

MAKÜ FEBED

e-ISSN: 1309-2243

CİLT (VOLUME): 15 • SAYI (ISSUE): 1 • YIL (YEAR): 2024



Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

The Journal of
Graduate School of Natural and Applied Sciences of
Mehmet Akif Ersoy University

MAKÜ FEBED

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University

CİLT / VOLUME 15

SAYI / NUMBER 1

YIL / YEAR 2024

e-ISSN: 1309-2243

İmtiyaz Sahibi / Owner

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi adına / On behalf of Burdur Mehmet Akif Ersoy University

Prof. Dr. Hüseyin DALGAR

Rektör / (Rector)

Sorumlu Müdür / Journal Manager

Prof. Dr. Yasin ARSLAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü / Director, Institute of Science and Technology

Dergi Yayın Kurulu / Editorial Board

Editör / Editor in Chef

Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Dr. Öğr. Üyesi Bora BİNGÖL *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Alan Editörleri / Section Editors

Prof. Dr. Mehmet ÇETİN *Ondokuz Mayıs Üniversitesi*

Prof. Dr. Sadık ÇOĞAL *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Prof. Dr. Ali Hakan IŞIK *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Prof. Dr. Nurettin KÖRÖZLÜ *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Doç. Dr. Canan ÇİMŞİT *Kocaeli Üniversitesi*

Doç. Dr. Tuğba GÜRKÖK TAN *Çankırı Karatekin Üniversitesi*

Doç. Dr. Asım Gökhan YETGİN *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Dr. Öğr. Üyesi Gonca BUYRUKOĞLU *Çankırı Karatekin Üniversitesi*

Dr. Öğr. Üyesi Nuray ÇİÇEK *Çankırı Karatekin Üniversitesi*

Dr. Öğr. Üyesi Betül TEYMUR *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi*

Dil Editörleri / Foreign Language Editors

Doç. Dr. Bojan SIMOVSKI *Üsküp Ss. Cyril ve Methodius University*

Dr. Öğr. Üyesi Seyit YÜZÜAK *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Teknik Editörler / Technical Editors

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BATAR *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Araş. Gör. Aylin DURAK *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Dizgi Editörleri / Layout Editors

Dr. Öğr. Üyesi Kadir MERCAN *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*
Araş. Gör. Ayşe Betül GÖK *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*
Araş. Gör. Medine RASIMGİL *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*

Uluslararası Yayın Kurulu / International Editorial Board

Prof. Dr. Mohd Ezree Bin ABDULLAH *Malezya Tun Hussein Onn Üniversitesi (Malezya)*
Prof. Dr. Tapani ALATOSSAVA *Helsinki Üniversitesi (Finlandiya)*
Prof. Dr. Rodrigo AMORIM GARCIA *Fluminense Üniversitesi (Brezilya)*
Prof. Dr. Yasin ARSLAN *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Sadık C. ARTUNÇ *Mississippi State Üniversitesi (ABD)*
Prof. Dr. Ebru Gül ASLAN *Süleyman Demirel Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Dr. Uğur BOZKAYA *Hacettepe Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Dr. Feyza CANDAN *Manisa Celal Bayar Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Dr. Yasser Gaber DESSOUKY *Stavanger Üniversitesi (Mısır)*
Prof. Dr. Oliver GAILING *Göttingen Üniversitesi (Almanya)*
Prof. Dr. Oğuz GÜRSOY *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Dr. Rabah KHENATA *Mascara Üniversitesi (Cezayir)*
Prof. Dr. Ali Cihat KÜTÜK *Ankara Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Dr. Martin NERUDA *Jan Evangelista Purkyně Üniversitesi (Çek Cumhuriyeti)*
Prof. Dr. Maria OMASTOVA *Slovak Bilimler Akademisi (Slovakya)*
Prof. Dr. Kemal POLAT *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Dr. Nazire Papatya SEÇKİN *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Dr. Çağatay TAVŞANOĞLU *Hacettepe Üniversitesi (Türkiye)*
Prof. Dr. Erol TUTUMLUER *Illinois at Urbana-Champaign Üniversitesi (ABD)*
Doç. Dr. Zikri ARSLAN *Jackson State Üniversitesi (ABD)*
Doç. Dr. Muhammad ASİF *National Textile Üniversitesi (Pakistan)*
Doç. Dr. Burçin KAYMAZ *Ege Üniversitesi (Türkiye)*
Doç. Dr. İnci TÜNEY KIZILKAYA *Ege Üniversitesi (Türkiye)*
Doç. Dr. Hasan OGUL *Sinop Üniversitesi (Türkiye)*
Doç. Dr. Onur ÜLKER *Eskişehir Teknik Üniversitesi (Türkiye)*
Dr. Wei FAN *Jilin Üniversitesi (Çin)*
Dr. Ali Umut ŞEN *Lizbon Üniversitesi (Portekiz)*
Dr. Ruijie Tian *Dalian Maritime Üniversitesi (Çin)*

İletişim / Contact

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Adres: İstiklal Yerleşkesi Fen Edebiyat Fakültesi 1. Kat, 15030, Burdur

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/makufebed>

E-mail: febeddergi@gmail.com

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, yılda iki kez (Haziran ve Aralık) yayımlanan ve uluslararası alan indeksleri tarafından taranan "Uluslararası Hakemli" akademik bir dergidir. Derginin amacı, ulusal ve uluslararası düzeyde fen bilimleri alanında çalışan bilim insanlarının ve araştırmacıların DOI numaralı bilimsel araştırma makalelerini ücretsiz olarak yayımlamaktır.

Dergiye sunulan makalelerin değerlendirme sürecinde çift kör hakem değerlendirme sistemi kullanılmaktadır. Dergide mühendislik ve mimarlık bilimleri, temel bilimler ile tarım ve orman bilimleri alanlarında özgün ve yenilikçi bilgiler sunan araştırma makaleleri yayımlanır. Dergimiz Türkçe veya İngilizce dilinde makaleleri kabul eden ve yayımlayan açık erişimli bir dergidir. Dergiye yayımlanmak üzere sunulan makalelerden herhangi bir makale işlem ücreti alınmamaktadır.

The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University is an academic journal published twice a year (June and December) and indexed by international field indexes as an "International Peer-Reviewed" journal. The aim of the journal is to publish scientific research articles from scholars and researchers in the field of natural sciences at national and international levels, providing them with DOI numbers.

The double-blind peer review system is used in the evaluation process of articles submitted to the journal. The journal publishes research articles presenting original and innovative information in the fields of engineering and architecture sciences, basic sciences, as well as agriculture and forestry sciences. Our journal is an open access journal that accepts and publishes articles in Turkish or English. No article processing fee is charged for articles submitted to the journal for publication.

Değerli Okuyucular,

Ocak 2024'te editörlüğünü devraldığımız Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergimizin, Haziran 2024, 15(1) sayısını sizlerle buluşturmanın mutluluğunu yaşıyoruz.

Bu sayımızla birlikte dergi yayın kurulunda bazı görev değişiklikleri olmuştur. Kurulumuzdan ayrılan değerli üyelerimize teşekkür eder, çalışmalarında başarılar dileriz. Yayın kurulumuza yeni katılan ve gücümüze güç katan yeni üyelerimize ise hoş geldiniz diyor, sağlayacakları katkılar için şimdiden teşekkür ediyoruz.

Dergiyi devraldığımız günden bugüne DergiPark içerisindeki tüm ara yüzümüz güncellenmiş, önemli değişiklikler ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu ciddi değişiklikler ve düzenlemeler nedeni ile de yazarlarımıza yeni değişiklikleri kontrol etmelerini tavsiye ediyoruz. Yayın kalitesini arttırmayı hedefleyen dergimizin TR, SCOPUS vd. dizinlerde taranma başvuru süreçleri ise devam etmektedir. Dergimizin bu sayısında 16 yazar tarafından hazırlanmış 6 makale yer almakta olup, 1 adette düzeltme yazısı bulunmaktadır.

Bu sayının yayınında emeği geçen başta Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Yasin ARSLAN'a ve yayın kurulunda bulunan tüm dergi ekibine katkı ve emeklerinden ötürü teşekkür ederiz. Ayrıca dergimize yayınlarını göndererek katkı veren yazarlarımıza olduğu kadar yayınların değerlendirilmesinde değerli görüşlerini ve zamanlarını paylaşan hakemlerimize de şükranlarımızı sunarız.

Dear Readers,

We are happy to bring you the June 2024, 15(1) issue of the journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University, which we took over the editorship in January 2024.

With this issue, there have been some changes in the editorial board of the journal. We would like to thank our valuable members who left our board and wish them success in their work. We also extend a warm welcome to our new members who have joined our editorial board and strengthened our team, and we thank them in advance for their contributions.

Since the day we took office at the journal, all our interface and forms in DergiPark have been updated, and significant changes and implementations have been made. Due to these substantial changes and adjustments, we recommend that our authors review the new changes. Aiming to increase the publication quality of our journal, the application processes for indexing in TR Dizin, SCOPUS and other indexes are ongoing. In this issue of our journal, there are 6 research articles prepared by 16 authors and 1 erratum for a paper published in the previous issue.

We would like to thank Prof. Dr. Yasin ARSLAN, the Director of the Graduate School of Natural and Applied Sciences, and all the journal team members on the editorial board for their contributions and efforts in the publication of this issue. We also extend our gratitude to our authors who have contributed by submitting their publications to our journal, as well as to our reviewers who have shared their valuable opinions and time in evaluating the publications.

Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ
Editör / Editor in Chef

Dr. Öğr. Üyesi Bora BİNGÖL, Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK
Yardımcı Editörler / Associate Editors

JUNE 2024

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

Parklarda Vandalizm Etkileri: Tekirdağ Çerkezköy Örneği 1-10
Vandalism Effects in Parks: Case of Tekirdağ Çerkezköy, Türkiye
Büşra ONAY, Beyza SAVA, Candan KUŞ ŞAHİN

Bulanık Analitik Hiyerarşi Algoritması ile Sığırlarda Damızlık Seçimi 11-21
Breeder Selection in Cattle with Fuzzy Analytical Hierarchy Process
Rifai KUÇI, Ali Hakan IŞIK, Nimet IŞIK, Afşin KÖKER

Yeşil Sentez Yöntemi ile Althaea officinalis Kaynaklı Nanokompozitlerin Karakterizasyonu ve Hemolitik Aktivitelerinin Değerlendirilmesi 22-32
Characterization of Nanocomposites Obtained from Althaea officinalis and Evaluation of Their Hemolytic Activities via Green Synthesis Method
Büşra ŞENSOY GÜN, Belgin TUNALI, Rafiq GURBANOV

Türkiye'de Deniz Kazası Olasılığının İncelenmesi 33-41
Investigation of Marine Accident Probability in Türkiye
Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU, Özen ARLI KÜÇÜKOSMANOĞLU

Environmental Impacts of Geothermal Fields on Water Resources in the Central Anatolia Region, Türkiye 42-60
Türkiye, İç Anadolu Bölgesindeki Jeotermal Sahaların Su Kaynakları Üzerindeki Çevresel Etkileri
Eda AYDEMİR POLAT, Şehnaz ŞENER

Phenotypic Characterization of Point Mutations Spanning FHA Domain and C-terminal Region of Dawdle Gene in Arabidopsis 61-71
Arabidopsis'te Dawdle Geninin FHA Alanını ve C-terminal Bölgesini Kapsayan Nokta Mutasyonlarının Fenotipik Karakterizasyonu
Seyit YUZUAK, David CHEVALIER

Düzeltilme / Erratum

İklim Değişikliği Bağlamında Halkın Antalya'daki Mevcut Parklara Bakış Açılarının Değerlendirilmesi ve İklim Dostu Park Uygulama Önerileri 72-73
The Evaluation of Public Perspectives on Existing Parks in Antalya within the Context of Climate Change and Climate-Friendly Park Practice Recommendations
Nefise ÇETİN, Sibel MANSUROĞLU

Parklarda Vandalizm Etkileri: Tekirdağ Çerkezköy Örneği

Vandalism Effects in Parks: Case of Tekirdağ Çerkezköy, Türkiye

Büşra ONAY^{1*}, Beyza SAVA², Candan KUŞ ŞAHİN³

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Isparta, Türkiye

Article Info

Research Article

DOI: 10.29048/makufebed.1336131

Corresponding Author

Büşra ONAY

Email: bonay@aku.edu.tr

Article History

Received: 01.08.2023

Revised: 22.12.2023

Accepted: 22.12.2023

Available Online: 15.06.2024

To Cite

Onay, B., Sava, B., & Kuş Şahin, C. (2024). Parklarda vandalizm etkileri: Tekirdağ Çerkezköy örneği. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.29048/makufebed.1336131>

ÖZ: Kentleşme ile birlikte ciddi bir sorun olarak ortaya çıkan vandalizm eylemine en çok rastlanılan yerlerden olan parkların korunması, sürdürülebilirliğinin sağlanması ve bu alanların güvenli kullanımının artırılması önemli bir konu haline gelmiştir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmada; Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde yer alan parklarda vandalizm olgusu araştırılmıştır. Çerkezköy ilçesi incelendiğinde, ilçede çok fazla parkın yer aldığı görülmektedir. Çalışmaya konu olan parkların seçiminde, ilçenin en büyük mahallesi olan Kızılpınar semti örnek olarak alınmış ve mahalleler içerisinde büyüklüğü, yoğun kullanımı ve yakın tarihlerde yapılmış olmaları bakımından seçilen 10 park vandalizm açısından incelenmiştir. Parklarda yer alan donatılar (oturma birimleri, çöp kutuları, aydınlatma vb.) zemin döşemeleri, sınırlandırıcı elemanlar, bitkiler vb. yerinde gözlem yapılarak incelenmiş ve fotoğraflandırılmıştır. Seçilen parklarda vandalizmin hangi peyzaj yapılarında daha çok olduğunu belirlemek için veri tablolarından yararlanılmıştır. Sonuçta, parkların yakın tarihte inşa edilmelerine rağmen vandal hareketlerden çok fazla zarar gördüğü ortaya çıkmıştır. Çalışma sonucunda, vandal hareketlerin önlenmesi ve parkların yaşanabilir alanlar haline gelmesi için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Vandalizm, park, rekreasyon, Tekirdağ, Çerkezköy

ABSTRACT: It has become an important issue to protect the parks, which are the most common places where vandalism, which has emerged as a serious problem with urbanisation, is most common, to ensure their sustainability and to increase the safe use of these areas. In the study conducted for this purpose; the phenomenon of vandalism in the parks located in Çerkezköy district of Tekirdağ province was investigated. When Çerkezköy district is examined, it is seen that there are many parks in the district. In the selection of the parks subject to the study, Kızılpınar district, which is the largest neighbourhood of the district, was taken as an example and 10 parks selected in terms of their size, intensive use and recent construction were examined in terms of vandalism. The equipment in the parks (seating units, garbage bins, lighting, etc.), floor coverings, limiting elements, plants, etc. were examined and photographed by on-site observation. Data tables were used to determine in which landscape structures vandalism is more common in the selected parks. As a result, it was revealed that the parks have suffered a lot of damage from vandalism despite their recent construction. As a result of the study, recommendations are presented to prevent vandalism and to make parks livable areas.

Keywords: Vandalism, park, recreation, Tekirdag, Çerkezköy

1. GİRİŞ

Kentleri yaşanabilir hale getirmek ve sürekliliklerini sağlamak, öncelikle var olan kentsel mekanların korunmasıyla sağlanabilmektedir. Bu da kent ile kentli arasındaki ilişkinin doğru olarak kurulduğu ve yürütüldüğü durumlarda mümkündür (Sakıcı, 2022). Toplumun ortak kullanımına açık alanlar olan kamu mekanlarında kullanma olgusu; mekânı belirlemekte ve tanımlamaktadır. Ortak olarak kullanılan kamu mekanlarında kullanma olgusu ile birlikte, o alanı her zaman için kötüye kullanma, ona zarar verme kavramı gündeme gelmektedir (Akyol, 2006). Bilinçli olarak kamu mallarına zarar veren davranışlara, insanlık tarihinin ilk dönemlerinden bu yana rastlanmaktadır. Oturma birimlerinin, aydınlatma elemanlarının, çöp kutularının yakılması, kırılması, üzerlerinin kazınması gibi eylemler, toplum tarafından uygun karşılanmayan davranışlardır. Ancak buna rağmen kamu mallarına zarar verildiğine tanık olunmakta ve bu eylemlerin sonuçlarına katlanılmak zorunda kalınmaktadır (Olgun ve Yılmaz, 2015).

Mala zarar verme suçu, ülkemizde en çok işlenen suç tiplerinden birisidir. Vandalizm olarak adlandırılan mala zarar verme fiilleri (Sarıtaş, 2009), peyzaj mimarlığı disiplinince de araştırılması gereken önemli konulardandır. Psikolojik, sosyal ve ekonomik (Öğülmüş, 2000) ve çevresel bileşenleri (Fisher ve Baron, 1982) ile önemli bir sorun olan vandalizm, ekipman veya binalar gibi mülklere kasıtlı veya kötü niyetli olarak verilen zararlardır (Scott vd., 2007). Vandalizm günlük hayatta çok sık kullanılan bir kelime olmadığı halde maalesef ki çok sık rastlanan ve yaşanan bir eylem haline gelmiştir (Tarakcı, 2003). Vandalizm kavramı, insanların bile isteye ve bir amacı olmadan eşyaya zarar vermesi olarak tanımlanabilir (Goldstein, 1996). Vandalizm, anlamsız bir mülk hasarı değildir. Bireyler, bir mesaj iletmek, hayal kırıklığını ifade etmek, intikam almak, para kazanmak veya bir oyunun parçası olmak gibi çeşitli nedenlerle vandallık yapmaktadırlar (Scott vd., 2007).

Vandalizm ile ilgili olarak literatürün çoğunda, vandalizmin yaşla önemli bir ilişkisi olduğu ve özellikle ergen bireylerin vandal eylemlere daha yatkın olduğu ifade edilmektedir (Wu vd., 2020). Vandalın amacına veya yapılan eylemin türüne göre çok farklı türde vandalizm eylemleri sınıflandırılabilir. Bunlar; maddi kazanç elde etmek için yapılan yağmacı vandalizm, bir kişiye ya da gruba karşı beslenen öfkenin ifadesi şeklinde ortaya çıkan kinci vandalizm, sırf eğlence amaçlı ya da can sıkıntısından yapılan amaçsız vandalizm şeklinde tanımlanmaktadır (Goldstein, 1996).

Vandalizmin sebepleri; psikolojik etmenler, sosyal ve fiziksel çevre, eğitim, sahiplenme, bakım ve onarım, kullanım yoğunluğu, kullanıcı tipi, aydınlatma, görsel kontrol, renk, doku ve dayanıklılık olarak on iki maddede toplanmaktadır (Sağlık vd., 2020). Vandalizm; kamu mallarının tahribatı, görsel kirlilik oluşturma, ekonomi gibi pek çok zararın yanında güvensizlik, başka suçlara zemin hazırlamak ve toplumsal huzursuzluk gibi sonuçlara neden olmaktadır (Dinçtürk, 2007). Çoğu vandalizm hareketleri,

işletmelerin veya çevredeki mülklerin çok az gözetim altında olduğu veya hiç olmadığı akşam saatlerinde yapılmaktadır. Bölgeden kimsenin doğrudan sorumlu olmadığı mülkler veya daha az korunan mülkler de sık sık vandalizm veya grafiti hedefi olmaktadır. Trenlerde, otobüslerde, otobüs duraklarında veya istasyonlarda, trafik işaretlerinde, otoyol kenarlarında, parklardaki bankalarda, reklam panolarında, boş binalarda, okullarda veya diğer büyük, düz, açık renkli yüzeylerde vandalizme rastlanması mümkündür (Scott vd., 2007). Günümüzde kentsel açık yeşil alanlarda yaşanan vandallik eylemler; kentsel donatı elemanlarına ve bitkisel materyallere verilen zararlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Yavuzer, 1998; Olgun, 2013).

Vandallar tarafından kamusal alanlarda çöp kutusu, bank, sokak lambası benzeri kent mobilyalarına verilebilecek zararlar; çizme, boyama, kırma, ezme, bozma, sökme gibi (Yavuzer, 1998; Olgun, 2013) eylemlere sık rastlanmaktadır. Bu tür mekânlarda denetim ve kontrolün özel mekanlara kıyasla daha zayıf olması, bu alanlarda vandalizmi artırmaktadır. Kentsel yeşil alanlardaki; karanlık alanlar, vandalizm işaretleri, duvar yazıları, yaygın çöpler, uyuşturucu kullanma araçları, aşırı büyümüş çalılar, terk edilmiş araçlar insanlarda korkuya sebep olmakta ve bu alanların kullanımını etkilemektedir (Maruthaveeran ve Bosh, 2015). Rekreasyon faaliyetleri; doğal manzara izleme, yürüyüş ve dağa tırmanma, kamp yapma ve doğayı izleme gibi etkinlikleri kapsamaktadır. Bu etkinliklerinin güçlü gelişimi ile birlikte, rekreasyonel ortamlarda vandalizm olasılığı da artmıştır. Bu nedenle çöp atma, çevreyi bozma ve gürültü yapma gibi sapkın davranışlarının etkin bir şekilde nasıl düzenleneceği ve yönetileceği önemli bir konu haline gelmektedir (Wu vd., 2020).

Konu ile ilgili literatür tarandığında, parklarda meydana gelen vandalizm etkilerinin üzerinde durulması gerekli bir durum olduğu görülmüştür. Akyol (2006), Yücel (2007) ve Aslan (2018) tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde; parklarda yer alan kentsel donatı elemanları, bitkiler, döşeme elemanları, çocuk oyun donatıları, spor alanları ve donatıları ile çevreleme elemanları vandalizmin en fazla rastlanıldığı yerler olduğu görülmüştür. Bu alanlarda oluşan vandalizm eylemlerinin ne olduğunun ortaya konulması ve sebeplerinin araştırılarak bu eylemlere karşı önlem alınması yerleşim alanlarının önemli bir parçası olan parkların yaşanabilirliğini ve kullanımını artıracaktır. Bu amaçla Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesi Kızılpınar mahallesinde yer alan 10 park üzerinde vandalizm olgusu incelenmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen parklar yerinde gözlem yapılmış ve vandalizme uğrayan alanlar ve donatılar fotoğraflandırılmıştır. Çalışma sonucunda parkların yaşanabilir yerler haline gelmesi için öneriler sunulmuştur.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

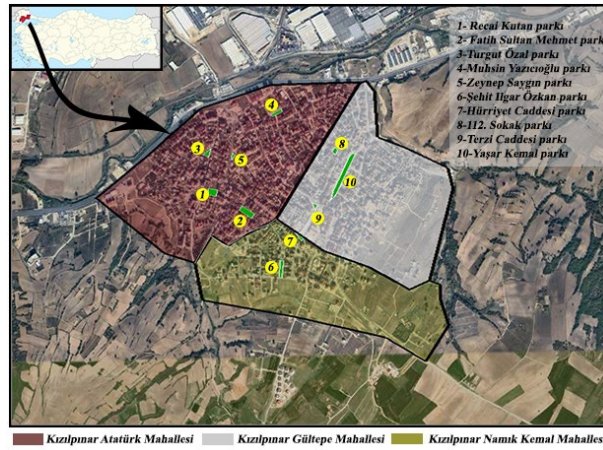
Tekirdağ ilinde yer alan Çerkezköy ilçesi Marmara bölgesinde bulunmaktadır. İlçenin doğu ve güney cephesinde İstanbul ilinin Çatalca ve Silivri ilçeleri, güneybatı cephesinde Çorlu ilçesi, batısında Kırklareli ilinin Lüleburgaz ilçesi ile kuzeyinde de Saray ilçesi yer

almaktadır. Yüzölçümü 326 km² olan ilçenin Tekirdağ il merkezine olan uzaklığı 56 km, İstanbul iline olan uzaklığı ise 110 km'dir. İlçenin 2022 verilerine göre erkek nüfusu 116.199, kadın nüfusu 106.468 olmak üzere toplam nüfusu

222.667'dir. Çerkezköy ilçesi 12 mahalleden oluşmaktadır (Tablo 1). Bu mahalleler arasında nüfus bakımından en büyük olanı Kızılpınar Mahallesi'dir.

Tablo 1. Çerkezköy ilçesindeki mahalleler

No	Mahalle adı	Nüfus	Yüzölçümü (km ²)	No	Mahalle adı	Nüfus	Yüzölçümü (km ²)
1	Gazi Osman Paşa Mahallesi	15.840	1.138	7	Fatih Mahallesi	16.250	5.479
2	Gazi Mustafa Kemal Paşa Mahallesi	21.297	0,889	8	Yıldırım Bayezid Mahallesi	15.654	0,985
3	Fevzi Paşa Mahallesi	19.362	0,662	9	Veliköy Mahallesi	10.712	3.351
4	İstasyon Mahallesi	21.608	8.334	10	Kızılpınar Atatürk Mahallesi	27.560	-
5	Cumhuriyet Mahallesi	10.810	-	11	Kızılpınar Gültepe Mahallesi	18.621	1,1
6	Bağlık Mahallesi	21.026	19.776	12	Kızılpınar Namık Kemal Mahallesi	8.087	-



Şekil 1. Çalışma yapılan mahalleler ve parklar

Çalışmaya konu olan Kızılpınar, ilçe sınırlarında bulunan bir semttir. Çerkezköy ilçe merkezine 10 km uzaklıktadır. 1980'lerden itibaren gelişen sanayi nedeniyle başta Samsun, Sinop, Erzurum, Ordu ve Tokat illerinden ve ilçelerinden olmak üzere Türkiye'nin birçok şehirden ve ilçesinden göç almıştır. Kızılpınar, 29 Aralık 1989 tarihinde belde belediyesi statüsü almıştır. 12 Kasım 2012 tarihli 6360 sayılı Büyükşehir Kanunu ile kapatılıp beldeden mahalleye dönüştürülmüştür. Nüfusun artması ile beraber Kızılpınar, kendi sınırları içerisinde Kızılpınar Namık Kemal, Kızılpınar Gültepe ve Kızılpınar Atatürk olmak üzere 3 mahalleye bölünmüştür. Mahalleler ve sınırları Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışmada, bahsi geçen mahallelerde yer alan parklar incelenmiştir. Kullanım yoğunlukları, konumları yakın tarihte yapılan parklar olması kriterleri dikkate alınarak çalışma yapılacak olan parklar tespit edilmiştir. Çalışılan parklar Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Çalışma yapılan parkların listesi

Sıra no	Park adı	Bulunduğu mahalle
1	Recai Kutan Parkı	Kızılpınar
2	Fatih Sultan Mehmet Parkı	Atatürk
3	Turgut Özal Parkı	Mahallesi
4	Muhsin Yazıcıoğlu Parkı	
5	Zeynep Saygın Parkı	
6	Şehit İlgar Özkan Parkı	Kızılpınar Namık
7	Hürriyet Caddesi Parkı	Kemal Mahallesi
8	112. Sokak Parkı	Kızılpınar
9	Terzi Caddesi Parkı	Gültepe
10	Yaşar Kemal Parkı	Mahallesi

Çalışma kapsamında, Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde yer alan Kızılpınar semti örneğinde seçilen parklar üzerinde vandalizm olgusu incelenmiştir. Konu ile ilgili önceki çalışmaların (Yavuz ve Kuloğlu, 2010; Şahin vd., 2019; Sağlık vd., 2020) yöntemleri incelendiğinde; parklarda ya da açık yeşil alanlarda vandal eylemlerin gözlem yolu ile belirlendiği anlaşılmış olup, bu tür çalışmalarda kullanılan yaygın bir veri toplama tekniğidir. Seçilen 10 adet parkta gözlemler yapılmış; kent mobilyalarına, duvarlara, döşemelere, oyun ve spor ekipmanlarına, bitkilere vb

verilen zararlar vandalizm kapsamında değerlendirilmiş, alanlara ilişkin fotoğraflar çekilmiştir. Ayrıca her park için Google Earth üzerinden alınan görseller üzerinde, vandalizmin yoğun olarak görüldüğü alanlar

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde seçilen 10 adet park vandalizm açısından incelenmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Recai Kutan Parkı: Kızılpınar Atatürk mahallesinde yer alan park, 3.000 m² alana sahiptir. Park içerisinde; çocuk oyun alanı, kondisyon aletleri, oturma birimleri, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları bulunmaktadır. Parka iki noktadan giriş-çıkış yapılmakta ve çevresinde Kızılpınar Eski Belediye binası yer almaktadır. Park genel olarak irdelendiğinde;



(a)



(b)

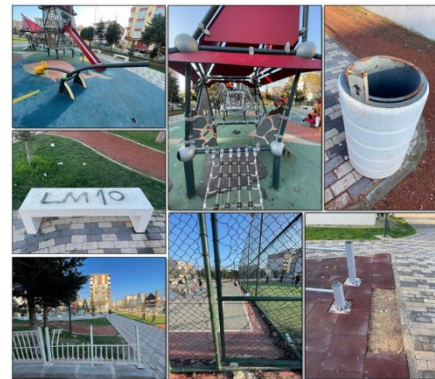
Şekil 2. (a) Recai Kutan Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler, (b) Recai Kutan Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Fatih Sultan Mehmet Parkı: Park Kızılpınar Atatürk mahallesinde bulunmaktadır. 4.140 m² alana sahip olan parkın içerisinde; çocuk oyun alanı, kondisyon aletleri, tenis masaları, futbol ve basketbol sahaları, oturma elemanları, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları bulunmaktadır. Parka üç noktadan giriş-çıkış yapılmaktadır. Park çevresinde yerleşim alanları ile Kızılpınar Eski Belediye binası yer almaktadır. Park içerisinde vandalizmin yoğun olduğu alanlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Vandalizmin, kondisyon aletlerinin ve çocuk oyun alanının olduğu bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 3. Fatih Sultan Mehmet Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler

Fatih Sultan Mehmet Parkında gözlemlenen vandalist eylemlere örnekler Şekil 4'te yer almaktadır. Park içerisinde vandalizm bulgusu olarak; çocuk oyun ekipmanlarında kırıklar, çatlaklar ve üzerinde yazılar olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca döşemelerin söküldüğü, sınırlandırıcı elemanların kırıldığı, çöp kutularının kırıldığı ve oturma birimlerine yazıların yazıldığı da görülen diğer vandalizm eylemleri arasındadır.



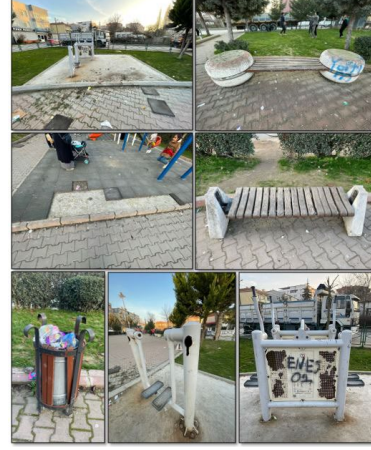
Şekil 4. Fatih Sultan Mehmet Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Turgut Özal Parkı: 1.410 m² alana sahip olan park, Kızılpınar Atatürk mahallesinde yer almaktadır. Park içerisinde; çocuk oyun alanı, kondisyon aletleri, oturma elemanları, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları bulunmaktadır. Tek giriş-çıkışı bulunan parkın çevresinde yerleşim alanları yer almaktadır. Park içerisinde vandalizmin yoğun olduğu bölüm, kondisyon aletlerinin olduğu kısımdır (Şekil 5a).



(a)

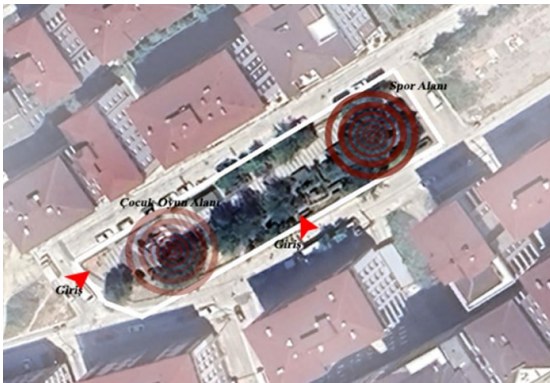
Turgut Özal Parkında gözlemlenen vandalist eylemlere örnekler Şekil 5b'de yer almaktadır. Bu park örneğinde de benzer vandalist eylemlere rastlanılmıştır. Kent mobilyaları üzerine yazılmış yazılar, çöp kutularındaki kırıklar, döşemelerin sökülmesi ve döşeme üzerindeki kirlilik, kondisyon aletlerindeki kırıklar ve paslanmalar parkta karşılaşılan sorunlardır.



(b)

Şekil 5. (a) Turgut Özal Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler, **(b)** Turgut Özal Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Muhsin Yazıcıoğlu Parkı: Park, Kızılpınar Atatürk mahallesinde bulunmaktadır. 1.615 m² alana sahip olan parkın içerisinde; çocuk oyun alanı, kondisyon aletleri, oturma elemanları, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları yer almaktadır. İki giriş-çıkışı olan parkın çevresinde konutlar bulunmaktadır. Park içerisinde vandalizmin yoğun olduğu kısımlar, kondisyon aletlerinin ve çocuk oyun donatılarının olduğu bölgedir (Şekil 6).



Şekil 6. Muhsin Yazıcıoğlu Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler

Bu park örneğinde vandalizm incelendiğinde, özellikle kondisyon aletlerinin verilen zararlar nedeniyle kullanılamaz durumda olduğu görülmüştür. Çocuk oyun donatılarında çatlakların ve kırıkların olduğu, döşemelerin söküldüğü görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Muhsin Yazıcıoğlu Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Zeynep Saygın Parkı: Kızılpınar Atatürk mahallesinde yer alan park, 750 m² alana sahiptir. Parkın içerisinde; oturma elemanları, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları bulunmaktadır. Üç noktadan giriş-çıkışı olan parkın çevresinde, Kızılpınar Eski Belediye binası yer almaktadır. Parkın içerisinde vandalizmin yoğun olarak görüldüğü yerler, oturma alanları ve çöp kutularının bulunduğu bölgelerdir (Şekil 8a,8b). Parktaki vandalizm incelendiğinde, aydınlatma elemanlarına ve çöp kutularına zarar verildiği görülmüştür. Bu parktaki en büyük vandalizm ise çöplerin sert zemine ve yeşil alanlar üzerine atılmasıdır (Şekil 8b).



(a)



(b)

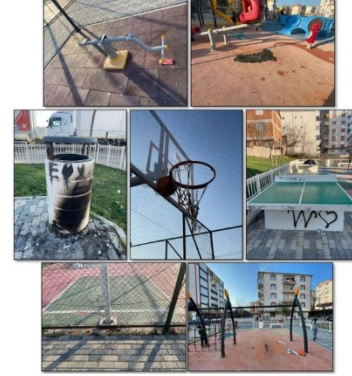
Şekil 8. (a) Zeynep Saygın Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler, (b) Zeynep Saygın Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Şehit İlgar Özkan Parkı: Park, Kızılpınar Namık Kemal mahallesinde bulunmaktadır. 2.540 m² alana sahip olan parkın içerisinde; oturma elemanları, çocuk oyun alanı, tenis masaları, basketbol ve futbol sahaları, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları yer almaktadır. Parka iki noktadan giriş-çıkış sağlanmaktadır ve park konutlar ile çevrelenmiştir. Park içerisinde vandalizmin yoğun olduğu kısımlar, kondisyon aletlerinin olduğu bölgedir (Şekil 9).



Şekil 9. Şehit İlgar Özkan Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler

Park içerisindeki vandalizm eylemleri incelendiğinde; çöp kutusunun yanında ateş yakılarak donatıya zarar verildiği, döşemelerin söküldüğü, spor alanlarının sınırlandırma elemanlarının zarar gördüğü ve basketbol potasının işlevsiz bırakıldığı görülmüştür. Ayrıca çocuk oyun alanında salıncak sökülerek yerine ip bağlanması da parkta görülen diğer vandalistik eylemdir (Şekil 10).



Şekil 10. Şehit İlgar Özkan Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Hürriyet Caddesi Parkı: Kızılpınar Namık Kemal mahallesinde bulunan park, 740 m² alana sahiptir. Parkın içerisinde; oturma elemanları, çocuk oyun alanı, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları yer almaktadır. Tek giriş-çıkışı bulunan parkın çevresinde Kızılpınar kapalı pazar yeri ve okul yer almaktadır. Park içerisinde vandalizmin yoğun olduğu bölge, çocuk oyun alanıdır (Şekil 11a).

Hürriyet Caddesi Parkındaki vandalizm incelendiğinde; oturma birimlerine zarar verildiği, aydınlatmaların kırıldığı, ağaç gövdelerinin kazındığı, çocuk oyun donatılarının kırıldığı ve üzerine yazılar yazıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 11b).



(a)



(b)

Şekil 11. (a) Hürriyet Caddesi Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler, (b) Hürriyet Caddesi Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

112. Sokak Parkı: Kızılpınar Gültepe mahallesinde bulunan park 1.010 m² alana sahiptir. Parkın içinde; oturma elemanları, çocuk oyun alanı, kondisyon aletleri, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları yer almaktadır. Giriş-çıkışı tek noktadan sağlanmakta olan parkın çevresinde yerleşim alanları bulunmaktadır. Park içerisinde en yoğun

vandalizm hareketlerine bakıldığında, çocuk oyun alanının olduğu bölgede yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 12a). Park içerisinde özellikle duvarlarda yazıların yazılması, çocuk oyun donatılarının kırılması, bazılarının kullanılamaz hale gelmesi ve parkta ateş yakılarak döşemelere zarar verilmesi gözlenen vandalistik eylemlerdir (Şekil 12b).



(a)



(b)

Şekil 12. (a) 112. Sokak Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler, **(b)** 112. Sokak Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Terzi Caddesi Parkı: Park, Kızılpınar Gültepe mahallesinde bulunmaktadır. 690 m² alana sahip olan parkın içerisinde; oturma elemanları, çocuk oyun alanı, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları bulunmaktadır. Tek noktadan giriş-çıkışı sağlanan parkın çevresinde cami ve okul bulunmaktadır. Park içerisinde vandalizmin, oturma

birimleri ve çocuk oyun alanının olduğu bölgede yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 13a). Park içerisinde özellikle oturma birimlerinin zarar gördüğü, çöp kutularının kırıldığı, donatılara yazıların yazıldığı ve çöplerin park içerisine atıldığı gözlenen vandalistik eylemlerdir (Şekil 13b).



(a)



(b)

Şekil 13. (a) Terzi Caddesi Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler, **(b)** Terzi Caddesi Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Yaşar Kemal Parkı: Park, Kızılpınar Gültepe mahallesinde bulunmaktadır. 9.630 m² alana sahip olan parkın içerisinde; oturma elemanları, çocuk oyun alanı, futbol sahası, basketbol sahası, kondisyon aletleri, çöp kutuları ve aydınlatma elemanları bulunmaktadır. Üç giriş-çıkışı bulunan parkın çevresinde yerleşim alanları ve Kızılpınar Aile Sağlığı Merkezi yer almaktadır. Park içerisinde vandalizmin, spor alanının olduğu bölgede yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 14a). Yaşar Kemal Parkı içerisindeki Vandalizm incelendiğinde; çocuk oyun alanındaki, yürüyüş yolundaki ve kondisyon aletlerinin altındaki döşemelerin söküldüğü, spor sahalarının sınırlandırma elemanlarının

tahrip edildiği tespit edilmiştir (Şekil 14b).



(a)



(b)

Şekil 14. (a) Yaşar Kemal Parkı'nda vandalizmin yoğun olduğu yerler, **(b)** Yaşar Kemal Parkı'ndaki vandalizm örnekleri

Tablo 3. Çalışma alanlarındaki vandalizm eylemleri

Park adı	Çocuk oyun alanı	Kuşatma elemanları	Oturma birimleri	Zemin döşemeleri	Aydınlatma elemanları	Çöp kutuları
Recai Kutan Parkı						
Fatih Sultan Mehmet Parkı						
Turgut Özal Parkı						
Muhsin Yazıcıoğlu Parkı						
Zeynep Saygın Parkı						
Şehit İlgar Özkan Parkı						
Hürriyet Caddesi Parkı						
112. Sokak Parkı						
Terzi Caddesi Parkı						
Yaşar Kemal Parkı						

Tablo 3'te ise çalışma alanı olarak seçilen parklarda görülen vandalizm etkileri verilmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda çalışma alanı olan parkların tümünde oturma alanlarında kırma yakma, sökme gibi zararlara; parkların çoğunda ise çocuk oyun alanları ve çöp kutularında, zemin döşemesinde kırma, karalama, sökme şeklinde vandal hareketlere rastlanılmıştır. En az vandalizm etkisi ise aydınlatma elemanlarında gözlemlenmiştir.

Topaloğlu (2021) kent parklarında peyzaj tasarımı ve vandalizm ilişkisini incelediği çalışmasında tarımcıların, plancıların ve yöneticilerin vandalizm olgusunu ortadan kaldırmak veya sınırlamak için neler yapabilecekleri ortaya koymuş ve araştırma sonucunda ortaya çıkan bilgiler ışığında peyzaj tasarımı açısından çözüm önerileri

4. SONUÇLAR

Kamuya ya da bir başkasına ait olan malların bilgisizce veya zevk için bilerek, kötü bir amaçla tahrip edilmesi, görünüm veya şeklinin bozulması ve hasara uğratılması olarak tanımlanan vandalizm; görsel anlamda kirlilik meydana getirmek, erişimi kısıtlamak, maliyeti artırmak, güvenlik sorunu oluşturmak gibi kent yaşamını olumsuz yönde etkileyen pek çok problem ortaya çıkarmaktadır.

Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesi parklarında çok fazla göç alması, eğitim seviyesi, bazı parkların mahalle merkezine ve yerleşimlere olan uzaklığı, denetim-bakım eksikliği vandalizmin sebepleri arasındadır. Ortaya çıkan sonuçlarda

geliştirilmiştir. Boessen ve Hipp (2018) çalışmalarında parkların toplumsal suçlar üzerindeki rolünü incelemişlerdir. Olgun ve Yılmaz (2015) tarafından yürütülen çalışmada, Antalya kentindeki parklarda vandalist eylemlere maruz kalmış yapıların veya donatıların bulunmasının yeni vandalist eylemleri de beraberinde getirdiği sonucuna varılmıştır. Şahin vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada Isparta ilinde yer alan mesire alanlarındaki vandalizm eylemleri incelenmiş ve çocuk oyun alanı, oturma birimleri gibi çoğu donatıda vandal hareketlere rastlanılmıştır. Yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi parklarda vandalizm olgusu yaygın ve incelenmesi gereken ve sürdürülebilirlik açısından önlem alınması bir kavram olarak görülmektedir.

da görüldüğü gibi parklarda vandalizm eylemleriyle sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu durumda parkların tasarımında söz sahibi olan peyzaj mimarlığı meslek disiplinine önemli görevler düşmektedir. Genel olarak çalışılan parklarda vandalizmi önlemek için alınması gerekli tedbirler ve öneriler ile peyzaj mimarlarına düşen görevler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Aydınlatma elemanları vandalizme uğradıklarında işlevlerini yerine getiremediği için yakın çevresi de vandalizme maruz kalabilmekte ve bu alanlarda endişe ve korku artmaktadır. Aydınlatma elemanlarını vandal hareketlerden korumak için yer seçimine, kullanılan malzemeye, düzenli bakımlarının yapılmasına özen gösterilmelidir.

- Parklarda çöplerin çevreye atılması, çöp kutularının tahrip edilmesi diğer vandal eylemlerdir. Çöp kutularının her türlü etkiye karşı dayanıklı malzemelerden yapılması ve alandaki çöplerin uzaklaştırılması estetik açıdan alana katkı sağlayacağı gibi vandalizmin önüne geçecektir.
- Parklarda yoğun bir şekilde kullanılan bitkiler de vandalizm eylemlerine maruz kalmaktadır. Bitkisel tasarım yapılan alanların ya da bitki kasalarının bakımlarının yapılması, eksikliklerinin giderilmesi, çevresindeki çöplerin uzaklaştırılması önem arz etmektedir.
- Bu alanlarda mevsimlik çiçeklerin üzerlerine basılmak suretiyle zarar verilmesi, ilan veya reklam amaçlı ağaçlara kâğıt ve afiş yapıştırılması veya zımbalanması vb. şekilde vandalistik eylemler görülmektedir. Ayrıca kuru gıda atıklarının çim alan üzerine atılması bitkilere zarar vermekle birlikte kötü görüntü oluşturmaktadır.
- Vandalizme sık rastlanan alanlardan birisi de çocuk oyun alanlarıdır. Bu alanlarda donatıların kırıldığı, söküldüğü, zemin malzemesinin yer yer kaldırıldığı görülmektedir. Bu durumlar kazalara, yaralanmalara sebep olacağından alan için uygun malzemelerin seçilmesi, düzenli bakımlarının yapılması vandalizmi önleyecektir.
- Parklarda; aşırı ısı farklılıklarına, yetersiz drenaja, ağır trafik yüküne ya da hatalı uygulamalara maruz kalmış zemin elemanlarının bakımı yapılmalıdır. Aksi takdirde ortaya çıkan kötü görünümüler vandalist eylemleri teşvik etmektedir.
- Duvarların üzerine yazı ve resim kazınarak ve boyanarak zarar verilmesi, sınırlama elemanlarında en fazla rastlanılan vandalistik hareketlerdir. Bu yüzden çevreleme elemanların doğru ölçüde ve doğru yerlerde, beton veya çelik birimler, trafiği engelleme ve sınırlama açısından olduğu kadar, vandalizm ile mücadelede de önemlidir.

Yukarıda yer alan maddelerde de görüldüğü gibi parkların planlanma ve tasarım aşamalarında şehir bölge planları

ve peyzaj mimarları başta olmak üzere ilgili tüm mesleklerin bir arada çalışıp ortak karar alması doğru yer seçimi ve en iyi tasarım kararları ile vandalizmin en başta önlenmeye çalışması doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu tasarım kararları kullanımların yerlerinin belirlenmesi, dayanıklı malzeme seçimi, bitkisel tasarımla oluşturulacak mekanların gizlilik hissi vermemesi, alanda her yerin yapılan tasarımla güvenli ve çevreden görülebilecek şekilde olmasıdır. Uygulama aşamasından sonra ise kentsel donatı elemanlarının, çocuk oyun donatılarının, bitkilerin, zemin elemanlarının, spor alanlarının ve donatıların düzenli bakım-onarımları yerel yönetimlere düşmektedir. Bunun için de yerel yönetimlerin bakım ve onarım çalışmaları için bütçe ayırmaları ve personel eğitmeleri gerekmektedir. Ayrıca bu alanları kullanan kişilerde farkındalık oluşturmak amacıyla vandalizmin verdiği zararları anlatan yazılar, uyarıcı bilgiler parklardaki bilgilendirme panolarında yer almalıdır. Son olarak ise kamu kurumları tarafından Vandal hareketlerde bulunanlar tespit edilip cezalandırılması vandalizmin engellenmesinde önemli bir adım olacaktır.

Yazar Katkıları

Büşra ONAY: (a) Fikir, (b) Çalışma Tasarısı, (h) Metin Yazma, (g) Analiz, yorum

Beyza SAVA: (c) Literatür Taraması, (f) Veri Toplama

Candan KUŞ ŞAHİN: (d) Danışmanlık, (i) Eleştirel İnceleme, (g) Analiz, yorum

Etik Beyanı

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

KAYNAKLAR

- Akyol, E. (2006). *Kent mobilyaları tasarım ve kullanım süreci* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Aslan, H. (2018). Vandalizmin azaltılmasında peyzaj tasarım kriterlerinin belirlenmesi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 7(2), 74-82.
- Boessen, A., & Hipp, J.R. (2018). Parks as crime inhibitors or generators: Examining parks and the role of their nearby context. *Social Science Research*, 76, 186-201.
- Dinçtürk, S. (2007). *Türkiye’de vandalizmin sosyal, ekonomik ve psikolojik boyutları*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Afyon Kocatepe Üniversitesi.

- Fisher, J., & Baron, M.R. (1982). An equity-based model of vandalism. *Population and Environment*, 5(3), 182-199.
- Goldstein, A.P. (1996). *The psychology of vandalism*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0176-7>
- Maruthaveeran, S., & Bosh, C.K. (2015). Fear of crime in urban parks – What the residents of Kuala Lumpur have to say? *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, 702-713.
- Olgun, R. (2013). *Kentsel yeşil alanlarda vandalizm ve olası tasarım çözümlerinin Antalya örneğinde incelenmesi*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Akdeniz Üniversitesi.

- Olgun, R., & Yılmaz, T. (2015). Vandalism and possible design solutions in urban green areas: The case of Antalya. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 12(3), 27-39.
- Öğülmüş, S. (2000). Tahripçilik (vandalizm), düşük yoğunluklu bir sapma. *Polis Bilimleri Dergisi*, 2(7-8), 73-86.
- Sağlık, A., Uruk, Ö., Sağlık, E., & Kelkit, A. (2020). Gelibolu tarihi alanı ziyaret noktalarında bulunan peyzaj donatı elemanlarında vandalizm. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 77-88.
- Sakıcı, Ç. (2022). Kentsel yeşil alanlarda vandalizm ve vandalizmi etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Inonu University Journal of Art and Design*, 12(25), 18-28.
- Sarıtaş, E. (2009). *Türk Ceza Hukuku'nda mala zarar verme suçu ve kriminolojik açıdan vandalizm*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Scott, M. L., LaVigne, N., & Palmer, T. (2007). *Preventing vandalism*.
<https://www.urban.org/sites/default/files/publication/31256/1001192-Preventing-Vandalism.PDF>
- Şahin, C., Onay, B., & Evcı, A. (2019). Kentsel açık ve yeşil alanlarda vandalizmin incelenmesi: Isparta Ayazmana ve Gökçay mesire alanları örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 198-205.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.617935>
- Tarakçı, F. (2003). *Kentsel çevrede vandalizm: vandalizmin bank tasarımına etkileri*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Topaloğlu, A.A. (2021). *Peyzaj tasarım kriterleri ile vandalizm ilişkisinin kent parkları örneğinde incelenmesi*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi.
- Wu, J.H., Lin, H.W., & Liu, W.Y. (2020). Tourists' environmental vandalism and cognitive dissonance in a national forest park. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126845.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126845>
- Yavuz, A., & Kuloğlu, N. (2010). An experimental study on vandalism: Trabzon Parks. *Scientific Research and Essays*, 5(17), 2463-2471.
- Yavuzer, Y. (1998). *Niğde ilindeki öğretmenlerin okul tahripçiliğine karşı ideolojik yönelimleri*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi.
- Yıldırım, A. (2000). *Kamusal alanlarda vandalizm*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Yücel, G.F. (2007). Park alanlarında kullanıcı memnuniyeti açısından bakımın önemi. *MEGARON*, 2(3), 176-187.

Bulanık Analitik Hiyerarşi Algoritması ile Sığırlarda Damızlık Seçimi

Breeder Selection in Cattle with Fuzzy Analytical Hierarchy Process

Rifai KUÇI¹, Ali Hakan IŞIK¹, Nimet IŞIK², Afşin KÖKER³

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Burdur, Türkiye

³ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimleri Bölümü, Burdur, Türkiye

Article Info

Research Article

DOI: 10.29048/makufebed.1338891

Corresponding Author

Rifai KUÇI

Email:

203012007@ogr.mehmetakif.edu.tr

Article History

Received: 07.08.2023

Revised: 14.01.2024

Accepted: 14.01.2024

Available Online: 15.06.2024

To Cite

Kuçi, R., Işık, A. H., Işık, N., & Köker, A. (2024). Bulanık analitik hiyerarşi algoritması ile sığırlarda damızlık seçimi. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 15(1), 11–21. <https://doi.org/10.29048/makufebed.1338891>

Öz: Sığır yetiştiriciliği konusunda bilgisi sınırlı olan ve yetiştirme zorluklarını dikkate alan damızlık sığır yetiştiricileri için tasarlanan uygulamamız, sığır seçiminde yardımcı olmaktadır. Bu uygulama, çok kriterli karar verme süreçlerini dinamik bir şekilde ele alarak her sektörde kullanılabilir niteliktedir. Uygulamanın arka kısmında Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) hesaplamaları kullanılmış, ölçeklendirme için ise Chang yöntemi adımları uygulanmıştır. Geliştirilen uygulamada PHP, Vue.js teknolojileri kullanılmış, verilerin kaydedilmesi için MySQL veritabanı tercih edilmiştir. Yetiştiricilerin görüşleri göz önünde bulundurularak belirlenen kriterler üzerinde matematiksel hesaplamalar yapılarak karmaşık karar verme süreçleri, geliştirilen uygulama üzerinden çözülmektedir. Çalışmada, yetiştiricilerin uygulamaya kaydettiği modeller üzerinden seçim testleri yapmalarına ve istedikleri alternatifleri yeni modeller oluşturarak değerlendirmelerine olanak tanınmıştır. Bu sayede belirlenen öncelik değerleri açısından bulanık ağırlık değeri en yüksek olan alternatif seçilerek en uygun damızlık sığır tercih edilmektedir. Uygulama sayesinde yetiştiriciler, maliyeti ve üretim açısından önemli verim elde edecekleri en uygun damızlık sığırı seçebilecektir. Bu uygulama, sığır yetiştiriciliği alanında bilgi eksikliğini gidermeye ve karar verme süreçlerini kolaylaştırmaya yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: BAHS, damızlık sığır seçimi, çok kriterli karar verme yöntemleri.

ABSTRACT: Our growth application assists breeders aiming to raise breeding cattle, addressing challenges in the breeding process for those with limited knowledge about current cattle quantities. This application handles multi-criteria decision-making processes dynamically and ensures its performance is consistent. Fuzzy Analytic Hierarchy (FAHP) programming in the back part of the application was used, and the Change method steps were applied for scaling. PHP and Vue.js technologies were used during the development, and MySQL database was preferred to save the records. Consistent programming on recorded intervals with growers in mind, complex decision-making parts are solved through separate application. The study allows breeders to conduct selection tests on the models in which they have recorded their applications and to evaluate the desired alternatives to create new models. In this way, suitable breeding cattle are preferred by choosing the alternative with the highest gloss value and weight value. Thanks to the application, breeders will be able to choose the most suitable breeding stock to achieve significant efficiency in terms of cost and production. This application will help fill the gap in knowledge in yield areas and facilitate decision-making processes.

Keywords: FAHP, breeding cattle selection, multi-criteria decision making methods.

1. GİRİŞ

Hayvansal üretimin artırılmasının temel hedefi, her bir hayvan için elde edilen ürün veya hizmetin miktarını ve kalitesini yükseltmek, aynı zamanda yüksek verimli ırkların sürdürülebilirliğini sağlamaktır (Demirel vd., 2008). Hayvancılık sektörü, insanların beslenmesinde temel bir rol oynayan hayvansal ürünleri üreten bir sektör olmasının yanı sıra, istihdam oluşturma ve ülke ekonomisine katkıda bulunma açısından önemli bir tarımsal faaliyet alanıdır (Xu ve Liao, 2013). Sığırların yetiştirilmesi, doğru beslenme, uygun barınak koşulları, veteriner bakımı ve genetik seçim gibi faktörleri içeren dikkatli bir yönetim gerektirir (Göksu ve Güngör, 2008). Sığırların yetiştiriciliği, sağlıklı bir hayvan popülasyonu ve sürdürülebilir bir tarım sistemi için büyük bir sorumluluk gerektiren önemli bir faaliyettir (Adar vd., 2016). Sığır yetiştiriciliğinde tahmin edilebilirlik, en karmaşık ve önemli konulardan biridir. Tüm seleksiyon yöntemlerinin temel amacı, damızlık adaylarının genetik değerlerini kolay ve yüksek bir doğrulukla tahmin edilebilmektedir (Harianja ve Lumbantoruan, 2019).

Geleneksel damızlık sığır yetiştirme yöntemleri, yeni teknolojilerin uygulanması ile daha verimli, sağlıklı ve karlı hale getirildi. İlk olarak, genetik üreme ve üreme programlarında kullanılan teknolojik yenilikler, damızlık sığırların korunmasını ve sınırlandırılmasını artırmakta önemli bir rol oynamaktadır (Mulubrhan vd., 2014). Hayvanların sağlık izlemelerini takip etmek için kullanılan sensörler, sığır yetiştiricilerine hayvanların hareketlerini, vücut koruma, yem tüketimini ve süt tüketimini takip etme imkânı sunmaktadır. Böylece, temizliği erken yıkama ve tedavisi sağlanarak sığırların sağlığını korumakta ve üretimleri artırılmaktadır (Tukimin vd., 2021). Yeni teknolojiler, damızlık sığır yetiştiriciliğinin verimliliğini artırırken aynı zamanda sağlık takibini ve hastalık kontrolünü geliştirmektedir (Naghadehi vd., 2009).

Damızlık sığır seçiminde yanlış verilebilecek kararı en aza indirgeyerek, belirlenen kriterler haricinde yetiştiricinin de kişisel fikirlerini göz ardı etmemek için Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yönteminin karar verme sürecine uygun olacağı söylenmektedir (Hu vd., 2009). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yönteminin tercih edilme sebeplerinden biri, yetiştiricinin belirsizliğini tolere edebilmesidir. (Dağdeviren, 2007). AHS yönteminde kesin değerler ele alınarak çözümlene sağlanırken BAHS yönteminde ikili kriter karşılaştırması sonucundaki belirsizlik, kullanılan üçgen bulanık sayıları sayesinde yok edilmektedir (Dağdeviren, 2005).

Türetilen kriterlerle birlikte objektif değerlendirmenin yanı sıra tüketicinin düşüncelerini de matematiksel hesaplamaya dökerek karmaşık problemleri çözümlen BAHS, diğer karar verme yöntemlerine göre önceliklidir (Bulut vd., 2012). BAHS, matematiksel ifade yeteneği sayesinde soyut kriterleri önem sırasına göre karşılaştırabilen bir yöntemdir. Bu çalışmada BAHS yöntemini kullanarak damızlık sığır seçimi yapmak isteyen

bir yetiştirici ele alınarak örnekleme yapılmıştır. Bu şekilde yetiştiricinin alternatifleri arasından yanlış karar vermesini minimize ederek bütçesi ve hedeflerine uygun en etkili kararı vermesi için hesaplamalar yapılmaktadır (Mikhailov ve Tsvetnov, 2004). BAHS yöntemi, yetiştiricinin kişisel tercihlerini ve önceliklerini matematiksel olarak hesaplamaya dökerek objektif bir değerlendirme yapmasına yardımcı olmaktadır (Noorollahi vd., 2016).

Bulanık AHS yaklaşımının literatürde sıklıkla kullanılmasına rağmen gerçekleştirilen uygulamalar üzerinde formüllerle birlikte açıklanan makalenin fazla olmadığı tespit edilmiştir (Ahmed ve Kilic, 2019). Yapılan bazı çalışmalar;

Türkiye 'de otomotiv ana sanayisinde faaliyet gösteren bir işletmenin sac parça tedariki için çalışma yapmış ve bu çalışmada bulanık AHS ve Bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi yardımıyla bulunması amaçlanmıştır (Uçkun vd., 2023). Çok kriterli karar verme yöntemini; tekstil sektöründe tedarikçi seçiminin önemini, tedarik zincirlerinde dış risklerin esas kaynağının tedarikçiler olduğunu, tedarik seçiminde BAHF kullanılarak uygulama ile önemi anlatılmaya çalışılmıştır (Çalık, 2022). İşletmeler, rekabet avantajını elde etmek ve kar marjlarını artırmak amacıyla uygun 3PL (üçüncü parti lojistik) firmaları ile iş birliği yapmaları gerekmektedir. 3PL firma seçiminde birden fazla kriter göz önünde bulundurularak yapılması gerektiğini Bulanık AHS ve Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı değerlendirme yöntemi kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir (Yürüyen ve Ulutaş,). Küreselleşme ve teknolojik gelişmeler pazar koşullarını ürünlerin tedariki için kullanılan yollarda geliştirmiştir. Kargo hava taşımacılığı önemli alternatiflerden biridir. Kargo uçağı seçiminde aynı anda birden fazla kriter göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çok kriterli kargo uçak seçiminde Bulanık AHS ve Bulanık Gri ilişkisel analiz yöntemleri ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Akyurt ve Kabadayı, 2020). Günümüz firmalar arasındaki market payında sürdürülebilirliğini sağlamak ve kar oranını arttırmak için tedarik zincir yönetimini bulanık mantıktan faydalanarak; üç müşteri, üç ürün ve dört tedarikçiden oluşan problem ele alan bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Aydın ve Çağır, 2020). Holştayn ırkı sığırlarda bazı verim özelliklerini ele alarak Burdur ili merkezinde yetiştirilen siyah alaca sığırlara ait bazı süt ve döl verim özellikleri ile ilgili çalışmasını gerçekleştirmiştir (Akkaş ve Şahin, 2008). Damızlık bir boğanın hangi yöntemlerle seçildiği ve kullanıma sunulan spermaların değerlendirilmesi ile ilgili çalışma gerçekleştirilmiştir (Tırpan ve Tekin, 2018).

Çalışmada, damızlık sığır seçimine yönelik BAHS 'in adım adım formülleriyle detaylı bir şekilde açıklandığı ve hem damızlık sığır seçimi hem de BAHS 'in bakımına büyük katkı sağlandığı belirtiliyor. BAHS için ayrı uygulama, farklı sektörlerde kullanım kolaylığı sunmaktadır. Uygulama, çoklu seçim kriterlerinde dinamik olarak kriter belirleme değerlendirmesini yaparak, kullanıcıların girdiği kriter ve değerleri en iyi sonuçlara dayanarak sunabilmektedir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Bulanık küme, süreklilik dereceleri olan bir nesne sınıfıdır ve üyelik matematiksel olarak belirsizlikleri ve belirsizliği temsil etmek için "0" ile "1" arasındaki değer aralığını kullanır. Bulanık küme teorisi, AHP yöntemiyle karşılaştırıldığında klasik kümeler teorisinden daha geniş bir bilgi sağlar ve belirsiz verileri temsil etmede, gerçek dünyayı yansıtmada daha kullanışlıdır. Tablo 1'de belirlenen önem kriterlerinin değerleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Bulanık önem değerleri

Dilsel ölçek	Bulanık sayı ölçeği	Bulanık sayı karşılık ölçeği
Aynı ö. s.	(1,1,3)	(1/3, 1, 1)
Az ö. s.	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)
Kuvvetli ö. s.	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok kuvvetli derece ö. s.	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Aşırı derecede ö. s.	(7,9,9)	(1/9,1/7,1/7)

Ö.S.: Ölçeğe Sahip

Tüketici, genellikle karar vermesi zor olduğu durumlarda belirli değer aralıklarını tercih eder. Bu çalışmada, Chang tarafından önerilen Genişletilmiş Analiz Yöntemi kullanılarak diğer yöntemlere göre daha az hesaplama gerektiren, daha anlaşılır ve daha az zaman alan bir yaklaşım benimsenmiştir (Chang, 1996).

Bulanık üçgen sayı değerleri Şekil 1'de örnek olarak gösterilmiştir;

a değeri; olası en küçük değeri,

b değeri; en olası değer,

c değeri; olası en yüksek değeri,

BAHS hesaplamaları yapılırken üçgen bulanık sayıları için dört temel işleme ihtiyaç duyulmaktadır;

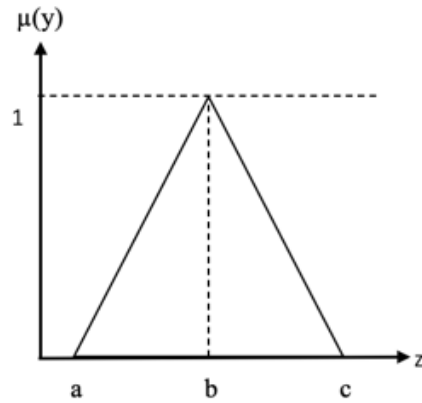
Toplama: $S1 + S2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$,

Çıkarma: $S1 - S2 = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2)$,

Çarpma: $S1 * S2 = (a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2)$,

Bölme: $S1 / S2 = (a_1 / a_2, b_1 / b_2, c_1 / c_2)$,

Bulanık sentez hesaplamaları yapılırken; a, b, c değişkenlerine sahip olan Chang'ın genişletilmiş analizinde aşağıdaki adımlar izlenerek yapılacaktır:



Şekil 1. Bulanık üçgen değerleri

2.2. Yöntem

$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, M_{g_i}^3, \dots, M_{g_i}^m, i = 1, 2, 3, \dots, n$; buradaki $M_{g_i}^m$ değeri l, m, u değişkenlerine karşılık gelmektedir.

BAHS yöntemine göre bulanık büyüklük değeri hesaplama i. Nesneye göre Formül 1'deki gibi hesaplanır;

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j * \left(\sum_{i=1}^n = \sum_{i=1}^n M_{g_i}^j \right)^{-1} \quad (1)$$

İfadesinin m değerler üzerindeki toplamı işlemi gerçekleştirilir. Ardından oluşan denklemin vektörü Formül 2'deki gibi hesaplanır.

$$\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right)^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (2)$$

Kriterler için vektörün tersi hesaplandıktan sonra sonuçların olasılık değerleri hesaplanma işlemi yapılır. Hesaplama da olasılık değerleri ile her bir kriter için ağırlık değeri hesaplanır (Kahraman vd., 2004). Normalize edilmiş hali W olarak hesaplanır. Burada W değeri normalize işlemine tabi tutulduğu için bulanık sayı olmaktan çıkar (Kubler vd., 2016). Hesaplanan bulanık ağırlıkları ile seçime tabi tutulan kriterler tek tek ele alınarak bulanık öncelik değerleri hesaplanır. Chang'ın önerdiği dilsel parametreler ve bu parametreler için tanımlanan bulanık üçgen sayıların kullanılacağı, alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi planlanmaktadır.

Alternatifler için hesaplanan bulanık öncelik değerlerinin durulaştırılması için aşağıda adımları belirtilen durulaştırma algoritması kullanılacaktır. Bu algoritma, bulanık sayıların farklı α -kesme seviyelerinde işleme tabi tutulmasını içerir ve bu işlemler sayesinde durulaştırılmış öncelik değerinin bulanık sayıyı temsil etme derecesi artırılır. Bulanık ölçme değerlendirme skalası Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Bulanık değerlendirme skalası

Dilsel değişken	Üçgensel bulanık sayı
Çok iyi	(3,3,5)
İyi	(1,3,5)
Orta	(1,1,1)
Düşük	(0,2,0,33,1)
Çok düşük	(0,2,0,2,0,33)

Durulaştırma işlemi sırasında α -kesme işlemi için sırasıyla 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, λ iyimserlik indeksi için uygun bir karar verebilmek amacıyla 0.5 değeri tercih edilmiştir. α -kesmeleri sonucunda alt ve üst sınırlar hesaplanır.

$W_{kA} = k$, alternatife ait birleştirilmiş alt sınır öncelik değeri,
 $W_{kÜ} = k$, alternatife ait birleştirilmiş üst sınır öncelik değeri,
Hesaplamalar sonucunda birleştirilmiş alt ve üst öncelik değerleri aşağıdaki ifade ile k . adaya ait durulaştırılmış öncelik değeri belirlenir;

W_{dk} : k . Adaya ait durulaştırılmış öncelik değeri

λ : iyimserlik indeksi

$$W_{dk} = \lambda W_{kÜ} + (1 - \lambda) W_{kA}. \lambda \in [0,1]$$

Pratik uygulamalarda λ iyimserlik indeksi için farklı değerler olan $\lambda=1$, $\lambda=0,5$ ve $\lambda=0$, karar vericinin sırasıyla iyi düşünen, ılımlı düşünen ve kötü düşünen görüşlerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Son aşamada, durulaştırma işlemi uygulanan bulanık öncelikler normalleştirilir ve böylece alternatif öncelikler belirlenir. En yüksek önceliğe sahip olan alternatif, sığır yetiştiricisi için en uygun karar olarak öngörülür.

BAHS akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. BAHS ilk işlem olarak kriter ve kriterlere bağlı olarak alt kriterler belirlenerek devam edilir. Akış şemaları aşağıdaki gibidir;

Kriterlerin ve Alt Kriterlerin Belirlenmesi: Karar verme sürecini yönlendiren kriterler ve bu kriterlere bağlı alt kriterler belirlenir. Karar ağacı şeklinde düzenlenir.

İlişkisel Ağırlıkların Verilmesi: Kriterler arasındaki ilişkiler, uzmanların veya karar vericilerin subjektif değerlendirmeleriyle ağırlıklarla ifade edilir.

Fuzzy Çift Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması: Kriterlerin birbirine göre göreceli olarak önem düzeyleri belirtilir.

Bulanık Çift Karşılaştırma Matrisinin Dönüştürülmesi: Oluşturulan çift karşılaştırma matrisleri, bulanık çift karşılaştırma matrisine dönüştürülür.

Bulanık Çift Karşılaştırma Matrisinin Ağırlıklandırılması: Matrislerdeki bulanık değerler, kriterlerin birbirine göre göreceli önemini ifade eden ağırlıklara dönüştürülür.

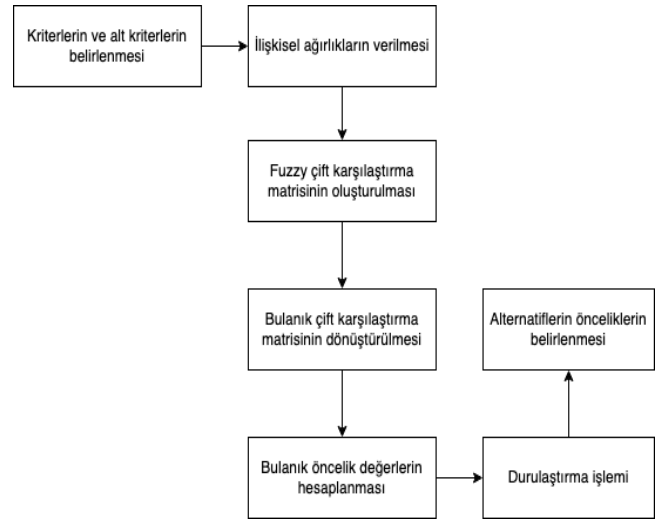
Bulanık Öncelik Değerlerinin Hesaplanması:

Ağırlıklandırılmış bulanık çift karşılaştırma matrisleri kullanılarak kriterlerin bulanık öncelik değerleri hesaplanır.

Durulaştırma İşlemi: Durulaştırma, bulanık sayıları net sayılara dönüştürme işlemidir.

Alternatiflerin Önceliklerinin Belirlenmesi: Son adımda, durulaştırma işlemi yapılan bulanık öncelikler normalleştirilir ve böylece alternatif öncelikler belirlenir.

Bu adımlar, BAHS işleminin temel süreçlerini açıklar. BAHS, bulanık ve karmaşık karar verme problemlerinde etkili bir şekilde kullanılabilir ve sonuçları kullanıcılar tarafından daha kolay anlaşılabilir hale getirir.

**Şekil 2.** BAHS akış şeması

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Geliştirdiğimiz uygulama da seçimi yapılmak istenen damızlık sığır yetiştiricilerin, belirledikleri öncelikler doğrultusunda BAHS yardımıyla en uygun seçimin yapılmasına yardımcı olmasını hedefleyen bir uygulama geliştirilmiştir. Bu çalışmada sığır yetiştiricilerin karar aşamasında iken dinamik olarak önceliklerini belirleyip gerekli veriler girildikten sonra en uygun kararın sonucunu gösteren web tabanlı uygulama geliştirilmiştir. Web tabanlı uygulamamızda açık kaynaklı programlama dillerinden PHP ile yazılmıştır. Veritabanı olarak MySQL kullanılmıştır.

Geliştirilen uygulamada kullanıcıların önceliklerini dinamik bir şekilde girilmesi, kullanıcılar yapılacak olan seçimde ana kriterleri ekleyerek kriter girişinin alt tarafına listelenmesi, listelenen kriterlerin yanında bulunan çarpı ikonu ile belirlenmiş olan kriter silinebilmektedir. Uygulamamızda örnek olarak damızlık sığır seçimi için dört ana kriter belirlenmiştir (Şekil 3).

Şekil 3. BAHS 'de ana kriterlerin belirlenmesi

BAHS hesaplaması yapılırken öncelikle kriterler belirlenmesi gerekmektedir. Hesaplamanın yapılabilmesi için devamında belirlenen kriterlere ait alt kriterlerin girilmesi gerekmektedir. Şekil 4'de girilen kriterlere ait alt kriterlerden bazıları girilerek gösterilmeye çalışılmıştır. Örnek olarak "Genel Görünüş" kriterinin kendine ait üç alt kriteri bulunmakta, "Sütçülük Karakteri" bir alt kriterden oluşmakta, "Beden Kapasitesi" ise iki farklı alt kriterden oluşmaktadır, "Meme sistemi" kriterinde ise henüz alt kriterin belirlenmediğini belirleyebilmek için "Alt Faktör Oluştur" butonu ile alt kriterlerin girilebileceği ekrana yönlendirmektedir. Alt kriter girilmediği sürece kriter ağırlığının hesaplanmadığı Şekil 4'de gösterilmiştir. BAHS işleminin devam etmesi için kriterlere ait olan alt kriterlerin girilmesi ve alt kriterlere ait BAHS ağırlıkları

hesaplanmalıdır.

#	Ana Faktörler	Alt Faktörler/Oluştur	Sonuçlar
1	Genel Görünüş	İrk Özelliği-baş Omuz-sirt-bel-sağrı Bacaklar-ayaklar	Hesapla
2	Sütçülük Karakterleri	Boyun	Hesapla
3	Beden Kapasitesi	Göğüs Karın	Hesapla
4	Meme Sistemi	Alt Faktör Oluştur	Hesaplayabilmek için alt faktör giriniz

Şekil 4. BAHS kriterlerin listelenmesi

kullanıcı seçimde öncelikleri belirlenmesi ve ardından alt kategorileri belirlenmesinden sonra önceliklerin sırasıyla bulanık üçgen yöntemiyle ağırlıkları hesaplanarak seçme işlemlerine devam edilmektedir. Şekil 5'te Genel Görünüş önceliğine sahip üç farklı alt faktörü bulunmaktadır. Uygulama üzerinden kullanıcılara alt faktörlerin birbirlerine göre olan değerlerini girileceği alanlar üzerinden bulanık üçgen ağırlıkları uygulama üzerinden hesaplanmaktadır. Şekil 5'de sağ üst tarafta ölçek değerleri kullanıcılara bilgi olarak gösterilmiştir; 1,3,5,7,9 sayıları ana değerler, 2,4,6,8 değerleri ise ara değerler olarak gösterilmiştir.

#	İrk Özelliği-baş	Omuz-sirt-bel-sağrı	Bacaklar-ayaklar
İrk Özelliği-baş	1	0,2 0,25 0,5	0,2 0,25 0,5
Omuz-sirt-bel-sağrı		1	0,2 0,25 0,5
Bacaklar-ayaklar			1

Şekil 5. Ağırlık değerinin hesaplanması

Geliştirdiğimiz uygulama üzerinden bulanık değer ağırlıkları hesaplanmaya çalıştığımız alt faktörlerin ikinci aşama olarak geometrik değer sonuçları Şekil 6 'da gösterilmiştir.

Kriterler

- K1 => İrk Özelliği-baş
- K2 => Omuz-sırt-bel-sağrı
- K3 => Bacaklar-ayaklar

Bulanık ölçek değerleri

- Yeterli => 1
- Orta => 3
- Güçlü => 5
- Çok Güçlü => 7
- Ağır Güçlü => 9
- Ara değerler => 2, 4, 6, 8

Fuzzy AHP Değerleri

#	İrk Özelliği-baş	Omuz-sırt-bel-sağrı	Bacaklar-ayaklar	Geometrik D.
İrk Özelliği-baş	1,1,1	0,2,0,25,0,5	0,2,0,25,0,5	(0,34,0,4,0,63)
Omuz-sırt-bel-sağrı	2,4,5	1,1,1	0,2,0,25,0,5	(0,74,1,136)
Bacaklar-ayaklar	2,4,5	2,4,5	1,1,1	(1,59,2,62,2,92)
-	-	-	+	(2,67,3,92,4,91)

Geri

Şekil 6. Geometrik değerlerinin hesaplanması

Geometrik değerlerin hesaplanmasının ardından arka planda yapılan işlemlerle her bir alt faktörün bulanık ağırlıkları ve bulanık ağırlıklarına karşılık gelecek ağırlık ortalaması Şekil

7'de gösterilmiştir. Hesaplamalar sonucu seçimde etkili olacak olan faktörü (etkeni) alt kısma bilgi olarak yazdırılmıştır.

Kriterler

- K1 => İrk Özelliği-baş
- K2 => Omuz-sırt-bel-sağrı
- K3 => Bacaklar-ayaklar

Bulanık ölçek değerleri

- Yeterli => 1
- Orta => 3
- Güçlü => 5
- Çok Güçlü => 7
- Ağır Güçlü => 9
- Ara değerler => 2, 4, 6, 8

Fuzzy AHP Ağırlık Değerleri

#	Ağırlık Değerleri	Ağırlık Ortalaması
İrk Özelliği-baş	(0,068,0,104,0,233)	0,135
Omuz-sırt-bel-sağrı	(0,148,0,216,0,503)	0,304
Bacaklar-ayaklar	(0,318,0,655,1,08)	0,684

En iyi Seçim : Bacaklar-ayaklar, Değer = 0.684

Şekil 7. Bulanık ağırlıkları hesaplanması

Ağırlıkların ortalama değeri, bulanık üçgen olarak yazılan ağırlık değerlerin toplamının ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Aşağıda ağırlık ortalaması gösterilmiştir.

İrk Özelliği-baş ağırlık ortalaması:

$S\Delta = (0,068 + 0,104 + 0,233) / 3 = 0,135$ olarak hesaplanmaktadır.

0,068 değeri; Olası en küçük değeri simgeler,

0,104 değeri; En olası değeri simgeler,

0,233 değeri; Olası en büyük değeri simgelemektedir.

Yukarıda İrk Özelliği-baş ağırlık değerleri ve ağırlık değerleri detaylı bir şekilde anlatılmaya çalışılmıştır. Diğer alt faktörler için işlemler sırası ile yapılarak Şekil 8'deki sonuçlar elde edilmiştir.

#	Ana Faktörler	Alt Faktörler/Olaştur	Sonuçlar
1	Genel Görünüş	İrk Özellği-baş Omuz-sırt-bel-sağın Bacaklar-ayaklar	0,068,0,104,0,233 0,148,0,26,0,503 0,318,0,665,1,08
2	Sütçülük Karakterleri	Boyun	1,1,1
3	Beden Kapasitesi	Göğüs Karn	0,215,0,334,0,416 0,503,0,663,0,983
4	Meme Sistemi	Meme Genel Ön yan Arka Yan Meme Başları Meme damarları	0,051,0,088,0,103 0,065,0,066,0,104 0,158,0,134,0,234 0,185,0,341,0,356 0,392,0,395,0,425

Şekil 8. Alt kriterlerin ağırlık değerleri

Geliştirdiğimiz uygulama ile dinamik olarak belirlenen ana faktörlere ait alt faktörlerin değerleri hesaplanmıştır. Sıradaki yapılacak işlemde ise ana faktörlerin birbirleri arasındaki bulanık ağırlıkları hesaplanma işlemi yapılacaktır. Şekil 8’de bulanık ağırlıkları hesapla butonu ile ana kriterlerin alt kriterlerde olduğu gibi ilk olarak geometrik ortalaması daha sonra ağırlık değerleri ve

devamında ise ağırlık ortalamaları bulunacaktır. Şekil 9’da hesaplamaların nihai sonucu gösterilmiştir. Ana faktör ve alt faktörlere ait hesaplamalar uygulama üzerinden hesaplanmıştır. Ağırlık değerlerinin hesaplamasında değerlerin durulandırma işlemi için 0,5 değeri kullanılmıştır.

#	Ana Faktörler	Alt Faktörler/Olaştur	Sonuçlar
1	Genel Görünüş	İrk Özellği-baş Omuz-sırt-bel-sağın Bacaklar-ayaklar	0,068,0,104,0,233 0,148,0,26,0,503 0,318,0,665,1,08
2	Sütçülük Karakterleri	Boyun	1,1,1
3	Beden Kapasitesi	Göğüs Karn	0,215,0,334,0,416 0,503,0,663,0,983
4	Meme Sistemi	Meme Genel Ön yan Arka Yan Meme Başları Meme damarları	0,091,0,088,0,103 0,065,0,066,0,104 0,158,0,134,0,234 0,185,0,341,0,356 0,392,0,395,0,425

Şekil 9. Bulanık ağırlıkları hesaplanması

Geliştirdiğimiz uygulama üzerinden damızlık sığır seçimi için BAHS kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. İşlemler sonucunda damızlık sığır seçiminde faktörlerin seçiminde ne kadar etkili olacağı hesaplanarak sığırlar üzerinden test edilebilmektedir. Geliştirilen uygulama damızlık sığır seçimi özelinde tüm çoklu kriter seçimlerinde kullanılabilir. Uygulamaya kullanıcı girişi yapılarak kaydolunduğu takdirde hesaplanan model üzerinden

sisteme daha sonra girilerek geçmişte kaydettiğiniz model üzerinden yeni testler yapılabilmektedir.

Şekil 10’da sağ alt tarafta bulunan test ile seçime tabi tutmak istediğiniz sığırlara ait istenen veriler girilerek damızlık için uygun olup olmadığı test edilerek damızlık için en uygun olanın seçilmesi sağlanmıştır.

#	Ana Faktörler	Alt Faktörler ve Bulanık Ağırlıklar	Alt Faktör Global Bulanık Ağırlıkları
1	Genel Görünüş (0,09,0,058,0,117)	İrk Özellği-baş (0,068,0,104,0,233) Omuz-sırt-bel-sağın (0,148,0,26,0,503) Bacaklar-ayaklar (0,318,0,665,1,08)	(0,006, 0,006, 0,027) (0,013, 0,015, 0,059) (0,029, 0,038, 0,126)
2	Sütçülük Karakterleri (0,168,0,094,0,133)	Boyun (1,1,1)	(0,168, 0,094, 0,133)
3	Beden Kapasitesi (0,252,0,19,0,462)	Göğüs (0,215,0,334,0,416) Karn (0,503,0,663,0,983)	(0,054, 0,063, 0,192) (0,127, 0,126, 0,454)
4	Meme Sistemi (0,366,0,637,0,449)	Meme Genel (0,051,0,088,0,103) Ön yan (0,065,0,066,0,104) Arka Yan (0,158,0,134,0,234) Meme Başları (0,185,0,341,0,356) Meme damarları (0,392,0,395,0,425)	(0,019, 0,056, 0,046) (0,024, 0,042, 0,047) (0,058, 0,085, 0,105) (0,068, 0,217, 0,16)

Şekil 10. Bulanık ağırlıkları değerleri

#	Alt Faktörler	Global Bulanık	Puanlama
1	İrk Özelliği-baş	(0.006, 0.006, 0.027)	0,00 0,00 0,00
2	Omuz-sırt-bel-sağn	(0.013, 0.015, 0.059)	0,00 0,00 0,00
3	Bacaklar-ayaklar	(0.028, 0.038, 0.126)	0,00 0,00 0,00
4	Boyun	(0.168, 0.094, 0.133)	0,00 0,00 0,00
5	Göğüs	(0.054, 0.063, 0.192)	0,00 0,00 0,00
6	Karnı	(0.127, 0.126, 0.454)	0,00 0,00 0,00
7	Meme Genel	(0.019, 0.056, 0.046)	0,00 0,00 0,00
8	Ön yan	(0.024, 0.042, 0.047)	0,00 0,00 0,00
9	Arka Yan	(0.058, 0.085, 0.105)	0,00 0,00 0,00
10	Meme Başları	(0.068, 0.217, 0.16)	0,00 0,00 0,00
11	Meme damarları	(0.143, 0.252, 0.191)	0,00 0,00 0,00

Şekil 11. Model testi veri girişi

Şekil 11’de damızlık sığır seçiminde etkili olacak tüm faktörlere ait global bulanık değerleri bilgi amaçlı gösterilmiştir. Teste tabi tutulacak olan sığırlar için değerler girilerek hesaplamalar sonucunda en uygun seçimi yapılmasında büyük bir katkı sağlamıştır

Geliştirilen uygulamada girilen veriler sonucu Şekil 12’de hesaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda model testini kaydetmek için Şekil 12 ’de en aşağıda test ismi veya kodu kaydedilerek diğer damızlıklar arasından ayırt edilmesi sağlanmıştır.

Uygulama da teste tabi tutulan sığırların sonuçları sonuç ekranında gösterilmiştir. Hesaplamalar sonucu damızlık seçimine en uygun olan adayın hangisi olduğunu listenin sonuna bilgilendirme amaçlı olarak yazdırılmıştır. Listede yalnız bir adayın sonucu olduğundan dolayı deneme testi

isimli aday en iyi sonuç olarak gösterilmiştir. Birden fazla aday olması halinde damızlık seçimine en uygun olan en iyi sonuç kısmında yazdırılmıştır.

Geliştirilen uygulamada çoklu seçim yapmak isteyen herkes tarafından kullanılabilir. Ana faktör ve alt faktörler dinamik olarak değerler girilebilmektedir. Bulanık mantık üçgeni, geometrik hesaplamalar, bulanık ağırlık değeri ve son olarak bulanık ağırlık ortalama değerleri bulunarak model oluşturulmaktadır. Oluşturulan modeller üzerinden onları seçim kriterlerine tabi tutarak en iyi seçim sonucu elde edilmesi sağlanmıştır. Uygulamaya kullanıcı girişi yapılarak model oluşturulduğu takdirde model kaydedilebilmektedir daha sonra tekrardan uygulamaya giriş yapıldığında geçmiş modellerim kısmından yeni bir aday seçime tabi tutularak geçmiş adaylar arasında kıyas yapılabilmektedir.

#	Alt Faktörler	Global Bulanık	Puanlama	Test Sonuçları
1	İrk Özelliği-baş	(0.006, 0.006, 0.027)	(0,3,0,11,0,11)	(0.0018,0.00066,0.00297)
2	Omuz-sırt-bel-sağn	(0.013, 0.015, 0.059)	(0,2,0,3,0,5)	(0.0026,0.0045,0.0295)
3	Bacaklar-ayaklar	(0.028, 0.038, 0.126)	(0,3,0,2,0,11)	(0.0087,0.0076,0.01386)
4	Boyun	(0.168, 0.094, 0.133)	(0,5,0,3,0,5)	(0.084,0.0282,0.0665)
5	Göğüs	(0.054, 0.063, 0.192)	(0,5,0,11,0,5)	(0.027,0.00693,0.096)
6	Karnı	(0.127, 0.126, 0.454)	(0,2,0,3,0,5)	(0.0254,0.0378,0.227)
7	Meme Genel	(0.019, 0.056, 0.046)	(0,3,0,11,0,2)	(0.0057,0.00616,0.0092)
8	Ön yan	(0.024, 0.042, 0.047)	(0,3,0,11,0,5)	(0.0072,0.00462,0.0235)
9	Arka Yan	(0.058, 0.085, 0.105)	(0,5,0,3,0,2)	(0.029,0.0255,0.021)
10	Meme Başları	(0.068, 0.217, 0.16)	(0,5,0,11,0,3)	(0.034,0.02387,0.048)
11	Meme damarları	(0.143, 0.252, 0.191)	(0,11,0,3,0,7)	(0.01573,0.0756,0.1337)
Toplam				(0.24113, 0.22144, 0.67123)

Şekil 12. Model test hesaplamaları

Geliştirdiğimiz web sitesi uygulamasının akış şeması Şekil 13’de gösterilmiştir. Kriterli seçim için yapılan işlemlerde kullanılabilecek uygulamamızda sisteme kaydolmak üzere modellerini kaydedebilir ve akabinde tekrardan uygulama üzerinden geçmiş modeller üzerinden modeli test edebilir veya kullanıcı sisteme kaydolmadan da uygulamayı kullanabilmektedir.

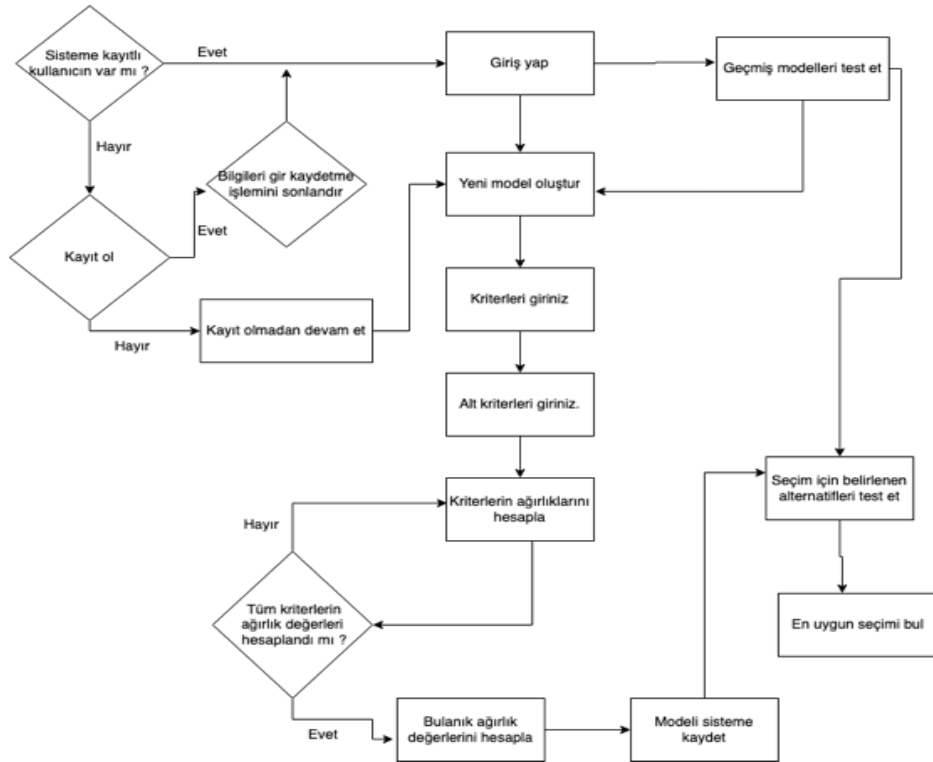
Çoklu kriter seçiminde uygulamada ilk olarak kullanıcı kriterleri ve kriterlere bağlı alt kriterleri belirleyerek sistemi

kullanmaya başlamaktadır. Akış şemasında da görüldüğü gibi kriterlerden sonra her bir kriterin bulanık ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Tüm kriterlerin bulanık değerleri hesaplandıktan sonra tüm kriterlere ait bulanık ağırlık değerleri bulanık üçgen sayı modelinde bulunur.

Model oluşturma işlemi tamamlandıktan sonra kullanıcı seçim alternatiflerini test eder ve test sonucunda en uygun damızlık sığır seçimini elde etmesine yardımcı olur. Sisteme

kullanıcı girişi yaparak kaydolduğu takdirde modeli sistemine kaydederek tekrar uygulamaya giriş yaptığında kaydettiği modeller üzerinden hızlıca test eder ve geçmişte

yaptıkları testler ile kıyas edilebilmektedir.



Şekil 13. Uygulama akış şeması

4. SONUÇLAR

BAHS yöntemi, damızlık sığır yetiştiriciliği gibi karmaşık ve çok kriterli karar verme problemlerine uygulandığında değerli sonuçlar sunabilir. Damızlık sığır yetiştiriciliği, verimli ve kaliteli hayvanların elde edilmesi için önemli bir sektördür ve bu alanda yapılan kararlar büyük etkilere sahiptir. BAHS kullanılarak damızlık sığır yetiştiriciliği için kriterler ve alt kriterler belirlenir. Örneğin, hayvanların sağlık durumu, genetik özellikleri, verimlilikleri, ırk özellikleri ve bakım maliyetleri gibi faktörler değerlendirilir. Uzmanlar veya yetiştiriciler tarafından sağlanan subjektif değerlendirmeler, kriterlerin önem dereceleri olarak ağırlıklarla ifade edilir.

Hesaplanan bulanık öncelik değerleri ve ağırlıklar kullanılarak, damızlık sığır yetiştiriciliği için en uygun alternatifler belirlenir. Bu sonuçlar, damızlık sığır yetiştiricilerinin daha bilinçli ve akılcı kararlar almasına yardımcı olur. En yüksek önceliğe sahip olan alternatifler, sektörde daha verimli ve kaliteli hayvanların yetiştirilmesini sağlar. BAHS, damızlık sığır yetiştiriciliği gibi karmaşık tarım alanlarında, karar vericilere ve uzmanlara önemli bir analitik araç sunarak sektörün sürdürülebilirliğine ve verimliliğine katkı sağlayabilir. Bu yöntem sayesinde, karar verme süreci daha sistematik ve açık bir şekilde yönetilebilir, böylece en uygun stratejiler ve yöntemlerin benimsenmesiyle damızlık sığır yetiştiriciliği sektörü önemli gelişmeler kaydedebilir.

Geliştirdiğimiz uygulamaya ek özellikler olarak BAHS yönteminin etkinliğini artırmak için düzenli olarak veri toplanması ve izlenmesi önemlidir. Bununla birlikte daha doğru sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacaktır. Toplanan verilerin analiziyle yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknikleriyle birleştirilerek daha karmaşık ve büyük veri kümeleri işleyerek daha isabetli sonuçlar elde edilmesi sağlanabilir. Uygulamada kullanılan teknolojiler sürekli güncel versiyonları tutulması kullanılabilirlik ve popülerliğini arttırmasını sağlayabilir.

Geliştirdiğimiz uygulamada, BAHS yöntemi kullanılarak çoklu kriterli seçimlerde kullanılacak bir web sitesi uygulamadır. Damızlık sığır seçiminde, sığır yetiştiricilerin kriterlerini belirleyerek BAHS hesaplamaları yapılır, hesaplamalar sonucunda oluşan modelde, sektörleri açısından en uygun ve karlı olan sığırı damızlık olarak seçebilmesi sağlanmıştır. Maliyetlerin artmasıyla doğru seçim yapılmasına yardımcı olunmuştur. Sığır yetiştiricilerin seçimlerinde en iyi sonucu verecek damızlık sığır seçiminde uygulamamız kullanılarak yatırımını daha doğru ve isabetli yapılabilmektedir. Uygulamada damızlık sığır yetiştiriciliğin yanında çoklu kriterli seçimli olan her alanda kullanılabilir.

Geliştirdiğimiz damızlık sığır seçimi uygulaması, n sayıda ana faktör ve bunlara bağlı alt faktörlerin esnek bir şekilde eklenmesini sağlayarak kullanıcılara geniş bir kullanım alanı

sunmaktadır. Çalışmada dört ana faktör ve bunlara sırasıyla üç, bir, iki ve beş alt faktör eklenmiştir. Her alt faktör için yapılan hesaplamalar, bulanık ağırlık değerlerini belirleyerek seçim sürecini desteklemiştir. Oluşturulan test modeli, belirlenen örnek sığırlara ait bulanık puan değerlerini kullanarak, kullanıcıya en uygun damızlık sığırın seçilmesini sağlamıştır.

Teşekkür

Bu yayın, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 0746-MP-21 nolu proje ile desteklenmiştir.

Yazar Katkıları

Rifai KUÇU: (a) Fikir, (b) Çalışma Tasarısı, Yöntemi, (c) Literatür Taraması, (i) Eleştirel İnceleme, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma

Ali Hakan IŞIK: (f) Veri Toplama, İşleme, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma, (i) Eleştirel İnceleme

Nimet IŞIK: (f) Veri Toplama, İşleme, (g) Analiz, Yorum, (h)

Metin Yazma, (i) Eleştirel İnceleme

Afşin KÖKER: (f) Veri Toplama, İşleme, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma, (i) Eleştirel İnceleme

Etik Beyanı

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

KAYNAKLAR

- Adar, E., Karatop, B., İnce, M., & Bilgili, M.S. (2016). Comparison of methods for sustainable energy management with sewage sludge in Turkey based on SWOT-FAHP analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 429-440.
- Ahmed, F., & Kilic, K. (2019). Fuzzy analytic hierarchy process: A performance analysis of various algorithms. *Fuzzy Sets and Systems*, 362, 110-128.
- Akkaş, Ö., & Şahin, E.H. (2008). Holştayn ırkı sığırlarda bazı verim özellikleri. *Kocatepe Veterinary Journal*, 1(1), 25-32.
- Akyurt, İ.Z., & Kabadayı, N. (2020). Bulanık AHP ve bulanık gri ilişkiler analizi yöntemleri ile kargo uçak tipi seçimi: bir Türk havayolu firmasında uygulama. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(57), 38-55.
- Aydın, E., & Çağıl, G. (2020). Bulanık AHP ve bulanık hedef yaklaşımı ile hammadde tedarikçisi seçimi. *Journal of the Human & Social Science Researches*, 9(5), 3568-3597.
- Bulut, E., Duru, O., Keçeci, T., & Yoshida, S. (2012). Use of consistency index, expert prioritization and direct numerical inputs for generic fuzzy-AHP modeling: A process model for shipping asset management. *Expert Systems with Applications*, 39(2), 1911-1923.
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.
- Çalık, A. (2022). Bulanık AHP-Bulanık ARAS Yöntemlerine Dayalı Dayanıklı Tedarikçi Seçimi. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 275-296.
- Dağdeviren, M. (2005). *Performans değerlendirme sürecinin çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bütünleşik modellenmesi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Dağdeviren, M. (2007). Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile personel seçimi ve bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 791-799.
- Demirel, T., Demirel, N.Ç., & Kahraman, C. (2008). Fuzzy analytic hierarchy process and its application. In C. Kahraman (Ed.), *Fuzzy multi-criteria decision making: Theory and applications with recent developments* (pp. 53-55). Springer.
- Göksu, A., & Güngör, İ. (2008). Bulanık analitik hiyerarşik proses ve üniversite tercih sıralanmasında uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(3), 1-26.
- Harianja, E., & Lumbantoruan, G. (2019). Integrating MLP with algorithm with AHP modification for car evaluation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1361, 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1361/1/012022>
- Hu, A.H., Hsu, C.W., Kuo, T.C., & Wu, W.C. (2009). Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 7142-7147.
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *International Journal of Production Economics*, 87, 171-184.
- Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., & Le Traon, Y. (2016). A state-of-the-art survey and testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. *Expert Systems with Applications*, 65, 398-422.
- Mikhailov, L., & Tsvetnikov, P. (2004). Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. *Applied Soft Computing*, 5(1), 23-33.

- Mulubrhan, F., Mokhtar, A.A., & Muhammad, M. (2014). Comparative analysis between fuzzy and traditional analytical hierarchy process. *MATEC Web of Conferences*, 13, 01006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20141301006>
- Naghadehi, M.Z., Mikaeil, R., & Ataei, M. (2009). The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm Bauxite Mine, Iran. *Expert systems with applications*, 36(4), 8218-8226.
- Noorollahi, E., Fadai, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S.H. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) - A case study of Iran. *Energies*, 9(8), 643. <https://doi.org/10.3390/en9080643>
- Tırpan, M.B., & Tekin, N. (2018). Seleksiyon ve damızlık boğa seçim kriterleri. *Veterinary Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, 3(1), 85-95.
- Tukimin, R., Mahmood, W.H.W., Nordin, M.M., Muhamad, M.R., & Ayuni, N.S. (2021). Application of AHP and FAHP algorithm for supplier development evaluation. *Malaysian Journal on Composites Science and Manufacturing*, 5(1), 21-30.
- Uçkun, C., Dalgıç, N., & Yıldız, A. (2023). Yeşil tedarikçi seçiminde hibrit bulanık ahp ve bulanık QFD yaklaşımının kullanılması. *Computer Science, IDAP-2023*, 151-164. <https://doi.org/10.53070/bbd.1345822>
- Xu, Z., & Liao, H. (2013). Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 22(4), 749-761.
- Yürüyen, A. A., & Ulutaş, A. (2020). Bulanık AHP ve bulanık EDAS yöntemleri ile üçüncü parti lojistik firması seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8, 283-294. <https://doi.org/10.18506/anemon.767354>

Yeşil Sentez Yöntemi ile *Althaea officinalis* Kaynaklı Nanokompozitlerin Karakterizasyonu ve Hemolitik Aktivitelerinin Değerlendirilmesi

Characterization of Nanocomposites Obtained from *Althaea officinalis* and Evaluation of Their Hemolytic Activities via Green Synthesis Method

Büşra ŞENSOY GÜN^{1,2}, Belgin TUNALI¹, Rafiq GURBANOV^{1,3}

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (BARUM), Bilecik, Türkiye

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Nanobilim ve Nanoteknoloji Bölümü, Burdur, Türkiye

³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Bilecik, Türkiye

Article Info

Research Article

DOI: 10.29048/makufebed.1402681

Corresponding Author

Büşra ŞENSOY GÜN

Email: busra.sensoygun@bilecik.edu.tr

Article History

Received: 11.12.2023

Revised: 17.01.2024

Accepted: 18.01.2024

Available Online: 15.06.2024

To Cite

Şensoy, Gün, B., Tunali, B., & Gurbanov, R. (2024). Yeşil sentez yöntemi ile *Althaea officinalis* kaynaklı nanokompozitlerin karakterizasyonu ve hemolitik aktivitelerinin değerlendirilmesi. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 15(1), 22-32. <https://doi.org/10.29048/makufebed.1402681>

Bu makale Büşra ŞENSOY GÜN'ün "Yeşil sentez ile sentezlenen ZnO@YK nanokompozitinin antimikrobiyal aktivitesinin değerlendirilmesi ve ZnO@YK nanokompoziti kullanılarak hazırlanan merhem in vivo deneylerle kapasitesinin in vivo deneylerle araştırılması" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

Öz: Bu çalışmada toksik olmayan yeşil sentez yöntemi ile yumurta tozu kullanılarak metal oksit nanokompozitleri sentezlenmiştir. Burdur yöresinden toplanan *Althaea officinalis* (*A. officinalis*-hatmi) bitkisinin kırmızımsı-pembe çiçek kısımlarından farklı çözücülerle (etanol, metanol, aseton ve ultra saf su) bitki özütleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu bitki özütlerinin kuersetin ve gallik asit miktarları Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) analizi ile tespit edilmiştir. HPLC analiz sonuçlarına göre seçilen bitki özütü ile toz hale getirilen ve temel inorganik bileşeni CaCO₃ olan yumurta kabuğu tozu metal çözeltilerine eklenerek nanokompozit yapılar sentezlenmiştir. Elde edilen nanokompozit yapıların Zayıflatılmış Toplam Yansıma- Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (ATR-FTIR), X-ışını Difraksiyon Spektroskopisi (XRD) ve Enerji Dağılımlı X-Ray Dedektörlü Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) analizleri ile karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda MgO ve Al₂O nanopartikülleri (NP) içeren nanokompozitler sentezlenmiştir. Sentezlenen nanokompozitlerin hemoliz deneyleri sonucunda hemouyumlu oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yumurta kabuğu, nanokompozit, yeşil sentez, metal nanopartiküller, *Althaea officinalis*

ABSTRACT: In this study, metal oxide nanocomposites were synthesized using eggshell powder with a non-toxic green synthesis method. Plant extracts were prepared with different solvents (ethanol, methanol, acetone and ultrapure water) from the reddish-pink flower parts of the *Althaea officinalis* (*A. officinalis* - marshmallow) plant collected from the Burdur region. Quercetin and gallic acid amounts of these prepared plant extracts were determined by HPLC High Performance Liquid Chromatography (HPLC) analysis. According to the HPLC analysis results, nanocomposite structures were synthesized by adding eggshell powder, the main inorganic component of which is CaCO₃, which was pulverized with the selected plant extract, to metal solutions. Characterization studies of the obtained nanocomposite structures were carried out by Attenuated Total Reflectance- Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR), X-ray Diffraction Spectroscopy (XRD) and Scanning Electron Microscope with Energy-Dispersive X-ray Detector (SEM-EDX) analyses. As a result of the study, nanocomposites containing MgO and Al₂O nanoparticles (NP) were synthesized. It was determined that the synthesized nanocomposites were hemocompatible as a result of hemolysis experiments.

Keywords: Eggshell, nanocomposite, green synthesis, metal nanoparticles, *Althaea officinalis*

1. GİRİŞ

Giderek artan nüfusa bağlı olarak mevcut doğal kaynakların azalması ve artan çevre sorunlarına ilişkin endişeler çoğalmaktadır. Doğal kaynak atıklar kullanılarak biyotemelli malzemelerin üretimi bu sorunların önüne geçmek için iyi bir çözüm yöntemi olarak kabul edilmektedir. Düşük maliyetli doğal atıkların kullanılması maliyetlerin azalmasını da sağlamaktadır. Kalsiyum karbonat yaygın olarak kullanılan bir inorganik dolgu maddesidir. Son zamanlarda bu inorganik (kireç taşı gibi) dolgu maddeleri yerine yüksek kalsiyum karbonat içeriği bulunan tavuk yumurta kabukları gibi atık biyomateryaller tercih edilmektedir (Owuamanam ve Cree, 2020). Ayrıca, dünya çapında atık tavuk yumurtası kabukları, çevresel sorunlara neden olan çöplüklere atılmaktadır. Bu atıkların ayrışması amonyak, hidrojen sülfür ve kötü kokulara neden olan aminler üretmektedir. Bu kötü kokuya ise fare, sıçan, sinek ve böcek gibi canlılar gelerek *Escherichia coli* ve *Salmonella* gibi patojenlerin yayılmasında etkili olmaktadır (Bee ve Abdul, 2020; Owuamanam ve Cree, 2020). Bütün bunların yanında yumurta kabuğunun makro/mikro gözenek yapısına ve zar kısmının antimikrobiyal özelliğe sahip olması birçok alanda kullanılmasına avantaj sunmaktadır (Martel vd., 2012). Son yıllarda yapılan çalışmalarda yumurta kabuğu kullanılarak sentezlenen nanokompozitler adsorban, katalizör, fotodegradasyon, doku iskelesi, antimikrobiyal özellikte nanomalzeme yapımında kullanılmıştır (Li vd., 2018; Ding vd., 2020; Huang vd., 2020a; Gupta vd., 2021; Türköz Altuğ, 2022; Kaya Kınaytürk vd., 2021; Kalaycı vd., 2023).

Son yıllarda ilgi gören disiplinler arası araştırma alanlarından biri olan nanoteknoloji, nano yapıların gelişmiş ve eşsiz özelliklere sahip olması, daha az malzeme ve enerji kullanımının yanında nanomalzemelerin sentez yöntemlerinin geliştirilmesiyle sayısız uygulama alanlarında kullanımı hızla ilerlemektedir. Bu nanoyapılardan biri de farklı boyut ve şekilde sentezlenebilen metalik nanopartiküllerdir. Metal nanopartiküller eşsiz optik, elektronik özelliklere ve daha büyük yüzey alan/hacim oranına sahip oldukları için görüntüleme teknikleri, tıp sektörü, ilaç salınımı, biyosensör ve biyomedikal malzemeler dahil birçok alanda kullanılmaktadır (Ijaz vd., 2020). Nanomalzemelerin çevresel olarak sürdürülebilir şekilde sentezlenmesi için yeşil kimyaya ihtiyaç duyulmuştur. Son zamanlarda giderek artan yeşil sentez, diğer nanomalzeme sentez yollarına göre toksik olmayan, güvenli, çevre dostu, sürdürülebilir, tekrar edilebilirliği yüksek, daha hızlı, büyük ölçekli üretim ve sıklıkla daha kararlı malzemelerle sonuçlandığı için daha çok tercih edilmektedir (El-Borady vd., 2021; Palithya vd., 2021; Oves vd., 2022). Kimyasal olarak sentezlenen materyallerin insan sağlığını olumsuz etkilemesi ve çevresel toksisitesi bulunduğu için sentezlenen nanomalzemelerin biyo-uyumluluğuna dikkat edilmelidir (Bindhu vd., 2020; Rohaizad vd., 2020; Renuka vd., 2020). Bitkiler, diğer biyolojik sentetik yöntemlere göre daha avantajlı olduğu için kullanılmaktadır. Çünkü bitkiler, nanopartikül sentezlemek için kullanılan mikroorganizmalara kıyasla

uzun süren bakteri/mantar kültür üretimini ve bu kültürlerin koruma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Ek olarak bitki ile nanopartikül sentezinde kontaminasyon riski de bulunmamaktadır (Barakat vd., 2020; Swilam ve Nematallah, 2020). Bitki özütlerinin kullanımının nanopartikül boyutunu, şeklini ve dağılımını düzenlemede daha seçici ve etkili olduğu bilinmektedir (Muthu ve Priya, 2017). Bitkilerin kök, yaprak, gövde ve meyve gibi kısımlarında hem indirgeyici hem de stabilize edici ajan olarak işlev gören flavonoidler, tanenler ve fenolik bileşikler gibi fitokimyasallar içerikler nanopartikül sentezlemek için kullanılmıştır (Maisa ve Awwad, 2021). Ayrıca nanopartiküllerin stabil kalması için antioksidan bileşiklerden yararlanılmıştır (Saribuğra, 2014). Yaygın bir flavonoid olan kuersetin ile fenolik bileşik olan gallik asit birçok çalışmada nanopartikül sentezinde önemli antioksidan bileşikler olarak belirtilmiştir. Gallik asit ve kuersetin birçok metal ile kolayca kompleks oluşturarak parçacığın oksitlenmesini engelleyerek stabilize ederken parçacığa antibakteriyel özellik de katmaktadır (Mittal vd., 2014; Lunkov vd., 2020).

Kompozit malzemeler birbirinden farklı özelliklerdeki iki veya daha fazla materyalin bir araya gelmesi ile üretilen hibrit materyallerdir. Nanokompozitler ise nano boyutta iki farklı materyalin birleşmesiyle oluşmaktadır. Genelde makro yüzeye sahip bir malzeme ile nano boyutta bir malzemenin hibritleşmesi ile meydana gelmektedir. Nanokompozitler tasarlanabilir eşsiz özellikleri ve değiştirilebilir fonksiyonları nedeniyle birçok endüstride kilit rol oynamaktadırlar (Adeosun vd., 2012). Çok sayıda nanokompozit üretim yöntemi bulunmaktadır. Fakat yapılan son çalışmalarda artık yeşil sentez ile nanokompozit tek bir basamakta üretilebilmektedir (Huang vd., 2020b).

Althaea officinalis bitkisi *Malvaceae* ailesine aittir ve dünya çapında yetiştirilmektedir. Çiçekler terminal ve aksiller yapıda olup; her biri bir, iki veya üç çiçek taşıyan kısa pediküllere sahiptir. Yapraklar soluk pembe, kırmızımsı pembe ve nadiren beyaz renklidir. Terapötik özelliğe sahip olan bu bitki geleneksel olarak ağız ve faringeal mukozanın (kuru öksürük ile ilişkili olan) tahrişinin tedavisi için, hafif gastrit, cilt yanıkları, böcek ısırıkları, gastrointestinal sistem, idrar yolu şikayetlerinde, iltihaplanma, ülser, apse, yanık, kabızlık ve ishal için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bitki antimikrobiyal, antienflamatuar, immünomodülatör etki gibi birçok farmakolojik etkiye sahiptir (Snafi, 2013). Yüksek oranda antioksidan bileşik içeriğine sahip bitkilerin nano partikül sentezi için en iyi adaylardan biri olduğu bilinmektedir. *A. officinalis* bitkisinin çiçek kısımlarının kırmızımsı pembe çiçekleri daha fazla antioksidan aktiviteye sahiptir ve antioksidan aktivitenin gücü kırmızımsı pembe> pembe> beyaz şeklindedir (Sadighara vd., 2012). *A. officinalis* bitkisi doğada kendiliğinden yetişen, maliyeti düşük ve çiçek kısımlarının antioksidan içeriği yüksek olduğu bilindiği için çalışmamızda tercih edilmiştir.

Bu çalışmada, çevrede atık olarak bol miktarda bulunan bir inorganik dolgu malzemesi olan yumurta kabukları toz

haline getirilerek; *A. officinalis* bitkisinin çiçek kısımlarından hazırlanan bitki ekstraktı ve metal solüsyonları kullanılarak farklı nanokompozitler sentezlendi. Bitki özütlerindeki kuersetin ve gallik asit miktarları HPLC yöntemi ile belirlendi. Biyosentez yöntemi ile sentezlenen nanokompozitlerin karakterizasyon çalışmaları ATR-FTIR, XRD spektroskopisi ve SEM-EDX görüntüleme cihazları kullanılarak gerçekleştirildi. Öte yandan malzemelerin hemolitik aktiviteleri hemoliz testi ile biyokimyasal olarak belirlendi.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmada *A. officinalis* bitkisinin kırmızımsı pembe çiçek kısımları Burdur yöresinden toplanmıştır. Yumurta kabukları marketlerden temin edilmiştir. Etanol Indosaw, aseton, metanol Isolab marka kullanılmıştır. Bitki özütü ve çözeltiler Human Corporation, Zener 900 (UP:≤18,3MΩcm) cihazından alınan ultra saf su ile hazırlanmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. *Althaea officinalis* bitkisinin kırmızımsı pembe çiçek kısımlarından farklı çözücülerle bitki özütü eldesi

Bitki özütleri Kiselev vd. (2007) metodunun modifiye edilmesi ile hazırlanmıştır. Burdur yöresinden toplanan *A. officinalis* (hatmi) bitkisinin kırmızımsı pembe çiçek kısımları ultra saf suda yıkandıktan sonra oda sıcaklığında kurutuldu. Kurutulup ince toz hale getirilen çiçek kısımlarından 0,5 gram tartılarak üzerlerine 2,5 ml etanol, metanol, aseton ve ultra saf su eklenmiştir. 2 dakika homojenizatörde karıştırıldıktan sonra, 1 gece 45°C'deki su banyosunda bekletilmiştir. Su banyosundan alınan örnekler 8 ml çözücüler eklenerek 2 dk homojenizatörde karıştırıldıktan sonra 4.500 rpm de 5 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatant kısımları alınarak 45°C'deki etüvde çözücüler uçana kadar bekletildi. Elde edilen ekstraktlara HPLC analizi yapılmıştır (Kiselev vd., 2007).

2.2.2. HPLC analizi

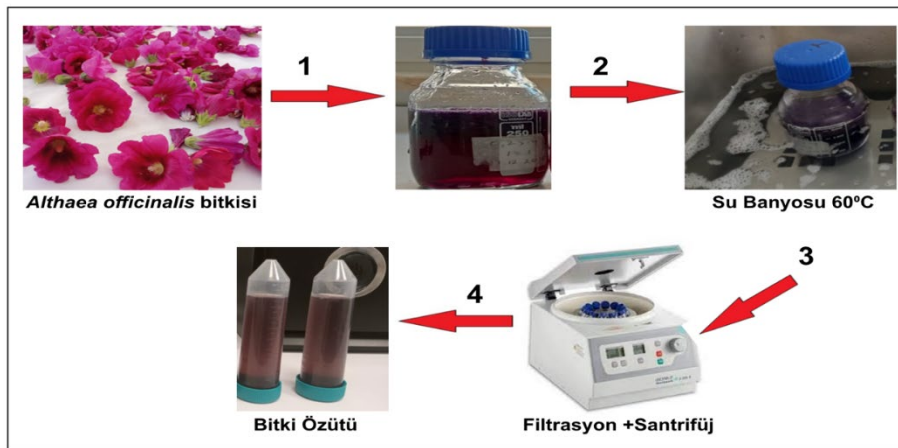
Hazırlanan bitki ekstraktlarındaki kuersetin ve gallik asit miktarlarına, HPLC kullanılarak, Gomes vd. (1999)'nun HPLC metodu modifiye edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz Shimadzu Prominence Marka HPLC-DAD cihazı, LC20 AT pompası ve Zorbax C18 (250*4,6 mm, 5 mikron) kolonu ile yapılmıştır. Gradient programı: %93 A (3% Formik asit) + %7 B(metanol) 3 dakika, %72 A + %28 B 25 dakika, %67 A + %33 B 32 dakika, %58 A + %42 B 2 dakika, %50 A + %50 B 8 dakika, %30 A + %70 B 5 dakika, %93 A + %7 B 15 dakika olarak toplam 90 dakika sürmüştür. Elde edilen sonuçlara göre kuersetin ve gallik asit miktarlarının ortalama olarak en iyi olan örnek seçilerek devam edilmiştir. Bu yüzden nanokompozit sentezine ultra saf su ile hazırlanan bitki özütü ile devam edilmiştir.

2.2.3. *Althaea officinalis* bitkisinin kırmızımsı pembe çiçek kısımlarından bitki özütü eldesi

A. officinalis bitkisinin kırmızımsı pembe çiçek kısımları toplanıp ultra saf su ile yıkandıktan sonra oda sıcaklığında kurutularak Şekil 1'de gösterildiği gibi bitki özütü sentezi gerçekleştirilmiştir. Agat havanda ince toz hale getirilen çiçek kısımlarından ikişer gram alınarak 200 ml ultra su içeren 250 ml'lik 2 ayrı şişeye aktarıldıktan sonra 60°C'lik bir su banyosunda 4 saat ısıtılmıştır. Oluşan bitki ekstraktları, Whatman 1 no.lu filtre kağıdı ile süzülükten sonra 4.000 rpm de 5 dk santrifüj yapıldı ve 4°C'de nanokompozit sentezlemek için saklanmıştır (Abdallah vd., 2020).

2.2.4. Yumurta kabuğu tozunun hazırlanması

Marketlerden toplanan yumurta kabukları ilk olarak kir parçacıklarını temizlemek için musluk suyu altında yıkanmış ve ardından mikrobiyal kontaminasyonun giderilmesi için saf suda 120°C'de 3 saat sürekli karıştırılarak kaynatılmıştır. Kaynatılan yumurta kabukları bir gün süreyle kül fırınında (~150°C) kurutulmuştur. Kurutulan yumurta kabukları agat havan kullanılarak ince toz haline getirilmiştir (Choudhary vd., 2021).



Şekil 1. Burdur yöresinden toplanan *A. officinalis* bitkisinin kırmızımsı pembe çiçek kısımları kullanılarak hazırlanan bitki özütünün aşamaları

2.2.5. Nanokompozitlerin hazırlanması

Yeşil sentez yöntemi ile nanokompozitlerin elde edilmesi için ultra saf su ile hazırlanan 0,2 M'lık $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ve $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltilerinin içerisine 1'er gram yumurta kabuğu tozu eklenerek 6 saat boyunca karıştırıldıktan sonra çözeltilere bitki özütü ilave (1:1 v/v) edilmiştir (Sajadi vd., 2018; Honarmand vd., 2020). Elde edilen çözeltiler 12 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldıktan sonra 3.500 rpm 5 dk santrifüj edilmiştir. Supernatant kısımları atılarak ultra saf su ile 4 defa yıkanan nanokompozitler gece boyunca 60°C'de etüvde kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan nanokompozitler Tablo 1'deki gibi adlandırılıp karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Huang vd., 2020b).

Tablo 1. Elde edilen nanokompozitlerin isimlendirilmesi

Yumurta kabuğu + $AlCl_3 \cdot 6H_2O$	Al/YK
Yumurta kabuğu + $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Mg/YK

2.2.6. Nanokompozitlerin karakterizasyonu

XRD analizi, karakteristik dalga boyu $\lambda = 1.54$ nm olan Cu Ka radyasyonlu Malvern panalytical empyrean cihazı kullanılarak yapılmış ve veriler $5^\circ < 2\theta < 90^\circ$ tarama aralığında elde edilmiştir. ATR-FTIR spektrumları, 4.000–400 cm^{-1} aralığında, 4,0 cm^{-1} çözünürlükte bir Spektrometre (Perkin Elmer Spectrum 100) cihazı ile ölçülmüştür. Nanokompozitler, ZEISS SUPRA 40VP GEMİNİ cihazı kullanılarak Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile morfoloji görüntüleri ve enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) Bruker marka bir dedektör yoluyla elemental haritalamaları elde edilmeden önce platin püskürtmeyle QUORUM –Q ISORES cihazında kaplanmıştır.

2.2.7. Hemoliz testi

Nanokompozit numunelerinin hemolitik aktivitesini belirlemek için Choudhary vd. 2021 metodu optimize edilmiştir. Deneysel için insan kırmızı kan hücreleri (KKH) kullanılmıştır EDTA K3 tüpüne alınan kan örneğinden 1 ml alınarak üzerine 25 ml steril fosfat tamponlu salin (PBS) konulmuş ve 1.000 rpm de 5 dk santrifüj edilmiştir. Ardından üç defa 5ml PBS ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiş ve 50 ml PBS te çözülmüştür. Nanokompozit numunelerinden 6 mg kadarları 1,5 ml KKH süspansiyonuna eklenerek ardından 37°C'de 1 saat inkübasyona bırakılmıştır. Karışım santrifüjlenerek ve süpernatantlar UV kuvetine aktararak hemoglobin salınımı, 540 nm'de absorbans (A) olarak UV spektrofotometri ile ölçülmüştür. Sırasıyla pozitif ve negatif kontroller olarak deiyonize su ve fosfat tamponlu salin (PBS) kullanılmıştır (Choudhary vd., 2021). Yüzde hemoliz oranları aşağıdaki denklem 1'e göre hesaplanmıştır;

$$\frac{(A)_{testsample} - (A)_{negativecontrol}}{(A)_{positivecontrol} - (A)_{negativecontrol}} \times 100 \% \quad (1)$$

2.2.8. İstatistiksel Analizler

İstatistiksel analizler GraphPad Prism 8,01 (GraphPad Software, San Diego, California) adlı yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gruplar arasındaki sayısal değişkenlerin istatistiksel anlamlılığını belirlemek için tek-tarafli bağımsız örneklem t testi uygulanmış ve sonuçlar, ortalama \pm ortalama standart sapma (SEM) değerleri olarak sunulmuştur. Anlamlılık düzeyi her zaman %95 güven aralığında, $p \leq 0,05$ olarak belirlendi.

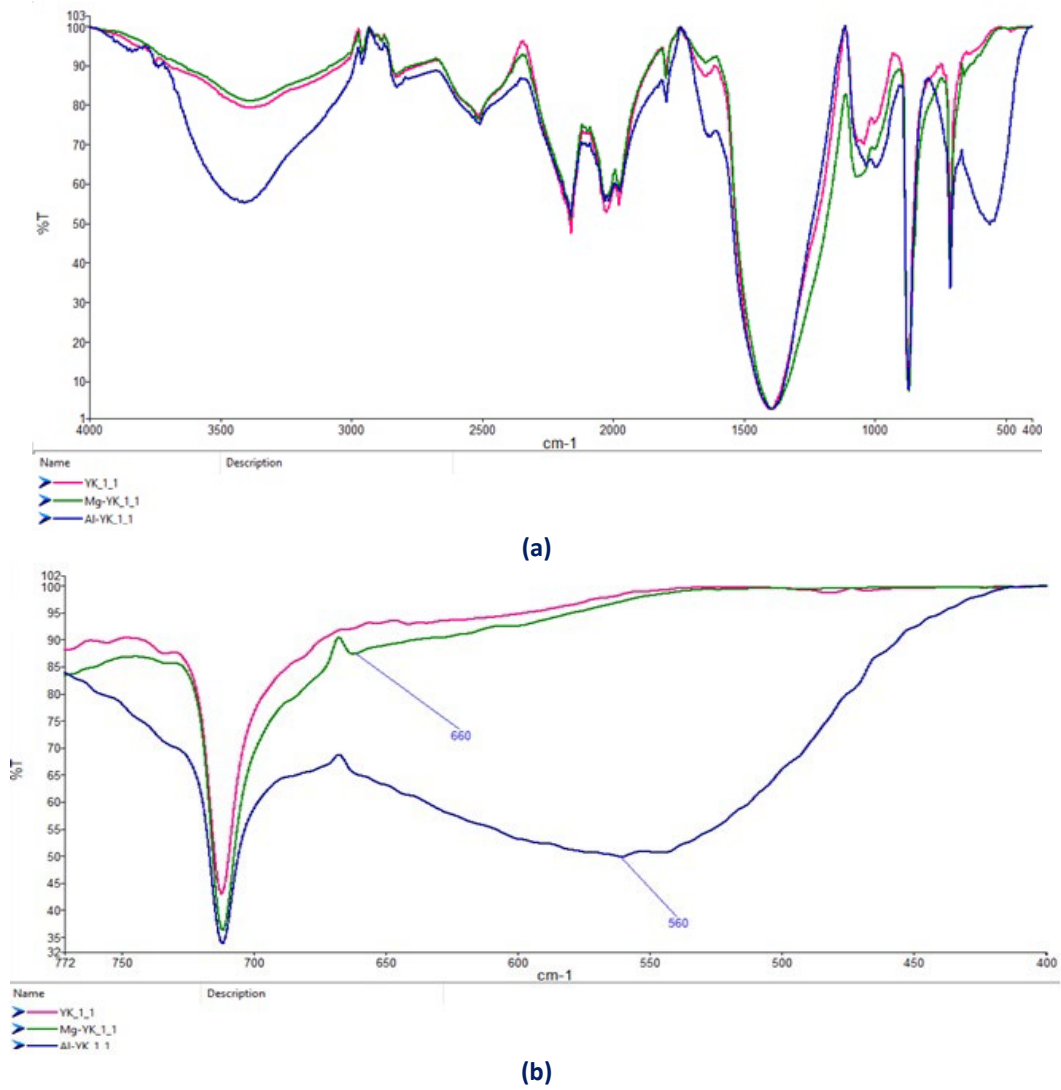
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Nanokompozit sentezinde kullanılacak bitki özütü, HPLC analiz sonuçlarına göre farklı çözücülerle hazırlanan bitki özütlerindeki gallik asit ve kuersetin miktarlarına (Tablo 2) göre seçilmiştir.

Birçok çalışmada hem kuersetin hem de gallik asit ile sentezlenen nanopartiküllerin stabilite, antimikrobiyal, antikanser özelliklerinin daha fazla olduğu yapılan optimizasyon çalışmaları sonucu tespit edilmiştir (Mittal vd., 2014; Sarıbuğra, 2014; Shah vd., 2017). HPLC analiz sonucuna göre iki bileşiminde en uygun (optimal) miktarlarda bulunduğu ultra saf su çözücüsü nanokompozit sentezi için tercih edilmiştir.

Tablo 2. HPLC analizi sonrası bitki ekstraktlarındaki kuersetin ve gallik asit miktarları

Çözücü adı	Gallik asit (ppm)	Kuersetin (ppm)
Etanol	0,013	4,589
Metanol	0,203	4,502
Aseton	0,117	1,297
Ultra saf su	1,049	2,898



Şekil 2. Nanokompozitlerin FTIR spektrumları, **(a)** Nanokompozitlerin ve yumurta kabuğu tozunun 4.000-400 cm⁻¹ arası tüm kızılötesi spektrumları, **(b)** Mg/YK nanokompoziti ve Al/YK nanokompozitinin metal oksit (M-O) bant değerleri

Biyosentez yöntemi ile *A. officinalis* ekstraktı kullanılarak sentezlenmiş olan nanokompozitlerin 4.000-400 cm⁻¹ arası ATR-FTIR spektrumları Şekil 2a'da verilmiştir. Çalışmamızda yumurta kabuğu ve membranı ayrılmadan yumurta tozu elde edilmiştir. Buradaki amaç membran kısmında bulunan kollajen benzeri yapıların ve proteinlerin nanokompozit sentezi sırasında bozulmadan yapıya katılabilesidir. Bu sayede, üretilen nanopartiküller sadece yumurta kabuğuna değil membran kısmındaki lifli yapılara da tutunması sağlanmıştır. Yumurta tozunun ATR-FTIR spektrumundaki bantlardan da görüldüğü üzere membran kısmındaki protein yapıları muhafaza edilmiştir. Yumurta tozu spektrumunda 1.393 cm⁻¹, 1.040 cm⁻¹, 872 cm⁻¹ ve 712 cm⁻¹ pozisyonlarında, yapıdaki kalsitle ilişkili sırasıyla asimetrik gerilme, düzlem dışı eğilme ve düzlem içi titreşimlere ait absorpsiyon bantları gözlemlenmiştir (Mittal vd., 2014; Tunali vd., 2021). Öte yandan, 3.402 cm⁻¹ ve 1.646 cm⁻¹'deki bantlar yumurta kabuğunun membran yapısındaki amid bağlarına karakteristiktir (Torres-Mansilla ve Delgado-Mejia, 2017; Chen vd., 2022). Bozulmamış membrandaki sisteinin tiyol bağlarını 2515 cm⁻¹'deki adsorpsiyon bandı göstermektedir (Bhagavatheswaran vd., 2019). Spektrumdaki 2.957 cm⁻¹

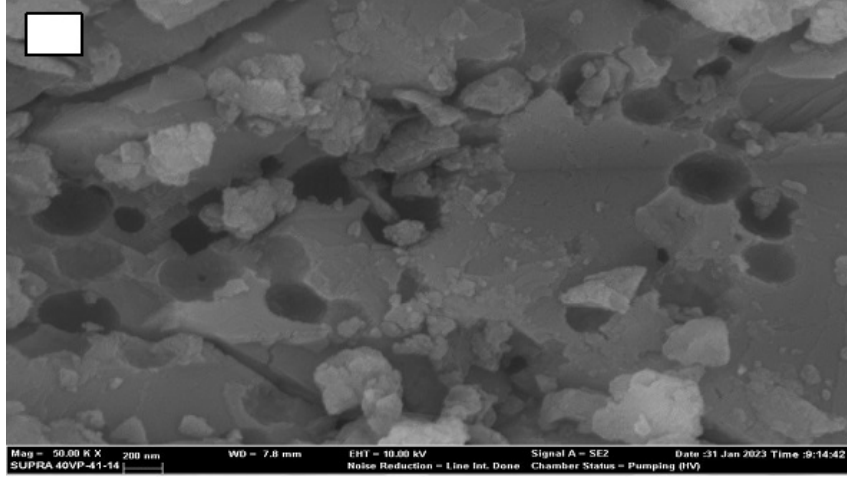
ve 2.828 cm⁻¹'deki bantlar ise hem kabuk kısmındaki minerallerden hem de membran yapısındaki protein ve lipitlerden kaynaklanan simetrik ve asimetrik karbon hidrojen bağlarından gelmektedir (Mittal vd., 2014; Torres-Mansilla ve Delgado-Mejia, 2017; Parvin vd., 2019). Spektrumlar incelendiğinde magnezyum oksit ve alüminyum oksit nanopartikülerinin yumurta tozuna immobilize olma durumu, yumurta kabuğunda bulunan kalsit ve membran yapıları ile ilişkili yukarıda bahsedilen absorpsiyon bantlarında zirve yoğunlukları dışında herhangi bir değişiklik olmadığından anlaşılmaktadır (Nasrollahzadeh vd., 2016; Yorseng vd., 2020). Ayrıca, Şekil 2b'de gösterilen 660 cm⁻¹ ve 560 cm⁻¹ civarındaki bantlar, M-O gerilme modunun dağılımına aittir (He vd., 2019; Ruhaimi ve Aziz, 2021).

Mg/YK ve Al/YK nanokompozitlerinin SEM görüntüleri Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3a'da yumurta kabuğunun SEM görüntüsünde yüzeyin makro gözenek yapısı açıkça gözükmektedir. Yumurta kabuğuna yapılan işlemler makro gözenek yapısını ortaya çıkarmıştır. Şekil 3b'de yumurta kabuğunun yüzeyinin ve gözeneklerinin alüminyum oksit nanopartikül ile kaplandığı görülmektedir. Fakat, yumurta

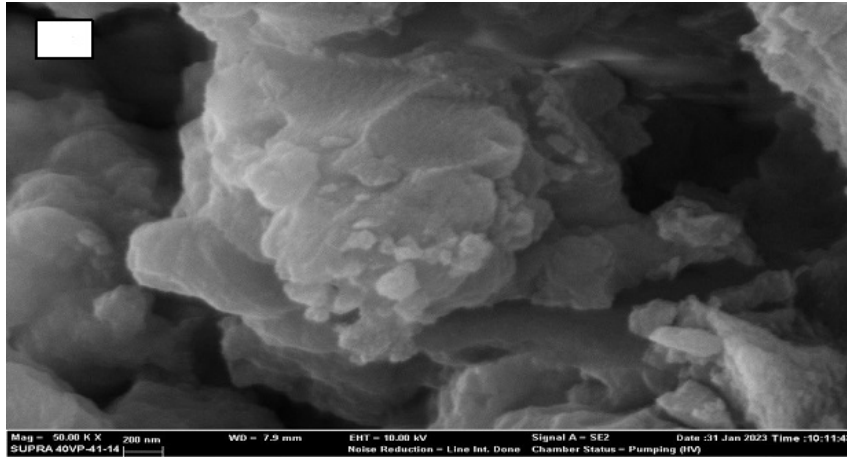
kabuğunun alüminyum oksit nanopartikülü ile çok miktarda yüklenmesi Şekil 3a'ya kıyasla SEM görüntüsünün bir ölçüde bozulmasına neden olmuştur. Şekil 3c'de magnezyum oksit nanopartiküllerinin yumurta kabuk yüzeyini ve gözenek yapılarını kapladığı görülmektedir. Magnezyum oksit'in bazı bölgelerde yığıntı şeklinde biriktiği görülmektedir. SEM görüntüleri metal nanopartiküllerin yumurta kabuğunun yüzeyi ve makro gözenekli yapısı ile konjuge olduğunu göstermektedir

(Huang vd., 2020a).

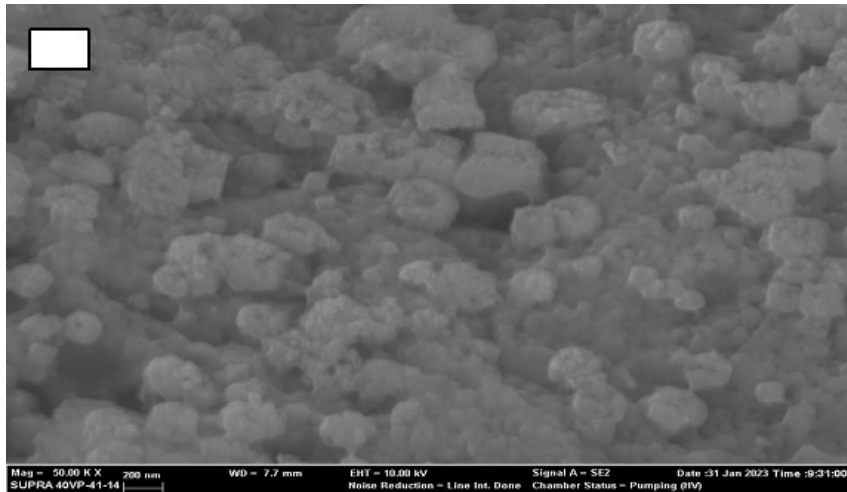
Mg/YK ve Al/YK nanokompozitlerinin yeşil sentezle elde edildiklerini daha fazla doğrulamak için elektron dağılımlı spektroskopi (EDX) analizi gerçekleştirildi. Yumurta kabuğunda bulunan elementlere oranla nanokompozitlerin içerdikleri elementel farklılıklar Şekil 4'te görülmektedir. EDX sonuçları nanokompozitlerin başarılı bir şekilde sentezlendiğini desteklemektedir.



(a)

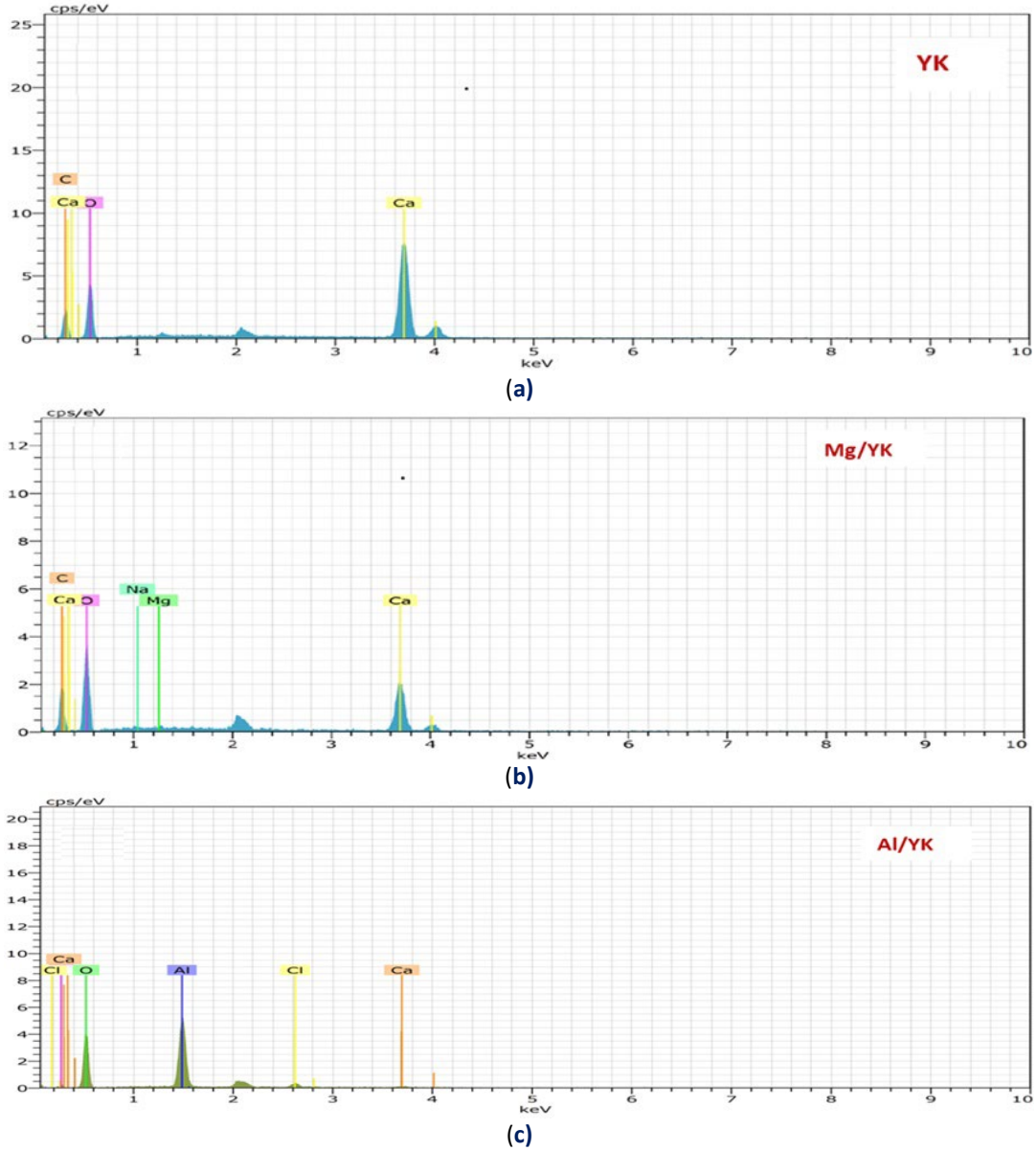


(b)



(c)

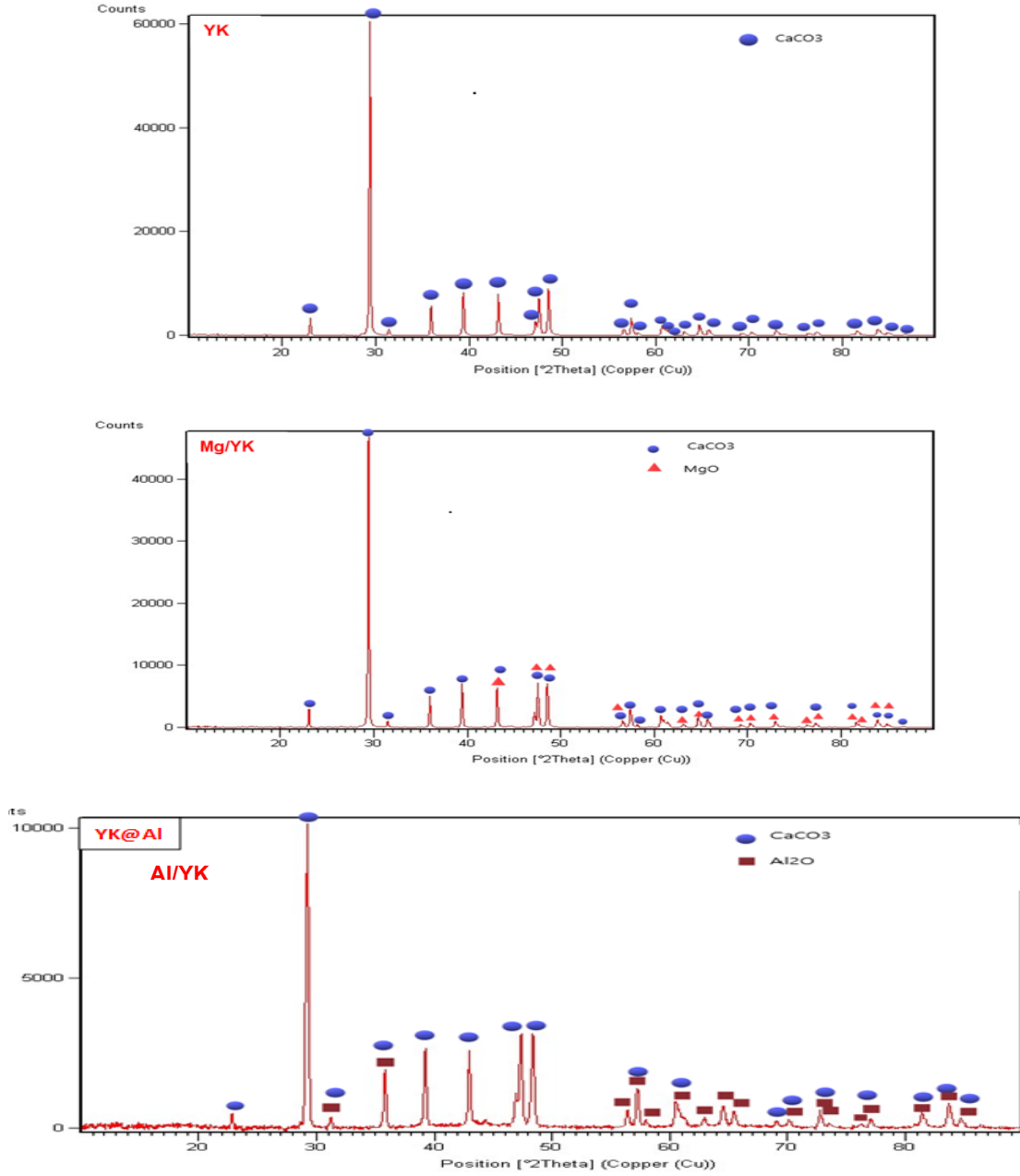
Şekil 3. Nanokompozitlerin SEM görüntüleri, (a) Yumurta kabuğu, (b) Al/YK nanokompoziti, (c) Mg/YK nanokompoziti



Şekil 4. Nanokompozitlerin EDX analizleri (a) Yumurta kabuğu, (b) Mg/YK nanokompoziti, (c) Al/YK nanokompoziti

Numunelerin kristal yapısını belirlemek için XRD ölçümleri yapılmıştır. Şekil 5'te yumurta kabuğunun $2\theta = 23,0, 29,3, 31,4, 35,9, 39,4, 43,1, 47,5, 48,5, 57,4$ ve $64,7$ CaCO_3 'ün karakteristik tepe noktalarını belirtir (CaCO_3 , kart no 96 702 0140). Mg/YK nanokompozitinin XRD kırınım deseninde $2\theta = 43,2, 47,3, 69,2$ MgO'nin tepe noktalarını, Al/YK nanokompozitinde $2\theta = 38,8, 56,2, 62,7$ Al_2O_3 'ün tepe noktalarını göstermektedir. Ayrıca, nanokompozitlerin XRD

modellerinde MgO, Al_2O_3 ve CaCO_3 'ün saf fazını gösteren ek kırınım tepe noktaları gözlenmemiştir. Nanokompozitlerin XRD desenlerinde bazı yerlerde yumurta kabuğunun XRD desenine göre farklılıklar gözlenmiştir. Sonuçlar, yeşil sentez sırasında oluşan MgO ve Al_2O_3 nanopartiküllerinin yumurta kabuğu yüzeyinde başarılı bir şekilde konjuge olduğunu göstermiştir.



Şekil 5. Yumurta kabuğu ve nanokompozitlerin XRD kırınım desenleri

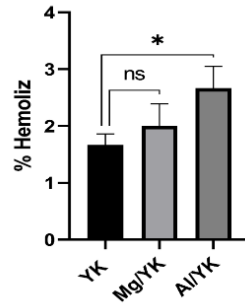
Tablo 3. Nanokompozitlerin ve yumurta kabuğunun hemoliz değerleri (Sonaçlar ortalama \pm ortalama standart hatası olarak gösterilmiştir)

Örnek	Hemoliz (%)
YK	1,66 \pm 0,19
Mg/YK	2,00 \pm 0,38
Al/YK	2,66 \pm 0,38

Tablo 3'te Mg/YK ve Al/YK nanokompozitlerinin ve yumurta kabuğunun hemoliz deneyi sonrası elde edilen hemoliz yüzdeleri verilmiştir.

Sentezlenen nanokompozitlerin insan kan dokusu ile uyumluluğu biyomedikal ve farmasötik uygulamalarda biyomalzeme olarak kullanılabileceğini gösteren bir kriterdir. Şekil 6'da gösterildiği gibi, nanokompozitlerin kırmızı kan hücresi lizi %2,7'den azdır. Bu ölçümlere göre,

YK ve Mg/YK hemolitik özellik göstermeyen, Al/YK ise hafif hemolitik madde olarak ele alınabilir (Dobrovolskaia vd., 2008). Tüm örneklerin biyogüvenli malzemeler için belirlenen hemoliz oranını (%5) aşmaması ise hem uyumlu olduklarını göstermektedir (Xu vd., 2016). Bu hemoliz sonuçlarına göre, elde edilen nanokompozit malzemeler sağlık alanında kullanılabilir biyomalzeme potansiyeli taşımaktadır.



Şekil 6. Örneklerin hemoliz değerleri (Sonuçlar ortalama değer \pm ortalama standart hatası olarak gösterilmiştir. *:İstatistiksel anlamlılık derecesi ($p \leq 0.05$); ns İstatistiksel olarak anlamlı değil)

4. SONUÇLAR

Bu araştırmada, inorganik atık malzeme olan yumurta kabuğu kullanılarak *A. officinalis* bitkisinin kırmızımsı pembe çiçek kısımlarından ultra saf su kullanılarak hazırlanan bitki özütü ile nanokompozitler, yeşil sentez yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Bu sentez yöntemi, atık malzeme kullanımı ve toksik kimyasalların kullanılmadan sentezin gerçekleştirilmesi avantajlarına sahiptir. Yeşil sentez sonucunda elde edilen nanokompozitlerin karakterizasyon çalışmaları, nanopartiküllerin yumurta kabuğuna en iyi şekilde konjuge olanının sırasıyla magnezyum oksit ve alüminyum oksit olduğunu göstermiştir. Sentezlenen nanokompozit örneklerinin hemolitik aktiviteleri incelendiğinde, her iki nanokompozitin de hemouyumlu olduğu, ancak Mg/YK nanokompozitin en yüksek hemouyumluluğuna sahip olduğu belirlenmiştir. Yeşil sentez yöntemi ile elde edilen Mg/YK ve Al/YK nanokompozitlerinin hemouyumlu olmaları, sağlık alanında biyomalzeme olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Teşekkür

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi 09-DR-23 no'lu BAP projesi kapsamında yürütülen bu çalışmaya destek sağlayan Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' ne teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Büşra ŞENSOY GÜN: (a) Fikir, (b) Çalışma Tasarısı, (c) Literatür Taraması, (i) Eleştirel İnceleme, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma,

Belgin TUNALI: (a) Fikir, (b) Çalışma Tasarısı, (c) Literatür Taraması, (d) Danışmanlık, (e) Malzeme, Kaynak Sağlama, (f) Veri Toplama, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma, (i) Eleştirel İnceleme

Rafiq QURBANOV: (d) Danışmanlık, (e) Malzeme, Kaynak Sağlama (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma, (i) Eleştirel İnceleme

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

KAYNAKLAR

- Türköz Altuğ, D., Kaya Kınaytürk, N., Kalaycı, T., & Tunalı, B. (2022). Heavy metal adsorption with eggshell of *Phasianus colchicus*. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 17(1), 228-238. <https://doi.org/10.29233/sdufeffd.1095952>
- Abdallah, Y., Liu, M., Ogunyemi, S.O., Ahmed, T., Fouad, H., Abdelazez, A., Yan, C., Yang, Y., Chen, J., & Li, B. (2020). Bioinspired green synthesis of chitosan and zinc oxide nanoparticles with strong antibacterial activity against rice pathogen *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*. *Molecules*, 25(20), 4795. <https://doi:10.3390/molecules25204795>
- Adeosun, S.O., Lawal, G.I., Balogun, S.A., & Akpan, E.I. (2012). Review of green polymer nanocomposites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11(4), 385-416. <https://10.4236/jmmce.2012.114028>
- Barakat, M.A., Anjum, M., Kumar, R., Alafif, Z.O., Oves, M., & Ansari, M.O. (2020). Design of ternary Ni(OH)₂/graphene oxide/TiO₂ nanocomposite for enhanced photocatalytic degradation of organic, microbial contaminants, and aerobic digestion of dairy wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120588>
- Bee, S.L., & Abdul, H.Z.A. (2020). Hydroxyapatite derived from food industry bio-wastes: Syntheses, properties and its potential multifunctional applications. *Ceramics International*, 46, 17149-17175. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.04.103>
- Bhagavatheswaran, E.S., Das, A., Rastin, H., Saeidi, H.,

- Jafari, S.H., Vahabi, H., & Saeb, M.R. (2019). The taste of waste: the edge of eggshell over calcium carbonate in acrylonitrile butadiene rubber. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(11), 2478–2489. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01530-y>
- Bindhu, M.R., Umadevi, M., Esmail, G.A., Al-Dhabi, N.A., & Arasu, M.V. (2020). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles from *Moringa oleifera* flower and assessment of antimicrobial and sensing properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 205, 111836. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111836>
- Chen J., Kuichang, Z., Yilin, L., Huang, X., Jiahui, H., Yang, Y., Wang, W., Chen, L., Jain, A., Verduzco, R., Li, X., & Li, O. (2022). Eggshell membrane derived nitrogen rich porous carbon for selective electrosorption of nitrate from water. *Water Research*, 216, 118351. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118351>
- Choudhary, R., Venkatraman, S.K., Bulygina, I., Senatov, F., Kaloshkin, S., Anisimova, N., Kiselevskiy, M., Knyeva, M., Kukui, D., & Swamiappan, S. (2021). Biomineralization, dissolution and cellular studies of silicate bioceramics prepared from eggshell and rice husk. *Materials Science and Engineering*, 118, 111456. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111456>
- Ding, Q., Kang, Z., Cao, L., Lin, M., Lin, H., & Yang, D.P. (2020). Conversion of waste eggshell into difunctional Au/CaCO₃ nanocomposite for 4-nitrophenol electrochemical detection and catalytic reduction. *Applied Surface Science*, 510, 145526. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145526>
- Dobrovolskaia, M.A., Clogston, J.D., Neun, B.W., Hall, J.B., Patri, A.K., & McNeil, S.E. (2008). Method for analysis of nanoparticle hemolytic properties in vitro. *Nano Letters*, 8(8), 2180–2187. <https://doi.org/10.1021/nl0805615>
- El-Borady, O.M., Fawzy, M., & Hosny, M. (2021). Antioxidant, anticancer and enhanced photocatalytic potentials of gold nanoparticles biosynthesized by common reed leaf extract. *Applied Nanoscience*, 13, 3149–3160. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01776-w>
- Gomes, T., Caponio, F., & Alloggio, V., (1999). Phenolic compounds of virgin olive oil: Influence of paste preparation techniques. *Food Chemistry*, 64, 203–209. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00146-0)
- Gupta, P.K., Palanisamy, S., Gopal, T., Rajamani, R., Pandit, S., Sinha, S., & Thakur, V.K. (2021). Synthesis and characterization of novel Fe₃O₄/PVA/eggshell hybrid nanocomposite for photodegradation and antibacterial activity. *Journal of Composites Science*, 5(10), 267. <https://doi.org/10.3390/jcs5100267>
- He, X., Yang, D.P., Zhang, X., Liu, M., Kang, Z., Lin, C., & Luque, R. (2019). Waste eggshell membrane-templated CuO-ZnO nanocomposites with enhanced adsorption, catalysis and antibacterial properties for water purification. *Chemical Engineering Journal*, 369, 621–633. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.047>
- Honarmand, M., Mirzadeh, M., & Honarmand, M. (2020). Green synthesis of SnO₂-ZnO-eggshell nanocomposites and study of their application in removal of mercury (II) ions from aqueous solution. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18, 1581–1593. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00576-8>
- Huang, Y., Ji, Y., Kang, Z., Li, F., Ge, S., Yang, D.-P., Ruan, J., & Fan, X. (2020a). Integrating eggshell-derived CaCO₃/MgO nanocomposites and chitosan into a biomimetic scaffold for bone regeneration. *Chemical Engineering Journal*, 395, 125098. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125098>
- Huang, X., Chang, L., Lu, Y., Li, Z., Kang, Z., Zhang, X., Liu, M., & Yang, D. P. (2020b). Plant-mediated synthesis of dual-functional eggshell/Ag nanocomposites towards catalysis and antibacterial application. *Materials Science and Engineering*, 113, 111015. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111015>
- Ijaz, M., Aftab, M., Afsheen, S., & Iqbal, T. (2020). Novel Au nano-grating for detection of water in various electrolytes. *Applied Nanoscience*, 10(11), 4029–4036. <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01520-w>
- Kalaycı, T., Tunalı, B., Türköz Altuğ, D., & Kaya Kinaytürk, N. (2023). Quantum Chemical calculations of m-toluidine and investigation of its adsorption on eggshells. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 169–183. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.1210056>
- Kaya Kinaytürk, N., Tunalı, B., & Türköz Altuğ, D. (2021). Eggshell as a biomaterial can have a sorption capability on its surface: A spectroscopic research. *Royal Society of Chemistry*, 8, 210100. <https://doi.org/10.1098/rsos.210100>
- Kiselev, K.V., Dubrovina, A.S., Veselova, M.V., Bulgakov, V. P., Fedoreyev, S.A., & Zhuravlev, Y.N. (2007). The rol-B gene-induced over production of resveratrol in *Vitis amurensis* transformed cells. *Journal of Biotechnology*, 128, 681–692. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2006.11.008>
- Li, X., Ma, M., Ahn, D.U., & Huang, X. (2018). Preparation and characterization of novel eggshell membrane-chitosan blend films for potential wound-care dressing: From waste to medicinal products. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123, 477–484. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.215>
- Lunkov, A., Shagdarova, B., Konovalova, M., Zhuikova, Y., Drozd, N., Ilina, A., & Varlamov, V. (2020). Synthesis Of silver nanoparticles using gallic acid-conjugated chitosan derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 234, 115916, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115916>
- Maisa, W., & Awwad, A.M. (2021). A novel route for the synthesis of copper oxide nanoparticles using *Bougainvillea* plant flowers extract and antifungal activity evaluation. *Chemistry International*, 7(1), 71–78. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4042902>
- Martel, R.M., Du, J., & Hincke, M.T. (2012). Proteomic analysis provides new insight into the chicken eggshell cuticle. *Journal Proteomics*, 75, 2697–2706. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.03.019>
- Mittal, A.K., Kumar, S., & Banerjee, U.C. (2014). Quercetin and gallic acid mediated synthesis of bimetallic (silver

- and selenium) nanoparticles and their antitumor and antimicrobial potential. *Journal of Colloid and Interface Science*, 431, 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.06.030>
- Muthu, K., & Priya, S. (2017). Green synthesis, characterization and catalytic activity of silver nanoparticles using *Cassia auriculata* flower extract separated fraction. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 179, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.02.024>
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S.M., & Hatamifard, A. (2016). Waste chicken eggshell as a natural valuable resource and environmentally benign support for biosynthesis of catalytically active Cu/eggshell, Fe₃O₄/eggshell and Cu/Fe₃O₄/eggshell nanocomposites. *Applied Catalysis B: Environmental*, 191, 209–227. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.02.042>
- Oves, M., Rauf, M.A., Aslam, M., Qari, H.A., Sonbol, H., Ahmad, I., Zaman, G.S., & Saeed, M. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles by *Conocarpus Lancifolius* plant extract and their antimicrobial and anticancer activities. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 460–467. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.007>
- Owuamanam, S., & Cree, D. (2020). Progress of bio-calcium carbonate waste eggshell and seashell fillers in polymer composites: A review. *Journal of Composites Science*, 4(2), 70. <https://doi.org/10.3390/jcs4020070>
- Palithya, S., Gaddam, S.A., Kotakadi, V.S., Penchalaneni, J., Golla, N., Krishna, S.B.N., & Naidu, C.V. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using flower extracts of *Aerva lanata* and their biomedical applications. *Particulate Science and Technology*, 20, 84–96. <https://doi.org/10.1080/02726351.2021.1919259>
- Parvin, S., Biswas, B.K., Rahman, M.A., Rahman, M.H., Anik, M.S., & Uddin, M.R. (2019). Study on adsorption of Congo red onto chemically modified egg shell membrane. *Chemosphere*, 236, 124326. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.057>
- Renuka, R., Devi, K.R., Sivakami, M., Thilagavathi, T., Uthrakumar, R., & Kaviyarasu, K. (2020). Biosynthesis of silver nanoparticles using *Phyllanthus emblica* fruit extract for antimicrobial application. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24, 101567. <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2020.101567>
- Ruhaimi, A.H., & Aziz, M.A. (2021). High-performance flake-like mesoporous magnesium oxide prepared by eggshell membrane template for carbon dioxide capture. *Journal of Solid State Chemistry*, 300, 122242. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2021.122242>
- Rohaizad, A., Shahabuddin, S., Shahid, M.M., Rashid, N.M., Hir, Z.A.M., Ramly, M.M., Awang, K., Siong, C.W., & Aspanut, Z. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles from *Catharanthus roseus* dried bark extract deposited on graphene oxide for effective adsorption of methylene blue dye. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 103955. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103955>
- Sadighara, P., Gharibi, S., Jafari, A.M., Khaniki, G.J., & Salari, S. (2012). The antioxidant and flavonoids contents of *Althaea officinalis* L. flowers based on their color. *Avicenna Journal of Phytomedicine Received*, 2(3), 113–117.
- Sajadi, S.M., Kolo, K., Abdullah, S.M., Hamad, S.M., Khalid, H.S., & Yasin, A.T. (2018). Green synthesis of highly recyclable CuO/eggshell nanocomposite to efficient removal of aromatic containing compounds and reduction of 4-Nitrophenol at room temperature. *Surfaces and Interfaces*, 15, 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2018.08.006>
- Sarıbuğra, S. (2014). *Manyetik nanopartiküllerin analitik incelenmesi* [Yayımlanmamış Doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Shah, S.T., Yehya, W.A., Saad, O., Simarani, K., Chowdhury, Z., Alhadi, A.A., & Al-Ani, L.A. (2017). Surface functionalization of iron oxide nanoparticles with gallic acid as potential antioxidant and antimicrobial agents. *Nanomaterials*, 7(10), 306. <https://doi.org/10.3390/nano7100306>
- Snafi A.E. (2013). The pharmaceutical importance of *Althaea officinalis* and *Althaea rosea*: A review. *International Journal of PharmTech Research*, 5, 1378–1385.
- Swilam, N., & Nematallah, K.A. (2020). Polyphenols profile of pomegranate leaves and their role in green synthesis of silver nanoparticles. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71847-5>
- Torres-Mansilla, A.C., & Delgado-Mejia, E. (2017). Influence of separation techniques with acid solutions on the composition of eggshell membrane. *International Journal of Poultry Science*, 16(11), 451–456. <https://doi.org/10.3923/ijps.2017.451.456>
- Tunalı, B., Türköz Altuğ, D., Kaya Kınaytürk, N., & Tüzün, G.C. (2021). Removal of heavy metals (copper and lead) using waste eggshell with two different species and three different forms. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 434–445. <https://doi.org/10.29048/makufebed.983222>
- Yorseng, K., Siengchin, S., Ashok, B., & Rajulu, A.V. (2020). Nanocomposite eggshell powder within situ generated silver nanoparticles using inherent collagen as reducing agent. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(2), 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.04.003>
- Xu, Y.-J., Dong, L., Lu, Y., Zhang, L.-C., An, D., Gao, H.-L., & Yu, S.-H. (2016). Magnetic hydroxyapatite nanoworms for magnetic resonance diagnosis of acute hepatic injury. *Nanoscale*, 8(3), 1684–1690. <https://doi.org/10.1039/c5nr07023f>

Türkiye’de Deniz Kazası Olasılığının İncelenmesi

Investigation of Marine Accident Probability in Türkiye

Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU^{1*}, Özen ARLI KÜÇÜKOSMANOĞLU¹

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

Article Info

Research Article

DOI: 10.29048/makufebed.1417779

Corresponding Author

Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU

Email: akucukosmanoglu@mehmetakif.edu.tr

Article History

Received: 10.01.2024

Revised: 11.03.2024

Accepted: 19.03.2024

Available Online: 15.06.2024

To Cite

Küçükosmanoğlu, A., & Arlı
Küçükosmanoğlu, Ö. (2024). Türkiye’de
deniz kazası olasılığının incelenmesi. *The
Journal of Graduate School of Natural and
Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy
University*, 15(1), 33-41.
<https://doi.org/10.29048/makufebed.1417779>

ÖZ: Çalışmada, Türkiye’de meydana gelen deniz kazası olasılığı Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi tarafından arşivlendiği şekilde bölgeler bazında incelenmiştir. İnceleme sırasında her bölgenin ve Türkiye’nin deniz kazası olasılığı hesaplanmıştır. Deniz kazası olasılığının yıllara göre değişimi gösterilmiş ve normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Öncelikle 2001 ile 2018 yılları arasında meydana gelen deniz kazası verileri derlenmiştir. Verilerde deniz kazaları belirlenmiş ve Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon olmak üzere 7 bölge ve Türkiye için kaza olasılıkları hesaplanmıştır. Daha sonra kaza olasılıklarının 2001 ile 2018 yılları arasındaki değişimi sunulmuştur. Değişim incelendiğinde Türkiye’de, Çanakkale, İzmir, Samsun ve Trabzon bölgesindeki kaza olasılığının azaldığı; Antalya, İstanbul, Mersin bölgesindeki kaza olasılığının neredeyse değişmediği yönünde bir eğilim görülmüştür. 7 bölge ve Türkiye için kaza olasılığının ortalama, standart sapma, basıklık ve çarpıklık değerleri hesaplanmıştır. Normal dağılım grafikleri sunulmuştur. Dağılımın normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Kolmogorov-Smirnov testine göre Antalya, Çanakkale, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon bölgesinde ve Türkiye için dağılımın normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir. Shapiro-Wilk testine göre Antalya, Çanakkale, İzmir, Mersin bölgesinde ve Türkiye için dağılımın normal dağılıma uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Deniz kazası, olasılık, normal dağılım

ABSTRACT: The probability of marine accidents occurring in Türkiye was examined on the basis of regions as archived in Main Search and Rescue Coordination Center. The probability of marine accident was calculated for each region. The change of probability according to the years was shown and its compatibility to the normal distribution was tested. Marine accidents data between the years 2001 and 2018 were compiled. Maritime accident was determined in the data and accident probabilities were calculated for 7 regions, namely Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun, and Trabzon. Then, the change in accident probabilities between years 2001 and 2018 is presented. When the change is examined; a decreasing trend has been observed in Çanakkale, İzmir, Samsun and Trabzon regions; no trend has been observed in Antalya, İstanbul, Mersin regions. Mean, standard deviation, kurtosis and skewness values of maritime accident probability are calculated and normal distribution graphs are presented. The suitability of the distribution to the normal distribution was evaluated via Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests. The distribution is in accordance with the normal distribution according to the Kolmogorov-Smirnov test for Antalya, Çanakkale, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon regions. The distribution is suitable for the normal distribution for only Antalya, Çanakkale, İzmir and Mersin regions according to the Shapiro-Wilk test.

Keywords: Maritime accident, probability, normal distribution

1. GİRİŞ

Deniz taşımacılığı, uluslararası ticaretin ve ekonominin bel kemiğidir. Uluslararası ticaretin %80'den fazlası deniz yoluyla taşınmaktadır ve gelişmekte olan ülkelerin çoğunda bu oran daha da yüksektir (UNCTAD, 2022). Denizyolu taşımacılığı; demiryolu taşımacılığına göre 3,5 kat, karayolu taşımacılığına göre 7 kat ve havayolu taşımacılığına göre 22 kat daha ucuzdur (DPT, 2007).

Her sektörde olduğu gibi denizyolu taşımacılığında da kazalar meydana gelmektedir. Bir deniz kazası olduğunda, kurtarma çalışmalarına hızlı bir şekilde başlamak için acil müdahale birimleri oluşturulması gerekir. Türkiye'deki acil müdahale birimi, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı

Denizcilik Genel Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi'dir. Bu oluşum Türk arama kurtarma sahasında (AAKKM, 2022) meydana gelen acil ihbarlara, deniz ve hava kazalarına müdahale edebilmektedir (Şekil 1).

Türk arama kurtarma sahasında meydana gelen kazalar, Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi tarafından kayıt altına alınmaktadır ve talep üzerine uygun görülmesi halinde kurum tarafından paylaşılmaktadır. Kayıt altına alınan deniz kazaları verileri Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon ve uluslararası olmak üzere 8 bölgeye ayrılarak derlenmiştir. Çalışmada uluslararası bölge hariç olmak üzere 7 bölge için kaza olasılıkları belirlenmiştir.



Şekil 1. Türk arama kurtarma sahası (AAKKM, 2022)

Literatürde yapılmış olan kaza olasılıkları ve risk çalışmaları özellikle İstanbul Boğazı'nda yoğunlaşmaktadır. Görçün ve Burak (2015) çalışmasında Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından önerilen Resmi Güvenlik Değerlendirmesini (FSA) gemi özelliklerini, kaza yerlerini, kaza zamanını, kaza tiplerini ve nedenlerini göz önüne alarak İstanbul Boğazı'na uygulamıştır. Diğer bir araştırmada Emecen Kara (2016) geçen gemilerin bayraklarına göre İstanbul Boğazı risk değerlendirmelerini yapmıştır.

Uluslararası kabul gören yöntemler dışında araştırmacıların geliştirdiği ve uyguladığı yöntemler de bulunmaktadır. Özbaş vd. (2013) yapmış oldukları çalışmalarında, daha önceki çalışmalarında geliştirdikleri modelleri kullanarak 16 senaryo oluşturmuş ve risk değişimini incelemişlerdir.

Ayrıca boğazda uygulanan geçiş sistemi kaza risklerini etkilemektedir. İstikbal (2020) çalışmasında İstanbul Boğazı'nda iskele seyirinin (soldan seyir) uygulandığı dönemde 1960, 1966 ve 1979 yıllarında meydana gelen üç büyük deniz kazasını analiz etmiştir.

Günümüzde, kaza olasılığını azaltmak için boğazdan geçen gemilerin geçiş saatleri düzenlenmektedir. Korçak ve Balas (2020) çalışmasında İstanbul Boğazı'ndan kuzey-güney yönünde geçen gemiler ile boğazı doğu-batı yönünde geçen yerel vapurlar arasında olası çarpışma kazalarını simülasyon modellemesi kullanarak incelemiştir. Karşılaşma noktalarını tanımlayarak, İstanbul Boğazı için

risk oluşturan çarpma olasılığını hesaplamış ve risk azaltma seçeneği olarak gemi geçiş saatleri değişikliğinin etkisini değerlendirmişlerdir.

Boğazda meydana gelen kazalarda transit geçen gemilerin dışında, yerel trafiğin de etkisi bulunmaktadır. Altan ve Otay (2017) çalışmasında İstanbul Boğazı navigasyon paternini Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS, Automatic Identification System) verilerini kullanarak incelemiştir. Hareket halindeki 309.000 gemiden bir yılda toplanan 1,5 milyar AIS mesajını yapılandırılmış sorgu dili (SQL) veri tabanında saklamış ve yerel trafiğin, özellikle keskin dönüşlerin olduğu sektörlerde, navigasyon paternini güçlü bir şekilde etkilediğini ortaya koymuşlardır.

İstanbul Boğazı, morfolojik yapısı nedeniyle kaza riskinin yüksek olduğu dar bir su yoludur. İstanbul Boğazı dışında; İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında (Bolat ve Yongxing, 2013), Çanakkale Boğazı'nda (İlgar, 2015) ve İzmir Körfezi'nde (Nas, 2011) yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır.

Ancak literatürde Türkiye'de meydana gelen deniz kazalarını bölgesel açıdan inceleyen bir yayına rastlanmamıştır. Bu çalışmada Türk arama kurtarma sahasında kayıt altına alınan deniz kazaları derlenerek Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun ve Trabzon olmak üzere 7 bölge için kaza olasılıkları incelenmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi (AAKMM) tarafından kayıt altına alınan, 2001 ile 2018 yılları arasında meydana gelen kaza verileri derlenmiştir. Kaza verileri Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon ve Uluslararası olmak üzere 8 bölgeye ayrılarak kaydedilmektedir. Çalışmada uluslararası hariç olmak üzere 7 bölge ve Türkiye için kaza olasılıkları belirlenmiştir.

Kaza olasılıkları belirlenirken denklem 1 kullanılarak kaza sayısı, bölge limanlarına gelen gemi sayısına bölünmüştür.

$$\text{Kaza Olasılığı} = \text{Kaza Sayısı} / \text{Gemi Sayısı} \quad (1)$$

2001 ile 2004 yılları arasındaki bölge limanlarına gemi sayıları doktora tezi "Sızıntı Miktarının Deniz Kazaları Risk Modeli (MaRisk) ile Araştırılması" kullanılarak elde edilmiştir (Küçükosmanoğlu, 2008). 2011 ile 2018 yılları arasındaki bölge limanlarına gelen gemi sayısı "Liman Başkanlıkları Bazında Limanlarımıza Uğrayan Gemi İstatistikleri" (T.C. Ulaştırma Altyapı Bakanlığı, 2022) kullanılarak derlenmiştir. 2005 ile 2010 yılları arasındaki bölge limanlarına gemi sayıları içinde interpolasyon yöntemiyle tahmin yapılmıştır.

AAKMM tarafından arşivlenen kaza verileri; alabora, boğulma, ceset bulma, çatışma, çatma, deniz aracından tahliye, deniz haydut saldırısı, deniz olayı (kazayla sonuçlanmamış tehlikeli olay), denize adam düşmesi, gemi veya ekipman hasarı, hava aracı kazası, kayıp, makina arızası, oturma, patlama, su alma, sürüklenme, teknede hasar/ su geçirmez bölmelerde hasar vs., temas, tıbbi tahliye, yan yatma, yangın, yardım talebi, yasa dışı göç ve diğerleri olmak üzere 25 başlıkta kaydedilmektedir. Bu başlıklardan alabora, çatışma, çatma, diğerleri, oturma, patlama, sürüklenme, temas, yan yatma ve yangın, deniz kazası olarak öngörülmüş ve bu değerler ile 2001 ile 2018 yılları arasındaki kaza olasılıkları hesaplanmıştır.

Her ne kadar 2001 ile 2018 yılları arasındaki kaza olasılıkları, bölgelerdeki kaza olasılığı dağılımı için az bir veri

seti olsa da, her bölgede normal dağılım değerleri belirlenmiş ve uygunluk testi gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

Uygulamalarda en çok karşılaşılan dağılımlardan birisi Normal Dağılım veya Gauss Dağılımı olarak bilinen dağılımdır. Doğal ve beşeri olaylar sonucundaki dağılımların çoğu normal dağılıma uygundur ve merkez limit teoremi ile açıklanmaktadır (Blacher, 2007). Bu teoreme göre örneklem sayısı arttıkça verilerin dağılımı normal dağılıma yaklaşmaktadır. Denklem 2'de normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right) \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada; μ ortalama değer, σ standart sapmadır. Normal dağılım simetrik bir dağılımdır ve çarpıklık katsayısı 0, basıklık katsayısı 3'dür.

Dağılımın ortalama değeri (aritmetik ortalama, beklenen değer), $x_0=0$ noktasına göre olasılık yoğunluk fonksiyonunun 1.mertebeden momenti alınarak belirlenmektedir (Denklem 3).

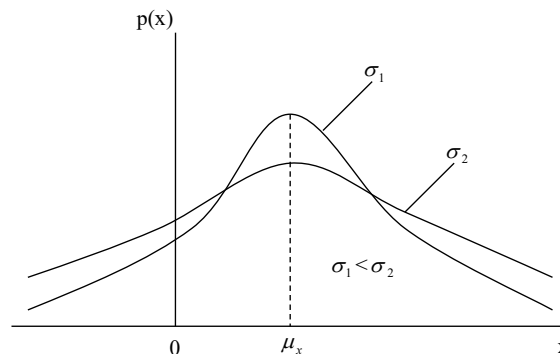
$$v_1 = \mu = E_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot p(x) \cdot dx \quad (3)$$

Ortalama değer fonksiyonun altında kalan alanın ağırlık merkezinin $-x$ eksenindeki değeridir.

Verilerin ortalama değer etrafındaki yayılımını belirlemek için, olasılık yoğunluk fonksiyonunun 2. mertebeden merkez momenti alınarak varyans (Var) elde edilmektedir (Denklem 4):

$$\text{Var}_x = E(x - E_x)^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - E_x)^2 \cdot p(x) \cdot dx \quad (4)$$

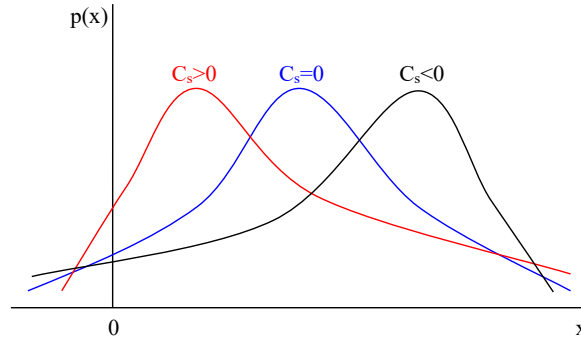
Varyansın kareköküne standart sapma denir. Standart sapma dağılımın yaygınlığını ifade etmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Standart sapmanın dağılıma etkisi (Küçükosmanoğlu, 2008)

Çarpıklık katsayısı (C_s); bir örneklemden alınan verilerin merkez etrafında (ortalama değer) sağa veya sola doğru

yoğunlaşmasını göstermektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Çarpıklık katsayısının dağılıma etkisi (Küçükosmanoğlu, 2008)

Dağılımın simetrik olması durumunda çarpıklık katsayısı sıfır olmaktadır. Çarpıklık katsayısı olasılık yoğunluk fonksiyonunun 3. mertebeden merkez momentinin (m_3), 2. mertebeden merkez momentinin (m_2) 3/2 kuvvetine oranı ile bulunmaktadır:

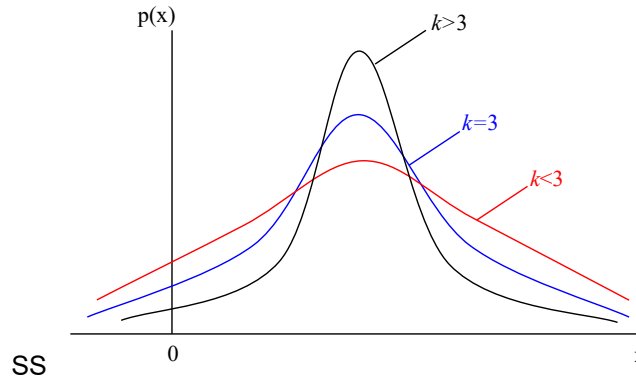
$$C_s = \frac{\mu^3}{\sigma^3} = \frac{m_3}{m_2^{3/2}} \quad (5)$$

Basıklık katsayısı (k) olasılık yoğunluk fonksiyonunun tepesinin sivri veya düz olmasını göstermektedir.

Fonksiyonun 4. mertebeden merkez momenti kullanılarak hesaplanabilmektedir:

$$k = \frac{\mu^4}{\sigma^4} \quad (6)$$

Dağılımın basıklığı genelde normal dağılıma göre tanımlanmaktadır. Normal dağılım için basıklık (k) 3'tür. Basıklık katsayısı 3'ten büyük ise dağılım sivri, basıklık katsayısı 3'ten küçük ise dağılım düz olmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Basıklık katsayısının dağılıma etkisi (Küçükosmanoğlu, 2008)

Bu çalışmada kaza olasılıklarının normal dağılıma uymasının kontrolü için Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1933) ve Shapiro-Wilk (Shapiro ve Wilk, 1965) testleri kullanılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun ve Trabzon olmak üzere 7 bölge için 2001 ile 2018

Testlerde anlamlılık düzeyi $p > 0,05$ olarak alınmış ve bu değer elde edilmişse, dağılımın normal dağılımdan anlamlı bir farklılık göstermediği, dağılımın normal dağılıma uygun olduğu kabul edilmiştir.

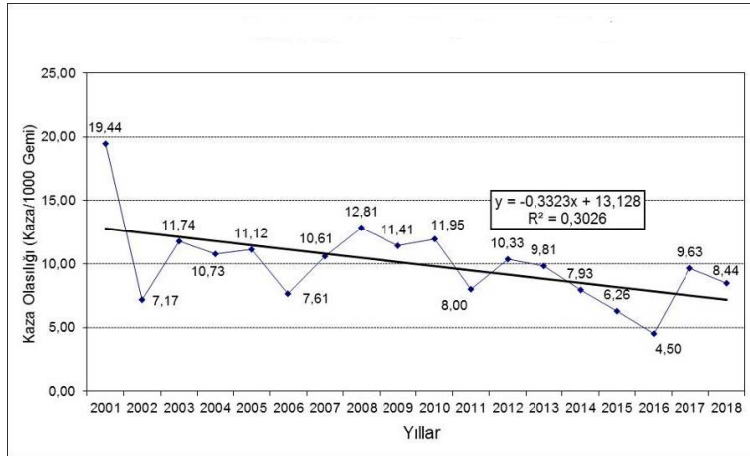
yılları arasındaki 1.000 gemi başına kaza olasılıkları belirlenmiştir (Tablo 1). Ayrıca Türkiye'deki 1.000 gemi başına kaza olasılığı son sütunda sunulmuştur.

Tablo 1. Bölgelerin kaza olasılıkları (1.000 gemi başına)

Yıllar	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon	Toplam Olasılık
2001	2,48	3,38	1,44	2,66	0,99	4,34	4,15	19,44
2002	1,18	1,97	1,27	1,79	0,50	0,46	0,00	7,17
2003	1,77	2,72	1,29	3,16	0,36	1,91	0,53	11,74
2004	2,67	2,26	1,54	1,85	0,76	1,15	0,51	10,73
2005	1,40	2,62	1,80	1,32	0,32	1,69	1,96	11,12
2006	1,19	1,64	1,55	1,40	0,62	1,21	0,00	7,61
2007	2,51	2,43	1,46	1,38	0,61	0,82	1,39	10,61
2008	3,34	2,95	2,68	1,30	0,60	1,50	0,45	12,81
2009	3,56	1,37	1,92	2,01	0,29	1,38	0,87	11,41
2010	3,82	2,18	3,10	1,22	0,57	1,06	0,00	11,95
2011	2,06	1,29	1,78	1,28	0,37	0,40	0,83	8,00
2012	3,14	1,64	1,66	1,64	0,28	1,59	0,38	10,33
2013	4,62	0,78	1,42	1,42	0,55	0,64	0,38	9,81
2014	1,66	1,41	0,97	1,77	0,27	0,43	1,42	7,93
2015	2,17	1,12	0,65	0,82	0,35	1,14	0,00	6,26
2016	1,24	1,00	0,56	0,76	0,45	0,49	0,00	4,50
2017	0,00	2,70	3,75	2,58	0,60	0,00	0,00	9,63
2018	1,89	1,55	1,54	2,55	0,34	0,00	0,58	8,44

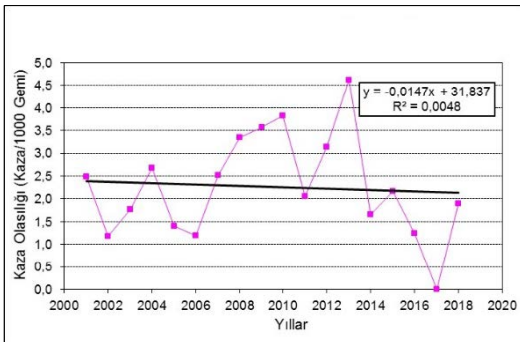
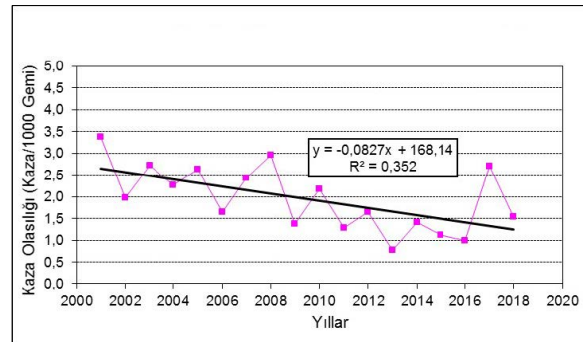
Türkiye'deki kaza olasılığının 2001 ile 2018 yılları arasındaki değişimine bakıldığında (Şekil 5), eğilim bize kaza

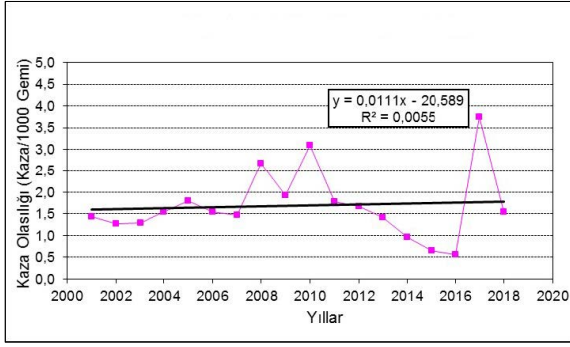
olasılığının azaldığı yönünde bir fikir vermektedir.

**Şekil 5.** Türkiye'deki kaza olasılığının yıllara göre değişimi

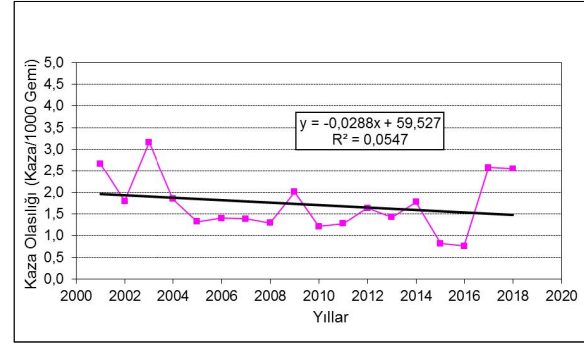
Antalya bölgesindeki kaza olasılığının 2001 ile 2018 yılları arasındaki değişimine bakıldığında (Şekil 6a), eğilim kaza olasılığının neredeyse değişmediği yönünde bir fikir vermektedir. Çanakkale bölgesindeki kaza olasılığının 2001 ile 2018 yılları arasındaki değişimine bakıldığında (Şekil 6b), eğilim kaza olasılığının azaldığı yönünde bir fikir vermektedir. İstanbul bölgesindeki kaza olasılığının 2001 ile

2018 yılları arasındaki değişimine bakıldığında (Şekil 6c) eğilim kaza olasılığının neredeyse değişmediği yönünde bir fikir vermektedir. 2008 ile 2010 yılları arasında görülen dalgalanmanın, 2008 yılındaki küresel krizin etkilediği bilinen sektörlerden biri olan denizcilik sektöründeki etkisini yansıttığı düşünülmektedir.

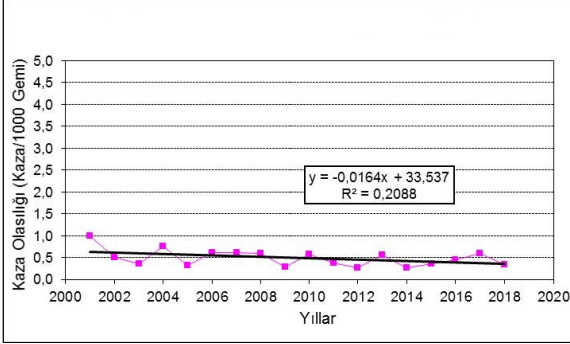
**(a)****(b)**



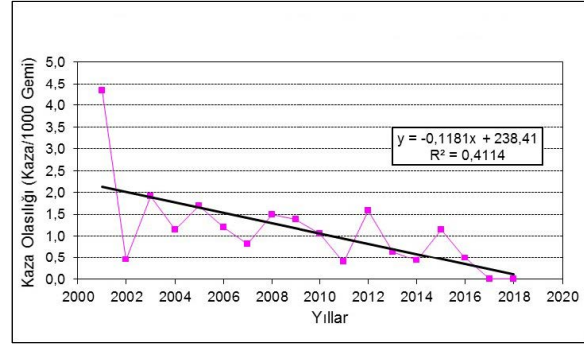
(c)



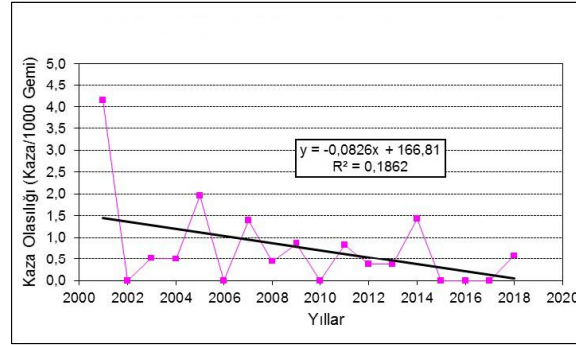
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 6. Bölgelerdeki kaza olasılığının yıllara göre değişimi [(a) Antalya; (b) Çanakkale; (c) İstanbul; (d) İzmir; (e) Mersin; (f) Samsun; (g) Trabzon]

İzmir bölgesindeki kaza olasılığının 2001 ile 2018 yılları arasındaki değişimine bakıldığında (Şekil 6d) kaza olasılığının azaldığı yönünde bir fikir vermektedir. 2003 yılındaki dalgalanma bölgesel gemi trafiğini de inceleyerek daha detaylı inceleyerek ancak ortaya konulabilir. 2009 yılındaki dalgalanma da İstanbul bölgesindeki duruma benzer şekilde küresel krizin bir yansıması olabilir. Mersin bölgesindeki kaza olasılığının 2001 ile 2018 yılları arasındaki değişimine bakıldığında (Şekil 6e) kaza olasılığının neredeyse değişmediği yönünde bir fikir

vermektedir. Samsun bölgesindeki kaza olasılığının 2001 ile 2018 yılları arasındaki değişimine bakıldığında (Şekil 6f) eğilim çizgisi bize kaza olasılığının azaldığı yönünde bir fikir vermektedir. Trabzon bölgesindeki kaza olasılığının 2001 ile 2018 yılları arasındaki değişimine bakıldığında (Şekil 6g) kaza olasılığının azaldığı yönünde bir fikir vermektedir. Her bölge ve Türkiye (toplam) için kaza olasılıklarının ortalama, standart sapma, basıklık, çarpıklık değerleri belirlenmiş ve tabloda sunulmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Kaza olasılıkları dağılım değerleri (1.000 gemi başına)

Değerler	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon	Toplam
Ortalama	2,260	1,945	1,688	1,717	0,491	1,123	0,747	9,972
Standart Sapma	1,135	0,744	0,795	0,657	0,192	0,983	1,022	3,225
Çarpıklık	0,225	0,255	1,246	0,719	1,027	2,083	2,421	1,222
Çarpıklığın Standart Sapması	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536

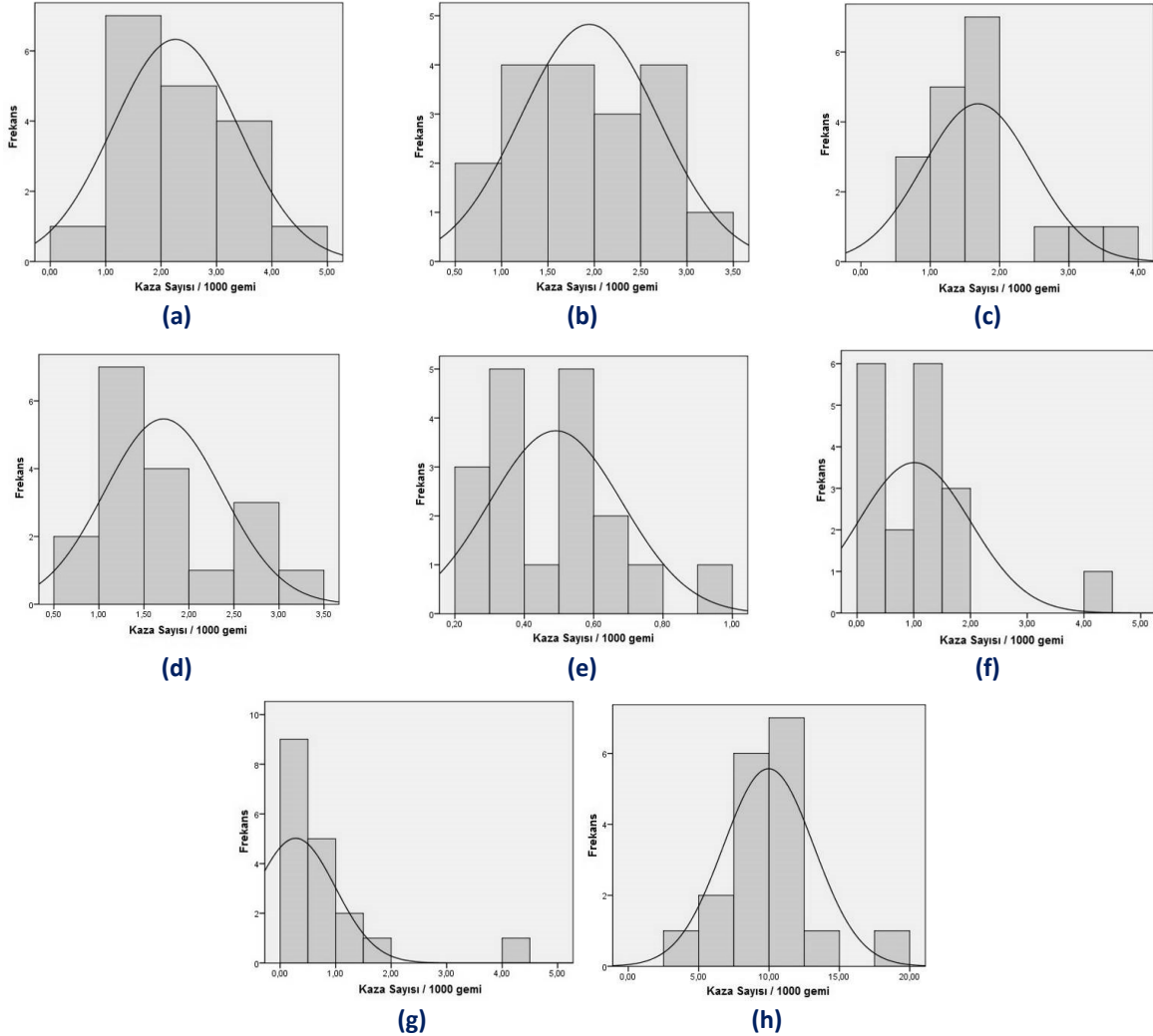
Tablo 2. Kaza olasılıkları dağılım değerleri (1.000 gemi başına) (Devam)

Değerler	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon	Toplam
Basıklık kurtosi	0,036	-0,941	1,872	-0,067	1,206	6,420	7,013	3,624
Basıklığın Standart Sapması	1,038	1,038	1,038	1,038	1,038	1,038	1,038	1,038
Minimum	0,000	0,780	0,560	0,760	0,270	0,000	0,000	4,500
Maksimum	4,620	3,380	3,750	3,160	0,990	4,340	4,150	19,440

Antalya bölgesi için kaza olasılığının normal dağılım grafiği Şekil 7a'da sunulmuştur. 1000 gemi başına ortalama 2,26 kaza (standart sapma 1,135) görülmektedir. Çanakkale bölgesi için kaza olasılığının normal dağılım grafiği Şekil 7b'de sunulmuştur. 1000 gemi başına ortalama 1,95 kaza (standart sapma 0,744) görülmektedir. İstanbul bölgesi için kaza olasılığının normal dağılım grafiği Şekil 7c'de sunulmuştur. 1000 gemi başına ortalama 1,69 kaza (standart sapma 0,795) görülmektedir. İzmir bölgesi için kaza olasılığının normal dağılım grafiği Şekil 7d'de sunulmuştur. 1000 gemi başına ortalama 1,72 kaza (standart sapma 0,657) görülmektedir. Mersin bölgesi için kaza olasılığının normal dağılım grafiği Şekil 7e'de

sunulmuştur. 1000 gemi başına ortalama 0,49 kaza (standart sapma 0,192) görülmektedir. Samsun bölgesi için kaza olasılığının normal dağılım grafiği Şekil 7f'de sunulmuştur. 1000 gemi başına ortalama 1,12 kaza (standart sapma 0,983) görülmektedir. Trabzon bölgesi için kaza olasılığının normal dağılım grafiği Şekil 7g'de sunulmuştur. 1000 gemi başına ortalama 0,75 kaza (standart sapma 1,022) görülmektedir.

Türkiye için kaza olasılığının normal dağılım grafiği Şekil 7h'de sunulmuştur. 1000 gemi başına ortalama 9,97 kaza (standart sapma 3,225) görülmektedir.



Şekil 7. Bölgelerdeki ve Türkiye geneli kaza olasılığının normal dağılımı [(a) Antalya; (b) Çanakkale; (c) İstanbul; (d) İzmir; (e) Mersin; (f) Samsun; (g) Trabzon; (h) Türkiye Geneli]

Türkiye ve tüm bölgeler için sunulan (Şekil 7) kaza olasılıklarının normal dağılıma uygunluğu incelenmiştir.

Kaza olasılıklarının normal dağılıma uygunluğunun kontrolü için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri

kullanılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk test sonuçları

Bölgeler	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk	
	Test istatistiği	p değeri	Test istatistiği	p değeri
Antalya	0,115	0,200	0,982	0,966
Çanakkale	0,157	0,200	0,965	0,690
İstanbul	0,224	0,018	0,877	0,024
İzmir	0,173	0,164	0,929	0,186
Mersin	0,172	0,169	0,897	0,052
Samsun	0,170	0,181	0,809	0,002
Trabzon	0,233	0,011	0,717	0,000
Toplam	0,158	0,200	0,906	0,074

Dağılımın normal dağılıma uygun kabul edilebilmesi için test sonuçlarındaki p değerinin 0,05'den büyük olması gerekmektedir. Kolmogorov-Smirnov testine göre Antalya, Çanakkale, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon ve Türkiye için p değeri 0,05'ten büyüktür. Shapiro-Wilk testine göre Antalya, Çanakkale, İzmir, Mersin ve Türkiye için p değeri 0,05'ten büyüktür. Tablo 3'te her iki yöntemle de hesaplanan değerler 18 örneklem için çalışılmıştır. Örneklem sayısı az olduğunda Kolmogorov-Smirnov testinin sonucunun Shapiro-Wilk testine göre düşük değerler göstermesi beklenen bir sonuçtur. Çünkü

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi (AAKKM) tarafından arşivlenen, 2001 ile 2018 yılları arasında meydana gelen deniz kazası verileri derlenmiştir.

2001 ile 2018 yılları arasındaki kaza olasılıklarının değişimi incelendiğinde Türkiye'de Çanakkale, İzmir, Samsun ve Trabzon bölgesindeki kaza olasılığının azaldığı; Antalya, İstanbul, Mersin bölgesindeki kaza olasılığının neredeyse değişmediği yönünde bir eğilim görülmüştür.

Kolmogorov-Smirnov testine göre Antalya, Çanakkale, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon ve Türkiye için dağılımın normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir. Shapiro-Wilk testine göre Antalya, Çanakkale, İzmir, Mersin ve Türkiye için dağılımın normal dağılıma uygun olduğu değerlendirilmektedir.

İlerleyen çalışmalarda diğer istatistikî yöntemlerden yararlanarak hangi dağılımların uygun olduğu değerlendirilebilir. Olağanüstü ve/veya afet durumları için yaygın kullanılan dağılımlar da araştırmacıların deneyebileceği yöntemlerdendir.

Kolmogorov-Smirnov testinde, örnek dağılım fonksiyonu ile teorik dağılım fonksiyonu arasındaki sapmayı temel olarak hesaplama yapılmaktadır. Gözlem sayısının küçük olduğu (n<50) durumlarda Shapiro-Wilk testi daha iyi sonuçlar vermektedir. Shapiro-Wilk testinde ise, gözlem değerleri ile bunlara tekabül eden normalize değerler arasındaki korelasyonu temel olarak hesaplama yapılmaktadır. Bu sonuçlara göre deniz kazası olasılığının Antalya, Çanakkale, İzmir, Mersin ve Türkiye için normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir.

Teşekkür

Deniz kazası verilerini paylaştığı için, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi'ne teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU: (a) Fikir, (b) Çalışma Tasarısı, (c) Literatür Taraması, (i) Eleştirel İnceleme, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma

Özen ARLI KÜÇÜKOSMANOĞLU: (f) Veri Toplama, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma, (i) Eleştirel İnceleme

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

KAYNAKLAR

AAKKM. (2022). *Türk arama kurtarma sahası. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü*.
Altan, Y., & Otay, E. (2017). Maritime traffic analysis of the Strait of Istanbul based on AIS data. *Journal of*

Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi. <https://denizcilik.uab.gov.tr/aakkm>
Navigation, 70(6), 1367-1382.
<https://doi.org/10.1017/S0373463317000431>

- Blacher, R. (2007). Central limit theorem by moments. *Statistics & Probability Letters*, 77(17), 1647-1651.
- Bolat, P., & Yongxing, J. (2013). Risk assessment of potential catastrophic accidents for transportation of special nuclear materials through Turkish Straits. *Energy Policy*, (56), 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.010>
- DPT. (2007). *Denizyolu ulaşımı özel ihtisas komisyonu Raporu*. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı.
- Emecen Kara, E. (2016). Risk assessment in the Istanbul Strait using Black Sea MOU Port State control inspections. *Sustainability*, 8(4), 390. <http://dx.doi.org/10.3390/su8040390>
- Görçün, Ö.F., & Burak S.Z. (2015). Formal safety assessment for ship traffic in the Istanbul Straits. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 207, 252-261. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.10.094>
- Ilgar, R. (2015). Çanakkale Boğazındaki gemi hareketliliği ve kaza risk haritasının belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (65), 1-10. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tcd/issue/21272/228377>
- İstikbal, C. (2020). Strait of Istanbul, major accidents and abolishment of left-hand side navigation. *Aquatic Research*, 3(1), 40-65. <https://doi.org/10.3153/AR20005>
- Kolmogorov, A. (1933). Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*, 4, 83-91.
- Korçak, M., & Balas, C.E. (2020). Reducing the probability for the collision of ships by changing the passage schedule in Istanbul Strait. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101593. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101593>
- Küçükosmanoğlu, A. (2008). *Sızıntı miktarının deniz kazaları risk modeli (marisk) ile araştırılması* [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi]. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://fbe-kazalar.gazi.edu.tr/view/page/236427>.
- Nas, S. (2011). İzmir Körfezi deniz ulaştırma emniyeti ve Yenikale Geçidi karaya oturma kazalarının analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(1), 9-23.
- Ozbas, B., Or, İ., & Altıok, T. (2013). Comprehensive scenario analysis for mitigation of risks of the maritime traffic in the Strait of Istanbul. *Journal of Risk Research*, 16(5), 541-561. <https://doi.org/10.1080/13669877.2012.726239>
- Shapiro, S.S., & Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- T.C. Ulaştırma Altyapı Bakanlığı. (2022). *Denizcilik istatistikleri*. http://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_gemi.aspx
- UNCTAD. (2022). *Review of Maritime Transport*. <https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2021>

Environmental Impacts of Geothermal Fields on Water Resources in the Central Anatolia Region, Türkiye

Türkiye, İç Anadolu Bölgesindeki Jeotermal Sahaların Su Kaynakları Üzerindeki Çevresel Etkileri

Eda AYDEMİR POLAT¹ , Şehnaz ŞENER^{1*} 

¹Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Isparta, Türkiye

Article Info

Research Article

DOI: 10.29048/makufebed.1416438

Corresponding Author

Şehnaz ŞENER

Email:sehnazsener@sdu.edu.tr

Article History

Received: 08.01.2024

Revised: 03.04.2024

Accepted: 04.04.2024

Available Online:15.06.2024

To Cite

Aydemir Polat, E., & Şener, Ş. (2024). Environmental impacts of geothermal fields on water resources in the Central Anatolia region, Türkiye. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 15(1), 42-60. <https://doi.org/10.29048/makufebed.1416438>

This article was produced from Eda AYDEMİR POLAT's doctoral thesis titled "Boğazlıyan (Yozgat) Termal ve Soğuk Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik Yöntemlerle İncelenmesi"

ABSTRACT: Hot and mineral waters in thermal areas may interact with other water resources in the region. When such a situation occurs, it is possible for hot water to negatively affect the chemical structure and quality of cold-water resources. This limits the use of drinking and/or irrigation water in water resources. In the scope of this study, geothermal fields in the Central Anatolia region of Türkiye were examined in detail and the quality and usability characteristics of the water resources in these fields were examined. Thus, the environmental effects of geothermal in terms of water resources were tried to be revealed. The geological, hydrogeological and hydro geochemical properties of 18 different geothermal fields located in 5 different cities (Aksaray, Yozgat, Kırşehir, Niğde, and Nevşehir) were examined and their similarities and differences with each other were revealed. In addition, the quality and usability features of hot and cold-water resources in each field were examined and the possible negative effects of these geothermal fields on water resources were investigated. According to the results obtained, thermal energy causes pollution of both freshwater resources and soil, especially due to their high ion content.

Keywords: Geothermal, groundwater, drinking water, environmental effects, Central Anatolia Region

Öz: Termal alanlardaki sıcak ve mineralli sular bölgedeki diğer su kaynaklarıyla etkileşime girebilmektedir. Böyle bir durum oluştuğunda sıcak suyun, soğuk su kaynaklarının kimyasal yapısını ve kalitesini olumsuz etkilemesi mümkündür. Bu durum su kaynaklarında içme ve/veya sulama suyunun kullanımını sınırlamaktadır. Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin İç Anadolu bölgesindeki jeotermal sahalar detaylı bir şekilde incelenerek bu sahalardaki termal suların kalite ve kullanılabilirlik özellikleri incelenmiştir. Böylece termal akışkanın su kaynakları açısından çevresel etkileri ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Beş farklı ilde (Aksaray, Yozgat, Kırşehir, Niğde ve Nevşehir) yer alan 18 farklı jeotermal sahanın jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenerek birbirleriyle benzerlik ve farklılıkları incelenmiştir. Ayrıca her sahadaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının kalite ve kullanılabilirlik özellikleri tespit edilerek bu jeotermal sahaların su kaynakları üzerindeki olası olumsuz etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre termal sular, özellikle iyon içeriğinin yüksek olması nedeniyle hem tatlı su kaynaklarının hem de toprağın kirlenmesine neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, yeraltı suyu, içme suyu, çevresel etkiler, İç Anadolu Bölgesi

1. INTRODUCTION

In behalf of fulfill the rapidly increasing energy requirement as a result of the increase in the world population, the demand for developing industry and technology, the countries of the world are in search of new energy sources. While most of the energy needs are met by fossil fuels in the current order, knowing that these fuels will run out faster and the environmental problems they cause has led us to seek cleaner, renewable and more economical energy sources. Research and use of geothermal energy resources are rapidly becoming widespread in the world because it is environmentally friendly and renewable, a resource that can be used without being dependent on foreign sources and being economical, and most importantly, its utilization is wide.

Geothermal energy, which is a cleaner and more sustainable energy source than the other types of energy, has some effects on the environment. It is a benign energy source compared to nuclear and fossil fuels, but it does cause some gas and wastewater emissions that must be disposed of. Geothermal energy is about the same size as most other renewable energy sources such as hydro and solar energy. The main environmental problems related to this energy source are surface degradation, consequences of liquid extraction on a physical level, noise pollution, heat effects, biological and chemical effects and degradation of natural structure. Hence, a comprehensive examination of the environmental impacts associated with the utilization of geothermal energy is warranted, and power conversion and geothermal area selection should be made carefully (Kristmannsdóttir and Ármannsson, 2003). Reinjection, which is an important process for reservoir pressure and the environment, has a very important role in reducing the mentioned problems. In addition, the availability of the resource in different processes at gradually decreasing temperature steps increases sustainability: for example; such as industrial uses, heating for buildings, agricultural utilization, and aquaculture respectively. Many countries are at different stages in terms of legislation related to environmental protection during geothermal development (Rybach, 2003).

When taking into account the geological diversity of Türkiye, it becomes apparent that geothermal resources are situated in particular regions. Geothermal systems

primarily form as a result of young tectonic movements and volcanic activities. Türkiye's geothermal resources are especially concentrated in Western Anatolia. After that Central Anatolia comes, followed by the Marmara, Eastern Anatolia, Southeastern Anatolia, Black Sea, and Mediterranean regions. Western Anatolia's graben systems host high-temperature geothermal fields in Türkiye. Different from the geothermal fields in Western Anatolia, Central and Eastern Anatolia have regions falling into the low and medium-temperature categories (Akkuş and Alan, 2016; Şener and Baba, 2019). The distribution of geothermal systems in Central Anatolia closely aligns with the pattern of faults (Şener, 2019). In terms of potential, geothermal fields in the Central Anatolia Region come after the geothermal fields in Western Anatolia in the country. However, with the increase in the need for energy and the advancement of technology, geothermal studies in this region have also accelerated. This study encompasses geological, hydrogeological structure and hydro geochemical features of the important geothermal area in the Central Anatolia Region, which are increasing in importance day by day have been compiled using previous studies and the similarities and /or differences of these fields have been examined. In the evaluations, samples from cold water, springs and wells as well as hot and mineral groundwater were also surveyed. Furthermore, possible negative effects of geothermal formations on the quality and usage characteristics of existing water resources were discussed.

2. MATERIALS and METHODS

In Central Anatolia, which constitutes 9% of Türkiye's geothermal potential, geothermal systems are associated with volcanic and tectonic activities (Davraz et al., 2022). The existence of recent tectonic activity in the area suggests that the thermal gradient in the region is higher compared to other areas (Yılmaz Turalı et al., 2016). In the present study, geological, hydrogeological and hydro geochemical characteristics of the different geothermal fields in Yozgat, Kırşehir, Niğde, Nevşehir and Aksaray regions are discussed in detail, along with the general characteristics such as location, potential and intended use (Figure 1). In addition, the stratigraphic column cross-section of the geological units cropping out in the examined regions is given in Figure 2.

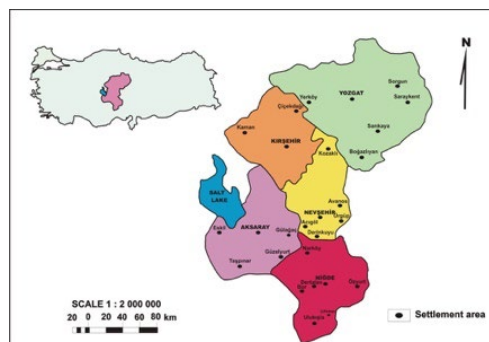


Figure 1. Location of the study area

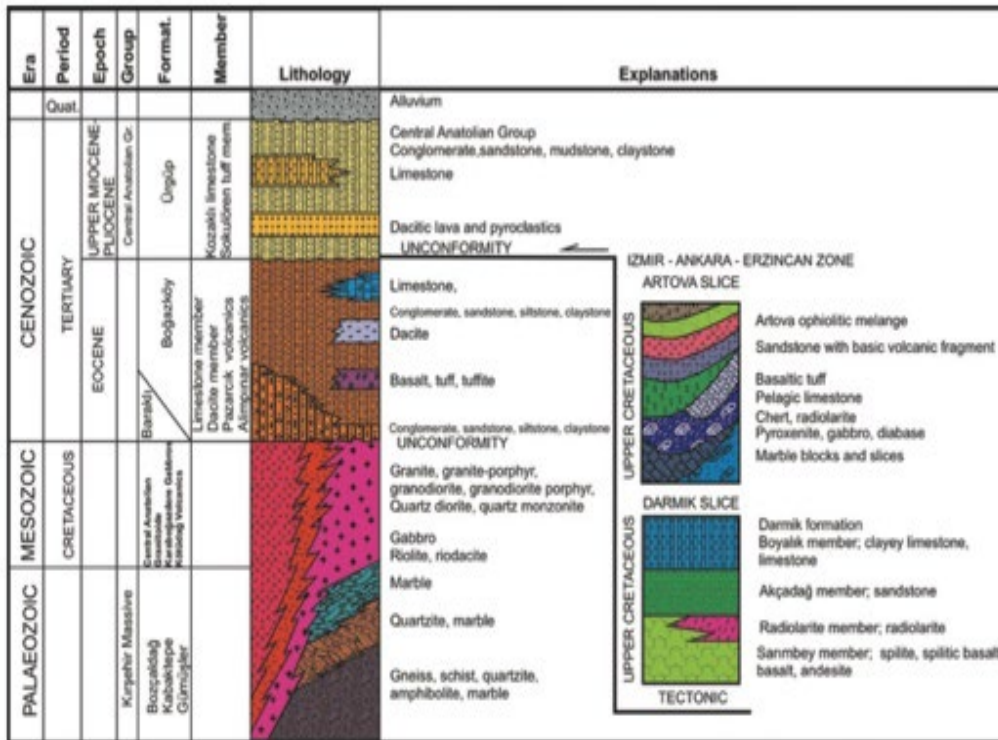


Figure 2. Stratigraphic column cross-section of the study area (Akçay et al., 2008)

3. RESULTS and DISCUSSION

3.1. Geothermal Fields in the Central Anatolia Region

3.1.1. Yozgat region

In Yozgat region, there are 28 production wells, 2 reinjection wells and 10 natural springs operating in 7 geothermal fields, namely Sorgun, Saraykent, Sarıkaya, Boğazlıyan, Yozgat–Merkez, Yerköy, Akdağmadeni (Davraz et al., 2022).

Sorgun Geothermal Field: In the Sorgun geothermal field, located in the Sorgun district, 40 km east of Yozgat, wells were drilled for the first time by General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) in 1988 for geothermal research, and geothermal research in the region is still being carried out by private companies in the following years. However, some wells were closed due to some technical problems caused by the coal mines. Today, there are 12 geothermal wells with depths ranging from 90 m to 444 m in the field. After 2005, 5 production wells and 1 reinjection well were drilled.

As of 2007, the water extracted from the region is used for residential heating, thermal tourism, greenhouse cultivation and balneological purposes. The water temperature in the region varies between 50 and 85.4°C (Yılmaz Turalı, 2017). The geothermal wells in the field meet the thermal water needs of 1,000 houses and thermal facilities and the greenhouses of 10,000 m² (Şimşek et al., 2003). Some of the water returning from the heating is transferred to thermal spas and greenhouses, and the remaining part is injected underground through the reinjection well (Yılmaz and Şimşek, 2013). According

to the data obtained, Sorgun geothermal system is a shallow and low temperature geothermal system. Since the level has decreased due to too many wells of coal mine in the region, thermal resources are extracted by drilling (Şimşek, 1993). Geothermal reservoir units are Paleocene granodiorites in the area (Şimşek 1993). Fracture, fault and altered zones of granodiorites are permeable. Geothermal water accumulated in the fractured and altered parts of granodiorite and Eocene conglomerates rises along the faults. While the lower boundary of the granodiorites is unclear, the upper boundary is formed by the Eocene cover rock. Normal and strike-slip faults have developed in the region depending on the tension tectonics in the Neogene and Quaternary (Yılmaz and Şimşek, 2013).

The bedrock (granodiorites) in the upper 30–50 meters and the deep fault/joint zones are permeable. The units in the lower parts have tight fracture intervals and are compacting. The alluvium covering surrounding of Eğriöz and Domuz Stream and containing fluvial sediments (clay, sand and gravel) is an important aquifer for thermal and cold waters with its bed thickness reaching 40 m. Pliocene sediments, which are mostly impermeable, consist of conglomerate, marl, sandstone and claystone. Permeable loose cemented sandstone and conglomerate units are of local importance as aquifers. Eocene deposits, consisting of claystone, marl, limestone, and clay levels, are mostly impermeable and form the cover rock of the region. However, the fracture zones of the units and the basal conglomerate may be permeable (Şimşek et al., 2003). When the chemical characteristic of water samples taken from the geothermal field were examined, it was determined that hot waters were NaCl water type, cold waters were CaHCO₃ water type and mineral spring waters

were CaSO_4 water type (Table 1). When the semi-logarithmic Schoeller diagram is examined, it is seen that the chemical properties of hot water samples with relatively high Na and Cl ions are similar. According to the $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ diagram (Giggenbach, 1988), hot waters are located in the Cl region and cold waters are located in the HCO_3 region. When the mineral saturation index is examined, it indicates that the hot waters are highly saturated with carbonate minerals such as calcite and dolomite. Therefore, the thermal waters that come out have a corrosive effect (Yılmaz Turalı and Şimşek, 2017). According to KOP (2021a), the reservoir temperature was calculated using a cation geothermometers and a temperature between 79 and 155°C was determined. Considering the environmental isotope values, it is seen that the hot waters are of meteoric origin and are more dilute than the cold spring waters (Table 2). Like cold water sources, hot waters are fed by precipitation from higher elevations. In the Sorgun geothermal field, meteoric waters infiltrate underground and the groundwater infiltrating deep is heated by the heat source and thermal gradient. Periodic changes in environmental isotope values and the presence of tritium show that thermal water with a long circulation time mixes with relatively shallow cold spring water (Şimşek, 2003; Yılmaz Turalı and Şimşek, 2017).

Saraykent Geothermal Field: In Saraykent geothermal field in Saraykent district, 70 km east of Yozgat, there are 4 geothermal wells, only one of which is operational (KOP, 2021a). According to the geological characteristics of the area, the basement rocks are Paleozoic–Mesozoic metamorphic, also called Kırşehir Metamorphic, which are mainly composed of marble, schist, gneiss and Upper Cretaceous–Paleocene-aged ophiolite unit. Metamorphoses are overlain by Eocene aged sedimentary units and volcanic units (Şimşek, 1993; Burçak et al., 2002; Akçay et al., 2008; Dalkılıç et al., 2008). These Eocene units are unconformable overlain by Middle Miocene – Pliocene-aged terrestrial sediments, Pliocene volcanic and Plio-Quaternary clastic units. The Upper Cretaceous ophiolitic unit (mélange) located in the north of the study area was emplaced with a tectonic contact on the Eocene sedimentary unit. All of these lithological units are unconformable covered by the Quaternary aged alluvium, which is the youngest unit in the study area and located in the center of the geothermal field along the Saray Stream (Özulukale and Şimşek, 2016). In order to determine the hydrogeochemical properties of the field samples were taken from precipitation, surface water, geothermal and cold water resources in the Saraykent geothermal field; the major ion analysis results of the geothermal and cold water sources were evaluated using Schoeller (Schoeller, 1977) and Piper Diagrams (Piper, 1944) (Table 1). According to these diagrams, cold water samples are Ca-HCO_3 and Ca-SO_4 water type, geothermal water samples are Na-Cl and Na-SO_4 water type (Özulukale and Şimşek, 2015, 2016). The reason why the thermal waters in the Saraykent geothermal field are rich in Na, K, Cl, SO_4 ions is due to a

deep circulation or the interaction of the marble or limestone in the field and the water.

$\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and $\delta^3\text{H}$ analyzes were made in thermal and cold water samples in order to make the origin interpretations of the waters in the Saraykent geothermal field (Table 2). The cold water sampling points are located along the Local Meteoric Waterline (LMWL), while the geothermal waters have a significant $\delta^{18}\text{O}$ shift from the LMWL. This shows that the geothermal system is fed by meteoric precipitation and has deep circulation of groundwater with high temperatures in the study area. Saraykent geothermal waters have almost zero tritium content. The low tritium contents of geothermal waters indicate that the springs are fed by groundwater with a relatively long transit time and have a deep circulation groundwater flow system in the study area (Özulukale and Şimşek, 2016). According to the mineral saturation index values calculated with the PhreeqC (Parkhurst and Appelo, 2013) program, it has been determined that Saraykent geothermal waters are saturated with aragonite, calcite, dolomite, quartz, chalcedony, and talc minerals. It is seen that these minerals, which tend to precipitate, cause crusting, and tend to dissolve anhydrite, gypsum, halite, and sylvan minerals. This situation suggests that the waters came into contact with the marbles and volcanites belonging to the metamorphic for a long time during their circulation. According to these results, it has been determined that the hot waters coming to the surface have crusting properties. Heat transfer takes place between geothermal fluids and the rock until the geothermal fluids rise to the surface. Consequently, the reservoir temperature is higher in geothermal systems. The probable reservoir temperature in Saraykent geothermal field is calculated as 108–132°C according to the chalcedony geo thermometer (Özulukale and Şimşek, 2015).

Sarıkaya Geothermal Field: Sarıkaya district is located at 80 km southeast of Yozgat province. In the Sarıkaya geothermal field, 9 wells were drilled for thermal heating, but cooling occurred in many wells due to too much water withdrawal. Inefficient wells are not used. Active wells in Sarıkaya-Center are used for thermal tourism purposes. The most important unit forming the aquifer in the study area is the Kalkanlıdağ and Bozçaldağ formations, which contain Paleozoic-aged marble and quartzite forming the foundation. Fault and fracture zones are hydro-geologically permeable and are of great importance for the geothermal system. Alluviums, consisting of gravel, sand and clay and reaching up to 40 m in thickness, located in the Boğazlıyanözü stream and Domuz stream bed, are an important aquifer for both thermal and cold waters. The sediments forming the Eocene-aged Beycedere formation in the region are composed of impermeable units containing succession of claystone, marl, clayey limestone, and sandstone. However, it is thought that the conglomerate and limestone at the base and the fault and fracture zones may be permeable. The units that make up the Pliocene-aged Kızılırmak formation consist of succession of sandstone, claystone and conglomerate, and

these units are generally impermeable. However, loosely cemented sandstone and conglomerate levels may have aquifer characteristics of local hydrogeological importance (Seymen, 1981, 1982; Tolluoğlu, 1986; Kurt et al., 1991; Özen Türker, 2006). Özen Türker (2006) examined hot and mineral water sources and wells, cold water springs and wells and precipitation waters by sampling for 2 periods in order to reveal the physical and chemical properties of underground and surface waters in the Sarıkaya geothermal field and to understand the groundwater system to which they are connected. The temperatures of hot and mineral water springs and wells in Sarıkaya geothermal field vary between 25–50.9°C. The periodic temperature changes of the hot water springs in the study area are between 2–4°C. These temperature differences are due to the seasonal variation of the local groundwater level as a result of the change in the proportion of cold water mixed with hot water. While the pH values of the hot and mineral water sources in the study area are slightly acidic in the range of 6.19-6.95, the cold waters have pH values in the range of 6.90-7.87. Hot and mineral waters are of CaCO₃ type according to cation (Ca>Na+K>Mg) and anion (HCO₃>Cl>SO₄) sequences and it is thought that the dominant water type is related to Paleozoic marbles. On the other hand, cold water sources are generally in the category of Ca+Mg–HCO₃ type waters (Table 1). The low ion content of cold waters indicates shallow circulation groundwater. When the hot springs, cold water springs and surface waters in Sarıkaya geothermal area are evaluated, according to Wilcox diagram, cold spring and well waters have low salinity (EC: 200–800 µS/cm) and low sodium percentage, therefore Very Good – Good as irrigation water feature has been determined. However hot water spring take place in class of Good waters with relatively high EC and sodium percentages. According to the saturation index calculations of the minerals (Parkhurst and Appelo, 1999), it was determined that the hot water resources in the region were not saturated with carbonate minerals, but were oversaturated with iron minerals. According to this result, it has been determined that the hot waters coming to the surface are not in crusting feature. According to the environmental isotope values, the isotopic displacement process, which is an indicator of the high temperature in the hot water sources, was observed in which the geothermal system was fed by meteoric precipitation. The low tritium content of hot water springs indicates that the waters are fed by groundwater with a relatively long-term (30–40 years) circulation time (Table 2). According to chalcedony geothermal calculations and drilling studies, the reservoir temperature in Sarıkaya geothermal area is expected to be between 53 and 69°C (Özen Türker, 2006).

Boğazlıyan Geothermal Field: Boğazlıyan geothermal area is located at 110 km southeast of Yozgat province. The geothermal wells and springs in the region are located in the Cavlak locality of Bahariye village, to the west of Boğazlıyan district center. Meteoric origin waters leaking underground in the region are stored in Bozçaldağ

formation, which is the reservoir unit of the system, after being heated in the depths. The heat source of the geothermal system in the region is geothermal gradient and magmatic rock intrusions. The cover unit of the system consists of impermeable Eocene, Miocene, and Pliocene units (Baraklı, Çayraz, İncik formations and Central Anatolia group). According to the hydro geochemical studies, the dominant cations in the Boğazlıyan geothermal field are sodium (Na⁺) and calcium (Ca²⁺), respectively (Table 1). Na increase is associated with rock–water interaction with minerals such as alkali feldspars and plagioclase in schists and granites. Dominant anions are listed as Cl, HCO₃ and SO₄ respectively (KOP, 2021a). According to Fournier (1977), Arnorsson et al. (1983), D’Amore and Arnorsson (2000) calculations, the reservoir temperature of the Boğazlıyan geothermal field was calculated as 92°C with a chalcedony thermometer and 85°C with a quartz geo thermometer, respectively. There are many geothermal wells in Boğazlıyan geothermal area. However, since the log information of these wells is not available, the depth of the well and the units cut by the well are not known. For this reason, uncertainties about the field are quite high. In order to evaluate the field correctly, first of all, this information must be obtained, and in the light of this information it is necessary to carry out geological, active tectonic and geophysical researches in the areas. It is important to carry out Vertical Electric Drilling (DES) and MT studies in order to suggest new well locations (KOP, 2021a).

Yerköy Geothermal Field: Yerköy is located 35 km southwest of Yozgat, 5 km from the Ankara–Yozgat highway. Between 1992 and 1997, seven shallow wells with a depth of 59 to 262 m and a maximum temperature of 47°C were drilled in order to develop spa tourism. In addition, two exploration/production wells, varying between 550 m and 750 m, respectively, were drilled in 2006 to investigate the geothermal potential of the region and to develop district heating. The temperatures in these wells were measured between 67°C and 72°C, respectively (Şimşek et al., 2006). The reservoir units of the geothermal field are altered granodiorite, rhyolite and fractured/faulted zones. Eocene and Oligocene deposits are cover rocks and unconformable overlie rhyolites and granodiorites. Quaternary alluviums unconformable overlie these deposits. NW-SE and NE-SW oriented normal fault systems were developed in the region due to the tension tectonics in the Neogene and Quaternary. Thermal springs emerge from the intersection points of these faults.

In addition, sedimentary rocks in the fault zone and alluviums consisting of sand and clay in the Delice stream bed are important aquifers for cold water (Yılmaz Turalı et al., 2016). Thermal and cold waters in the geothermal field were investigated to determine the physical, chemical and isotopic compositions of the waters (Table 1). According to the chemical analysis results, thermal waters are of Na–Cl type. In cold waters, three types of water were determined, namely Na–Cl, Na–HCO₃ and Na–SO₄ types

(Yılmaz Turalı et al., 2016). According to the environmental isotope analyzes given in Table 2, thermal waters are of meteoric origin and are fed by precipitation from higher elevations than cold waters. The average tritium values of cold waters are 5.53 tritium units. These waters are modern waters. The tritium values of the thermal waters are close to zero, indicating that the thermal waters were fed by precipitation before 1952 (Clark and Fritz, 1997). In the KOP (2021a) report, cation geothermometers were used to calculate the reservoir temperatures and it was determined that the reservoir temperature was between 87 and 144.8°C.

3.1.2. Kırşehir region

Geothermal resources in Kırşehir are especially concentrated in the center of city, Çiçekdağı, Bulamaçlı, Mahmutlu, Savcılı, Karakurt, Akpınar and Kaman regions. The usage areas of geothermal resources in the city are for agriculture (greenhouse heating, drying of fruits and vegetables), tourism, health and energy (housing heating). Kırşehir geothermal fields are very important for Türkiye with approximately 1,800 residential heating and 226 decares greenhouse heating potential.

The base of the study area is formed by Paleozoic-aged metamorphic, ophiolitic, and plutonic rocks and comprises several distinct structural blocks, known as the Kırşehir Continent (Şengör and Yılmaz, 1981) / Kırşehir Massif (Seymen, 1981), or the Central Anatolian Crystalline Complex (Göncüoğlu et al., 1991). Metamorphic schists in the Kırşehir Massif are generally not permeable. Nevertheless, cracks, karstification, fractures and cracks in marbles provide permeability. For this reason, marbles are considered the primary reservoir where geothermal water can be stored (Pasvanoğlu and Chandrasekharam, 2011). Kırşehir geothermal field, located in the Central Anatolia region, is controlled by NE-SW and NW-SE oriented faults belonging to the Seyfe fault zone, and all geothermal fields in Kırşehir are associated with young volcanic activity and block faulting (Koçyiğit and Beyhan, 1998; Şener, 2019). Şener (2019) pointed out that the hot and cold waters in the geothermal field in Kırşehir are of Ca–Na–HCO₃–Cl and Ca–Mg–HCO₃ water type, respectively. In the Giggenbach diagram, it is seen that cold waters are located in the partly equilibrated water region and hot waters are located in the immature water region. According to the semi-logarithmic Schoeller diagram, hot and cold waters come from different aquifers. According to cation and silica geothermometer calculations, the probable reservoir temperature is between 58 and 98°C. When environmental isotope values are examined, the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values of geothermal water are between the Mediterranean meteoric water line and the global meteoric water line. Therefore, geothermal water is of meteoric origin and is fed by precipitation at higher elevations than cold waters (Şener, 2019).

Terme and Karakurt Geothermal Field: Located at the center of Kırşehir, the Karakurt and Terme geothermal fields are found. 14 geothermal wells, including one

reinjection well, were drilled in the Terme geothermal field. However, today, some wells are not used because their flow rates have decreased. The geothermal water in the field is used for residential heating, spa, and greenhouse heating. In the Karakurt geothermal field, there are 4 wells used for heating and drying purposes. The reservoir rocks of thermal water in Terme and Karakurt geothermal fields are Bozçaldağ marbles belonging to the Paleozoic-aged Kırşehir massif, as in the surrounding areas. Since the thermal and mineral waters coming to the surface from normal faults are supersaturated with calcite, these hydrothermal channels may have been completely closed by carbonate precipitation. These long-lasting events have led to the gradual decrease of resource drains and the depletion of some of them (Pasvanoğlu and Gültekin, 2012). The physicochemical properties of hot and cold waters in the field are given in Table 3. Terme and Karakurt waters are generally supersaturated with carbonate (Pasvanoğlu and Chandrasekharam, 2011). Thermal waters are rich in Ca–Mg–HCO₃, while cold waters are of Ca–HCO₃ type. The similarity of the chemical composition of the cold waters discharged along the contact between the metamorphic rocks and the sedimentary rocks above them and the thermal waters of Terme is remarkable. Current travertine accumulations around thermal wells and springs continue. In the KOP (2021b) report, the reservoir temperatures were calculated as 130–218°C in the Terme geothermal field and 109°C in the Karakurt geothermal field using silica geothermometry. The formation of carbonate minerals takes place at lower temperatures. The reason is that the water rebalances with this mineral in the upstream where it cools. Chemical results show that Terme and Karakurt geothermal waters are oversaturated with calcite and the water is not balanced. This shows that the geothermal fluid has a rapid circulation between fractures and cracks. While the hydrogeochemical composition of Karakurt hot and cold waters is different from each other, Terme waters are similar (Table 3). Environmental isotope values indicate that hot waters have a meteoric origin and are fed from higher elevations than cold waters (Table 2). The presence of carbon in low-temperature waters is attributed to organic matter, whereas in high-temperature waters, it results from the dissolution of marine carbonates. This indicates that cold waters interact with shallow carbonate rocks, while thermal waters interact with deep-sea carbonates and metamorphic rocks in the region (Pasvanoğlu and Chandrasekharam, 2011).



Table 1. Physicochemical properties of thermal and cold waters in Yozgat Region

Parameters	SORGUN Yılmaz Turalı and Şimşek (2017)		SARAYKENT Özlükale and Şimşek (2016)		SARIKAYA Özen Türker (2006)		SARIKAYA KOP (2021a)		BOGAZLIYAN KOP (2021a)		YERKOY Yılmaz Turalı et al. (2016)		YERKOY KOP (2021a)	
	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW
T (°C)	75.2-80.0	5.5-15.5	59.5-80.0	15.6-22.1	48.2-73.6	15.6-22.1	25.0-50.9	15.6-16.6	50.3	52.5	41.2-56.2	13.0-22.0	40.6	
pH	7.0-7.3	3.6-8.5	7.0-8.5	7.4-7.8	7.1-7.6	7.4-7.8	6.0-7.5	6.8-7.8	7.3	7.9	6.9-8.5	7.2-7.8	7.7	
EC (µS/m)	2568-2785	88-3367	2510-3000	15-1071	2950-3870	15-1071	400-1300	200-800	1042	5040	7160-19440	678-2360	19800	
Na (mg/L)	393.0-467.0	5.2-788	351.4-570.5	0.2-43.9	458.8-607.5	0.2-43.9	9.45-78.2	2.8-48.7	73.5	554.5	1357.5-3745.4	70.9-282.3	3119.0	
K (mg/L)	14.2-22.0	0.0-2.2	11.5-20.2	0.2-16.0	29.4-47	0.2-16.0	1.7-9.9	0.7-8.2	9.7	13.4	63.9-102.5	1.0-7.0	108.9	
Ca (mg/L)	106.0-158.2	4.0-96.4	113.9-160.7	4.0-128.8	139.3-179.3	4.0-128.8	83.2-102.6	58.3-115.7	104.7	254.7	220.9-1673.8	60.8-174.9	1416.4	
Mg (mg/L)	0.5-2.7	4.0-96.4	1.7-9.1	0.19-27.3	6.9-8.2	0.19-27.3	3.1-6.9	2.7-17.1	5.8	46.1	2.5-10.3	14.4-56.8	2.1	
Cl (mg/L)	537.8-628.0	1.9-31.0	440.5-997.9	0.2-25.4	374.6-590.7	0.2-25.4	7.8-92.0	2.8-47.8	140.6	859.9	2062.3-9380.1	18.7-293.3	9459.5	
SO ₄ (mg/L)	294.7-333.6	4.2-1632	290.5-347.8	0.4-81.2	508.4-631.3	0.4-81.2	20.7-62.8	6.9-90.7	75.4	292.0	270.6-407.7	46.8-684.8	454.4	
HCO ₃ (mg/L)	114.4-169.4	0.0-355.8	18.9-185.9	15.2-499.9	244.0-273.7	15.2-499.9	220.6-311.2	191.1-325.3	252.1	630.4	11.5-817.4	222.9-410.7	298.8	
SiO ₂ (mg/L)	118.9-229.8	0.3-31.8	52.5-107.8	26.8-55.6	98.0-139.3	26.8-55.6	-	-	23.4	18.5	19.9-80.4	12.2-20.0	11.6	

*:Thermal water; **:Coldwater

Table 5. Physicochemical properties of thermal and cold waters in Nevşehir Region

Parameters	KOZAKLI Pasvanoğlu and Chandrasekharan (2011)		KOZAKLI Şener and Baba (2019)		AVANOS-ÜRGÜP-GÖREME KOP (2021d)		ACIGÖL Şener et al. (2017)		ACIGÖL Kara (2013)		ACIGÖL Burçak (2006)		DERINKUYU Şener et al. (2017)	
	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	**CW
T (°C)	51-96	15	28.5-77.9	19-58	28.5-77.9	19-58	43.7	22.4-65	20.2-30.5	22.4-65	13.8-19.6	23.5	46.5	
pH	6.7-7.4	7.6	6.46-7.26	6.6-7.8	6.46-7.26	6.6-7.8	7.1	6.7-7.0	6.1-6.9	6.7-7.0	7.6-8.0	6.5	6.9	
EC (µS/m)	1650-3560	468	-	1344-4810	-	1344-4810	-	-	307-1278	-	-	439	-	
Na (mg/L)	20.6-466.4	17.0	220.2-490.9	951.6-4140.5	220.2-490.9	951.6-4140.5	182.5	138-195	18.3-134	138-195	11.9-12.2	26.6	213.79	
K (mg/L)	16.9-22.9	2.0	12.0-29.7	115.1-221.6	12.0-29.7	115.1-221.6	62.31	60.5-73.1	4.33-14.1	60.5-73.1	1.4-5.12	7.91	52.7	
Ca (mg/L)	218.5-251.8	57.9	159.3-679.4	66.3-439.8	159.3-679.4	66.3-439.8	275.01	92-351	27.3-68.6	92-351	30.7-45.7	44.8	87.56	
Mg (mg/L)	25.4-30.7	12.3	21.1-24.4	28.5-41.9	21.1-24.4	28.5-41.9	29.9	13.9-53	11.4-46.5	13.9-53	1.85-5.1	11.9	35.41	
Cl (mg/L)	500.0-740.5	8.6	24.6-1013.8	615.8-3393.3	24.6-1013.8	615.8-3393.3	273.5	247-300	3.7-61.9	247-300	2.49-4.97	5.6	318.4	
SO ₄ (mg/L)	412.0-652.1	8975.0	311.2-721.5	2.9-392.6	311.2-721.5	2.9-392.6	86.29	80.2-160	3.2-19.4	80.2-160	3.36-61	5.87	215.1	
HCO ₃ (mg/L)	222.3-778.0	176.7	270.6-875.1	307.5-3255.2	270.6-875.1	307.5-3255.2	1122.6	537-1681	178-728	537-1681	93-162	255	482.2	
SiO ₂ (mg/L)	50.9-88.0	34.4	70.9-181.4	-	70.9-181.4	-	196	106-202	82-122	106-202	54-69	92	183	

*:Thermal water; **:Coldwater /

Savcılı Geothermal Field : The Kaman–Savcılı geothermal field is located in Central Anatolia, approximately 150 km southwest of Ankara, 56 km west of Kırşehir. 5 geothermal water exploration wells were drilled by MTA between 1986 and 2005 in the Savcılı geothermal field. However, only one of these wells is productive today (Yurteri et al., 2015). The foundation of the study region is composed of Kırşehir Massif rocks from the Paleozoic era, including gneiss, schist, amphibolite, quartzite, and marble. Metamorphic rocks of the Kırşehir Massif are tectonically overlaid by ophiolitic mélangé units consisting of Late Cretaceous pelagic sediments and intercalated mafic volcanoclastic rocks and these formations were cut by the Baranadağ granitoids (Late Cretaceous–Paleocene), which is assumed to be the primary reservoir rock. The Eocene units and Miocene–Pliocene-aged Kızılırmak formation, consisting of terrestrial sediments (intercalation of conglomerate and sandstone), unconformable overlies the Mesozoic units. The Tertiary sedimentary layers with low permeability serve as the overlying strata for the Savcılı–Büyükoba geothermal system.

The physicochemical properties of hot and cold waters in the field are given in Table 3. The ion concentrations of the waters show that the thermal waters are of the NaCl type and the cold waters are of the Ca–HCO₃ type. The outcomes from mineral saturation index calculations indicate that thermal waters, in particular, exhibit saturation with respect to quartz, chalcedony, calcite, aragonite, and dolomite. Hence, the possibility of calcification in thermal waters is suggested. The reservoir temperature was determined to be within the range of 68–74°C utilizing a silica geothermometer. The thermal waters in the field are located on the Local Meteoric Water Line (LMWL), suggesting that the geothermal waters have meteoric origin. The minimal tritium presence in the thermal waters suggests that the thermal aquifer in the Savcılı geothermal field is supplied by groundwater with an extensive and enduring circulation mechanism (Yurteri and Şimşek, 2017) (Table 2).

Table 2. Isotopic properties of thermal and cold waters in the Central Anatolia Region

	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW) *** (min – max)	$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW) *** (min- max)	Tritium unit (TU) (min- max)
SORGUN - *TW (Yılmaz Turalı, 2017)	-11.06 _ -10.28	-84.36 _ -78.83	1.11 _ 3.01
SORGUN - **CW (Yılmaz Turalı and Şimşek, 2017)	-12.06 _ -7.17	-84.73 _ -61.35	4.75 _ 8.12
SARAYKENT - *TW (Özulukule and Şimşek, 2016)	-10.91 _ -9.85	-95.06 _ -91.15	0.00 _ 0.40
SARAYKENT - **CW (Özulukule and Şimşek, 2016)	-11.36 _ -10.3	-79.37 _ -77.67	6.67 _ 7.16
SARIKAYA - *TW (Özen Türker, 2006)	-11.42 _ -10.23	-80.68 _ -77.64	1.25 _ 3.45
SARIKAYA - **CW (Özen Türker, 2006)	-12.22 _ -9.28	-77.78 _ -69.36	5.91 _ 8.92
YERKÖY - *TW (Yılmaz Turalı et al., 2016)	-11.63 _ -9.34	-90.02 _ -78.09	0.39 _ 1.1
YERKÖY - **CW (Yılmaz Turalı et al, 2016)	-9.61 _ -8.73	-76.84 _ -64.22	3.81 _ 6.48
TERME-KARAKURT - *TW (Pasvanoğlu and Gültekin, 2011)	-11.12 _ -10.02	-83.9 _ -76.8	-0.52 _ 2.0
TERME-KARAKURT - **CW (Pasvanoğlu and Gültekin, 2011)	-8.91 _ -8.39	-74.7 _ -58	0.81 – 3.97
SAVCILI (KAMAN) - *TW (Yurteri et al., 2015)	-12.27 _ -12.07	-88.4 _ -8.37	0.18 _ 0.28
SAVCILI (KAMAN)- **CW (Yurteri et al., 2015)	-11.33 _ -7.13	-76.58 _ -55.77	5.57 _ 8.49
KOZAKLI - *TW (Pasvanoğlu and	-10.37 _ -9.97	-74 _ -59.2	0.14 _ 0.62
KOZAKLI - **CW (Pasvanoğlu and	-8.91	-68.9	8.87
KOZAKLI - *TW (Şener and Baba, 2019)	-11.91 _ -10.89	-78.38 _ -70.62	-
ACIGÖL - *TW (Şener et al., 2017)	-11.9	-79	-
ACIGÖL - *TW (Burçak, 2006)	-11.50 _ -9.41	-76.39 _ -65.60	0 _ 1.40 (±1.95)
ACIGÖL - **CW (Burçak, 2006)	-11.77	-78.10	3.20 ±2.0

Table 2. Isotopic properties of thermal and cold waters in the Central Anatolia Region (Continue)

	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW) *** (min – max)	$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW) ***	Tritium unit (TU) (min- max)
DERİNKUYU - *TW (Şener et al., 2017)	-10.7	-76	-
DEOTALAN - *TW (Şener et al., 2017)	-11.6	-74	-
DEOTALAN – *TW Temel (2007)	-11.58	-76.33	0.04
ÇİFTEHAN - *TW Temel (2007)	-10.79	73.32	-0.06

*:Thermal water; **:Coldwater; ***:Standard Mean Ocean Water

Çiçekdağ-Bulamaçlı Geothermal Field: Çiçekdağı is located approximately 70 km northeast of Kırşehir province. The Bulamaçlı geothermal field is located to the east of Çiçekdağı and to the south of Yozgat–Yerköy. There are two natural spring and two geothermal wells in the Bulamaçlı geothermal area, but today, one of the spring has no flow.

The Central Anatolian group, which consists of similar lithology, and the İncikli Baraklı and Boğazköy formations are named under the same group. Sandstone and conglomerate levels in these units can contain groundwater in proportion to their thickness and spread. In addition, the limestone and travertine units of the Bozçaldağ formation serve as the aquifer of the system as they can contain groundwater due to karstic melting gaps and broken-cracked systems. On the other hand, alluvium has been determined as a granular aquifer due to its porous structure, which can contain a significant amount of groundwater (KOP, 2021b).

The physicochemical properties of the thermal and cold waters in the field are given in Table 3. In the Schoeller semi-logarithmic diagram, waters with similar origin, same reservoir and recharge area show similar changes. It is seen that Bulamaçlı spring and well waters have similar major ion contents in Schoeller diagram. The water type of Bulamaçlı thermal water is Na–Cl. Na increase is associated with rock–water interaction with minerals such as plagioclase and alkali feldspars in granites and schists. The increase in Cl is realized by ion exchange depending on the rock–water interaction with the evaporitic units in this region (Ünsal and Afşin, 1999). In the report of KOP (2021b), the reservoir temperature of the geothermal system was calculated between 82 and 147°C with silica thermometer.

Çiçekdağ–Mahmutlu Geothermal Field: Çiçekdağı–Mahmutlu geothermal field is located approximately 31 km northeast of Kırşehir. There are 3 natural springs in the north of Mahmutlu village. Today, Küçükhamam spring does not flow from these sources, whose flow rates vary between 1–5 l/s. On the other hand, the flow of other resources changes seasonally. In addition, there are 3 geothermal wells and one reinjection well in the Mahmutlu geothermal area, and the wells are discharging artesianly. İncik, Çayrak, and Kızılırmak formations observed in the field and consisting of similar lithology (conglomerate,

sandstone, claystone, mudstone, etc.) have been evaluated within the same hydrogeological unit because they have similar hydrogeological characteristics. Sandstone and conglomerate levels in these units can contain groundwater in proportion to their thickness and spread. Dulkadirli and Kozaklı limestone members observed in and around the Mahmutlu geothermal area were named as karstic aquifers (KOP, 2021b).

The physicochemical properties of the thermal waters in the field are given in Table 3. In the Mahmutlu geothermal field, the dominant cation is Na^+ followed by Ca^+ . Na increase is associated with the interaction of rock–water with minerals such as plagioclase and alkali feldspars in granites and schists (Ünsal and Afşin, 1999). The dominant anions are sulfate (SO_4) and chloride (Cl). The increase in Cl is realized by ion exchange depending on the rock–water interaction with the evaporitic units observed in this region just like in Bulamaçlı. High SO_4 contents can be explained by the dissolution of minerals such as gypsum in Neogene sediments. It is seen that Mahmutlu well waters have similar major ion content in the Schoeller diagram. The water class of Mahmutlu thermal waters was determined as Na–Ca–Cl– SO_4 . In the KOP (2021b) report, the reservoir temperature of the geothermal system was calculated between 56 and 181°C with silica geothermometers.

Table 3. Physicochemical properties of thermal and cold waters in Kırşehir Region

Parameters	Terme-Karakurt Pasvanoğlu and Gültekin (2011)		Savcılı (Kaman) Yurteri et al. (2015)		Bulamaçlı (Çiçekdağ) KOP (2021b)	Mahmutlu (Çiçekdağ) KOP (2021b)
	*TW	**CW	*TW	**CW	*TW	*TW
T (°C)	44-60	13-20	30.0-33.5	7.2-13.6	39.6-43.7	73.1-78.3
pH	6.3-7.0	7.2-7.5	9.4-9.5	6.7-7.7	6.5-6.6	8.0-8.3
EC (µS/m)	1000-2400	478-883	513-527	179-1449	7400-7430	6008-6330
Na (mg/L)	36.6-170.4	9.3-32.3	111.2-111.8	1.5-172.0	1334.4-1497.9	1016.4-1077.6
K (mg/L)	4.5-12.2	0.7-2.4	1.2-1.3	0.4-12.3	0-123.0	0-45.5
Ca (mg/L)	118.1-255.7	64.9-91.8	9.1-9.3	26.7-126.1	257.7-286.8	318.4-349.3
Mg (mg/L)	18.3-38.4	10.4-24.3	0.1-0.3	1.9-35.7	9.7-11.7	46.1-51.4
Cl (mg/L)	47.4-279.3	13.4-45.1	88.2-88.9	1.5-256.5	2332.2-2337.9	1360.9-1434.2
SO ₄ (mg/L)	49.8-269.3	9.9-65.5	48.9-49.3	5.9-388.6	499.5-503.0	1329.9-1438.1
HCO ₃ (mg/L)	438.9-838.0	205.2- 353.4	12.6-31.6	94.8-379.2	823.5-902.3	269.7-287.4
SiO ₂ (mg/L)	19.4-50.7	16.9-25.5	47.0-47.4	8.5-28.5	43.4-55.7	25.9-30.6

*:Thermal water; **:Coldwater

3.1.3. Niğde region

There are Narköy, Çiftehane, and Derdalan geothermal fields in Niğde province and the geothermal waters here are used for thermal tourism purposes. Apart from the existing wells, it is planned to drill new geothermal wells in two locations in Niğde center, one in Bor and two locations in Ulukışla.

Narköy Geothermal Field: In the Narköy geothermal field, 4 wells were drilled by MTA in 1990, but these wells with a temperature of around 65°C are not used due to the scaling problem. Today, only a well opened in 2016 is active and is used for thermal tourism purposes. There is no reinjection well in the Narköy geothermal area. For this reason, the discharge of geothermal waters to the natural environment after use may cause significant environmental problems.

Marbles belonging to Bozçaldağ formation at the basement of the Narköy geothermal area are reservoir rocks due to their secondary permeability. Travertines cropping out in small areas in the region have melting gaps and may contain groundwater. The heat source of the hydrothermal system is likely volcanic activity. The cover rock of the system is impermeable Upper Miocene–Pliocene and Quaternary-aged ignimbrite, tuff, pyroclastic and sediments formed in terrestrial lacustrine facies contemporaneous with them. It is thought that shallow reservoirs developed in the permeable zones within these units (Burçak, 2006).

The physicochemical properties of the thermal waters in the field are given in Table 4. The highest cation values in the NAR-2 well, which is the only active well in the field, were calcium (Ca²⁺) and sodium (Na⁺) ions, respectively, and the water type was determined as Ca–Na–Cl–HCO₃. The dominant anions are bicarbonate (HCO₃⁻) and chloride (Cl⁻), respectively. The reservoir rock of the geothermal system around Narköy is the marbles belonging to the Bozçaldağ formation. The predominance of Ca and HCO₃ contents of the thermal waters in this area is due to the

interaction of the thermal water with the reservoir rock. The reservoir temperature of the geothermal system is maximum 145°C according to the silica geothermometer calculations. (KOP, 2021c).

Çiftehane Geothermal Field: Çiftehane geothermal field is located in Ulukışla district, 77 km southeast of Niğde city center. There are two natural resource discharges in the Çiftehane geothermal area. There are two wells drilled in the 1990s and 6 wells drilled in the 2000s in this region. These wells are used for thermal tourism purposes. The hot and mineral waters of Çiftehane are exposed in relation to the strike-slip and left-sided Ilica fault and other fracture systems (Afşin et al., 2007).

Mesozoic and Cenozoic-aged rocks crop out in Çiftehane and its surroundings. The marbles, which are in the Bolukardağ group of Permo–Triassic age (Demirtaşlı et al., 1973) and which are located in the basement, have aquifer characteristics. The Late Cretaceous-aged (Ayan, 1968) Alihoca ophiolite overlying this unit is impermeable except for the fractured levels. Above this, the sandstone, limestone and unfilled cracked levels of Paleocene–Early Eocene-aged Çiftehane formation (İşler, 1988) are permeable, while the other levels are impermeable. The Çayırılıgedik formation is permeable except for the clayey limestone levels. Alluvium consisting of gravel, sand, silt and clay is observed along the Çiftehane stream valley. Gravel and sands in the unit are permeable, silts are semi-permeable, and clays are impermeable.

The physicochemical properties of the thermal waters in the field are given in Table 4. The ion sequence of Çiftehane thermal and mineral waters is Na+K>Ca+Mg, Cl+SO₄>HCO₃+CO₃, and they are non-carbonate waters with more than 50% alkalinity (Temel, 2007). The thermal waters in the Çiftehane geothermal field have a chemical composition belonging to the Na–Ca–SO₄–Cl water type. The constituents of these waters originate from the following sources: Na comes from the mineral albite, SiO₂ from tuff, SO₄ from the mineral barite (BaSO₄), Ca and HCO₃ from carbonate rocks. According to the results of

environmental isotope analysis, Çiftehhan thermal waters are of meteoric origin and their circulation times in the aquifer are relatively long and they are deep circulation sources (Table 2). According to the chalcedony geothermometer, the reservoir temperature was calculated as 69 °C (Temel, 2007).

Dertalan Geothermal Field: In the Dertalan geothermal area, there is a thermal spring with a flow rate of 8 l/s and a temperature of 29.5°C. Today, there is one operating well in Hamamlı–Kumluca in this geothermal area. The depth of the well opened in 2016 is 472 m, its flow rate is 25 l/s and its temperature is 32°C. The well is not currently used. In the Niğde–Derdalan geothermal area, the Paleozoic Niğde massif is the basement rock units. The fractured and karstic cavities of the marbles in these basement rocks are permeable and constitute the reservoir rock of the geothermal system. The heat sources of the geothermal system are the geothermal gradient and the granodiorite intrusions of the Niğde massif. Thermal water rises along the fault planes and rises to the surface. The cover rock of the geothermal system is Upper Miocene–Pliocene-aged volcanic and sedimentary units (KOP, 2021c).

The physicochemical properties of the thermal waters in the field are given in Table 4. According to the results of the

chemical analysis of the waters, the thermal waters in the Dertalan geothermal field are of Ca–Mg–SO₄ type (Şener, 2015). If the Cl/SO₄ ratio of the waters is high, the aquifer temperature is high (Tarcan, 2002). When the thermal water in the region was examined, the Cl/SO₄ ratio was found to be high, although the aquifer was not at high temperature. This situation is explained by the fact that the Cl content originates from the salty units of the rocks at the base of the study area, rather than being related to the temperature (Şener, 2015). According to the chalcedony and quartz geothermometer calculations of Dertalan thermal waters, the maximum reservoir temperature that can be expected is in the range of 150–173°C (Fournier, 1977). In the research conducted by Afşin et al., (2007) and Temel (2007), it was determined that Dertalan thermal water source in Niğde Center is saturated with chalcedony, goethite, hematite and quartz minerals. The isotope contents of the hot water sample taken from the Dertalan geothermal field indicate that the waters are of meteoric origin (Table 2). Dertalan thermal water spring has a deep and medium-term circulation according to tritium and EC value.

Table 4. Physicochemical properties of thermal waters in Niğde Region

Parameters	Çiftehhan KOP (2021c)	Çiftehhan Şener et al. (2017)	Çiftehhan Temel (2007)	Narköy (Acıgöl) KOP, (2021c)	Dertalan Şener et al. (2017)	Dertalan Temel (2007)
	*TW	*TW	*TW	*TW	*TW	*TW
T (°C)	32.2-55.1	44.5	52	60.1	29.5	28.5
pH	8.4-8.8	8.6	8.2	6.9	6.7	4.9
EC (µS/m)	2820-3010	-	2770	2740	-	705
Na (mg/L)	365.2-378.6	385	391.0	240.6	23.34	31.9
K (mg/L)	8.19-8.45	7.8	8.34	85.5	7.8	8.7
Ca (mg/L)	220.8-231.7	214	224.2	553.3	66.74	92.58
Mg (mg/L)	0.12-0.2	0.24	0.42	47.6	14.99	14.60
Cl (mg/L)	616.5-624.4	389	358.7	689.2	14.64	12.23
SO ₄ (mg/L)	1165.0-1180.6	86.2	770.3	142.4	371.34	259.06
HCO ₃ (mg/L)	19.8-21.4	12	15.33	768.4	11.16	104.22
SiO ₂ (mg/L)	-	83	48.10	-	179	62.1

*:Thermal water

3.1.4. Nevşehir region

Nevşehir has a great potential among the resources in the Central Anatolia region in terms of geothermal resources. Especially Kozaklı geothermal field is important as a thermal health and tourism center in the region.

Kozaklı Geothermal Region: Kozaklı geothermal field is one of the most important geothermal fields in Türkiye. Geothermal studies in this area have been continuing since 1963. The data obtained from the drillings show that it is a low temperature area and therefore geothermal fluid is used for regional and greenhouse heating and thermal tourism purposes. Due to the diversity of uses, geothermal waters are used in an uncontrolled manner in the region and this reduces the reservoir pressure (Pasvanoğlu et al., 2012). More than 23 wells with depths ranging from 90 to 205 m have been drilled by MTA, state and private institutions in the Kozaklı geothermal field. Most of these wells are of artesian type, but water is pumped from the

wells during the summer months (Özkan and Koçak, 2006). The temperature range of the waters is 45-96 °C and their discharge is 2-0 l/s. It is thought that waters hotter than 90 °C coming out of a 150 m deep well may indicate the presence of magma chambers that are still cooling under the Kozaklı Region. (Koçak, 1997). In addition, there is one reinjection well at a depth of 3016 m in the region.

The reservoir rock of the geothermal water in the Kozaklı geothermal area is the Bozçaldağ marbles belonging to the Paleozoic-aged Kırşehir crystal massif or the Central Anatolian Crystal Complex (Ketin, 1955; Seymen, 1982; Goncuoğlu et al., 1992, 1993), which is the oldest unit in the region. Secondary pores formed by the cracked-fractured levels of Bozçaldağ marbles and Kozaklı limestone member form aquifers in the region (Canik and Pasvanoğlu, 1993). Oligocene aged clayey-marl units have low porosity and therefore act as cover rock. In the Kozaklı geothermal area and its vicinity, the geothermal fluid

emerges from the intersection points of the NW-SE and NE-SW trending faults. The geothermal system in the area is tectonic controlled. Some of the meteoric water feeds the shallow aquifers and creates mineral water discharges in the region. Meteoric waters infiltrating deep by faults feed the fractured-cracked marbles, which is the reservoir rock of the geothermal system (Pasvanoğlu and Chandrasekharam, 2011; Pasvanoğlu et al., 2012). The physicochemical properties of the thermal and cold waters in the field are given in Table 5. The chemical properties of Kozaklı thermal waters are similar to each other and are represented by higher total ion concentrations and EC values. The Cl and SO₄ concentrations of Kozaklı thermal waters are higher than their HCO₃ content while cold waters are of Ca-HCO₃ type (Pasvanoğlu et al., 2012).

In the Schoeller semi-logarithmic diagram it is seen that the waters have similar origin, the same reservoir and feeding area. In the Piper diagram, it is seen that Kozaklı geothermal waters represent non-carbonate waters with more than 50% alkalinity and the water classes are generally Na-Ca-SO₄-Cl and Na-Ca-Cl-SO₄ types (KOP, 2021d). It has been determined that the cold water springs are also Ca+Mg HCO₃ water type. Thermal waters from springs and wells have much higher salinity than groundwater and the water type is determined as Na-Cl (Pasvanoğlu and Chandrasekharam, 2011). According to the studies of Pasvanoğlu and Chandrasekharam (2011), the tritium contents of geothermal waters in Kozaklı geothermal field showed that the waters have a long circulation time in the reservoir rock. Hot waters from the geothermal reservoir rise to the surface in relation to the fracture system that acts as a channel. These waters mix with the current cold waters during their rise to the surface.

Although chemical geothermometers cannot predict the realistic temperatures of the reservoir, oxygen and hydrogen isotopes geothermometers show temperatures above 220°C and it is estimated that there is a high temperature reservoir under the Kozaklı geothermal region (Pasvanoğlu and Chandrasekharam, 2011). The probable reservoir temperature was calculated between 103 and 173°C using a quartz and chalcedony geo thermometer. $\delta^{18}O$ and δ^2H values for thermal waters indicate a deep circulating meteoric origin (Table 2). These waters are probably caused by rainwater seeping into the deep hot reservoir through fractures and faults (Pasvanoğlu and Chandrasekharam, 2011; Şener and Baba; 2019). According to the KOP (2021d) report, the saturation index values of thermal water samples show that Kozaklı well waters are saturated with aragonite, calcite, dolomite, goethite, hematite, and talc minerals. As a result, it has been determined that calcite, aragonite, and dolomite scaling may occur in the bearing systems where water is used in the Kozaklı well.

Avanos-Ürgüp-Göreme Geothermal Region: The majority of these wells are located in the north and northeast of Nevşehir city center. The reservoir rock of the geothermal

water in the region is Bozçaldağ marbles belonging to the Paleozoic-aged Kırşehir massif. The unit acquires an aquifer character with the secondary porosity formed by the fractured-cracked levels of Bozçaldağ marbles. The heat source in the region is high geothermal gradient and magmatic rock intrusions in close relation with the Erciyes volcanism. The cover rock of the system is impermeable Upper Miocene-Pliocene and Quaternary-aged ignimbrite, tuff, pyroclastic, and sediments formed in terrestrial lacustrine facies contemporaneous with them (Canik and Pasvanoğlu, 1993; KOP, 2021d).

The physicochemical properties of the thermal and cold waters in the field are given in Table 5. The dominant cation in Nevşehir-Merkez-Avanos geothermal area is sodium (Na⁺). The highest potassium (K⁺), calcium (Ca²⁺), sulfate (SO₄) and Cl values are found in Göreme spring. The highest anion in the region is chloride (Cl⁻). The high ion contents of Nevşehir-Merkez, Ürgüp and Göreme geothermal waters indicate that the geothermal waters are fed from the deep reservoir. In the Scholler semi-logarithmic diagram, it was determined that well and spring water samples were fed from a similar reservoir. Also, according to the Piper diagram, Nevşehir Merkez-Avanos thermal waters represent non-carbonate waters with an alkalinity of more than 50%. The water class of well and spring waters is determined as Na-Cl-HCO₃ (KOP 2021d).

According to the saturation index calculations, it is observed that: the Ürgüp well water is saturated with aragonite, calcite, chalcedony, dolomite, goethite, hematite, quartz and talc minerals the Göreme spring is saturated with aragonite, calcite, dolomite, goethite, hematite, quartz and siderite minerals, the Nevşehir center is saturated with goethite-hematite, quartz, and siderite minerals. The reservoir temperatures calculated by quartz geo thermometers for the well in Nevşehir Merkez (Avanos) are between 48-75°C. The reservoir temperatures calculated by cation geo thermometers of Göreme spring water and Ürgüp well water vary between 93-217°C (KOP, 2021d).

Acıgöl-Derinkuyu-Gülşehir Geothermal Region: There are two boreholes around Acıgöl and one borehole in Derinkuyu. The drilling in Derinkuyu is the deepest well in the region, at 2,505 m (KOP, 2021d). Paleozoic aged metamorphic units, Upper Cretaceous ophiolite; fault zones within volcanic and magmatic units constitute the main reservoir of the system. Limestone and Plio-Quaternary basalts observed in places between the ignimbrite levels are also secondary reservoirs. The cover rock of the geothermal system is composed of clayey, ignimbrite and tuffy layers of Miocene, Pliocene, and Quaternary-aged volcano sedimentary succession. The feeding direction of the field is thought to be from the S and SW sections of the region (Kara, 2013). The heat sources of the geothermal system are young volcanism and Cretaceous-aged granite and granodiorite intrusions, which have regionally high geothermal gradients and are observed around Acıgöl springs (Şener, et al., 2017).

In the research carried out around Acıgöl, Derinkuyu and Gülşehir districts within the study area, it is thought that the main tectonic structures are N-S and NW-SE oriented, and synthetic and NE-SW direction antithetic fault systems developed depending on these main tectonic lines. It has been observed that the wells with high temperatures measured in and around the study area are also concentrated on these antithetic fault systems (Kara, 2013). It is thought that the Cappadocia volcanic complex is under the influence of the activity of the Tuzgölü and Ecemiş Fault systems. These fault systems almost perpendicularly cut the long axis of the Cappadocia region volcanic and consist of many faults developed in N-S, NW-SE and NE-SW directions (Toprak, 1998).

Physicochemical properties of thermal and cold waters in the field are given in Table 5. According to the results of chemical analysis of the waters, the cold waters in the area are Ca–Mg–HCO₃ and Ca–HCO₃ water types; In hot waters, while the waters in the first geothermal system are of the Ca–Na–SO₄ and Ca–Mg–SO₄ types, the waters in the second geothermal system are of the Na–Cl–HCO₃ and Ca–Na–HCO₃ types and are mineral-poor hot waters. $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ stable isotope analyzes were performed on the water taken from the study area and the results were evaluated with various graphs and diagrams (Table 2). Accordingly, it was observed that the water samples were almost above the Global Meteoric Water Line created by Craig (1961). Therefore, this shows that the waters are fed by meteoric waters of the same origin (Şener, 2015). The suitability of the waters in the Nevşehir area for geothermometer use was examined in the Na–K–Mg triangle diagram (Giggenbach, 1991) and it was determined that they were in the immature water group. Under these conditions, silica geothermometers give the appropriate reservoir temperature and the reservoir temperature is calculated between 90 and 140°C (Kara, 2013).

3.1.5. Aksaray region

In the studies conducted by MTA (2005) in Aksaray province, four geothermal areas are mentioned: Ziga–Yaprakhisar, Iısu, Tuzlusu and Güzelyurt–Sivrihisar (Şahinkalesi). Today, in addition to these areas, there are geothermal areas in Bekdik village of Sarıyahşi district, in Sofular village of Gülağaç district and in Dikmen village, located in the north of Aksaray. The reservoir rocks of the geothermal system in Aksaray province are marbles belonging to the Bozçaldağ formation. The cover rocks of the geothermal system are lacustrine-continental sedimentary and volcanic rocks of Upper Miocene, Pliocene and Quaternary age. The heat source of the hydrothermal system is volcanic activity and geothermal gradient. Tectonism has an important place in the formation of hot water resources. Tectonic lineation in the region is grouped in two directions: NW-SE and NE-SW. Rainwater in the region filters underground through faults, fractures and permeable rocks, where it comes into contact with magmatic intrusions and gets heated (Burçak, 2006; KOP, 2021e).

Silica, chalcedony and quartz geothermometers were used in all areas in Aksaray province. According to these calculations, reservoir temperatures in the Ziga geothermal area are between 58.65–106.86°C, 162.6°C in the Güzelyurt–Şahinkalesi geothermal area, and 90.71°C in the Tuzlusu geothermal area (KOP, 2021e).

Ziga–Yaprakhisar Geothermal Region: Yaprakhisar Village and its surroundings, located on the border of Ihlara Valley, are called Ziga geothermal field. In the Ziga geothermal field, two wells, one with a depth of 400 m and the other with a depth of 250 m, are operated for active thermal tourism purposes. The temperature of both wells is stated as 47°C.

In the study area, Paleozoic aged Tamadağ gneisses and schists and Bozçaldağ marbles are permeable units that have gained secondary porosity along fractures and fissures due to faulting, and form the deep (primary) reservoir. The cap rock of the system is the tuff levels within the Göstük toffies; The Selime tuffs, the hydrothermally altered sections of the Gelveri and Kızıl kaya ignimbrites and the Hasandağ ash formation constitute impermeable rocks (Burçak, 2006).

Physicochemical properties of thermal and cold waters in the field are given in Table 6. Two different thermal water types, Na–Ca–Cl and Na–Ca–Cl–HCO₃, were determined in the Ziga geothermal field. The cation and anion contents of group 1 waters are similar to each other. The most distinctive feature of this group is that the determining cation is Na and the determining anion is Cl. In the second group of waters in Ziga, the determining cation is Na+K and the determining anion is HCO₃. According to water chemistry studies, the cold waters in the area are Ca–Mg–HCO₃ and Ca–HCO₃ type waters (Burçak, 2006). According to the cation maturity diagram of Giggenbach (1988), thermal waters in the Ziga geothermal area are located in the immature waters zone. For this reason, since cation geothermometers would give incorrect results in calculating reservoir temperatures, silica geothermometers were used to calculate reservoir temperatures of waters in the Ziga geothermal area. According to chalcedony and quartz geothermometer calculations, reservoir temperatures in the Ziga geothermal area were determined between 58.65–106.86°C (KOP, 2021e). There is no reinjection well in the Ziga geothermal area. Discharging recycled water after use into the natural environment may cause significant problems for the environment.

Şahinkalesi–Iısu (Güzelyurt) Geothermal Region: There are 2 thermal water wells in the Iısu geothermal field, located within the borders of Iısu village in Güzelyurt district, and the wells are used for tourism purposes. Thermal hotels have a very important capacity for the region.

The cap rock of the system is impermeable, Upper Miocene–Pliocene- and Quaternary-aged ignimbrite, tuff,

pyroclastics and sediments formed in continental and lacustrine facies of the same age. It is thought that a shallow reservoir developed in the permeable zones within these units. Marbles of the Bozçaldağ formation, one of the underlying metamorphic rocks in the geothermal system, are reservoir rocks due to their secondary permeability. The heat source of the hydrothermal system is probably volcanic activity (Burçak, 2006). Physicochemical properties of thermal and cold waters in the field are given in Table 6. In the Piper diagram, it has been determined that all cold water samples taken from the working area, along with the hot waters of Şahinkalesi, fall into the Ca–Mg–HCO₃ type water category based on cations as Ca+Mg>K+Na and anions as HCO₃+CO₃>Cl+SO₄ (Burçak, 2006). In addition, it has been determined that the thermal waters in the Şahinkalesi geothermal area are saturated with quartz and chalcedony, but are not saturated with calcite, dolomite, aragonite, gypsum and anhydrite.

Tuzlusu–Aksaray (Center) Geothermal Region: In the Tuzlusu geothermal field, located approximately 5 km northwest of Aksaray city center, Tuzlusu thermal and mineral water resources are exposed at three points at an average altitude of 1,040 m above sea level, at the intersections of the NE-SW oriented main fault and the faults oblique to it. However, only one of these sources is active today (Afşin and Elhatip, 2000).

The fractured, fissured and karst-cavity units of the marbles belonging to the Bozçaldağ metamorphics located in the east of the Tuzlusu geothermal field are permeable and constitute the main reservoir of the geothermal system. The schists belonging to the Tamadağ

metamorphite (Seymen, 1981) are impermeable and the evaporites and lacustrine sediments in the area are the cover rocks. Tuzlusu thermal water source emerges from the intersection point of the NE-SW oriented main fault and the fault that cuts obliquely to it. Tuzlusu springs

reaches the earth by washing the granites and evaporite units intruding along the circulation path and lost their temperature to a certain extent (Afşin and Elhatip, 2000). Physicochemical properties of thermal and cold waters in the field are given in Table 6. In the study conducted by Afşin and Elhatip (2000), it was determined that Aksaray–Merkez Tuzlusu spring waters were in Na–Ca–Cl–HCO₃ and Na–Cl type water chemistry facies. In addition, it has been stated that this aquifer system, which has medium-deep circulation, generally contains groundwater that moves slowly and therefore has high ion content. It was determined that the Tuzlusu thermal water was saturated with calcite and quartz minerals, but not saturated with anhydrite, aragonite, chalcedony, dolomite, fluorite, gypsum, halite, quartz and talc minerals. This shows that calcite crusting may occur in carrier systems where spring waters are used. This content shows that the aquifer of hot waters is marble and that highly soluble evaporitic rocks along the circulation path also have an effect (Afşin and Elhatip, 2000; KOP, 2021e). There are generally two different interrelated circulatory systems in Tuzlusu hot springs. The first of these is the medium-deep circulation system in which Ca–Na–Cl–HCO₃ and Na–Ca–Cl–HCO₃ water facies are observed, where hot waters mix with cold waters during the rise of the Eski Hamam Spring to the surface. The second is a deep circulation system in which Na–Ca–Cl–HCO₃ and Na–Cl water facies are observed, where the Hamam source mixes less with cold waters. These waters are underground waters with slow circulation and increased ion content as a result of prolonged contact with the rock. Silica geothermometers were used to calculate reservoir temperatures of Tuzlusu spring waters. According to chalcedony and quartz geothermometer calculations, the maximum reservoir temperature that can be expected in the Tuzlusu geothermal area has been determined as 90.71°C.

Table 6. Physicochemical properties of thermal and cold waters in Aksaray Region

Parameters	Şahinkalesi-Güzelyurt Burçak (2006)		Ilisu-Güzelyurt KOP (2021e)	Ziga- Yaprakhisar Burçak (2006)		Ziga KOP (2021e)	Tuzlusu Afşin and Elhatip (2020)	
	*TW	**CW	*TW	*TW	**CW	*TW	E. Hamam (*TW)	H. Kaynağı (*TW)
T (°C)	21-44.1	10.9-12	34.1	29.6-51	14.3-16.8	54.2	21.6	32
pH	6.8-8.3	7.3-7.8	7.1	6-7.4	7.6-8.8	6.64	6.6	6.6
EC (µS/m)	-	-	485	-	-	6720	4800	19800
Na (mg/L)	12.2-47.5	2.9-7.7	48	49.2-1225	11.7-12.7	803.8	24.96	256.2
K (mg/L)	0.8-16.5	1.1-6.6	19	17.9-174	2.0-8.6	128.5	0.64	5.5
Ca (mg/L)	22-52	12.9-26	30	31.2-361	59.1-65.9	561	14.5	26.5
Mg (mg/L)	3.2-8.3	1.6-5.0	10	36-162	12.2-19.4	48.5	2.8	9.29
Cl (mg/L)	3.2-14.6	1.2-2.8	24.4	20.9-1907	7.1-7.4	1473.0	22.8	260
SO ₄ (mg/L)	1.79-16.8	1.7-7.6	16.5	0.9-78	6.7-11	74.44	1.36	6.37
HCO ₃ (mg/L)	140-296	58-134	201.9	273-2087	244-336	1590.2	18.9	30.97
SiO ₂ (mg/L)	70-146	30-77	-	47-114	52	-	-	-

*:Thermal water; **:Coldwater

3.1.6. Evaluation of the usability and environmental impacts of water in geothermal fields

In order to determine the effect of geothermal waters on underground and surface waters in terms of their usability as drinking water, according to their chemical structures, the analysis results of the waters were compared with the drinking water limit values determined by TS266 (2005) and WHO (2017). According to the permissibility limits of the World Health Organization (WHO, 2017) Drinking Water Quality Guidelines in the Sorgun and Saraykent geothermal fields, thermal waters and mineral spring waters are not suitable for drinking, while cold waters in the geothermal field are suitable. In addition, according to the USA Salinity Laboratory irrigation water classification, thermal waters are not suitable for irrigation due to their high sodium and high salinity values (McGeorge, 1954).

Major ion analysis results detected in thermal waters in Boğazlıyan, Sorgun and Yerköy geothermal areas were compared with the limits set by TS266 (2005) and WHO (2017). According to these evaluations, it was determined that the EC, Na, SO₄ and Cl values of the well water exceeded the limit values. In Sarıkaya geothermal area, the major ion contents of thermal and cold waters are suitable according to TS266 (2005) and WHO (2017) limit values. As, Br and F contents in Boğazlıyan geothermal area, B, F, and Mn contents of Sorgun thermal waters, As, F, Mn, and Fe contents of Sarıkaya well and spring waters, B, Br, Fe and Mn elements of Yerköy well waters are above the TS266 (2005) limit values. The EC, Na, Cl and SO₄ values of the thermal waters in the Bulamaçlı (Çiçekdağ) and Mahmutlu (Çiçekdağ) geothermal fields in Kırşehir are not suitable for use as drinking water because they are above the TS266 (2005) and WHO (2017) permissible limit values for drinking water.

When the major ion values of Terme and Karakurt thermal waters are compared with the limit values of TS266 (2005) and WHO (2017), the Cl and SO₄ contents are higher than the threshold value. Therefore, while thermal waters are not suitable for drinking water, the ion values of cold waters in the field are within the appropriate range according to TS266 (2005) and WHO (2017) values. While Savcılı (Kaman) thermal waters are suitable for use according to both TS266 (2005) and WHO (2017) limit values, some of Savcılı (Kaman) cold waters are not suitable because they contain large amounts of Cl and SO₄. Considering the major ion and heavy metal contents of the thermal waters of Kırşehir province, it is seen that health problems may occur if the water is used as drinking water for a long time.

When the major ion analysis results of water samples in the Niğde geothermal field are compared with the limit values given in TS266 (2005) and WHO (2017); while the EC, Na

and Cl values of Narköy and Dertalan thermal well waters are high, in addition to these values, the amount of SO₄ in Çiftehan thermal waters is also high. Therefore, none of the thermal waters in the Niğde geothermal field are suitable for use as drinking water. When the major ion values of water samples collected from Nevşehir geothermal field are compared with the values given in TS266 (2005) and WHO (2017); It has been determined that the EC, Na and Cl values of thermal water from the Kozaklı and Avonos–Ürgüp–Göreme wells exceed the limit values. In addition, the sulfate content in Göreme spring water is above the limit values. Since the cold waters in the Kozaklı geothermal field contain high amounts of SO₄, they are not suitable for use as drinking water according to both TS266 (2005) and WHO (2017) limit values.

While the EC, Na and SO₄ values of Nevşehir–Acıgöl thermal waters are suitable according to TS266 (2005) and WHO (2017) limit values, some thermal well waters are not suitable for use as drinking water due to high Cl content. When the major ion values of cold water samples taken from the Acıgöl thermal area are examined, they are suitable for use as drinking water according to the limit values of TS266 (2005) and WHO (2017). According to the values given in Kara (2013), the EC, Na, Cl and SO₄ values of the thermal waters in the Derinkuyu geothermal field are below the limit values given in TS266 (2005) and WHO (2017), while according to the values given in Şener et al. (2017), the Cl content is above the limit value. Major ion analysis results of samples taken from wells and springs in geothermal areas in Aksaray province were compared with the limit values given in TS266 (2005) and WHO (2017). According to the ion values given in Burçak (2006), Şahinkalesi thermal and cold waters are suitable for both limit values, while the EC, Na, Cl values of Ziga–Yaprakhisar thermal waters were determined above the limit values. In addition, especially high boron, iron and arsenic contents of the waters in the Ziga geothermal area may cause pollution of both fresh water resources and soil. For this reason, water returning from use should not be discharged into nature (KOP, 2021e). The cold waters of the Ziga–Yaprakhisar geothermal field are drinkable according to TS266 (2005) and WHO (2017) limit values. Although the Na, Cl and SO₄ values of Tuzlusu thermal waters are below the limit values, they are not suitable for drinking water because their EC values are quite high. KOP (2021e) determined that the As content of thermal waters in Aksaray province is between 3 and 1,087 µg/l. This value is well above the TS266 (2005) drinking water standards. Significant health problems may occur in long-term use of this water as drinking water. In addition, discharging the recycling waters resulting from the use of thermal waters into the natural environment may cause significant problems for the environment.

chemical composition of the water are observed because the water with higher temperature interacts more easily with rocks and minerals. These changes can occur either

4. CONCLUSIONS

In geothermal fields, more effective changes in the

through water dissolving minerals or by precipitating these minerals into the water. This may also affect groundwater quality. Geothermal fluids in the study areas are used for thermal tourism, greenhouse cultivation, residential heating and balneological purposes. Greenhouse activities are especially common in Boğazlıyan, Sorgun, Terme, Kozaklı, and Ihsu geothermal fields. The geothermal fluid in the Niğde region is currently used only for thermal tourism purposes. Kozaklı geothermal field is the largest geothermal field in the region with 31 wells, 1 of which is a reinjection well, and meets 50% of the region's needs with its thermal tourism and bed capacity. Since the Kozaklı geothermal system is suitable for integrated use, both greenhouse cultivation and thermal tourism activities are quite common. Geothermal fluids in the study area are used for thermal tourism, greenhouse cultivation, residential heating and balneological purposes. Greenhouse activities are especially common in Boğazlıyan, Sorgun, Terme, Kozaklı, and Ihsu geothermal fields. The geothermal fluid in the Niğde region is currently used only for thermal tourism purposes. Kozaklı geothermal field is the largest geothermal field in the region with 31 wells, 1 of which is a reinjection well, and meets 50% of the region's needs with its thermal tourism and bed capacity. Since the Kozaklı geothermal system is suitable for integrated use, both greenhouse cultivation and thermal tourism activities are quite common.

According to the geological and stratigraphic characteristics of the study area, the oldest unit in the region is the Kırşehir Massif, which consists of Paleozoic metamorphic, ophiolitic and plutonic rocks. The metamorphic schists of the Kırşehir Massif are mostly impermeable. However, the fractured, fissured and karst-cavity units of the marbles, which are among the Bozçaldağ metamorphites belonging to the Kırşehir Massif, are permeable and constitute the main reservoir of the geothermal system. In the geothermal systems in the region, impermeable Upper Miocene–Pliocene and Quaternary-aged ignimbrite, tuff, pyroclastics and sediments formed in terrestrial and lacustrine facies coeval with these are cover rocks. The heat source in the region is the high geothermal gradient and magmatic rock intrusions, closely related to the Erciyes volcanism, which is a young tectonism. Geothermal systems in the region are shallow and have lower temperatures, unlike the systems common in Western Anatolia. The deepest production well of the region is located in the Nevşehir–Derinkuyu geothermal field with 2,505 m, and the deepest reinjection well is located in the Nevşehir–Kozaklı geothermal field with 3,016 m. The highest geothermal fluid temperature in the region is Kozaklı geothermal field, with 96°C. Thermal waters vary from region to region with their hydrogeochemical properties. Most of the geothermal waters in the region are classified as NaCl, Na–Ca–Cl–SO₄, Ca–Mg–HCO₃, Na–Ca–Cl and Ca–Na–SO₄ type waters. Cold waters are generally Ca–HCO₃, Ca–SO₄ and Ca–Mg–HCO₃ type waters.

According to Giggenbach (1988) cation maturity diagram,

cation geothermometer gives incorrect results in immature waters where water–rock balance is not established. Therefore, silica geothermometers were generally used to calculate the possible reservoir temperature of the geothermal system. The highest reservoir temperatures by region have been determined as follows: 155°C in the Yozgat–Sorgun geothermal field, 181°C in the Kırşehir–Mahmutlu geothermal field, 173°C in the Niğde–Dertalan geothermal field, 217°C in the Nevşehir–Göreme geothermal field, and 162°C in the Aksaray–Güzelyurt geothermal field. Compared to thermal waters in other geothermal fields in Central Anatolia, trace element content, especially Sr and As contents in Kozaklı thermal waters are generally high (Gemici and Tarcan, 2002; Şimşek, 2003; Aksoy et al., 2009; Karakuş and Şimşek, 2009). The reason for this is thought to be the rock–water interaction between rising thermal waters and Miocene sedimentary formations (Pasvanoğlu and Chandrasekharan, 2011). Kozaklı geothermal field is significantly different from other geothermal fields because it contains more sea water than the geothermal systems in Western and Central Anatolia (Canik and Pasvanoğlu, 2005).

The reinjection of geothermal fluids back into the geothermal system is crucial for both environmental conservation and the sustainability of the geothermal system. It is noteworthy that there are insufficient reinjection wells in the region to maintain reservoir pressure. In this context, having 1 reinjection well in the Kozaklı geothermal field, which has 30 production wells, is quite risky in terms of the sustainability of the geothermal system and the environment. Geothermal waters cause pollution of both fresh water resources and soil due to their high ion content. For this reason, water returning from use should be conveyed to the reservoir by reinjection instead of being discharged into nature. Due to the opening of too many wells and withdrawal of water in the region in recent years, many geothermal wells have become inefficient and have been closed. Especially in recent years, the number of production wells in Yozgat, Aksaray and Kırşehir regions has decreased compared to previous years. However, it is also planned to open new wells in different locations after the closed wells. It is planned to open 2 more geothermal wells in the Yozgat–Boğazlıyan geothermal field, 2 in Niğde–Merkez, 1 in Bor and 2 in Ulukışla.

Acknowledgement

The authors would like to thank Scientific Research Projects of Suleyman Demirel University which supported this work with the doctorate project (Projects No: FDK-2022-8804).

Author Contribution

Eda AYDEMİR POLAT: (b) Study Design, Methodology, c. Literature Review, f. Data Collection, Processing, (h) Writing Text

Şehnaz ŞENER: (a) Idea, Concept, (b) Study Design, Methodology (d) Supervision, (h) Writing Text (i) Critical Review

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education

Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

REFERENCES

- Afşin, M., & Elhatip, H. (2000). Hydrogeochemistry and isotopic study of the travertine deposition of the Tuzlusu (Aksaray) thermal-mineral springs. *Bulletin For Earth Sciences*, 21(22), 63-77.
- Afşin, M., Erdoğan, N., Gürdal, H., Gürel, A., Onak, A., Oruç, Ö., Kavurmacı, M., & Durukan, G., (2007). *Hydrogeochemical and isotopic investigation of hot and mineral waters and travertines in central anatolia and medical and bioclimatic evaluation of waters* (Project report no. 104Y197). TÜBİTAK.
- Akçay, A.E., Donmez, M., Kara, H., Yergok, A.F., & Esenturk, K. (2008). *Geological maps of Turkey in 1: 100.000 scale, Yozgat I-34 sheet* (No. 81). MTA Publications.
- Akkuş, İ., & Alan, H. (2016). *Turkey's geothermal resources, projections, problems and suggestions report* (Report No. 123). TMMOB Chamber of Geological Engineers.
- Aksoy, N., Şimşek, C., & Gunduz, O. (2009). Groundwater contamination mechanism in a geothermal field: a case study of Balçova, Turkey. *Journal of Contaminant Hydrology*, 103(1-2), 13-28.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E., & Svavarsson, H. (1983). The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47(3), 567-577.
- Ayan, T. (1968). *Geological investigation of Çiftehane and its surroundings* (Report No. 2113). MTA Compilation.
- Burçak, M., Yucel, B., Kucuk, M., & Akin, U. (2002). Hydrothermal alteration of the Yozgat Saraykent (Karamagara) geothermal field. In M. Afşin, M. Kavurmacı & R. Demircioğlu (Eds.), *I. Central Anatolian Geothermal Energy and Environmental Symposium* (pp. 13-21). Niğde University Press.
- Burçak, M. (2006). *Investigation of geothermal heat sources in Aksaray geothermal fields* [Master's thesis, Niğde University]. Bulletin of the Mineral Research and Exploration. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/44733>.
- Canik, B., & Pasvanoğlu, S. (1993). Hydrogeological investigation of the Mineralized and thermal water of the karstic aquifers around Kırşehir and the possibility of utilization in thermal spas international symposium on water resources in Karst with special emphasis on arid and semiarid zones. In A. Afrasiabian (Ed.), *International Symposium on Water Resources in Karst With Special Emphasis on Arid and Semiarid Zones, Shiraz* (pp. 153-167). Islamic Republic of Iran.
- Canik, B., & Pasvanoğlu, S. (2005, September 26–28). *Hydrogeochemical investigation of Sarıot (Bolu-Mudurnu) thermal spring waters*. [Paper presentation]. II. National Isotope Techniques in Hydrology Symposium, İzmir, Türkiye.
- Clark, I.D., & Fritz, P. (1997). *Environmental isotopes in hydrogeology*. Lewis Publishers.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- D'Amore F., & Arnórsson, S. (2000). Geothermometry in isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use. In S. Arnórsson (Ed.), *Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use* (pp. 152-199). International Atomic Energy Agency.
- Dalkılıç, H., Donmez, M., & Akçay, A.E. (2008). *Geological Maps of Turkey in 1: 100.000 scale, Yozgat I-35 Sheet* (No. 82). MTA Publications.
- Davraz, A., Nalbantçılar, M.T., & Önden, İ. (2022). Hydrogeochemical characteristics and trace element of geothermal systems in Central Anatolia, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 195, 104666.
- Demirtaşlı, E., Bilgin, Z., Erenler, F., Işıklar, S., Sanlı, D., Selim, M., & Turan, N. (1973, December 17-19). *Geology of Bolkar Mountains* [Paper presentation]. 50th Anniversary of the Republic Earth Sciences Congress Ankara, Türkiye.
- Fournier, R.O. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5(1-4), 41-50.
- Robert, W., & Potter, I.I. (1982). A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Bulletin of Geothermal Resources Council*, 11, 3-12.
- Gemici, Ü., & Tarcan, G. (2002). Hydrogeochemistry of the Simav geothermal field, Western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 116(3-4), 215-233.
- Giggenbach, W.F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12), 2749-2765.
- Giggenbach, W.F. (1991). Chemical techniques in geothermal exploration. In F. D'Amore (Ed.), *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development: Series of Technical Guides on the Use of Geothermal Energy* (pp. 119-144). United Nations Digital Library.

- Göncüoğlu, M., Toprak, V., Kuşçu, I., & Olgun, E. (1991). *Geology of the western part of the Central Anatolian Massif, Part 1: Southern Section*. TPAO.
- Goncuoglu, C.M., Erler, A., Toprak, V., Yalnız, K., Olgun, E., & Rojay, B. (1992). *Geology of the western part of the Central Anatolian Massif. Part 2: Middle section* (Report No. 3155). Turkish Petroleum Corporation.
- Goncuoglu, C.M., Erler, A., Toprak, V., Olgun, E., Yalnız, K., Kuşçu, I., Koksall, S., & Dirik, K. (1993). *Geology of the central part of the Central Anatolian Massif. Part 3: Geological evolution of the Central Kızılırmak Tertiary basin* (Report No. 3313). Turkish Petroleum Corporation.
- İşler, F. (1988). Mineralogic-petrographic and geochemical investigation of the Çiftehane (Niğde) volcanics. *Geological Bulletin of Turkey*, 31, 29-36.
- Kara, İ. (2013). *Hydrogeochemical properties of Nevşehir/Acıgöl-Derinkuyu-Gülşehir hot and mineral waters*.
https://www.mta.gov.tr/dosyalar/images/dogalkaynaklar/makaleler/236/tr_20221012101113_236_4_4f1227ea.pdf
- Karakus, H., & Simsek, S. (2008). Hydrogeological and geochemical studies of the Efteni and Derdin geothermal areas, Turkey. *Geothermics*, 37(5), 510-524.
- Ketin, I. (1955). On the geology of Yozgat region and the tectonic features of the Central Anatolian Massif (Kırşehir Crystallines). *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 6(1), 1-20.
- Koçak, A. (1997). *Investigation of water chemistry and reservoir temperature of Kozaklı (Nevşehir) geothermal area*. [Unpublished doctoral thesis]. Hacettepe University.
- Koçyiğit, A., & Beyhan, A. (1998). A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 284(3-4), 317-336.
- KOP Regional Development Administration. (2021a). *Evaluation of geothermal resources project, Yozgat province report*.
<http://kop.gov.tr/upload/dokumanlar/240.pdf>
- KOP Regional Development Administration. (2021b). *Evaluation of geothermal resources project, Kırşehir province report*.
<http://kop.gov.tr/upload/dokumanlar/244.pdf>
- KOP Regional Development Administration. (2021c). *Evaluation of geothermal resources project, Niğde province report*.
<http://kop.gov.tr/upload/dokumanlar/241.pdf>
- KOP Regional Development Administration. (2021d). *Evaluation of geothermal resources project, Nevşehir province report*.
<http://kop.gov.tr/upload/dokumanlar/242.pdf>
- KOP Regional Development Administration. (2021e). *Evaluation of geothermal resources project, Aksaray province report*.
<http://kop.gov.tr/upload/dokumanlar/245.pdf>
- Kristmannsdóttir, H., & Ármannsson, H. (2003). Environmental aspects of geothermal energy utilization. *Geothermics*, 32(4-6), 451-461.
- Kurt, Z., Altun, E.İ., Keskin, H., Şengün, M., Sütçü, Y.F., Tekin, F., Özay, R., Erkan, M., & Örçen, S. (1991). *Geology of Boğazlıyan (Yozgat) area* (Report No. 9424). MTA Publications.
- McGeorge, W.T. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and alkali soils*.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>
- MTA. (2005). 1: 100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 48. Yozgat J-34 Paftası.
- Özen Türker, H. (2006). *Hydrogeochemical investigation of Sarıkaya (Yozgat) hot and mineral waters* [Unpublished master's thesis]. Hacettepe University].
- Özkan, H., & Koçak, A. (2006). *Evaluation report of geothermal resources in Nevşehir province* (Report No. 10869). MTA Publications.
- Özülükale, S., & Şimşek, Ş. (2015, September 3-5). *Hydrogeochemical evaluation of Saraykent Yozgat geothermal waters* [Paper presentation]. National Engineering Geology Symposium, Trabzon, Türkiye.
- Özülükale, S., & Şimşek, Ş. (2016, September 19-24). *Hydrogeochemical and environmental isotopic survey in Saraykent Yozgat geothermal field Central Anatolia* [Paper presentation]. European Geothermal Congress, Strasbourg, France.
- Parkhurst, D.L., & Appelo, C.A.J. (1999). *User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations* (No. 99-4259). US Geological Survey.
- Parkhurst, D.L., & Appelo, C.A.J. (2013). *Description of input and examples for PHREEQC version 3—a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations*. <https://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/>
- Pasvanoğlu, S., & Chandrasekharam, D. (2011). Hydrogeochemical and isotopic study of thermal and mineralized waters from the Nevşehir (Kozaklı) area, Central Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 202(3-4), 241-250.
<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.03.003>
- Pasvanoğlu, S., & Gültekin, F. (2012). Hydrogeochemical study of the Terme and Karakurt thermal and mineralized waters from Kırşehir Area, central Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 66, 169-182.
<https://doi.org/10.1007/s12665-011-1217-3>
- Pasvanoğlu, S., Güner, A., & Gültekin, F. (2012). Environmental problems at the Nevşehir (Kozaklı) geothermal field, central Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 66, 549-560.
- Piper, A.M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), 914-928.
- Rybach, L. (2003). Geothermal energy: sustainability and the environment. *Geothermics*, 32(4-6), 463-470.
- Schoeller, H. (1977). *Geochemistry of groundwaters in groundwater studies and international research and practice*, UNESCO.

- Seymen, İ. (1981). Stratigraphy and metamorphism of the Kırşehir massif around Kaman (Kırşehir). *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 24, 7-14.
- Seymen, İ. (1982). *Geology of Kırşehir massif around Kaman* [Unpublished associate professor dissertation]. Istanbul Technical University.
- Şener, M.F. (2015). *Geothermal resource potential of Cappadocia geothermal province* [Unpublished doctoral thesis]. Niğde University.
- Şener, M.F., Şener, M., & Uysal, İ.T. (2017). The evolution of the Cappadocia Geothermal Province, Anatolia (Turkey): geochemical and geochronological evidence. *Hydrogeology Journal*, 25, 2323-2345. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1613-1>.
- Şener, M.F. (2019). A new approach to Kırşehir (Turkey) geothermal waters using REY, major elements and isotope geochemistry. *Environmental Earth Sciences*, 78(3), 75. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8068-8>
- Şener, M.F., & Baba, A. (2019). Geochemical and hydrogeochemical characteristics and evolution of Kozaklı geothermal fluids, Central Anatolia, Turkey. *Geothermics*, 80, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.02.012>
- Şengör, A. C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Şimşek, Ş. (1993). *Isotope and geochemical survey of geothermal systems of Yozgat province in Central Anatolia, Turkey*. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/26/044/26044462.pdf?r=1
- Şimşek, Ş. (2003). Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes graben, Turkey. *Geothermics*, 32(4-6), 669-678.
- Şimşek, Ş., Koc, K., & Yılmaz E. (2006). *Geology, hydrogeology, drilling and testing consultancy report of YK-2 and YK-3 Wells in Yerköy, Hacettepe University*. Yozgat Governorship Office and District Governorship of Yerköy.
- Şimşek, Ş., Yılmaz, E., Koc, K., Turker, O., Karakus, H., Bakir, N., Gulgor, A., Simsek, Z.N., Bulus, G., Girbalar, E., Bektas, I., Savaci, T., & Oguz, H. (2010, April 25-30). *Geothermal exploration survey of Sorgun geothermal field (Yozgat-Turkey)* [Paper presentation]. World Geothermal Congress, Bali, Indonesia.
- Tarcan, G. (2002). *Geothermal Water Chemistry*. JENARUM Summer School Lecture Notes.
- Temel, D. (2007). *Comparison of the hot and mineral waters of Çiftehane, Kemerhisar and Dertalan (Niğde) with water chemistry and isotopic methods, medical and bioclimatic evaluation* [Unpublished master's thesis]. Niğde University.
- Tolluoglu, Ü. (1986). *Petrographic and petrotectonic investigations in the southwest of the Central Anatolian massif (in Kırşehir region)* [Unpublished doctoral thesis]. Hacettepe University.
- Toprak, V. (1998). Vent distribution and its relation to regional tectonics, Cappadocian Volcanics, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1-4), 55-67.
- TS266, (2005). *Regulation on water for human consumption, TS-266* (Official Gazette No. 25730). Turkish Standards Institute.
- Ünsal, N., & Afşin, M. (1999). Hydrochemical and isotopic properties of the Mahmutlu and Bağdatoğlu mineralized thermal springs, Kırşehir, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 7, 540-545. <https://doi.org/10.1007/s100400050227>
- WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>
- Yılmaz, E., & Şimşek, S. (2013, June 3-7). *Observation studies of wells in Sorgun geothermal field (Yozgat-Turkey)* [Paper presentation]. European Geothermal Congress, Pisa, Italy.
- Yılmaz Turalı, E., Şimşek, Ş., & Koç, K. (2016, September 19-24). *Hydrogeochemical investigation of Yerköy (Yozgat-Turkey) geothermal waters*. [Paper presentation]. European Geothermal Congress, Strasbourg, France.
- Yılmaz Turalı, E., & Şimşek, Ş. (2017). Conceptual and 3D simulation modeling of the Sorgun hydrothermal reservoir (Yozgat, Turkey). *Geothermics*, 66, 85-100.
- Yurteri, C., Şimşek, Ş., Koç, K., & Yılmaz, E. (2015, April 19-24). *Hydrogeological survey of Savcılı Büyükoba geothermal field (Kaman, Kırşehir-Central Anatolia, Turkey)* [Paper presentation]. World Geothermal Congress, Melbourne, Australia
- Yurteri, C., & Şimşek, Ş. (2017). Hydrogeological and hydrochemical studies of the Kaman-Savcılı-Büyükoba (Kırşehir) geothermal area, Turkey. *Geothermics*, 65, 99-112.

Phenotypic Characterization of Point Mutations Spanning FHA Domain and C-terminal Region of *Dawdle* Gene in *Arabidopsis*

Arabidopsis'te *Dawdle* Geninin FHA Alanını ve C-terminal Bölgesini Kapsayan Nokta Mutasyonlarının Fenotipik Karakterizasyonu

Seyit YUZUAK^{1,2*} , David CHEVALIER^{2,3} 

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Art and Sciences, Department of Molecular Biology and Genetic, Burdur, Türkiye

² Mississippi State University, College of Art and Sciences, Department of Biological Sciences, Starkville, Mississippi, United States

³ East Georgia State College, Swainsboro, Department of Biological Sciences, Georgia, United States

Article Info

Research Article

DOI: 10.29048/makufebed.1482242

Corresponding Author

Seyit YUZUAK

Email: sytyzk@gmail.com

Article History

Received: 11.05.2024

Revised: 30.05.2024

Accepted: 31.05.2024

Available Online: 15.06.2024

To Cite

Yuzuak, S., & Chevalier, D. (2024). Phenotypic characterization of point mutations spanning FHA domain and C-terminal region of *Dawdle* gene in *Arabidopsis*. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 15(1), 61–71.
<https://10.29048/makufebed.1482242>

ABSTRACT: The screening analysis of loss-of-function alleles in *Arabidopsis thaliana* revealed a mutation in the At3G20550 gene, called *DAWDLE* (*DDL*). The mutation in the *DDL* gene causes pleiotropic phenotypes and reduced the levels of several microRNAs. The *DAWDLE* gene encodes a protein with a Fork Head-Associated (FHA) domain, found in large range of proteins with significant cellular processes in prokaryotes and eukaryotes. However, it is not completely known whether the FHA domain and C-terminal region of the *DDL* are necessary for its function. The aim of this study was to determine the function of both regions by conducting a phenotypic analysis of point mutations spanning the FHA domain and C-terminal region in *DDL* Targeted Induced Local Lesions IN Genome (TILLING) screen was performed in the *Columbia erecta-105* background of *Arabidopsis* resulting in point mutations spanning both regions of *DDL*. The mutants were phenotypically characterized. Height of the plant, hypocotyl and root length, and fertility were measured. Phenotypic analyses of the mutants revealed *ddl* phenotypes of varying degrees in different organs. Reduction in fertility and shortening in root, hypocotyl and stem lengths of the TILLING mutant lines suggest that the FHA domain and C-terminal region may require for *DDL* function in *Arabidopsis*.

Keywords: *Dawdle*, Fork Head-Associated Domain, Targeted Induced Local Lesions in Genome, Ethyl Methane Sulfonate, *Arabidopsis*

ÖZ: *Arabidopsis thaliana*'daki gen fonksiyon kaybı alellerinin analizi, *DAWDLE* (*DDL*) adı verilen At3G20550 geninde bir mutasyonu ortaya çıkarmış ve *DDL* genindeki bu mutasyonun pleiotropik fenotiplere neden olduğu ve birçok mikro RNA seviyesini de düşürdüğü rapor edilmiştir. *DAWDLE* geni, prokaryot ve ökaryotlarda önemli hücre fonksiyonlarına sahip birçok proteinde de bulunan Çatal Başlı-İlişkili Bölge (FHA) alanına sahip bir proteini kodlar. Ancak, *DDL* proteinin FHA alanının ve C-terminal bölgesinin bu genin işlevi için gerekli olup olmadığı tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada, *DDL* geninin FHA alanı ve C-terminal bölgesini kapsayan nokta mutasyonlarının fenotipik karakterizasyonu yapılarak her iki bölgenin *DDL* fonksiyonunda rolü olup olmadığı analiz edilmiştir. *Arabidopsis*'in *Columbia erecta-105* yabancı tipinde 'Genomda Hedefli İndüklenmiş Lokal Lezyonlar' (TILLING) hat taraması yapılarak *DDL* geninin FHA ve C-terminal bölgesini kapsayan nokta mutasyonları tespit edilmiş, ardından bu nokta mutasyonları taşıyan homozigot mutantlar belirlenerek bitki boyu, hipokotil ve kök uzunluğu ve tohum sayısı seviyesinde fenotipik olarak karakterize edilmiştir. Mutantların fenotipik analizi, farklı bitki organlarında değişen derecelerde benzer *ddl* fenotiplerini ortaya çıkarmıştır. TILLING mutant hatlarının tohum sayısındaki düşüş, kök, hipokotil ve gövde uzunluklarındaki kısalma, *Arabidopsis*'te FHA ve C-terminal bölgesinin *DDL* geninin fonksiyonu için önemli olabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: *Dawdle*, Çatal Başlı-İlişkili Bölge, Genomda Hedefli İndüklenmiş Lokal Lezyonlar, Etil Metan Sülfonat, *Arabidopsis*

1. INTRODUCTION

Many eukaryotic and several prokaryotic proteins have been identified and categorized with their phosphobinding domain. Phosphobinding domains typically recognize specific peptide motifs on their binding partners, in a fashion that depends on the phosphorylation of a tyrosine (pTyr), serine (pSer) or threonine (pThr) residues in the recognition sequence. One of the well-characterized phospho-threonine (pThr) binding domains is Fork-Head Associated (FHA) domain (Durocher et al., 1999). FHA is one such protein-protein interaction domain that was initially identified and named as a conserved region of fork-head transcription factor in *Drosophila* (Kim et al., 2002). Later, FHA domain has been reported to be present in more than 2,000 proteins including protein kinases, DNA-binding transcription factors, RNA-binding proteins, protein phosphatases, kinesins, proteases, glycoproteins and zinc-finger proteins from all kingdoms including bacteria, animals, and plants (Durocher et al., 1999; Hammet et al., 2000; Liao et al., 1999; Sun et al., 1998). Thus, FHA domains are not restricted to fork-head transcription factors (Mahajan et al., 2008). The existence of FHA domains in a large amount of proteins suggests that the proteins with FHA domain play an important role in several cellular processes such as intracellular signal transduction, transcription, protein transport, DNA damage response, cell cycle regulation and protein degradation (Durocher et al., 2000a; Durocher et al., 2000b; Mahajan et al., 2008). FHA domain recognizes specifically pThr residues on targets. This is a unique characteristic of FHA domain compared to other phosphor-binding domains like WW and 14-3-3 that recognize both pThr and pSer residues (Mahajan et al., 2008).

There are 18 genes in the *Arabidopsis* genome that encode predicted proteins that contain an FHA domain. In a screen of several T-DNA mutant populations to isolate loss-of-function alleles in *Arabidopsis* genes that encode a protein with a conserved FHA domain, a mutation in the *At3G20550* gene was isolated. The slow and prolonged growth period of the mutant gave the name *DAWDLE* (*DDL*) to this gene. *DDL* is located on chromosome 3 of *Arabidopsis*, has 10 exons, and code for a protein of 314 amino acids (Supplementary Figure 1 and 2).

DDL is a nuclear localized protein consisting of FHA domain and arginine-rich (Arg-rich) region. The FHA domain of DDL is found near to the C-terminus, and spanning amino acid residues from 218 to 282 (Supplementary Figure 3).

The Arg-rich region of DDL is located near to the N-terminus, and contains several putative nuclear localization signals and RNA binding domain (Morris et al., 2006; Narayanan et al., 2014; Yu et al., 2008). Two independent T-DNA mutant alleles in *ddl* have been isolated and named as *ddl-1* and *ddl-2*. Since both are in the Wassilewskija-2 (*Ws-2*) genetic background of *A.*

thaliana and do not produce *DDL* messenger RNA (mRNA) transcript, *ddl-1* and *ddl-2* are null alleles of *DDL*. *ddl-1* and *ddl-2* mutant plants are developmentally delayed and display pleiotropic phenotypes such as defective roots, shoots and flowers, reduced number of seed and cell division defect in meristematic tissues. T-DNA insertions in *ddl-1* and *ddl-2* are located near the intron 3/exon 4 border, and to the upstream of the predicted initiation codon, respectively (Morris et al., 2006). Also, *ddl* knockout mutants have demonstrated a reduced accumulation of small RNAs including several microRNAs, as well (Narayanan et al., 2014; Yu et al., 2008).

Afterwards, to reveal whether FHA domain and Arg-rich region of *DDL* are required for *DDL* function, two independent *Arabidopsis* TILLING (Targeting Induced Local Lesions IN Genomes) mutant collections, which have been induced with ethyl methane sulphonate (EMS), and developed in the Columbia (*Col*) and *Landsberg erecta* (*Ler*) *glabrous1-1* genetic background of *A. thaliana*, (Martin et al., 2009; Till, Reynolds, et al., 2003) have been partially screened and characterized (Morris et al., 2006; Narayanan et al., 2014). TILLING is a non-transgenic method based on an endonuclease enzyme activity, which preferentially cleaves mismatches in heteroduplex between wild-type and mutant DNAs, for the direct examination of gene function. Subsequent analysis of cleaved products on an agarose gel allows for the rapid identification of induced point mutations producing weak nonlethal alleles in the genome of *A. thaliana*. M3 seeds obtained from M2 plants are used for phenotypic analysis (Greene et al., 2003; McCallum et al., 2000; Till, Colbert, et al., 2003). One of those TILLING alleles, *ddl-3*, which possesses an amino acid change on residues of the FHA domain, shows the same phenotypes as the null alleles; *ddl-1* and *ddl-2* (Morris et al., 2006). The phenotype of *ddl* mutant also resembles the phenotype of a mutant in *DICER-LIKE1* (*DCL1*) (Schauer et al. 2002). In *Arabidopsis*, *DCL1* is involved in processing of pri-microRNA into pre-microRNA, and also catalyses the formation of mature microRNA (miRNA) in the nucleus (Chen, 2005). miRNA is 20 to 24 nucleotide long single stranded RNA that is involved in the regulation of gene expression by cleavage or translational repression of its target messenger RNAs (Bartel, 2004). In *dcl-1*, miRNAs are not processed leading to the absence of mature miRNA and the regulation of gene expression (Kurihara & Watanabe, 2004). To test whether *DDL* is involved in miRNA synthesis, the levels of several miRNAs have been checked in the *ddl* mutants (*ddl-1*, *ddl-2*, and *ddl-3*). There is a 2.2 to 3-fold reduction in the pri, pre and mature miRNA levels in the mutants compared to the wild type allele (Narayanan et al., 2014; Yu et al., 2008; Zhang et al., 2018). One possible explanation for reduced levels of miRNAs in *ddl* mutants is that *DDL* regulates the expression of genes involved in miRNA biogenesis. Although it has not been observed that *ddl* mutations have an explicit effect on the expression of genes regulating miRNA processing, it has been shown that *DDL* interacts with an N-terminal portion of *DCL1* and *DCL3*, which is a *DCL1* homolog in charge of small

interfering RNAs (siRNA) production, in Arabidopsis (Yu et al., 2008; Zhang et al., 2018). Furthermore, data have shown that DDL is an RNA-binding protein, and that the N terminal domain of DDL shows conservation with several proteins involved in mRNA metabolism (Yu et al., 2008). Therefore, it was pointed out that DDL globally effects miRNA processing and accumulation, and it is required for siRNA biogenesis (Zhang et al., 2018). However, it was not confirmed yet that DDL binds to specifically to pri-miRNAs *in vitro*. Also, it is not yet comprehensively understood which part of DDL is important and indispensable for its function. In order to understand the function of DDL and the contribution of different domains towards its function, it is necessary to characterize the DAWDLE protein. Therefore, the aim of this study was to identify a few key amino acid residues for a better understanding of the FHA domain and C-terminal region of DDL thorough isolation and characterization of new different TILLING point mutation alleles of *DDL*. This study isolated and phenotypically characterized three different mutants with an amino acid change in the FHA domain and C-terminal region of DDL and showed that this change may be significant for DDL function.

2. MATERIALS and METHODS

2.1. Plant Material and Growth Conditions

Seeds for TILLING mutant lines including 2206, 2317, 2182, 955 and 731 were ordered from the Arabidopsis Biological Resource Center of The Arabidopsis Information Resource (TAIR SeqViewer, 2021), which is online database of genetic and molecular biology data for the model plant *Arabidopsis thaliana*. The TILLING mutations are located in the FHA Domain (TILLING 2206 and 2317) spanning the 218th and 282nd amino acid interval, and the C-terminal region (TILLING 2182, 955 and 731) spanning the 283th and 314th amino acid interval of DDL. In these TILLING 2317, 2206, 955, 2182 and 731 point mutants, Arginine is replaced by Histidine, Glutamic acid by Lysine, Arginine by Lysine, Arginine by Glutamine and Valine by Isoleucine, respectively. Each TILLING mutant line with genetic characteristics (Table 1) was mapped on *DDL* cDNA (Figure 1).

Table 1. TILLING mutant lines studied*

TILLING Lines	Position in Gene	Mutation Wild - Mutant	Functional Effect	Codon Change Wild - Mutant	AA Change Wild - Mutant
2182 (10 th Exon)	2869	G → A	Missense Mutation	CGA → CAA	Arg303Gln
2206 (7 th Exon)	2386	G → A	Missense Mutation	GAA → AAA	Glu249Lys
2317 (6 th Exon)	2192	G → A	Missense Mutation	CGT → CAT	Arg223His
955 (9 th Exon)	2674	G → A	Missense Mutation	AGA → AAA	Arg286Lys
731 (10 th Exon)	2877	G → A	Missense Mutation	GTA → ATA	Val305Ile

*Each mutant line is numbered as shown in the first column. As second and fourth columns display point mutations of each TILLING line at the nucleotide and codon levels, respectively. Third and fifth column identify the functional effects of those single nucleotide changes on amino acid level and protein structure, respectively. Position 1 in the gene sequence corresponds to the first nucleotide in ATG (start) codon. (AA; amino acid, A; Adenine, G; Guanine, T; Thymine, C; Cytosine, Arg; Arginine, Gln; Glutamine, Glu; Glutamic acid, Lys; Lysine, His; Histidine, Val; Valine, Ile; Isoleucine)

Blue lines in Figure 1 represent the location of each TILLING mutant line with corresponding exon regions on *DDL* cDNA. As TILLING 2317 and 2206 mutant lines have a point mutation on the exon regions (6 and 7,

respectively) coding FHA domain of DDL, TILLING 955, 2182 and 731 mutant lines have a point mutation on the exon regions (9, 10, and 10, respectively) corresponding to C terminus of DDL. (ATG; start codon, bp; base pair).

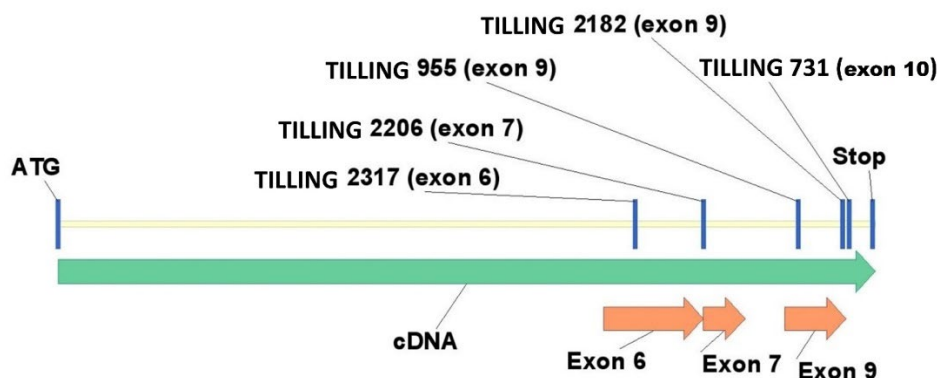


Figure 1. TILLING mutant lines mapped on *DDL* cDNA (946 bp from ATG to Stop)

M3 seeds of *Arabidopsis thaliana* accessions Ler gl-1, numbered as 2182, 2206, 2317, 955 and 731, were sterilized with the solution of 200 milliliter (ml) liquid bleach (12.5% NaClO) and 3 ml hydrochloric acid (HCl, 6.0 N) for 4 hours in a closed container in the fume hood to eliminate all microorganisms such as mold, fungi, bacteria and viruses present on the seed surface. Next, seeds in 1 ml of sterile distilled water (dH₂O) were incubated at 4 °C for a week to break seed dormancy, and then carefully planted on round plates containing ½ Murashige and Skoog (MS) media (Murashige & Skoog, 1962), 0.6% agar and 10 M gibberellic acid to trigger seed germination. These plates were placed horizontally at 20 °C under optimum light conditions (cool white fluorescent) in a plant growth chamber for at least two weeks. After each seedling was old enough for planting, the seedlings were carefully transferred to fully wetted soil and maintained under long-day conditions (16 h light and 8 h dark) at 24 °C in the greenhouse. Greenhouse grown plants were watered as needed to avoid water stress. Growth chamber and greenhouse conditions were carefully monitored to maintain healthy growth and development of plants.

2.2. Mutant Isolation

Mutant isolation was achieved by three steps: designing specific primers for genotyping, extracting DNA from plant tissues, and genotyping of each mutant line.

2.2.1. Primer design

Two types of molecular marker were used to genotype the plants. These markers are CAPS; a cleavage of amplified polymorphic sites, and dCAPS; derived CAPS. CAPS PCR primers have been first designed for detecting polymorphisms between two *Arabidopsis* ecotypes Ler and Col (Bell & Ecker, 1994), and then for specific single point mutations (Neff et al., 2002). For all the TILLING alleles, the mutation is only a change of a single base pair in *DDL*. These single changes can be identified using the CAPS or the dCAPS markers. CAPS and dCAPS are based on the different pattern of digestion between the wild type and mutant alleles due to mutation altering an enzyme restriction site. dCAPS is a modification of CAPS technique that allows detection of most single nucleotide changes by utilizing mismatched PCR primers (Michaels & Amasino, 1998; Neff et al., 1998). The mismatches in the PCR primers, in combination with the single nucleotide change create a unique restriction site in one of the alleles. Polymorphism is revealed by the digestion of PCR product with a unique restriction enzyme, which will cut either the wild type or the mutant DNA. Agarose gel analysis of the restriction digestion pattern of PCR products determines the genotype of each plant. For PCR of TILLING lines, CAPS and dCAPS primer sets were designed using the web based program, dCAPS Finder 2.0 (Neff et al., 2002). Primers designed for each mutant line were listed (Table 2).

Table 2. Primer pair designed for TILLING mutant lines*

TILLING Lines	Marker	Primer Sequences		Annealing Temp. (°C)	PCR Product (bp)
		Forward (F)	Reverse (R)		
2182	dCAPS	F: GGTTTCCCATTATGAATCATACCCC	R: TTCTCGTGCAACAGTACGTAAGCT	53	142
2206	dCAPS	F: GAATGTGCTTTTCTCAGGGAGAAG	R: AAATTTAGCTTAAAGCCAGCAGA	52	130
2317	CAPS	F: GATCTGATATGTTTGTGACTGTGGC	R: CCGTAGGAATGTCGGCAATCC	57	245
955	CAPS	F: AGGAAAGTCCCATTGAGCCAC	R: TCACAGAGAATAGGCACGGGG	53	145
731	CAPS	F: CCCATTATGAATCATACCCCCTGCC	R: TCGGCAGAATTCTCGTGCAACAGGA	57	145

*All primer sequences are written from 5' to 3'. Mismatched nucleotides introduced for the dCAPS primers are indicated in red. CAPS primers were designed to introduce point mutation in the PCR product spanning a restriction enzyme site. dCAPS primers were designed by generating mismatches to cleave only the wild type PCR product.

2.2.2. DNA isolation

Modified Dellaporta plant DNA extraction protocol was used to isolate DNA from wild type and mutant plants (Dellaporta et al., 2007). A 0.5 cm² piece of fresh leaves from young seedling of mutant and wild type plants growing on soil were collected, and quickly frozen in liquid Nitrogen. They were then ground in a centrifuge tube using a pestle. 400 µl of Dellaporta buffer (100 mM Tris-HCl pH 8,50 mM EDTA, 500 mM NaCl, 350 µl β-Mercaptoethanol, and 20% SDS) was added to the leaf powder. The samples were incubated at 65 °C for 20 minutes in a water bath. During incubation, the contents were mixed a few times by inverting the tubes gently, and then 155 µl of Solution 3 (5 M potassium acetate, 5 M acetate, 57.5 ml glacial acetic acid and dH₂O) was added. Each sample was mixed well by vortexing, and then centrifuged at 13,000 g force for 10

minutes at room temperature. The supernatant was transferred to a new tube. To precipitate DNA, 500 µl of isopropanol was added, samples were mixed by inverting gently, and then incubated at -80 °C for 10 minutes. Each sample was centrifuged at 13,000 g force for 20 minutes at 4 °C, and the supernatant discarded. Samples were dried in speed vacuum and then dissolved in 100 µl sterile distilled water (dH₂O).

2.2.3. Genotyping: PCR- gel electrophoresis- restriction digestion

The Polymerase Chain Reaction (PCR) is a technique that is used to amplify DNA of interest at the detectable levels. After PCR, products are analyzed by gel electrophoresis to make sure that correct sized DNA fragments are generated (Mullis et al., 1992). The DNA isolated from mutant plants

with point mutation in *DDL* gene was used as template in PCR for amplification of the region of interest. As a positive control, *Ler gl-1* genomic DNA was used. As a negative

control, no genomic DNA was used for PCR reaction.

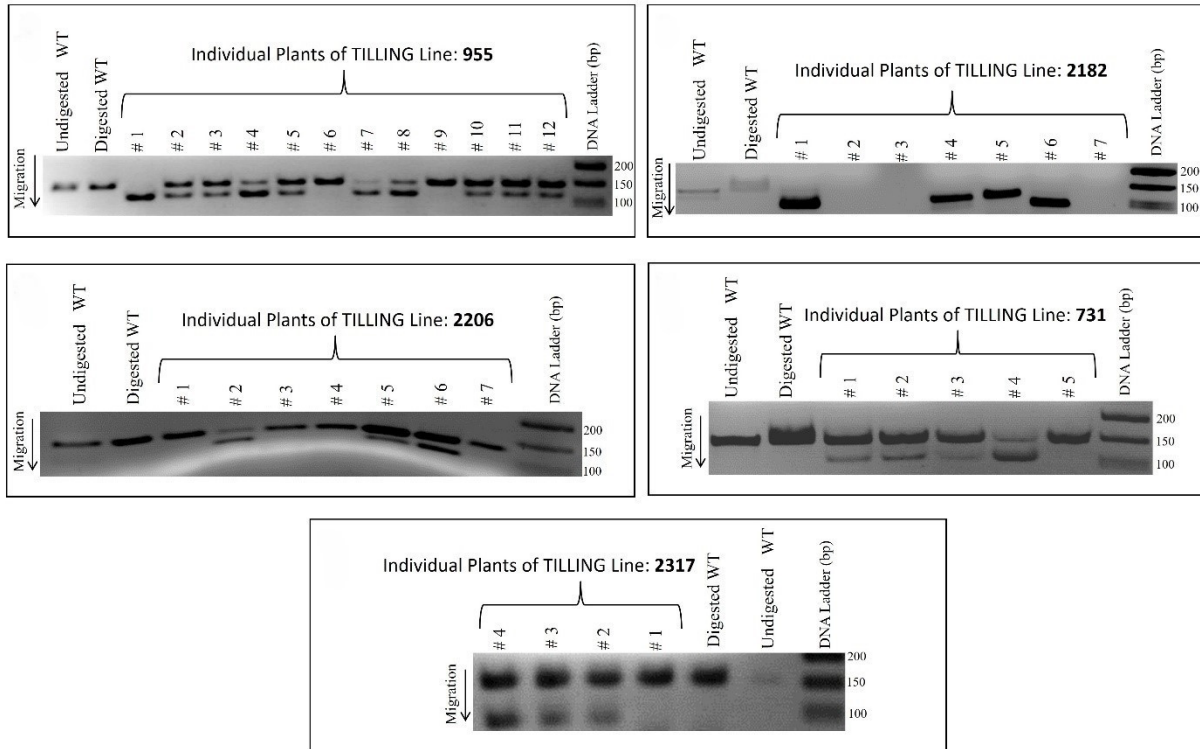


Figure 2. Isolation of homozygous individuals of TILLING mutant line

All PCR amplifications were performed in 30 µl of reaction volume containing 1.5 µl of template DNA, 1-unit of *Taq* polymerase, 3 µl of 10 mM dNTP, 0.5 µl of 20 mM primers for both forward and reverse CAPS and dCAPS primers, and 3 µl 10X reaction buffer. The amplification was carried out using a thermal cycler (Bio-Rad DNA Engine, USA). PCR cycles were programmed as 5 minutes for the first denaturation, then following 45 seconds for second denaturation step at 94 °C, 45 seconds for annealing step at 50–57 °C (depending on melting temperature of each primer pair used for mutant lines), and 30 seconds for elongation step at 72 °C. Each cycle from second denaturation to elongation step was repeated as 29 times. Finally, 5 minutes for extension cycle at 72 °C was put into PCR program to ensure the completion of amplification of all the target DNA templates. 10 µl of PCR products was used for initial gel electrophoresis to confirm the DNA region of interest was well amplified. The remaining PCR product (20 µl) was used for restriction digestion and gel electrophoresis. DNA samples were run on 1.5 % agarose gel (Bartlett, 2003), and visualized under ultra violet (UV) light (FOTODYNE Transilluminator, USA). After confirming that PCR worked, appropriate 1 unit of restriction enzyme for each mutant line (Table 3) and 2 µl of specific enzyme buffer were added to each 20 µl of PCR products, mixed well by inverting 2-3 times and then the samples incubated at 37 °C for overnight.

Table 3. Digestion patterns of each TILLING mutant line*

TILLING lines	Restriction enzyme	Restriction buffer	Recognition sequence
2182	HindIII	E	5'...A [∇] AGCTT...3' 3'...TTCGA [∆] A...5'
2206	MbolI	NE4	5'...GAAGA(N) ₈ [∇] ...3' 3'...CTTCT(N) ₇ [∆] ...5'
2317	NlaIII	NE4	5'...CATG [∇] ...3' 3'... [∆] GTAC...5'
955	SspI	N2	5'...AAT [∇] ATT...3' 3'...TTA [∆] TAA...5'
731	FokI	E	5'...GGATG(N) ₉ [∇] ...3' 3'...CCTAC(N) ₁₃ [∆] ...5'

*The indicated restriction enzymes were used to cut genomic DNA amplified by PCR to identify mutant alleles of each TILLING line. (∆ and ∇; cleavage sites)

Restricted PCR products were run on 2.8% agarose gel due to smaller DNA fragments cut by the restriction enzyme (Figure 2). This process was repeated until obtaining homozygous individuals for each mutant line.

In these agarose gel pictures; digested PCR products of TILLING mutant lines 955 (A), 2182 (B), 2206 (C), 731 (D), 2317 (E) and wild type plants were run on 2.8% w/v gel to isolate homozygous mutant individuals. Digested wild type PCR products were used as positive control. Homozygous individuals of the TILLING mutant lines are distinguished as a single cut lower DNA band, as shown in plant sample number #1 of the TILLING 2182 mutant line, while heterozygous individuals are recognized as two DNA bands containing cut lower and uncut upper DNA bands as shown

in plant samples number #2, #3 and #5 of the same mutant line. The expected sizes of cut and uncut DNA bands are confirmed by Mini DNA molecular weight marker represented in the last line on the right. Arrow shows the direction of migration of digested and undigested PCR products through the gel. (WT; wild type, bp; base pair).

2.3. Backcrossing

Because chemical mutagenesis creates background mutations, backcrossing to the wild type plant was performed to remove background mutations created by EMS. For backcrossing, pollen from wild type Ler *gl-1* and pistils from homozygote TILLING lines were used. All young flower buds and flowers with petals of mutant plants were removed, and a few large buds were left. These buds were opened and six anthers were removed without damaging the pistil. This was performed under low magnification on a stereo microscope. Anthers with pollen seen as yellow powder from fresh fully open flowers of wild type plants were taken, and then the anthers were brushed to the stigma of mutant plant. Backcrossing steps were done several times between wild type and for each homozygous mutant plant. After three or four days, the pistil develops as a young silique if the backcrossing was successful. Seeds from backcrossing were named F₁, and harvested when the siliques were brown and not dehisced yet after two or three weeks.

2.4. Phenotypic Characterization of TILLING Mutant Lines

Because *ddl* mutant plants displayed pleiotropic phenotype such as shortened and delayed vegetative organs and reduced fertility, it is essential to characterize the TILLING mutants after backcrossing. Homozygous individuals isolated and genotyped from each TILLING line were characterized for root and hypocotyl length, seed number and plant height to identify whether single nucleotide polymorphic alleles of DDL among the TILLING mutant lines have an effect on phenotype.

2.4.1. Root and hypocotyl length

To measure root and hypocotyls length of mutant and wild type plants, seeds of those plants were sterilized, cold treated, and plated on square plates with ½ MS agar with 10⁻⁶ M GA (gibberellic acid). After red light treatment of 1 hour following growth in the dark of 23 hours to trigger simultaneous germination of all seeds, the plates with seeds were put in growth chamber vertically. After 9 days of growth, the seedlings of each mutant line and wild type from the same plate were transferred to a transparency sheet. Hypocotyls and root lengths of plants were marked using a black marker, and then these sheets were scanned for measurement. Scanned picture of each plate was edited using Adobe Photoshop Elements 2.0 program (Adobe Systems Incorporated, USA), and the lengths were measured using Image J program (The Research Services Branch of the National Institute of Mental Health, USA). After getting average lengths of hypocotyls and root of mutant and wild type plants, data were analyzed statistically to identify whether there is a significant difference between wild and mutant lines in the length of

root and hypocotyls by performing SAS (Statistical Analysis System) program (SAS Institute, USA).

2.4.2. Seed number and plant height

For counting seed number and measuring of heights of mutant and wild type plants, sterilization, cold treatment, plating of the seeds, and transferring the seedlings from the MS plates with GA to the soil were done as mentioned in plant material and growth condition section. After 45 days of growth, the heights of mutant and wild type plants were determined by measuring the distance between soil level and apical (terminal) bud. For seed number, total 30 siliques from different individuals of each line were dissected carefully and magnified under light microscope. The seeds into each silique were counted. The results of measurements of plant height and seed number were analyzed in SAS program to determine whether there was a significant difference between mutant and wild type plants in terms of seed number and plant heights.

3. RESULTS

3.1. Isolation of New *ddl* Alleles

To identify whether FHA domain and C-terminal region of DDL protein are required for its function, the seeds from five different TILLING mutant lines having a single nucleotide mutation created by EMS were ordered. A homozygote mutant for all of the five TILLING lines was isolated.

3.2. Backcross of the New *ddl* Alleles

One backcross has been successfully performed for the following TILLING lines: 2182, 2206 and 2317. However, TILLING lines; 955 and 731, did not give any heterozygous F₁ progeny seed from the backcrossing with wild type Ler *gl-1*.

3.3. Phenotypic Characterization of the New *ddl* Allele

Since TILLING lines 955 and 731 did not give any F₁ progeny seed from the backcross, TILLING lines; 2182, 2206 and 2317 homozygous plants have been characterized at the phenotypic level after the first backcrossing. F₃ plants of the first backcross were used for phenotypic analysis.

3.4. Root and Hypocotyl Length

9 days old plants from *ddl-1* null mutant and *Ws-2* wild type were used as positive control for analysis. *ddl-1* mutant plants showed an essential difference in the length of root and hypocotyls compared to *Ws-2* wild type. Similarly, 9 days old plants from isolated TILLING mutant lines; 2182, 2206 and 2317 displayed shorter root (Figure 3) and hypocotyl (Figure 4) lengths having statistical importance at α -value 0.05, compared to Ler *gl-1* wild type plants under the same growth and environmental conditions. (When the p-value of the statistical test, the probability of obtaining a test statistic, is less than α -value 0.05, the result is said to be statistically significant.

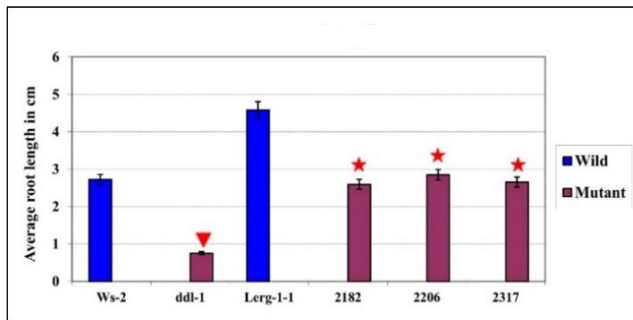


Figure 3. The average root length of TILLING mutant lines (The 'x' axis indicates the genotypes used for root analysis. The 'y' axis represents the average root lengths in cm. The triangle denotes a statistical significance of decreased root length of *ddl-1* null mutant plants compared to *Ws-2* wild type plants at α -value 0.05. Similarly, the star denotes a statistical significance in the reduced root lengths of each TILLING mutant line compared to *Ler gl-1* wild type plants. The sample size was 21 plants for each genotype. *ddl-1* null mutant and *Ws-2* wild type were used as positive controls for analysis)

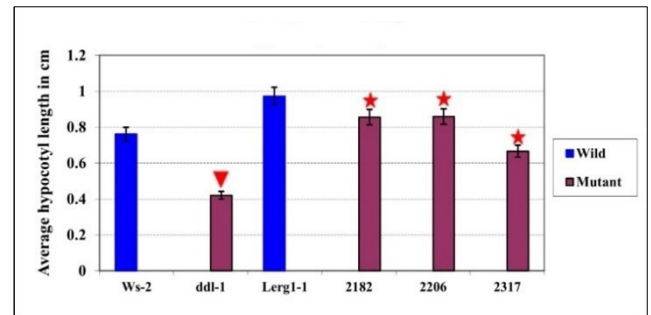


Figure 4. The average hypocotyl length of TILLING mutant lines

(The 'x' axis represents the genotypes used for hypocotyls analysis. The 'y' axis indicates the average hypocotyl length in cm. The triangle on the chart indicates a statistical significance of decreased hypocotyl length of *ddl-1* null mutant plants compared to *Ws-2* wild type plants at α -value 0.05. Similarly, the star denotes a statistical significance in the reduced hypocotyls lengths of each TILLING mutant line compared to wild type *Ler gl-1* plants. The sample size was 21 plants for each genotype. *ddl-1* null mutant and *Ws-2* wild type were used as positive controls for analysis)

3.5. Plant Height and Seed Number

45 days old plants from *ddl-1* null mutant and *Ws-2* wild type were used as positive controls for the analysis. *ddl-1* mutant plants showed a significant difference in the height of plant and seed number per silique compared to *Ws-2* wild type. Similarly, 45 days old plants from

isolated TILLING mutant lines; 2182, 2206 and 2317 displayed statistically significant shortening in plant height (Figure 5) and reduction in seed number per silique (Figure 6) with a α -value of 0.05 when compared to wild type plants under the same growth and environmental conditions.

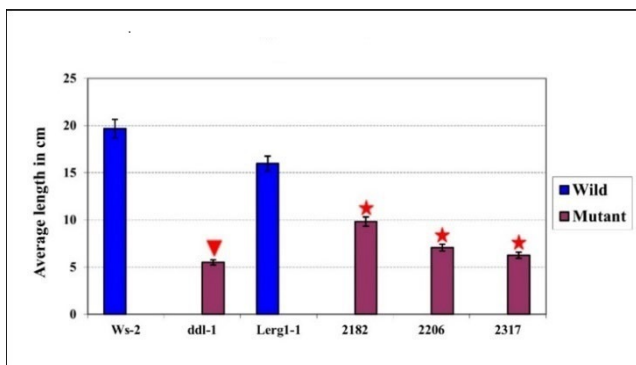


Figure 5. The average height of plants of TILLING mutant lines

(The 'x' axis indicates the genotypes used for the analysis of plant height. The 'y' axis represents the average plant height in cm. The triangle on the chart indicates a statistical significance of shortened plant height of *ddl-1* null mutant plants compared to *Ws-2* wild type plants with an α -value of 0.05. Similarly, the star indicates a statistical significance in the decreased plant heights of each TILLING mutant line compared to wild type *Ler gl-1* plants. The sample size was 21 plants for each genotype. *ddl-1* null mutant and *Ws-2* wild type were used as positive controls for analysis)

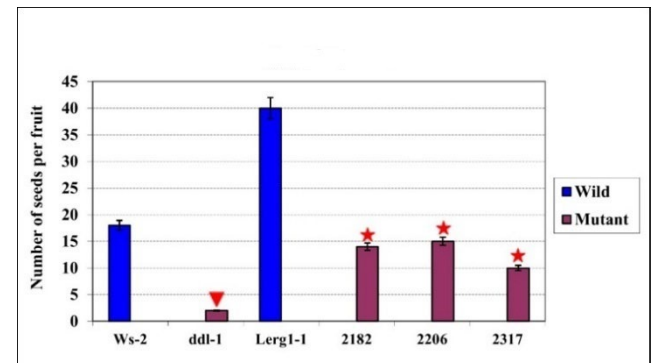


Figure 6. The average seed number of TILLING mutant lines (The 'x' axis indicates the genotypes used for determining the number of seeds per silique. The 'y' axis represents the average number of seeds present in a silique. The triangle on the chart indicates a statistical significance of reduced seed number of *ddl-1* null mutant plants compared to *Ws-2* wild type plants with an α -value of 0.05. Similarly, the star denotes a statistical significance in the decreased seed number of each TILLING mutant line compared to wild type *Ler gl-1* plants. The sample size was 30 plants for each genotype. *ddl-1* null mutant and *Ws-2* wild type were used as positive controls for analysis)

4. DISCUSSION

In this study, structure-function analysis of EMS-induced point mutations in the FHA domain and C-terminal region of the *DDL* gene was performed. 5 different TILLING point mutants (TILLING 2317, 2206, 955, 2182 and 731) were isolated, but 3 of it (TILLING 2206, 2317 and 2182) were characterized at phenotypic level. For each mutant line, homozygous individuals were isolated and backcrossed with wild type *Ler gl-1*. However, TILLING mutant lines 955 and 731 did not produce any seed when crossed to wild type *Ler gl-1*, and therefore have not been characterized to

date. One possible reason for the failure to obtain F_1 seed may be that physical and physiological conditions caused by genomic differences reduce the probability and success of fertilization. In previous study, F_1 seed production from crossing of different ecotypes of *Arabidopsis* has not been fully successful due to ecotype differences and therefore incompatibility of possible different gene regions in the genome that could be effective (Burkart-Waco et al., 2011). In addition, reproduction in flowering plants depends on the interaction and communication processes between pollen and floral organs. Failures in this interaction necessarily impair fertility, embryo and seed formation. In

Arabidopsis, a mutant called *feronia* has been isolated that showed a disruption for this interaction (Huck et al., 2003). This mutant demonstrated the possibility that mutating of a gene or gene regions in the genome can interfere with the formation of the F₁ seed from a cross with parental plants. Another possible reason may be the presence of other background mutations created through EMS mutagenesis that may negatively affect the structure of floral organs of TILLING mutant plants, preventing fertilization or if fertilization takes place, there may be no growth and development of F₁ seed from backcrossing. However, TILLING 2182, 2206, and 2317 mutant lines successfully produced heterozygous F₁ progeny seeds.

Phenotypic analyses of the TILLING 2182, 2206 and 2317 mutants revealed significant effects, resulting in reduced root and hypocotyl length, shortened plant height, and decreased seed number per silique compared to positive controls. This effect can be attributed to the fact that a change in the amino acid sequence of a protein due to a point mutation can lead to misfolding, structural deformation and consequently alter the activity of the protein (Matthews, 1987; Pandey et al., 2023). Therefore, a structural change in the amino acid sequence can cause striking or pleiotropic differences at the phenotype level, which have already been demonstrated in the analysis of *DDL* point mutations (Narayanan et al., 2014). A significant decrease in root and hypocotyl length, a remarkable reduction in plant height and seed number were two phenotypes which *ddl* mutants consistently displayed. TILLING 2182, 2206 and 2317 point mutants showed similar phenotypes to two T-DNA insertion mutant lines, *ddl-1* and *ddl-2*, (Morris et al., 2006) and TILLING point mutants in the FHA domain, *ddl-3*, *ddl-4* and *ddl-5* (Narayanan et al., 2014). The most dramatic phenotype in all TILLING mutants was observed in seed number. All mutations resulted in significantly reduced seed number as reported previously (Narayanan et al., 2014), These data may suggest that the FHA domain and C-terminal region are essential for function of DDL protein. However, additional data is required to confirm this conclusion and to elucidate correlation between mutant phenotypes and *DDL* function. For example, a second and further backcrosses between mutant lines and wild type background should be carried out to decrease the possibility of potential functional effect of any other background mutations created by EMS in different region of the genome. It is a well-documented phenomenon that repeated backcrossing results in a 50% reduction in heterozygosity in each subsequent generation. This implies that in the F₁ generation following the second backcross, approximately 50% of the progeny will exhibit heterozygosity, while the remaining 50% will be homozygous for the wild type (Karunaratna et al., 2021). This can reveal whether point mutations have a direct impact on *DDL* function. In addition, mRNA levels of *DDL* of each mutant line must be measured by RT-PCR to verify whether those mutant lines have altered *DDL* mRNA transcript levels, and to definitely prove DDL protein is still present in TILLING mutant lines. It is expected that mRNA

levels of *DDL* is decreased due to point mutations as reported by previous studies (Morris et al., 2006; Narayanan et al., 2014). Furthermore, because *DDL* functions in biogenesis of miRNAs, and *ddl-1* mutant has reduced amount of pri and pre-miRNAs (Yu et al., 2008), transcripts levels of miRNAs in TILLING mutant lines must be measured to assess the point mutation effect at the molecular level, and to elucidate more precisely the role of FHA domain and C-terminal region in *DDL* function. Future experiments that characterize or identify changes in gene expression patterns in *ddl* mutants will also help uncover the role of *DDL* in plant growth and development. Further identification and characterization of key residues in the FHA domain and C-terminal region will serve as an important tool for elucidating the *DDL* signalling pathway, as well.

5. CONCLUSION

To clarify whether the FHA domain and C-terminal region are necessary for *DDL* function, five different TILLING mutant lines were isolated, and three of them (2182, 2206 and 2317) were analyzed at the phenotypic level. After the identification of homozygote mutant following the first backcross, the phenotype of F₃ plants of the first backcross was quantified based on the displayed phenotypes of *ddl-1* knockout mutant, and wild type *Ws-2* and *Ler gl-1* which were used as a positive control. Phenotypic analysis involved measuring the height of the plants on soil, the length of root and hypocotyl on vertical plates, and fertility assessment by counting the number of seeds per silique. TILLING mutant lines 2182, 2206 and 2317 displayed statistically significant shortness in plant height and the length of root and hypocotyl, and a reduction in seed number per silique as *ddl-1* null mutant does. Isolated and phenotypically characterized these TILLING mutant lines carrying a single nucleotide change created by EMS mutagenesis in different exon regions coding FHA domain and C-terminal region of *DDL* protein partially elucidates whether FHA domain and C-terminal region are required for *DDL* function in plant growth and development.

Acknowledgement

We would like to give our special thanks to Dr. Lakshmi Narayanan and Dr. Ercan Selcuk Unlu for their advisory support during the conducting of the research. We are also grateful to the Ministry of National Education, The Republic of Turkey, for providing a financial support to the corresponding author for receiving the graduate degrees in the United States, and to the Department of Biological Sciences, Mississippi State University for research funding.

Author Contribution

Seyit YUZUAK: (b) Methodology, (c) Literature Review, (f) Data collection and Processing, (g) Formal analysis, (h) Writing- Original draft preparation.

David CHEVALIER: (a) Idea and Concept, (b) Study Design and Methodology, (d) Supervision, (e) Material and



Resource Supply, (g) Analysis, (i) Critical Reviewing and Editing

Declaration of Ethical Code

The authors declare that this study is an original study; conducted in accordance with the principles and rules of scientific ethics at all stages of the study, including preparation, data collection, analysis and presentation of information; cited sources for all data and information and included these sources in the bibliography; have not made any changes in the data used. The authors comply with ethical duties and responsibilities by accepting all the terms and conditions of the publication ethics within the scope of the “Directive on Scientific Research and Publication Ethics of Higher Education Institutions” and also declare that none of the actions specified under the

heading “Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics” of the aforementioned directive have been carried out. The authors hereby declare that if at any time a situation contrary to this statement made regarding the study is detected, they agree to all moral and legal consequences that may arise.

Conflict of Interest

The authors report there are no competing interests to declare.

REFERENCES

- Bartel, D.P. (2004). MicroRNAs: genomics, biogenesis, mechanism, and function. *Cell*, 116(2), 281-297. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(04\)00045-5](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(04)00045-5)
- Bartlett, J. M. (2003). Technical notes for the detection of nucleic acids. *Methods in Molecular Biology*, 226, 65-76. <https://doi.org/10.1385/1-59259-384-4:65>
- Bell, C. J., & Ecker, J. R. (1994). Assignment of 30 microsatellite loci to the linkage map of Arabidopsis. *Genomics*, 19(1), 137-144. <https://doi.org/10.1006/geno.1994.1023>
- Burkart-Waco, D., Josefsson, C., Dilkes, B. P., Kozloff, N., Torjek, O., Meyer, R. C., Altmann, T., & Comai, L. (2011). Hybrid Incompatibility in Arabidopsis Is Determined by a Multiple-Locus Genetic Network. *Plant Physiology*, 158, 801 - 812.
- Chen, X. (2005). MicroRNA biogenesis and function in plants. *FEBS Letters*, 579(26), 5923-5931. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2005.07.071>
- Dellaporta, S. L., Wood, J. P. A., & Hicks, J. B. (2007). A plant DNA miniprep: Version II. *Plant Molecular Biology Reporter*, 1, 19-21.
- Durocher, D., Henckel, J., Fersht, A. R., & Jackson, S. P. (1999). The FHA domain is a modular phosphopeptide recognition motif. *Molecular Cell*, 4(3), 387-394.
- Durocher, D., Smerdon, S. J., Yaffe, M. B., & Jackson, S. P. (2000a). The FHA domain in DNA repair and checkpoint signaling. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 65, 423-431. <https://doi.org/10.1101/sqb.2000.65.423>
- Durocher, D., Taylor, I. A., Sarbassova, D., Haire, L. F., Westcott, S. L., Jackson, S. P., Smerdon, S. J., & Yaffe, M. B. (2000b). The molecular basis of FHA domain:phosphopeptide binding specificity and implications for phospho-dependent signaling mechanisms. *Molecular Cell*, 6(5), 1169-1182. [https://doi.org/10.1016/s1097-2765\(00\)00114-3](https://doi.org/10.1016/s1097-2765(00)00114-3)
- Greene, E. A., Codomo, C. A., Taylor, N. E., Henikoff, J. G., Till, B. J., Reynolds, S. H., Enns, L. C., Burtner, C., Johnson, J. E., Odden, A. R., Comai, L., & Henikoff, S. (2003). Spectrum of chemically induced mutations from a large-scale reverse-genetic screen in Arabidopsis. *Genetics*, 164(2), 731-740. <https://doi.org/10.1093/genetics/164.2.731>
- Hammet, A., Pike, B. L., Mitchelhill, K. I., Teh, T., Kobe, B., House, C. M., Kemp, B. E., & Heierhorst, J. (2000). FHA domain boundaries of the dun1p and rad53p cell cycle checkpoint kinases. *FEBS Letters*, 471(2-3), 141-146. [https://doi.org/10.1016/s0014-5793\(00\)01392-2](https://doi.org/10.1016/s0014-5793(00)01392-2)
- Huck, N., Moore, J. M., Federer, M., & Grossniklaus, U. (2003). The Arabidopsis mutant feronia disrupts the female gametophytic control of pollen tube reception. *Development*, 130(10), 2149-2159. <https://doi.org/10.1242/dev.00458>
- Karunaratna, N. L., Patiranaage, D. S. R., Harloff, H. J., Sashidhar, N., & Jung, C. (2021). Genomic background selection to reduce the mutation load after random mutagenesis. *Scientific Reports*, 11, 19404. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98934-5>
- Kim, M., Ahn, J. W., Song, K., Paek, K. H., & Pai, H. S. (2002). Forkhead-associated domains of the tobacco NtFHA1 transcription activator and the yeast Fhl1 forkhead transcription factor are functionally conserved. *Journal of Biological Chemistry*, 277(41), 38781-38790. <https://doi.org/10.1074/jbc.M201559200>
- Kurihara, Y., & Watanabe, Y. (2004). Arabidopsis micro-RNA biogenesis through Dicer-like 1 protein functions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(34), 12753-12758.
- Liao, H., Byeon, I. J., & Tsai, M. D. (1999). Structure and function of a new phosphopeptide-binding domain containing the FHA2 of Rad53. *Journal of Molecular Biology*, 294(4), 1041-1049. <https://doi.org/10.1006/jmbi.1999.3313>
- Mahajan, A., Yuan, C., Lee, H., Chen, E. S., Wu, P. Y., & Tsai, M. D. (2008). Structure and function of the phosphothreonine-specific FHA domain. *Science Signaling*, 1(51), re12. <https://doi.org/10.1126/scisignal.151re12>



- Martin, B., Ramiro, M., Martinez-Zapater, J. M., & Alonso-Blanco, C. (2009). A high-density collection of EMS-induced mutations for TILLING in Landsberg erecta genetic background of *Arabidopsis*. *BMC Plant Biology*, 9, 147. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-147>
- Matthews, C.R. (1987). Effect of point mutations on the folding of globular proteins. *Methods in Enzymology*, 154, 498-511.
- McCallum, C. M., Comai, L., Greene, E. A., & Henikoff, S. (2000). Targeted screening for induced mutations. *Nature Biotechnology*, 18(4), 455-457. <https://doi.org/10.1038/74542>
- Michaels, S. D., & Amasino, R. M. (1998). A robust method for detecting single-nucleotide changes as polymorphic markers by PCR. *The Plant Journal*, 14(3), 381-385. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1998.00123.x>
- Morris, E. R., Chevalier, D., & Walker, J. C. (2006). DAWDLE, a forkhead-associated domain gene, regulates multiple aspects of plant development. *Plant Physiology*, 141(3), 932-941. <https://doi.org/10.1104/pp.106.076893>
- Mullis, K., Faloona, F., Scharf, S., Saiki, R., Horn, G., & Erlich, H. (1992). Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction. *Biotechnology*, 24, 17-27. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1422010>
- Murashige, T., & Skoog, F. K. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
- Narayanan, L., Mukherjee, D., Zhang, S., Yu, B., & Chevalier, D. (2014). Mutational Analyses of a Fork Head Associated Domain Protein, DAWDLE, in Arabidopsis thaliana. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 2811-2822.
- Neff, M. M., Neff, J. D., Chory, J., & Pepper, A. E. (1998). dCAPS, a simple technique for the genetic analysis of single nucleotide polymorphisms: experimental applications in *Arabidopsis thaliana* genetics. *The Plant Journal*, 14(3), 387-392. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1998.00124.x>
- Neff, M. M., Turk, E., & Kalishman, M. (2002). Web-based primer design for single nucleotide polymorphism analysis. *Trends in Genetics*, 18(12), 613-615. [https://doi.org/10.1016/s0168-9525\(02\)02820-2](https://doi.org/10.1016/s0168-9525(02)02820-2)
- Pandey, P., Panday, S. K., Rimal, P., Ancona, N., & Alexov, E. (2023). Predicting the Effect of Single Mutations on Protein Stability and Binding with Respect to Types of Mutations. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(15), 12073. <https://doi.org/10.3390/ijms241512073>
- Schauer, S. E., Jacobsen, S. E., Meinke, D. W., & Ray, A. (2002). DICER-LIKE1: blind men and elephants in *Arabidopsis* development. *Trends in Plant Science*, 7(11), 487-491. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(02\)02355-5](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02355-5)
- Sun, Z., Hsiao, J., Fay, D. S., & Stern, D. F. (1998). Rad53 FHA domain associated with phosphorylated Rad9 in the DNA damage checkpoint. *Science*, 281(5374), 272-274. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.272>
- TAIR Seq Viewer. (2021, 10 March). <http://www.seqviewer.arabidopsis.org>
- Till, B. J., Colbert, T., Tompa, R., Enns, L. C., Codomo, C. A., Johnson, J. E., Reynolds, S. H., Henikoff, J. G., Greene, E. A., Steine, M. N., Comai, L., & Henikoff, S. (2003). High-throughput TILLING for functional genomics. *Methods in Molecular Biology*, 236, 205-220. <https://doi.org/10.1385/1-59259-413-1:205>
- Till, B. J., Reynolds, S. H., Greene, E. A., Codomo, C. A., Enns, L. C., Johnson, J. E., Burtner, C., Odden, A. R., Young, K., Taylor, N. E., Henikoff, J. G., Comai, L., & Henikoff, S. (2003). Large-scale discovery of induced point mutations with high-throughput TILLING. *Genome Research*, 13(3), 524-530. <https://doi.org/10.1101/gr.977903>
- Yu, B., Bi, L., Zheng, B., Ji, L., Chevalier, D., Agarwal, M., Ramachandran, V., Li, W., Lagrange, T., Walker, J. C., & Chen, X. (2008). The FHA domain proteins DAWDLE in Arabidopsis and SNIP1 in humans act in small RNA biogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(29), 10073-10078. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804218105>
- Zhang, S., Dou, Y., Li, S., Ren, G., Chevalier, D., Zhang, C., & Yu, B. (2018). DAWDLE Interacts with DICER-LIKE Proteins to Mediate Small RNA Biogenesis. *Plant Physiology*, 177(3), 1142-1151. <https://doi.org/10.1104/pp.18.00354>

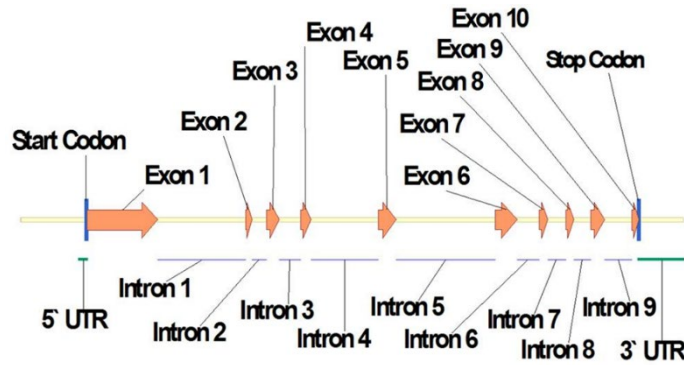
SUPPLEMENTARIES

```

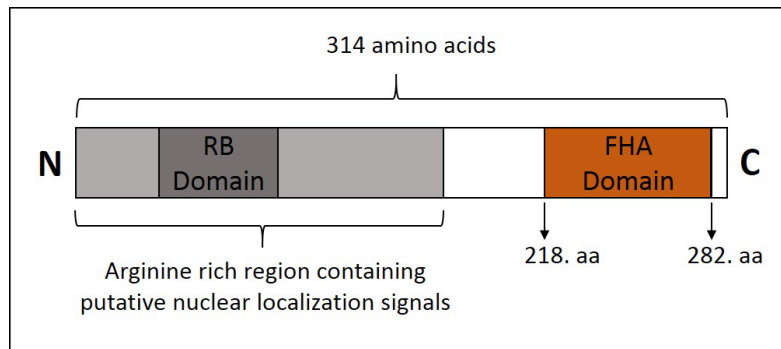
atcacatcctttctaccaacaagatatgacacgtgtccaactaatggaagttttacataccgtctcaatgttgatattgaacccccagtttcc
7178000 atttatttgcaaaagagccaaaataatgattcttctcggttggctctgattctttttatctctgctgattattattactctctccttctctcc
  gccgaagtagtcacagttccggccaccaggtataaaatcttcttctgattgatgagcgtattttcttcaacgattcttgcaacccctagactatggccg
7177800 gaacttctgaatttagatggaaatctgtagcttagcttttgggtttagggcttctccttctttagttctatgctattggaaatagggtttac
  ttgttattctggagctcaacatgcttttcttctgaccctgtttcaatttggtagctttccaaaggaagaagagagaaaacgacctgactccaata
7177600 ATGCTCCTAGTTCTAGGTCTCCTTACCACGCTACGAAGAGACTGGAAGAGCTCGAGGAGAGAAAGGAAATTTGGGAGAAATGAGAGAGAGAAAGATGATG
  GTAGAGAAAGGGGAGAAAGGAAACAGTAGGGAAAGGGATAGAGATA TAGGAAGAGATAGGGATAGGGAGAGAAAAGGAGAAAGAGATAGGGAAAGT
7177400 TGGGGATAAGAGAAAGCATCAGGGAGAGAGGATACTGAAAAAGGAGAAAGGCAAGAAACAGATGATGAGAGACTCTAGAGGAAAGACATGAGAGGCTCT
  ACTTCACCGTCAGATAGGAGTACACAGGAGTGTAGGGCTTCCCTGAAAGAGCTATTGCCCAAGGCATGATGAGGtatttctgcttctttttagctt
7177200 ggatatgtcttaactcctagaagtggttttttgggttttactgtgcatattcgtattctgcttggaaagataaattgattgaaattgtt
  tagctctgagtagctagaaaaggttagcctctgctgctgctgtttctgcacataaataaattggaactcctgtaactagcttatcctctgctgagtc
7177000 tataactagaacctcgagccagccatTTTTGTCTTACTCTGTGTCTGCTAAAGGACTAAGAAGATGATGCTTTGTTCTCCCTCAGCATGTCCAGTAACT
  cacttctcatgttttctctttagtaaaagctcattatatagatttggtgcttctgcaaaatattcattttctgagccacagatgttttgttact
7176800 tcttcagctattttatcgctttgtctttcagGGTCTAATGCAAGAGGGGGCAGCGAGGAGCCGtgagtttcttcttatttagatttagcctgttaca
  atttttcagcttttcttaaccatggttgggtttctgtaacagAAATGTCGAGGAAAGATTCACTCGCAGAGAAAGTGAAGAGGCTCTGGCC
7176600 AGCGAAGAAAAGGtattatatcaagccctattgattttcaattccaatgtcatttggagctgctgagctatcctcatgcaaaatgtaacgcttcaa
  atctaattttgatatatctgtgGAAGAACCATCATTGAGCTATCAGGGAAACTTGTCTGAAAGAACTAACAGATACAGAGgtgaaactctgtagcctg
7176400 ccatttcatttaagaatacactgttacattacccttgcctagaaaactttgcatatggtttcattgcatgtttgaactgcgaacacctctgccttt
  gttgtcaggtcatatttacttaattttgtagctgtagctgtgtcactgggtaaaagcttcttgggcaaatcttaagagactagaagctcaaat
7176200 ataagcattctgctatcagcagatattcttgcctgcaatccgctttgtctcctaggaatggagacgggtggtttctcgtataaattcacatagcct
  gcttagcttctgtgactgagtgaaactctttgagGTATCACACTCTCTTCAATGAGCCCCAGAGGCTAGAAAAACCGCAGCAGCATGGAGACTGTATG
7176000 TTTTAAAGGATGGTGAACCATGAAAGGtagtctttgagcttcccactctctatccatctgtctaaagtagtggttcattgcttcttctgatttca
  cttaactatcttactggtggaactcaattttgttcacaaaattgcagtaagcatgtgtagggcaatgaaagagatactcaagaaatttgatgca
7175800 cctagcattgaaactgaaactggtgcatgtagggttagtctcagataacagctgattaccgagatagtagcaaacatagcttgatactctt
  agaactctgcaatttcttagaatgaaatcttattgaaatgttaagcctttagagaaatagctccttggatctgataatttggactgtggtctt
7175600 ccggtgctattcttgaacccctgaacattgtatataagattttacattttgcttaaaattgtacccttctggcttaagctaaaatttaatttccc
  ttaatgtcactttccagGCCTTACATAATGGATCTTGGTGTACCAACAACAACCTATATCAATgtaagtgctcaattacattcttctatgtgcttct
7175400 GGATGGCGACATCTACGGATCACCCATCTTGCAGCAAGCAGCATGTGTCTTCACTGACCGgtagggtctgcatgtatttctcttttaagtagt
  aatctctatgacaatagatttaatgagaataagggtttttagttaaatattttagtctgcaatgtgcttttctcagGGAAATGGAAAAGGAGAAACCA
7175200 GATGGTATGATGGGGAAGCAAGTGAAtaaacctatctgctcttcttcttcttcaaaaattgtagctcttctggcttaagctaaaatttaatttccc
  ttaatgtcactttccagGCCTTACATAATGGATCTTGGTGTACCAACAACAACCTATATCAATgtaagtgctcaattacattcttctatgtgcttct
7175000 tatcatggtaattcaaacggttggtagaactcttctcttttctcttctcagGAAAGTCCCATGAGCCACAAAGATATTATGAGCTTTTGGAGAAAGACA
  CCATAAAGTTTGGCAACAGCAGgtattcctaagaacacattctgattctggtttccattatgaatcacaacccgtgcttatctctgtagttaaatt
7174800 ttgcttgcctgtagtcaactcaatcttcttctgtcttctgcatgttttgggttcttttgggttgtagCGAGAGTACGTGTTGACAGAGAAATCTGCC
  GAGTCAatgaaatcagagtagcaagcagaacgagtaaatcacaagattagatgttgcgtttctcagggtttttagagatgttgagctgctcatgatg
7174600 ctttctaccgtgtggtgataatctcagacatcatttagaaatcttttctgcttgttatataaataaagtagatgaacgattggtagagaaaaagg
  taacttttggtataactgtataagatcaatcctcaacttaaaattgctgctcctgaggggtttcagcttaacttaaccttagaacaatggagacgactgag
7174400 atttcaactagagtaccaaaacggacatcacttcttagtaagaataagctaaactctgcgattgaaaaCTACTTATTTGCTCAAGCCTTAGTGAGGGAT
  
```

ATG = Translational Start/Stop ATGC = Exon atgc = Intron atgc = UTR

Supplementary Figure 1. Nucleotide sequence of the complement strand of At3G20550 (*DDL*) gene located on Chromosome 3 (TAIR SeqViewer, 2021)



Supplementary Figure 2. Genomic structure of the *DDL* gene (3005 bp from Start to Stop codon). (Orange arrows represent coding sequences (exons). Purple lines represent noncoding sequences (introns). The 5' and 3' untranslated regions are shown in green lines)



Supplementary Figure 3. Domains in the DDL protein. Amino acid residues 218 to 282 towards the C terminus of the protein form the FHA domain of DDL. (RB: RNA-Binding, FHA: Fork-Head Associated, aa: amino acid, C: C-terminal, N: N-terminal)

İklim Değişikliği Bağlamında Halkın Antalya'daki Mevcut Parklara Bakış Açılarının Değerlendirilmesi ve İklim Dostu Park Uygulama Önerileri

The Evaluation of Public Perspectives on Existing Parks in Antalya within the Context of Climate Change and Climate-Friendly Park Practice Recommendations

Nefise ÇETİN^{1*}, Sibel MANSUROĞLU¹

¹ Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Antalya, Türkiye

Article Info

Research Article

DOI: 10.29048/makufebed.1377717

Corresponding Author

Nefise ÇETİN

Email: nefisecetinn@gmail.com

Article History

Received: -

Revised: -

Accepted: -

Available Online: 15.06.2024

To Cite

Çetin, N., & Mansuroğlu, S. (2023). İklim değişikliği bağlamında halkın Antalya'daki mevcut parklara bakış açılarının değerlendirilmesi ve iklim dostu park uygulama önerileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1): 72-73. <https://doi.org/10.29048/makufebed.1377717>

DÜZELTME: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023 yılının 14. cildinin 2. sayısında yayımlanan "Çetin, N., & Mansuroğlu, S., (2023). İklim değişikliği bağlamında halkın Antalya'daki mevcut parklara bakış açılarının değerlendirilmesi ve iklim dostu park uygulama önerileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2): 332-345." künyeli makalede, makalenin "Kaynaklar" kısmı yanlış verilmiş olup, aşağıda verildiği şekilde düzeltilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim dostu uygulamalar, kent parkı, kurakçıl peyzaj, sürdürülebilirlik, yağmur bahçesi

ERRATUM: The references section of the article "Çetin, N., & Mansuroğlu, S. (2023). The evaluation of public perspectives on existing parks in Antalya within the context of climate change and climate-friendly park practice recommendations. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 14(2), 332-345." published in the second issue of the 14th volume of *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University* was inadvertently included. That section is given below.

Keywords: Climate-friendly practices, city park, xeriscape, sustainability, rain garden

KAYNAKLAR

- AEM Laboratuvarı. (2023). *Lastik buharı ölçümü – kauçuk tozu ve buharı dumanı analizi*. <https://www.aem.com.tr/lastik-buhari-olcumu-kaucuk-tozu-ve-buhari-dumani-analizi/>
- Antalya Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü ÇED ve Çevre İzinlerinden Sorumlu Şube Müdürlüğü (2022). *Antalya ili 2021 yılı çevre durum raporu*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/antalya_cdr2021-20221116151410.pdf
- Antalya Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü ÇED ve Çevre İzinlerinden Sorumlu Şube Müdürlüğü (2023). *Antalya ili 2022 yılı çevre durum raporu*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/antalya_cdr2022-20230823154442.pdf
- Baş, T. (2003). *Anket: anket nasıl hazırlanır?: anket nasıl uygulanır?*. Seçkin yayıncılık.
- Coşkun Hepcan, Ç. (2019). *Kentlerde iklim değişikliği ile mücadele için yeşil altyapı çözümleri*. <https://www.iklimin.org/moduller/kentmodulu-yesilaltyapi.pdf>
- Çetin, N. (2016). *Akdeniz koşullarında kurakçıl peyzaj uygulanabilirliğinin irdelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Akdeniz Üniversitesi.
- Çetin, N., Mansuroğlu, S., & Önac, A.K. (2018). Xeriscaping feasibility as an urban adaptation method for global warming: A case study from Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(3), 1009-1018.
- Çiner, F. (2017). Su kullanımında tüketici davranışları ve farkındalık-Niğde örneğinde bir alan araştırması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(9), 1019-1026.
- EPA. (2008). *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies-Urban heat island basics*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf
- EPA. (2017). *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies - cool pavements*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_5.pdf
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J.M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319, 756–760.
- Kaylı, A., & Güneş Gölbey, A. (2020). Xeriscape applications as green infrastructure and green building component. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57(2), 303-311.
- Karabörk, F., & Akdemir, A. (2013). Atık taşıt lastiklerinin parçalanması ve lastik tozunun karakterizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 29(1), 29-40.
- Mansuroğlu, S., Dağ, V., & Kalaycı Önaç, A. (2021). Attitudes of people toward climate change regarding the bioclimatic comfort level in tourism cities; evidence from Antalya, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 420. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09205-9>
- McCammon, T.A., Marquart-Pyatt, S.T., & Kopp, K.L. (2009). Water-conserving landscapes: An evaluation of homeowner preference. *Journal of Extension*, 47(2), 1-10.
- Mckenney, C., & Terry, R. (1995). The effectiveness of using workshops to change audience perception of and attitudes about xeriscaping. *Horttechnology*, 5(4), 327-329.
- Parsa, A. R. (2019). *Mimari tasarımın iklim değişikliği üzerindeki etkisi iklim değişikliği ve kentler*. DAKAM Yayınları.
- Parsova, Ö. (2020). *Kentsel ısı adası etkisinin yapısal ve bitkisel alanlarda incelenmesi: Kadıköy ilçesi örneği* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Sharma, R., & Malaviya, P. (2021). Management of stormwater pollution using green infrastructure: The role of rain gardens. *WIREs Water*, 8. <https://doi.org/10.1002/wat2.1507>
- Toy, S., Yılmaz, H., & Yılmaz, S. (2010). Doğu Karadeniz Bölgesine dair yapılan iklim değişikliği öngörülerinin bölgedeki peyzaj mimarlığı çalışmaları açısından değerlendirilmesi. In M.F. Türker (Ed.), *III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi* (pp. 1532-1535.). Zafer Ofset Ltd. Şti.
- Tuğluer, M., & Gül, A. (2018). Kent ağaçlarının çevresel etkileri ve değerinin belirlenmesinde UFORE modelinin kullanımı ve Isparta örneğinde irdelenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(3), 293-307.
- TÜİK. (Türkiye İstatistik Kurumu) (2021). *Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi veri tabanı*. <http://www.tuik.gov.tr/>
- Uncu, B.A. (2019). *İklim için kentler yerel yönetimlerde iklim eylem planı*. <https://iklimicinkentler.org/>
- Welsh, D.F. (2000). *Xeriscape North Carolina*. <https://www.deq.nc.gov/environmental-assistance-and-customer-service/nc-green-travel-documents/xeriscape/download>
- Wilson, C., & Feucht, J.R. (2007). *Xeriscaping: creative landscaping*. <https://www.ppwsd.org/wp-content/uploads/2016/08/07228.pdf>