still a number of imponderables," Mr Linter conceded. "For instance, we want the federal government to approach our allies and get their thoughts on the reunification topic. " The US ambassador to Bonn, Vernon A Walters, earlier this month reaffirmed Washington's policy of supporting a German reunification based on free, democratic elections. But Mr Walters caused a stir by predicting that reunion could occur in the relatively near future. Emerging opposition to uncompromising Communist rule in East Germany has raised questions on how long East Berlin's leaders can resist the democratic reforms sweeping through neighboring East Bloc countries. Reforms in Poland, Hungary and even the Soviet Union have magnified East Germany's Stalinist controls.



Şekil 2. DUC-2002 Veri Seti’nde yer alan d069f dosyasına ait örnek bir metin ve bu metni temsil eden örnek çizge

Metinler içerisindeki her cümle için temsili çizgeye bir düğüm eklenmiştir. Düğümler arasındaki ayrıtlar için ise metinde bulunan cümlelere dair kesişen kelime sayıları dikkate alınarak ayrıt ağırlığı eklenmiştir. Şayet cümleler arasında kesişen kelime bulunmamakta ise ilgili düğümler arasına ayrıt eklenmemektedir. Bütün cümleler, tüm kombinasyonları kapsayacak şekilde birbirleri ile olan ortak içerikleri bakımından ilişkilendirilmiş ve cümleler arasındaki ilişkiler çizgeye doğru bir şekilde aktarılabilmektedir. Şekil 2’de Veri Önleme ve Hazırlık aşamalarının sonrasında oluşturulan örnek bir paragraf ve bu paragrafa karşılık gelen çizge görülmektedir. Örnek paragraf DUC-2002 Veri Seti’nde yer alan örnek metinlerden seçilmiştir.

2.3. Düğüm Merkezlik Ölçütleri

Merkeziyet kavramı, Bavelas tarafından, bir bireyin sosyal ağ içindeki yapısal konumunun, bu kişinin grup çapında süreçlerdeki etkisini nasıl belirlediğini anlamak için ortaya atılmıştır [17]. Sonrasında yapılan çalışmalarda çok sayıda merkezlik ölçümü önerilmiştir. Bu önlemlerin her biri bir ağda “merkezi” olmanın ne demek olduğuna dair farklı fikirleri savunmaktadır. Merkeziyet ölçümleri birçok farklı alanda merkez noktaları veya merkez düğümleri tespit etmek amacı ile kullanılmıştır [18, 19]. Bu çalışmada metinlerden elde edilen çizgelerde, cümleleri temsil eden düğümler içerisinde en değerli olanları belirlemek amacı ile Arasındalık Merkezliği, Yakınlık Merkezliği, Derece Merkezliği ve Öz değer vektör Merkezliği ölçümleri kullanılmaktadır.

Bir çizgedeki merkezliği ölçmek adına kullanılan yöntemlerden biri arasındalık merkezliğidir. Bu ölçütte temel fikir, x ve y düğümlerinin çoğunda V düğümü yer alıyorsa bu düğümün önemli bir düğüm olduğudur. Bu yöntem önemli düğümlerin diğer düğümlere bağlılığı varsayımına dayanır [2].

$$C_b(v) = \sum_{x,y \in N} \frac{G_{x,y}(v)}{G_{x,y}} \quad (1)$$

N çizgede bulunan düğümler kümesidir. V düğümüne ait arasındalık merkezliği değeri Denklem 1' deki gibi hesaplanmaktadır.

Yakınlık merkezliyeti, uzaklığın tersi, yani bir düğüm ile tüm diğer düğümler arasındaki en kısa mesafelerin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Yakınlık merkezliği Denklem 2' deki gibi hesaplanmaktadır [20].

$$C_c(v_i) = \frac{N - 1}{\sum_{v_j \in v} \text{uzaklık}(v_i, v_j)} \quad (2)$$

Denklemden kullanılan $\text{uzaklık}(v_i, v_j)$ fonksiyonu iki düğüm arasındaki mesafe değeridir. Düğümler arasındaki ağırlık değeri toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bir düğüm üzerinde meydana gelen bağlantıların sayısı, derece merkezliği olarak tanımlanmaktadır [21, 22]. Verilen bir $G : = (V, E)$ çizgesi N adet düğümden oluşmuş olsun ve V düğümünün derece merkezliği değeri $C_D(v)$ Denklem 3'deki gibi hesaplanmaktadır;

$$C_D(v) = \frac{\text{derece}(v_i)}{N - 1} \quad (3)$$

Bu yöntemde yüksek önem değerine sahip düğümlere olan bağlantıların düşük önem değerine sahip düğümlere olan bağlantılarla aynı puanlamayı önem değerini vermektense ziyade yüksek değere sahip düğümlerin bağlantılı olduğu düğümlere daha fazla önem verdiği prensibine dayanmaktadır [23]. V_j ve V_i düğümler arasındaki kenarlarının ağırlığı ve λ bir sabit olmak üzere, V_i düğümünün öz vektör merkezliliği Denklem 4' deki gibi hesaplanmaktadır [20].

$$C_e(V_i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{V_j \in N(V_i)} V_{ji} \times C_e(V_j) \quad (4)$$

2.3. Önerilen Metot

Çalışma kapsamında Metinsel Çizge aşamasında belirtildiği şekilde çizgelerle temsilinin sağlanmasının akabinde bahsedilen düğüm ağırlıklandırma metotlarının bir arada kullanılarak farklı kabuller çalışmaya dahil edilmiştir.

Çalışma kapsamında en güçlü sonuç için (metinlerin genelinde hangi cümlelerin belirleyici olduğuna dair) deneysel süreçler, var olan düğüm merkezlik yöntemlerinin tümü etrafında yürütülerek genel ve bütüncül bir sonuç elde edilmiştir. Çalışma kapsamında yürütülen süreç düğümlere ait dört farklı merkezlik hesabı için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Önerilen yaklaşım gereği, düğümler kullanılan düğüm merkezlik yöntemlerine göre aldıkları puan sırası ile toplanmaktadır.

V_i düğümüne dair önerilen yaklaşım düğümlerin toplam ağırlık değerlerini Denklem 5'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Düğüm Merkezilik Değeri } (V_i) = \sum_{i=0}^m \frac{1}{d_s} \quad (5)$$

Denklemden kullanılan düğüm merkezliği metot sayısı m ile kullanılan düğüm merkezliklerine göre düğümlere ait puan sırası ise d_s ile gösterilir. Önerilen denklem ile düğümlere dair farklı merkezlik hesaplama varsayım ve kabullerinin dahil olduğu sayısal düğüm önem değerleri elde edilmiştir. Bu sayede özeti aranan metni oluşturan cümlelerin her biri için metnin bütünü üzerindeki temsil ve önemi elde edilmiştir dahası bu yaklaşım ile cümleler arasındaki ilişkiler yerel bir ilişki düzeyi ile sınırlı kalmaması sağlanmaktadır.

3. Deneysel Çalışma

Çalışmanın bu bölümünde önerilen özetleme yöntemini test etmek amacı ile deneysel süreçler boyunca kullanılan veri seti anlatılmaktadır. Ayrıca, özetleme sistemlerinin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan popüler değerlendirme ölçütü türlerine yer verilmektedir. Son olarak sunulan özetleme yönteminin performansını diğer özetleme sistemlerine kıyasla değerlendirmek için yapılan bir dizi deney sonuçları sunulmaktadır.

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada, önerilen özetleme yönteminin doğruluğunu test etmek amacı ile Document Understanding Conference (DUC-2002) veri setinden faydalanılmıştır. Bu veri seti özetleyici ve çıkarımsal özetlemeye yönelik dokümanlar bulundurmaktadır. Yapılan çalışmada çıkarımsal bir özetleme yöntemi önerildiği için çıkarımsal özetleme dosyalarından faydalanılmıştır. DUC-2002 veri setinde farklı değerlendiriciler tarafından çıkarımsal özet oluşturulan 59 adet dosya bulunmaktadır. Ayrıca bu dosyalara ait 200 ile 400 kelime sayısı sınır alınarak oluşturulan ve her birinden iki farklı değerlendirici tarafından oluşturulan özetler bulunmaktadır.

3.2. Performans Değerlendirme Metriği

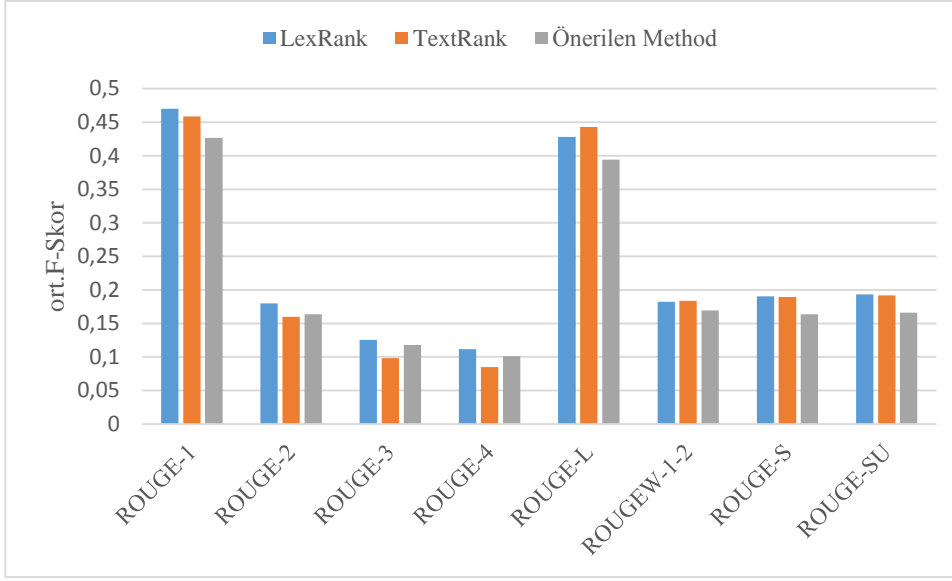
Özetleme sistemlerinde kullanılan en popüler değerlendirme ölçütleri Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation (ROUGE) performans ölçütleridir. ROUGE, özetlerin otomatik olarak değerlendirildiği bir performans metriğidir. Bu ölçütler, n-gram, kelime dizileri bazında değerlendirme yapmaktadır. Özetleme sistemleri tarafından oluşturulan özetler ile insanlar tarafından oluşturulan ideal özetler arasında meydana gelen kesişimlerin baz alındığı bir ölçüttür [24]. ROUGE ölçütleri tarafından üretilen puanlar 0 ile 1 arasındadır. Üretilen puanlar ne kadar yüksek olursa, model özeti ile o kadar fazla paylaşılan içerik mevcut demektir ve bu durumda otomatik özet daha iyi ve daha bilgilendirici olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, önerilen yaklaşımının performansını değerlendirmek için ROUGE-N (N-1, N-2), ROUGE L, ROUGE-W-1.2 ve ROUGE-SU ölçülerini kullanıyoruz. ROUGE-N, önerilen özet ve model özet arasında paylaşılan n-gram sayısını değerlendirir.

$$ROUGE - N = \frac{\sum_{C \in \{Referans \ Özetler\}} \sum_{gram_n \in S} \sum Eşleşme_{sayıları}(gram_n)}{\sum_{C \in \{Referans \ Özetler\}} \sum_{gram_n \in S} \sum Eşleşme(gram_n)} \quad (6)$$

Formüle yer alan n, $gram_n$ uzunluğuna eşittir. $Count_{match}(gram_n)$, aday özet ve referans özetinde kesişen maksimum n-gram'ların sayısıdır. Denklem 6'te açık bir şekilde görüldüğü üzere Rouge-N, duyarlılık ile ilişkili bir ölçümdür. Çünkü eşitliğin paydası referans özetinde oluşan n-gramların sayılarının toplamıdır [24]. Benzer şekilde ROUGE -L değerinde verilen iki alt kelime dizisinde en uzun ortak kelime dizisini hesaplamaktadır. ROUGE-W-1.2 önerilen özet ve model özet arasında art arda meydana gelen en uzun eşleşmeleri hesaplar. ROUGE-SU4 ise iki özet arasında ortak olan skip-bigrams sayısını ölçmektedir.

3.3. Bulgular

Bu çalışmanın temel amacı, çıkarıcı metin özetlemek amacı ile genel, denetimsiz ve çizge tabanlı bir süreç sunmaktır. Önerilen özetleme sisteminin başarımını analiz etmek için DUC-2002 veri setinde yer alan metinlere ait özetler sunan deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel süreçler boyunca metinlerin üzerinde çalışılabilecek biçimlere aktarılması, ayırt ediciliği olmayan gereksiz verilerden soyutlanması gibi normalizasyon adımları ile mümkün olmuştur. Bu normalizasyon adımlarına ilaveten yazım şekilleri bakımından birbirlerinden farklı olan ancak anlamsal olarak ortak bir kelime kökünden türeyen yakın anlamlı kelimelerin çizgeler oluşturulurken farklı kelimeler gibi değerlendirilmesi, cümleler arasındaki bağlantı ve ilişkilerin tespitini zorlaştırmaması için özetleme öncesinde kelimeler ve ifadeler üzerinde bir dönüşüm sağlanmıştır. Sözü edilen dönüşüm Net framework 4.7'de C# etiketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 200 kelimededen oluşan özetler için önerilen yöntem ile, geleneksel TextRank ve LexRank modellerinin karşılaştırılması:%95 güven aralığında ortalama F-Skor değerleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, çıkarıcı metin özetlemek amacı ile genel, denetimsiz ve çizge tabanlı bir süreç sunulmaktadır. Yöntemimiz bir dizi sıralı adımı takip ederek cümleler arasında bir önem sırası oluşturma esasına dayanmaktadır. Önerilen özetleme yaklaşımında, konuşma dilinin beraberinde getirdiği kuralsızlıklar geliştirilen bir yazılım aracı ile giderilmekte ve bu yazılım aracının kendine özgü algoritması ile metinler özetleme için hazırlanmaktadır. Özeti oluşturulması için düğümlerle temsil edilen cümlelerin önemini, sayısallaştırabilmek amacı ile belirlenen düğüm merkezlik ölçüm değerleri hesaplanmıştır. Her bir düğüm merkezlik puanı ayrı ayrı hesaplanmış ve önerilen yaklaşım ile bir hesaplama gerçekleştirilmiştir. Kullanılan merkezlik ölçümleri bakımından en yüksek değerleri alan cümleler seçilerek boyutları 200 kelime ile sınırlandırılmış özetler oluşturulmaktadır. Önerilen yaklaşımın metin özetleme probleminde kullanılabileceğini gösteren deneysel sonuçlara ilgili tablo ve grafikte yer verilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında sistemimizin performansı geleneksel LexRank ve TextRank özetleme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Genel olarak ilgili tablo ve grafikte görüldüğü üzere geleneksel LexRank özetleme metodu yine geleneksel bir başka özetleme metodu olan TextRank ve çalışma kapsamında sunduğumuz yöntemden daha iyi ROUGE performans değerleri rapor etmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında sunulan yöntem ile elde edilen ROUGE değerleri bakımından geleneksel TextRank özetleme metodu birçok metrik türü bakımından (ROUGE-2, ROUGE-3, ROUGE-4) geride bırakılmıştır. Önerilen yöntem ile LexRank özetleme yönteminin karşılaştırılması durumunda ise LexRank yönteminin daha yüksek ROUGE değerleri rapor ettiği açıkça gözlemlenmektedir. Deneysel süreçler boyunca elde edilen bir başka bulgu metin özetleme sistemlerinde sıklıkla kullanılan LexRank yaklaşımının, yine sıklıkla kullanılan TextRank yaklaşımından daha yüksek ROUGE değerleri rapor ettiğidir.

Açıkça ilgili tablo ve şekillerde ifade edildiği gibi kullanılan performans metrikleri açısından elde edilen ümit verici sonuçlar neticesinde, önerilen yöntemin metin özetlemede kullanışlı ve etkili bir araç olabileceği açıkça görülmektedir. Çalışma kapsamında yer verilen bütün düğüm merkezlik ölçüm yöntemleri farklı kabul ve varsayımlar üzerinden merkezi düğümleri tayin etmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ilgili merkezlik yöntemlerinin herhangi birine bağlı kalınmamış bir çok yöntemin dahil edildiği bütüncül bir yenilik sunulmuştur. Ayrıca deneysel çalışmaların sonuçlarına göre KUSH yazılımının araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan sınıflandırma ve kümeleme yöntemleri öncesinde de kullanılabilecek bir araç olabileceğine inanıyoruz. Bu çalışmada farklı kabullere göre çalışan yöntemlerin tamamının gücünü kullanarak basit, uygulanabilir ve rekabetçi bir yöntem sunulmuştur.

Kaynaklar

- [1] O. Durmaz. 2011. Metin Sınıflandırmada Boyut Azaltmanın Etkisi ve Özellik Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] Hark C., Uçkan T., Seyyarer, Abubekir Karci A. 2018. Metin Özetleme İçin Çizge Tabanlı Bir Öneri. IDAP 2018 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, pp: 1-6.
- [3] Canberk G., Sağıroğlu Ş. 2006. Bilgi ve Bilgisayar Güvenliği : Casus Yazılımlar ve Korunma Yöntemleri. Grafiker Yayıncılık, Ankara.
- [4] Aydemir E. 2018. Weka ile Yapay Zeka. Seçkin Yayınevi, Ankara, 216s.
- [5] Radev D.R., Hovy E., McKeown K. 2002. Introduction to the special issue on summarization. *Comput Linguist*, 28 (4): 399-408.
- [6] Erkan G., Radev D.R. 2004. Lexrank: Graph-based lexical centrality as salience in text summarization. *J Artif Intell Res.*, 22: 457-479.
- [7] Joshi A., Fidalgo E., Alegre E., Fernández-Robles L. 2019. SummCoder: An Unsupervised Framework for Extractive Text Summarization Based on Deep Auto-encoders. *Expert Syst Appl.*, doi:10.1016/j.eswa.2019.03.045.
- [8] Kaynar O., Görmez Y., Işık Y.E., Demirkoparan F. 2017. Comparison of graph based document summarization method. 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), pp: 598-603.
- [9] Cigir C., Kutlu M., Cicekli I. 2009. Generic text summarization for Turkish. 2009 24th International Symposium on Computer and Information Sciences (IEEE), pp: 224-229.
- [10] Sarkar K., Saraf K., Ghosh A. 2015. Improving graph based multidocument text summarization using an enhanced sentence similarity measure. 2015 IEEE 2nd International Conference on Recent Trends in Information Systems, ReTIS 2015 - Proceedings, pp: 359-365.
- [11] Mihalcea R., Tarau P. 2004. TextRank: Bringing Order into Texts. Proceedings of the ACL 2004 on Interactive Poster and Demonstration Sessions - (Association for Computational Linguistics, Morristown, NJ, USA), pp: 20-es.
- [12] Parveen D., Ramsel H.-M., Strube M. 2015. Topical coherence for graph-based extractive summarization. Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, pp: 1949-1954.
- [13] Hark C., Seyyarer A., Uçkan T., Karci A. 2017. Doğal dil işleme yaklaşımları ile yapısal olmayan dökümanların benzerliği. IDAP 2017 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, pp: 1-6.
- [14] Mihalcea R., Tarau P. 2005. A Language Independent Algorithm for Single and Multiple Document Summarization. Proceedings of IJCNLP 2005, 2nd International Joint Conference on Natural Language Processing, pp: 19-24.
- [15] Karci A. 1998. Çizge Algoritmaları ve Çizge Bölmeleme. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] Von Luxburg U. 2007. A Tutorial on Spectral Clustering Available at: www.springer.com. (Access date: 24.12. 2018).
- [17] Bavelas A. 1948. A Mathematical Model for Group Structures. *Hum Organ*, 7 (3): 16-30.
- [18] Radev D.R. 2004. LexRank : Graph-based Lexical Centrality as Salience in. *Artif Intell*, 22: 457-479.
- [19] Kutlu M., Cigir C., Cicekli I. 2010. Generic text summarization for Turkish. *Comput J.*, 53 (8):1315-1323.
- [20] Boudin F. 2013. A Comparison of Centrality Measures for Graph-Based Keyphrase Extraction. International Joint Conference on Natural Language Processing (IJCNLP) (Nagoya, Japan), pp: 834-838.
- [21] McPherson M., Smith-Lovin L., Cook J.M. 2001. Birds of a Feather: Homophily in Social Networks. *Annu Rev Sociol.*, 27 (1):415-444.
- [22] Analysis B.N. 2016. Centrality and Hubs. (1979). doi:10.1016/B978-0-12-407908-3.00005-4.
- [23] Kosorukoff A. 2011. Social Network Analysis Theory and Applications (Passmore, D. L, 2011).
- [24] Lin C.-Y. 2004. Rouge: A package for automatic evaluation of summaries. *Text Summ Branches Out*.

Araştırma Makalesi / Research Article

Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Taban Külü İnce Agregaları ile Üretilmiş Betonun Gerilme Şekil Değişirme Davranışının İncelenmesi

Memduh KARALAR*, Selin KONAK

*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak
(ORCID: 0000-0002-4595-8971) (ORCID: 0000-0002)-6505-1082*

Öz

Kömürle çalışan termik santrallerde, yanma sırasında, yanma kazanının altında mikron (μm) boyutundaki taban külü adında atık/yan ürün meydana gelmektedir. Taban külleri de genellikle silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek harç ve betonda katkı malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Tüm bu atıklar/yan ürünler, doğaya bırakıldıkları takdirde çevreye zarar veren ve depolanmaları ve/veya bertaraf edilmeleri ise ekonomik açıdan kayıplara sebep olan malzemelerdir. Bu tür atıkların başka bir sektörde, farklı bir ürün üretiminde değerlendirilmeleri hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük avantajlar kazandıracaktır. Bu çalışmada, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün, klasik beton üretiminde ince agrega olarak kullanılan kumun yerine belirli oranlarda ikame edilerek, bu atıkların betonun mekanik özellikleri üzerinde ki etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Özellikle, betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı, Elastisite Modülü, tokluğu ve son olarak basınç mukavemeti değişimi üzerinde durulmuştur. Çalışmada dört aşamalı deneysel bir program izlenmiştir. İlk aşamada, kullanılacak tüm malzemelerin karakterizasyonunu içeren bir dizi deney yapılmıştır. İkinci aşamada, doğal ince agrega kullanılarak hazırlanacak referans betonun, karışım tasarımı gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise, taban külü ve yüksek fırın cürufu, ayrı ayrı, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ince agrega yerine kullanılarak, beton numuneleri hazırlanmıştır. Dördüncü ve son aşamada ise, hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük standart su kürü uygulamasından sonra, mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külü gibi endüstriyel atık/yan ürünlerin, beton tasarımı içinde ince agrega olarak kullanımının, betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Granüle Yüksek Fırın Cürufu, Taban Külü, Gerilme-Şekil Değişirme Davranışı.

Examination of Stress-Strain Behavior of Concrete Product by Fine Aggregates with Granulated Blast Furnace Slag and Bottom Ash

Abstract

In coal-fired thermal power plants, the waste/by product deposited under the combustion boiler in the size of micron (μm) occurred during combustion and it is called as "bottom ash". The bottom ash that generally shows a puzzolanic feature due to its composition containing silica and alumina is also used as an additive material in mortar or concrete. These two types of industrial wastes/by products damage the natural environment and lead to economic losses because of their storage and/or disposal. Use of these wastes in different products and industries can likely contribute to the production of sustainable materials and provide important benefits environmentally and economically. In this study, it is aimed to investigate the effects of the blast furnace slag and the bottom ash on mechanical properties of concrete, substituting these wastes in specific proportions instead of sand used as the fine aggregate in the conventional concrete production. This study has particularly focused on the stress-strain behavior, modulus of elasticity, toughness and compressive strength of finally the change in concrete. In this study, a four-stage experimental program has been followed. In the first stage, a number of experiments that consist of the characterization of all materials to be used have been applied. In the second stage, the composition design of the standard concrete has been prepared using the standard fine aggregate (river sand). In the third stage, the blast furnace slag and the bottom ash have separately been replaced with the fine aggregate in concrete at the percentages of 25, 50, 75, and 100. In the fourth stage, finally, mechanical properties of specimens have been determined after

*Sorumlu yazar: memduhkaralar@beun.edu.tr
Geliş Tarihi: 26.12.2018, Kabul Tarihi: 08.03.2019

7 and 28 days standard water cure. Consequently, the effect of the use of some industrial wastes/by-products (i.e., granulated blast furnace slag and bottom ash) in concrete as the fine aggregate on mechanical properties of concrete have been investigated.

Keywords: Granulated Blast Furnace Slag, Bottom Ash, Stress-Strain Behavior.

1. Giriş

Beton, çimento, doğal veya yapay iri agrega, su ve gerektiğinde kimyasal veya mineral katkının karıştırılması ile yapılan ve çimentonun hidratasyonu ile dayanım kazanan malzemedir [1]. Burada çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesini artırır. Çakıl veya kırmataş taneleri betonda iskelet görevi yaparak dış kuvvetlere karşı koyarlar. Beton, çağdaş toplumların kullandıkları yapı malzemelerinin en önemlilerinden bir tanesidir. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 5,5 milyar ton beton üretildiği bilinmektedir. Bu miktar dünya nüfusuna bölündüğünde kişi başına yaklaşık 1000 kg beton üretildiği ortaya çıkar. Ancak, beton bu kadar yaygın kullanılan bir malzeme olmasına karşın, çoğunlukla düşük nitelik düzeylerinde üretilir [2]. Taze haldeyken plastik bir kıvama sahip olması, betona istenen herhangi bir şeklin verilmesini sağlar. Uygun bir şekilde tasarlanmış, üretilmiş, yerleştirilmiş, sıkıştırılmış ve bakımı yapılmışsa uzun yıllar her hangi bir bakım, onarım gerektirmeden hizmetini sürdürür [2]. Türkiye’de hidroelektrik ve termik santraller kurulmasının sebebi enerji açığının önlenmesidir. Hidroelektrik santraller ve düşük kaliteli linyit kömürü yakan termik santrallerde enerji üretimi sırasında büyük miktarda yan ürün olarak bilinen ‘‘Uçucu Kül’’ ve ‘‘Taban Külü’’ oluşmaktadır. Bu sebeple enerji ihtiyacı artışına paralel olarak çözülmesi zorunlu teknik, ekonomik ve çevresel sorunlar da giderek artmaktadır. Termik santrallerde oluşan atık malzemenin %15’ini taban külleri oluşturmaktadır. Taban küllerinin beton üretiminde agrega yerine kullanılması çimento maliyetinde azalma sağlaması bakımından yararlar sağlamaktadır. Termik santral atığı olan taban küllerinin çimento ve beton üretiminde kullanılması hususundaki çalışmalar Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufuna göre çok azdır [3]. Termik santrallerde açığa çıkan taban külü ve yüksek fırın cürufunun depolama, nakliyat ve çevre kirliliği gibi önemli sorunlarını önlemek için çimento üretiminde teknik yönden kullanılabilirliği, beton üretiminde ise ince ve kaba agrega yerine kullanımı değerlendirilmelidir. Literatürde bu konu üzerine bazı çalışmalar bulunmaktadır. Maier ve Durham’ın yaptığı araştırmada geri dönüştürülmüş beton agregasının, ezilmiş cam atığının ve granüle yüksek fırın cürufunun hem taze hem de sertleşmiş betondaki etkileri gözlemlenmiştir. Hazırlanan numunelerde granüle yüksek fırın cürufu çimento yerine, atık cam ise kaba ve ince agrega yerine kullanılmıştır. Granüle yüksek fırın cürufunun %50 ikame oranında kullanıldığında zararlı sonuçların azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca geri dönüşümlü malzemeyle yapılan çimento karışımının işlem görmemiş malzemeyle yapılan çimento karışımıyla karşılaştırıldığında %50’ye kadar dayanım ve dayanıklılık kazandığı sonucuna varılmıştır [4]. Singh ve Siddique’nin araştırmasında betonun kuruma rötresi, klorür iyon geçirgenliği, dış kaynaklı sülfat ve sülfirik asit saldırısına karşı dayanımı gibi dayanıklılık özellikleri ve basınç dayanımları laboratuvar ortamında testlere tabi tutulmuştur. Gözlemlere göre taban külüyle yapılan betonun geleneksel betona göre sülfirik asit saldırısına karşı çok az bir üstünlük sergilediği tespit edilmiştir. Taban küllü betonun sülfat saldırısına karşı davranışı neredeyse kontrol betonuyla birebir olduğu gözlenmiştir. Taban küllü betonun klorür iyonu geçirgenliğine karşı da daha iyi mukavemet gösterdiği tespit edilmiştir [5]. Yüksel ve ark., hem taban külünün ve granüle yüksek fırın cürufunun ayrı ayrı hem de ikisinin birlikte ince agrega olarak kullanılmasının betondaki dayanıklılığa nasıl tepki verdiğini araştırmıştır. Betonun durabilite özelliklerini tespit etmek amacıyla dayanım testleri yapılmış ve referans betonu ile karşılaştırılmış. Çalışmada granüle yüksek fırın cürufu, taban küllü ve hem granüle yüksek fırın cürufu hem de taban küllü ve %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame oranları içeren ince agregalı beton örnekleri üretilmiş. Elde edilen verilere dayanarak granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün ince agrega olarak kullanılması betonun bazı dayanıklılık özelliklerini iyileştirdiği söylenebilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen neticelere dayanarak granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün ince agrega yerine ikamesi sonucunda dayanımı yüksek beton elde etmenin mümkün olduğu söylenebilmektedir [6]. Topçu ve Bilir’in bu çalışmasında öğütülmemiş taban külünün ince agrega yerine ikame edilip, harç örnekleri üzerindeki büzülme çatlama etkisi incelenmiştir. Taban külü, ağırlıkça 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 oranlarında ince agrega yerine kullanılmış ve taban külünün büzülme çatlama

üzerindeki etkisini tespit etmek için dönme testine tabi tutulmuştur. Sonuçta %100 oranındaki değişimde taban külünün rötreyi gözenekli yapısı nedeniyle azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca taban külü değişim oranının artmasıyla doğru orantılı olan gözeneklilik yapısının artışı da dayanım ve Elastisite Modülünde de azalmaya sebep olmuştur [7]. Singh ve Siddique çalışmasında taban külünün betonda kullanımını inceleyen makalelere genel bir bilgi değerlendirmesi yapmıştır. Ayrıca taban külünün taze betonun işlenebilirliğine, priz süresine, terlemesine, büzülmesine ve sertleşmiş betonun mukavemet özelliklerine etkisinin nasıl olduğundan bahsetmiştir. Bu zamana kadar yapılan araştırmalar sonucunda taban külünün ince agregaya yerine kullanılabilir bir malzeme olduğu görülmektedir [8]. Kim ve ark., bu araştırma da günümüzde artan teknolojiyle birlikte daha fazla yaygınlaşan termik santrallerden elde edilen atıkların özellikle taban külünün ince agregaya olarak kullanımının, normal ve yüksek dayanımlı harcın akışını, su emmesini, mekanik özelliklerini ve harcın performansını nasıl etkilediğini gözlemek amaçlı deneylere tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre ince taban külü harcın referans harcına göre daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu ayrıca daha yavaş su emdiği tespit edilmiştir [9]. Yüksel ve Bilir bu çalışmaların da taban külünün ve yüksek fırın cürufunun ince agregaya yerine kullanılmasıyla briket, taban kaplama tuğlası ve bordür örnekleri üretilerek, durabilitelerini ve mekanik özelliklerini karşılaştırmak amacıyla testlere tabi tutmuşlardır. Yapılan deneylerin sonucunda basınç dayanımının az da olsa düştüğü, aşınmaya ve donma-çözünmeye karşı dirençlerinin iyileştiği tespitine varılmıştır. Diğer bir sonuçta taban külünün ve yüksek fırın cürufunun ince agregaya ikameli olarak kullanılmasının donatısız beton üretiminde dayanıklılığı arttırdığıdır [10]. Zhang ve ark. çeşitli agregaya malzeme özelliklerinin, harç ve kuruma büzülmesi özelliğine ve on dört çeşit ince agregaya malzemesine (standart kum, doğal kum, deniz kumu, çeşitli cüruf tipi kumlar) ve üç çeşit kaba agregaya (andezit çakıl, sert kumtaşı çakıl ve kireçtaşı çakıl) malzemesine sahip beton örneklerinin harç ve beton numuneleri üzerindeki etkisini açıklığa kavuşturmak için deneysel bir çalışma sunmaktadır. Test sonuçları, ince ve kaba agregaya malzemelerinin özelliklerinin sırasıyla harç ve betonun kuruma büzülme özelliğinin kontrol etmede önemli bir rol oynadığını ortaya çıkarmıştır. Kireçtaşı kumu ve yüksek fırın cürufu kumu, standart kum içeren harca kıyasla, harç örneklerinin kuruma büzülmesini sırasıyla %22 ve %30 oranında durdurabildiği gözlemlenmiştir. Beton numunelerin kuruma rötresi, agregaya rötre gerilimi artışı, spesifik yüzey alanı ve 6–30 nm çapındaki agregaların gözenek hacmi ile orantılı olarak arttığı, bu sonuca göre agregaya özelliklerinin kuruma rötresi gelişimi üzerinde önemli etken olduğu tespit edilmiştir. Sunulan deneysel sonuçlar neticesinde, beton karışım büzülmesinin uygun agregaya özellikleriyle kontrol edilebileceği ve toplam su içeriği miktarının azaltılabileceği göz önünde bulundurularak, beton karışım tasarımı uygulamaları için iyi bir perspektif sağlamak adına yararlı bilgiler olduğu sonucuna varılmıştır [1]. Valcuende ve ark., yaptıkları bu deneysel çalışmanın amacı, ince agreganın bir kısmının, kum olarak kumlanmış yüksek fırın cürufu ile yer değiştirdiği kendiliğinden yerleşen betonlarda (KYB) yaşla birlikte büzülme (rötre) evrimini incelemektir. Çalışma yedi tip KYB, 0.55 s/ç (SU/ÇİMENTO) oranı ve farklı cüruf içeriği ile yapılmıştır. Sonuçlar, kumların kumlanmış yüksek fırın cürufu ile değiştirilmesinin, daha yüksek gözenek hacmine sahip ancak daha ince gözenekli yapıya sahip (daha küçük medyan gözenek ve eşik çapları) karışımlara yol açtığını göstermektedir. Erken yaşlarda cüruf KYB'leri referans betonunki ile benzer basınç dayanımına sahiptir, ancak uzun vadede cüruf reaktivitesinin bir sonucu olarak mukavemetleri artmaktadır. Cüruf içeriği ne kadar yüksekse, hem daha yüksek otojen hem de kuruma büzülmesi ve sonuç olarak da toplam büzülme olduğunu gözlemlenmiştir. Referans beton ile kıyaslandığında, toplam büzülme artışının %4 ve %44 mertebesinde olduğu ve kumun sırasıyla %10 ve %60'ının cürufu ile yer değiştirdiği bulunmuştur [12]. Maier ve Durham'ın yaptığı bu araştırmanın temeli, geri dönüştürülmüş malzemelerin, değişen miktarlarda, taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisini araştırmaktır. Bu çalışmada kullanılan geri dönüştürülmüş malzemeler, öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu (ÖGYFC), geri dönüştürülmüş beton agregaya ve ezilmiş atık camdan oluşmaktadır. ÖGYFC veya cüruf çimentosu, çimento için bir yedek olarak kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregaya ve atık cam, sırasıyla kaba ve ince agregaları değiştirmek için kullanılmıştır. Tasarlanan beton karışımları geri dönüştürülmüş malzemelerle %25'lik bir değişimden %100'üne kadar değişmiştir. Ayrıca, karşılaştırma amacıyla çimento ve işlenmemiş agregalar kullanan standart bir beton karışımı tasarlanmıştır. Çökme, hava içeriği, birim ağırlık, basınç dayanımı, mukavemet kazanımı, donma-çözülme dayanıklılığı, geçirgenlik ve alkali-silika reaktivitesi (ASR) potansiyeli dahil olmak üzere taze ve sertleştirilmiş beton özellikleri incelenmiştir. %100 geri dönüştürülmüş malzeme betonu çok düşük geçirgenliğe ve %6,5 hava içeriğine sahip 4200 psi (29.0 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. %50 ve %75 geri dönüştürülmüş malzemelerden

oluşan beton karışımları, sırasıyla yaklaşık 7000 psi (48 MPa) ve 6350 psi (43.8 MPa) basınç dayanımı sağlamıştır. Geri dönüştürülmüş malzemelerin beton karışımlarında kullanılmasının faydalı ve olumsuz etkileri araştırılmış ve bunlar arasında agrega olarak atık camın kullanılmasının potansiyel alkali-silika reaktivitesi (ASR) bulunmakta olduğudur. Cüruf çimentosu, %50'lik değişim seviyelerinde kullanıldığında, bu endişeleri ortadan kaldırdığı bulunmuştur. Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı, işlem görmemiş malzemeden yapılan normal bir betona kıyasla %50'ye varan mukavemet ve dayanıklılık açısından yararlı olduğu tespit edilmiştir [13]. Bu çalışmalardan görüldüğü üzere bu konu ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, beton karışımının içerisine birçok uçucu kül oranları eklenerek beton teknolojisine katkıları değerlendirilmiştir.

2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külü atık/yan ürünlerinin, beton tasarımı içinde ince agrega yerine belirli oranlarda (%25-50-75-100) ikame edilmesi ile hazırlanan iki farklı sınıftaki beton karışımlarının (C20/25, C30/37), bazı mekanik özelliklerini tespit etmektir. Bu amaç doğrultusunda, hazırlanan beton karışımları için, gerilme-şekil değiştirme davranışı, Elastisite Modülü, tokluk ve son olarak basınç mukavemeti işleminin betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı ve basınç mukavemeti değişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elastisite modülü ve tokluk gibi bazı özelliklerin statik olarak elde edilmesi, malzemenin mekanik karakterinin tespitinde, ampirik formüller ile elde edilen sonuçların deneysel verilerle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Böylece granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün ince agrega olarak tasarlandığı betonların, standart beton tasarımı ile karşılaştırılması yapılmış ve bu atıkların agrega olarak kullanılabilirlikleri araştırılmış olacaktır. Proje kapsamında, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün, beton içinde ince agrega olarak kullanımının, üretilmiş kontrol numunesi betonları ile kıyaslandığında, betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu agregalarla üretilen betonların gerilme-şekil değiştirme davranışı ile ilgili verilerin elde edilmesi de amaçlanmıştır. Betonun Elastisite Modülü, tokluk ve poisson oranı gibi mekanik bazı özellikleri çeşitli yöntemler ile bulunabilir. Bu değerlerin tespitinde kullanılan yöntemlere göre, Elastisite Modülü, tokluk ve poisson oranı değerleri, “elastik ve plastik” olmak üzere iki kısımda incelenir. Elastisite modülü, tokluk ve poisson oranı hazırlanan beton numunesi deney presinde basınç gerilmeleri altında, bu gerilmelere karşılık gelen deformasyon değerleri tespit edilerek kırılmasıyla bulunmuşsa (gerilme-şekil değiştirme diyagramı oluşturulmuşsa), veya bazı kuruluşların (Amerikan Beton Enstitüsü, Avrupa Beton Komitesi ve Türk Standartları Enstitüsü gibi) betonun basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiyi gösteren değişik formüller ile tespit edilmiş ise, bu tür elastisite modülü ve poisson oranına “statik elastisite modülü ve poisson oranı” denilmektedir. Bunun yanı sıra, Elastisite Modülü ve poisson oranı, Sonometre veya Ultrasonik test cihazı gibi ses dalgaları kullanarak tahribatsız yöntemler aracılığıyla da elde edilebilir. Bu yöntemler ile elde edildiklerinde ise “dinamik Elastisite Modülü ve poisson oranı” olarak isimlendirilirler [14]. Bu çalışma dâhilinde, çok büyük miktarlarda ortaya çıkan ve birçok çevresel ve ekonomik zarara sebep olan iki büyük endüstriyel yan ürün/atığın (granüle yüksek fırın cürufu ve taban külü), tasarımı içinde ince agrega yerine ikamesi ile edilen betonun mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada, gerilme-şekil değiştirme davranışı, Elastisite Modülü, tokluk, ve son olarak basınç mukavemeti işleminin betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı ve basınç mukavemeti değişimi üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Elde edilmiş değerler, üretilmiş kontrol numunesi betonu ile kıyaslanmıştır.

3. Beton Karışımlarında Kullanılan Malzemeler

3.1. Çimento

Yapılan çalışmada CEM I 42,5 R, Portland çimentosu kullanılmış olup, Pelenkoğlu A.Ş.’den elde edilmiştir. Tasarımda kullanılan çimentonun özellikleri: CEM I 42,5 R, Portland Çimentosu klinkeri, alçı taşı ve en çok %5’e kadar minör ilave bileşen maddenin birlikte öğütülmesi sonucu TS EN 197-1 / Mart: 2002 “Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri” standardına uygun imal edilen, 2 günlük basınç mukavemeti en az 20 ve 28 günlük basınç mukavemeti en az 42,5 MPa, en fazla 62,5 MPa olan çimentodur [15]. Çimentonun sınıfı, ağırlığı, üretim standardı

gibi bazı bilgiler çimento paketi üzerinde belirtilir (Şekil 1). Çimento içerisinde bulunan kimyasal bileşenler ise Tablo 1’de gösterilmiştir. Çimentonun özgül ağırlığı 3.13 g/cm^3 ’tür. 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri sırasıyla 43.6 MPa ve 55.1 MPa’dır. Bunlara ek olarak çimentonun priz başlama ve bitiş süreleri sırasıyla 179 ve 236 dakikadır.



Şekil 1. CEM I 42,5 R, Portland çimentosu.

Tablo 1. Çimento içerisinde bulunan kimyasal bileşenler.	
Çimentonun kimyasal bileşenleri	Yüzde Oranı (%)
SiO ₂	19.08
Al ₂ O ₃	5.19
Fe ₂ O ₃	2.60
CaO	62.49
MgO	2.79
SO ₃	3.20
Kızdırma Kaybı	2.63
Cl ⁻	0.012
Na ₂ O	1.09
Tayin edilemeyen	0.918

3.2. Agregalar

Betonun ana iskeletini oluşturan agregalar, istenilen betonun tasarlanmasında en önemli faktördür. Yaptığımız beton tasarımlarında kullanılan agregalar, Zonguldak Eren Enerji A.Ş taş ocağından temin edilmiştir. Ocakta makinalar ile farklı büyüklüklere ayrılan agregalar, 0/5, 5/15, 15/25 mm boyutunda boyutlandırılmıştır. Şekil 2’de farklı boyutlardaki agrega numuneleri görülmektedir. Deneylerde kullanılan agregaların en büyük tane boyutu 25 mm’dir. Ayrıca referans betonda kullanılan agrega cinsi kırma taş kalkerdir.



(a) (b) (c)
Şekil 2. (a) 0/5 mm (b) 5/15 mm (c) 15/25 mm boyutlarındaki agregalar.

3.3. Taban külü

Tasarlanan beton karışımlarında %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ince agrega olarak ikame ettirilen taban külü Eren Enerji A.Ş taş ocağından temin edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Eren Enerji A.Ş taş ocağından temin edilen taban külü numunesi.

Ülkemizde kömürle çalışan termik santrallerde yanma sırasında yaklaşık 15 milyon ton uçucu kül (UK) ve 4 milyon ton taban külü diğer adıyla yatak altı külü (TK) açığa çıkmaktadır [17]. Bu kadar yüksek miktarda açığa çıkan atık ürünler termik santral yakınlarında bulunan kül dağları veya barajlarında depolanmaktadır. Zonguldak Eren Enerji A.Ş taş ocağının taban küllerini biriktirdiği kül barajı Şekil 4’de sunulmaktadır.



Şekil 4. Zonguldak Eren Enerji A.Ş taş ocağı kül barajı.

3.4. Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Granüle yüksek fırın cürufu demir çelik fabrikalarının çelik üretimi esnasında çeliğin erimesiyle oluşan yan üründür. Bu çalışma da ince agrega yerine belli oranlarda (%25, %50, %75 ve %100) ikame ettirilmiştir. Granüle yüksek fırın cürufu (Şekil 5) Bolu Çimento A.Ş 'den temin edilmiştir.



Şekil 5. Bolu Çimento A.Ş' den temin edilen GYFC numune örneği.

3.5. Kimyasal Katkı

Beton katkı maddeleri betonun bazı özelliklerini iyileştirmek amacıyla karma işlemi sırasında veya hemen önce karışıma katılan maddelerdir. Yapılan çalışmalarda su azaltıcı katkı maddesi olarak, Draco marka, LEVELCON KYB 105, hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır (Şekil 6). Akışkanlaştırıcı, Zonguldak'ta bulunan Pelenkoğlu A.Ş'den temin edilmiştir. Tablo 2'de katkının +20 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nem ortamındaki teknik özelliklerini göstermektedir.

Tablo 2. Su azaltıcı katkı maddesi olarak kullanılan hiper akışkanlaştırıcının analizi.

Ürün Adı, Tanımı ve Tipi	LEVELCON KYB 105
Görünüm	Ayrışma Yok
Renk	Kahverengi
Bağıl Yoğunluk (g/cm ³)	1.062
Katı Madde Miktarı (%)	17.31
pH değeri	5.47
Klorür İçeriği Katkı Kütlesi Oranınca	< 0.1
Alkali Miktarı (Na ₂ O) %	< 5
Raf Ömrü ve Depolama Koşulları	1 yıl
Kimyasal Katkı Kullanım Aralığı (%)	0.6 – 2.0

**Şekil 6.** Su azaltıcı katkı maddesi olarak kullanılan hiper akışkanlaştırıcı.

4. Yöntem

Bu çalışmada izlenen deneysel program ve yöntem bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Kullanılacak tüm malzemelerin karakterizasyonunu içeren bir takım deneyler yapılmıştır ve tüm malzemelerin (çimento, agrega, taban külü ve yüksek fırın cürufu) karakterizasyonunu içeren deneyler yapılmıştır. Bu deneyler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Çimentonun özgül yüzey ve ağırlığının tayini
2. Doğal agregaların özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini
3. Yüksek fırın cürufunun özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini
4. Taban külünün özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini
5. Doğal agrega, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün maksimum dane çapı büyüklüklerinin belirlenmesi (Elek analizi yöntemi kullanılarak)
6. Yüksek fırın cürufunun ve taban külünün x-ışını flüoresans analizi (XRF) ve mikroyapı analizi (SEM)

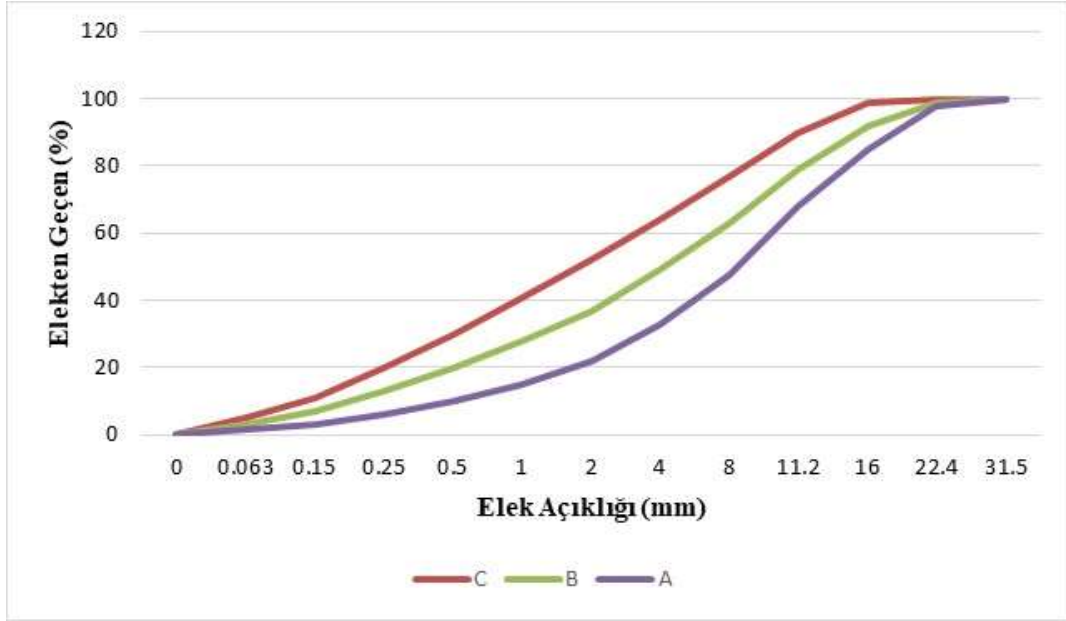
Ayrıca, tasarlanan referans betonların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu referans betonları üzerinde aşağıda maddeler halinde sıralanmış deneyler gerçekleştirilmiştir.

1. C20/25 sınıflı referans betonun 7 ve 28 günlük dayanım testi
2. C30/37 sınıflı referans betonun 7 ve 28 günlük dayanım testi

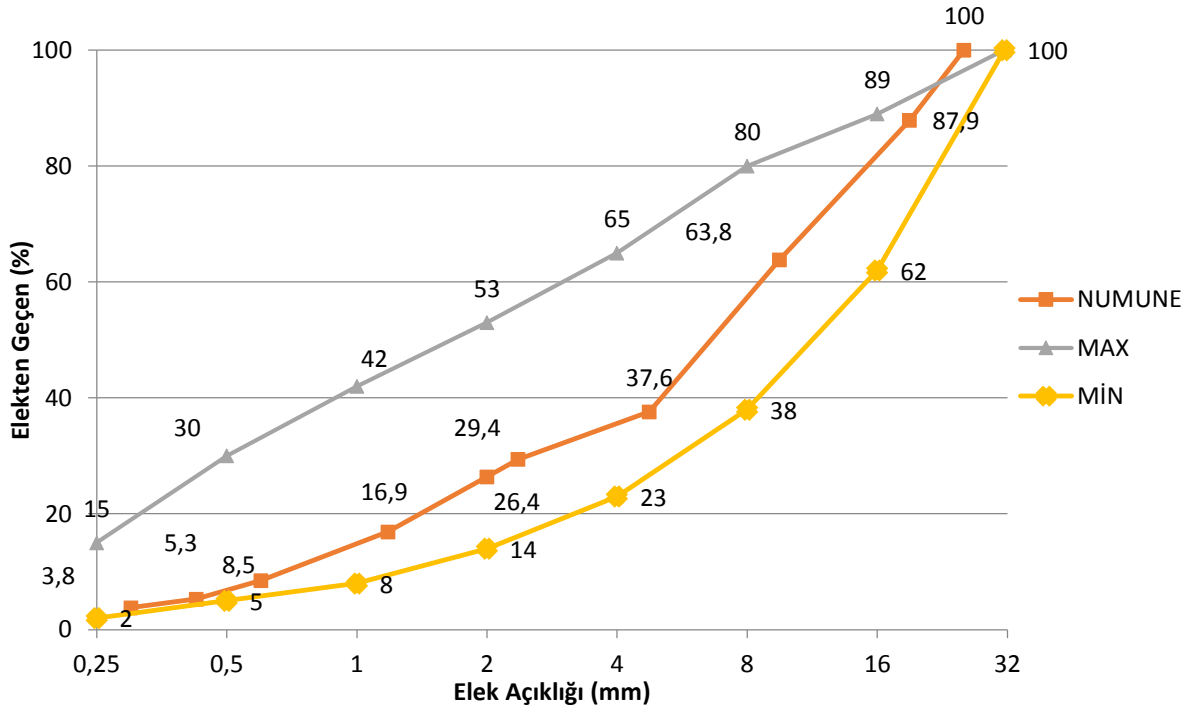
5. Bulgular ve Tartışma

Deneysel sonuçlar bu bölümde detaylı olarak sunulmuştur. C20/25 ve C30/37 betonlarının mekanik özellikleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır ve bu betonların mekanik davranışına 5 farklı katkı

değerlerinin etkisi grafiksel olarak incelenmiştir. Ayrıca bu 5 farklı katkı değeri dikkate alınarak beton basınç deneyleri yapılmıştır. Katkılı olarak hazırlanan betonlar ilk olarak SLUMP deneyine tabi tutulmuşlardır. TS 802’de en büyük agrega tane boyutu 8, 16, 31,5 ve 63 mm için ayrı ayrı olmak üzere A (geçen min./alt sınır eğrisi), B ve C (geçen max./üst sınır eğrisi) diye üç sınır eğrisi tanımlanmaktadır. Şekil 7’de, TS 802’ye göre en büyük tane büyüklüğü için belirlenen granülometri eğrisi gösterilmektedir. Ayrıca, Tablo 3’de doğal agreganın elek analizi sonuçları grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 8’de ise doğal agreganın granülometri eğrisi detaylı olarak sunulmuştur. Tablo 4’de ve Şekil 9’de ise ince agreganın (Taban Külü) elek analizi ve gradasyon eğrisi bulunmaktadır.



Şekil 7. Agrega en büyük tane büyüklüğü için belirlenen granülometri eğrisi.



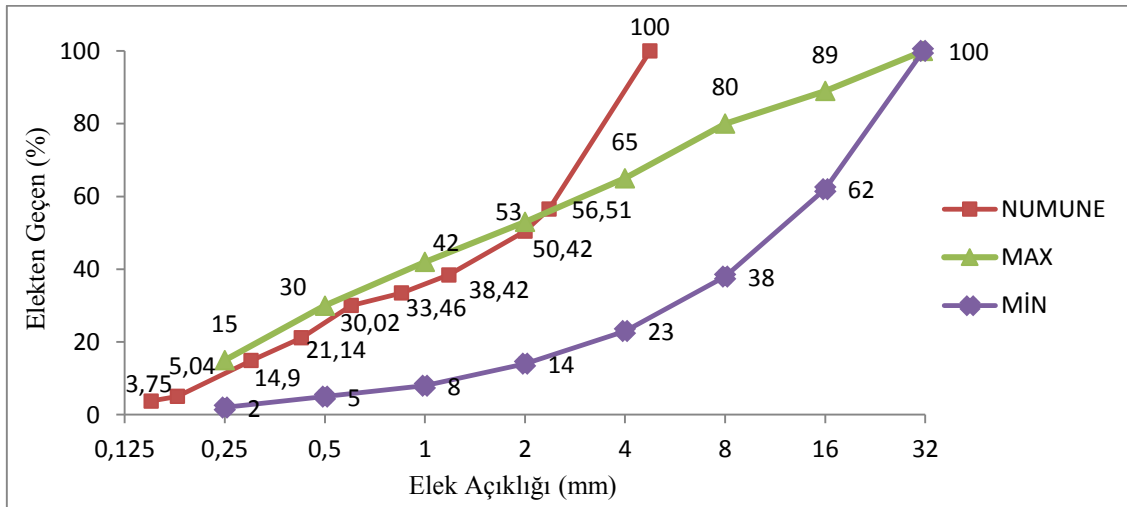
Şekil 8. Doğal agregaların granülometri eğrisi.

Tablo 3. Doğal agregaların elek analizi sonuçları.

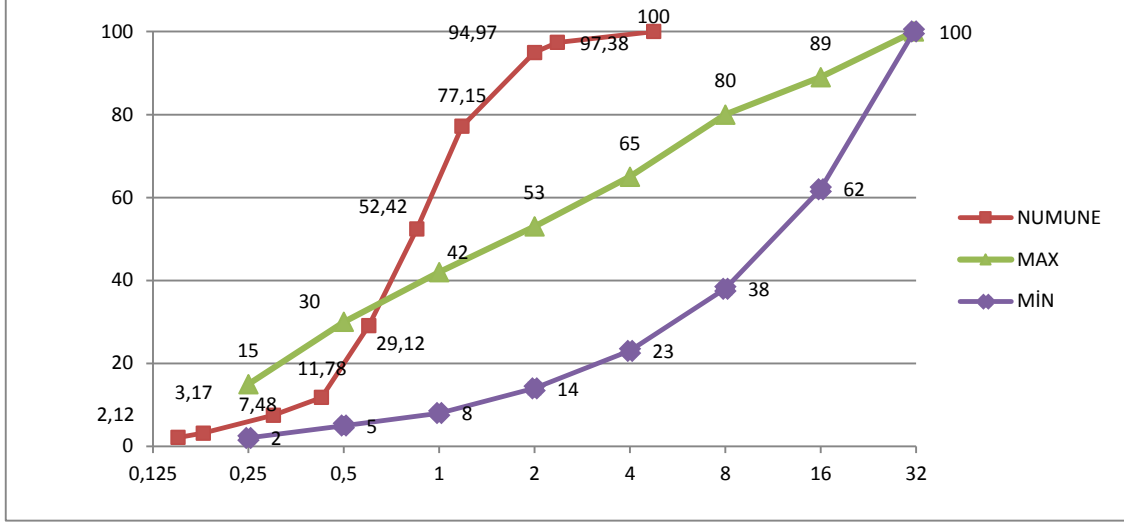
Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Darası (gr)	Dara+elek üstünde kalan malzeme (gr)	Elek üstünde kalan malzeme (gr)	Yığılımlı malzeme miktarı (kg)	Kalan (%)	Geçen (%)
25,4	469,4	469,4	0	0	0	100
19	508,2	962,1	453,9	453,9	12,1	87,9
9,5	487,6	1393,7	906,1	1360	36,2	63,8
4,75	394	1378,2	984,2	2344,2	62,4	37,6
2,36	417,6	726,6	309	2653,2	70,6	29,4
2	461,8	576,9	115,1	2768,3	73,6	26,4
1,18	404,1	762	357,9	3126,2	83,1	16,9
0,6	367,8	682,9	315,1	3441,3	91,5	8,5
0,425	405,3	524,4	119,1	3560,4	94,7	5,3
0,3	388,4	446,2	57,8	3618,2	96,2	3,8
Tepsi	333,8	477,5	143,7	3761,9	100	0

Tablo 4. Taban külünün elek analizi sonuçları.

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Darası (gr)	Dara+elek üstünde kalan malzeme (gr)	Elek üstünde kalan malzeme (gr)	Yığılımlı malzeme miktarı (kg)	Kalan (%)	Geçen (%)
4,75	394,3	394,3	0	0	0	100
2,36	417,8	1067,5	649,7	649,7	43,49	56,51
2	462,1	553,1	91	740,7	49,58	50,42
1,18	404,5	583,7	179,2	919,9	61,58	38,42
0,85	411,9	486,1	74,2	994,1	66,54	33,46
0,6	368,2	419,6	51,4	1045,5	69,98	30,02
0,425	405,7	538,3	132,6	1178,1	78,86	21,14
0,3	388,7	481,9	93,2	1271,3	85,1	14,9
0,18	326,2	473,5	147,3	1418,6	94,96	5,04
0,15	383,3	402,6	19,3	1437,9	96,25	3,75
Tepsi	333,6	389,6	56	1493,9	100	0

**Şekil 9.** Taban külünün granülometri eğrisi.

Şekil 10 ve Tablo 5’de ince agreganın (Granüle yüksek fırın cürufu) gradasyon eğrisi ve elek analizi ve detaylı olarak sunulmuştur. Ayrıca deneylerin sonucunda elde birim ağırlıklar, betonların çökme değerleri ve basınç dayanımları Tablo 6’da detaylı olarak gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 7’de her bir beton için karışım oranları sunulmuştur.



Şekil 10. Yüksek fırın cürufunun granülometri eğrisi.

Tablo 5. Yüksek fırın cürufunun elek analizi sonuçları.

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Darası (gr)	Dara+elek üstünde kalan malzeme (gr)	Elek üstünde kalan malzeme (gr)	Yığılımlı malzeme miktarı (kg)	Kalan (%)	Geçen (%)
4,75	394,3	394,3	0	0	0	100
2,36	417,8	456,7	38,9	38,9	2,62	97,38
2	462,1	498,1	36	74,9	5,03	94,97
1,18	404,5	669,6	265,1	340	22,85	77,15
0,85	411,9	779,9	368	708	47,58	52,42
0,6	368,2	714,9	346,7	1054,7	70,88	29,12
0,425	405,7	663,8	258,1	1312,8	88,22	11,78
0,3	388,7	452,7	64	1376,8	92,52	7,48
0,18	326,2	390,3	64,1	1440,9	96,83	3,17
0,15	383,3	399	15,7	1456,6	97,88	2,12
Tepsi	333,6	365,1	31,5	1488,1	100	0

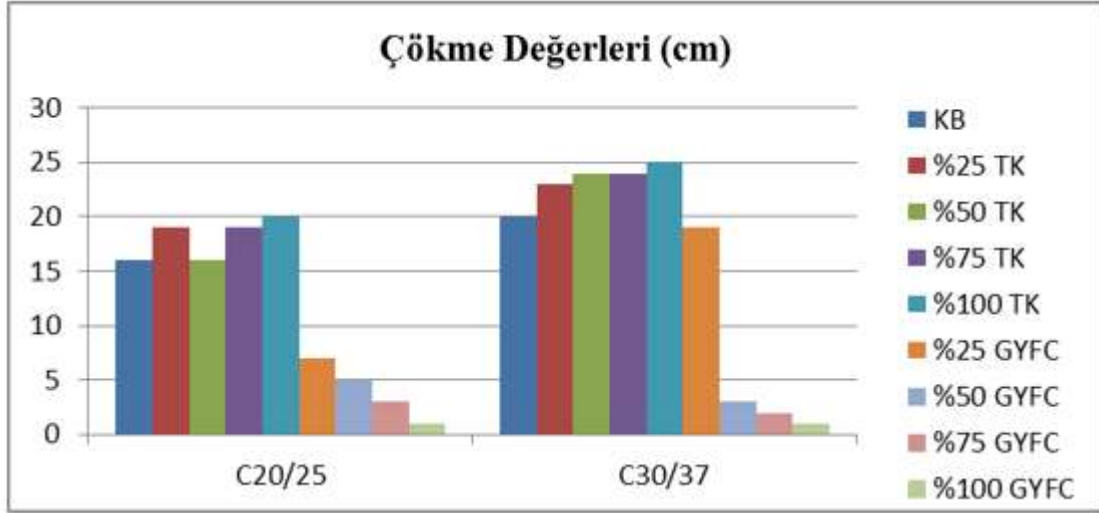
Tablo 6. Taze betonların çökme, birim ağırlık değerleri ve basınç dayanımları.

Beton No	Beton Kodu	Çökme (mm)	Birim Ağırlık (kg/m ³)	7 Günlük Dayanım Sonuçları (MPa)	28 Günlük Dayanım Sonuçları (MPa)
1	C20/25 Kontrol	160	2410	30,636	35,502
2	C20/25 %25 GYFC	70	2390	24,689	30,436
3	C20/25 %50 GYFC	50	2420	21,751	28,951
4	C20/25 %75 GYFC	30	2290	8,809	11,653
5	C20/25 %100 GYFC	10	2300	5,644	6,889
6	C30/37 Kontrol	200	2490	39,244	47,107
7	C30/37 %25 GYFC	190	2420	33,591	42,644
8	C30/37 %50 GYFC	30	2310	23,449	25,280
9	C30/37 %75 GYFC	20	2300	17,596	21,191
10	C30/37 %100 GYFC	10	2200	17,271	16,956
11	C20/25 %25 TK	190	2300	18,004	22,631
12	C20/25 %50 TK	160	2230	10,698	13,071
13	C20/25 %75 TK	190	2055	8,938	10,831
14	C20/25 %100 TK	200	2001	6,853	10,298
15	C30/37 %25 TK	230	2375	24,938	31,667
16	C30/37 %50 TK	240	2771	12,884	16,320
17	C30/37 %75 TK	240	2230	11,467	15,111
18	C30/37 %100 TK	250	2050	8,618	10,640

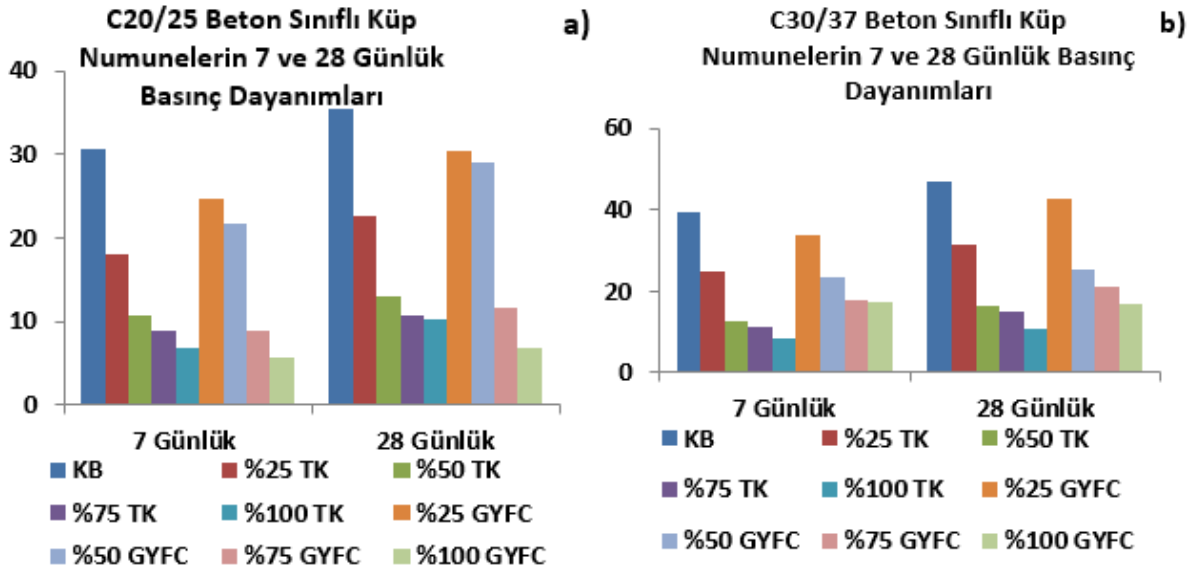
Tablo 7. Her seri için beton karışımlarına dahil olan malzeme miktarları (kg/m³)

Beton Adı	Çimento	Su	S/Ç	Katkı miktarı (kg)	0-5 Kırma kum	5-12 Kırma taş	12-22 Kırma taş	Taban Külü	Granüle Yüksek Fırın Cürufu
C20/25 KB	250	157	0,63	4,25	1042	362	604	-	-
C20/25 %25 TK	250	157	0,63	4,25	781,5	362	604	169,76	-
C20/25 %50 TK	250	157	0,63	4,25	521	362	604	339,53	-
C20/25 %75 TK	250	157	0,63	4,25	260,5	362	604	509,3	-
C20/25 %100 TK	250	157	0,63	4,25	-	362	604	679,06	-
C20/25 %25 GYFC	250	157	0,63	4,25	781,5	362	604	-	264,40
C20/25 %50 GYFC	250	157	0,63	4,25	521	362	604	-	528,81
C20/25 %75 GYFC	250	157	0,63	4,25	260,5	362	604	-	793,21
C20/25 %100 GYFC	250	157	0,63	4,25	-	362	604	-	1057,61
C30/37 KB	300	156	0,52	5,10	962	355	651	-	-
C30/37 %25 TK	300	156	0,52	5,10	721,5	355	651	156,73	-
C30/37 %50 TK	300	156	0,52	5,10	481	355	651	313,46	-
C30/37 %75 TK	300	156	0,52	5,10	240,5	355	651	470,19	-
C30/37 %100 TK	300	156	0,52	5,10	-	355	651	626,92	-
C30/37 %25 GYFC	300	156	0,52	5,10	721,5	355	651	-	244,10
C30/37 %50 GYFC	300	156	0,52	5,10	481	355	651	-	488,21
C30/37 %75 GYFC	300	156	0,52	5,10	240,5	355	651	-	732,31
C30/37 %100 GYFC	300	156	0,52	5,10	-	355	651	-	976,41

TS EN 206: 2013+A1 no'lu Türk standartına göre C20/25 Taban Külü (TK) ve Granüle Yüksek Fırın Cürufu (GYFC) ikameli taze betonların çökme sınıfları (kıvam sınıfları) S1, S2 ve S4; C30/37 TK ve GYFC ikameli taze betonların çökme sınıfları S1, S4 ve S5 olduğu sonucuna varılmıştır. Referans betonların ise S4 kıvam sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 11'de üretilen her beton numune serilerinin çökme değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

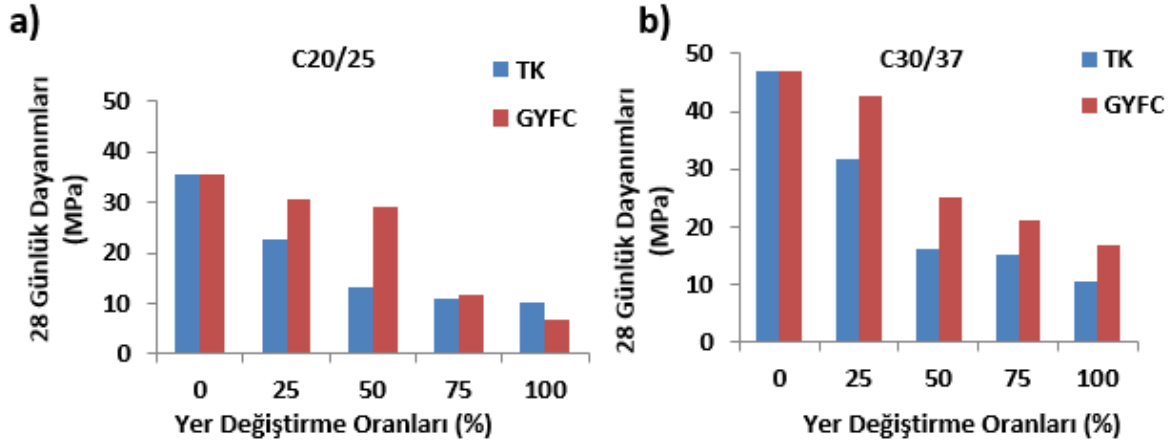


Şekil 11. C20/25, C30/37 beton sınıfı TK ve GYFC ikameli taze betonların çökme değerleri (mm).



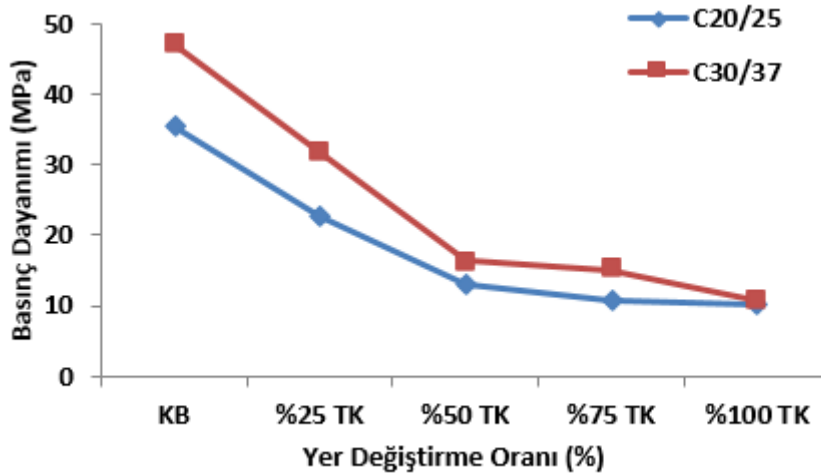
Şekil 12. a) C20/25 beton sınıfı numunelerin dayanım sonuçları (MPa), b) C30/37 beton sınıfı numunelerin dayanım sonuçları (MPa).

C20/25 ve C30/37 beton sınıfı küp numuneleri için yapılan basınç deneyi sonuçları Şekil 12'de görülmektedir. Basınç dayanımı deneyleri TS EN 12390-3 standardına göre yapılmıştır. Basınç dayanımları kontrol betonuyla karşılaştırıldığında taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun ince agrega olarak miktarının artması betonun basınç dayanımını düşürmektedir. Basınç dayanımındaki düşüş beton dayanım kazandıkça azalmaktadır. Özkan, Yüksel, Muratoğlu [19]'e göre taban külünün ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun ince agrega yerine kullanılması sonucunda betonun basınç dayanımlarında düşüş gözlenmiştir. Granüle yüksek fırın cürufu ikameli betonların basınç mukavemeti değerlerinin standart beton numunelerine oranla C20/25 beton sınıfı için %14,27, %18,45, %67,18 ve %80,60, C30/37 beton sınıfı için %9,47, %46,33, %55,02 ve %64,00 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Hacimce ikame oranları arttıkça basınç dayanımında azalmanın sebebi GYFC'nun gözenekli yapısından dolayı betona boşluklu yapı kazandırmasıdır.



Şekil 13. a) C20/25 betonu için 28 günlük basınç dayanım sonuçları, b) C30/37 betonu için 28 günlük basınç dayanım sonuçları.

Referans, C20/25 ve C30/37 beton numunelerinin 28 günlük dayanım sonuçları Şekil 13’de verilmiştir. Taban küllü ikameli betonların basınç mukavemeti değerlerinin standart beton numunelerine oranla C20/25 beton sınıfı için %36,25 , %63,18, %69,49 ve %71,00, C30/37 beton sınıfı için %32,78, %65,36, %67,92 ve %77,41 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Beton basınç mukavemeti için gerçekleşen düşüşün; standart agregaya göre çok daha düşük dayanıma sahip olmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Taban küllü betonların %50 ikame oranından sonraki yer değiştirme oranlarında betonun basınç mukavemeti üzerinde büyük bir düşüş olduğu Şekil 14’de gözlemlenmiştir.



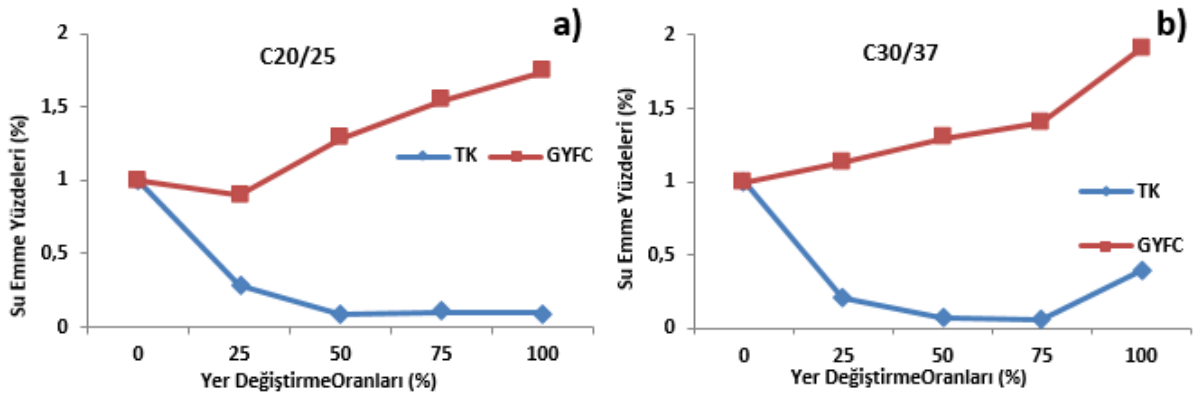
Şekil 14. Kontrol betonları ve taban küllü ikameli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.

Tablo 8’e göre 28 günlük beton numunelerinin birim ağırlıkları ve su emme oranları verilmiştir. TK ve GYFC’nun betonda ince agrega olarak kullanımı birim ağırlığı azalmaktadır. TK ve GYFC’nun özgül ağırlıklarının referans betonunda kullanılan ince agreganın özgül ağırlığından daha az olması sebebiyle, üretilen numunelerin birim ağırlığında azalma meydana gelmiştir. Yüksel vd. tarafından yapılan çalışmada; GYFC’nun gözenekli bir yapısı olduğundan iki tür (0-7, 0-3 mm) ince agrega kullanılmıştır. Üretilen betonun su emme oranı ve birim ağırlığı kontrol betonuna kıyasla daha düşük olduğu, dayanıklılık açısından da uygun sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca dayanım kaybı az olan bir beton türüdür [17].

Tablo 8. Tasarlanan beton numunelerin 28 günlük birim ağırlıkları (kg/m^3) ve su emme oranları (%).

Yer Değiştirme Oranı (%)	Birim Ağırlık (kg/m^3)	Su Emme Oranı (%)
C20/25 KB	2410	0,996
C20/25 25 TK	2300	0,289
C20/25 50 TK	2230	0,086
C20/25 75 TK	2055	0,101
C20/25 100 TK	2001	0,096
C20/25 25 GYFC	2390	0,903
C20/25 50 GYFC	2420	1,286
C20/25 75 GYFC	2290	1,546
C20/25 100 GYFC	2300	1,739
C30/37 KB	2490	0,990
C30/37 25 TK	2375	0,200
C30/37 50 TK	2771	0,065
C30/37 75 TK	2230	0,053
C30/37 100 TK	2050	0,384
C30/37 25 GYFC	2420	1,128
C30/37 50 GYFC	2310	1,294
C30/37 75 GYFC	2300	1,404
C30/37 100 GYFC	2200	1,909

Su emme oranında ise TK'nün ince agrega yerine ikame ettirilmesiyle elde edilen beton numunelerinde azalma, GYFC'nun ikame ettirilmesiyle elde edilen beton numunelerinde artış Şekil 15'den gözlenmiştir. Su emme deneyleri TS EN 1097-6 standardına göre yapılmıştır.

**Şekil 15.** Beton serilerinin su emme yüzdeleri; a) C20/25 betonu için, b) C30/37 betonu için

Tek eksenli basınç deneyi esnasında beton numunelerdeki şekil değiştirmeleri ölçebilmek için kullanılan ekstansometre yardımı ile artan yük altında numunede oluşan deformasyonlar 0,001 mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Deney aşamasında deformasyonlara karşılık gelen yük değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerler ile gerilme-şekil değiştirme diyagramları çizilmiştir. Çizilen gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının altında kalan alandan numunelerin tokluğu elde edilmiştir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin eğimi ile beton numunelerinin sekant ve teğet Elastisite Modülleri hesaplanmıştır. Tablo 9'da karışım betonlarının Elastisite Modülleri, toklukları ve maksimum yükteki enerjileri verilmiştir. C30/C37 %75 TK ve %100 TK numunelerde deneyler gerçekleştirilememiştir. Bunun sebebi ise ekstansometrenin güvenli kısımda kalıp 15 MPa dayanıma sahip numuneleri 5 kere kırdığından daha fazla kırım gerçekleşmemiştir ve cihazın kendini otomatik olarak kapatmasıdır.

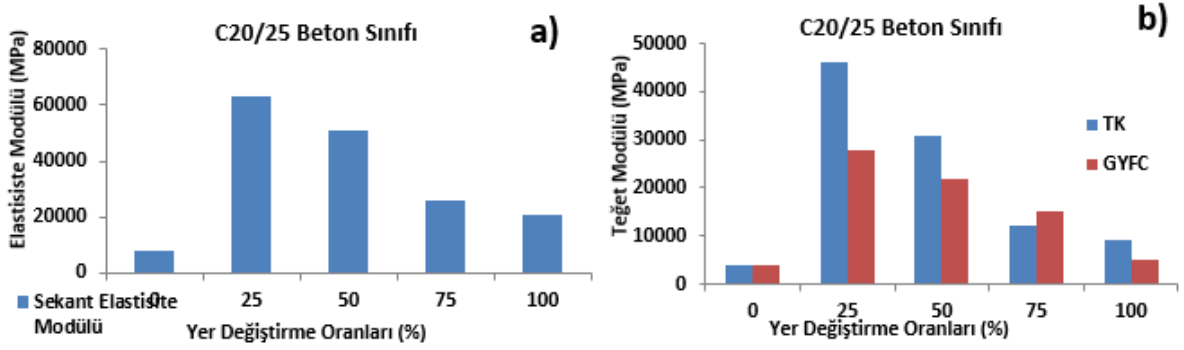
Tablo 9. Karışım betonlarının sekant modülleri, teğet modülleri, toklukları, maksimum yükteki enerjileri ve TS 500 bağıntısıyla hesaplanan Elastisite Modülü.

Yer Değiştirme Oranları (%)	Sekant Modülü (MPa)	Teğet Modülü (MPa)	Tokluk (J)	Max. Yükteki Enerji (J)	TS 500 Bağıntısıyla Hesaplanan Elastisite Modülü (MPa)
C20/25 KB	7873,50801	3904,77955	270,53450	74,50784	31320
C20/25 %25 TK	62954,76142	45944,57977	309,11213	97,99414	27828
C20/25 %50 TK	50813,29	30692,78	300,384	71,38600	24509
C20/25 %75 TK	25767,02931	12203,35927	149,52411	34,84000	23566
C20/25 %100 TK	20691,19855	9232,39479	11,82414	11,82632	23328
C20/25 %25 GYFC	46566,28635	27796,48964	171,49632	47,86286	30036
C20/25 %50 GYFC	39683,29940	21706,29569	141,82912	21,72240	29640
C20/25 %75 GYFC	32076,77378	15117,51239	130,71949	31,76264	23923
C20/25 %100 GYFC	31581,85022	5126,01276	8,98858	7,50992	21629
C30/37 KB	5177,22339	3604,13367	374,64495	163,77165	33951
C30/37 %25 TK	54214,77014	28288,17568	170,73540	39,21298	30358
C30/37 %50 TK	6655,19318	2309,68189	196,73735	77,50000	25743
C30/37 %75 TK	-	-	-	-	25299
C30/37 %100 TK	-	-	-	-	23481
C30/37 %25 GYFC	6734,81090	3212,70480	354,69993	135,42140	32982
C30/37 %50 GYFC	14853,08351	4503,35671	162,25941	37,31084	28615
C30/37 %75 GYFC	-231388,375	-3237,76352	0,00634	0,02117	27381
C30/37 %100 GYFC	39516,19992	5021,72787	15,83025	3,68798	25969

TS 500'de [20] verilen Elastisite Modülü değerleri, Formül 1'den hesaplanmıştır ve Tablo 9'da gösterilmiştir. Formülde bulunan f_{ckj} ifadesi, 28 günlük silindir numunelerin basınç dayanımını temsil etmektedir.

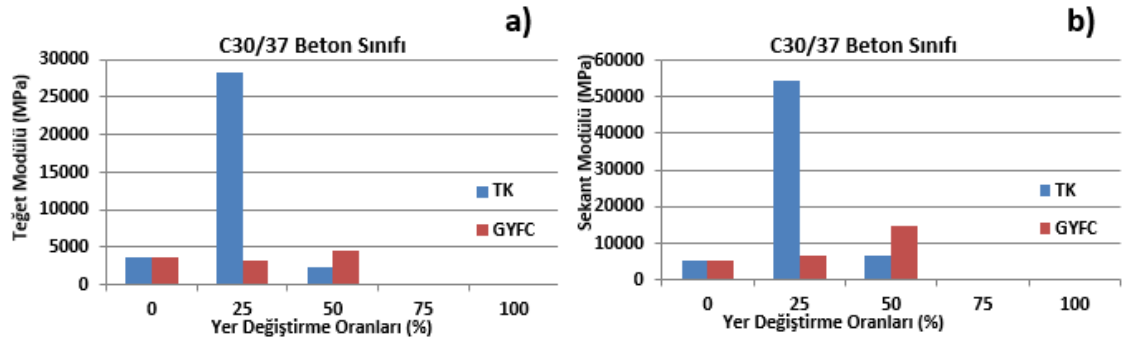
$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (1)$$

TS 500'e [20] göre, silindir basınç dayanımı küp basınç dayanımının 0,8 katı alınabilir. İkame oranı %25 ve %50 oranlarında GYFC ikameli numunenin gözenekli yapısından dolayı Elastisite Modülünde TK ikameli numuneye göre düşüş gözlenmektedir. Kontrol betonu C20/25 ile TK ikameli numuneler kıyaslandığında kontrol betonunun Elastisite Modülünün, TK ikameli numunelerden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. C20/25 TK ikameli betonlar gözenekli bir yapıya sahip olduğundan ikame oranı arttıkça elastiklik modülünde düşüş gözlenmiştir. Topçu ve Bilir [19] bu çalışmada taban külünü ince agrega olarak ağırlıkça 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 oranlarında kullanmıştır. Taban külü değişim oranının artmasıyla gözeneklilik yapısının arttığı gözlenmiştir. Bu sebeple dayanım ve Elastisite Modülünde azalma olmuştur. Bu çalışma literatürle paralellik göstermektedir.



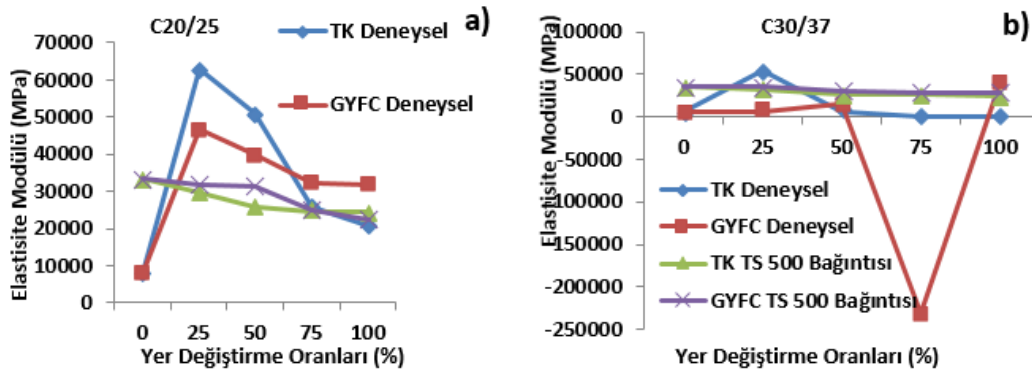
Şekil 16. a) C20/25 beton sınıfı TK ikameli numunelerin Elastisite Modülü, b) C20/25 beton sınıfı TK ve GYFC ikameli serilerin teğet modülü.

Şekil 16'ya göre C20/25 beton sınıfı TK ve GYFC ikameli numunelerin teğet modülleri kıyaslandığında azalma olduğu gözlenmiştir. C30/37 beton sınıfı %25 ve %50 yer değiştirme oranlarına sahip TK'lu numunelerin teğet ve sekant modüllerinde azalma, GYFC'lu numunelerde ise artma gözlenmiştir. %75 ve %100 oranlarında düşük dayanıma sahip olmasından ekstansometreye ve basınç deneyinin yapıldığı cihaza zarar vermesinden ötürü tespit edilememiştir (Şekil 17). %75 ve %100 GYFC'lu numunelerin sekant modülü, teğet modülü, tokluk ve maksimum yükteki enerji değerlerindeki sapmalar bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



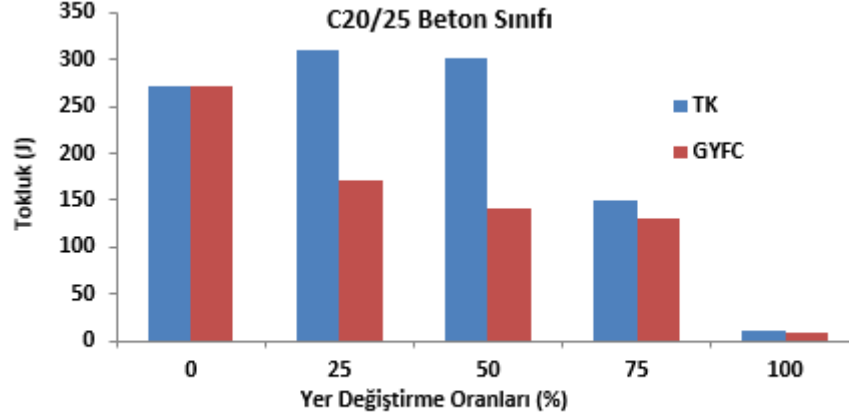
Şekil 17. a) C30/37 beton sınıfı numunelerin teğet modülü değerleri, b) C30/37 beton sınıfı numunelerin sekant modülü değerleri.

Şekil 18'de formül yardımıyla hesaplanan Elastisite Modülü değeriyle deneysel çalışmalarla bulunan Elastisite Modülü değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 17'den de görüleceği gibi TS 500'deki bağıntının yardımıyla bulunan eğrinin eğimi deneysel Elastisite Modülü ile bulunan eğrinin eğiminden daha küçüktür. TS 500 bağıntısıyla bulunan Elastisite Modülü değerleri deneysel Elastisite Modülü değerlerinden daha küçük değerler olduğu gözlenmiştir.



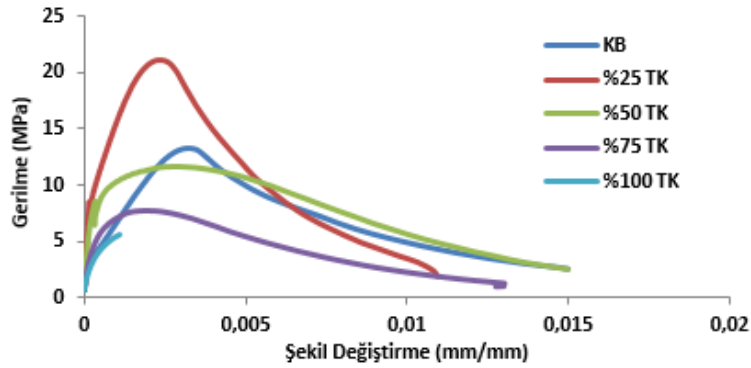
Şekil 18. a) C20/25 beton serilerinin Elastisite Modülleri, b) C30/37 beton serilerinin Elastisite Modülleri.

C20/25 beton sınıfı TK ve GYFC ikameli numunelerin yer değiştirme oranları arttıkça tokluklarında azalma olduğu tespitine varılmıştır. %100 yer değiştirme oranlarında büyük düşüş gözlenmiştir. TK ve GYFC ikameli numuneler kıyaslandığında GYFC ikameli numunelerin tokluğunun daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 19). Literatürlerde de benzer sonuçlara ulaşıldığı belirtilmektedir.

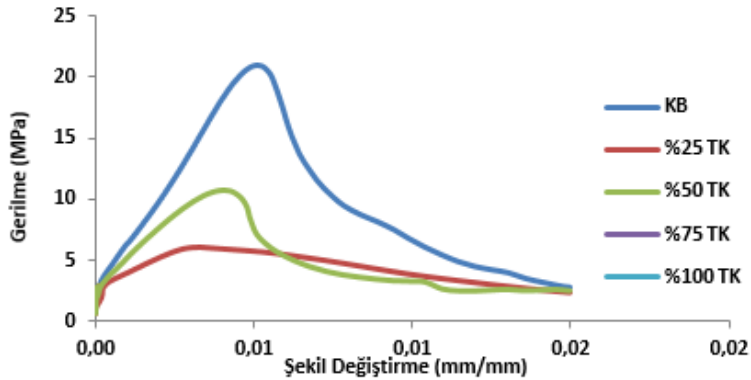


Şekil 19. C20/25 beton sınıfı numunelerin tokluk değerleri.

Şekil 19'da C20/25 beton sınıfı TK serilerinin gerilme şekil değiştirme diyagramı mevcuttur. Şekil 20'ye göre grafiğin altında kalan tokluğu ifade etmektedir. TK serilerinin referans betonuna göre tokluğu azaldığı ancak referans betonuna kıyasla %25 TK numunesinin fazla olduğu gözlenmiştir. Bu durum numunenin üretim hatasından kaynaklandığı düşünülmektedir. C30/37 beton sınıfı TK (Şekil 21) ve GYFC ikameli serilerde herhangi bir terslik rastlanmadığı tokluklarında azalış olduğu gözlenmiştir.

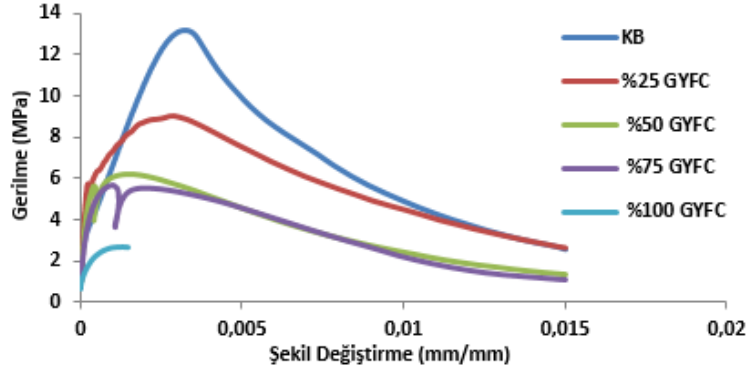


Şekil 20. Referans betonu ve TK ikameli C20/25 beton sınıfı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

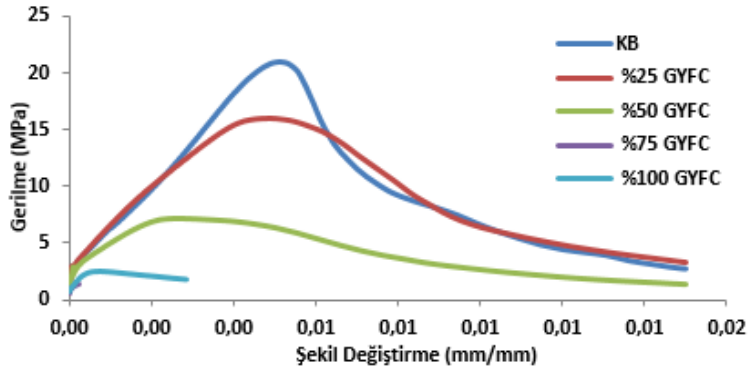


Şekil 21. Referans betonu ve TK ikameli C30/37 beton sınıfı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Referans betonu GYFC ikameli numunelerle kıyaslandığında gerilme şekil değiştirme diyagramının altında kalan alanının azaldığı yani tokluğun azaldığı tespitine varılmıştır (Şekil 22 ve Şekil 23).

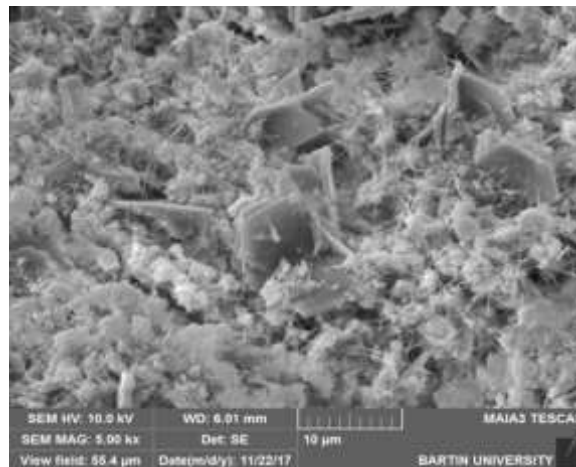


Şekil 22. Referans betonu ve GYFC ikameli C20/25 beton sınıfı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.



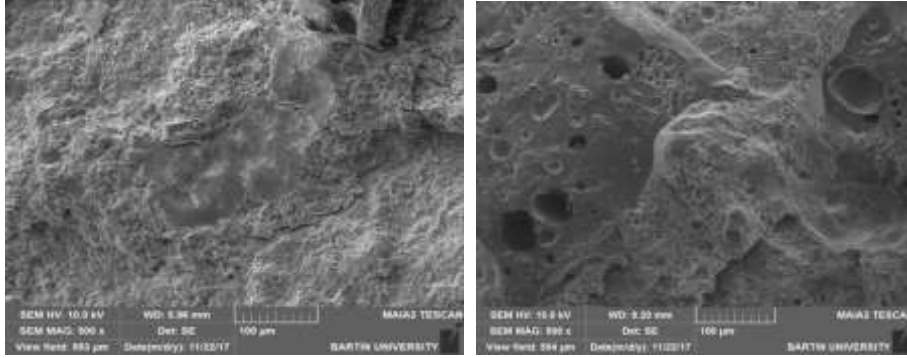
Şekil 23. Referans betonu ve GYFC ikameli C30/37 beton sınıfı serilerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Gerilme şekil değiştirme eğrilerine göre maksimum gerilmeye kadar olan kısımları doğrusal olarak artmış, tepe noktasından sonraki kısımları, numunede oluşan çatlamalara bağlı olarak düzensiz bir seyir izlemiştir. C30/37 %50 GYFC ikameli beton numunesinde plaka halinde $Ca(OH)_2$ kristalleri ve etrenjit yapıları Şekil 24'de görülmektedir. İnce malzemede GYFC'nun yapıda ilave CSH yapılarının oluşumuna ortam sağladığı düşünülmektedir.



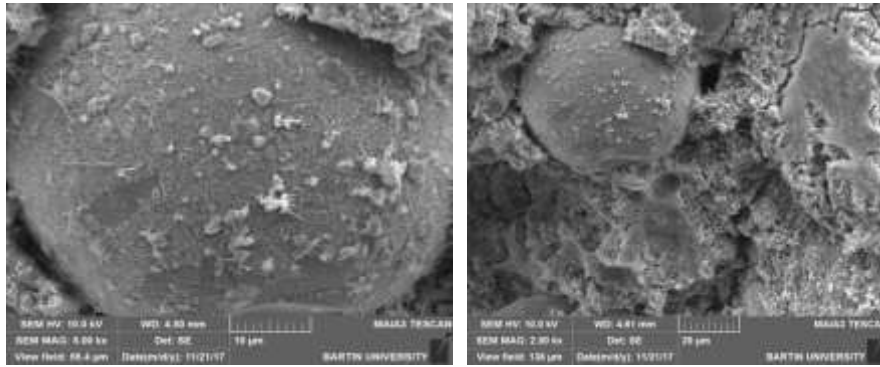
Şekil 24. C30/37 %50 GYFC ikameli beton numunesinin SEM görüntüsü.

C30/37 %50 TK ikameli beton numunesi C30/37 %50 GYFC beton numunesi ile kıyaslandığında (Şekil 25) gözenekliliğin arttığı görülmektedir.



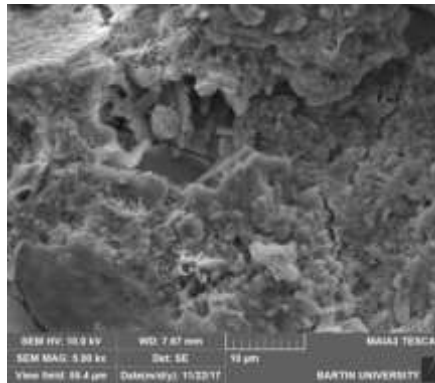
Şekil 25. Sağdaki resim C30/37 %50 TK ikameli, soldaki resim C30/37 %50 GYFC ikameli numunenin SEM görüntüsü.

Taban külü numunelerin gözenekli yapısı kompozitin porozitesini arttırmaktadır. C30/37 %50 TK ikameli beton numunesinde etrenjit oluşumu daha belirgin görülmektedir. C30/37 %100 GYFC beton numunesinin çimento fazı ile agrega fazı arasındaki kenetlenme bölgesinde C-S-H ve etrenjit yapılarının Şekil 26'da yoğunlaştığı görülmektedir.



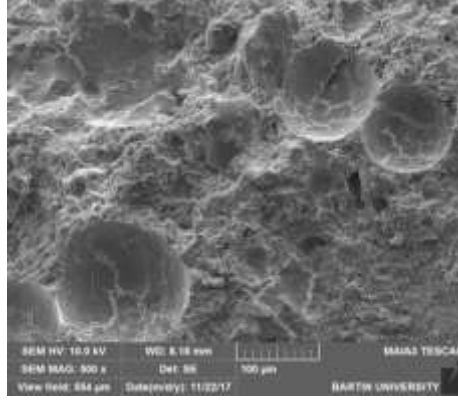
Şekil 26. C30/37 %100 GYFC ikameli beton numunesindeki C-S-H ve etrenjit yapıların SEM görüntüsü.

C30/37 %100 TK beton numunesinde gözenekliliğin arttığı görülmektedir. C30/37 %100 TK ile C30/37 %50 TK numuneleri kıyaslandığında gözenek boyutunun %50 TK numunesine göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Şekil 27'de C30/37 %100 TK'de belirgin etrenjit yapıları gözlenmektedir.



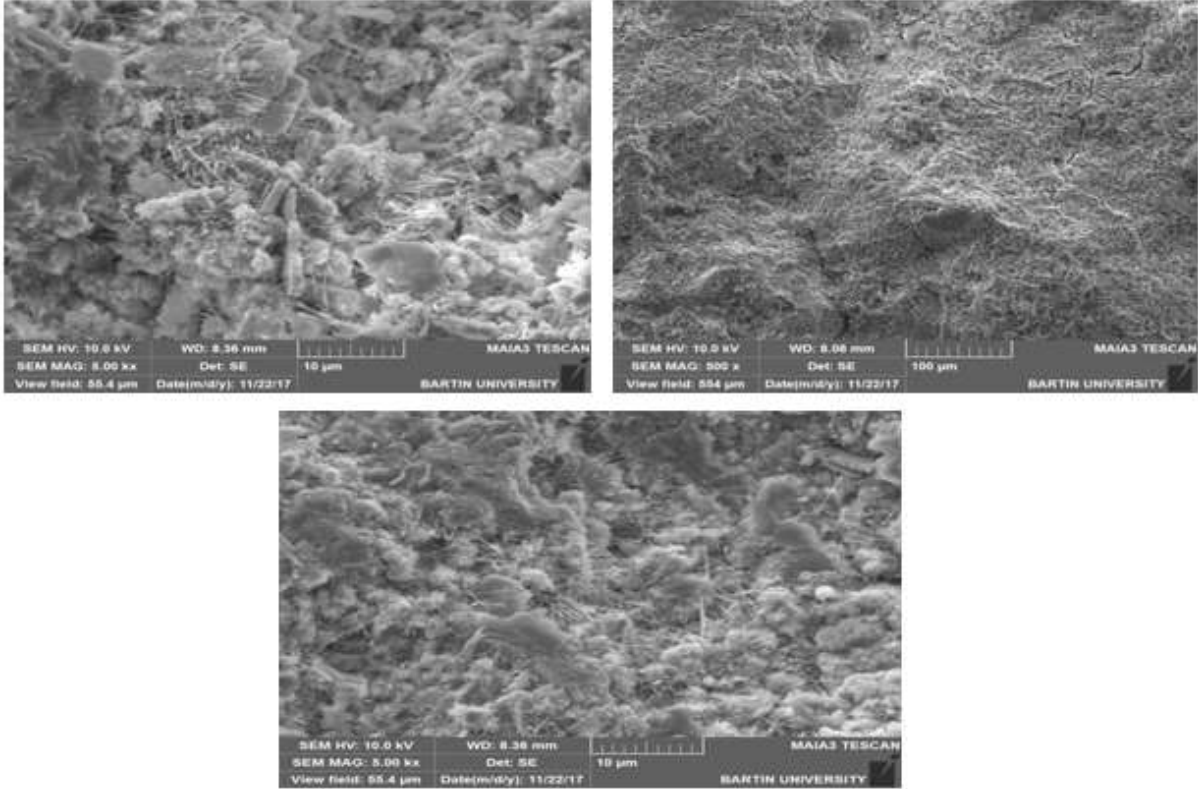
Şekil 27. C30/37 %100 TK ikameli beton numunenin SEM görüntüsü.

Şekil 28'e göre C30/37 %100 TK'de gözeneklerden ilerleyen çatlak oluşumları görülmektedir.



Şekil 28. C30/37 %100 TK'de gözeneklerden ilerleyen çatlak oluşumlarının SEM görüntüsü.

C30/37 kontrol betonunun C30/37 %50 GYFC numunesine benzer bir içyapının olduğu görülmektedir. Kontrol betonlarında C-S-H yapısının içine yerleşmiş olan portlandit plakaları ve iğneli etrenjit oluşumları görülmektedir (Şekil 29).



Şekil 29. Kontrol betonlarında C-S-H yapısının içine yerleşmiş olan portlandit plakaları ve iğneli etrenjit oluşumların görüntüsü.

Kontrol betonları TK ikameli beton numuneleri ile kıyaslandığında TK katkılı numunelerdeki gözenekliliğin olmadığı tespit edilmiştir. Bir atık malzemenin ekonomik olarak değerlendirilmesine olanak verdikleri için ince agrega yerine taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun kullanılabilir olması uygun görülmektedir. Endüstriyel yan ürün olan taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun santrallerde depolanması hem ekonomik hem de çevresel etkilerden dolayı büyük sorunlar oluşturduğundan agrega olarak kullanılması uygun görülmektedir. Taban küllerinin ve granüle yüksek fırın cürufunun betonda ince agrega yerine kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir. Yüksel, Özkan ve Bilir [17]'a göre de GYFC'nun betonda öğütülmeden ince agrega yerine kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak endüstriyel yan ürünlerinin ince agrega yerine kullanılmasının beton üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı irdelenmesi için ileride yapılacak olan araştırmalarda aşağıda belirtilen önerilerin dikkate alınması faydalı olacaktır.

- Kullanılan endüstriyel yan ürünlerin ince agrega olarak, beton eleman özelliklerine etkisi daha geniş kapsamlı ve yer değiştirme oranları daha düşük oranlarda seçilmiş şekilde araştırılmalıdır.
- Beton üretiminde ince agrega olarak kum yerine maliyeti daha uygun olan taban külü ve granüle yüksek fırın cürufunun kullanımının tercih edilmesi ve bunun üzerine yönelik çalışmaların artırılması gerektiği düşünülmektedir.
- Bu çalışmada gözlenen basınç mukavemeti düşüşlerinin ortadan kalkması için daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır.

Kaynaklar

- [1] TS-EN 206:2013+A1. 2017. Beton-Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü Teknik Kurulu, Ankara.
- [2] Öztok E. 2008. Hazır Beton Tesisinde En Uygun Nitelik Denetim Düzeyinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 132 s.
- [3] Landva A., Knowles D.,G. 1994. Construction Material, Geotechnics of Waste Fills, Theory and Practice, ASTM STP 1070, Philadelphia, 371 s.
- [4] Patrick M.L., Stephan D.A. 2012. Beneficial Use of Recycled Materials in Concrete Mixtures, Construction and Building Materials, 29: 428-437.
- [5] Malkit S., Rafat S. 2014. Compressive Strength, Drying Shrinkage and chemical Resistance of Concrete Incorporating Coal Bottom Ash as Partial or Total Replacement of Sand, Construction and Building Materials, 68: 39-48.
- [6] Yüksel İ., Bilir T., Özkan Ö. 2007. Durability of Concrete Incorporating Non-Ground Blast Furnace Slag and Bottom Ash as Fine Aggregate, Building and Environment, 42: 2651-2659.
- [7] Topçu İ.B., Bilir T. 2010. Effect of Bottom Ash as Fine Aggregate on Shrinkage Cracking of Mortars, ACI Materials Journal, January-February, 107-M08: 48-56.
- [8] Malkit S., Rafat S. 2013. Effect of Coal Bottom Ash as Partial Replacement of Sand on Properties of Concrete, Resources, Conservation and Recycling, 72: 20-32.
- [9] Kim H. K., Jeon J. H., Lee H. K. 2012. Flow, Water Absorption, and Mechanical Characteristics of Normaland High-Strength Mortar Incorporating Fine Bottom Ash Aggregates, Construction and Building Materials, 26: 249-256.
- [10] Yüksel İ., Bilir T. 2007. Usage of Industrial By-Products to Produce Plain Concrete Elements, Construction and Building Materials, 21: 686-694.
- [11] Wenyan Z., Mohamed Z., Yukio H. 2013. Influence of Aggregate Materials Characteristics on the Drying Shrinkage Properties of Mortar and Concrete, Construction and Building Materials, 49: 500-510.
- [12] Valcuende M., Benito F., Parra C., Miñano I. 2015. Shrinkage of Self-Compacting Concrete Made With Blast Furnace Slag as Fine Aggregate, Construction and Building Materials, 76: 1-9
- [13] Patrick M.L., Stephan D.A. 2012. Beneficial use of Recycled Materials in Concrete Mixtures, Construction and Building Materials, 29: 428-437.
- [14] Erdoğan T.Y. 2013. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş, 4. Baskı,

Ankara, 757 s

- [15] URL-1 < http://www.bartincimento.com.tr/cem_i_425_r-11-2>, (Erişim tarihi: 09.09.2016).
- [16] Aruntaş H. 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21 (1): 193-201.
- [17] Yüksel İ., Özkan Ö., Bilir T. 2003. Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonda İnce Agrega Olarak Kullanımı, 5. Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 471-481.
- [18] Özkan Ö., Yüksel İ., Muratoğlu Ö. 2007. Strength Properties of Concrete Incorporating Coal Bottom Ash and Granulated Blast Furnace Slag, Waste Management, 27: 161-167.
- [19] Topçu İ.B., Bilir T. 2010. Effect of Bottom Ash as Fine Aggregate on Shrinkage Cracking of Mortars, ACI Materials Journal, January-February, 107-M08: 48-56.
- [20] TS 500. 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Derleme Makalesi / Review Article

Van İli Kent Merkezinde Hava Kirliliği

Dilara ÖZTÜRK, Tuba BAYRAM*

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Van
(ORCID: 0000-0003-2689-560X) (ORCID: 0000-0003-3282-7099)*

Öz

Çevre kirliliğine neden olan hava kirleticiler ilk sırada insan sağlığı olmak üzere, diğer canlıları ve ekosistemi risk altına sokmaktadır. Ülkemizin birçok kentinde sanayi ve ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği sorunu önemli boyutlara ulaşmıştır. Bu çalışmada Van ili kent merkezinde hava kirletici parametrelerin zamansal ve mevsimsel dağılımı, konsantrasyonları, kirletici parametrelerin sıcaklık ile ilişkisi izin verilen sınır değerlere göre tartışılmış ve kent için çözüme yönelik önerilere yer verilmiştir. Kentin topoğrafik ve coğrafik konumu itibari ile kış mevsimi sert geçmektedir ayrıca kentin sıcaklık ortalaması ülke geneline göre düşüktür. Bu sebeple ısınma maksatlı kullanılan yakıtlardan kaynaklı kirleticiler hava kirliliğinde büyük paya sahiptir. Ancak kentin az gelişmiş sanayi şehirlerinden olmasından dolayı endüstriyel menşeli hava kirleticiler kentte çok düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Isınma amaçlı düşük enerjili ve yüksek kükürt içeren kömür türevlerinin sık kullanımı ve yanlış yakma teknikleri kış aylarında görülen yoğun kirliliğin sebebini ortaya koymaktadır. Bu sebeple doğal gaz gibi daha temiz yakıtların kullanımı bu sorun için en uygun çözümlerden biridir. Kentin doğal gaz ulaşmayan ilçelerine hat sağlanması ile tehlikesiz ve temiz bir yakıt olarak kabul görülen doğal gazın kullanılmasının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Ayrıca hattın ulaşmadığı noktalarda kalitesiz yakıt konusunda kontroller satış noktalarından başlayıp kullanıcılar bilgilendirilmeli ve zararları izah edilmelidir.

Anahtar kelimeler: Hava Kirliliği, Van, Fosil Yakıtlar, Doğal gaz.

Air Pollution in the City Center of Van Province

Abstract

Air pollutants that cause environmental pollution put human beings and other ecosystems at risk. In many cities of our country, the problem of air pollution caused by industrial and heating has reached significant levels. In this study, the temporal and seasonal distribution of air pollutant parameters in the city center of Van province, its concentrations, and the relation of pollutant parameters with temperature are discussed according to the permissible limit values and recommendations for solution for the city are included. The winter season is harsh in terms of topographic and geographic location of the city and the average temperature of the city is lower than the country average. Therefore, pollutants from the fuels used for heating purposes have a large share in air pollution. However, industrial pollutants of industrial origin are found in very low concentrations in the city due to the fact that the city is one of the less developed industrial cities. Frequent use of low-energy high-sulfur coal derivatives for heating purposes and incorrect combustion techniques reveal the reason for the heavy pollution seen in the winter months. Therefore, the use of cleaner fuels such as natural gas is one of the most suitable solutions for this problem. With the provision of lines to the districts that do not reach the natural gas, the use of natural gas, which is considered as a safe and clean fuel, should be expanded. Furthermore, at the points where the line does not reach, the controls on the poor-quality fuel should be started from the sales points and the users should be informed and their losses should be explained.

Keywords: Air Pollution, Van, Fossil Fuels, Natural gas.

*Sorumlu yazar: tubabayram@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 19.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

1. Giriş

Doğa, insanlık için en büyük ekonomik kaynak olmakla beraber tüm canlılar için tek sığınaktır. Biyolojik soykırımın devam etmesi halinde ekolojik denge bozulacağından, en büyük tehlike ve risk yine insanlığa olacaktır. Nüfus artışının büyük bir ivme kazandığı bu dönemde dünyanın her metrekaresi artarak değer kazanırken, nihayeti düşünülmeden kirletilen yerküre için gerekli önlemler alınmaz ise, 22. yüzyılın başlangıcından itibaren insanlığı zor günlerin beklediği gerçeği kabul edilmelidir. Kırsal alanlarda yerleşimin azalmasıyla ülke içi göçlerin artarak sürdüğü, dünya nüfusunun %48'inin büyük illerde toplandığı bir ortamda, ekolojinin sağlıklı döngüsü için yapılması gereken ilk girişim, hükümetlerin alacağı tedbirlerdir. Fiziksel olarak milyonlarca yılın yükünü taşıyan dünyada, insanlar da savaşlar ve ekonomik sıkıntılarla mücadele etmekten yorgun düşmüş durumdadır. İnsanlar, sosyal refaha erişebilmek ve ekonomik güçlükler ile baş edebilmek için doğayı ve doğal kaynakları hesapsızca yok etmek riskini göz ardı edip, doğaya hâkimiyetlerini kanıtlamak istercesine sahip oldukları teknolojiyle sağlıklı ve çevre dostu üretim yaptıklarına inanmakla, aslında doğaya geri dönüşü olmayan yollarla zarar vermektedirler.

Ekolojik ve ekonomik kalkınmanın sağlanması ve sürdürülmesi için küresel boyutta sermaye girişimlerine ve nüfus dengesinin ve ekolojik dengenin bozulmaması, endüstri ve çevre entegrasyonunun sağlıklı bir çerçevede olması gerekmektedir.

Değişen zamana eş olarak gelişen dünyada endüstrileşmenin getirdiği en mühim problemlerden birisi de çevre kirliliğidir. 20. yüzyılın ikinci yarısına kadar bu konuyu göz ardı eden insanoğlu, çevreye egemenliğini sağladığını sandığı anda ekolojik açıdan doğanın negatif tepkisi ile karşılaşmıştır. Bugün dünya gündemini işgal eden bu problemin çözümü için yalnız gelişmiş ülkeler değil, aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler de bazı ekonomik, teknik ve hukuki tedbirler alma mecburiyeti duymaktadırlar [1]. Genel olarak günümüzün çevre sorunları artan üretim ve tüketimin dışı vurmuş bir sonucu olarak görülebilir. Şüphesiz bu durum, yerkürenin doğal varlıklarını yok etme hakkını insanoğluna vermemektedir. Ekosistemi korumak amacı ile gelişmeye başlayan bu yeni bilincin bir neticesi olarak, birçok ülke ekolojik sorunların önemini kavrayıp çözümü hususunda araştırma yapabilecek kuruluşlar oluşturarak kendi çevre politikalarını belirlemeye başlamışlardır, hatta bazı ülkeler bu doğrultudaki çalışmalarını tamamlamışlardır. Öte yandan hem insanların hem kirlilik kaynaklarının hem de kirlenmeyi oluşturan öğeleri taşıyan hava, toprak ve su gibi alıcı ortamların hareketliliği, kirlenme konusundaki yaklaşımların sadece ulusal değil aynı zamanda global açıdan da ele alınmasını gerekli kılmış ve çevre kirlenmesi hususundaki hassasiyete uluslararası, hatta uluslar üstü bir vasıf kazandırmıştır [2].

Çevre kirliliği; canlı türlerinin yok olması, doğal kaynakların tükenmesi, üçüncü dünya ülkelerinde açlık ve batı ülkeleri için de yaşamın zorlaşmasıyla eş anlamlıdır [3]. Çevreci eylem geçici bir heves, bir akım veya üstünlük malzemesi olmaktan çıkarılıp, bir yaşam felsefesi haline getirilmediği sürece çevre kirliliğinin ve bu durumla bağlantılı olarak dünyadaki ekolojik dengenin bozulmasının engellenmesi mümkün olmayacaktır [4].

Hava kirliliği çevre kirliliğinde başı çeken sorunlarından biridir. Hava, kimyasal kompozisyonu sebebiyle tüm canlıların ve insanlığın yaşamsal faaliyetinin devamı için hayatidir. Hava kirliliği atmosferde gaz, duman, toz, su buharı formunda bulunabilecek olan kirleticilerin tüm canlı ve cansız varlıklara zarar verici miktar ve konsantrasyonlarda artması olarak tanımlanabilir. İnsanların türlü faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan üretim ve tüketim aktiviteleri esnasında ve sonrasında meydana çıkan atıklar ile atmosfer tabakası kirletilerek ekolojideki tüm canlı hayat olumsuz etkilenmektedir. Hava kirleticilerin atmosfere deşarj edildiği yere ya da faaliyete kaynak denilmektedir. Kirlilik kaynağı; doğal orman yangınları, yanardağ püskürmesi gibi doğal kaynaklar, evsel ısınma faaliyetleri, endüstri kuruluşları, motorlu araçlar gibi yapay kaynaklar şeklindedir [5]. Hava kirliliğinin boyutları özellikle sanayinin hızlı gelişmesi, hızlı nüfus artışı ve evsel kaynaklı fosil yakıtların kullanılması ile artmıştır. Bu çalışmada Van ili kent merkezinde hava kirletici parametrelerin zamansal ve mevsimsel dağılımı, konsantrasyonları, kirletici parametrelerin sıcaklık ile ilişkisi incelenerek kentin hava kirliliği ile ilgili sorunları için çözüme yönelik önerilere yer verilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın yapılmasında, daha önce kamu kuruluş ve kurumlarında yapılmış durum raporları ve çalışmalara dayalı istatistikî verilerden yararlanılmıştır. Çalışmanın objektif açıdan değerlendirilebilmesi için elde edilen bilgilerin doğruluğu kıyaslamalı olarak tartışılmıştır. Çalışmanın sürdürülebilirliği ve uygulanabilirliği için geçerli olan yönetmelik ve kanunların uygulanma şekilleri incelenmiştir.

2.1. Doğal gaz

Doğal gaz, fosil kaynaklı bir çeşit yanıcı gaz karışımı olan bir petrol türevidir. Yakıt olarak ehemmiyet sıralamasında ham petrolden sonra ikinci sırayı alır. Yer kabukları arasındaki fosil atıklar, sıcaklık ve basıncın etkisiyle, kimyasal değişikliklere uğrayarak oluşmuşlardır. Dünyada bilinmekte olan doğal gaz rezervleri yaklaşık 1014 m³ olup, en yüksek pay eski Sovyetler Birliği'nde olup oran %35'tir, Sovyetler Birliği'ni takiben %34'lük bir oranla Orta Doğu yer almaktadır. Türkiye'de tüketime sunulan yıllık doğal gaz miktarı bugün için yaklaşık 16 milyar m³ olup, bu kapasitenin yeni hatlar ile imzalanan muahedeler ile artması beklenmektedir. Doğal gazın Türkiye'de az bulunması sebebi ile doğal gazı Rusya ve İran'dan boru hatlarıyla, Cezayir ve Nijerya'dan ise sıvılaştırılmış biçimde deniz yoluyla temin etmekteyiz. Buna ek olarak Türkmenistan ve Azerbaycan ile doğal gaz tedarik etmek için uzlaşma sağlanmıştır [6].

Doğal gaz genellikle karbon, gaz halindeki parafin ve hidrojen bileşimden oluşur ve bulunma oranları da gazın çıkış kaynağına göre değişmektedir. Doğal gaz yüksek oranda metan (CH₄) ve düşük oranda propan (C₃H₈) ve etan (C₂H₆) gibi hidrokarbonlardan oluşur. Ek olarak yapısında azot (N₂), karbondioksit (CO₂), hidrojen sülfür (H₂S) ve helyum (He) gazları da bulunabilmektedir. Doğal gaz renksiz, kokusuz ve ekonomik bir kaynaktır, bilhassa yoğunlaşmış kombiler ile kullanıldığı zaman diğer yakıt türlerine kıyasla en az %10 yakıt ekonomisi imkânı sağlar. Ayrıca, yakıt hazırlama, depolama, temizlik ve kül atma maliyetleri dikkate alınır, işletme maliyetlerinde önemli kazanımlar sağladığı söylenebilir. Kömür veya fuel-oil kullanılması durumunda kazan yüzeylerinde toplanan kurum ve kül katmanı yüzeylerde aşınmaya sebep olurken diğer yandan ısı geçişini zorlayarak kazan veriminin düşmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple kazanlar periyodik olarak temizlenmek durumundadır. Fakat doğal gaz kullanıldığında bu tür bir sorun ile karşılaşılmamaktadır [7]. Doğal gazın ısıtmada kullanımında diğer yakıtlarla karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir [8].

Tablo 1. Isınma amaçlı kullanılan doğal gazın diğer yakıtlarla kıyaslanması [8]

Bileşim	Kömür	Fuel-oil	Doğal gaz
Karbon (%)	77,4	84,58	73,98
Hidrojen (%)	1,4	10,90	24,57
Kükürt (%)	1,0	4,00	-
Kül (%)	8,0	-	-
Nem (%)	7,0	-	-
Isıl değer [kJ/kg (kcal/kg)]	29.600 (7.080)	39.220 (9.380)	49.085 (11.780)
Baca gazındaki SO ₂ konsantrasyonu (ppm)	1.644	5,5	-
Hava fazlalığı	1,4-2,0	1,2-1,3	1,05-1,1

Doğal gazın en olumlu yönlerinden biri de zehirsiz olmasıdır. Solunması durumunda öldürücü ve zehirleyici etkisi olmamakla birlikte ortamda çok fazla birikim olmuş ise solunacak oksijen azaldığı için boğulma tehlikesi yaratır. Yanma sonucu çıkan gazlar ortama yayılırsa, diğer yakıtlarda olduğu gibi içerisindeki CO nedeniyle zehirlenme yapabilmektedir [9].

Çevre Kanunu'na dayanarak 1986 yılında 2872 sayılı Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği (HKKY) hazırlanmıştır. Daha sonra bu yönetmelik 13.01.2005 tarih ve 25699 sayılı 'Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği Yönetmeliği' olarak değişmiştir. Bu yönetmelik çeşitli faaliyetler sonucunda havaya dağılan duman, is, gaz, toz, aerosol ve buhar formundaki emisyonları kontrol altına almak, insanı ve çevresini içinde bulunduğu bu kirletici ortamdan dolayı oluşabilecek tehlikelerden korumak, çevreye zararlar veren olumsuz etkilerini azaltmak ve olabildiğince engellemek amacı ile

Çevre Kanunu hükümleri gereğince çıkarılmıştır. Yönetmelik; amaç, tanım, hedef sınır değerler, hava kalitesi limit değerleri, kirleticilerin tespiti ve ölçümü ile ilgili usuller, tesisler için emisyon sınırları gibi hava kirliliği ile ilgili bilgileri içermektedir. Uluslararası ülkeler ve kuruluşlarca yapılmış çalışmalar nihayetinde hava kirliliğini meydana getiren kirleticilerin insan sağlığını kötü şekilde etkilemeyecek ‘güvenirlilik sınır değerleri’ tespit çalışmaları yürütülmüş ve bu verilere ‘standart limit değerler’ adı verilmiştir [10]. Aynı şekilde Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’nde de farklı kaynaklardan atmosfere salınabilecek kirleticilere yönelik sınır değerler belirtilmiştir. Hava kirliliğinin genellikle kış mevsiminde belli bölgelerimizde uyarı sınırlarını aşması kirlenmenin insan yaşamını tehdit edebilecek hudutlara geldiğini işaret etmektedir. Hava kirlenmesinin önlenmesi için yönetmelikte kısa ve uzun dönemde uygulanabilecek tedbirler yer almaktadır [11].

2.2. Hava kalitesi yönetimi ve yasal yükümlülük

Hava Kalitesi Yönetmeliği’nin amacı; çeşitli faaliyetler sonucunda atmosfere dağılan toz, duman, buhar, is, aerosol ve gaz formundaki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve yaşadığı çevreyi hava alıcı ortamındaki kirleticiler sebebiyle olası risklerden korumak; hava kirlenmeleri nedeniyle oluşan halka ve komşuluk ilişkilerine ciddi zararlar veren negatif etkileri azaltmak, uzaklaştırmak ve bu etkilerin ortaya çıkmasını engellemektir.

Ülkemizde bilhassa ısınma maksatlı, kükürt oranı yüksek kalorisi düşük kömürlerin yaygın kullanımı ve yakma tekniklerinin yanlış tatbik edilmesi hava kirliliğine neden olmaktadır. Nüfus çoğalması ve ekonomik düzeyin yükselmesiyle, sayısı gitgide artan motorlu araçlardan salınan egzoz gazları, hava kirliliğinde büyük bir paya sahiptir.

Endüstrilerin kuruluşunda yer seçiminin yanlış yapılması, çevre korunması bakımından zorunlu önlemlerin alınmaması (baca filtresi olmaması vb.), uygun ve çevreci teknolojilerin uygulanmaması, yakma tesislerinde kalitesiz, düşük kalorili ve kükürt oranı yüksek yakıtların kullanılması hava kirliliğine neden olan etmenlerin başında gelmektedir.

Ulusal hava kalitesi indeksinde (HKİ) karbon monoksit (CO), partikül maddeler (PM₁₀), azot dioksit (NO₂), ozon (O₃) ve kükürt dioksit (SO₂) ve olmak üzere 5 ana kirletici için hava kalitesi indeksi hesaplanmaktadır. HKİ’nin değerlendirilebilmesi açısından kirleticilerin indekste belirtilen kategorilere karşılık gelen yoğunlaşma aralıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Hava kalitesi ile ilişkili olarak hava kalite indeksinin (HKİ) karşılaştırılması [12].

İndeks	HKİ	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]
		1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
İyi	0 – 50	0-100	0-100	0-5.500	0-120 ^L	0-50
Orta	51 – 100	101-250	101-200	5.501-10.000	121-160	51-100 ^L
Hassas	101 – 150	251-500 ^L	201-500	10.001-16.000 ^L	161-180 ^B	101-260 ^U
Sağlıksız	151 – 200	501-850 ^U	501-1.000	16.001-24.000	181-240 ^U	261-400 ^U
Kötü	201 – 300	851-1.100 ^U	1.001-2.000	24.001-32.000	241-700	401-520 ^U
Tehlikeli	301 – 500	>1.101	>2.001	>32.001	>701	>521

SO₂ ve PM için Dünya Sağlık Örgütü’ne (WHO) ve Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’ne göre belirlenen limit değerler Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği ve WHO’ya göre SO₂ ve PM için belirlenen sınır değerler [12]

Standart Değerler	SO ₂ (µg/m ³)	PM (µg/m ³)
WHO’ya göre	UVSD.= 150 UVSD.= 400	UVSD.= 75 UVSD.= 300
Hava Kalitesinin Korunma Yönetmeliğine göre	250	200
Uyarı Kademeleri		
1. Uyarı Kademesi	700	400
2. Uyarı Kademesi	1.100	600
3. Uyarı Kademesi	1.500	800
4. Uyarı Kademesi	2.000	1.000

*UVSD: Uzun vadeli sınır değer

Tablo 3'teki SO₂ ve PM için verilen sınır değerler göz önüne alındığında (SO₂-PM için sırasıyla; 250-200 µg/m³)'dir. Bu çalışma ile Van'da ölçülen SO₂ ve PM değerlerinin Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği sınır değerleri ile birlikte değerlendirilecektir.

Motorlu kara taşıtlarının kullanımları sırasında çıkan emisyonlar Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafınca belirlenen limit değerlerin altında tutulur. Araçların emisyonlarının azaltılması maksadı ile taşıtların yapısı ve ekipmanlarıyla ilgili esaslar Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'na yürürlüğe konulan araçların imal, tadil ve montajı hakkındaki yönetmelikte belirtilir. Araçların teknik muayenesi ile ilgili usuller ise kara araçları için Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, karayolları genel müdürlüğü, su taşıtları ve demiryolu için ise Ulaştırma Bakanlığı tarafından Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü ile koordinasyon içinde belirlenir. Motorlu kara araçlarının egzoz gazındaki hava kirleticiler için emisyon sınır değerleri TSE (Türk Standartları Enstitüsü) 4236'da belirlenen limitleri aşmamalıdır. TSE'de standardı bulunmayan durumlarda ise, konu ile ilgili TSE tarafından ilgili standartlar düzenlenip yürürlüğe geçinceye kadar AET (Avrupa Ekonomik Topluluğu) standartlarındaki sınırlar esas alınır. Diğer taraftan hava kalitesinin kritik değerlere varması durumunda veya hava akımlarının az olduğu yerlerde valilikler sürekli veya geçici olarak trafiği durdurabilir ve/veya kısıtlayabilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Van ilinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait bir tane hava izleme tesisi mevcuttur. Bu istasyonda başlıca kirleticiler olan SO₂ ve PM₁₀ değerleri takip edilmektedir. İzlenen veriler temel alınarak Van ilinde 2016 ile 2019 yılları arasında temiz hava eylem planı düzenlenmiştir. Bu eylem planına ek olarak sıvı yakıt ve kömür ile alakalı her sene il mahalli çevre kurulunda satıcılar ve tüketiciler için kıstaslar belirlenmektedir. Van ilinin ülkenin doğusunda yer alması ve sert hava koşulları sebebiyle kış mevsiminde ısınma için fazlaca yakıt kullanılmaktadır bu sebeple kış sezonu süresince de yakıt kontrolleri yapılmaktadır.

3.1. Yakıt türü

Van ilinde evsel ısıtma için 2007 yılı öncesinde çoğunlukla kömür, 2007 yılından beri ise doğal gaz ile kömür kullanılmaktadır, odun, LPG, fuel-oil ve benzeri yakıtların kullanımı yok denecek kadar azdır. 2016 yılında evsel ısınma amaçlı kullanılan yakıtlara ait özellikler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 2016 yılında evsel ısınma amaçlı kullanılan yakıtlara ait özellikler [12]

Cinsi	Menşei	Tüketim miktarı (ton)	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	Uçucu Madde (%)	Kükürt (%)	Nem (%)	Kül (%)
Kömür	İthal	740.000	6.400	12-31	0,9	10	16
Kömür	Yerli	250.000	4.200	-	2,3	30	30
Doğal gaz	İthal	49.020.566,4	8.250	-	-	-	-

Binalarda sıcak su ihtiyacı, ocak ve ısınma maksatlı tüketilen doğal gaz il genelinde (İpekyolu, Tuşba ve Edremit ilçeleri) 2016 yılı sonundan itibaren 82.793.628,450 Sm³/yıl olup kentin % 61'i doğal gaz kullanır durumdadır (Tablo 5). Edremit, İpekyolu ve Tuşba ilçeleri dışındaki ilçelerde doğal gaz hattının henüz ulaştırılmamış olmasından dolayı bu rakamlar kent çoğunluğu için geçerli olmaktadır.

Tablo 5. Van ilinde 2016 yılında kullanılan doğal gaz miktarı [13]

Kullanıldığı Mekân	Tüketim Miktarı (Sm ³)	Isıl Değer (kcal/kg)
Ev	49.020.566,46	9.006,12
Ticarethane	10.474.261,19	9.006,12
Resmi Kurum	19.608.487,37	9.006,12
Endüstri	3.398.589,86	9.006,12
Diğer	291.723,57	9.006,12

Doğal Piyasası 2016 yılı sektör raporundan temin edilen bilgilerine göre [13]; Aksa Van Doğal Gaz A.Ş' nin abone sayısı konutlarda 45.339, ticarethanede 4.624, resmi dairede 1.239, ibadethane, vakıf, hayır kurumun da 237, organize sanayi sitesinde 28 adet olarak belirtilmiştir. İl genelinde doğal gaz abone sayısı toplamda 51.467 adettir. 2016 yılında konut ısıtılması maksadı ile kullanılan kömür tüketim miktarı ise yaklaşık olarak 990.000 tondur.

Van ili endüstri açısından gelişmediği için endüstriyel emisyonlardan kaynaklı kirlilik oldukça azdır. Van ilinde 17 adet emisyon izni almış endüstriyel yapı bulunmaktadır. Hava kirliliği sadece endüstriyel ve evsel kaynaklı değil aynı zamanda ulaşım faaliyetleri sonucu da oluşmaktadır. Endüstride kullanılan yakıtların türü, temin edildiği yerlerle ilgili veriler ve özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. 2016 yılında endüstriyel alanlarda kullanılan katı yakıtlara ait özellikler [12]

Yakıtın Cinsi	Temin Edildiği Yer	Tüketim Miktarı	Yakıtın Özellikleri				
			Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	Uçucu Madde (%)	Toplam Kükürt (%)	Toplam Nem (%)	Kül (%)
Kömür	İthal	43.370 (ton)	6.400	12-31	0,9	10	16
Doğal gaz	İthal	3.398.589,86 (Sm ³)	8.250	-	-	-	-

2011 yılında Devlet Planlama Teşkilatı tarafınca yapılan ve 8 alt başlıkta 61 endeksin incelendiği bölge ve kentlerin sosyal ve ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması (SEGE) endeks araştırmasında Van 75. sıradadır [14]. Toplam sanayi işletmeleri arasında %0,1'lik oran ile Van, endüstriyel açıdan az gelişmiş kentlerdendir.

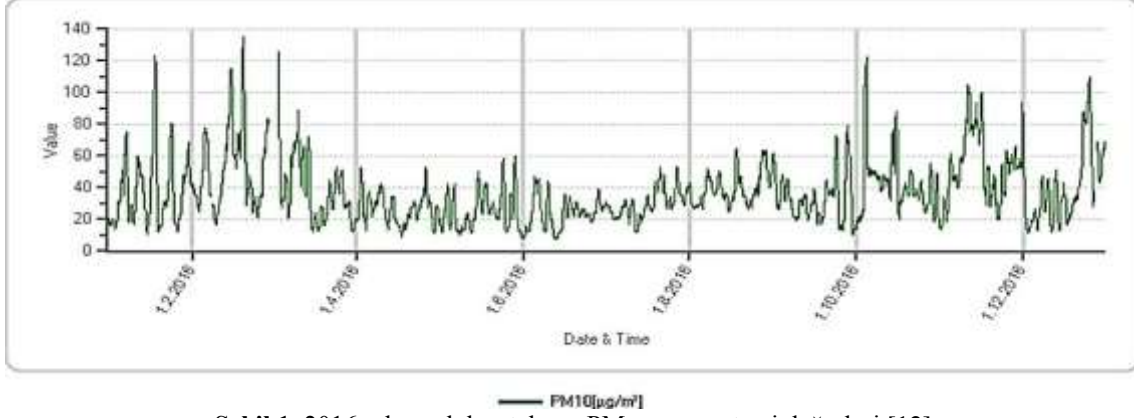
2015'te gerçekleştirilen Van kentinin sanayi envanterinin oluşturulması fizibilite çalışmasında [15] Van'da ki sanayi kuruluşu sayısının 240 olduğu belirlenmiştir. Van ilindeki sanayi kuruluşlarından 72 tanesi Van-Erciş karayolundaki Van organize ve sanayi bölgesi'nde yer almaktadır [15].

Kullanılan yakıtın türünün hareketli araçlardaki kompozisyonunda oldukça önemlidir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre kişiler motorlu araçlarını düzenli bir şekilde egzoz gazı emisyon testine tabi tutmak zorundadırlar. Bu düzenli testler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yetki alan egzoz gazı emisyon ölçüm tesisleri tarafınca gerçekleştirilmektedir. Van ilinde 2016 yılı içerisinde egzoz gazı emisyon testi yapılan araç sayısı 55.768'dir [12]. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre kentin hava kalitesine ulaşım kaynaklı emisyonların (O₃, NO₂, SO₂, CO, PM) etkisi orta düzeyde (50-100 µg/m³) iken sanayi kaynaklı emisyonların (NO₂, SO₂, CO₂, PM) etkisi ise çok düşük (0-50 µg/m³) seviyededir. Bu kirlleticilerin en etkin, zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan CO, HC, NO_x ve PM (is duman vb.) olup bunlardan NO_x ve PM emisyonları daha çok dizel motorlarından kaynaklanmaktadır

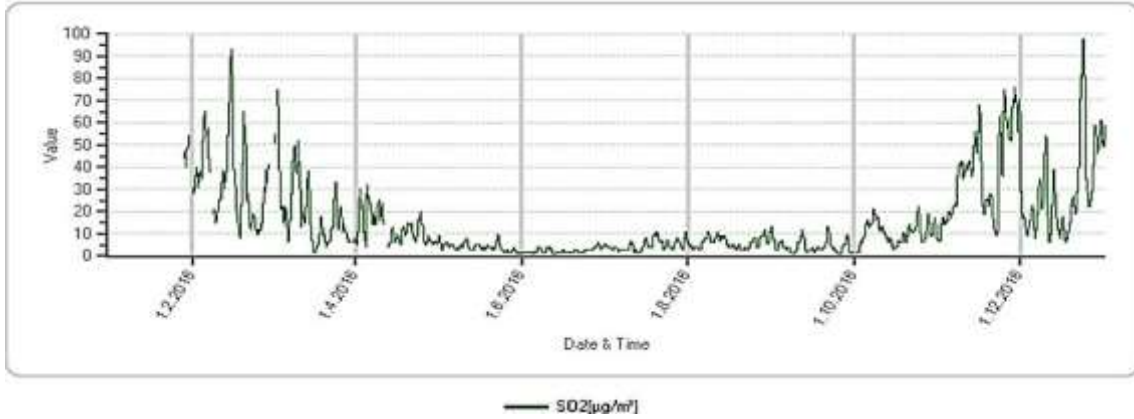
3.2. Hava kalitesi kontrolü hususundaki çalışmalar

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca 18 Ekim 2005 tarihinde Van ilinde kurulan ve hâlen faaliyet gösteren bir adet hava kalitesi izleme tesisi yer almaktadır. Tesis, yaklaşık 600.000 dolaylarında bir nüfusa denk gelen 3 mühim yerleşim yerinin (İpekyolu, Tuşba ve Edremit İlçeleri) merkezinde yer almaktadır. Yerleşim yerlerine yakın olması nedeniyle ısınma kaynaklı hava kirliliğinin, taşıt yoluna yakın olması nedeni ile de ulaşım kaynaklı kirliliğinin ölçülmesi bakımından çok makul bir noktada yer alsa da bilhassa ısınmadan kaynaklı hava kirliliğinin ölçülmesi açısından dezavantajlı bir tesistir. Çünkü ölçüm tesisinin bulunduğu yerde daha tehlikesiz bir yakıt türü olan doğal gaz kullanılmaktadır. Bu durumda diğer yakıt türlerinin kullanıldığı yerleşkelerdeki kirliliği tam olarak yansıtmamasına sebep olmaktadır. Ancak bazı bölgelerde ve 2011 yılında meydana gelen Van depreminden sonra inşa edilen toplu konutlar nedeniyle kalabalık bir yerleşim mahalı olan Edremit'te doğal gaz hattı çekilmemiş olup kömür kullanılmaktadır. Edremit TOKİ konutlarının ölçüm tesisine mesafesi ise 15 km'dir. Mevcut ölçüm tesisinin endüstri menşeli kirleticilerin bulunduğu tesislere mesafesi 10 km'dir. Diğer taraftan rüzgâr hızı düşük (1,5 m/s) olup partiküler maddelerin rüzgâr ile taşınımı az olduğu için hava kirliliğinin yerel yoğunlaşması söz konusudur [12]. Dolayısıyla iklim koşulları, kent nüfusu, ısınma amaçlı kullanılan yakıtın karakteristiği ve endüstrinin dağılımı göz önüne alındığında, tek istasyondan alınan verilerin,

kentin bütününi temsil etmesi açısından yetersiz olmaktadır. Bu sebeple, var olan tesise ek olarak Edremit ilçesinde, sanayi bölgesinde ve diğer gerekli görülen (nüfusu çok olan Erciş ilçesi gibi) ilçelerde de tesis kurulması gerektiği düşünülmektedir. Van ilinde bulunan hava kalitesi ölçüm tesisinde, partikül madde (PM₁₀) ve kükürt dioksit (SO₂) ölçülmektedir bu parametrelerin günlük ortalama değerleri 2016 yılı için sırası ile Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. Ayrıca 2016 yılına ait SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonları ay bazında Tablo 7’de verilmiştir.



Şekil 1. 2016 yılı günlük ortalama PM₁₀ parametresi değerleri [12]



Şekil 2. 2016 yılı günlük ortalama SO₂ parametresi değerleri [12]

Çalışma kapsamında Van il Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü’nden alınan veriler derlenerek 2016 yılına ait Van ili hava kirliliği profili çıkarılmıştır. Şekil 1 ve 2’de görüldüğü gibi birbirini takip eden günlerde PM₁₀ ve SO₂ değerlerinde ani değişimler olduğu görülmektedir. Şekil 1’de kış aylarında artan ani PM₁₀ konsantrasyonları o günlerde hava sıcaklığının diğer günlere nazaran daha soğuk olması ile bağıntılı olarak halen fosil yakıt kullanarak ısınan konutlardan salınan emisyonlara bağlı olarak arttığı düşünülmektedir. Aynı şekilde 1.2.2016 ile 1.4.2016 tarihleri arasında azalan SO₂ konsantrasyonu havanın ısınmaya başlaması ile birlikte konut ısınmasında azalan fosil yakıt kullanımı ile ilgilidir, diğer taraftan 1.10.2016 ile 1.12.2016 tarihleri arasında günlük SO₂ konsantrasyonundaki artış kentin coğrafik ve iklimsel koşulları sebebiyle kış aylarının erken başlayıp sert geçmesi ile ilişkilidir dolayısı ile bu aylarda ısınma maksatlı tercih edilen fosil yakıtların daha fazla kullanımı ile SO₂ konsantrasyonları artmıştır. Ayrıca 2016 yılı şubat ayı içerisinde birbirini takip eden günlerde SO₂ konsantrasyonunda dalgalanma olduğu Şekil 2’de görülmektedir. Bu durum Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nce sunulan rapora [16] göre Doğu Anadolu bölgesinin 2016 yılı şubat ayı ortalama sıcaklığının diğer yıllara göre normallerinin üzerinde olması ve yaşanan sıcaklık dalgalanmaları ile açıklanabilir. Şubat ayı içerisinde birbirini takip eden günlerde yaşanan sıcaklık farkları sebebiyle bir gün çok soğuk diğer gün güneşli ve daha ılık geçtiği için ısınma kaynaklı yakıt kullanımının miktarı da bu duruma paralel olarak değişmiştir, bu durum da SO₂ ve PM₁₀ derişimlerinin bir gün çok diğer gün daha az olmasına sebep olmuş ve ölçümlere yansımıştır.

Genel olarak kentin hava sıcaklığı ekim ayının sonlarından itibaren düşmeye başlar ve takip eden, kasım, aralık, ocak, şubat aylarında sert, mart ve nisan aylarında yavaş yavaş ısınmaya başlar. Nisan ayından sonra azalan PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonlarının bu durum ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ancak 2016 yılı kış mevsiminde ölçülen SO₂ ve PM₁₀ değerlerinin önceki yıllara göre az olmasına rağmen yine de yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum doğal gaz şebeke hattının kentinin her yerine ulaşmaması ve doğal gaz hattının ulaştığı yerlerde ise doğal gaz kullanımının gerekliliklerinin (kombi, kalorifer, tesisat döşenmesi vb.) karşılanamaması sebebiyle fosil yakıt kullanımının devam etmesi ile ilişkilidir.

Tablo 7. SO₂ ve PM₁₀ 2016 yılı aylık ortalamaları [17]

Ay	SO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Ocak	47	38
Şubat	34	52
Mart	19	38
Nisan	13	27
Mayıs	4	25
Haziran	3	24
Temmuz	5	30
Ağustos	6	40
Eylül	4	32
Ekim	11	42
Kasım	38	55
Aralık	31	41
ORTALAMA	15	37

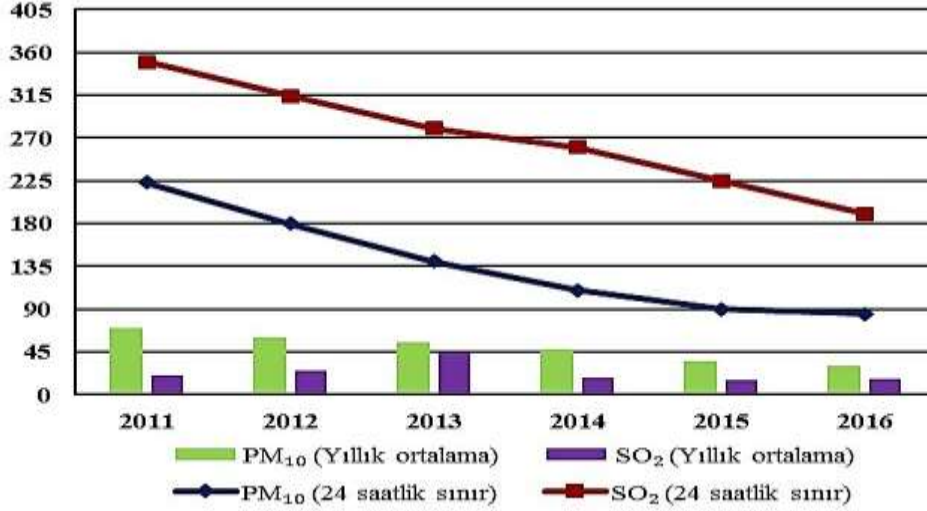
Hava kalitesi ölçüm istasyonu tarafından 2014-2016 yıllarında ölçülen PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin hava kalitesi sınır değerleri aşım verileri ise Tablo 8’de listelenmiştir. Bu tesisin haricinde Van kentinde ulusal hava izleme ağından bağımsız başka bir tesis mevcut değildir.

Tablo 8. 2014- 2016 yılları arasındaki hava kalitesi sınır değerleri aşım durumu [12]

2014		2015		2016	
PM ₁₀	SO ₂	PM ₁₀	SO ₂	PM ₁₀	SO ₂
KVS		KVS		KVS	
100µg/m ³	250µg/m ³	90µg/m ³	225µg/m ³	80µg/m ³	200µg/m ³
103 (09.01.2014)		127 (14.01.2015)		94 (17.01.2016)	
109 (10.01.2014)		106 (15.01.2015)		98 (14.02.2016)	
100 (11.01.2014)		99 (19.01.2015)		87 (15.02.2016)	
110 (12.01.2014)		92 (20.01.2015)		84 (18.02.2016)	
107 (17.01.2014)		113 (21.01.2015)		111 (19.02.2016)	
140 (20.01.2014)		90 (22.01.2015)		98 (03.10.2016)	
126 (22.01.2014)		101 (25.01.2015)		105 (10.11.2016)	
110 (13.02.2014)		107 (26.01.2015)		86 (13.11.2016)	
124 (14.02.2014)		93 (27.01.2015)		96 (15.11.2016)	
112 (15.02.2014)		103 (03.02.2015)		81 (30.11.2016)	
114 (20.02.2014)		92 (07.02.2015)		82 (22.12.2016)	
111 (21.02.2014)		140 (12.02.2015)		80 (23.12.2016)	
116 (22.02.2014)		101 (07.03.2015)		103 (24.12.2016)	
110 (23.02.2014)		106 (08.03.2015)		97 (31.12.2016)	
140 (24.02.2014)		100 (04.10.2015)			
20 gün	Sınır değer aşılmamıştır.	16 gün	Sınır değer aşılmamıştır.	14 gün	Sınır değer aşılmamıştır.

*KVS: Kısa vadeli sınır değer

Tablo 8’de 2014 ile 2016 yılı arasında ölçülen günlük ortalama PM_{10} ve SO_2 konsantrasyonlarının izin verilen günlük değerleri aşıp aşmadığı gösterilmiştir. Bu yıllardaki ölçüm süresince SO_2 değeri aşılmamış, PM_{10} verilerinde ise 2014’te 20 gün, 2015’te 16 gün ve 2016 yılında ise 14 gün limit aşımı görülmüştür. Limit değerlerin aşıldığı noktalar göz önüne alındığında aşım tarihlerinin kış aylarına denk geldiği ve her geçen yıl düşüş gösterdiği açıktır. Hava kalitesi izleme verilerinin yıllık ortalamasının Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’nde [18] belirlenen limit değerlerle kıyaslamalı gösterimi ise Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Hava kalitesi parametrelerinin yıllık ortalamasının sınır değerlerle karşılaştırmalı olarak gösterimi [12]

Ayrıca Şekil 3’te Van ilinde 2011 yılında SO_2 ve PM_{10} konsantrasyonları sınır değerlerle kıyaslandığında çok yüksek olduğu ancak 2014 yılı itibariyle yıllık ortalama SO_2 ve PM_{10} konsantrasyonunun sınır değerlere yakınlık göstermeye başladığı görülmektedir. Bunun sebebinin de ilde doğal gaz kullanımının artmaya başlaması olduğu düşünülmektedir.

6 yıllık (2010-2016) veriler değerlendirildiğinde SO_2 ve PM_{10} konsantrasyonlarının kentte mevsimsel olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Tablo 9’da yıllara göre kış dönemi hava kalitesi izleme verilerinin ortalaması gösterilmektedir.

Tablo 9’dan da görüleceği üzere 2010 ile 2016 yılları arasında ortalama PM_{10} ve SO_2 konsantrasyonlarının, ölçüm süresince SO_2 konsantrasyonunun 2010-2013 yılları arasında önce azaldığı, 2012-2013 yılları arasında arttığı ve daha sonra düşüş gösterdiği, 2016 yıllık ortalamasının ise $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu görülmektedir. PM_{10} konsantrasyonlarının ise 2010-2016 aralığında genel olarak azalma eğiliminde olduğu ve 2016 yılındaki ortalamasının ise $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu açıktır. Şekil 4’te 2016 yılına ait kaydedilen PM_{10} ve SO_2 konsantrasyonları ile aylık sıcaklık verilerinin ortalama değerleri verilmiştir.

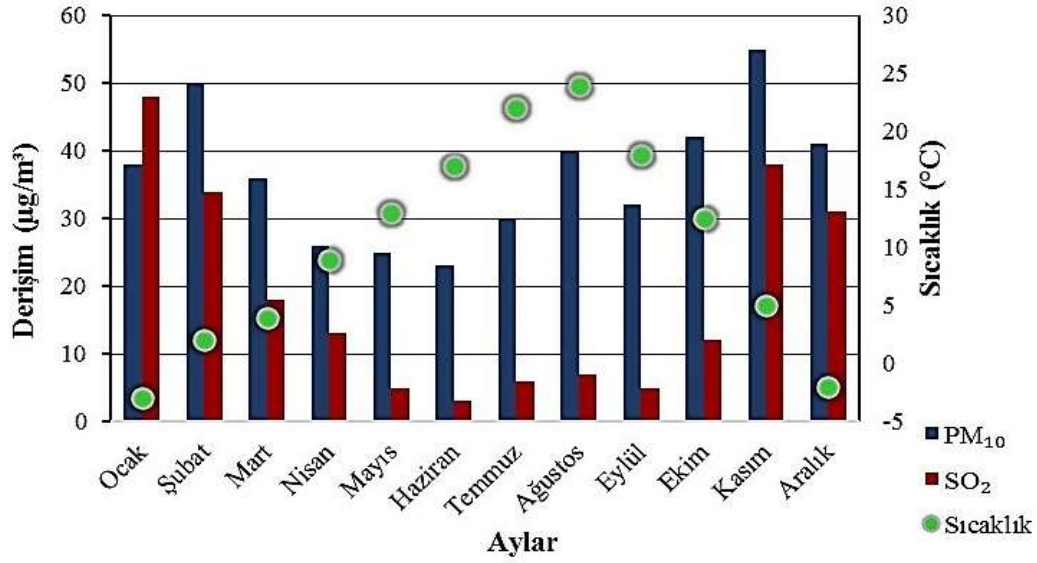
Şekil 4’te SO_2 ve sıcaklık değerleri arasındaki ters ilişki dikkat çekmektedir. Bu durum hava sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda ısınma ihtiyacının olmaması ya da az olması sebebiyle azalan yakıt kullanımı ile açıklanabilir. Dolayısıyla bu durum kentte SO_2 kirliliğinin çoğunlukla ısınmadan kaynaklı olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca PM_{10} konsantrasyonu en yüksek kış aylarında görülürken ağustos ayında bir miktar artış göstermiştir. Bu duruma sebep olarak PM_{10} ’un doğal kaynakları (artan sıcaklıkla topraktan atmosfere karışan PM’ler, denizler, bataklıklar vb.) gösterebilir.

Şekil 5’te kentte mevcut doğal gaz şebeke hattının haritası yer almaktadır. Kentte Avrupa, WHO ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) sınır değerlerinin üstünde seyreden SO_2 konsantrasyonları yakıt stratejisindeki değişimle WHO ve ABD sınır değerlerinin altına düşmüştür.

Şekil 5’ten de görüleceği üzere kent merkezine doğal gaz hattı genel olarak ulaşmış olup uzak ilçelerde doğal gaz hattı çekim işlemleri başlatılmıştır [13]. Önümüzdeki birkaç yıl içerisinde kentin tamamına doğal gaz hattının ulaşması öngörülmektedir.

Tablo 9. Yıllara göre kış dönemi hava kalitesi izleme verileri ortalamaları (2010 – 2016) [12]

YIL	EKİM		KASIM		ARALIK		OCAK		ŞUBAT		MART	
	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
2010-2011	109	10	156	90	142	101	80	63	53	30	94	31
2011-2012	84	7	57	10	78	24	41	42	38	54	56	40
2012-2013	75	4	62	17	72	60	72	135	76	111	73	45
2013-2014	58	20	62	44	79	112	74	86	77	54	60	23
2014-2015	35	2	47	3	59	29	65	31	58	23	46	20
2015-2016	28	4	36	13	48	20	38	47	52	34	38	19

**Şekil 4.** 2016 yılı PM₁₀- SO₂ derişimlerinin aylık ortalamaları ve sıcaklık ile ilişkisi [12]



Şekil 5. Van mevcut doğal gaz hattı haritası [12]

4. Sonuç ve Öneriler

Kentte hava kalitesi üzerinde ısınma ve motorlu araçlar etkindir. Motorlu araçlardan kaynaklı kirliliğinin hava kalitesi üstündeki etkisi yıl içinde anlamlı derecede değişmese de ısınma kaynaklı kirliliğinin etkisi kış ve yaz mevsimlerinde çok farklılık göstermektedir. Hava kalite tesisinin aylık verilerinden görüldüğü gibi kirlilik verileri kış mevsiminde artış göstermektedir. Bu durumun nedeni şüphesiz ki ısınmadan kaynaklıdır. Bu durumun temel nedenleri; kaliteli olmayan katı yakıt kullanımı, doğal gaz hattının şehrin her yerine ulaşamaması, hattın ulaştığı yerlerde halkın katı yakıt kullanma ısrarı, konutların ve diğer yapıların ısı yalıtımsız olması, yanlış yakma tekniklerinin kullanılması (eksik yanma vb.) ve baca temizliğinin periyodik yapılmamasıdır. Kentteki hava kalitesi ölçüm tesisinden edinilen değerler ışığında hava kalitesi iyi düzeydedir. Ölçülen SO₂ değerleri limit değerlerin altında kalırken, PM₁₀ konsantrasyonları kış döneminde birkaç defa limit değerleri aşmıştır. Kentte bulunan sayıca az olan endüstri kuruluşunun, hava kalitesi üstündeki olumsuz etkisi, yapılan kontrol ve denetimlerle ilgili mevzuattaki emisyon limit değerlerinin altında tutulmaya çalışılmıştır. 2007 yılı itibari ile evsel ısınmada ve sanayide kullanılmak üzere doğal gazın aktif olması ile birlikte bilhassa SO₂ konsantrasyonlarında kayda değer azalma gözlenmiştir. Avrupa, WHO ve ABD limit değerlerinin üstünde seyreden SO₂ konsantrasyonları yakıt politikasındaki değişimle beraber WHO ve ABD değerlerinin altına inmiştir. Bu sebeple kentin doğal gaz ulaşmayan ilçelerine de hat sağlanması ile tehlikesiz ve temiz bir yakıt olarak kabul görülen doğal gazın kullanılmasının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Ayrıca hattın ulaşmadığı noktalarda kalitesiz yakıt konusunda kontroller satış noktalarından başlayıp kullanıcılar bilgilendirilmeli ve zararları izah edilmelidir.

Kaynaklar

- [1] Sirmen L. 1990. Çevre Kanunu'na Göre Çevrenin Kirletilmesinden Doğan Sorumluluk. Ankara Barosu Dergisi, 1: 22-30.
- [2] Bozlağan R. 2005. Sürdürülebilir Gelişme Düşüncesinin Tarihsel Arka Planı. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, 50: 1011-1028.
- [3] Bayram T., Erkuş A., Öztürk D. 2014. Türkiye'de Su Kaynaklarının Dünyü, Bugünü ve Geleceği. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (1-2): 70-74.
- [4] Altıkat A., Ekmekyapar Torun F., Turan Bayram T. 2011. Küresel kirlilik: Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye'de Hava Kirliliği Örneği. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 27 (2): 134-149.

- [5] Aydınlar B., Güven H., Kirksekiz S. 2009. Hava Kirliliği Nedir, Ölçüm ve Hava Kalite Modelleme Yöntemleri Nelerdir. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, Hava Kirliliği ve Modellemesi Dergisi,16 (2): 83-91.
- [6] Yazıcı H., Yusuf Ç.A.Y., Sekmen Y. 2010. Hava Kirliliğinin Doğal Gaz Kullanımı İle Değişimi, Denizli İli Örneği. Selçuk Teknik Dergisi, 9 (3): 205-215.
- [7] Demirarslan K.O., Akıncı H. 2018. CBS ve Hava Kalitesi Verileri Kullanılarak Marmara Bölgesinin Kış Sezonunda Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4 (1): 11-27.
- [8] Eren Z., Turan T. 2007. Doğal Gaza Geçiş ile Birlikte Erzurum İlinde Fosil Yakıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliğindeki Değişim. Türkiye Çevre Müh. Odası, 7.
- [9] Bolu F., Zoroğlu G., Mayda A.S. 2015. Düzce Hava Kalitesi İzleme İstasyonu 2014 Yılı Verilerinin Saatlik, Günlük ve Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi. TAF Preventive Medicine Bulletin, 14 (5): 387-393.
- [10] Toros H., Erdun H., Çapraz Ö., Özer B., Daylan E.B., Öztürk A.İ. 2013. Air Pollution and Quality Levels in Metropolitans of Turkey for Sustainable life. EJOSAT: European Journal of Science and Technology, 1 (1): 12-18.
- [11] Cetin M., Kalayci Onac A., Sevik H., Sen B. 2018. Temporal and Regional Change of Some Air Pollution Parameters in Bursa, Air Quality. Atmosphere & Health, 1-6.
- [12] Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2017. Van İli 2016 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre Yönetimi ve Denetimi Şube Müdürlüğü, Van.
- [13] Doğalgaz Piyasası 2016 Yılı Sektör Raporu, 2017. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [14] Kalkınma Bakanlığı, 2013. İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması (SEGE-2011). Bölgesel Gelişme ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [15] Van'ın Sanayi Envanterinin Oluşturulması Fizibilite Çalışması, 2015. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Van İl Müdürlüğü, Van.
- [16] Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2016. 2016 Yılı Şubat Ayı Sıcaklık Değerlendirmesi. Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü, Ankara.
- [17] <http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx> (Erişim Tarihi: 31.12.2016)
- [18] Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008. Resmi Gazete, Sayı: 26898.

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 uyum 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. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart 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, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

Kitap bölümü ise;

1. Cullen J. 1975. *Artemisia L.* in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 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, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
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 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

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. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 348s, Elazığ.

Kaynak Anonim ise;

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

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 virgöl 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 10 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. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart 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, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

Book Chapter:

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 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. Akvüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eringii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
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 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

Web sites:**If the author name and date are known:**

1. Senel F. 2006. *Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi*. <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> (Access Date: 15.01.2007).

Thesis:

1. Kursat M. 2010. *Türkiye'de Yetisen Artemisia L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, PhD Thesis, 348s, Elazığ.

Anonymous:

1. Anonymous, 1990. *Sulak Alanların Korunması*. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

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 titles 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 Fen Bilimleri 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 iki defa (Haziran, 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
Fen Bilimleri 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 Fen Bilimleri 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