

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 49

Sayı - Number 2

ISSN 1016 - 9172

Aralık / December 2025



TMMOB JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Türkiye

BAŞ EDITÖR / EDITOR in CHIEF

Tolga ÇAN
tolgacan@cu.edu.tr

EDİTÖRLER / EDITORS

Cüneyt GÜLER
cguler@mersin.edu.tr

Nihat Sinan IŞIK
nihatsinan@gazi.edu.tr

Mustafa Kerem KOÇKAR
mustafakockar@hacettepe.edu.tr

Senem TEKİN
senemtekin@adiyaman.edu.tr

İNGİLİZCE EDİTÖRÜ / ENGLISH EDITOR

Catherine YİĞİT

Makale Gönderim Adresi:

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel : (0312) 434 36 01
Faks : (0312) 434 23 88
E-Posta : jmo@jmo.org.tr
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmd>

Yayın Türü: Yaygın Süreli Yayın

Yayın Şekli: Yılda 2 kez (6 ayda bir)
Türkçe ve İngilizce

Yayın Sahibi: TMMOB JMO Adına
Hüseyin ALAN

Yayının İdare Adresi: Kocatepe Mah.
Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Baskı: ERS Matbaacılık,
Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı
No:87/7 İskitler/Ankara
Tel : (0312) 384 54 88
Baskı Tarihi : Aralık 2025
Baskı Adedi : 500

Yayın Kurulu / Editorial Board

Ahmet APAYDIN (Giresun Üniversitesi)
Ahmet Hakan NEFESLİOĞLU (Eskişehir Teknik Üniversitesi)
Ali Can ÖZDEMİR (Çukurova Üniversitesi)
Ali KAYABAŞI (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)
Ali ÖZVAN (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
Alper BABA (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü)
Arzu Fırat ERSOY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa)
Ayhan GÜRBÜZ (Gazi Üniversitesi)
Aykut AKGÜN (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı)
Bülent KAYPAK (Ankara Üniversitesi)
Candan GÖKÇEOĞLU (Kapadokya Üniversitesi)
Celalettin ŞİMŞEK (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Cem KINCAL (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Ergün TUNCAY (Hacettepe Üniversitesi)
Hakan ERSOY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Halil KUMSAK (Pamukkale Üniversitesi)
Haluk AKGÜN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)
Hüseyin GÖKÇEKUŞ (Yakın Doğu Üniversitesi)
İsmail DİNÇER (Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi)
Kaan Şevki KAVAK (Sivas Cumhuriyet Üniversitesi)
Mahmut Göktuğ DRAHOR (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Mehmet Furkan ŞENER (İzmir Bakırçay Üniversitesi)
Mehmet İrfan YEŞİLNACAR (Harran Üniversitesi)
Muhterem KÜÇÜKÖNDER (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi)
Murat YILMAZ (İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa)
Mustafa KORKANÇ (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)
Mustafa Tolga YILMAZ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Mutluhan AKIN (Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi)
Raşit ALTINDAĞ (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Sair KAHRAMAN (Hacettepe Üniversitesi)
Tolga GÖRÜM (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Zülfü GÜROCAK (Fırat Üniversitesi)

Jeoloji Mühendisliği Dergisi makale ve dizin özlere
Scopus, Google Scholar, TR Dizin, indeksleri tarafından taranmaktadır.

*Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by Scopus,
Google Scholar, TR Dizin.*

Jeoloji Mühendisleri Odası
Chamber of Geological Engineers
Yönetim Kurulu / Executive Board

Hüseyin ALAN
Seçkin GÜLBUDAK
Dursun Malik BAKIR
Düzgün ESİNA
Özgür DEĞİRMENCI
Zeynel Abidin GÖK
Burcu GÖRBİL

Başkan / President
İkinci Başkan / Vice President
Yazman / Secretary
Sayman / Treasurer
Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs
Yayın Üyesi / Member of Publication

Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.

Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 49

Sayı - Number 2

Aralık / December 2025

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

137- Araştırma Makalesi / Research Article

Ülkü Burcu ZENGİN, Koray ULAMIŞ

Üç Boyutlu Kaya Düşmesi Analizlerinde Blok Geometrisi Etkisinin İncelenmesi (Gölbaşı, Ankara)

Investigation of the Effect of Block Geometry in Three-Dimensional Rockfall Analyses (Gölbaşı, Ankara)

157- Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan SAYIN, Yahya ÖZTÜRK

Akyayla Dağı'nın Heyelan Morfolojisi ve Heyelan Duyarlılığının CBS Tabanlı Frekans Oranı (FO) Yöntemi ile Analizi (Doğubayazıt / Ağrı)

Landslide Morphology and Susceptibility Analysis of Mount Akyayla Using GIS-Based Frequency Ratio Method (Doğubayazıt / Ağrı)

189- Araştırma Makalesi / Research Article

Ümit YILDIRIM, Cüneyt GÜLER, Mehmet Ali KURT, Onur GÜVEN

Göksu Nehri ve Tarsus Çayı (Mersin) Arasında Yer Alan Akarsu Havzalarının Morfometrik Özellikleri

Morphometric Characteristics of River Basins Between Göksu River and Tarsus Stream (Mersin)

211- Araştırma Makalesi / Research Article

Saad W. SAADI, Nihad Saoud ALJUBOORI, Mohammed Zainel QADER

Elaf Mohammed SHAKIR, Ahmed Ibrahim AL-NAEMI, Lizan Ahmed SALEH

Evaluation of the Safe Mud Weight Window: Wellbore Stability Analysis, Rumaila Oilfield, Southern Iraq

Güvenli Çamur Ağırlık Penceresinin Değerlendirilmesi: Bir Kuyu Stabilité Analizi, Rumaila Petrol Sahası, Güney Irak

235- Araştırma Makalesi / Research Article

Ogün Ozan VAROL

Ahlat Taşı ve Tarihi Yapılardaki Yeri: Kültürel Miras Açısından Bir Değerlendirme

Ahlat Stone and Its Use in Historical Structures: An Assessment From the Perspective of Cultural Heritage

Üç Boyutlu Kaya Düşmesi Analizlerinde Blok Geometrisi Etkisinin İncelenmesi (Gölbaşı, Ankara)

Investigation of the Effect of Block Geometry in Three-Dimensional Rockfall Analyses (Gölbaşı, Ankara)

Ülkü Burcu ZENGİN¹ , Koray ULAMIŞ^{2*}

¹OCK Madencilik, Çankaya, Ankara, Türkiye e-posta: burcuzengn@hotmail.com

²Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı, Ankara, Türkiye

Geliş (Received):26/06/2025 / Düzeltme (Revised): 09/09/2025 / Kabul (Accepted): 07/11/2025

ÖZET

Süreksizlik içeren kaya kütlelerinde gelişen en yaygın duraysızlıklardan olan kaya düşmesi, yapıları ve insan hayatını tehdit eden boyutlara varabilmektedir. Kaya düşmesi incelemelerinde süreksizlik karakterizasyonunun ve kaynak kaya alanının dikkatli şekilde incelenmesi gereklidir. Bu çalışmada, Ankara ili Gölbaşı ilçesi sınırlarındaki Oyaca Mahallesi yerleşim alanında andezitler içinde gelişen kaya düşmeleri kapsamında blok geometrisinin üç boyutlu kaya düşmesi analiz sonuçlarına olan etkisi incelenmiştir. Arazide süreksizlik karakterizasyonu hat incelemeleri ile gerçekleştirilmiş ve Barton profilometresi ile pürüzlülük profilleri farklı kesitlerde incelenmiştir. Arazinin güney yamacı andezit, batı yamacında ise kaynak kaya alanı ile yerleşim alanı arasında yamaç molozu olduğu belirlenmiştir. El örneklerinde petrografik tanımlamalar yapılarak, araziden alınan blok örneklerden hazırlanan karot örneklerin birim hacim ağırlık ve tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenmiştir. İnsansız Hava Aracı (İHA) ile elde edilen görüntülerden hazırlanmış olan inceleme alanına ait gerçek ortofoto mozaigi kullanılarak inceleme alanına ait sayısal yüzey modeli (SYM) fotogrametrik yöntem ile elde edilmiştir. Kaynak kaya alanlarından düşebilecek ve halihazırda düşmüş olan blokların lokasyonları belirlenmiştir. Andezitlerde süreksizlik yönelimine bağlı olarak güney ve batı yamaçta hem dairesel hem de silindirik blokların bulunması nedeni ile her iki geometrik yapı için üç boyutlu analizler yapılmıştır. Arazide iki yamaçta yapılan üç boyutlu analizler ile blokların kinetik enerji, toplam yuvarlanma hızı, sıçrama yükseklikleri ve kaya düşmesi riskinin alansal dağılımları belirlenmiştir. Sonuç olarak küresel blokların ulaşma mesafeleri ve kinetik enerjilerinin silindirik bloklara göre yüksek olduğu, sıçrama yüksekliğinde belirgin bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaya düşmesi, İHA, 3B analiz, blok geometrisi

ABSTRACT

Rockfall is one of the most significant types of instability within discontinuity bearing rock masses, which might threaten the built environment and human life. Therefore, cautious investigation of discontinuity characterization and source rock areas should be performed. This study aims to investigate the effect of block shape on the results of 3D rockfall analysis within andesites located within Oyaca residential area in Gölbaşı, Ankara. Discontinuity surveys of andesites were performed, and the roughness profiles of several discontinuity sections were determined with a Barton profilometer. The southern slope of the hill is comprised of andesites and slope debris covers the western

slope between the source rock and residential areas. Hand samples were collected for petrographic evaluations, unit weight and uniaxial compressive strength were tested in cores obtained from the blocks. The precise locations of the fallen blocks and potential blocks within the source rock area were identified using a digital surface map produced from a real orthophoto mosaic based on the photogrammetric method in unmanned aerial vehicle (UAV) studies. Three-dimensional rockfall analyses were carried out using both spherical and cylindrical blocks with respect to discontinuity orientations on the southern and western slopes of the hill. The spatial distribution of kinetic energy, total velocity, bounce height and rockfall risk were specified based on three-dimensional analyses for both slopes. It is concluded that the runout distance and kinetic energy of spherical blocks are higher when compared to cylindrical blocks; however, no distinct variation was observed in terms of bounce height.

Keywords: Rockfall, UAV, 3D analysis, block geometry

GİRİŞ

Kaya kütlesi, sağlam kaya ve farklı yönelimlere sahip süreksizliklerden oluşmakta olup süreksizliklerin birbirleri ile kesişmesine bağlı olarak farklı geometrik bloklar oluşmaktadır. Eğimli arazilerde yer çekimi başta olmak üzere bozunma/ayırışma, aşırı yağış, kazı ve sismik aktivite gibi etkiler ile kaya blokları serbest hale gelerek, eğim yönünde hareket edebilmektedir. Geleneksel iki boyutlu analizler ile kaya düşmesinin alansal dağılımı belirlenemediğinden, üç boyutlu analizler ile düşen blokların hareket mekanizması daha detaylı anlaşılabilir. İki boyutlu analizler kesitler ile sınırlı olduğundan, üç boyutlu analizde elde edilen alansal dağılıma göre önlem yöntemlerinin projelendirilmesi daha sağlıklı olmaktadır.

Lan vd. (2007), ArcGIS yazılımı için kaya düşmesinin alansal dağılımını hücre bazında belirleyebilen ve bariyer analizi yapabilen RockFall Analyst eklentisini geliştirerek, Kanada demiryollarındaki bir sahaya uygulamış ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Agliardi vd. (2009), Fiumelatte’da (İtalya) gelişen kaya düşmesini inceleyerek, üç boyutlu modelleme ile Kantitatif Risk Analizi yapmış ve uygun önlemleri incelemişlerdir. Üç boyutlu sayısal modellemenin kaya düşmesi alansal afet riskinin belirlenmesinde uygun olduğunu

vurgulamışlardır. Budetta (2011) Salerno Eyaleti’nde (İtalya) meydana gelen kaya düşmesinde uç noktalarının dağılımını elde etmek için afet senaryoları ile eş enerji dağılımı yapmış ve kaya düşmesinde kritik alanları belirleyerek güçlendirilmiş sedde önermişlerdir. Pilz vd. (2011), açık maden işletmesindeki şevde gelişen kaya düşmelerini inceleyerek blokların yuvarlanma hızlarını belirlemişlerdir. Hy_Stone yazılımına yapılan eklenti ile düşme hareketi esnasında bloktan kopabilecek kaya parçalarının ve parçaların hareket yörüngesinin belirlenebildiğini belirtmişlerdir. Saroglou vd. (2012), güney Yunanistan’da yerleşim alanlarını tehdit eden kaya düşmelerini inceleyerek jeolojik ve iklimsel girdilerin de bulunduğu risk sınıflaması geliştirmişler ve parametrelerin ağırlık değerlerine göre aktif ve pasif kaya düşmesi önlem yöntemlerinin belirlenebileceğini vurgulamışlardır. Chen vd. (2013), kaya düşmesi analizinde hareket yörüngesini belirlemede süreksiz deformasyon analizi yöntemi (DDA) sonuçlarını karşılaştırmışlar ve üç boyutlu analizin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Thoeni vd. (2014), üç boyutlu analiz de ayrık elemanlar yöntemi ile kaya bloklarını rijid kürelerden oluşan bir bütün ve yamacı üçgen elemanlardan oluşan bir bütün olarak modellemiş ve modeli kalibre ederek hem kaya blok yörünge ve hızlarının hem de önlem yöntemi performansının kestirilebileceğini

belirtmişlerdir. Li vd. (2016), farklı geometrik prizmatik kaya bloklarının normal ve teğet sıçrama katsayılarının tayini için deney düzeneği geliştirmişlerdir. Düzenekte farklı yamaç eğimi ve farklı geometrik blokların çarpma açıları, çarpma öncesi ve sonrasındaki kinetik enerji değişimleri incelenerek çarpma esansında en fazla enerji kaybının olduğu vurgulanmıştır. Kalender (2017), Kargabedir Tepe ve Sivrihisar'da belirlenen kaya düşme alanlarında kaya düşmesini konik yayılım ile inceleyerek, kaya düşmesinde önemli parametrelerden olan menzil mesafesi için maksimum menzil puanı (MMP), enerji çizgi açılarının öngörülebileceği (EÇA) ve kaya düşmesi tehlike puanlamasını (RHR) önermiştir. Wendeler vd. (2017) İsviçre'de kireçtaşlarında üç boyutlu kaya düşmesi analizleri için farklı görüntülemeleri inceleyerek, analiz sonuçlarının arazideki gerçek durumu yansıtabilmesi adına 25 cm çözünürlüklü DEM görüntülerinin uygun olacağını vurgulamışlardır.

Çapar (2018) kaya düşmesi analizlerinde blokların sıçrama katsayısını inceleyerek, görüntüleme ile katsayıların belirlenmesinin sorunlu olduğunu vurgulamıştır. Özellikle farklı yazılımlardaki temel girdi parametrelerinden olan normal ve teğet geri sıçrama katsayılarının belirlenmesindeki eksikliklerinin olduğu belirtilmiştir. Akın vd. (2019) Akköy (Ürgüp) yerleşim alanında düşen ve muhtemel düşebilecek kaya bloklarının yerleşim alanlarına ulaşmaması için kaya tutma hendeğinin performansını üç boyutlu kaya düşmesi analizleri ile değerlendirmişlerdir. Polat (2020) Sivas ili Yıldızeli ilçesi Kavak köyü civarındaki kaya düşmelerinin analizi için Rockyfor3D yazılımı ve yazılıma veri hazırlayabilen CBS tabanlı eklentiye kullanarak blokların sıçrama yükseklikleri, kinetik enerjileri, ulaşma mesafeleri ve zamanları gibi parametreleri hesaplamıştır. Utlu vd. (2020) Aladağlar'da yer

alan Kazıklıali civarında arazinin sarp ve dar vadi kesimlerinde kaya düşmesi olasılığının daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Düşen blokların çaplarını sayısallaştırarak blok boyutlarının frekanslarını belirlemişlerdir. Ağca vd. (2020) Mersin, Erdemli, Adam Kayalar bölgesinde kaya düşmesi kaynak alanlarını fotogrametrik analizler ve İHA yardımıyla belirleyerek düşme potansiyeline sahip blokları modellemişlerdir. Peik (2020) üç boyutlu kaya düşmesi analiz yazılımlarını karşılaştırarak Rock Pathfinder yazılımını geliştirmiştir. Knowles vd. (2021) kaya düşmesi önlemlerinden olan gabyon duvarda farklı geometrik blokların çarpması ve enerjilerini sönmelenmesini inceleyerek, gabyon ile blok ara kesitindeki geliştirilen modelin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Alemdağ vd. (2021) Gümüşhane ili Oltanbey ve Hasanbey mahallelerindeki kaya düşmelerinde üç boyutlu analizler yaparak hangi kaynak kaya alanlarının daha yüksek risk taşıdığını incelemişler ve farklı özelliklerdeki bariyer tiplerini önermişlerdir. Keskin ve Polat (2022) Safranbolu doğusunda olası kaya düşmelerinin kinematik kontrollü başlayıp, yuvarlanma ve devamında sıçrama ile devam edeceğini ifade etmişlerdir. Alvioli vd. (2022) İtalya'da kaya düşmelerinin statik ve sismik koşullarda nasıl tetikleneceğini incelemiş ve senaryo deprem girdisi ile olasılıklı haritalar üretmişlerdir. Dinçer vd. (2022) Kapadokya Tatların Yeraltı Şehri ve civarında düşen kaya bloklarının kinetik enerjilerinin çok yüksek olduğunu ve önlem alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Öztürk vd. (2022), Niğde ili merkez ilçede bulunan Murtaza köyündeki yerleşimi tehdit eden kaya düşmelerini inceleyerek, önlem yöntemi olarak istinad duvarı önermişlerdir. Zhang vd. (2022) tünel portalında gelişen kaya düşmelerinin incelenmesinde 2018 yılında geliştirilen ve konvansiyonel düşey ve oblik görüntülemeye

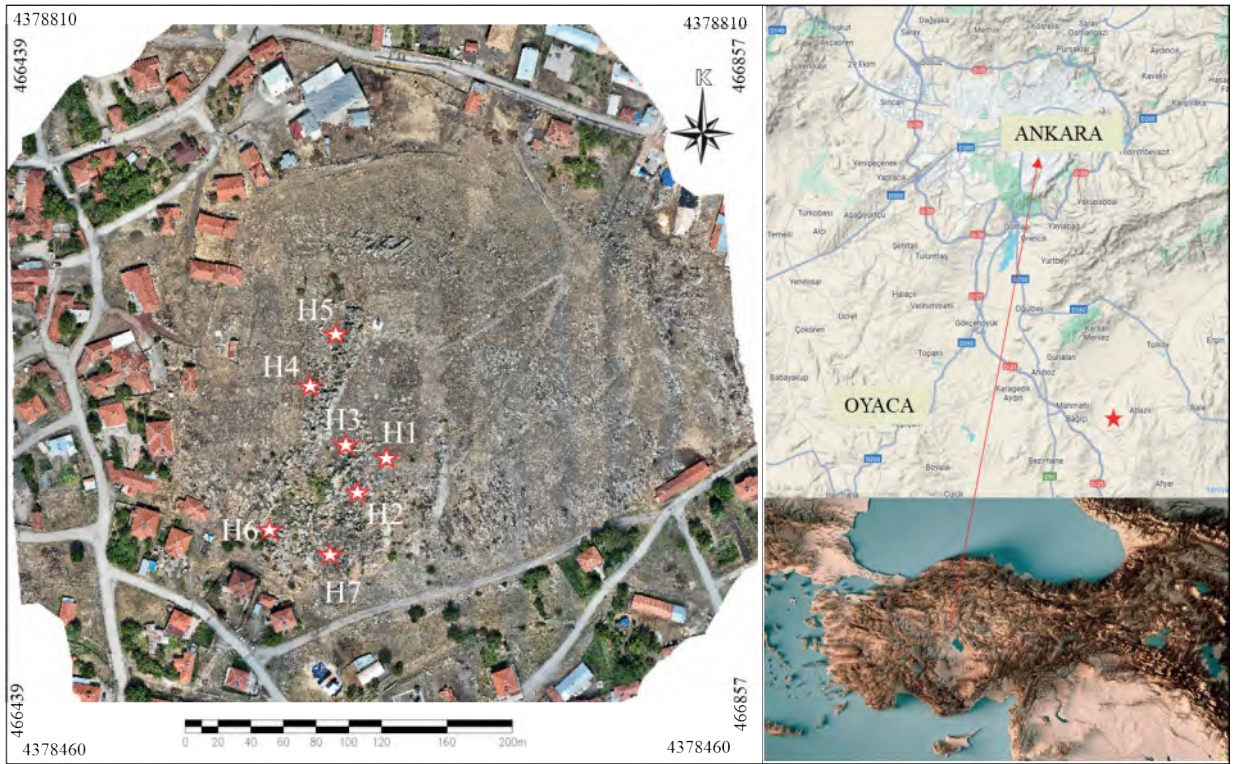
göre özellikle kırık zonlarının da detaylı olarak görüntülenebildiği obje fotogrametrisi ile üç boyutlu model oluşturmuş ve kaya düşmesi analizleri gerçekleştirmişlerdir. Farmakis vd. (2023) Kanada ve ABD’de farklı sahalara için 3B bilgisayar görüntüleme algoritmasını yapay zeka destekli geliştirerek uzun dönem kaya düşmesi hassasiyetini incelemişlerdir. Sonuçta oluşturulan hassasiyet haritalarının performansının başarılı olduğunu vurgulamışlardır. Clemente vd. (2023) İspanya’nın Bask bölgesindeki kumulların çevresindeki doğal yamaçlardan düşebilecek kaya bloklarının hareketini engelleyebilecek doğal bir bariyer görevi yapabileceğini belirlemişlerdir. Analizlerde altlık olarak yersel lazer tarama kullanmışlardır. Caymaz (2023) Mersin ili Erdemli ilçesi, Karahıdırlı mahallesi yerleşim alanını tehdit eden kaya düşmelerinin üç boyutlu analizini gerçekleştirmiş ve iki farklı kaynak kaya için dinamik çelik tel bariyer, güçlendirilmiş sedde ve ankrajlı yüzey örtülmesi olmak üzere iki farklı önlem yöntemi önermiştir. Karahan vd. (2023), Trabzon-Akçaabat Işıklar mevkiindeki kaya şev duraysızlıkları ile kaya düşmelerini inceleyerek üç farklı alan için önlem önerilerini değerlendirmişlerdir. Hacıabdullah köyü (Niğde) çevresindeki kaya düşmeleri incelenerek kaya düşmesi afet haritaları hazırlanmış ve kaya düşmesinin orta-yüksek riskli olduğu belirtilmiştir (Utlı vd., 2023). Varol vd. (2023) Soğanlı (Kayseri) civarındaki kaya düşmelerinin olasılıksal ve enerji hattı ile analizini yaparak ampirik model, üç boyutlu yaklaşım ve düşmüş blok konumlarının uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir. Yeşiloğlu-Gültekin (2023), Ankara Zir vadisindeki kaya düşmelerini Hy_Stone yazılımı ile inceleyerek karayolunu tehdit eden kaya düşmelerinin önlenmesi için önerilerde bulunmuştur.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde jeolojik ve petrolojik çalışmalar yapılmıştır. Bozkurt

vd. (1999) Oyaca ve Kedikayası dasitlerini inceleyerek kimyasal olarak farklı, ancak aynı magmatik kaynaktan türediğini belirtmiştir. Alıcı Şen (2009); Boyalık volkanik kayaçlarının kökenini ve iz elementlerini inceleyerek kayaçların alkali ve kalk-alkali özellik gösterdiğini ortaya koymuştur. Şen ve Şen (2013) Oyaca Kedikayası ve Boyalık dasitlerinin alkali ve kalk-alkali Miyosen dasitik kayaçların ise adakit bileşimli olduğunu belirtmiştir. Ankara ili Gölbaşı ilçesine bağlı Oyaca semtinde arazi gözlemlerinde Üst Miyosen yaşlı Tekke volkanitleri içindeki andezitlerden (Akyürek vd., 1997) oluşan yamaçta üç farklı doğrultuda belirlenen kaynak kaya alanlarından geçmişte düşerek ve yuvarlanarak çevre yapılarına ulaşan farklı boyutlarda bloklar tespit edilmiştir. Kaynak alanlarında hareket etmesi muhtemel blokların şekil ve boyutları ulaşılabilen bloklarda ölçülmüş, süreksizliklerin yönelimleri ve karakterizasyonu yapılmıştır. Düşme potansiyeli bulunan kaynak alanlar ve yamaç geometrisinin belirlenmesi için İHA ile ortofoto ve sayısal haritalar üretilmiştir. Üç boyutlu analizler RockPro3D yazılımı ile iki farklı kaynak kaya alanı için küresel ve silindirik şekilli kaya blokları dikkate alınarak yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

ARAZİ İNCELEMELERİ

İnceleme alanında kaynak kaya alanındaki andezitlerde süreksizlik karakterizasyonu için farklı doğrultularda hat incelemeleri ISRM (1981)’e göre yapılmıştır (Şekil 1). Kaya düşme risk hesaplanmasında kullanmak amacıyla Schmidt çekici ve pürüzlülük profili için Barton profilometresi kullanılmıştır. Laboratuvarda fiziksel ve mekanik deneyler (tiltmetre ve tek eksenli sıkışma dayanımı) için blok kaya örnekleri alınmıştır.

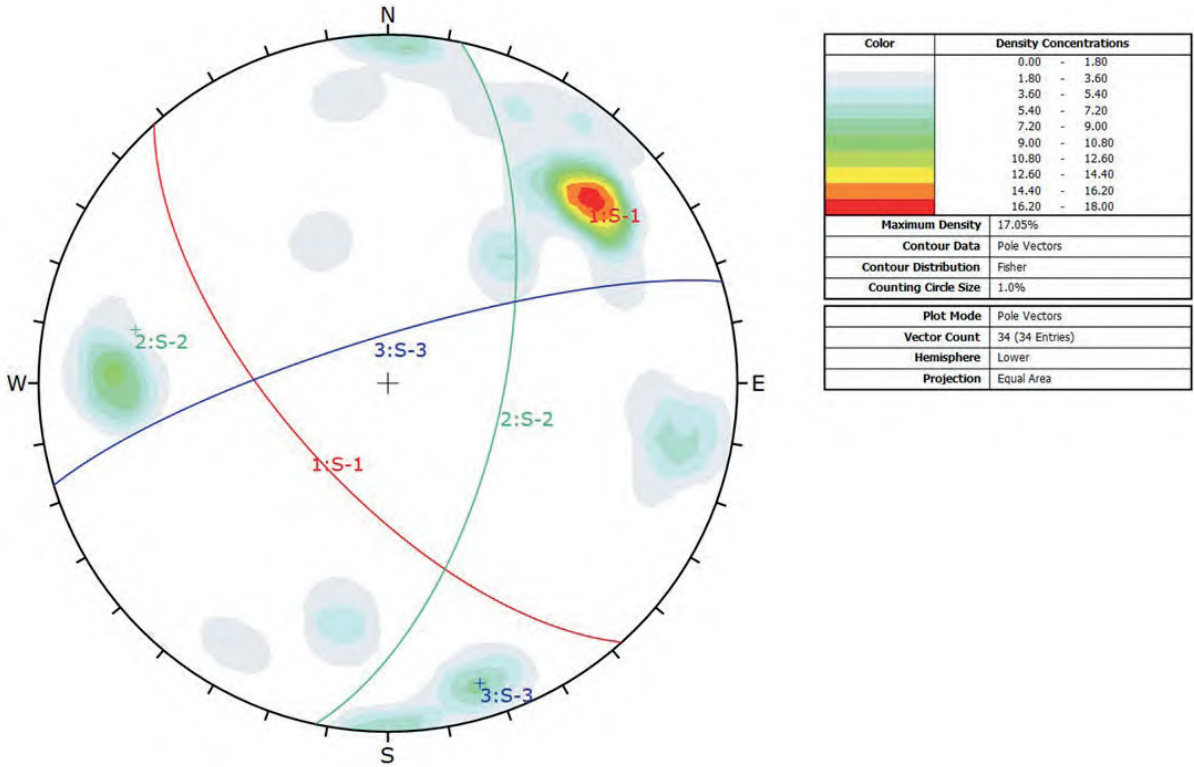


Şekil 1. İnceleme alanı ve hat etütlerinin ortofoto üzerinde gösterimi (Zengin, 2024).

Figure 1. Illustration of the study area and survey lines on orthophoto (Zengin, 2024).

Çalışma alanında süreksizlik konumları ve yönelimlerine göre 7 adet hat için inceleme yapılmıştır. Hat incelemeleri süreksizlik konum ve yönelimlerine göre arazide gerçekleştirilmiştir. Toplam 34 adet süreksizlik yönelimi belirlenerek Schmidt eş alan stereoneti üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2). Süreksizliklerin kutup noktalarının konturlama işlemi Fisher dağılımına göre yapılmıştır. Arazide blok oluşturan üç adet hakim setin yönelimi; S1 ($66^{\circ}/228$), S2 ($63^{\circ}/102$) ve S3 ($79^{\circ}/34$) olarak belirlenmiştir. Hakim setlerden olmasa da $75^{\circ}/283$ (S4) olan tali bir süreksizlik tanımlanmıştır. S4 süreksizliği arazide diğerlerine göre daha az sayıda ve lokasyonda belirlenmiştir. Ayrıca, devamlılığı birkaç santimetre olan ve hakim olmayan süreksizlikler kapsam dışında tutulmuştur.

İnceleme alanının güney ve batı yamacında Hat-6 ve 7 haricinde süreksizlik aralıkları blok oluşturacak şekilde çok geniştir. Süreksizliklerin sınıflaması ISRM (1981) ölçütlerine göre yapılarak Çizelge 1’de sunulmuştur. Süreksizlik düzlemlerinin dolaylı dayanımını belirlemek ve kaya düşmesi risk sınıflamasında kullanmak amacı ile Schmidt çekici deneyi yapılmıştır. Farklı süreksizlik düzlemlerinde 30 cm’lik Barton profilometresi ile belirlenen pürüzlülük profillerine göre JCS değeri 6-8 ve 8-10 arasındadır. İnceleme döneminde (Ağustos 2024) süreksizliklerden herhangi bir su çıkışı gözlenmemiş olup belirgin bir dolgu malzemesi de bulunmamaktadır.



Şekil 2. Blok oluşturan hakim süreksizliklerin yönelimleri.

Figure 2. Orientations of block-forming discontinuities.

LABORATUVAR İNCELEMELERİ

İnceleme alanındaki andezitlerden alınan kırmızımsı, gri ve bej renkli üç farklı örnekte kaya düşmesi analizlerinde kayacın sağlam ve/veya altere olarak tanımlanabilmesi için petrografik inceleme yapılmıştır. Bej örnekte killeşme olup hamur tamamen volkan camından oluşmakta iken, kırmızı ve gri örnekler tipik andezit bileşimindedir. Arazideki bloklardan alınan karotların birim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı (ISRM, 1981) ve temel sürtünme

açısı tiltmetre ile üç karot yöntemi kullanılarak (Stimpson, 1981) belirlenmiştir (Çizelge 2). B1 kodlu örnekler gri renkli andezit olup tek eksenli sıkışma dayanımı ve temel sürtünme açıları diğer örneklerle göre daha yüksektir. B2 ve B3 kodlu örneklerde bozunma derecesi renk tonu ve killeşmeye bağlı olarak daha fazla olup özellikle B3 kodlu kırmızı örneklerde yer yer gözenekler izlenmektedir. Laboratuvarda boy/çap oranı dikkate alınarak bazı karot örneklerinde tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenememiştir.

Çizelge 1. İnceleme alanında süreksizlik karakterizasyonu.

Table 1. Discontinuity characterization in the study area.

Devamlılık		
Süreksizlik uzunluğu, m	Tanım	
<i>1-3</i>	<i>Düşük devamlılık</i>	
<i>3-10</i>	<i>Orta derecede devamlılık</i>	
Açıklık		
Açıklık, mm	Tanım	
<i><0,1</i>	Çok sıkı	Kapalı yapılar
0,1-0,25	Sıkı	
0,25-0,50	Kısmen açık	
<i>0,50-2,5</i>	<i>Açık</i>	<i>Boşluklu yapılar</i>
<i>2,5-10</i>	<i>Orta derecede geniş</i>	
<i>>10</i>	<i>Geniş</i>	
<i>10-100</i>	Çok geniş	Açık yapılar
100-1000	Aşırı geniş	
>1000	Boşluklu	
Aralık		
Aralık, mm	Tanım	
<i>600-2000</i>	<i>Geniş aralıklı</i>	
<i>2000-6000</i>	Çok geniş aralıklı	
Ayrışma		
Tanım	Ölçüt	Sınıf
<i>Az ayrılmış</i>	<i>Kaya ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi. Tüm kayacın rengi değişmiş olabilir. Kaya taze halinden daha zayıf olabilir.</i>	<i>W2</i>
Blok boyutu		
J _v	Tanım	
3-10	Orta derecede yüksek	Orta derecede süreksizlik

Zengin, Ulaş

Çizelge 2. Andezitlerin birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı ve temel sürtünme açıları.
 Table 2. Unit weight, uniaxial compressive strength and basic friction angle of the andesites.

Örnek No	γ , kN/m ³	σ_c , MPa	ϕ_b (°)
B1	B1-A	23,44	43
	B1-B	23,84	57
	B1-C	23,72	38
	B1-D	23,72	
	B1-E	23,32	
	B1-F	23,74	
	B1-G	23,42	
	B1-H	23,79	
	B1-İ	23,76	
B2	B2-A	22,10	34
	B2-B	21,75	32
	B2-C	19,85	
	B2-C1	24,08	
	B2-C2	23,74	
	B2-C3	22,18	
B3	B3-A	22,73	53
	B3-B	22,84	37
	B3-C	22,81	33

GÖRÜNTÜLEME ÇALIŞMALARI

İnceleme alanında İHA uçuş rotası kaya bloklarının detaylı görüntülenmesi için zemin takibi seçeneği kullanılarak 70 metre yükseklikten görüntüleme yapılmıştır. Hassasiyeti 2 cm olan 160 adet görüntü elde edilmiş olup ortofoto mozaïği ve üç boyutlu kartezyen koordinatları belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan İHA'nın ön ve yan bindirme oranları

sırası ile %70 ve %80 olup uçuş hızı 13 m/s'dir. İHA uçuşu Türkiye Sabit GNSS Ağı Sistemi'ne (TUSAGA) göre yapılmış olup Terra yazılımı ile 2 ve 3 boyutlu nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Görüntüleme esnasında GNSS kaynaklı olası hataların giderildiği gerçek zamanlı kinematik konumlama (RTK) sistemi kullanılmıştır. Arazide geçmişte düşmüş olan ve kaynak kaya alanında düşebilecek olan blokların konumları ve boyutları ortofoto görüntüleri üzerinde sayısal olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Toplam 32 adet blok dışında çok sayıda bloğun da güney yamaçtaki yol yapımı sırasında taşınmış olduğu düşünülmektedir. Ortalama birim hacim ağırlık değerine göre blok ağırlıkları 0,96 ton ile 14,27 ton arasında değişmektedir.

İnceleme alanında her iki yamaçta 28 adet düşebilecek blok belirlenmiş olup ağırlıkları 5,26 ton ile 32,92 ton arasındadır (Şekil 4). Güney yamaçta genellikle dairesel ve silindirik şekilli andezitlerde yerinde ulaşamayan blok boyutları sayısallaştırılarak belirlenmiştir. İnceleme alanında üç boyutlu analizlere altlık olması için sayısal arazi modeli hazırlanmıştır. Andezit mostrasının bulunduğu güney yamaçta eğim 56°'ye varmaktadır. Mostranın sonlandığı yamaç topuğunda, yapıların bulunduğu kesime kadar ortalama eğim 5° olup yapı yerleri ve güneye doğru azalmaktadır. Batı yamaçta eğim, yamaç molozu olan kesimde 22,5° kadar olup andezit mostrasında 45°-50° arasındadır. Her iki yamaçta süreksizlik yönelimine göre andezit bloklarında 90°'lik eğimler belirlenmiştir.



Şekil 3. İHA uçuş rotası ve düşmüş blokların sayısallaştırılması.

Figure 3. UAV flight paths and digitization of fallen blocks.

ÜÇ BOYUTLU KAYA DÜŞMESİ ANALİZLERİ

Kaya düşmesi mekanizması birçok farklı parametre ile kontrol edilmektedir (Asteriou vd., 2012; Giacomini vd., 2012). Yamaç eğimi, topoğrafya ve pürüzlülük değerlerine göre serbest düşme, sıçrama, yuvarlanma ve kayma olarak dört ana grupta gelişmektedir (Basson, 2012; Spadari vd., 2012). Kaya düşmesi şiddeti belirlenirken blokların ulaşabileceği menzil, blok kütlesi, hız, kinetik enerji, rotasyon ve sıçrama

yüksekliğinin dikkate alınması gereklidir (AFAD, 2020; Jaboyedoff vd., 2001). Kaya bloğunun yamaca çarpma açısı, kütle, çarpma hızının önceki ve sonraki değerleri ve yamaç malzemesinin mekanik özelliklerine göre geri sıçrama katsayısının normal (R_N) ve teğet (R_T) bileşenleri analizlerde önemli parametrelerdir (Wang ve Tonon, 2011). İnceleme alanında güney yamaçta düşebilecek blokların andezit mostrasına, batı yamaçta ise yamaç molozu üzerine düşmesi beklenmektedir. Kaya bloğu

ile yamacın malzeme özelliklerini dikkate alan, girdi parametrelerinin Gauss dağılımının ve ölçeklenmesinin mümkün olduğu rijid blok yaklaşımı ve olasılıklı analiz tercih edilmiştir.

Küresel Blokların Üç Boyutlu Analizi

Simülasyonda arazideki gerçek koşulların yansıtılabilmesi için 100 adet blok çizgisel kaynak kaya alanından düşürülmüş olup analizler küresel ve silindirik blok geometrisi için yapılmıştır. Her iki yamaç için kaynak kaya mostraları arazi çalışması ile yerinde belirlenmiş olup düşebilecek blokların bulunduğu kesimleri

içeren hatlar boyunca 100'er adet blok düşürülmüştür. Güney yamaçta arazide erişimin mümkün olmadığı kesimde İHA görüntülerinden faydalanılmıştır. Andezit ve yamaç molozu için geri sıçrama katsayıları (R_N ve R_T) ile dinamik sürtünme katsayısı (m_k) değerleri önceki çalışmalar dikkate alınarak (Chau, vd., 1996; Topal, vd. 2007) belirlenmiştir (Çizelge 3). Küresel blok çapı ortalama 2 m olup blokların başlangıç düşme yüksekliği $2 \text{ m} \pm \%25$ olarak tanıtılmıştır. Limit dar açı ve limit geniş açı değerleri yuvarlanma ile yamaca çarparak sıçrama arasındaki açılar olup andezit ve yamaç molozu için program kataloğundan seçilmiştir.



Şekil 4. Yamaçtan serbest kalarak düşebilecek bloklar.

Figure 4. View of blocks possibly detached from the hill.

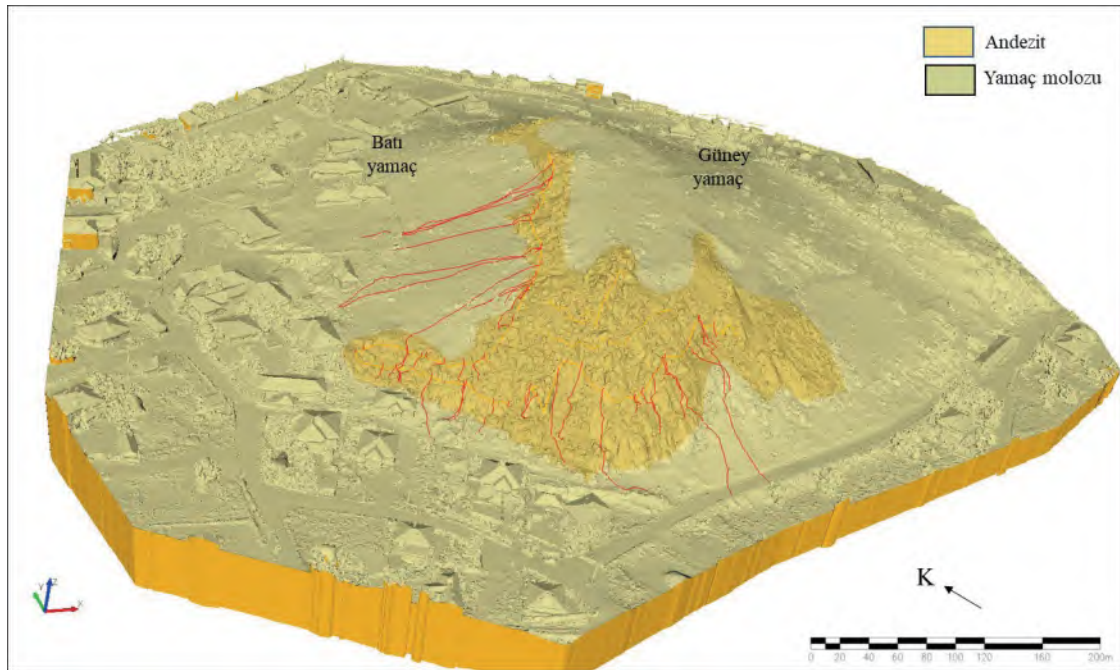
Her iki yamaçta küresel bloklar için üç boyutlu analiz yapılarak kaya bloklarının yörüngeleri ve ulaşabileceği noktalar RockPro3D tarafından oluşturulan sayısal yüzey modeli üzerinde belirlenmiştir (Şekil 5). Analiz

sonucunda, bloklar yapılar kadar ulaşabilecek olup arazide de yapıların yakınında bloklar belirlenmiştir. İnceleme alanında arazi çalışmaları esnasında kaya bloklarının hareketini etkileyecek herhangi bir bitki örtüsüne rastlanmamıştır.

Çizelge 3. Bloklar için üç boyutlu analiz girdi parametreleri.

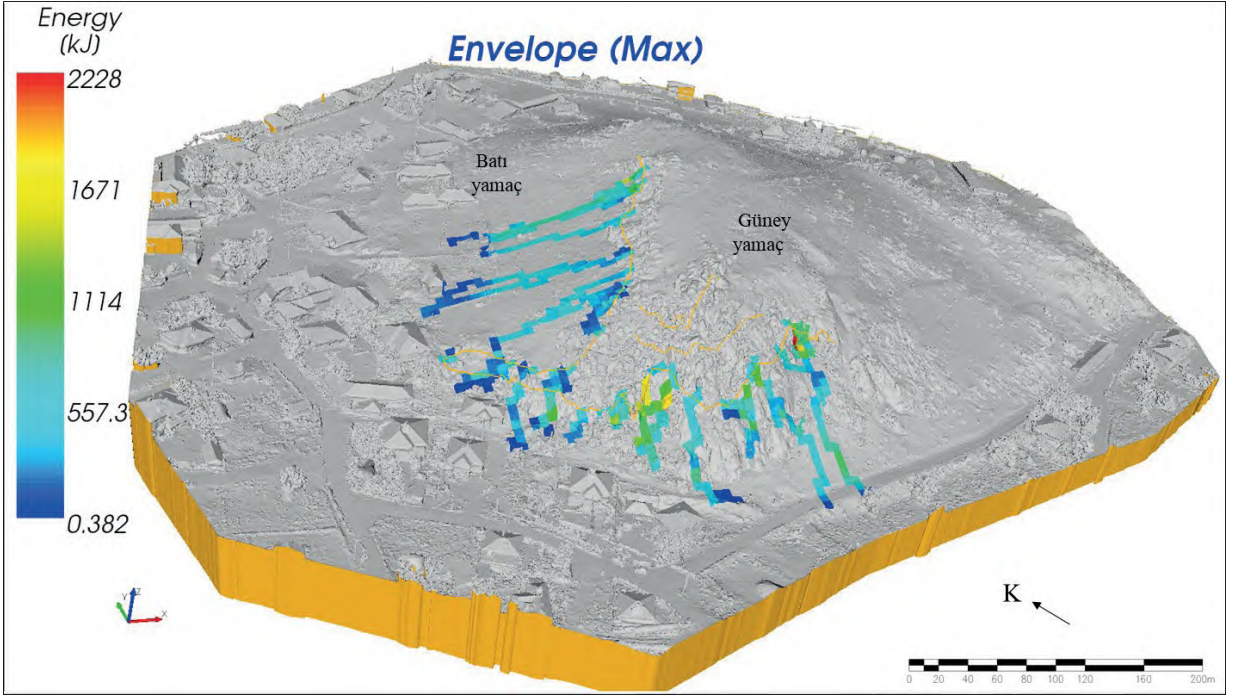
Table 3. Input parameters of the blocks for 3D analysis.

Batı yamaç							
R_N Andezit	R_T Andezit	R_N Y. molozu	R_T Y. molozu	m_k Andezit	m_k Y. molozu	Limit dar aç (°)	Limit geniş aç (°)
0,40	0,80	0,20	0,90	0,30	0,15	2	15
Güney yamaç							
R_N Andezit	R_T Andezit	m_k Andezit	Limit dar aç (°)	Limit geniş aç (°)			
0,45	0,75	0,30	10	35			



Şekil 5. Batı ve güney yamaçta küresel blokların üç boyutlu görünümü.

Figure 5. 3D view of the spherical blocks on the western and southern slopes.



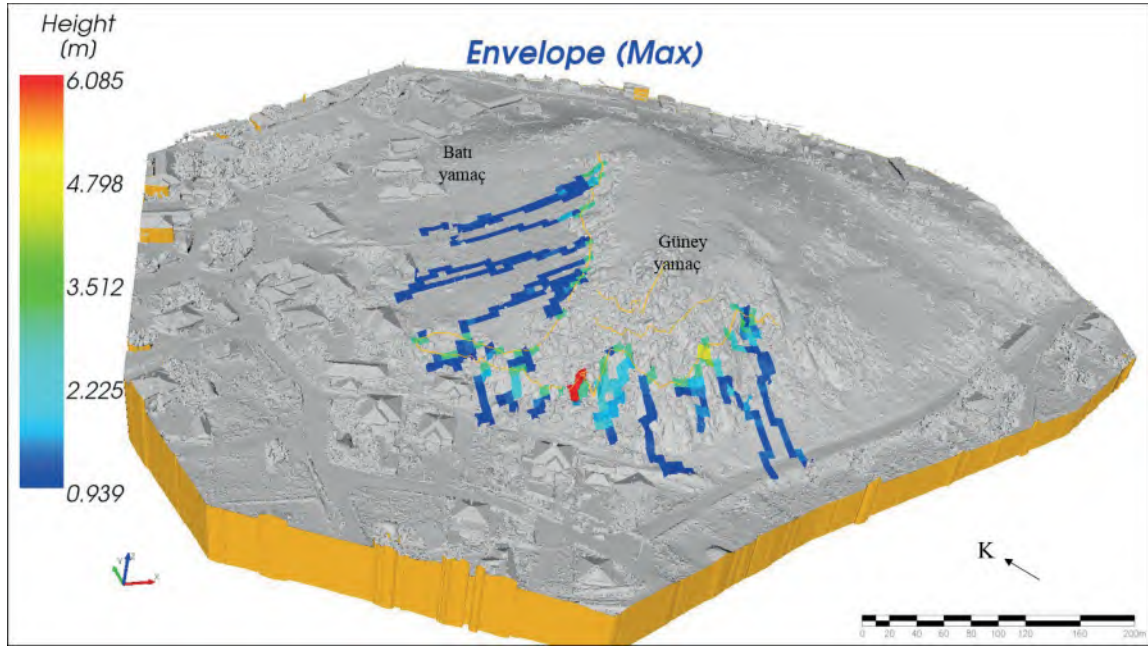
Şekil 6. Küresel blokların toplam kinetik enerji dağılımı haritası.

Figure 6. Total kinetic energy distribution map of the spherical blocks.

Toplam kinetik enerji yuvarlanma sırasında 1200 kJ'e kadar ulaşmakta olup eğimin azalmaya başladığı kesimde 650 kJ ile 950 kJ arasında değişmektedir (Şekil 6). Sıçrama yükseklikleri 1,85 m ile 2,75 m arasında değişmektedir (Şekil 7). Rotasyonel hız dağılımı dikkate alındığında yapıların bulunduğu kesimde blokların hareketi devam etmekte olup özellikle güney yamaçta eğim derecesine de bağlı olarak hızların fazla azalmayacağı belirlenmiştir (Şekil 8). Arazi gözlemlerinde yapıların bahçelerinin sınırında belirlenmiş olan blokların varlığı da blokların hem topoğrafik yapı, hem de insan yapısı unsurlar tarafından yapılara ulaşmadan kinetik enerjilerinin sönmülenererek duracağına işaret etmektedir.

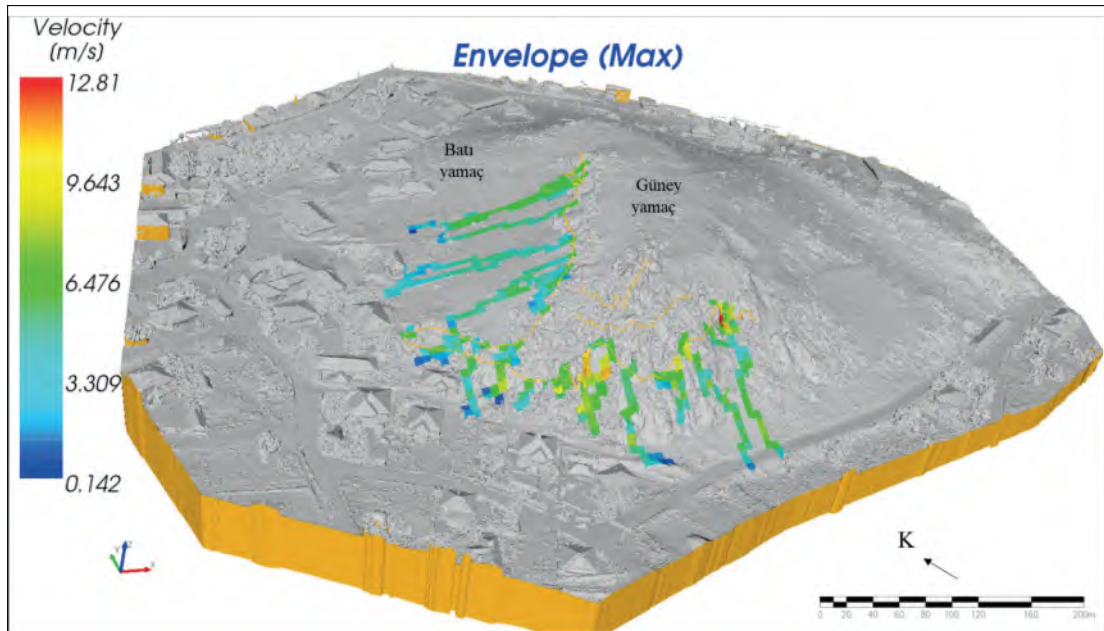
Silindirik Blokların Üç Boyutlu Analizi

İnceleme alanında yamaçta ve geçmişte düşmüş blokların bazılarının silindirik şekilli olması nedeniyle çap/yükseklik oranı batı yamaç için 2,5/2 ve güney yamaç için 2,5/2,25 olacak şekilde analizler yapılmıştır (Şekil 9). Bu oranlar küresel blokların analizindeki ağırlıklara yakın veya eşit olacak şekilde seçilmiştir. Simülasyonlarda diğer tüm girdi parametreleri (yoğunluk, sıçrama katsayıları ve sürtünme katsayıları) küresel bloklar ile aynıdır.



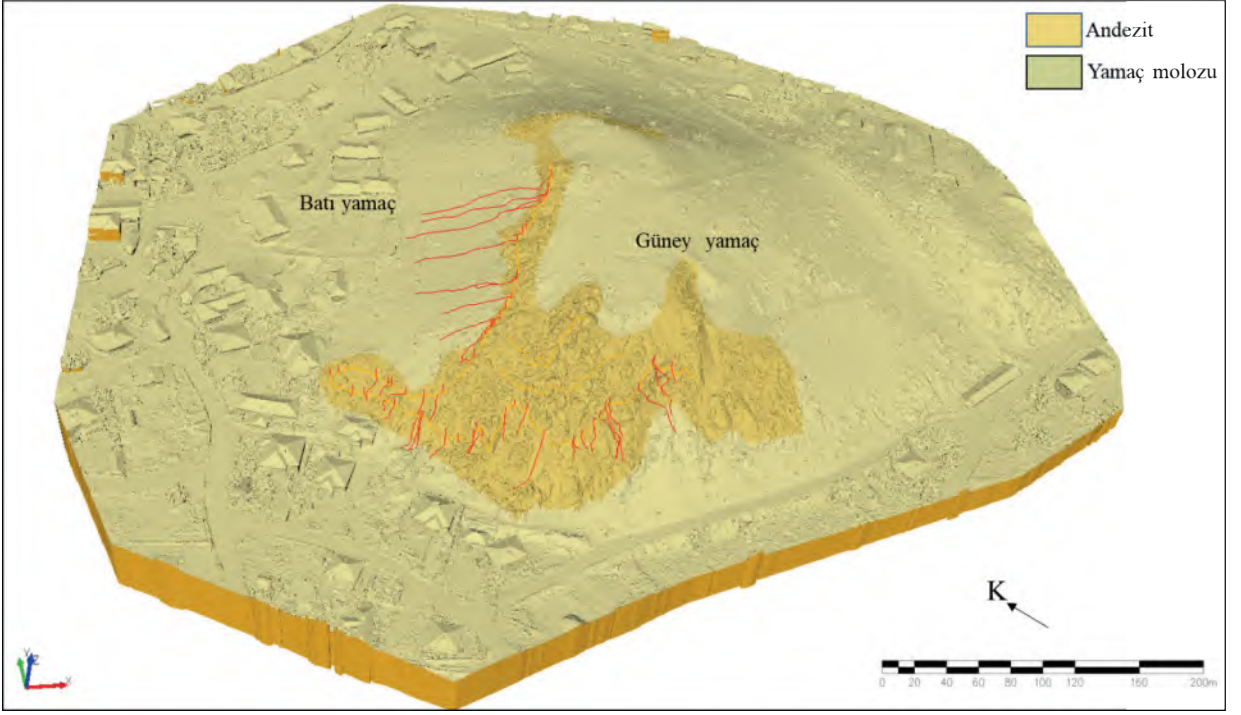
Şekil 7. Küresel blokların sıçrama yüksekliği dağılımı haritası.

Figure 7. Bounce height map of the spherical blocks.



Şekil 8. Küresel blokların rotasyonel (dönel) hız dağılımı haritası.

Figure 8. Rotational velocity map of the spherical blocks.



Şekil 9. Batı ve güney yamaçta silindirik blokların üç boyutlu yörüngeleri.

Figure 9. 3D trajectories of cylindrical blocks on the western and southern slopes.

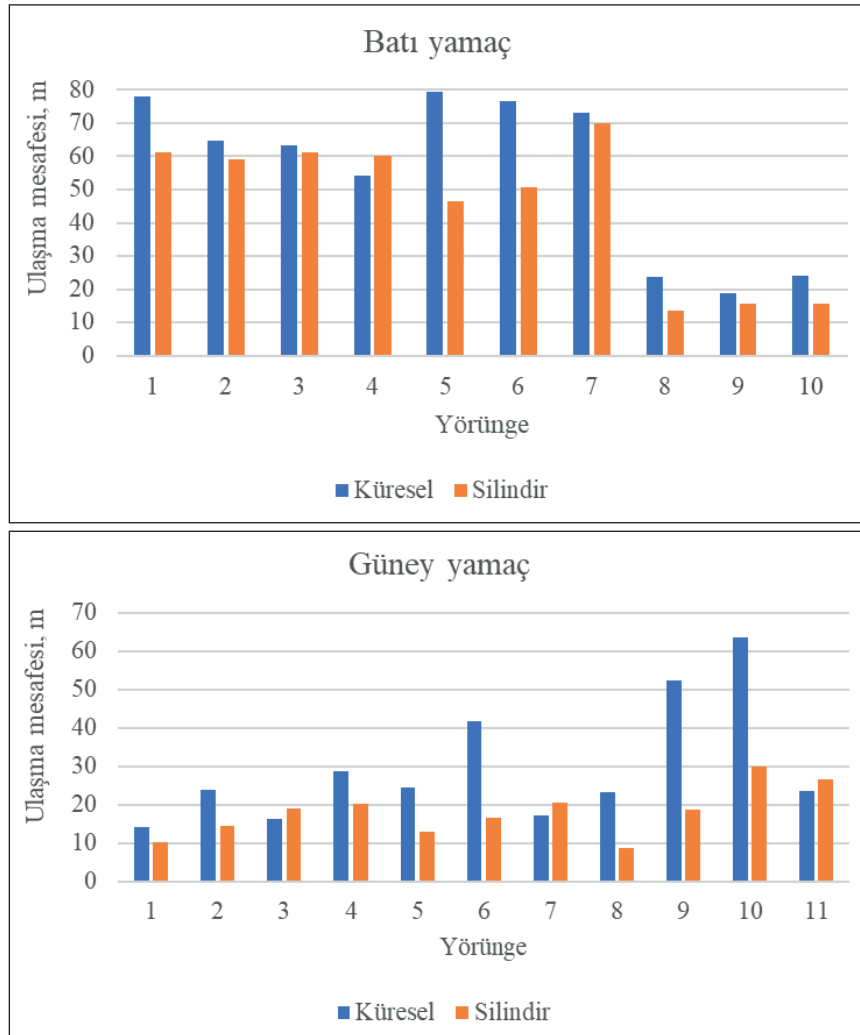
Analiz sonucunda, silindirik blokların ulaşma mesafesinde azalma olduğu belirlenmiştir. Üç boyutlu analizlerden elde edilen küresel ve silindirik blok yörüngeleri ile ulaşma mesafesi iki boyutlu kesitlerde belirlenebilmektedir. Şekil 10'da batı ve güney yamaçtaki yörüngelerde blok ulaşma mesafeleri karşılaştırılmıştır. Küresel bloklar ile karşılaştırıldığında, silindirik blokların ulaşma mesafelerinin daha az olması, çarpma ve yuvarlanma yanında yamaç molozu içine saplanmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Ancak, küresel ve silindirik blokların ulaşma mesafeleri arasında doğrudan bir ilişki kurulamamıştır.

Her iki geometriye sahip blokların analizlerinde yamaçlarda blokların düşebileceği hatlarda analiz yapılmış olup simülasyonlar sonucunda analiz çıktıları olarak elde edilen

blok hareket yörüngeleri kullanılmıştır. Blok geometrileri aynı olmadığından yörüngeler birebir aynı olmamakla beraber, hatlar boyunca aynı noktadan düşen blokların analiz sonuçları olarak ulaşma mesafeleri karşılaştırılmıştır. Üç boyutlu analiz sonucunda elde edilen sonuçlara göre batı yamaçta kuzeyden güneye doğru 10 adet, güney yamaçta batıdan doğuya 11 adet yuvarlanma yörüngesi boyunca ulaşma mesafeleri karşılaştırılmıştır. Ulaşma mesafesi azalmasına bağlı olarak kinetik enerji, sıçrama yüksekliği ve dönel hızın değişimi de analiz edilerek dağılımları haritalanmıştır. Ulaşma mesafeleri arasında belirgin fark, arazinin topoğrafik yapısına göre hareket yörüngelerinin değişken olmasından kaynaklıdır. Güney yamaçtaki andezit mostrasındaki lokal kesimler haricinde kinetik enerjide belirgin bir azalma

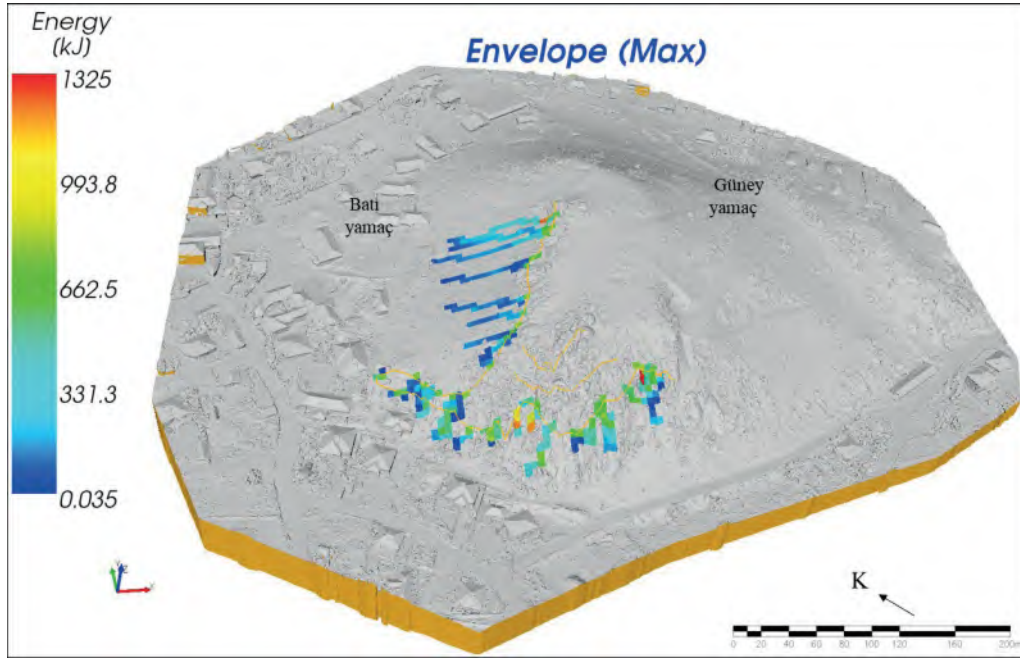
bulunmakta olup (Şekil 11) yine güney yamaçta andezit mostrasına çarpabilecek silindirik bloklarda muhtemel kopma, parçalanma vb. nedenlere bağlı olarak sıçrama yüksekliği de

göreceli olarak azalmıştır (Şekil 12). Dönel hızda çok belirgin bir değişiklik olmasa da küresel bloklara göre enerjiyi de azaltacak şekilde bir azalma gözlenmiştir (Şekil 13).



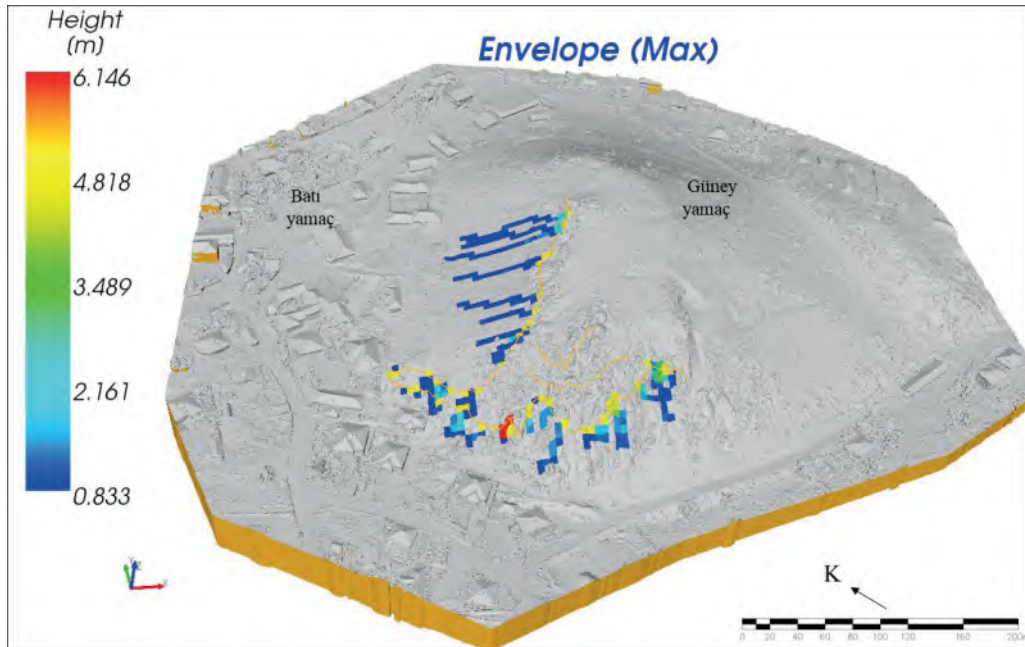
Şekil 10. Batı ve güney yamaçta küresel ve silindirik blok ulaşma mesafelerinin (metre) karşılaştırılması.

Figure 10. Comparison of the runout distances (in meters) of spherical and cylindrical blocks on the western and southern slopes.



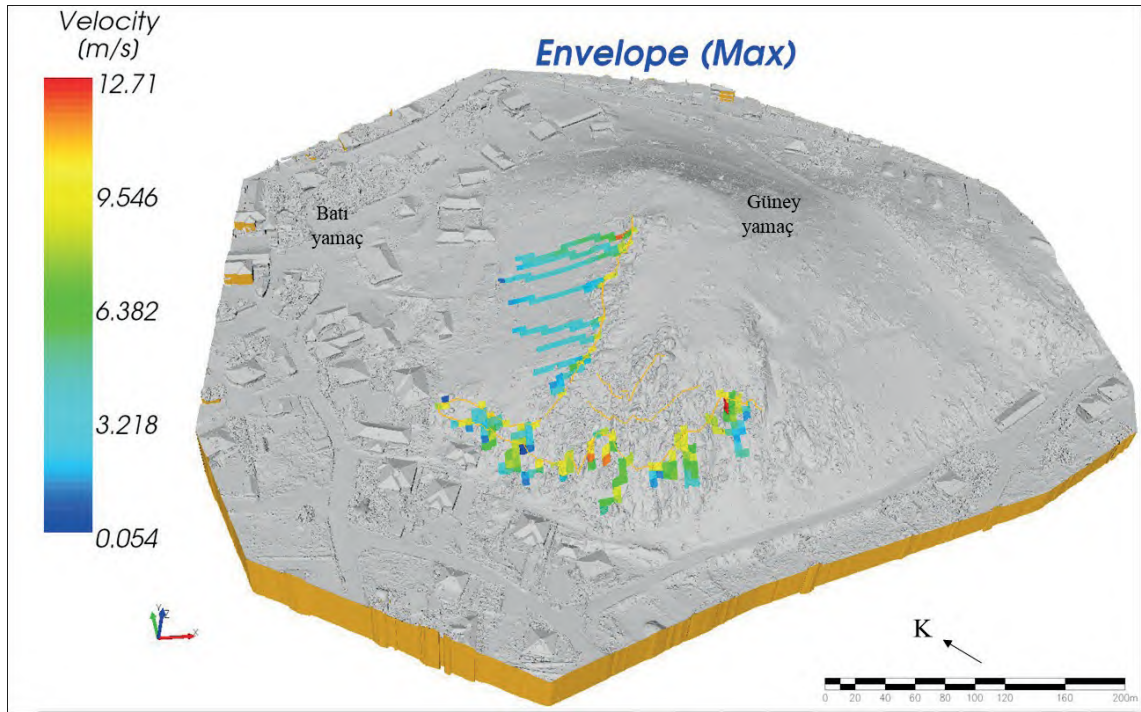
Şekil 11. Silindirik blokların toplam kinetik enerji dağılımı haritası.

Figure 11. Total kinetic energy distribution map of the cylindrical blocks.



Şekil 12. Silindirik blokların sıçrama yüksekliği dağılımı haritası.

Figure 12. Bounce height distribution map of the cylindrical blocks.



Şekil 13. Silindirik blokların rotasyonel (dönel) hız dağılımı haritası.

Figure 13. Rotational velocity distribution map of the cylindrical blocks.

SONUÇ VE ÖNERİLER

İnceleme alanında yapılan arazi gözlemleri esnasında farklı noktalarda düşmüş/yuvarlanmış andezit blokları tespit edilmiş olup yamaçta da farklı boyutlarda düşebilecek bloklar olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanının güney yamacı tamamen andezit, batı yamacında ise mostra ile yapılar arasında yamaç molozu bulunmaktadır.

İHA görüntülemesi yamaca dik ve özellikle andezit bloklarını net modelleyebilmek adına 45°'lik açı ile yapılmıştır.

Geçmişte düşmüş/yuvarlanmış ve halihazırda düşebilecek bloklar arazi çalışmaları ve sayısal görüntüler kullanılarak boyutlandırılmış ve ağırlıkları belirlenmiştir. Düşmüş blok ağırlıkları 0,96 ton ile 14,27 ton, yamaçtan düşebilecek blok ağırlıkları 5,26 ton ile 32,92 ton arasındadır.

Küresel bloklar ve silindirik bloklar için ayrı analizler yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda küresel blokların daha uzak mesafelere ulaşacağı, dönel hızlarının ve buna bağlı olarak da kinetik enerjilerinin daha fazla olacağı belirlenmiştir.

Küresel bloklar batı yamaçta yamaç molozu üzerinde hareket edecek olup geometrilerinden dolayı daha hızlı hareket ederek kinetik enerjilerini daha uzun süre koruyacak ve dolayısıyla durma mesafeleri de silindirik bloklara göre daha yüksek olacaktır. Sıçrama yüksekliği dağılımı batı yamaçta daha çok yuvarlanmayı ifade etmekte olup güney yamaçta andezit mostrasına çarpabilecek bloklardaki sıçrama yüksekliği dağılımı göreceli olarak daha yüksektir. Dönel hız dağılımı incelendiğinde belirgin bir farklılık bulunmamakla beraber, yuvarlanma mesafesinde

Zengin, Ulaş

kinetik enerji değişiminde hız her ne kadar direkt parametre olsa da her iki yamaçtaki yamacı oluşturan jeolojik yapının ve eğimin de etken olduğunu işaret etmektedir.

Silindirik blokların güney yamacın tamamını kaplayan andezitlere çarptığında küresel bloklara göre daha fazla kırılma, parçalanma olasılığına sahip olduğu düşünülmektedir. Yamaç molozu üzerinde de küresel bloklara göre hareket esnasında yamaca saplanma ve kaymaya maruz kalabilecekleri düşünülmektedir.

İnceleme alanındaki kaya düşmelerinin çevreye ve yapılara zarar vermemesi için öncelikle yamaçtaki blokların dağcı ekiplerce kırılarak temizlenmesi ve işlem sırasında geçici bariyerlerin yapılması gerekmektedir. Geçmişte düşmüş blokların da temizlenmesi gerekmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: FYL-2023-3147). Yazarlar Koordinatörlüğe teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- AFAD (2020). *Kaya Düşmelerinden Kaynaklı Afetlerin Değerlendirilmesine Yönelik Teknik Kılavuz*, 169 s., Ankara.
- Agliardi, F., Crosta, G.B., Frattini, P. (2009). Integrating rockfall risk assessment and countermeasure design by 3D modelling techniques. *Natural Hazards and Earth System Science*, 9(4), 1059–1073.
- Ağca, M., Gültekin, N., Kaya, E. (2020). İnsansız Hava Aracından elde edilen veriler ile kaya düşme potansiyelinin değerlendirilmesi: Adam Kayalar örneği, Mersin. *Geomatik*, 5(2), 134–145.
- Akın, M., Dinçer, İ., Orhan, A., Ok, A.Ö., Akın, M.K., Topal, T. (2019). Kaya tutma hendek performansının 3 boyutlu kaya düşme analizleriyle değerlendirilmesi: Akköy (Ürgüp) örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43(2), 211–232.
- Akyürek, B., Duru, M., Sütçü, Y.F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, O., Granit, S., Yaşar, T. (1997). *1:100000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Ankara F15 Paftası*. MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi, Ankara, 31 s.
- Alemdağ, S., Kara, R.T., Bostancı, H.T. (2022). Evaluation of potential rock falls with three-dimensional analysis: Example of Oltanbey and Hasanbey districts (Gümüşhane city center). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 169, 87-104.
- Alıcı Şen, P. (2009). Trace element modelling of the origin and evolution of the Oyaca-Boyalık volcanic rocks (NE of Haymana, Ankara, Turkey). *International Geology Review*, 51(2), 116-132.
- Alvioli, M., Matteo de A., Castaldo, R., Tizzani, P., Reichenbach, P. (2022). Three-dimensional simulations of rockfalls in Ischia, Southern Italy, and preliminary susceptibility zonation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 2712-2736.
- Asteriou, P., Saroglou, H., Tsiambaos, G. (2012). Geotechnical and kinematic parameters affecting the coefficients of restitution for rock fall analysis. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* (54), 103-113.
- Basson, F.R. (2012). *Rigid body dynamics for rock fall trajectory simulation*. 46th US Rock Mechanics/ Geomechanics (1-7). Chicago: American Rock Mechanics Association.
- Bozkurt, E., Koçyiğit, A., Winchester, J., Beyhan, A. (1999). Petrochemistry of the Oyaca-Kedikayası (Ankara) dacites as evidence for the post-collisional tectonic evolution of North-Central Anatolia, Turkey. *Geological Journal*, 34, 223-231.

- Budetta, P. (2011). Application of the Swiss Federal Guidelines on rock fall hazard: A case study in the Cilento region (Southern Italy). *Landslides*, 8(3), 381–389.
- Caymaz, P. (2023). *Karahıdırlı (Mersin) Çevresindeki Kaya Düşmelerinin Üç Boyutlu Analizi ve Koruma Yöntemlerinin Belirlenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 90 s. Ankara.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C., Lee, C.F. (1996). Rockfall problems in Hong Kong and some new experimental results for coefficients of restitution. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*. 35, (4-5). 662-663.
- Chen, G., Zheng, L., Zhang, Y., Wu, J. (2013). Numerical simulation in rockfall analysis: a close comparison of 2-D and 3-D DDA. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46, 527-541.
- Clemente, J.A., Uriarte, J.A., Spizzichino, D., Faccini, F., Morales, T. (2023). Rockfall hazard mitigation in coastal environments using dune protection: A nature-based solution case on Barinatxe beach (Basque Coast, northern Spain). *Engineering Geology*, 314, 107014.
- Çapar, N. (2018). *Kaya Düşmesi Analizinde Geri Sıçrama Katsayısının Etkisinin Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İncelenmesi*. [Doktora Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dinçer, İ., Akın, M., Orhan, A. (2022). Kaya düşmelerinin 3-boyutlu analizi: Kapadokya örneği. *Yer Mühendisliği*, 17 (10), 46-59.
- Farmakis I., Hutchinson DJ, Vlachopoulos N, Westoby M, Lim M (2023) Slope-Scale rockfall susceptibility modeling as a 3D computer vision problem. *Remote Sensing*, (15): 2712.
- Giacomini, A., Thoeni, K., Lambert, C., Booth, S., Sloan, S.W. (2012). Experimental study on rockfall drapery systems for open pit highwalls. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (56), 171-181.
- Gültekin-Yeşiloğlu, N. (2023). Ankara Zir Vadisi kaya düşmelerinin üç boyutlu analizlerle değerlendirilmesi. *Yerbilimleri*, 44(2), 179-201.
- ISRM, (1981). *Rock Characterization Testing and Monitoring*. Brown, E., Ed., Pergamon Press, Oxford, 211 p.
- Jaboyedoff, M., Baillifard, F., Hantz, D., Heidenreich, B., Mazzoccola, D. (2001). *Terminologie, in: Prévention des mouvements de versants et des instabilités de falaises*, edited by Carere, K., Ratto, S., and Zanolini, F.E., 48–57.
- Kalender, A. (2017). *Konik Yayılım Yaklaşımıyla Kaya Düşmesi Potansiyelinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yöntem Önerisi*. [Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Karahan, M., Sünnetçi, M.O., Ersoy, H., İpek, A. (2023). 3 boyutlu kaya düşme analizleri ile birleşik kaya ıslah uygulamalarının değerlendirilmesi: Işıklar (Akçaabat, Trabzon) örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 48, 179-202.
- Keskin İ, Polat, A. (2022) Kinematic analysis and rockfall assessment of rock slope at the UNESCO World Heritage city (Safranbolu/Turkey). *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng* 46: 367–384.
- Knowles, J., Ma, Y., Evans, T.M. (2021). *DEM modelling of 3D polyhedra with applications to gabion rockfall barriers*. EPJ Web of Conferences, 249, 14008.
- Lan, H., Martin, C.D., Lim, C.H. (2007). RockFall analyst: A GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modeling. *Computers and Geosciences*, 33 (2), 262-279.
- Li, L.P., Sun, S.Q., Li, S.C., Zhang, Q.Q., Hu, C, Shi, S.S. (2016). Coefficient of restitution and kinetic energy loss of rockfall impacts. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20 (6), 2297- 2307.
- Öztürk, M.Z., Utlu, M., Şimşek, M. (2022). Kaya düşmesi tehlikesinin belirlenmesi ve önlenmesinde İHA tabanlı 3B modelleme çalışmaları: Murtaza Köyü örneği (Niğde). *Yerbilimleri*, 43 (2), 482-196.
- Peik, N. 2020. *A New Three-Dimensional Rockfall Trajectory Simulator for Open-Pit Mines*. [Master Thesis], University of Nevada Reno, USA.

- Pilz, J., Agliardi, F., Crosta, G.B., Zavodni, Z.M. (2011). *Three-dimensional rock fall simulation in the mining environment using Hy_Stone*. Slope Stability 2011, International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering.
- Polat, A. (2020). CBS Tabanlı 3B kaya düşmesi analizi ve veri hazırlama süreçleri: Kavak Köyü Sivas Türkiye Örneği. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 1205–1222.
- Saroglou, H., Marinos, V., Marinos, P., Tsiambos, G. (2012). Rockfall hazard and risk assessment: an example from a high promontory at the historical site of Monemvasia, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(6), 1823–1836.
- Spadari, M., Giacomini, A., Buzzi, O., Fityus, S., Giani, G. P. (2012). In situ rockfall testing in New South Wales, Australia. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* (49), 84-93.
- Stimpson, B. (1981). A suggested technique for determining the basic friction angle of rock surfaces using core. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 18(1), 63–65.
- Şen, P., Şen E. (2013). Petrogenetic Characteristics Of Oyaca – Kedikayası – Boyalık Adakites In SW Ankara (Central Anatolia, Turkey): Evidence For Slab Melt Metasomatism. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 81-91.
- Thoeni, K., Giacomini, A., Lambert, C., Sloan, S.W., Carter, J.P. (2014). A 3D discrete element modelling approach for rockfall analysis with drapery systems. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 68, 107–119.
- Topal, T., Akın, M., Ozden, U.A. (2007). Assessment of rockfall hazard around Afyon Castle, Turkey. *Environmental Geology*, 53, 191-200.
- Utlü, M., Öztürk, M.Z., Şimşek, M. (2020). Rockfall analysis based on UAV technology in Kazıklı Gorge, Aladağlar (Taurus Mountains, Turkey). *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(3), 239-251.
- Utlü M, Öztürk MZ, Şimşek M, Akgümüş MF (2023) Evaluation of rockfall hazard based on UAV technology and 3D Rockfall Simulations. *International Journal of Environment and Geoinformatics* 10(4): 001-016.
- Varol OO, Akın M, Orhan A, Dinçer İ. (2023) Kaya düşmelerinin 3-Boyutlu olasılıksal analizlerle ve ampirik yöntemlerle değerlendirilmesi: Kayseri – Soğanlı yerleşim yeri örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 47, 1-28.
- Wang, Y., Tonon, F. (2011). Discrete element modeling of rock fragmentation upon impact in rock fall analysis. *Rock Mechanics Rock Engineering*, 44, 23-35.
- Wendeler, C., Bühler, Y., Bartelt, P., Glover, J. (2017). Application of three-dimensional rockfall modelling to rock face engineering. *Geomechanics and Tunnelling*, 10 (1).
- Zengin, Ü.B., (2024). Oyaca (Gölbaşı) Çevresindeki Kaya Düşmelerinin Modellenmesi ve Üç Boyutlu Analizi. [Yüksek Lisans Tezi], Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 119 s, Ankara.
- Zhang W, Zhao X, Pan X, Wei M, Yan J, Chen J (2022) Characterization of high and steep slopes and 3D rockfall statistical kinematic analysis for Kangyuqu area, China. *Engineering Geology*, (308), 106807.

Akyayla Dağı'nın Heyelan Morfolojisi ve Heyelan Duyarlılığının CBS Tabanlı Frekans Oranı (FO) Yöntemi ile Analizi (Doğubayazıt / Ağrı)

Landslide Morphology and Susceptibility Analysis of Mount Akyayla Using GIS-Based Frequency Ratio Method (Doğubayazıt / Ağrı)

Hasan SAYIN¹ , Yahya ÖZTÜRK²

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Van

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Van

Geliş (Received): 22/05/2025 / Düzeltme (Revised): 29/06/2025 / Kabul (Accepted): 01/12/2025

ÖZ

Akyayla Dağı, Ağrı Dağı'nın güneyinde Ağrı ilinin Doğubayazıt ilçesinin sınırlarında kalan sedimanter kökenli dağlık bir ünedir. Türkiye-İran sınırını oluşturan dağlık kütlede litolojik, topoğrafik, tektonik ve antropojenik süreçlerden dolayı heyelan gelişimleri oldukça yaygın şekilde görülmektedir. Kütlede 141 heyelan belirlenirken bunların 121'i aktif heyelan, 20'si ise paleoheyelan karakterindedir. Aktif heyelanların 40'ı akma karakterinde heyelan oluşumlarıdır. Dağlık kuşağın yakın çevresinin sismik anlamda oldukça aktif olması, fliş ve karasal kırıntılar gibi heyelana oldukça duyarlı litolojilerin varlığı, topoğrafik eğimin kuzeye doğru yüksek değerler sunması, gelişkin flüvyal drenaj ve antropojenik müdahaleler gibi parametreler heyelan morfolojisinden sorumlu temel etmenlerdir. Yaklaşık 325 km² alana sahip dağlık alanın topoğrafik peyzajının yaklaşık 44,15 km²'sinin heyelanlar tarafından şekillendirildiği hesaplanmıştır. Çalışmada, heyelana etki eden parametreler modelleme sürecine girdi değişkenleri olarak dâhil edilerek, Frekans Oranı (FO) yöntemi kullanılmış ve CBS tabanlı heyelan duyarlılık analizi ile sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma sonuçlarına göre çalışma alanının %9,5'i çok düşük, %22,8'i düşük, %35,7'si orta, %23,5'i yüksek ve %8,5'i çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır. Bölgedeki kültürel-doğal jeositlerin heyelan duyarlılığının yüksek-çok yüksek olduğu bölgelerde konumlandığı görülmektedir. Örneğin Nuh'un Gemisi, İshakpaşa Sarayı, Urartu Kalesi, Selçuklu Camii gibi turistik kaynak değerleri heyelan duyarlılığı yüksek bölgelerde bulunmaktadır. Bu ilişki, mekânsal planlama ve korumada heyelan duyarlılığının dikkate alınmasının gerekliliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, heyelan duyarlılığı, frekans oranı (FO) yöntemi, Akyayla Dağı

ABSTRACT

Mount Akyayla is located on the borders of Doğubayazıt district in Ağrı province, south of Mount Ağrı. Landslides are quite common in the mountainous mass forming the Türkiye-Iran border due to lithological, topographic, tectonic and anthropogenic processes. A total of 141 landslides were identified on the mountain, of which 121 are active landslides and 20 are paleo-landslides. Forty of the active landslides are flow-type landslide formations. The seismically-active mountain environment, the presence of highly landslide-susceptible lithologies such as flysch, high topographic slope values, fluvial drainage and anthropogenic interventions are the main factors responsible for landslide morphology. Approximately 44.15 km² of the topographic landscape of the mountainous area with an

area of 325 km² was calculated to be shaped by landslides. In the study, GIS-based landslide susceptibility analysis and classifications were carried out using the Frequency Ratio Method by determining the proxies for parameters causing landslides. According to the classification, landslide susceptibility is very low for 9.5% of the mass, low for 22.8%, moderate for 35.7%, high for 23.5% and very high for 8.5%. Cultural and natural geosites in the region are located in areas with high to very high landslide hazard. For example, touristic assets such as Noah's Ark, İshakpaşa Palace, Urartu Castle, and Selçuklu Mosque are located in areas with high landslide susceptibility. This indicates the necessity to consider landslide hazards during spatial planning and protection.

Keywords: Landslide, landslide susceptibility, frequency ratio (FR) method, Mount Akyayla

GİRİŞ

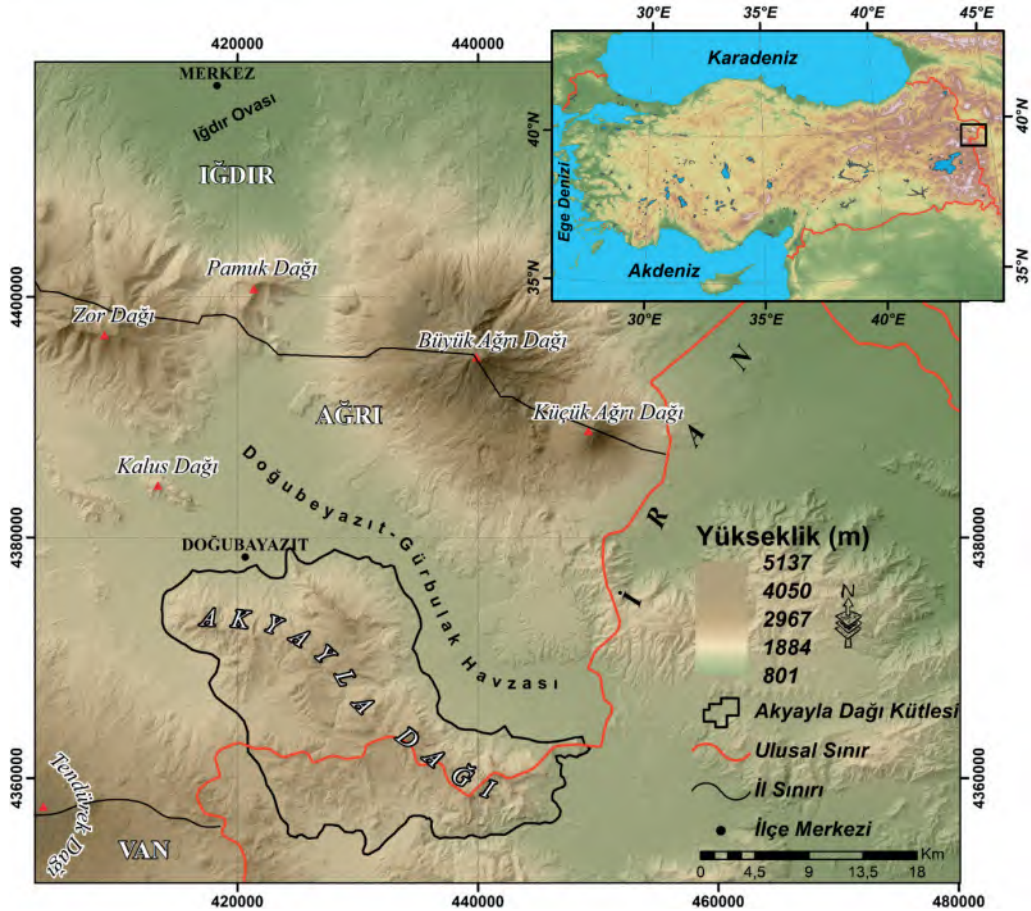
Yer yüzeyinin şekillenmesinde etkili jeomorfolojik sistemlerden biri olan heyelanlar, topoğrafik karakterin (Kasai ve Yamada, 2019; Dunham vd., 2022), iklimik özelliklerin (Haque vd., 2019; Liu vd., 2024; Zhao vd., 2025), litolojik yapının (Safaei vd., 2012; Dağ vd., 2020), tektonik dinamiklerin (Görüm, 2016; Dölek vd., 2023; Köküm, 2021; Türkmen, 2024) ve antropojenik süreçlerin (Tian vd., 2025) iç içe geçmiş denetimi altında gelişirler. Bu kompleks etkiden dolayı heyelan gelişimlerinin salt belirli bir nedeni yoktur. Çoklu denetleyici mekanizmanın yönlendirmesiyle topoğrafya yüzeyini örten regolitin ya da regolitle birlikte anakaya bloklarının eğim aşağı aniden ya da yavaş hareketi heyelan morfolojisi için en karakteristik göstergelerdir (Lutgens vd., 2013). Bu nedenle heyelanlı alanlarda dalgalı topoğrafik peyzaj gelişirken heyelan yarası (aynası), topuk kısmı, gerilme çatlakları gibi yapısal/jeomorfik birimler de diğer tanıttan yapıları temsil eder (Erinç, 2001). Heyelan süreçleri morfolojik desen dışında bitki örtüsü, drenaj sistemleri ve beşerî yapılar üzerinde de etkisini gösterirken, makro heyelan hadiseleri birçok defa katastrofik fenomenlere dönüşmüştür (Ambraseys ve Melville, 1982; Schuster ve Flemming, 1986; Luino, 1999; Kilburn ve Petley, 2003; Öztürk, 2002; Fidan ve Görüm, 2020; Gürsoy vd., 2024). Ani ve büyük hacimli gelişmeleri yıkımcıl heyelanların temel nedeniyken heyelanların önlenememesi

planlamada önleyici mekanizmaların sağlanmasını gerektirmektedir (Deniz ve Sındır, 2001; Öztürk, 2002). Bu bağlamda heyelan envanterlerinin çıkarılması ve heyelana neden olan parametrelerin belirlenmesiyle duyarlılık analizlerinin yapılması son yıllarda oldukça popüler bir yaklaşımdır (Çellek vd., 2015; Sheng vd., 2022; Bozdoğan ve Canpolat, 2022; Cihangir, 2024; Abay vd., 2025). Bunlardan hareketle bu çalışmada da Doğu Anadolu Yüksek Platosu'nun (DAYP) doğusunda, Ağrı Dağı'nın güneyinde, Türkiye-İran sınırını oluşturan Akyayla Dağı'nın heyelan envanteri Çan vd. (2013) tarafından geliştirilen veri tabanının sanal erişim kaynağı olan <https://yerbilimleri.mta.gov.tr/> adresine ve arazi çalışmalarına dayanarak belirlenmiş ve kütlelenin ülkemiz sınırları dahilinde kalan kesimi için frekans oranı (FO) yöntemi kullanılarak duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Diğer CBS tabanlı duyarlılık analizlerinin yanı sıra frekans oranı (FO) yönteminin daha yüksek doğrulukta sonuçlar verebileceğinden dolayı (Becer vd., 2017; Arca ve Kutoğlu, 2017; Öz ve Günek, 2021; Başara ve Şişman, 2022; Başalan ve Demir, 2022; Aydoğan ve Dağ, 2023; Dalkes ve Korkmaz, 2023; Yılmaz, 2023; Demirbilek ve Turoğlu, 2024; Öz, 2025) bu yöntem tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre heyelan duyarlılığının fazla olduğu bölgeler yorumlanmış ve olası heyelan gelişimlerinin yerel beşerî unsur ya da turistik sitlere etkisi değerlendirilmiştir. Literatür araştırmalarına göre kütle dahilinde bulunan ve Nuh'un Gemisi olarak adlandırılan Telçeker

Heyelanı'nın jeomorfolojik özelliklerine değinen araştırmalar mevcuttur (Güner, 1986, Avcı, 2001; Bayraktutan, 2019). Ayrıca Toprak ve Sunkar (2022), Ağrı ilinin doğal afetlerine yönelik gerçekleştirdikleri çalışmalarında Doğubayazıt doğusunun (Akyayla Dağı) yoğun heyelanlı bölgelerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Bunların dışında kütlelerin heyelan morfolojisine bütüncül açıdan yaklaşan herhangi bir çalışmanın gerçekleştirilmediği görülmektedir.

Akyayla Dağı, ülkemizin en doğusunda İran ile kuzey sınırımızı oluşturan dağlardan biridir. Dolayısıyla dağın büyük kısmı ülkemiz

toprakları dahilindeyken geriye kalan kısmı İran sınırlarına girmektedir (Şekil 1). Ülkemiz dahilindeki sınırları Ağrı ilinin Doğubayazıt ilçesinde bulunan dağın uzun eksenini kabaca KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır ve en yüksek noktası 2543 m'dir. Dağın kuzeyli yamaçları tektonik deformasyonlarla ilişkili olarak yüksek eğimliyken güney yamaçlarda eğimin nispeten düşük olduğu görülür. Dağın kuzeyi Doğubayazıt-Gürbulak Havzası'nın (Şaroğlu, 1986) doğu segmentine karşılık gelirken bu havzanın kuzeyi ise Ağrı Dağı Volkanik kompleksi tarafından sınırlandırılmaktadır.



Şekil 1. Akyayla Dağı'nın bölgesel topoğrafik yapı içinde konumu.

Figure 1. Location of Mount Akyayla within the regional topographic setting.

VERİ VE YÖNTEM

Veri Temini ve Haritalama

Çalışmada Akyayla Dağı kütlelerini kapsayan 1:25.000 ölçekli sayısal topoğrafya haritaları (i52d4, i52d3, j52a1, j52a2, j52b1, j52b2) kullanılarak 10 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli verisi (SYM) oluşturulmuş ve haritalama çalışmalarının bazıları bu veriye göre gerçekleştirilmiştir. Heyelan duyarlılık analizinde ise <https://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden temin edilen 30x30 çözünürlüklü SYM kullanılmıştır. Kütlenin sınırı orografik yapıya göre çizilmiş ve kütlelerin İran sınırlarında kalan kesiminde heyelan verisi olmadığı için dağın ülkemiz dahilindeki kesimi analizlere ve haritalandırmalara tabi tutulmuştur. Bölgenin jeolojik özellikleri için fay verisi Emre vd., (2013)'ten, litoloji verisi ise MTA 1:500.000 Ölçekli Van Paftası'ndan temin edilmiştir. Bunun yanında bölgesel sismisitenin anlaşılması adına tarihsel dönem deprem verisi <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> adresinden indirilerek haritalandırılmıştır. Heyelan verileri ise <https://yerbilimleri.mta.gov.tr/> adresinden ve arazi çalışması bulgularından derlenmiştir. Heyelan alanları poligonal alanlar olarak belirlendikten sonra haritalandırılmıştır. Ayrıca heyelanlara dair bazı morfometrik parametreler CBS ortamında hesaplanmış ve sonuçlar gül diyagramı ve korelasyon analizleri şeklinde çıktılarına dönüştürülmüştür. Arazi kullanım tipleri açık kaynaklı CORINE verisinden (<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018?tab=download>) sağlanmıştır (Çizelge 1). Çalışmadaki iklimsel haritalamalar ise MGM Doğubayazıt Meteoroloji İstasyonu verisine göre üretilmiştir. Sıcaklık haritası için yükseldikçe her 200 m'de sıcaklığın 1 °C düşmesi formülü dikkate alınmıştır. Yağış haritası için yükseldikçe her 200 m'de yağışın 54 mm arttığı kuralına

dayanan Schreber formülüne (Dönmez, 1979) başvurulmuştur.

Çalışmada ayrıca heyelan ünitelerinin yüksek eğim koşullarından dolayı oldukça uzamış/ eliptik formda olduklarını doğrulayabilme adına dairesellik ve uzama oranı gibi morfometrik analizler (Denizman, 2003; Goudie, 2003; Basso vd., 2013; Öztürk, 2018) de gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle Akyayla Dağı'ndaki heyelanların gelişim ve evriminde yüksek eğim değerlerinin baskın rolü doğrulanmaya çalışılmıştır. Bu indisler çoğunlukla karstik kapalı depresyonların anlaşılması için kullanılsalar da (Çetinkaya vd., 2023; Seven vd., 2025) volkanizma ve buzullaşma denetimli farklı morfolojik sistemler için de değerlendirilmişlerdir (MacLachlan ve Eyles, 2013; Dóniz-Páez, 2015; Öztürk, 2018; Canpolat ve Turoğlu, 2019). Dairesellik analizine göre sonucun 1'e yaklaşması dairesel jeomorfik paternleri gösterirken, 1'den uzaklaşan değerler dairesel formdan uzak morfolojik yapıları temsil eden nicel bir veridir (Öztürk, 2018). Uzama oranına göre yapılan hesaplamada ise (uzun eksen/kısa eksen) genel olarak sonucun 1,21'den düşük olması dairesel; 1,21 ile 1,65 arası yarı dairesel; 1,65 ile 1,8 arası yarı eliptik; 1,8'den büyük değer ise eliptik (uzamış) geometrik formu karakterize eder (Basso vd., 2013). Çalışmadaki tüm haritalama işlemleri Arcmap 10.5 ve Arcmap 10.8 programında gerçekleştirilmiştir.

Frekans Oranı (FO) Yöntemi

Duyarlılık çalışmaları ve bu çalışmalarda netice olarak ortaya çıkan mekânsal duyarlılık haritaları, çeşitli afetlerin dağılımını anlamak ve mekânsal duyarlılığın derecesini elde etmek için gerçekleştirilen CBS tabanlı çalışmaların başında gelmektedir (Kaya vd., 2025).

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan veri türleri ve kaynakları.

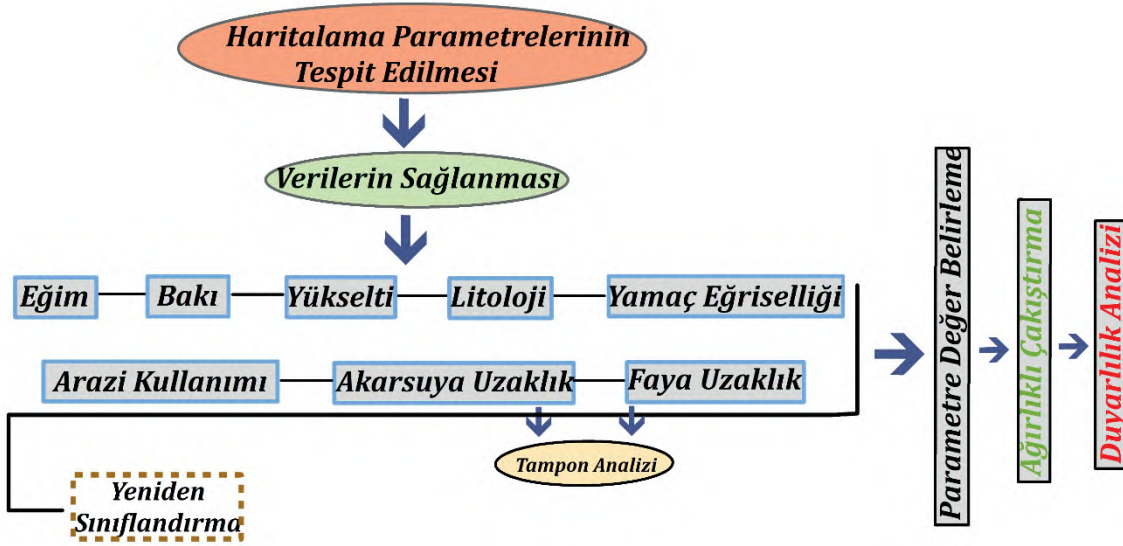
Table 1. Types and sources of data used in the study.

Veri Türü	Kaynak
Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	1/25.000 ölçekli topoğrafya haritaları (i52d4, i52d3, j52a1, j52a2, j52b1, j52b2) https://earthexplorer.usgs.gov/
Jeoloji (litoloji ve fay)	Emre vd., (2013); MTA 1:500.000 Ölçekli Van Paftası
Drenaj Ağı, Bakı, Eğim, Yükseklik, Yamaç Eğriselliği	Sayısal yükseklik modeli (SYM) üzerinden, CBS ortamında farklı modüller
Arazi Kullanımı	https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018?tab=download
Heyelan Envanteri	https://yerbilimleri.mta.gov.tr/ ve arazi çalışmaları
Deprem Verileri	http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/
Klimatik Veriler	MGM, Doğubeyazıt Meteoroloji İstasyonu

Duyarlılık, afet olaylarına etki eden çevre koşulları, topoğrafya ve jeoloji gibi kriterlerin dikkate alınmasıyla, gelecekte söz konusu afetin tehdit edeceği sahaların rölatif tasnifi olarak tanımlanmıştır (Varnes, 1984; Aleotti ve Chowdhury, 1999; Van Westen vd., 2008). Bu tanım, gelişen veya gelişme ihtimali yüksek afetin alansal yayılım, büyüklük, yer ve mekânsal dağılım deseninin ortaya konmasını da kapsamaktadır (Kaya vd., 2025).

Genel olarak duyarlılık analizlerinde değerlendirilen yöntemler, niteliksel ve sayısal metotlar diye iki kategoriye ayrılmaktadır (Guzzetti vd., 1999). Niteliksel yöntemler, araştırmacıların arazi tecrübesine, bilgisel birikimine dayalıyken, sayısal yöntemler genel olarak CBS tabanlı verilerin işlenmesine bağlı süreçleri kapsamaktadır (Kaya vd., 2025). Özellikle doğal afetlere neden olan faktörlerin karmaşık etkilerini anlamak için tasarlanan bu metotlardan biri de Frekans Oranı (FO) Yöntemi'dir (Choi vd., 2012) ve yöntemin ulusal/uluslararası literatürde oldukça yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir (Li vd., 2017; Dağdelenler, 2020; Ullah ve Zhang, 2020; Kılıçoğlu, 2020; Karaman vd., 2022). Bu

metotta, değerlendirilecek afeti şekillendiren parametrelerin hepsi alt sınıflara ayrılmaktadır ve parametrelerin sınıflarında frekans oranı değerleri belirlenir. Sonuçta elde edilen parametrik harita çıktıları çakıştırılarak duyarlılık haritaları üretilir (Dağ ve Bulut, 2012). Elde edilen FO değerleri ve ilgili çıktılar, bölgesel heyelan duyarlılığının anlaşılmasını sağlarken, heyelan duyarlılığının mekânsal derecelendirilmesiyle afetin boyut ve kapsamının tahmini kolaylaşmaktadır. Duyarlılık analizlerinde heyelana neden olan süreçlerin doğru seçilmesi gerekmektedir, aksi takdirde analiz sonuçlarına göre yanlış duyarlılık çıktıların oluşacağı bilinmektedir (Samia vd., 2017; Cihangir, 2024). Bu nedenle Akyayla Dağı'nın heyelan duyarlılığı için de kütlede heyelana neden olan 8 temel parametre belirlenmiş ve analizlerde girdi parametresi olarak değerlendirilmiştir. Bu sekiz parametre dışında bazı sınırlı sayıda heyelan nedenleri bulunsada bu etmenler genel eğilimleri temsil etmedikleri için analiz kapsamına alınmamıştır. Kütlede heyelan duyarlılığı belirlenirken eğim, bakı, yükseklik, litoloji, yamaç eğriselliği, arazi kullanımı, akarsuya uzaklık ve faya uzaklık gibi kriterler dikkate alınmıştır (Şekil 2, Tablo 1).



Şekil 2. FO yöntemi için genelleştirilmiş iş akış şeması (Kaya vd., 2025'ten yeniden düzenlenerek).

Figure 2. Generalized workflow diagram for the frequency ratio method (modified from Kaya et al., 2025).

Doğruluk Analizi

Heyelan duyarlılık analizinin doğruluğu ROC (Alıcı İşletim karakteristiği) yöntemi ile değerlendirilmiştir. ROC sınıflandırma performansını değerlendirmek için kullanılan bir analiz tekniğidir. ROC analiziyle yanlış pozitif ve doğru pozitif oranları hesaplanarak ROC eğrisi oluşturulur. Yatay eksen yanlış pozitif oranı (1-özgüllük) ve dikey eksen doğru pozitif oranını (duyarlılık) temsil edecek şekilde her eşik için bir nokta işaretlenir ve bu noktalar birleştirilerek ROC eğrisi elde edilir (Mas vd., 2013). ROC eğrisi altında kalan alanın (AUC: Area Under the Curve) değeri 0,5 ila 1 arasında değişir. AUC değerinin 1 olması mükemmel uyumu, 0,5 olması ise rastgele uyumu gösterir. AUC değeri ne kadar büyükse uyum o kadar iyidir (Deng vd., 2017). AUC değer ölçeğine göre (Mandrekar, 2010) 0,70'in üzerindeki AUC değeri, iyi bir uyum gösterdiği ve yeterli olduğu anlamındadır. ROC eğrisi altında kalan alan, heyelan olması muhtemel olan alanlarla, heyelan olmaması

beklenen alanları ayırt edebilme başarısının en iyi göstergelerinden kabul edilmektedir (Chung ve Fabbri, 2003; Günini ve Öztürk, 2021). Buna göre mevcut heyelan envanteri alanlarına rastgele noktalar atılmış ve duyarlılık analizi için test verisi oluşturulmuştur. Oluşturulan ROC eğrisi üzerinde kalan ve değerin 1'e yaklaşması oranında modelin doğruluk oranı yükselir (Shirzadi, 2017). Bu çalışmada ROC yöntemi için verilerin %80'i eğitim, %20'si ise test verisi olarak ayrılmıştır.

DOĞAL ORTAM ÖZELLİKLERİ

Akyayla Dağı, DAYP doğusunda konumlanan ve bölgesel yaygın neovulkanik hareketlerden (Savcı, 1980; Şengör vd., 2003; Keskin, 2007) etkilenmeyen sedimanter kökenli bir yükselim karakterindedir (Şekil 3). Dağın uzun eksenı yaklaşık 40 km'dir ve KB-GD doğrultulu uzanım sunmaktadır. Akyayla Dağı tektonik deformasyon zonları

açısından farklı sistemlerin kesiştiği bir noktaya karşılık gelmektedir. Nitekim dağın kuzey ve kuzeydoğusu Doğubayazıt Fay Zonu (Şaroğlu, 1986; Emre vd., 2013; Çakar, 2023) tarafından denetlenmektedir. Dağın merkezi kesiminde ve kuzey kanatlarında bu zona ait fay kolları geçmektedir (Şekil 3). Dağın batısı ise Balıkgöl Fay Zonu tarafından sınırlandırılır ve denetlenir (Özgül vd., 1983; Şaroğlu, 1986; Emre vd., 2013; Mutlu, 2022; Nar, 2023). Her iki tektonik sistem, at kuyruğu fayı şeklinde gelişen tektonik bir zonun segmentleridir ve güneydoğu yönünde uzanarak İran topraklarında farklı adlarla tanımlanmış faylarla birleşmektedir (Karakhanian vd., 2002; Karakhanian vd., 2004).

Akyayla Dağı'nın kuzeyi neotektonik dönemle birlikte gelişen kabaca D-B eksenli senklinal sahalarından biri olan Doğubayazıt-Gürbulak Havzası'yla sınırlandırılır (Şaroğlu, 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Gürbüz ve Şaroğlu, 2019). Bu havza, Aras Dağları ve Ağrı Dağı volkanizması tarafından ikiye ayrılan paleo-Ağrı Havzası'nın (Gürbüz ve Şaroğlu, 2019) güney segmentini temsil eder ve günümüzde büyük bir tektono-sedimanter yapıya karşılık gelir. Havza, sonraki jeolojik süreçte Doğubayazıt sağ yanal fayının deformasyonundan dolayı çek-ayır havzaya evrilmiştir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986). Bu bağlamda Akyayla Dağı, paleo-Ağrı Havzası olarak belirtilen eski bir senklinalin deforme olmuş, kuzeye eğimli güney kanatları konumundadır.

Akyayla Dağı sedimanter kökenli olduğu için kütle dahilinde volkanik veya metamorfik birimlere rastlanmaz. Bunun yanında kütlede Üst Kretase ile Kuvaterner arasında değişen zaman aralığında farklı litolojik birimler yaygındır ve bunların başında Üst Kretase ofiyolitik melanji gelir (Şekil 3). Birim, Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı (Şengör vd., 2003) ürünüdür ve

topoğrafyada açık pembe, koyu kırmızı renk tonlarıyla belirgindir (Şekil 4, Fotoğraf 1 ve 2). Alt Miyosen karasal kırıntılıları ve neritik kireçtaşları ise kütledeki diğer yaygın litolojik birimleri temsil eder (Şekil 3).

2543 m yüksekliye sahip Akyayla Dağı'nın kuzeyi ile güneyi arasında asimetrik yamaç profili gelişmiştir (Şekil 4). Bunda dağın kuzey kanatlarının Doğubayazıt-Gürbulak Havzası'nın morfojenetik gelişimini de denetleyen tektonik hareketlerle deforme olması en temel neden olarak değerlendirilmektedir.

Kütle dahilinde herhangi bir meteoroloji istasyonu bulunmadığından dağın iklimik analizi literatüre ve Doğubayazıt Meteoroloji İstasyonu verilerine göre sağlanmıştır. Buna göre kütlede zirveye doğru sıcaklık değerlerinin 4 °C'ye kadar düştüğü (Şekil 5a), yağış miktarının ise 580 mm'ye dek çıktığı (Şekil 5b) görülmektedir. Bu nedenle Akyayla Dağı kütleğinde Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Dfb (ılık yaz, nemli karasal iklim) iklim karakteri görülmektedir (Taşoğlu vd., 2024).

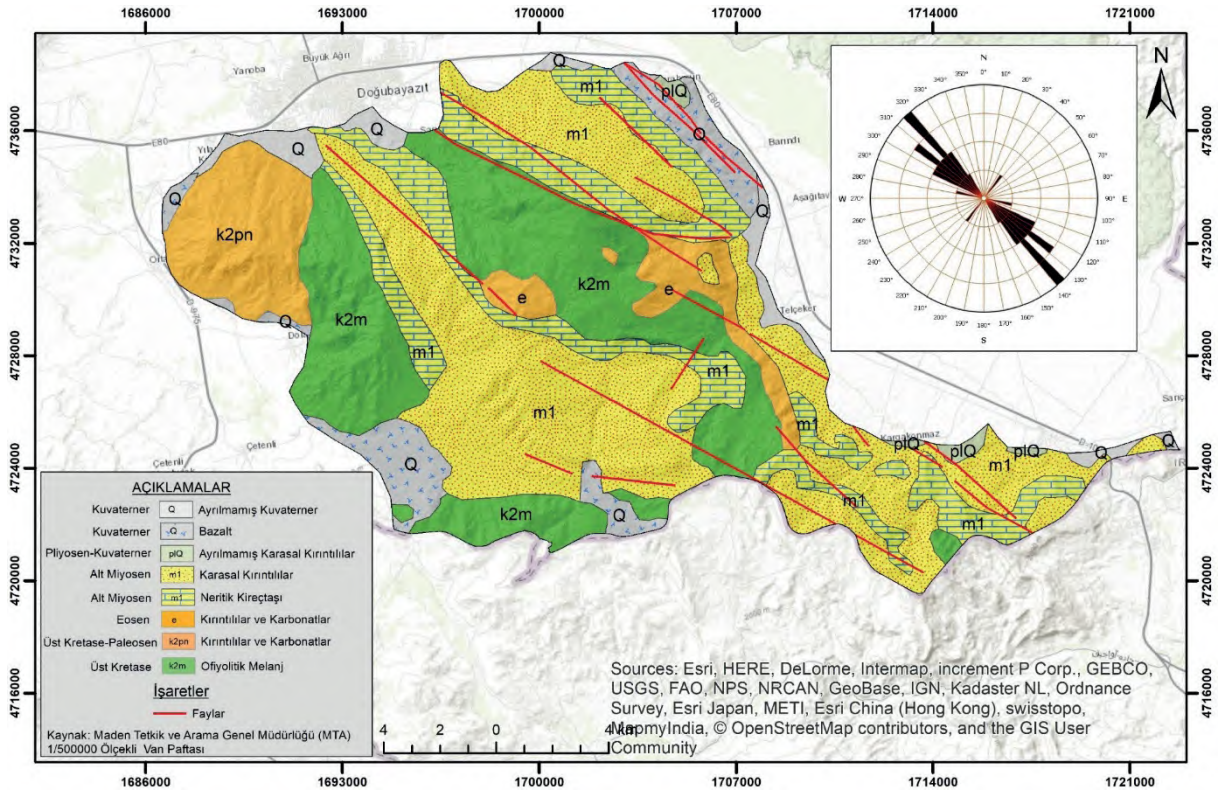
BULGULAR

Akyayla Dağı'nın Heyelan Envanteri ve Heyelan Morfolojisini Denetleyen Süreçler

Akyayla Dağı'nın heyelan gelişimi açısından elverişli petrografik karakter sunan karasal kırıntılılar ve ofiyolitik melanji gibi litolojilerce zengin olması (Şekil 3), dağın sismik anlamda aktif bir zonda bulunmasına bağlı olarak bölgesel deprenselliğin yoğun olması, yüksek yamaç eğimleri, yaygın flüvyal drenaj ağı ve antropojenik süreçler gibi parametrelerden dolayı çok sayıda irili/ufaklı heyelan olayı gelişmiştir (Şekil 6-7). Heyelanların özellikle K, KD ve D yamaçlarda gelişmesi ve büyük oranda K, KD yönüne ilerlemeleri, heyelan gelişmesi ve

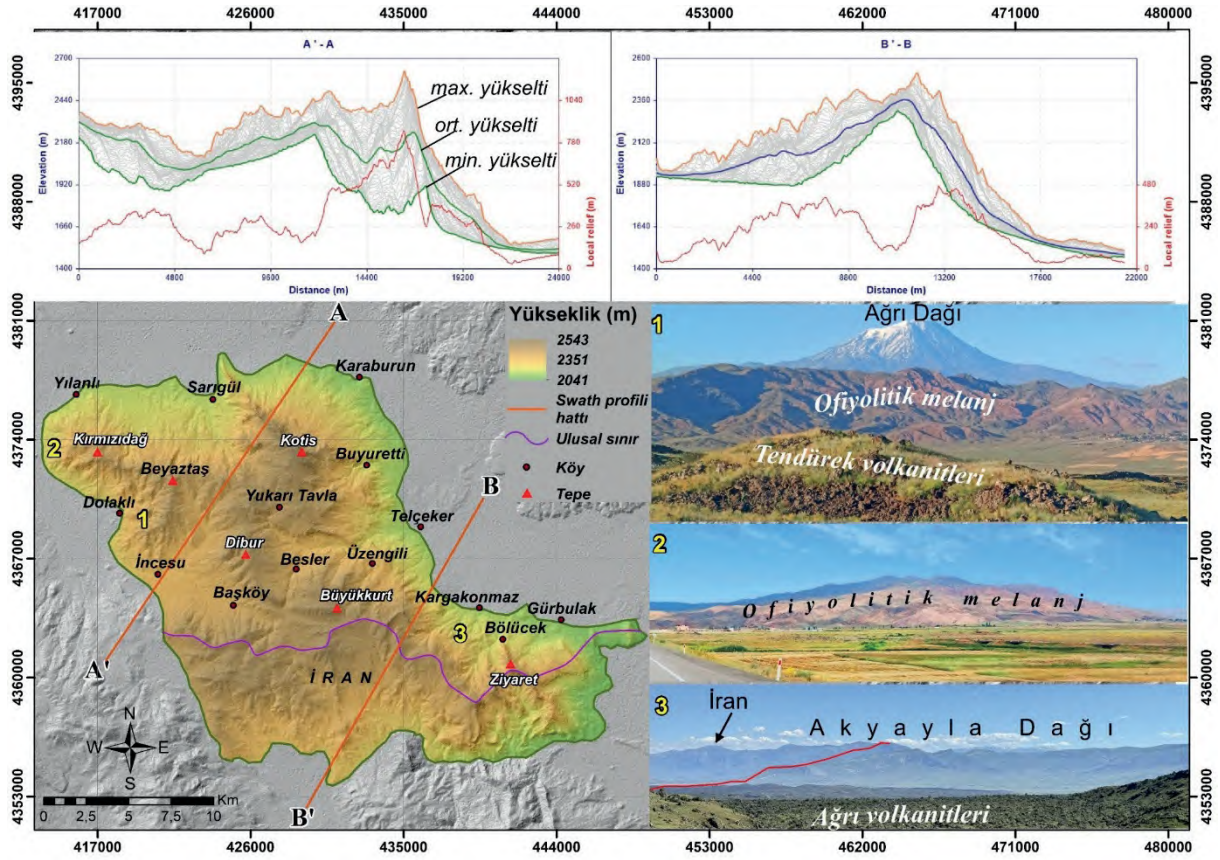
yönlendirilmesinde dağın eğim yönünün oldukça baskın olduğunu kanıtlamaktadır. Kütlede <https://yerbilimleri.mta.gov.tr/> adresinden ve arazi çalışmalarından derlenen verilere göre 141 heyelan gelişmiştir (Şekil 6). Bunlardan 81'i aktif, 20'si ise paleo karakterli heyelanken 40 tanesinin akma tipinde gelişim sağladığı görülür. Yaklaşık 325 km²'lik kütle dahilinde

aktif heyelanlar 26,98 km², paleoheyelanlar 10,21 km², akma tip hareket alanları ise 6,96 km²'lik alana sahiptir. Bu veriler, kütlede yaklaşık 44,15 km²'sinin heyelanlı olduğunu, dolayısıyla dağın topoğrafik peyzajının yaklaşık %14'ünün heyelanlar tarafından şekillendiğini yansıtmaktadır.



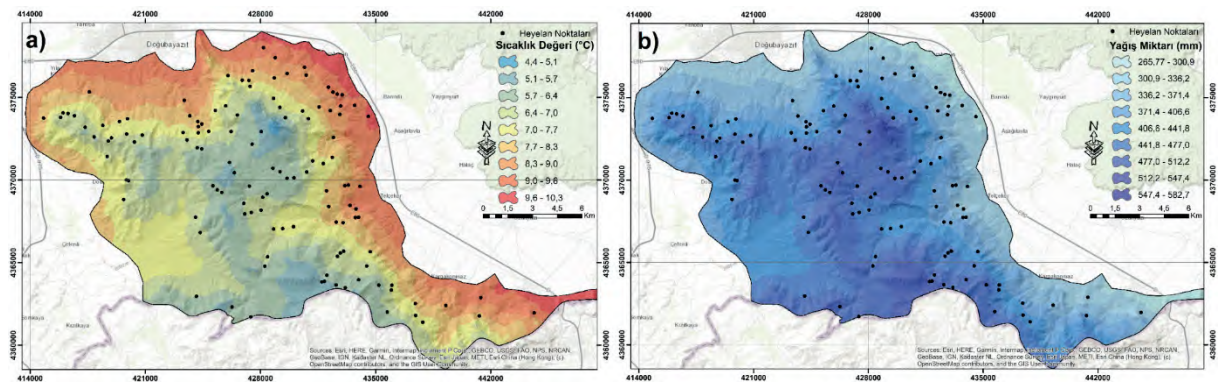
Şekil 3. Akyayla Dağı'nın jeoloji haritası (Fay verileri Emre vd., (2013)'ten; litoloji verileri ise MTA 1:500.000 Ölçekli Van Paftası'ndan alınmıştır. Gül diyagramı fayların uzun eksenlerini göstermektedir.)

Figure 3. Geological map of Mount Akyayla (Fault data are from Emre et al. (2013); lithological data are from MTA 1:500.000 Scale Van Map. The rose diagram shows the long axes of the faults).



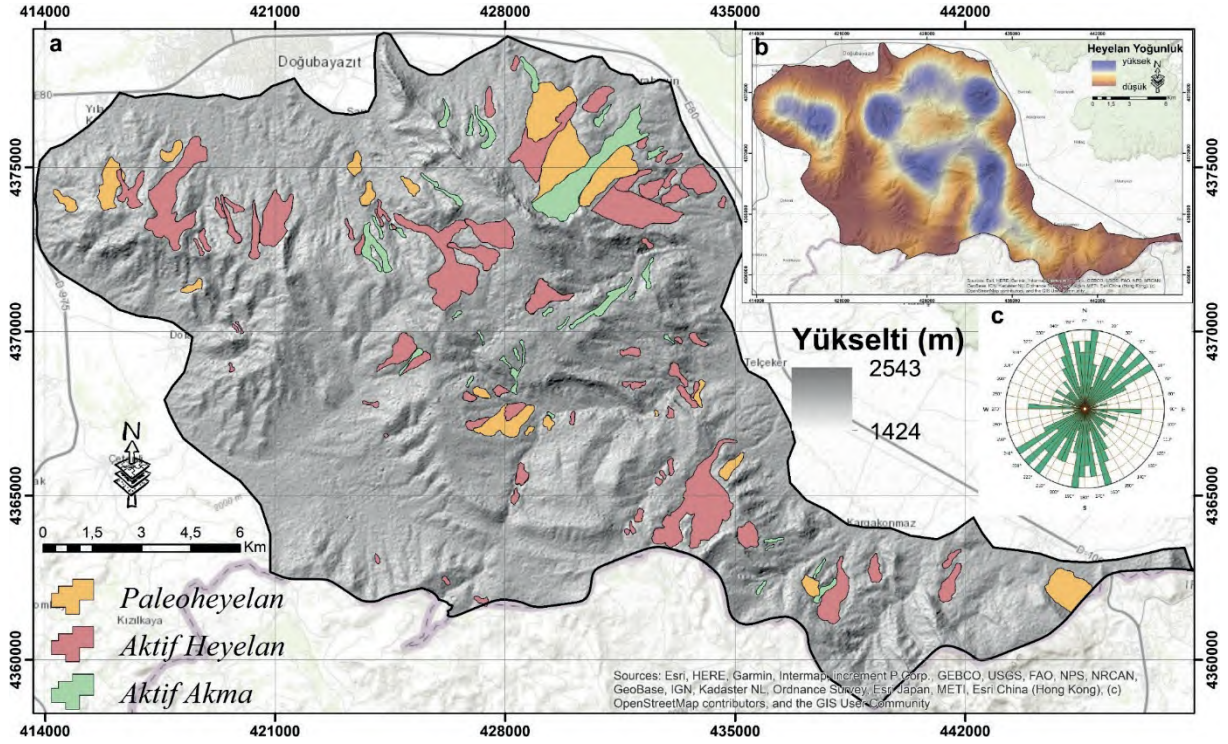
Şekil 4. Akyayla Dağı'nın topoğrafik yükseklik haritası ve örnek Swath profilleri.

Figure 4. Topographic elevation map of Mount Akyayla and sample Swath profiles.



Şekil 5. Akyayla Dağı kütlesinin; a) yıllık ortalama sıcaklık dağılımı haritası, b) yıllık toplam yağış miktarı dağılımı haritası (Kaynak: MGM).

Figure 5. a: Annual average temperature distribution map, b: Annual total precipitation distribution map for Mount Akyayla (Source: MGM).



Şekil 6. Akyayla Dağı'nda; a: heyelan türlerinin kütleye göre dağılımı, b: kütlede heyelanların yoğunluk haritası, c: kütledeki heyelanların hareket ettikleri yönler göre gül diyagramı.

Figure 6. a: Distribution of landslide types according to mass, b: density map of landslides, c: rose diagram of landslides according to the directions in which they move.

Topoğrafik özellikler

Topoğrafik özellikler, yüksekliğin artmasına ve eğim koşullarının değişmesine bağlı olarak dağların iklimatik özelliklerini modifiye eden bir parametredir. Eğim, yükseklik, bakı ve yamaç eğriselliği gibi farklı süreçleri kapsayan topoğrafyanın değişen koşulları heyelan morfolojisi üzerinde de kendini göstermektedir. Akyayla Dağı'nın en alçak kesimi, dağın kuzey yamaçta Doğubayazıt-Gürbulak Havzası ile birleştiği noktada yer alır. Buradan itibaren aniden artan yükseklik zirvede 2543 m'ye kadar çıkmaktadır. Kısa mesafede artan röliyef, eğimli yamaç morfolojisiyle de birleşince gravite etkisinin şiddetlenmesine dolayısıyla heyelanların ince-uzun patern sunmalarına

neden olmaktadır (Şekil 6 ve 8). Nitekim dağın kuzey sektörlü yamaçlarında tektonik dislokasyonlardan dolayı eğim değerleri nispeten yüksektir. Topoğrafyanın bu karakteri bakı koşullarını da etkileyerek kuzeyli yamaçların daha nemli kalmasını sağlamıştır. Bu alanda göreceli düşük güneş radyasyonundan dolayı uzun dönemli nemlilik, regolit ve anakaya bloklarının hareketini kolaylaştırıcı bir parametreye dönüşmüştür. Bunların yanı sıra yamaç eğriselliği de heyelanların gelişim ve evrimini denetleyen bir diğer topoğrafik özelliktir (Çellek, 2024). Akyayla Dağı'nda özellikle iç bükey yamaçların heyelan aktivitesi açısından zengin olduğu görülmektedir. Bunda özellikle iç bükeyli yamaçlarda üst kotlarda kalın regolitin varlığı ve yüksek gravite etkilidir.



Şekil 7. a: Akyayla Dağı'nda "Nuh'un Gemisi" olarak bilinen heyelan ünitesinin drone görüntüsü, b: Akyayla Dağı'nda karışık tip akma yapısı sunan heyelanlı bölgede dalgalı topoğrafya ve arka planda dik şev oluşturan kireçtaşı, c ve d: kütlede aktif akmadan dolayı ağaç gövde ve köklerinde gelişen deformasyon (kanca yapısı) ve regolitte gerilme çatlağı örnekleri, e: dağda heyelan gelişimini tetikleyen Doğubayazıt Fay Zonu'na ait bir fay kolunun geliştirdiği fay aynası. Fay aynası, fayın yan alımının yanında eğim atım bileşeni sergilemesiyle gelişmiştir, f: Akyayla Dağı'nda heyelanların sıklıkla geliştiği fliş litolojisinden görünüm.

Figure 7. a: Drone image of the landslide unit known as 'Noah's Ark' on Mount Akyayla, b: Undulating topography and limestone forming steep slopes in the background in the landslide area of Mount Akyayla, c and d: Deformation of tree trunks and roots (hook structure) and examples of stress cracking in soil due to active flow, e: Fault mirror developed by a fault branch of the Doğubeyazıt Fault Zone that triggered landslide development in the mountain. The fault mirror was developed on a fault exhibiting an oblique thrust component in addition to lateral thrust. f: View of the flysch lithology where landslides frequently develop on Mount Akyayla.

Litoloji ve tektonizma

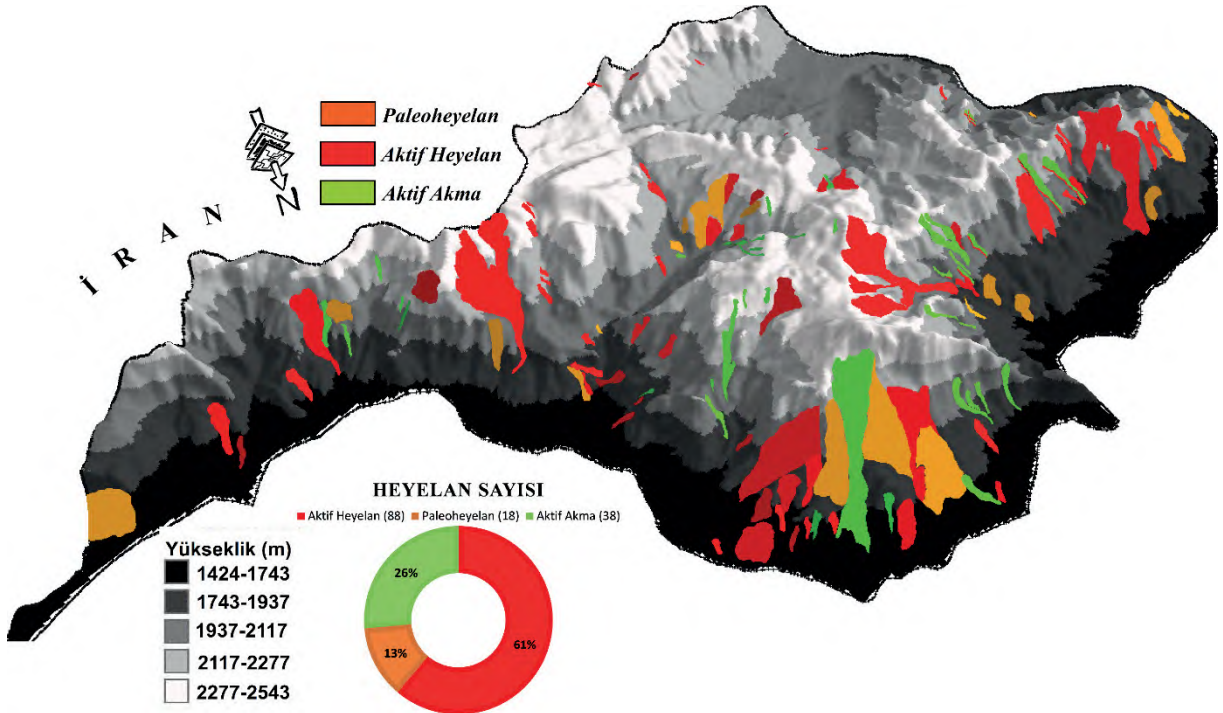
Kompleks bir mekanizmayla gelişen heyelanlar, bazı litolojik birimlerde daha karakteristik morfolojiler üretirler. Örneğin kumtaşı, kiltası ve marn gibi kayaç türleri heyelanlar açısından oldukça elverişli petrografik özelliklere sahiptirler. Nitekim bu tür kayaçlarda kil gibi geçirimsiz elemanlar oldukça kalın seviyeler oluşturabilir. Bu tür kayaçlarda sürtünme katsayısı düşüken

dayanıklılığın az olduğu görülür (Dölek vd., 2023). Akyayla Dağı'nda bulunan kayaç türlerinin çoğu (Şekil 3), heyelan oluşum ve gelişimi açısından elverişli petrografiye sahiptir. Örneğin çeşitli jeolojik yaştaki ofiyolitik birimler ve karasal kırıntılar dahilinde bulunan geçirimsiz özellikteki kil türleri, zemin sızdırmazlığını artırmaktadır. Burada özellikle fliş seviyelerinin varlığı (Şekil 7f) Anadolu'nun çoğu yerinde olduğu gibi (Taşdemiroğlu, 1970) heyelan

gelişimini tetikleyen baskın faktörlerdendir. Bölgedeki volkanik kökenli Ağrı, Tendürek ve Aras dağlarının Akyayla Dağı'ndan daha nemli iklimlere sahip olmasına ve bu dağlık bölgelerin daha geniş jeomorfik üniteler oluşturmalarına rağmen heyelan oluşumlarının bu dağlarda neredeyse hiç gelişmemesi litolojinin oldukça önemli olduğunu doğrular niteliktedir.

Akyayla Dağı'nda uygun petrografik karakterin yanı sıra bölgesel sismisitenin de yoğun olması heyelan gelişimini tetikleyen bir parametredir. Bölge, tektonik açıdan Balıkgöl ve Doğubayazıt fay zonlarının kontrolü altındadır. Bu faylar, yukarıda da ifade edildiği üzere sağ yanal atım özelliği gösteren ancak yer yer eğim atım bileşenine de sahiptir (Emre vd., 2013; Mutlu, 2022; Nar, 2023; Çakar, 2023). Bunun

yanında tarihsel ve aletsel dönem deprem kataloglarına göre bölgesel sismisite oldukça yoğundur. Nitekim Mutlu (2022) tarafından hazırlanan doktora tezinde bölgedeki depremlere yönelik kapsamlı bir veri tabanı sunulmuştur. Sismik hareketlilik heyelan gelişim dinamiğinin tetiklenmesine de neden olduğu için (Görüm vd., 2011; Avcı ve Sunkar, 2018; Köküm, 2021) bölgenin aletsel dönem depremleri haritalanarak deprem yoğunluğu haritası üretilmiştir (Şekil 9). Elde edilen bulgular özellikle dağın güneyinde konumlanan Balıkgöl Fay Zonu'nun sismik açıdan oldukça aktif olduğunu göstermektedir. Ayrıca benzer şekilde dağın kuzeydoğusu ve doğusunda da Doğubayazıt Fay Zonu'ndan dolayı yüksek sismik aktivitenin varlığı dikkati çeker.



Şekil 8. Akyayla Dağı'nda heyelanların 3D topoğrafya üzerinden görünimleri.

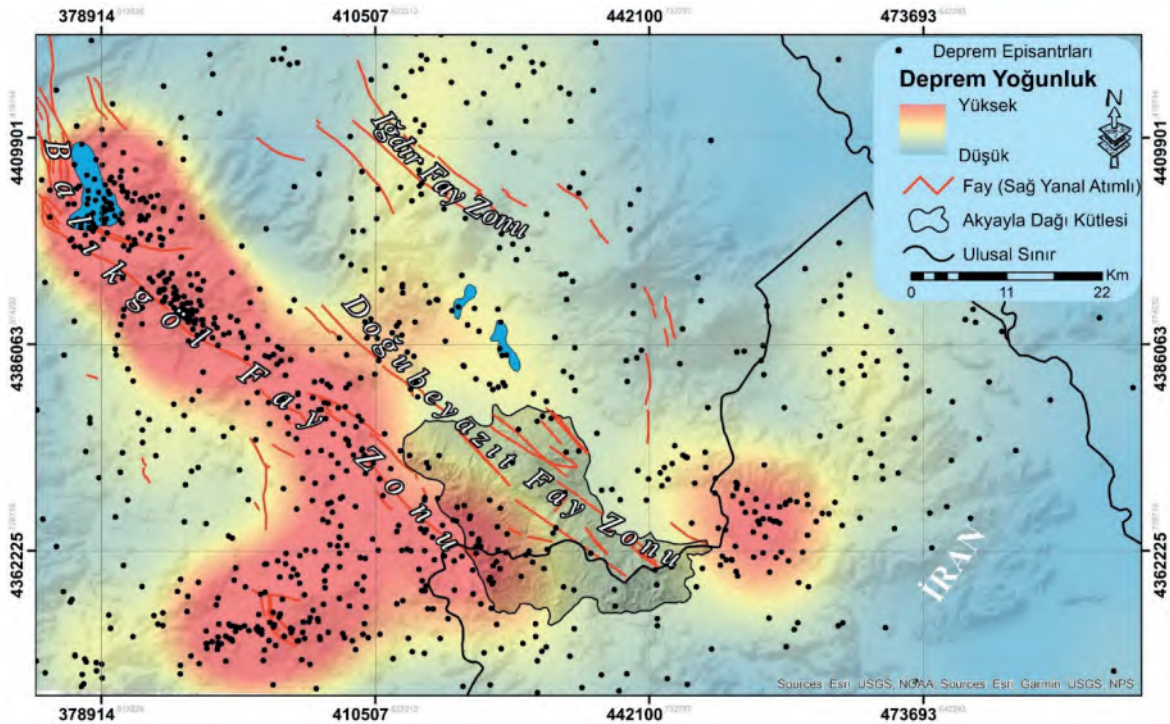
Figure 8. 3D topographic views of landslides on Mount Akyayla.

Bu parametre, dağın özellikle kuzey yamaçlarında duraysız karakterdeki kütlelerin titreşimlerle hareketlenerek heyelan gelişimine neden olabileceği şeklinde değerlendirilmektedir. Nitekim Ambraseys ve Melville (1982) tarafından oldukça katastrofik 1840 depreminin bölgede binlerce heyelan olayına neden olduğu aktarılmıştır. Benzer söylem, Akyayla Dağı'ndaki en önemli heyelan ünitelerden biri olan Telçeker Heyelanı için de ifade edilmiş ve heyelanın 1949 depremini takiben geliştiği aktarılmıştır (Bayraktutan, 2019). Şaroğlu ve Güner (1981) ve Öztürk (2020) Balıkgöl Fay Zonu'nun etki sahasında farklı heyelan gelişimlerinin olduğunu bildirmişlerdir. Tüm bunlar Akyayla Dağı'nda sismik aktivitenin heyelan gelişimi

açısından oldukça belirleyici bir olgu olduğunu doğrulamaktadır.

Drenaj sistemi

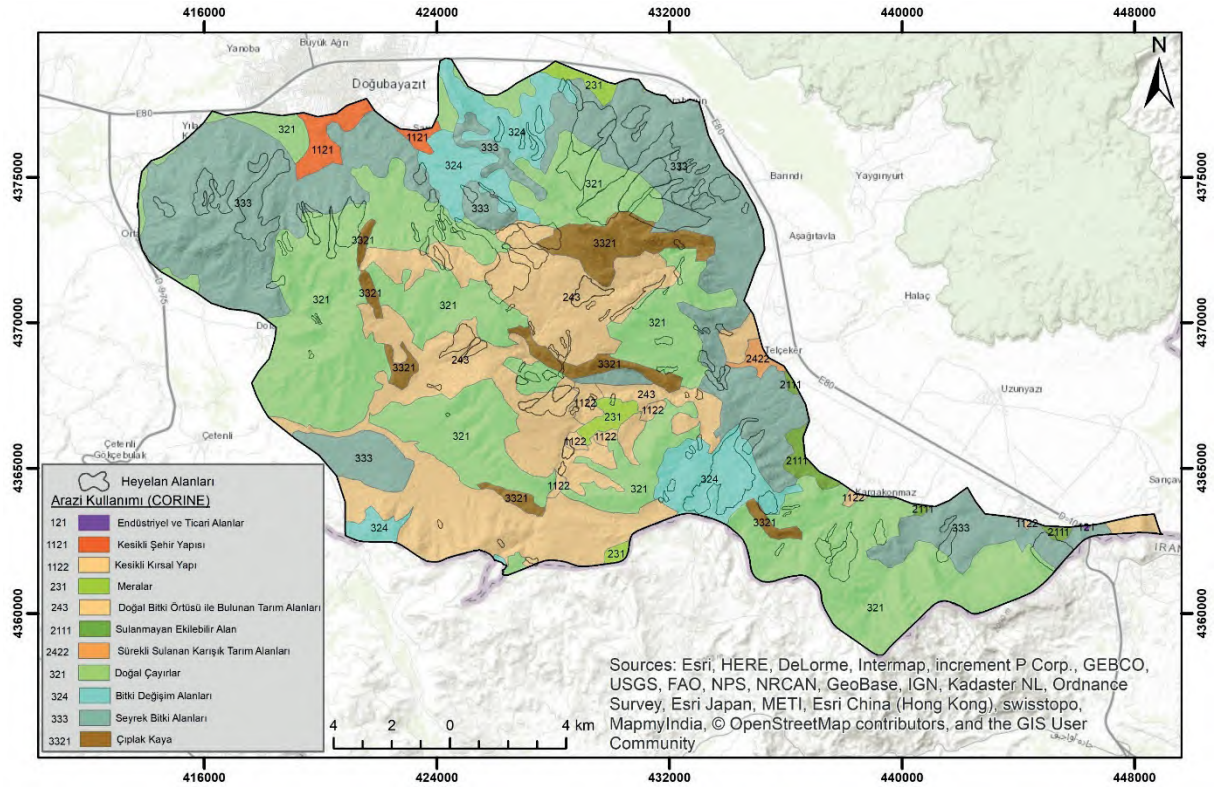
Flüvyal erozyonun özellikle yamaç stabilitesini bozmasından dolayı yamacın duraysızlaşan üst kesimlerindeki regolit, vadi tabanlarına doğru akabilmektedir. Heyelan gelişimi ile vadi morfolojisi arasındaki bu ilişki, flüvyal erozyonun kütle hareketlerinin morfojenezindeki etkisini yansıtır (Atalay, 1974-1977; Perinçek, 2016). Bu nedenle, vadi morfolojisinde akarsuların erozyon şiddetinin fazla olduğu kesimleri heyelan duyarlılığı açısından kritik bölgelerdir (Ercanoğlu, 2003; Ercanoğlu ve Avcı, 2024).



Şekil 9. Akyayla Dağı çevresindeki aktif faylar ve bölgesel sismisitenin yoğunluk haritası. (Faylar Emre vd., (2013)'ten, deprem verileri ise <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> adresinden temin edilmiştir).

Figure 9. Active faults and regional seismicity intensity map around Mount Akyayla (Faults were obtained from Emre et al. (2013) and earthquake data were obtained from <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>).

Figure 10. Distribution map of the drainage network according to landslide areas on Mount Akyayla.



Şekil 11. Akyayla Dağı'nın CORINE verisine göre arazi kullanım tiplerinin dağılımı.

Figure 11. Distribution of land use types on Mount Akyayla according to CORINE data.

FO Yöntemiyle Akyayla Dağı'nda Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler

Çalışmada, kütlede heyelan gelişimine neden olan faktörler belirlendikten sonra nedenlerin sayısallaştırılmasıyla parametrik veriler üretilmiştir (Çizelge 2). Dağ genelinde heyelanların morfojenetik evrimini denetleyen başlıca parametreler; yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, faylara uzaklık, akarsuya uzaklık,

litoloji ve arazi kullanımıdır. Bunlara ait değerler belirlenerek haritalandırılmıştır (Şekil 20). Değerlendirmeye alınan bu 8 heyelan hazırlayıcı parametreye ait veriler FO yöntemiyle analize tabi tutulmuştur. Bu şekilde ilişkilendirme sağlanırken dağda geliştiği çeşitli veri kayıtlarıyla tespit edilen 141 heyelanın kapladığı alanlar baz alınmış ve duyarlılık söz konusu referanslara dair sayısallaştırılmış parametrelere göre hesaplanmıştır.

Sayın, Öztürk

Çizelge 2. Çalışmada FO yöntemi için ele alınan parametreler ile değerleri (HP: Heyelanlı piksel adedi, AP: Alandaki piksel adedi, FO: Frekans Oranı, NFO: Normalize Frekans Oranı).

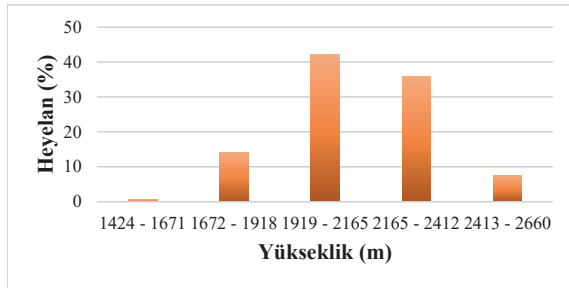
Table 2. Parameters considered for the FR method and their values (HP: Number of landslides, AP: Number of pixels in the area, FO: Frequency Ratio, NFO: Normalized frequency ratio).

Yükseklik	Sınıflar	AP	%	HP	%	FO	NFO
1	1424 - 1671	34628	10	181	1	0.058436233	0.03
2	1672 - 1918	83074	23	4462	14	0.600475773	0.29
3	1919 - 2165	108664	31	13438	42	1.382547289	0.66
4	2165 - 2412	116999	32	11402	36	1.089506769	0.52
5	2413 - 2660	12698	4	2366	7	2.083101652	1.00
Toplam		356063	100	31849	100		
Eğim							
1	0 -8	94278	26	6179	19	0.732721407	0.44
2	9 -14	117588	33	10500	33	0.998291426	0.60
3	15 -21	87111	25	8340	26	1.07034577	0.64
4	22 -31	44778	13	4996	16	1.247351299	0.75
5	32 -70	12308	3	1834	6	1.665876837	1.00
Toplam		356063	100	31849	100		
Bakı							
1	Düz	66	0	3	0	0.50816923	0.37
2	K	65667	18	5836	18	0.993571563	0.72
3	KD	73373	21	9019	29	1.374210164	1.00
4	D	46702	13	4613	14	1.104279528	0.80
5	GD	29326	8	2421	8	0.922939015	0.67
6	G	26712	8	2000	6	0.837056235	0.61
7	GB	31241	9	2649	8	0.947955776	0.69
8	B	36688	10	2725	9	0.830373565	0.60
9	KB	46288	13	2583	8	0.623859849	0.45
Toplam		356063	100	31849	100		
Eğrisellik							
1	-10.2 - - 1.31	27074	8	2745	9	1.133498553	1.00
2	-1.32 - 0.60	191593	53	16621	52	0.969858905	0.86
3	0.61 - 15.4	137396	39	12483	39	1.015724498	0.90
Toplam		356063	100	31849	100		
Faylara Uzaklık							
1	200	40913	11	4723	15	1.290588127	0.98
2	400	38716	11	4548	14	1.313291159	1.00
3	800	69967	20	7837	26	1.252240194	0.95
4	1000	27350	8	2616	8	1.06932927	0.81
5	2000	82944	23	5822	18	0.784726414	0.60
6	4000	52057	15	3344	10	0.718154983	0.55
7	8000	44116	12	2959	9	0.749859474	0.57
Toplam		356063	100	31849	100		
Litoloji							
1	Ofiyolitik Melanj	88793	25	9529	30	1.199774544	0.83
2	Kırıntılılar ve Karbonatlar	43011	12	5567	17	1.447013981	1.00
3	Neritik Kireçtaşı	60826	17	6901	22	1.268392939	0.88
4	Karasal Kırıntılılar	126998	36	9667	30	0.850992794	0.59
5	Bazalt	22835	6	176	1	0.086167342	0.06
6	Ayrılmamış Kuvaterner	10961	3	0	0	0	0.00
7	Ayrılmamış Karasal Kırıntılılar	2639	1	9	0	0.038127134	0.03
Toplam		356063	100	31849	100		

Çizelge 2. Devamı.

Table 2. Continued.

Akarsulara Uzaklık							
1	200	133507	37	10885	34	0.911540935	0.55
2	400	105676	30	8394	26	0.888064233	0.54
3	800	102098	29	10805	34	1.183203149	0.72
4	1000	10741	3	1589	5	1.653982694	1.00
5	2000	3319	1	176	1	0.592866889	0.36
6	4000	739	0	0	0	0	0.00
Toplam		356080	100	31849	100		
Arazi Kullanımı							
1	Bitki Değişim Alanları	25530	7	2233	7	0.977842601	0.42
2	Seyrek Bitki Alanları	98657	28	6988	22	0.791873915	0.34
3	Meralar	3591	1	128	0	0.398497508	0.17
4	Doğal BÖ ile Bulunan Tarım	75201	21	6243	20	0.928112806	0.40
5	Çıplak Kaya	14665	4	3040	10	2.317515044	1.00
6	Kesikli Kırsal Yapı	3045	1	620	2	2.276331134	0.98
7	Endüstriyel ve Ticari Alanla	69	0	0	0	0	0.00
8	Doğal Çayırliklar	127738	36	12440	39	1.088757887	0.47
9	Sürekli Sulanan Karışık T	1059	0	0	0	0	0.00
10	Sulanmayan Ekilebilir Alan	2479	1	157	0	0.708034095	0.31
11	Kesikli Şehir Yapısı	4029	1	0	0	0	0.00
Toplam		356063	100	31849	100		

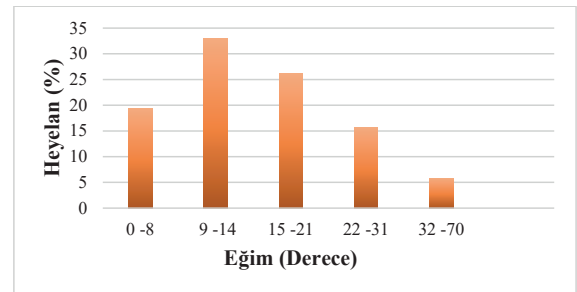


Şekil 12. Akyayla Dağı'nda yükseklik-heyelan ilişkisi grafiği.

Figure 12. Elevation-landslide relationship graph for Mount Akyayla.

Yükseklik: Akyayla Dağı'nda özellikle 1670 ile 2400 metre arasında heyelan olaylarının yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 12). Çalışma alanındaki heyelan-yükseklik ilişkisini belirlemek amacıyla alana ait sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak alanın yükseklik haritası üretilmiştir. Bu yükseklik aralığı ile heyelan

olaylarının gelişim frekansı arasında kuvvetli bir ilişki olmasa da söz konusu yükseklik aralığında nemlilik koşullarının heyelan oluşumlarını denetlediği düşünülmektedir.

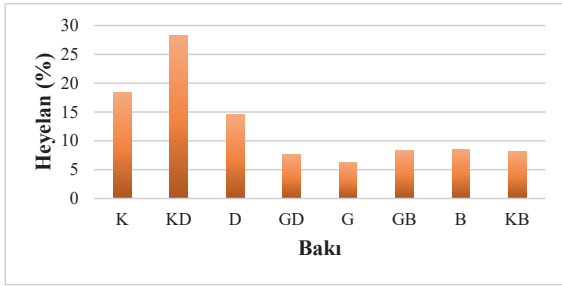


Şekil 13. Akyayla Dağı'nda eğim-heyelan ilişkisi grafiği.

Figure 13. Slope gradient-landslide relationship graph for Mount Akyayla.

Eğim: Kütlede özellikle 8–21 derece arasındaki eğim aralığında heyelan olaylarının

yoğunlaştığı görülmektedir. Bu eğim sınıfından düşük eğim gruplarında zayıf gravite etkisi, yüksek eğim aralıklarında ise heyelana sebebiyet veren nemliliğin yeterince derine inmeden ortamdan yatay doğrultuda uzaklaşması gibi etmenler düşük heyelan yüzdesi nedenleri arasındadır (Şekil 13).



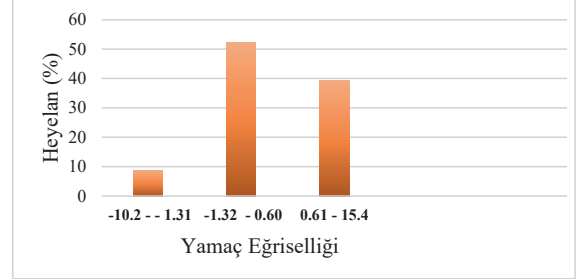
Şekil 14. Akyayla Dağı'nda bakı-heyelan ilişkisi grafiği.

Figure 14. Graph of the relationship between aspect and landslide for Mount Akyayla.

Bakı: Akyayla Dağı'nda tüm yönleri bakan heyelan oluşumlarına rastlansa da heyelanların çoğunun kuzeyli yamaçlarda toplandığı görülür (Şekil 14). Bunda en temel faktörler şüphesiz bu yönün Doğubayazıt Fayı'ndan dolayı deforme olarak yüksek eğimli yamaç profili sunması ve daha düşük güneş radyasyonundan dolayı daha nemli olmasıdır. Bunun yanında bu yamacın yukarıda anlatıldığı üzere paleosenklinalin güney kanatları olması da kuzeyli eğim özelliğinden sorumludur.

Yamaç Eğriselliği: Yamaç eğriselliği, yüzeysel hareketi ve yamaç boyunca taşınım sürecini belirlemektedir (Wilson and Gallant, 2000). İçbükey profil sunan yamaçlarda heyelanlı kütle nispeten daha hızlı harekete sahipken, dışbükeyli yamaçlarda bu durum daha zayıf görülür. Akyayla Dağı'nda eğrisellik analizine bakıldığında heyelan oluşumlarının iç bükey

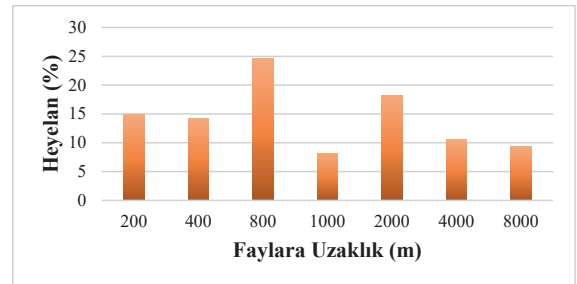
profil yamaçlarda toplandığı anlaşılmaktadır (Şekil 15).



Şekil 15. Akyayla Dağı'nda yamaç eğriselliği-heyelan ilişkisi grafiği.

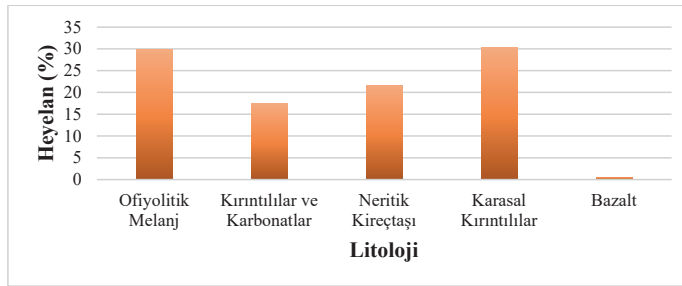
Figure 15. Slope curvature-landslide relationship graph for Mount Akyayla.

Faylara uzaklık: Akyayla Dağı ve yakın çevresi aktif tektonik açıdan bölgesel deformasyonun yoğun olduğu bir bölgede konumlandığı için sismik aktivitenin oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu deformasyonların kaynağı tektonik sistemlerin jeolojik geçmiş boyunca meydana getirdiği sismisite kaynaklı titreşimlerdir. Bu deformasyonlar topoğrafik bozulmalara yol açarken yamaçların duraysızlaşmasına neden olmuş, dolayısıyla heyelanların gelişimini denetlemiştir. Nitekim heyelanların fayların geçtiği zonlara yakın olmaları bunu doğrular niteliktedir (Şekil 16).



Şekil 16. Akyayla Dağı'nda faylara yakınlık-heyelan ilişkisi grafiği.

Figure 16. Graph of proximity to faults and landslide relationship for Mount Akyayla.



Şekil 17. Akyayla Dağı'nda litoloji-heyelan ilişkisi grafiği.

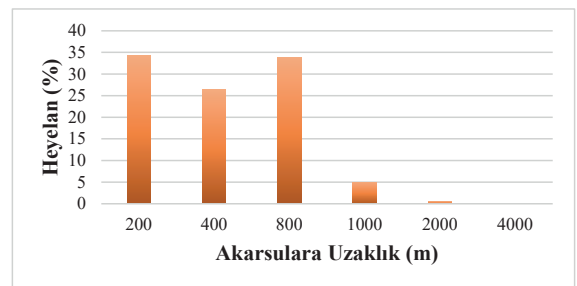
Figure 17. Graph of lithology-landslide relationship for Mount Akyayla.

Litoloji: Heyelan morfolojisinin gelişim ve yoğunluğunda önemli kriterlerden biri olan litolojik karakter, Akyayla Dağı'nda da etkisini göstermektedir. Nitekim kütlede farklı tür ve petrografide kayalar olmasına rağmen heyelanların çoğunun ofiyolitik melanj ve karasal kırıntılar üzerinde şekillendiği görülmektedir (Şekil 17). Bu kayaların bünyesinde bulunan kil gibi mineraller kayaların geçirgenliğini azaltmaktadır. Bununla birlikte kireçtaşı ve bazalt üzerinde de heyelanların görülmesi, direkt litolojinin kendisiyle değil, litoloji üzerinde görülen kalın kolüvyal örtü (regolit) ile ilişkilidir.

Akarsulara uzaklık: Akyayla Dağı'nda yaygın yüzeysel drenaj, flüvyal erozyonla yamaç stabilitesini bozan bir diğer parametredir. Özellikle vadi yamaçlarında ve toprak kesimlerde gelişen derine erozyon, kütlelerin eğim aşağı hareketlerini kontrol etmişlerdir. Heyelanların çoğunun ana drenaj kanallarına oldukça yakın olması bunu doğrulamaktadır (Şekil 18).

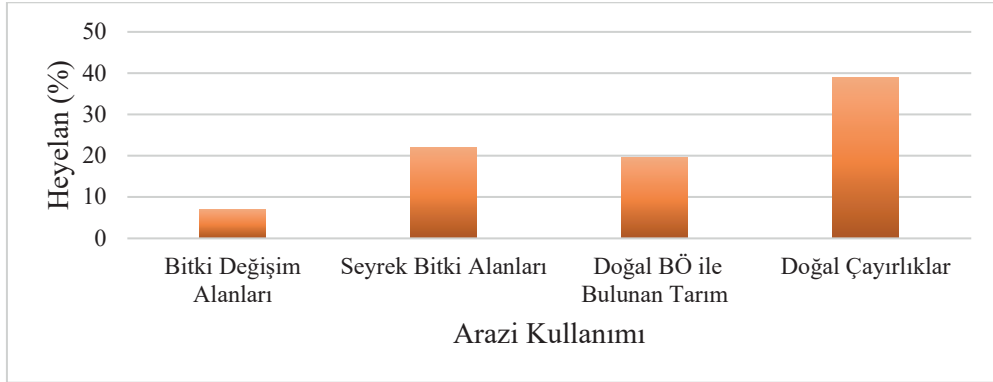
Arazi kullanımı: Akyayla Dağı'nda sismik ve litolojik özelliklerin yanı sıra heyelanların gelişimi sınırlı da olsa arazi kullanımı ile de ilişkilendirilebilir. Antropojenik müdahalelerle topoğrafyanın doğal dengesinin bozulması, hassas denge eşiğinde olan yamaçların

stabilitesini bozarak heyelan oluşumuna neden olabilir ya da mevcut heyelanları tetikleyebilir. Nitekim dağlık alanda heyelanların bazılarının insan faktörünün baskın olduğu arazi kullanım tiplerinde yoğunlaşması bunu yansıtmaktadır (Şekil 19). Bu bağlamda heyelanların yaklaşık %20'sinin tarım alanlarında, %7'sinin bitki değişim alanlarında bulunması (Şekil 19); bununla birlikte oransal olarak düşük olsa da bazı heyelanların mera, sulanmayan ekilebilir alan, kesikli kırsal yapı ve doğal bitki örtüsüyle karışık bulunan tarım alanı tiplerinde gelişmesi, heyelan morfojenizindeki antropojenik etkiye dair savımızı doğrulamaktadır.



Şekil 18. Akyayla Dağı'nda akarsulara yakınlık-heyelan ilişkisi grafiği.

Figure 18. Graph of proximity to rivers and landslides for Mount Akyayla.



Şekil 19. Akyayla Dağı'nda arazi kullanımı-heyelan ilişkisi grafiği.

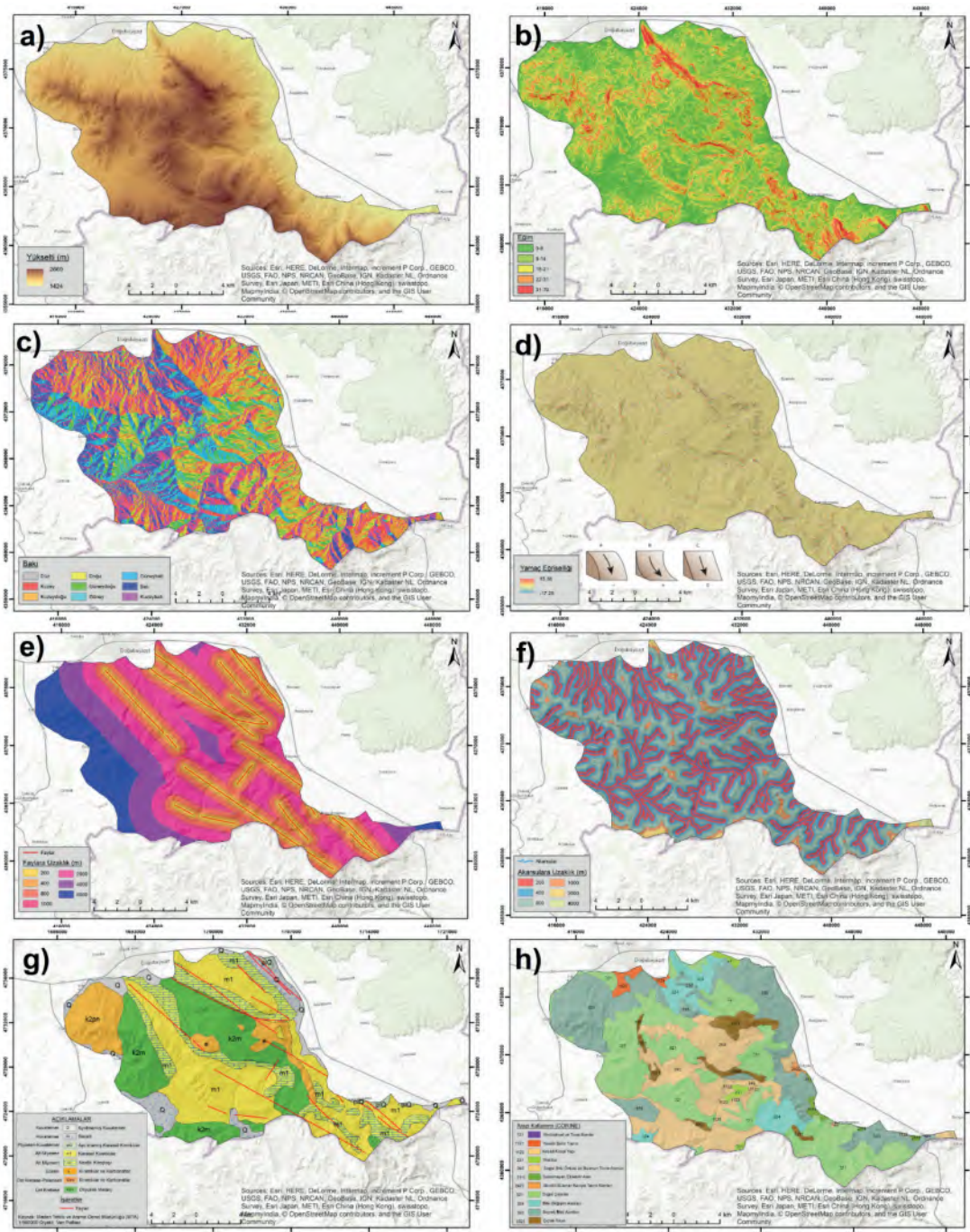
Figure 19. Land use-landslide relationship graph for Mount Akyayla.

TARTIŞMA / SONUÇ

Heyelan gibi kütle hareketleri birden fazla sürecin kompleks etkisiyle gelişmesine rağmen en temel süreçler tetikleyici mekanizmalar olan yağış (klimatik, meteorolojik) ve depremsellik (jeolojik, sismisite) olarak değerlendirilir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Akyayla Dağı, çevrelediği alçak havzalara göre daha nemli bir iklime sahip olsa da (Şekil 5) Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Dfb (ılık yaz, nemli karasal iklim) iklim karakterine sahiptir (Taşoğlu vd., 2024). İklimdeki bu kurak karakter, kütledeki heyelan morfolojisinin iklimik denetimli heyelanlardan ziyade sismisite denetimli heyelanlar olduğunu yansıtmaktadır. Nitekim bölge, DAYP dahilindeki aktif deformasyon sistemlerinden olan Balıkgöl ve Doğubayazıt fayları tarafından çevrelenir. Bu fayların tarihsel (Mutlu, 2022) ve aletsel dönemdeki (Şekil 9) yoğun depremselliği dağdaki heyelanları tetikleyen bir fenomendir. Dolayısıyla kütledeki heyelanların meteorolojik (klimatik) heyelanlardan ziyade jeolojik (sismisite) heyelanlar oldukları değerlendirilmektedir. Dağdaki en büyük ve bilindik heyelan ünitesi olan Telçeker Heyelanı'nın (Yılmaz, 1986;

Avcı, 2001) da depremle tetiklendiğinin ifade edilmesi (Bayraktutan vd., 2019) bu savımızı doğrular niteliktedir. Bununla birlikte bölgede kar erimeleri ve yağışa bağlı olarak regolitteki boşluklar dolmakta ve bu, regolit malzemedeki basıncın artmasına neden olmaktadır. Bu süreç yüksek gravite etkisiyle desteklenince regolitin kayma dayanım oranı düşmektedir (Nurdahan ve Tağa, 2022). Akyayla Dağı'nda özellikle kuzeyli yamaçlarda eğimin yüksek değerler sunması ise yüksek graviteyi sağlayan rölyefin temel sorumlusudur.

Bölgenin yüksek sismisitesi mevcut heyelanların büyümesine veya pasif karakterdeki heyelanların reaktive olmasına neden olabilir. Nitekim Görüm (2016), 2011 Van depremi sonucunda meydana gelen bazı heyelanların bu şekilde geliştiğini belirtmiştir. Benzer süreci Nurdahan ve Tağa (2022), aşırı yağışlarla ilişkilendirmiş ve heyelanların yeniden hareketlenmesinde iklimik sürecin önemine değinmiştir. Ancak, mevcut deprem (Şekil 9) ve yağış (Şekil 5) verilerine göre, Akyayla Dağı için iklimik özelliklerden ziyade sismik süreçlerin böylesi bir durumu ortaya çıkarabileceği değerlendirilmektedir.

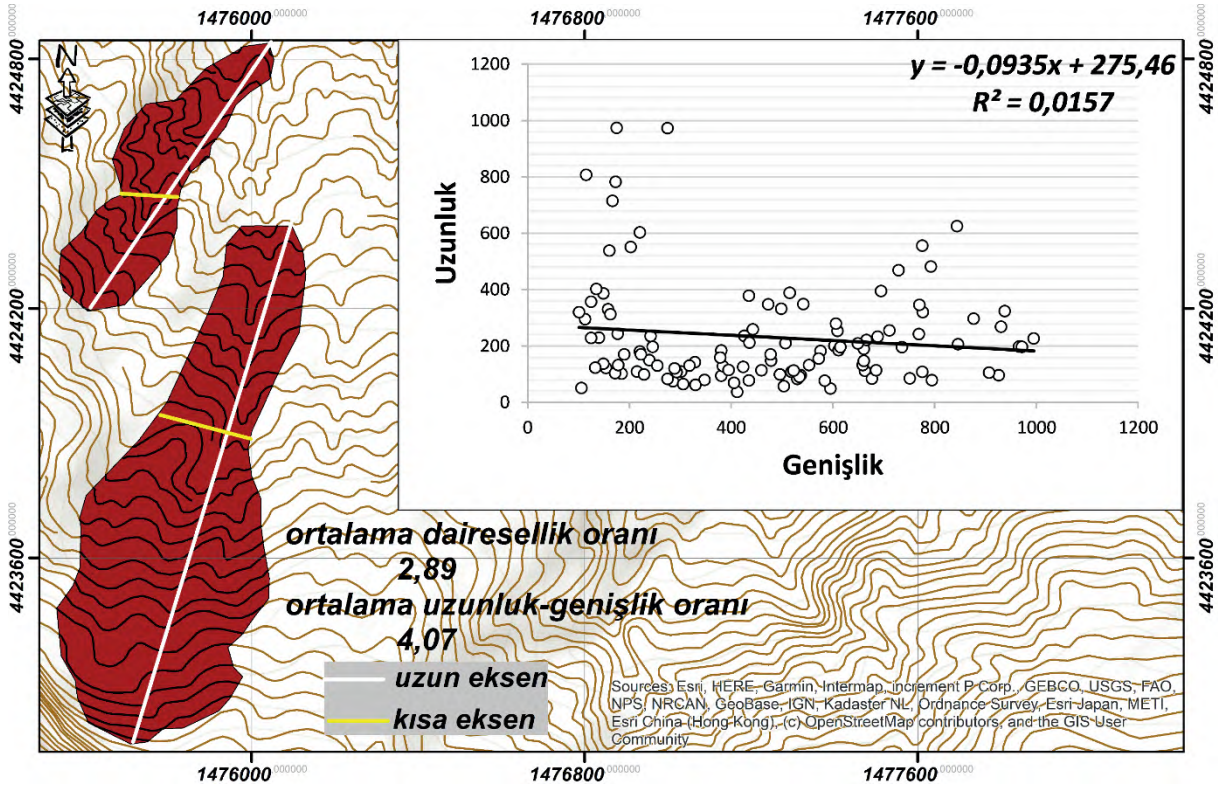


Şekil 20. Heyelan duyarlılık analizi için çalışmada ele alınan parametrelerin haritaları; a: yükseklik, b: eğim, c: bakı, d: eğrisellik, e: faylara uzaklık, f: akarsulara uzaklık, g: litoloji, h: arazi kullanımı.

Figure 20. Maps of parameters considered in the study for landslide susceptibility analysis; a: Lithology, b: Distance to faults, c: Elevation, d: Slope, e: Aspect, f: Slope curvature, g: Distance to rivers, and h: Land use.

Akyayla Dağı'nda çeşitli veri kaynaklarına göre tespit edilen heyelanların büyük kısmının oldukça uzamış ve dairesel yapıdan çok uzak formda olduğu görülmektedir (Şekil 6 ve 8). Bu geometrik karakter heyelan üniteleri için beklenen bir özellik olmakla birlikte bunun doğrulanması adına çalışmada dairesellik ve uzunluk oranı-genişlik oranı (Basso vd. 2013; Öztürk, 2018) gibi indislere başvurulmuştur. Toplam 141 heyelan için yapılan analiz sonucunda heyelanların ortalama dairesellik oranlarının 2,89, ortalama uzunluk-genişlik oranlarının ise 4,07 olduğu

belirlenmiştir (Şekil 21). Her iki değer de dairesel paternden oldukça uzak, uzamış-ince heyelan morfolojilerinin geliştiğini yansıtır. Dağıdaki heyelanlarda uzunluğun artmasına bağlı olarak genişliğin azaldığı görülür (Şekil 21). Bu değer, salt morfolojik bir tanımlamanın ötesinde aynı zamanda dağıdaki yüksek gravitenin etkisini de doğrulamaktadır. Özellikle kuzeyli yamaçlarda kuzeye doğru olan tabaka eğimleri, faya bağlı topoğrafik deformasyon gibi süreçler heyelan paternlerindeki dairesel olmayan geometrinin temel nedenleri arasındadır.

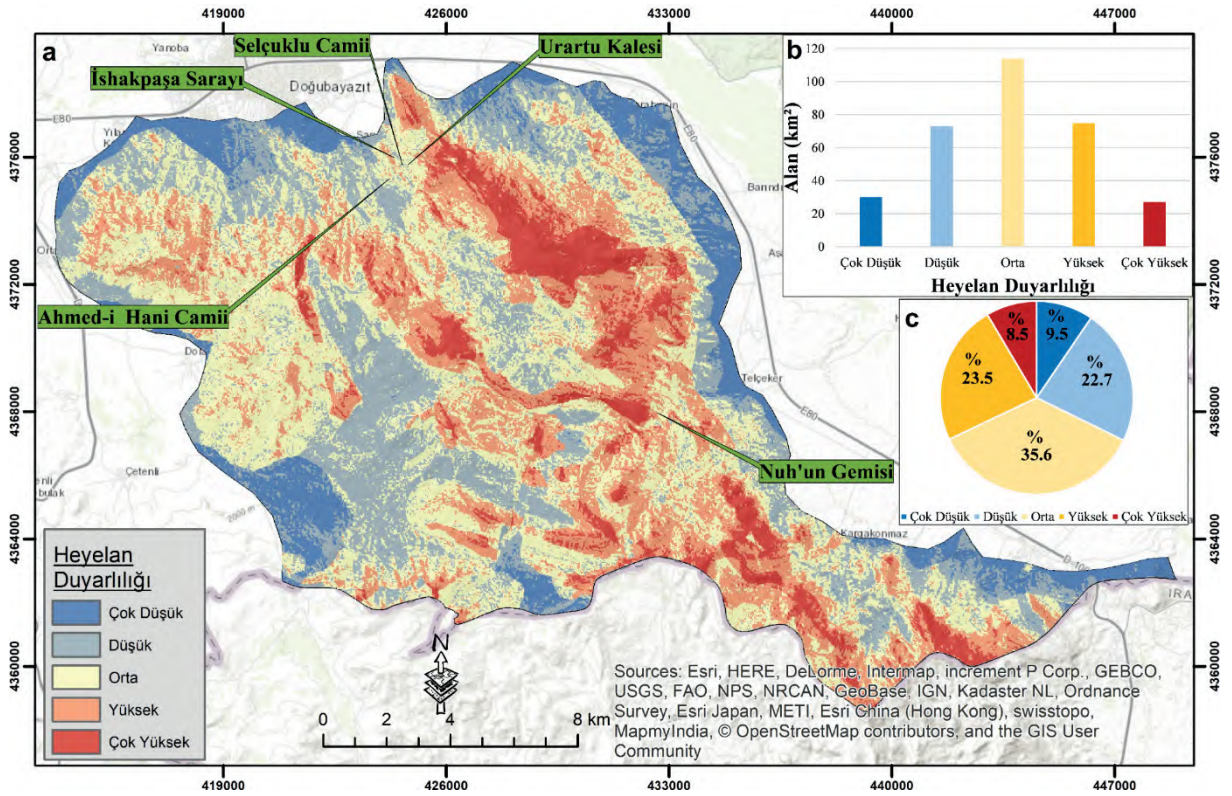


Şekil 21. Akyayla Dağı'nda örnek iki heyelan üzerinden indislerde kullanılan uzun eksen ve kısa eksenlerin görünümü ve kütlede heyelan uzunluğu ile genişliği arasındaki korelasyon ilişkisi.

Figure 21. View of the long axis and short axis used in the indices for two sample landslides on Mount Akyayla and the correlation relationship between landslide length and width.

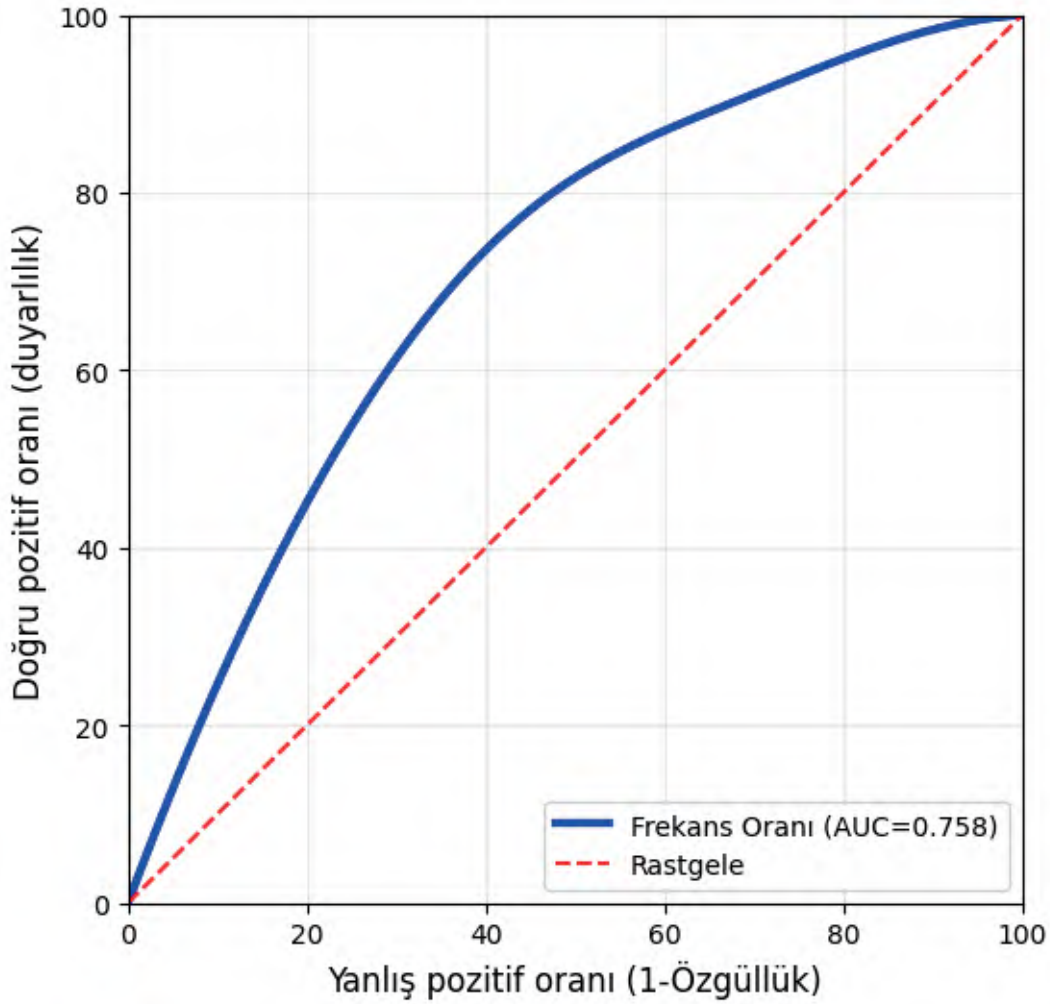
Akyayla Dağı'nın ülkemiz sınırları dahilinde kalan kesimi yaklaşık olarak 325 km²'dir. Dağlık kütlede görülen heyelan oluşumları toplamda yaklaşık 44,15 km² alan kaplamaktadır. Bu veri dağın topoğrafik peyzajının yaklaşık %13'ünün heyelanlar tarafından şekillendirildiğini göstermektedir. Heyelanlı bölgelerin sınıflandırılmasında ise; heyelan duyarlılığı çok düşük alanlar çalışma alanının %9,5'ni, düşük duyarlı alanlar %22,7'sini, orta seviye duyarlı alanlar %35,6'sını, yüksek duyarlı alanlar %23,5'ini ve çok yüksek duyarlı alanlar ise %8,5'ini oluşturmaktadır (Şekil 22).

Heyelan duyarlılık analizinin doğruluğu, Alıcı İşletim Karakteristiği (Receiver Operating Characteristic – ROC) eğrisi ve bu eğri altında kalan alan (Area Under Curve – AUC) değeri kullanılarak değerlendirilmiştir (Şekil 23). Yapılan analiz sonucunda, FO (Frekans Oranı) yöntemine göre oluşturulan modelin AUC değeri 0,758 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, modelin yaklaşık %76 doğrulukla heyelan oluşum potansiyelini ayırt edebildiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, modelin makul düzeyde bir ayırt ediciliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 22. a: Akyayla Dağı'nın FO yöntemine göre heyelan duyarlılık haritası. b: kütlede heyelan duyarlılık sınıflarının kapladığı alanlar (km²). c: kütlede heyelan duyarlılığı sınıflarının yüzdelik dağılımları.

Figure 22. a: Landslide susceptibility map for Mount Akyayla according to the frequency ratio method. b: Areas covered by landslide susceptibility classes in the mass (km²). c: Percentage distribution of landslide susceptibility classes in the mass.



Şekil 23. Akyayla Dağı için yapılan heyelan duyarlılık analizinin doğruluk analizi.

Figure 23. Accuracy of the landslide susceptibility analysis for Mount Akyayla.

Heyelan duyarlılığın özellikle yüksek ve çok yüksek olduğu alanlarda Nuh'un Gemisi, İshakpaşa Sarayı, tarihi Selçuklu Camii, Urartu Kalesi gibi kültürel kaynak değerine sahip öğelerin (Şekil 22 ve 24) yanında çok sayıda yerleşim ve ilişkili beşerî yapıların varlığı planlamada heyelan duyarlılığının analiz edilmesini gerekli kılmaktadır. Örneğin Nuh'un Gemisi olarak bilinen ve heyelan süreçleri tarafından geliştirilen (Yılmaz, 1986; Avcı, 2001)

morfolojik yapı, kendisini oluşturan heyelan süreçlerine bağlı deformasyon tehdidi altındadır. Aynı şekilde bölgenin en büyük turistik bölgesi olan İshakpaşa Sarayı ve çevresi de heyelan yoğunluğunun oldukça fazla olduğu bir bölgeye karşılık gelmektedir. Bölgede dönem dönem aşırı yağmurları takiben gelişen ve saraya giden yolların kapanmasına neden olan heyelanların varlığı bunu doğrulamaktadır. Ayrıca bir diğer heyelan türü olan kaya düşmelerinin de bölgede

oldukça yaygın olması mekânsal planlamada heyelanla ilişkili süreçlerin dikkate alınmasını gerektirir. Nitekim bu alanlar jeosit değerlerinin

yanı sıra her yıl binlerce yerli ve yabancı turisti ağırlamaktadır.



Şekil 24. Akyayla Dağı'nda heyelan duyarlılığının yüksek olduğu bölgelerdeki doğal ya da kültürel jeositler. a, b, c: Nuh'un Gemisi olarak bilinen ve yoğun şekilde turist ağırlayan heyelan bölgesi. d: Ön planda Selçuklu döneminden kalma tarihi camii ve arka planda ise Urartu dönemine ait kale surları, e ve f: Osmanlı Devleti döneminde inşa edilen İshakpaşa Sarayı.

Figure 24. Natural or cultural geosites in areas of high landslide susceptibility on Mount Akyayla. a, b, c: The landslide area known as Noah's Ark, which is a popular tourist attraction. d: The historical mosque from the Selçuk Empire in the foreground and fortress walls from the Urartian Empire in the background. e and f: İshakpaşa Palace built during the Ottoman Empire.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın ilk bulguları, 7. Uluslararası Ağrı Dağı ve Nuh'un Gemisi Sempozyumu'nda sözlü bildiri olarak sunulmuştur. Yazarlar, makalenin akademik gelişimine katkıda bulunan editör kuruluna ve hakemlere teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Abay, A., Mulugeta, A., & Mebrahtu, G. (2025). GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio Method: A Case Study From Adigrat-Mugulat Mountain Chains, Northern Ethiopia. *Scientific African*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02661>.
- Aleotti, P. & Chowdhury, R. N. (1999). Landslide hazard assessments: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21-44.
- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P. (1982). *A history of Persian earthquakes*. Cambridge University Press.
- Arca, D., & Kutoğlu, Ş. H., (2017). Frekans oranı metodu ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Türkiye.
- Atalay, İ. (1974-1977). Muş-Palu arasındaki murat vadisi boyunca oluşan kütle hareketleri. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 20-21, 263-279.
- Avcı, M. (2001). Ağrı Dağı'nda karmaşık bir yer akması Nuh'un Gemisi. *Mavi Gezegen*, 4, 32-36.
- Avcı, V., & Sunkar, M. (2018). The relationship of landslides with lithological units and fault lines occurring on the East Anatolian Fault Zone, between Palu (Elâzığ) and Bingöl, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 157 (157), 23-38. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.428277>
- Aydoğan, E., & Dağ, S. (2023). İstatistiksel yöntemlerle Yukarı Karasu Havzası'nın kuzeydoğu bölümünün (Erzurum) heyelan duyarlılık analizi, *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 64-82. <https://dx.doi.org/10.48123/rsgis.1202140>
- Basso, A., Bruno, E., Parise, M., & Pepe, M. (2013). Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environmental Earth Science*, 70, 2545-2559. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2297-z>
- Başalan, A. & Demir, G. (2022). İstatistiksel yöntemler uygulanarak Tokat il merkezinin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 11 (3), 260-273.
- Başara, A. C., & Şişman, Y. (2022). Frekans oranı, kanıt ağırlığı ve lojistik regresyon yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının CBS tabanlı karşılaştırılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 647-660. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1065284>
- Bayraktutan, M. S. (2019). *Telçeker Heyelanı; Durupınar Sit Alanı jeofizik etüdü*, Doğubayazıt: Nuh'un Gemisi Projesi 1985- 87. Ağrı, 5. Ağrı Dağı ve Nuh'un Gemisi Sempozyumu Bildiriler Özeti Kitabı, 84-85.
- Becer, M. M., Çan, T. & Tekin, S. (2017). *Gümüşhacıköy (Amasya)- Osmancık (Çorum) dolaylarının frekans oranı yöntemi ile heyelan duyarlılık değerlendirmesi*, Ulusal Mühendislik Jeolojisi - Jeoteknik Sempozyumu, 12-14 Ekim 2017, ÇÜ, Adana.
- Bozdoğan, M., & Canpolat, E. (2022). Analitik hiyerarşi süreci (AHS) ile Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası'nın kütle hareketleri duyarlılık analizi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(1), 33-53. <https://doi.org/10.51800/ecd.1054815>

- Canpolat, E., & Turoğlu, H. (2019). Isparta güneyi ve güneybatısındaki volkanik sahanın jeomorfolojik gelişiminin çizgisellik ve dairesellik analizleri ile yorumlanması. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (2), 23-36.
- Choi, J., Oh, H., Lee, H., Lee, C. & Lee, S. (2021). Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS. *Engineering Geology*, (124), 12-23, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.09.011>.
- Chung, C.J.F. & Fabbri, A.G. (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30(3), 451-472. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007172.62651.2>
- Cihangir, M. E. (2024). Aras Nehri havzasında lojistik regresyon yöntemiyle kayma ve akma tip heyelan duyarlılığı değerlendirmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (85), 55-68. <https://doi.org/10.17211/tcd.1475065>
- Çakar, S. (2023). *Doğubayazıt Fayı'nın (Ağrı) Segmentasyonu ve Tektonik Jeomorfolojisi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Karakaya-Gülmez, F., Elmacı, H., Hamzaçebi, S., & Emre, Ö. (2013, Kasım, 1-13). *Türkiye heyelan veri tabanı* [Konferans sunum özeti]. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, Türkiye. https://obs.hkmo.org.tr/show-media/resimler/ekler/85a47f65233d5d0_ek.pdf
- Çellek, S. (2024). Effect of the curvature parameter and its classification on landslides. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 12 (1), 49-63. <https://doi.org/10.21923/jesd.1391818>
- Çellek, S., Bulut, F., & Ersoy, H. (2015). AHP yöntemi'nin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanımı ve uygulaması (Sinop ve yakın çevresi). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39 (2), 59-90. <https://doi.org/10.24232/jeoloji-muhendisligi-dergisi.295366>
- Çetinkaya, G., Şimşek, M. & Öztürk, M. Z. (2023). Doğu Toroslar'daki çözünme dolinlerinin morfolojik özellikleri. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 10, 20-33. <https://doi.org/10.46453/jader.1201290>.
- Dağ, S., & Bulut, F. (2012). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36 (1), 35-62.
- Dağ, S., Akgün, A., Kaya, A., Alemdağ, S. & Boztancı, H.T. (2020). Medium scale earthflow susceptibility modelling by remote sensing and geographical information systems based multivariate statistics approach: an example from Northeastern Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79, 468, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09217-7>
- Dağdelenler, G. (2020). İki farklı örneklem tekniği kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının frekans oranı (FO) yöntemi ile karşılaştırılması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(1), 19-38. <https://doi.org/10.24232/jmd.740509>
- Dalkes, M., & Korkmaz, M. S. (2023). Analitik hiyerarşi süreci ve frekans oranı yöntemlerinin heyelan duyarlılık analizinde karşılaştırılması: Trabzon ili Akçaabat ve Düzköy ilçeleri örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9 (1), 16-38. <https://doi.org/10.21324/dacd.1105000>
- Demirbilek, S. & Turoğlu, H. (2024) Frekans oranı yöntemi kullanılarak Arsuz Çayı Havzası heyelan duyarlılık analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar*

- Dergisi*, 13, 23-39. <https://doi.org/10.46453/jader.1496249>
- Deng, X., Li, L. & Tan, Y. (2017) Validation of spatial prediction models for landslide susceptibility mapping by considering structural similarity. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4), 103. doi:10.3390/ijgi6040103
- Deniz, O., & Sındır, R. (2011). Çayırbaşı Heyelanı. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 7 (5) 82-97.
- Denizman, C. (2003). Morphometric and spatial distribution parameters of karstic depressions, Lower Suwannee River Basin, Florida. *Journal of Cave and Karst Studies*, 65 (1), 29–35.
- Dóniz-Páez, J. (2015). Volcanic geomorphological classification of the cinder cones of Tenerife (Canary Islands, Spain). *Geomorphology*, 228, 432-447. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.004>
- Dölek, İ., Uzelli, T., Ege, İ., & Çelik, Ö. (2023). 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri ile oluşan kütle hareketlerine bir örnek: Tepehan Heyelanı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (83), 73-86. <https://doi.org/10.17211/tcd.1307166>
- Dönmez, Y. (1979). *Umumi Klimatoloji ve İklim Çalışmaları*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayın No.2506, Coğrafya Enstitüsü Yayın No.102.
- Dunham, A. M., Kiser, E., Kargel, J. S., Haritashya, U. K., Watson, C. S., Shugar, D. H., et al. (2022). Topographic control on ground motions and landslides from the 2015 Gorkha earthquake. *Geophysical Research Letters*, 49, <https://doi.org/10.1029/2022GL098582>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmaci, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1: 1.250.000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Özel Yayın Serisi, 30, 89.
- Ercanoğlu, M., & Avcı, P. (2024). Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde akarsulara uzaklık parametresinin kullanımına yönelik yeni bir yaklaşım. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 594-614. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.1425508>
- Ercanoğlu, M. (2003). *Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi-Yenice Kuzeyi)*, [Doktora Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erinç S., (2001). *Jeomorfoloji Cilt I*, Der Yayınları.
- Fidan, S. & Görüm, T. (2020). Türkiye’de ölümcül heyelanların dağılım karakteristikleri ve ulusal ölçekte öncelikli alanların belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (74), 123-134. <https://doi.org/10.17211/tcd.731596>
- Goudie, A. S. (2003). *Geomorphological Techniques*. London, UK: Allen & Unwin.
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 23, 189-207.
- Görüm, T. (2016). 23 Ekim 2011 Van depreminin tetiklediği heyelanlar. *Türk Coğrafya Dergisi* (66), 29-36. <https://doi.org/10.17211/tcd.69854>
- Görüm, T., Fan, X., van Westen, C.J., Huang, R., Xu, Q., Tang, C. & Wang, G., (2011). Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake. *Geomorphology* 133, 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.030>
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P. (1999). Landslide Hazard Evaluation: A Review Of Current Techniques and Their Application in a Multi-Scale Study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.

- Güner, Y. (1986). Nuh'un Gemisi Ağrı Dağı'nda mı? Gemi ile ilgili sanılan Doğubayazıt-Telçeker heyelanının jeomorfolojik evrimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, (14), 27-37.
- Günini, N., Ü., & Öztürk, D. (2021). Van İli Heyelan Duyarlılığının Frekans Oranı Yöntemiyle Analizi, *Bursa Uludağ Üni. Mühendislik Fak. Dergisi* 20 (3), 865-884. Doi:10.17482/uumfd.969246
- Gürbüz, A. & Şaroğlu, F. (2019). *Right-lateral strike-slip faulting and related basin formations in the Turkish-Iranian Plateau*, Editor(s): Ali Farzipour Saein, Developments in Structural Geology and Tectonics, Elsevier, 3, 101-130. doi:10.1016/B978-0-12-815048-1.00007-X
- Gürsoy, H., Tatar, O., Mesci, B. L., Canbaz, O., Polat A., & Akpınar, Z. (2024). Bir heyelanın anatomisi: 17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar - Sivas, Türkiye) Heyelanı Örneğinde Temel Jeolojik Araştırmaların Öneminin Değerlendirilmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 67(1), 51-70. <https://doi.org/10.25288/tjb.1373825>
- Haque, U., Silva, P. S., Devoli, G., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopo, W., Andersen, P., Lu, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D., Wu, J. & Glass, G.E. (2019). The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995–2014), *Science of The Total Environment*, 682, 673-684, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.415>.
- Karakhanian, A. S., Trifonov, V. G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., Bayraktutan, M. S., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V. & Adilkhanyan, A. (2004). Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics*, 380, 3–4, 189-219, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.09.020>.
- Karakhanian, A., Djrbashian, R., Trifonov, V., Philip, H., Arakelian, S., & Avagian, A. (2002). Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113 (1-2), 319-344. [https://doi.org/10.1016/S03770273\(01\)00264-5](https://doi.org/10.1016/S03770273(01)00264-5)
- Karaman, M. O., Çabuk, S.N. & Pekkan, E. (2022). Utilization of frequency ratio method for the production of landslide susceptibility maps: Karaburun Peninsula case, Turkey. *Environ Sci Pollut Res.*, 29, 91285–91305. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21931-2>
- Kasai, M. & Yamada, T. (2019). Topographic effects on frequency-size distribution of landslides triggered by the Hokkaido Eastern Iburi Earthquake in 2018. *Earth Planets Space* 71, 89. <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1069-8>
- Kaya, F. (1996). *Doğubeyazıt İlçe Merkezinin Coğrafi Etüdü* (Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Erzurum.
- Kaya, C., Öztürk, Y., Karataş, A., Sayın, H. & Balcıoğlu, Y. E. (2025). Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde lahar oluşumları ve lahar duyarlılığının CBS tabanlı analizi (Doğu Anadolu-Kuzeybatı İran). *Geomatik*, 10 (1), 15-33. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1508315>
- Keskin, M. (2007). *Eastern Anatolia: A hotspot in a collision zone without a mantle plume*, In: Foulger, G.R., and Jurdy, D.M., eds., Plates, plumes, and planetary processes: Geological Society of America Special Paper 430, 693–722. [https://doi.org/10.1130/2007.2430\(32\)](https://doi.org/10.1130/2007.2430(32))
- Kılıçoğlu, C. (2020). Frekans oranı metodu ve bayesyen olasılık modeli kullanılarak Samsun ili Vezirköprü ilçesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 138-154. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.658662>

- Kilburn, C. R. J. & Petley, D.N. (2003). Forecasting giant, catastrophic slope collapse: lessons from Vajont, Northern Italy. *Geomorphology*, 54, 21–32.
- Köküm, M. (2021). Landslides and lateral spreading triggered by the 24 January 2020 Sivrice earthquake (East Anatolian Fault). *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(3), 751-760. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.877544>
- Li, L., Lan, H., Guo, C. et al. (2017). A modified frequency ratio method for landslide susceptibility assessment. *Landslides* 14, 727–741. <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0771-x>
- Liu, S., Yin, K., Du, J. et al. (2024). Landslides triggered by the extreme rainfall on July 4, 2023, Wanzhou, China. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02296-8>
- Luino, F. (1999). The flood and landslide event of November 4-6 1994 in Piedmont Region (Northwestern Italy): Causes and related effects in Tanaro Valley. *Physical and Chemical Earth (A)*, 24 (2), 123-129.
- Lutgens, F. K., & TarBuck, E. J. (2013). *Genel Jeoloji Temel İlkeleri Kavramlar* (C. Helvacı, Çev.). Nobel Akademik Yayıncılık.
- MacLachlan, J. C. & Eyles, C. H. (2013). Quantitative geomorphological analysis of drumlins in the Peterborough drumlin field, Ontario, Canada. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 95(2), 125-144, <https://doi.org/10.1111/geoa.12005>
- Mandrekar, J.N. (2010). Receiver operating characteristic curve in diagnostic test assessment. *Journal of Thoracic Oncology*, 5 (9), 1315-1316. doi:10.1097/JTO.0b013e3181ec173d
- Mas, J.F., Soares Filho, B., Pontius, R.G., Farfán Gutiérrez, M. & Rodrigues, H. (2013). A suite of tools for ROC analysis of spatial models, *ISPRS International Journal of GeoInformation*, 2(3), 869-887. doi:10.3390/ijgi2030869
- MGM. Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- MTA. 1:500.000 Ölçekli Van Paftası.
- Mutlu, S. (2022). *Balık Gölü Fay Zonu'nun Paleosismolojik Özellikleri ve Segmentasyonu* [Doktora Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Nurduhan, M., & Taga, H. (2023). Silifke-Mut (Mersin) karayolunda meydana gelen kargıcak heyelanının değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 46 (2), 139-156. <https://doi.org/10.24232/jmd.1230612>
- Öz, T. & Günek, H. (2021). Landslide susceptibility and settlement risk analysis of Solaklı Basın (Trabzon). *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 44, 396-412.
- Öz, T. (2025). Heyelan duyarlılığının analitik hiyerarşi süreci (AHS) ve Frekans Oranı (FR) ile belirlenmesi: Kürk Çayı Havzası (Elâzığ) örneği. *Fırat University Journal of Social Sciences*, 35(2), 467-485. <https://doi.org/10.18069/firsbed.1572408>
- Özgül, N., Seymen, İ. & Arpat, E. (1983). Horasan Narman Depreminin Makrosismik ve Tektonik Özellikleri. *Yeryuvarı ve İnsan*, 8 (3), 21-25.
- Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 35-50.
- Öztürk, M. Z. (2018). Karstik kapalı depresyonların (dolinlerin) morfometrik analizleri. *Coğrafya Dergisi*, 36, 1-13. <https://doi.org/10.26650/JGEOG371149>
- Öztürk, Y. (2020). Aktif fayların tanımlanmasında jeomorfik belirteçlerin rolü: Balıkgöl Fay Zonu

- örneği. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi* (5), 101-117. <https://doi.org/10.46453/jader.771204>
- Perinçek, D. (2016). Çetin baraj gövdesi ve dolayının jeolojisi ve heyelan araştırması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 59 (2), 167-210. <https://doi.org/10.25288/tjb.298224>
- Safaei, M., Omar, H., Huat, B. K. & Yousof, Z. B. M. (2012). Relationship between Lithology Factor and landslide occurrence based on Information Value (IV) and Frequency Ratio (FR) approaches — Case study in North of Iran. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17, 79-90.
- Samia, J., Temme, A., Bregt, A., Wallinga, J., Guzzetti, F., Ardizzone, F., & Rossi, M. (2017). Characterization and quantification of path dependency in landslide susceptibility. *Geomorphology*, 292, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.04.039>
- Savcı, G. (1980). Doğu Anadolu volkanizmasının neotektonik önemi, *Yeryuvarı ve İnsan*, 46-49.
- Schuster, R. L. & Fleming, R. W. (1986). Economic losses and fatalities due to landslides. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 23(1), 11– 28.
- Seven, M., Öztürk, Y., Gürgöze, S., Ege, İ. & Tonbul, S. (2025). Engizek Dağı'nda karstik depresyonların jeomorfik özellikleri ve morfolojik gelişimleri (Kahramanmaraş, Doğu Toroslar). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 68 (2), 259-286. <https://doi.org/10.25288/tjb.1647807>
- Sheng M, Zhou J, Chen X, Teng Y, Hong A & Liu G (2022) Landslide susceptibility prediction based on frequency ratio method and C5.0 decision tree model. *Front. Earth Sci.*, 10, <https://doi.org/10.3389/feart.2022.918386>
- Shirzadi, A., Chapi, K., Shahabi, H., Solaimani, K., Kavian, A., & Ahmad, B. Bin. (2017). Rock fall susceptibility assessment along a mountainous road: an evaluation of bivariate statistic, analytical hierarchy process and frequency ratio. *Environmental Earth Sciences*, 76(4), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6471-6>
- Şaroğlu, F. & Güner, Y. (1981) Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 39-50.
- Şaroğlu, F. & Yılmaz, Y. (1986) Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 107, 73-94.
- Şaroğlu, F. (1986). *Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi.
- Şengör, A. M. C., Özeren, S. Genç, T. & Zor, E. (2003). East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30 (24), doi:10.1029/2003GL017858, 2003.
- Taşdemiroğlu, M. (1970). Türkiye' de kütle hareketleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 13 (2), 26 – 35.
- Tian, N., Lan, H., Li, L., Peng, J. Fu, B. & Clague, J. J. (2025). Human activities are intensifying the spatial variation of landslides in the Yellow River Basin, *Science Bulletin*, 70, 2, 263-272. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2024.07.007>
- Toprak, A., & Sunkar, M. (2022). Ağrı ilinde meydana gelen doğal afetlerin mekânsal ve zamansal analizi. *Coğrafya Dergisi*. 44, 97-113. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2022-978387>
- Türkmen, S. (2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde tetiklenen Değirmencik Heyelanı (Gaziantep – İslâhiye). *Geosound* (60), 1-21. <https://doi.org/10.70054/geosound.1525383>
- Ullah, K., Zhang, J. (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method:

- A case study of Panjkora River Basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. *PLoS ONE* 15(3): e0229153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>
- Vakov, A. (1996). Relationships between earthquake magnitude, source geometry and slip mechanism. *Tectonophysics*, 261 (1-3), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(96\)82672-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(96)82672-2)
- Van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102(3), 112-131. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010>
- Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, Commission of landslides of the IAEG, UNESCO, *Natural Hazards*, 3, 61.
- Wilson, J.P. & Gallant, J.C. 2000. Digital terrain analysis, Chapter 1. Terrain analysis: Principles and applications. New York.
- Yılmaz, O. S. (2023). Frekans oranı yöntemiyle coğrafi bilgi sistemi ortamında heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi: Manisa, Demirci, Tekeler Köyü örneği. *Geomatik*, 8(1), 42-54. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1108735>
- Zhao, B., Zhang, L., Gu, X., Luo, W., Yu, Z., Yuan, L. (2025). How is the occurrence of rainfall-triggered landslides related to extreme rainfall? *Geomorphology*, 475. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.109666>.
- <https://yerbilimleri.mta.gov.tr/>
- <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018?tab=download>
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Göksu Nehri ve Tarsus Çayı (Mersin) Arasında Yer Alan Akarsu Havzalarının Morfometrik Özellikleri

Morphometric Characteristics of River Basins Between Göksu River and Tarsus Stream (Mersin)

Ümit YILDIRIM^{1,*} , Cüneyt GÜLER² , Mehmet Ali KURT³ , Onur GÜVEN⁴

¹ Bayburt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi, 69010 Bayburt

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 33343 Mersin

³ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343 Mersin

⁴ Bayburt Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, 69010 Bayburt

Geliş (Received): 22/04/2025 / Düzeltme (Revised): 03/06/2025 / Kabul (Accepted): 04/07/2025

ÖZ

Bu çalışmada, Doğu Akdeniz bölgesinde yer alan Mersin ilindeki 17 adet akarsu havzasının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile morfometrik analizlerinin yapılarak çalışma alanında havza tabanlı yönetim stratejilerinin geliştirilmesine yönelik katkıların oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, morfometrik parametreler, “temel parametreler” ve bu parametrelerden türetilen “karakteristik parametreler” olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Havzaların hidrolojik, jeomorfolojik ve jeolojik olarak yorumlanmasında kullanılan karakteristik parametreler; drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, drenaj dokusu, çatallanma oranı, form faktör, uzama oranı, yüzeysel akış uzunluğu, rölyef oranı ve hipsometrik integraldir. Elde edilen sonuçlara göre; çalışma alanının batısında, karbonatlı kayaların bulunduğu havzalarda drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı ve sel riski düşük olup doğudaki havzalarda ise sel riski daha yüksektir. Akarsu havzalarının alanı ile rölyef arasında negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bazı havzalarda, tektonik ve yapısal faktörlerin çatallanma oranlarını etkilediği tespit edilmiştir. Havzalar, kuzey-güney doğrultusunda ince ve uzamış şekillere sahiptir. Çalışma alanının batısındaki havzaların hipsometrik integral değerleri, doğuda yer alan havzalara göre daha yüksek olup bu havzalar aşınma açısından daha hassastırlar. Bu çalışma ile analizler sonucunda elde edilen veriler ile yapılan sel/taşkın afet riski değerlendirmelerinin dışında, çalışma alanında ilerleyen süreçte yapılacak hidrolojik modelleme ve afet risk yönetimi süreçlerinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar için de veri tabanı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akarsu havzası, CBS, morfometrik analiz, Mersin

ABSTRACT

This study contributes to developing basin-based management strategies in the study area by conducting morphometric analyses of 17 river basins in Mersin province, located in the Eastern Mediterranean region, using Geographic Information Systems (GIS). For this purpose, morphometric parameters were divided into “basic parameters” and “characteristic parameters” derived from these parameters. Characteristic parameters used for the hydrological, geomorphological, and geological interpretation of the basins are: drainage density, stream frequency, drainage texture, bifurcation ratio, form factor, elongation ratio, overland flow length, relief ratio and hypsometric integral. According to the results, drainage density, stream frequency and flood risk are low in basins

with carbonate rocks in the west of the study area, while flood risk is higher in basins to the east. There is a negative relationship between the area of the river basins and the relief. In some basins, tectonic and structural factors affect the bifurcation ratios. The basins have thin and elongated shapes in the north-south direction. The hypsometric integral values of the basins in the west of the study area are higher than those in the east, and these basins are more sensitive to erosion. In addition to the flood/overflow disaster risk assessments made with data obtained from the analyses in this study, a database was also created to evaluate hydrological modelling and disaster risk management processes to be carried out in the study area in the future.

Keywords: River basin, GIS, morphometric analysis, Mersin

GİRİŞ

Morfometrik analizler, akarsu havzalarının hidrolojik ve jeomorfolojik özelliklerini belirlemede ve farklı havzaları birbirleriyle kıyaslamada kullanılan önemli bir araçtır (Strahler, 1964). Bu analizler, havzanın su toplama kapasitesini, akış rejimini, erozyon potansiyelini ve taşkın riskini anlamak için sıklıkla kullanılmaktadır (Yıldırım, 2021a; Esen, 2022; Erol ve Karadeniz, 2018). Morfometrik analiz, hidrolojik tepkileri değerlendirmek için gerekli olan topografya, drenaj yoğunluğu ve akarsu frekansı gibi fiziksel özelliklerin nicel değerlendirmesini içermektedir (Makhamreh vd., 2020; Dimple vd., 2022). Öyle ki, yüksek drenaj yoğunluğuna sahip havzaların, artan akış miktarı ve azalan sızma kapasitesine sahip olduğu ve bu durumun da taşkın riskini arttırdığı çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir (Singh vd., 2021; Khalifa vd., 2023). Bununla birlikte, havzanın şekli ve eğimi de akış süresini belirleyen parametreler olup sel yoğunluğunu ve zamanlamasını etkilemektedir (Ede, 2015). Havza morfolojisinin çeşitli hidrolojik, jeolojik ve jeomorfolojik süreçleri yansıttığı, geleneksel yöntemler kullanılarak yapılan çok sayıda çalışmada vurgulanmıştır (Horton, 1945; Strahler, 1952; 1957; 1964; Morisawa, 1959; Muller, 1968; Shreve, 1969; Evans, 1972; Chorley vd., 1984; Merriitts ve Vincent 1989; Ohmori, 1993; Cox, 1994; Krishnamurthy vd., 1996; Oguchi, 1997; Hurtrez vd., 1999). Morfometrik analiz, havzanın jeomorfolojik evrimini yorumlamada ve olası iklim değişikliği veya insan faaliyetlerinden

kaynaklı değişiklikleri dikkate alan etkili yönetim stratejileri geliştirmede önemli bir yer tutmaktadır (Hajam, 2013; Mzobe vd., 2020).

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi gibi mekansal bilgi teknolojilerinin ortaya çıkmasıyla birlikte havzalar veya alt havzalar içindeki drenaj ağlarının tanımlanması oldukça kolaylaşmıştır (Özdemir ve Bird, 2009). Özellikle de CBS'nin morfometrik analizle bütünleştirilmesi, akarsu havzalarının özelliklerinin oldukça doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamıştır. CBS tabanlı yöntemler karmaşık verilerin anlaşılabilir formatlara dönüştürülmesini kolaylaştırmaktadır (Gericke, 2019; Sherzad ve Tharavathy, 2022). Arazinin üç boyutlu gösterimi olan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), özellikle arazi özelliklerini, hidrolojiyi ve jeomorfolojiyi incelemek için önemli bir araçtır. SYM'lerin kullanımı eğim, yön, yükseklik ve drenaj desenleri gibi temel morfometrik parametrelerin türetilmesini sağlamaktadır.

Morfometrik analizler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunma potansiyeli taşıırken, özellikle iklim değişikliği etkisi altındaki Akdeniz havzasındaki akarsu havzalarının yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Küresel düzeyde, iklim değişikliği nedeniyle su talebindeki artış, su kaynaklarının etkin yönetim ve korunma gereksinimini artırmaktadır (Fraga vd., 2020; Appiagyei vd., 2022). Morfometrik analizler, havzaların su toplama kapasitesini ve akış rejimini anlamada önemli veriler sağlayarak, iklim değişikliğine bağlı su kaynaklarının

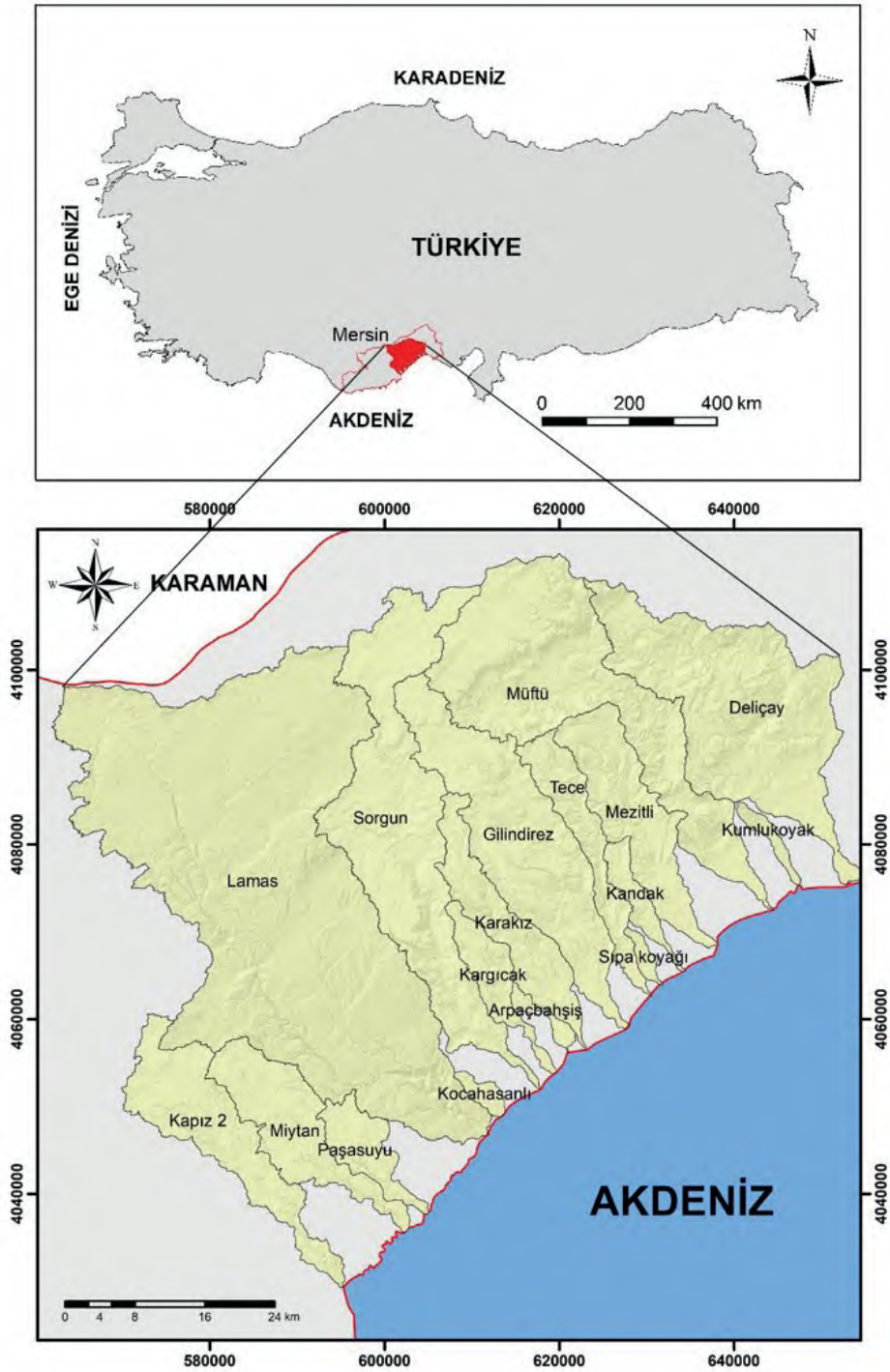
yönetimini kolaylaştırmaktadır (Romshoo vd., 2012; Bhat vd., 2023).

Akdeniz havzasında, küresel iklim değişikliği baskısı altında sıcaklık ve yağış düzenlerinde önemli değişiklikler yaşanmaktadır (Segnalini vd., 2010; Appiagyei vd., 2022). Bu bölge, iklim değişikliği “sıcak noktaları” arasında sayılmakta olup bölgede mevcut çevresel baskılarla başa çıkmak ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini sağlamak için morfometrik verilerin değerlendirilmesi oldukça önemli yer tutmaktadır (Appiagyei vd., 2022). Morfometrik analizler, akarsu havzalarının erozyon potansiyeli ve taşkın riskleri gibi önemli hidrolojik riskler hakkında bilgi elde edilmesine yardımcı olacağı için hem doğal afet risk yönetimi hem de su yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde etkili bir araç sunmaktadır (Soni, 2016; Paliaga vd., 2019).

Havza bazlı yönetim stratejileri oluşturmak, özellikle Mersin gibi iklim baskısı altında kalan bölgelerde, su kaynaklarının yönetiminde ve afet risklerinin azaltılmasında kritik bir öneme sahiptir (Lin vd., 2019; Paliaga vd., 2019). Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi için (özellikle 6, 11, 13 ve 15 numaralı hedefler), bu tür çalışmaların yerel yönetimler tarafından benimsenmesi büyük fırsatlar sunmaktadır. Böylelikle, su kaynaklarının korunması, yerel ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve doğal afetlerin etkilerinin azaltılması gibi hedeflere ulaşılabilir (Segnalini vd., 2010; Fraga vd., 2020; Appiagyei vd., 2022). Küresel ölçekte olduğu gibi Türkiye’de de akarsu havzalarında ve alt havzalarında morfometrik analiz çalışmaları giderek yaygınlaşmaktadır (Cürebal vd., 2015; Avcı ve Sunkar, 2015; Avcı, 2017; Altıparmak ve Türkoğlu, 2018; Zorer ve Tonbul, 2019; Ödeker ve Türkoğlu, 2020; Yıldırım, 2021a; Yıldırım, 2021b; Esen, 2022; Arıkan vd., 2023; İrcan vd., 2024; Kuşçu ve Özdemir, 2025). İklim değişimi baskısı altında kalan Akdeniz havzasında yer alan Mersin ilinde alt havza ölçeğinde yapılan

morfometrik analiz çalışmaları ise oldukça sınırlı sayıdadır (Topuz ve Karabulut, 2016; Tekin, 2019; Babaiban, 2020; Baduna Koçyiğit vd., 2021; Dikici, 2024). Bu çalışmada, Mersin ili için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak akarsu havzalarının morfometrik özelliklerinin detaylı bir biçimde belirlenmesi hedeflenmektedir. Aynı zamanda, elde edilen bu verilerin havza tabanlı yönetim stratejileri geliştirilmesindeki katkılarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın karar alıcılara potansiyel doğal afetlerin, özellikle sel ve taşkın gibi olayların önlenmesine yönelik etkili eylem planlarının oluşturulmasında sağlam bir yönetim aracı sunması beklenmektedir. Mersin ilinin morfometrik verileri, bölgenin doğal yapısını anlamak ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları geliştirmek açısından kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, bu veriler sayesinde hidrolojik modellerin oluşturulması ve bu modeller aracılığıyla olası afet senaryolarının simülasyonu, afet risk yönetiminde daha bilinçli ve veri temelli kararların alınmasına olanak tanıyacaktır. Dolayısıyla, bu çalışmanın sonuçları, yerel yönetimlerin stratejik planlama süreçlerine ciddi katkılar sağlayarak, Mersin ilinde meydana gelebilecek doğal felaketlerin önlenmesine yönelik proaktif önlemlerin geliştirilmesine imkan tanıyacaktır.

Çalışma alanı, Doğu Akdeniz Havzası’nda yer alan Mersin il sınırları içerisindeki 17 adet akarsu havzasını kapsamaktadır. Bu akarsu havzaları 36°24’11” – 37°09’29” kuzey enlemleri ile 33°41’42” – 34°44’05” doğu boylamları yer almaktadır (Şekil 1). Kuzeyden (Toros Dağları) güneye (Akdeniz) doğru uzanım gösteren akarsu havzalarının doğu sınırını Tarsus Çayı, batı sınırını ise Göksu Nehri havzası oluşturmaktadır. Akarsu havzalarının alanları 10,6 km² ile 1344,2 km² arasındaki değişmekte olup en büyük yüzey alanına sahip akarsu havzası Lamas havzasıdır. Akarsu havzalarının topografik yükseklikleri deniz seviyesi ile 2564 m arasında değişmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve çalışma kapsamında incelenen havzalar.

Figure 1. Location map of the study area and river basins examined within the scope of the study.

Doğuda Ecemiş fayı, batıda Kırkkavak fayı ile sınırlandırılan Orta Toros Kuşağında yer alan çalışma alanında çeşitli litolojik birimler bulunmaktadır (Şekil 2). Bunlar; Paleozoyik yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaçlar (P), Mesozoyik yaşlı ofiyolitik (Ofi) ve karbonat kayaçları (M), Paleojen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaçlar (P1), Neojen yaşlı karbonat kayaçlar (N2) ve kırıntılı kayaçlar (N3) ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır (Q) (Şekil 2). Bu birimler, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel birimlerinin üzerinde görülmektedir. Paleojen ve Neojen yaşlı birimler Kuvaterner yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Çalışma alanının kuzeydoğu ve güneybatısında dar bir alanda yüzeylenen Paleozoyik yaşlı birimler, farklı formasyonlardan oluşmaktadır. En alta Gümüşali formasyonu (Geç Devoniyen) yer alırken, üste doğru sırasıyla Belededik (Karbonifer), Belpınaritepe (Karbonifer-Permien), Yellice (Geç Permien) ve Karlıgöntepe (Geç Permien) formasyonlarına geçiş görülmektedir. Bu birimler silttaşı, kireçtaşı, şeyl, kuvarsit ve dolomitik kireçtaşları gibi kayaçlardan oluşmaktadır (Gedik vd., 1979; Alan vd., 2007; Alan vd., 2011). Mesozoyik yaşlı birimler, ofiyolit kayaçlar ve kırıntılı kayaç ara katkılı karbonat kayaçlarından oluşmaktadır. Karbonat kayaçları, Katarası formasyonu (Erken-Orta Triyas) ile başlayıp, Kocatepe (Erken-Orta Triyas) ve Sarıyarma (Geç Triyas) formasyonları ile devam etmektedir (Demirtaşlı, 1967; Ayhan ve Lengeranlı, 1986; Alan vd., 2007). Jura-Kretase döneminde karbonat kayaçları baskın hale gelirken, Tavşancıdağtepe, Çamlık ve Yavca formasyonları bu süreçte gelişmiştir (İlker, 1975; Alan vd., 2007; Alan vd., 2011). Geç Kretase'de,

Mersin ofiyoliti tektonik dokanak ile bölgeye yerleşmiş ve Mersin ofiyolitik melanji tarafından üzerlenmiştir (Poisson, 1977; Juteau, 1980; Şenol vd., 1998; Alan vd., 2007). Mesozoyik birimleri, çalışma alanının orta ve kuzey kesimlerinde yaygın olup alanın yaklaşık %25'ini kaplamakta ve bunun büyük kısmını ofiyolitik kayaçlar oluşturmaktadır. Neojen-Paleojen yaşlı birimler Akdeniz'e paralel bir şekilde yayılım göstermekte olup akarsu havzalarının yaklaşık olarak %67'sini kaplamaktadır. Resifal karbonatlı kayaçlar bu birimler içerisinde en fazla bulunan litolojik birimdir. Kuvaterner yaşlı birimler, alüvyon, alüvyonel taraça, yamaç molozu, delta çökeli ve kalişlerden oluşmaktadır. Alüvyonlar, taraçalar ve delta çökelleri, çakıl, kum, kil ve siltten oluşmaktadır. Kalişler (karasal karbonat çökelleri) ise genellikle Toros yükseliminin eteğindeki küçük sırt ve tepelerde görülmektedir (Eren vd., 2008). Çalışma alanındaki litolojik birimlerin havzalardaki oransal dağılımları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Akdeniz ikliminin hâkim olduğu Mersin ilinin genelinin 1940-2024 yılları arasında ölçülen yıllık toplam yağış ortalaması 609,5 mm olup en fazla yağış Aralık, Ocak ve Şubat aylarında görülmektedir (MGM, 2025). Yine bu ölçüm periyodunda en yüksek sıcaklık Ağustos ayında görülmekte (ortalama 28,4 °C) olup yıllık ortalama sıcaklık 19,3 °C'dir (MGM, 2025). İncelenen akarsu havzalarının doğal bitki örtüsü Akdeniz ikliminde yaygın olarak görülen makidir. Akdeniz kıyısından Toros Dağları'na doğru gidildikçe topografyaya bağlı olarak makiden önce ormana, daha sonra doğal bozkıra bir geçiş gözlenmektedir.

Çizelge 1. Litolojik birimlerin akarsu havzalardaki dağılımları (% cinsinden).

Table 1. Distribution of lithological units in the studied river basins (in %).

Havza Adı	Litoloji (% dağılım)		
	1	2	3
Deliçay	Karbonatlı Kayaç (35)	Ofiyolitik Kayaç (30)	Diğer (35)
Kumlukoyak	Kırıntılı Kayaç (35)	Karbonatlı Kayaç (35)	Diğer (30)
Müftü	Karbonatlı Kayaç (53)	Ofiyolitik Kayaç (28)	Diğer (19)
Mezitli	Ofiyolitik Kayaç (45)	Karbonatlı Kayaç (30)	Diğer (25)
Kandak	Karbonatlı Kayaç (54)	Kırıntılı Kayaç (46)	—
Sıpa Koyağı	Karbonatlı Kayaç (84)	Kırıntılı Kayaç (16)	—
Tece	Karbonatlı Kayaç (58)	Ofiyolitik Kayaç (30)	Diğer (12)
Gilindirez	Karbonatlı Kayaç (54)	Ofiyolitik Kayaç (40)	Diğer (6)
Karakız	Ofiyolitik Kayaç (45)	Karbonatlı Kayaç (44)	Diğer (11)
Arpaçbahşiş	Karbonatlı Kayaç (84)	Kırıntılı Kayaç (16)	—
Kargıcak	Karbonatlı Kayaç (75)	Kırıntılı Kayaç (14)	Diğer (11)
Sorgun	Karbonatlı Kayaç (55)	Ofiyolitik Kayaç (25)	Diğer (20)
Kocahasanlı	Karbonatlı Kayaç (97)	Kırıntılı Kayaç (3)	—
Lamas	Karbonatlı Kayaç (95)	Kırıntılı Kayaç (4)	Diğer (1)
Paşasuyu	Karbonatlı Kayaç (90)	Kırıntılı Kayaç (10)	—
Miytan	Karbonatlı Kayaç (99)	Kırıntılı Kayaç (1)	—
Kapız 2	Karbonatlı Kayaç (90)	Kırıntılı Kayaç (10)	—

MATERYAL VE YÖNTEM

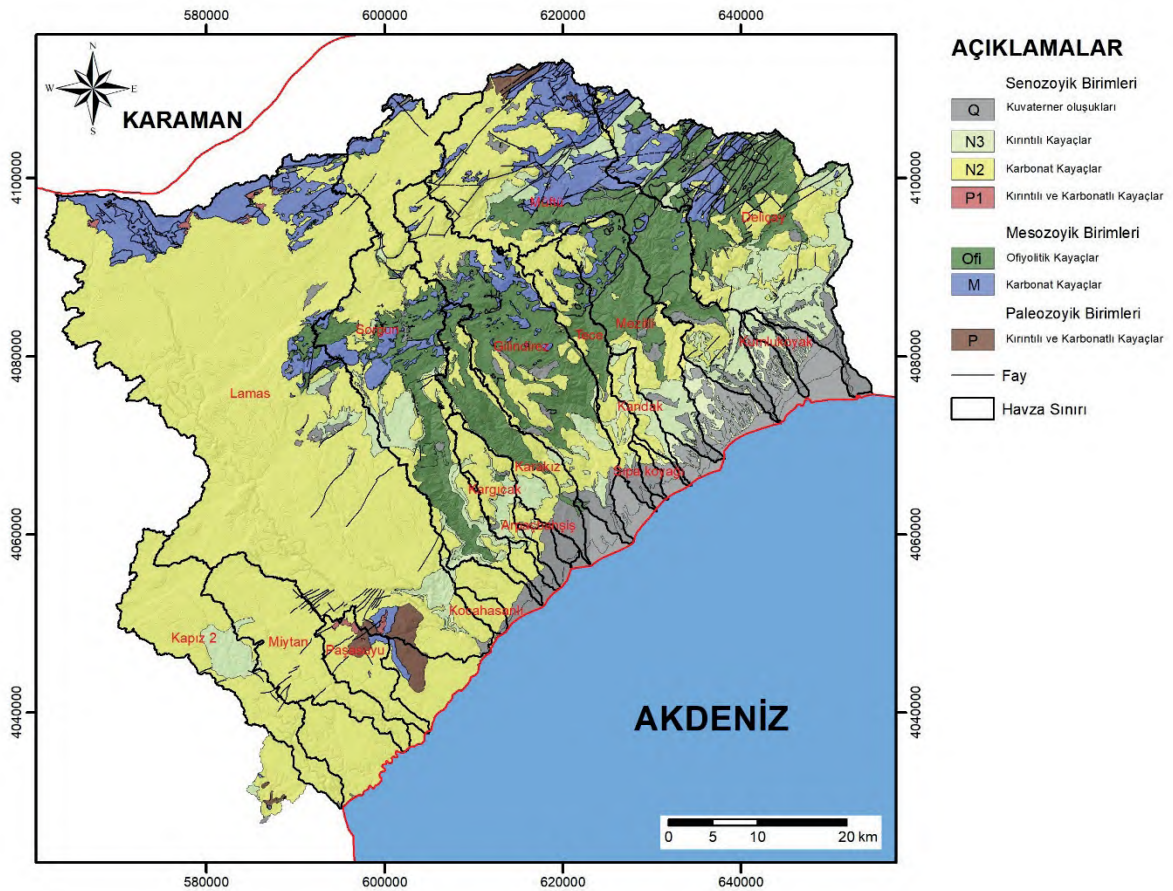
Çalışmada kullanılan temel materyal olan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Harita Genel Müdürlüğü tarafından üretilen Mersin O33, O32 ve O31 (1:100.000) paftaların kapladığı alana ait 1:25.000 ölçekli topografik haritalardır. Bu haritalar CBS ortamında Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyon sistemi kullanılarak (WGS 84 UTM Zon 36 N) kaydedilmiştir. Çalışma alanına ait SYM, topografik haritalarda bulunan eş yükselti eğrilerinin sayısallaştırılmasıyla elde edilmiş olup morfometrik analizler ve SYM ArcGIS 9.3 sürümü (ESRI, 2009) ve eklentileri yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sayısallaştırılan eş yükselti eğrilerinden SYM’ni oluşturmak için “Topo to raster” algoritması kullanılmış olup bu yöntem karstlaşmanın etkili olduğu bölgeler için sayısal

yükseklik modeli oluşturulmasında sıklıkla tercih edilmektedir (Bolongaro-Crevenna et al., 2005; Barton, 2015). Bu algoritma, özellikle su akışlarının doğru modellenmesi gereken durumlarda (sel, heyelan, taşkın gibi afet analizlerinde) nokta verisi (yükseklik noktaları), izohips (eş yükselti eğrileri) ve akarsu ağı gibi heterojen verileri birlikte kullanarak akarsu ağlarını koruyacak şekilde interpolasyon yapar (Hutchinson ve Dowling, 1991; Hutchinson, 1996; Hutchinson, 1997).

İncelenen akarsu havzalarına ait çeşitli hidrolojik özellikleri belirlemek amacıyla ArcHydro eklentisinden yararlanılmıştır (Baye, 2020). Bu eklenti yardımıyla öncelikle yüzeysel akışı engelleyen hücreler “Fill DEM” aracı kullanılarak düzenlenmiş, ardından akarsu havzalarının drenaj desenlerini tanımlayan

veri kümelerini üretmek için düzenlenen bu SYM kullanılmıştır. Düzenlenen SYM altlık olarak kullanılarak arazi ön işleme ve akarsu havzalarının analizi süreçleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, sırasıyla “Flow direction” ile akış yönü, “Flow accumulation” aracı ile akış birikimi, “Stream definition” aracı ile akarsu ağları ve “Watershed delineation” aracı ile havza sınırları belirlenmiştir. Akış dizilimini belirlemek için morfometrik analizlerde yaygın

olarak kullanılan Strahler yöntemi kullanılmıştır (Strahler, 1964). Akarsu havzalarının fiziksel özelliklerini yansıtan temel parametreler; havza alanı (A), havza çevresi uzunluğu (P), havza uzunluğu (L_b), havza rölyefi (B_h), akış dizilimi (U), akış numarası (N_u), akış uzunluğu (L_u) ve hipsometrik eğridir. Bu temel parametrelerden üretilen karakteristik parametrelere ait tanımlayıcı bilgiler Çizelge 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Gedik vd., 1979; Şenol vd., 1998; Alan vd., 2007; Alan vd., 2011).

Figure 2. Geological map of the study area (Gedik et al., 1979; Şenol et al., 1998; Alan et al., 2007; Alan et al., 2011).

Çizelge 2. Morfometrik analizlerde kullanılan karakteristik parametrelerin formülleri.

Table 2. Formulas of characteristic parameters used in morphometric analyses.

Karakteristik Parametreler	Formül ve Metot	Kaynak
Drenaj yoğunluğu (D_d)	L_u/A	Horton, 1932
Akarsu sıklığı (F_s)	N_u/A	Horton, 1945
Drenaj dokusu (D_p)	N_u/P	Horton, 1945
Alansal Form faktör (R_f)	A/L_b^2	Horton, 1932
Uzama oranı (R_e)	$2\sqrt{\frac{A}{\pi}}/L_b$	Schumm, 1956
Yüzeysel akış uzunluğu (L_g)	$1/2D_d$	Horton, 1945
Çizgisel Çatallanma oranı (R_b)	$N_u/N_u + 1$	Horton, 1932
Rölyef Rölyef oranı (R_r)	B_h/L_b	Schumm, 1956
Hipsometrik Hipsometrik integral (I_{hyp})	Hipsometrik eğri altında kalan alan	Strahler, 1952

BULGULAR VE TARTIŞMA

Temel Parametreler

Akarsu havzalarının temel morfometrik parametreleri kullanılarak havzaların karakteristik özellikleri ile ilgili sonuçlara ulaşılmaktadır. Temel parametre olarak nitelendirilen sayısal veriler ile bu verilerden üretilen karakteristik parametreler aracılığıyla farklı havzalara ait özellikler karşılaştırılabilmektedir (Yıldırım, 2021b). Çalışma kapsamında incelenen akarsu havzalarına ait temel morfometrik parametrelere ait sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur.

Havza alanı (A), su potansiyelini yansıtan (Oruonye ve Ahmed, 2021) ve akış süreçleri hakkında bilgi sağlayan (Karataş, 2017) önemli bir parametredir. Çalışma alanındaki akarsu havzalarının alanları 10,6 km² (Sıpa Koyağı) ile 1344,2 km² (Lamas) arasındaki değişmektedir (Çizelge 3). Havzanın engebe durumunu yansıtan (Karataş, 2017) ve drenaj dokusunun hesaplamasında kullanılan havza çevre uzunluğu

(P) ise bir diğer önemli geometrik özelliktir. Çalışma alanında en kısa çevre uzunluğuna sahip havza Kocahasanlı havzası iken (18,9 km) en uzun çevre uzunluğuna sahip havza ise Lamas havzasıdır (289,0 km) (Çizelge 3). Ana akarsuyun kaynak noktasından boşalım noktasına paralel çizilen hattın uzunluğunu ifade eden havza uzunluğu (L_b) değerleri 8,3 km ile 104,1 km arasında değişmektedir (Çizelge 3).

Havzanın en yüksek noktası ile en düşük noktası (çıkış noktası) arasındaki mutlak yükselti farkı olarak tanımlanan havza rölyefi (B_h) 0,56 km (Sıpa Koyağı) ile 2,56 km (Müftü) arasında değişmektedir (Çizelge 3). Yüksek rölyefe sahip havzalar, yüksek eğim, dik yamaçlar ve akış toplanma zamanının kısalığı ile karakterize edilmektedir (Özdemir, 2011). Horton (1932) tarafından geliştirilen ve Strahler (1964) tarafından revize edilen Akış dizilimi (U), akışları hiyerarşik olarak düzenleyen bir sınıflandırma yöntemidir. Bu çalışmada, Strahler (1964) yöntemi kullanılarak akış dizilimleri

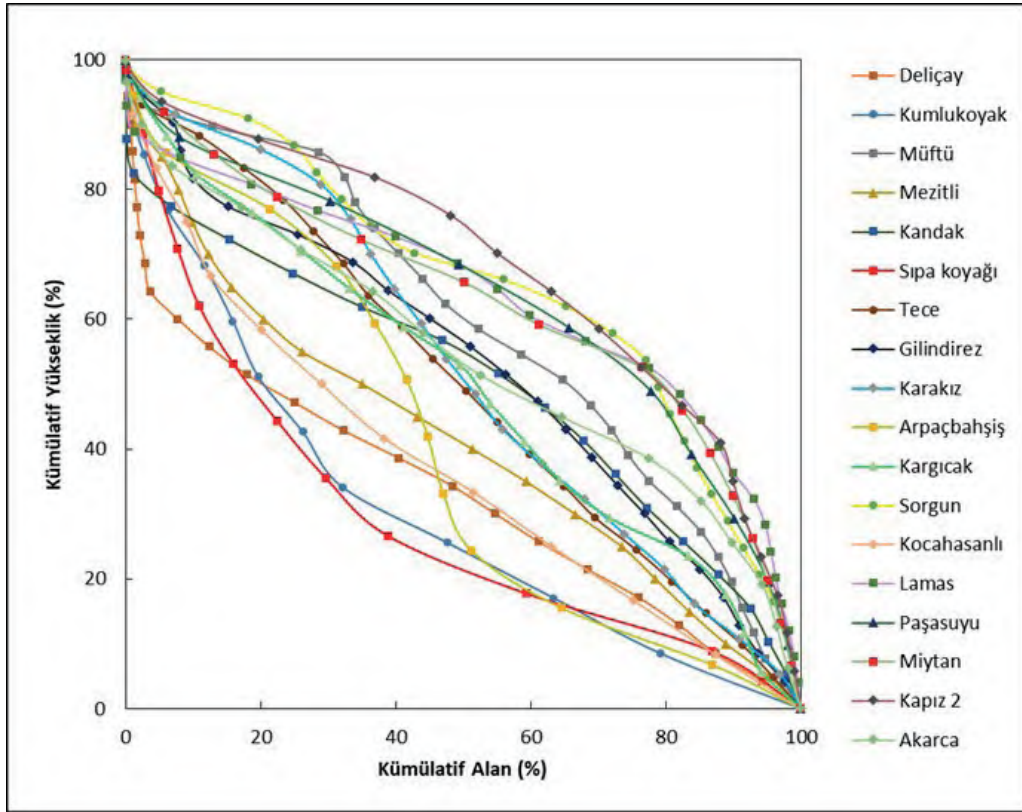
sınıflandırılmış olup en düşük akış dizilimi (3) Kocahasanlı havzasında bulunurken en yüksek akış dizilimi (6) ise Lamas havzasında bulunmuştur (Çizelge 3). Yüksek sayıda akış dizilimine sahip havzalar iyi drene olmuş havza olarak nitelendirilmektedir (Hajam vd., 2013). Bununla birlikte akış dizilimi parametresi yardımıyla havzanın jeolojisi ve jeomorfolojisi hakkında yorumlama yapılabilmektedir (Iqbal vd., 2013; Harsha vd., 2020; Yıldırım, 2021a). Akarsu kollarının sayısını temsil eden (Horton, 1945) akış numarası (N_u), havzanın jeolojisine, eğimine, toprak tipine, bitki örtüsü yoğunluğuna ve iklimsel koşullara bağlı olarak gelişen temel morfometrik parametredir (Singh vd., 2023). Çalışma alanındaki 17 adet havzanın akış numaraları 24 ile 1718 arasında değişmektedir (Çizelge 3). Çalışma alanında en az sayıda akarsu koluna sahip havza Kocahasanlı havzası iken en fazla sayıda akarsu koluna sahip havza ise Lamas havzasıdır (Çizelge 3). Genel olarak akarsu düzeni arttıkça akış sayısı azalmaktadır (Pande ve Moharir, 2017). Bununla birlikte fazla sayıda akarsu, havzaların düşük sızma kapasitesi, daha az geçirimli zemin ve büyük yüzeysel akış koşullarını yansıtmaktadır (Pande ve Moharir, 2017; Yıldırım, 2021b). Bir havzanın akarsu kollarının toplam uzunluğunun sayısal ifadesi olan akış uzunluğu (L_u) (Strahler, 1964), havzanın drenaj deseni, jeolojisi ve morfolojisi hakkında bilgi sağlamaktadır. Akarsu havzaları içinde Kocahasanlı havzası en kısa akış uzunluğuna (27 km) sahip havzadır. Lamas havzası 1940 km ile en uzun akış uzunluğuna sahip havzadır (Çizelge 3). Yüksek eğimli ve gözenekli temel kayalar yapısına sahip havzalarda uzun akarsuların sayısı az olurken, daha az geçirgen temel kayaların bulunduğu havzalarda kısa uzunluğa sahip çok sayıda akarsu bulunmaktadır (Thomas vd., 2011; Singh vd., 2023; Shekar ve Mathew, 2024).

Hidrolojide ve jeomorfolojide temel araç olarak kullanılan hipsometrik eğri, akarsu

havzasının nispi yüksekliği ile nispi alanı arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir (Strahler, 1952). Bu grafiksel yöntem, farkı akarsuların birbiriyle karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Oluşturulan grafikte dışbükey eğriler havzanın genç, akarsu akım gücünün yüksek ve su baskınlarının genellikle sel şeklinde olduğunu göstermektedir. (Özdemir, 2011). İçbükey eğriler ise havzanın olgunlaşmış olduğunu, akarsuların akım gücünün ve taşınan materyalin azaldığını ve su baskınlarının daha çok taşkın karakterli olduğunu ifade etmektedir (Özdemir, 2011). Eğrideki ani eğim değişimleri, özellikle yüksek kesimlerde görülen fay zonları veya kayalar değişimleri gibi tektonik özelliklerin göstergesi olabilmektedir (Strahler, 1952). Çalışma kapsamında incelenen akarsu havzalarının hipsometrik eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Deliçay, Kumlukoyak, Mezitli, Sıpa Koyağı, Arpaçbahşiş, Kocahasanlı içbükey eğriye sahip havzalar olup Müftü, Karakız, Sorgun, Miytan ve Kapız 2 havzaları dışbükey eğriye sahiptir. Deliçay ve Müftü havzalarının yüksek rakımlı bölgelerinde gözlenen ani eğri değişimlerine fayların, Arpaçbahşiş havzasında gözlenen ani eğri değişimine ise kayalar değişimlerinin (karbonat kayalarından Kuvaternere geçiş) neden olduğu anlaşılmıştır.

Karakteristik Parametreler

Temel parametrelerden üretilen karakteristik parametreler arasında, drenaj yoğunluğu (D_d), akarsu sıklığı (F_s), drenaj dokusu (D_l), çatallanma oranı (R_b), form faktör (R_f), uzama oranı (R_e), yüzeysel akış uzunluğu (L_g), rölyef oranı (R_r) ve hipsometrik integral (I_{hyp}) yer almaktadır. Bu karakteristik parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller Çizelge 2'de, akarsu havzalarına ait sonuçlar ise Çizelge 4'te sunulmuştur.



Şekil 3. İncelenen akarsu havzalarına ait hipsometrik eğriler.

Figure 3. Hypsometric curves of the studied river basins.

Birim alan başına akarsu kollarının toplam uzunluğu olarak tanımlanan drenaj yoğunluğu (D_d) (Horton, 1932), esas olarak havzanın yüzey suları tarafından ne düzeyde parçalandığını ifade etmektedir (Karataş, 2017). Düşük D_d genellikle daha az parçalanmış topoğrafyada tipik olan kaba drenaj dokularını yansıtırken, artan drenaj yoğunluğu genellikle daha çok parçalanmış topoğrafyaya ince dokulara karşılık gelmektedir (Dwivedi vd., 2022; Kumar vd., 2023). Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu havzalarda toprak erozyonu daha kolay gelişmekte olup (Ocak ve Bahadır, 2024), bitki örtüsü yoğunluğu daha az olmaktadır (Yıldırım, 2021b). Bununla birlikte, yüksek D_d değerine sahip havzaların yağışlar

sırasında yerel hidrolojik rejimleri önemli ölçüde değişebilmekte ve taşkın riskleri artmaktadır (Moeini vd., 2015). Çalışma alanındaki en düşük D_d değerine sahip havza Paşasuyu havzası iken, en yüksek D_d değerine sahip havza ise Arpaçbahşiş havzasıdır. İncelenen akarsu havzalarının D_d değerleri 1,10 ile 2,99 km/km^2 arasında değişmektedir (Çizelge 4).

Akarsu kollarının birim alandaki sayısını temsil eden akarsu sıklığı (F_s) (Horton, 1945), havza jeomorfolojisi, arazi kullanımı, toprak tipi ve iklim dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Yüksek eğim, hızlı drenajı ve daha karmaşık akarsu ağlarının oluşumunu desteklediğinden dolayı, dik topoğrafyaya sahip

havzalar genellikle daha yüksek F_s değerine sahiptir (Eimers ve McDonald, 2014). Daha yüksek F_s değeri daha fazla yüzey akışına, geçirimsiz zemin yapısına ve seyrek bitki örtüsüne karşılık gelmektedir (Shekar ve Mathew, 2024). Çalışma kapsamında F_s değerleri 0,70 ile 4,94 arasında değişmektedir. En düşük F_s değeri Paşasuyu havzasında, en yüksek F_s değeri ise Kandak havzasında bulunmuştur (Çizelge 4). Arazi kullanımındaki değişimler akarsu sıklığını etkileyebilmektedir. Özellikle kentleşme ile birlikte artan geçirimsiz yüzeylerin olduğu havzalarda doğal akışların yolu, sayısı ve sıklığı

değişebilmektedir (Debbage ve Shepherd, 2018). Bununla birlikte kayaç yapısı da akarsu sıklığını belirleyen faktörlerden bir tanesidir. Özellikle karbonat kayaçlarının geçirgenliği ile karstlaşma süreçleri arasındaki etkileşim, karst bölgelerinin hidrolojik manzarasını önemli ölçüde şekillendirir ve bu tür jeolojik oluşumların hakim olduğu alanlarda akarsu sıklığı değerlerinin daha düşük olmasına yol açar (Ensley vd., 2021). Bu çalışmada da çalışma alanında yer alan karbonat kayaçların hakim olduğu havzaların akarsu sıklığı değerlerinin göreceli olarak düşük olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 3. Temel morfometrik parametrelerin değerleri.

Table 3. Values of basic morphometric parameters.

Temel Parametreler							
	Alansal			Rölyef		Çizgisel	
Havza Adı	A (km ²)	P (km)	L _b (km)	B _h (km)	U*	N _u *	L _u (km)
Deliçay	439,3	183,7	65,4	2,33	6	1114	807
Kumlukoyak	15,5	27,1	13,1	0,58	4	41	42
Müftü	468,7	177,8	80,0	2,56	6	850	776
Mezitli	168,7	92,6	38,7	1,99	5	513	376
Kandak	34,2	44,6	20,4	0,97	4	169	100
Sıpa Koyağı	10,6	19,0	8,9	0,56	4	42	31
Tece	99,6	89,4	37,7	2,04	5	387	229
Gilindirez	330,4	138,9	58,5	2,32	5	543	527
Karakız	126,9	93,4	39,3	1,85	5	338	256
Arpaçbahşiş	13,8	27,7	12,9	0,58	4	63	41
Kargıcak	60,1	59,6	26,9	1,70	4	84	100
Sorgun	449,2	271,9	79,9	2,42	6	1001	812
Kocahasanlı	14,2	18,9	8,3	0,60	3	24	27
Lamas	1344,2	289,0	104,1	2,47	6	1718	1940
Paşasuyu	64,0	55,5	23,6	1,02	4	45	70
Miytan	153,5	97,1	39,7	1,52	5	252	250
Kapız 2	193,6	127,5	53,7	1,70	5	256	298

*Birimsiz

Akarsu kollarının toplam sayısının (N_u) havzanın çevre uzunluğuna (P) bölünmesiyle drenaj dokusu (D_t) elde edilmektedir (Horton, 1945). Bu parametre, zeminin sızma kapasitesinden, iklimden, yağıştan, toprak tipinden ve bitki örtüsünden etkilenmektedir (Smith, 1950). Kaba drenaj dokusuna sahip havzalarda yüzeye düşen yağış hızlı bir şekilde akışa geçmekte ve yüzey akışı artmaktadır (Thomas vd., 2010). İnce drenaj dokusuna sahip havzalarda sızma potansiyeli yüksek olduğundan dolayı sular daha yavaş drene olmaktadır (Thomas vd., 2010). Smith (1950) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre; havzalar çok kaba ($D_t < 2$), kaba ($2 < D_t < 4$), orta ($4 < D_t < 6$), ince ($6 < D_t < 8$) ve çok ince ($8 < D_t$) olmak üzere beş sınıfa ayrılmaktadır. Çalışma alanına ait 17 akarsu havzasının D_t değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. İncelenen havzaların dördü “çok kaba”, sekizi “kaba”, dördü “orta” ve biri “ince” drenaj dokusu sınıfına girmektedir.

Çatallanma oranı (R_b), her akarsu dizinin toplam sayısının, kendinden bir üst dizinin toplam sayısına oranlanmasıyla (Çizelge 4) elde edilen karakteristik parametredir (Strahler, 1952; Schumm, 1956). Bu parametre, akarsuların erozyonel süreçlerdeki etkisini yorumlamada önemli bir veridir (Karataş, 2017). Boyutsal olmayan bu veri, bir drenaj havzasında çeşitli düzendeki akarsular arasındaki bütünleşmenin derecesini göstermektedir (Pande ve Moharir, 2017). Jeolojinin drenaj ağı üzerindeki etkisinin az olduğu havzalarda R_b tipik olarak 3,0 ile 5,0 arasında değişmektedir (Verstappen, 1983; Özdemir ve Bird, 2009). Yüksek R_b , drenaj deseninin jeolojik yapılardan etkilendiğini (Mazahir vd., 2022) ve ani sel potansiyeli olan erken hidrograf zirvesini göstermektedir (Kanth vd., 2012; Hajam, 2013). Düşük değerlerin gözlemlendiği havzaların geçirimsizliği az olup yüzeysel akışı yüksektir (Utlı ve Özdemir,

2018). Akarsu havzalarının çatallanma oranı 3,35 (Sıpa Koyağı) ile 5,88 (Kandak) arasında değişmekte olup (Çizelge 4) çalışma alanın doğusunda yer alan havzaların düşük değerlere sahip olması bu bölgelerin taşkın riski altında olduğunu göstermektedir.

Havza alanının, havza uzunluğunun karesine oranını (Çizelge 4) temsil eden form faktörü (R_f), akarsu havzalarının şekilsel özelliğini yansıtmaktadır (Horton, 1932). Form faktörü değeri düşük havzalar ($< 0,22$) uzunlamasına ve ince şekilli olup yüksek değere sahip havzalar ise daha yuvarlak şekle sahiptir (Hajam, 2013). Bununla birlikte, form faktörü değeri havza akışının yoğunluğunu temsil etmektedir (Singh vd., 2025). Daha yüksek form faktörü değerleri daha büyük ve daha uzun süreli pik akışlarını gösterirken, daha düşük form faktörü değerleri daha küçük ve daha kısa süreli pik akışlarını göstermektedir (Horton, 1945). Form faktörü değeri hesaplanan havzaların tümü ince–uzun şekilli olup elde edilen değerler 0,07 ile 0,20 arasında değişmektedir (Çizelge 4). Havzaların ince–uzun şekle sahip olmasında, denize paralel uzanan Toros Dağları'ndan kaynaklanan akarsuların denize dik bir şekilde akış göstermesi etkili olmuştur.

Uzama oranı (R_c), bir havzanın uzunluğunu veya daireselliğini belirleyen morfometrik bir parametredir. Havza ile aynı alana sahip bir dairenin çapının maksimum havza uzunluğuna oranı olan R_c değeri (Çizelge 4), akarsu havzasının şekli ile ilgili bilgi vermektedir (Schumm, 1956). Bu boyutsuz oranın 0'a yakın değerler alması uzunlamasına bir havzayı temsil ederken, 1'e yakın değerler ise havzanın daha dairesel olduğunu göstermektedir (Biswas vd., 1999). Strahler (1952), çok çeşitli iklimsel koşullar ve jeolojik ortamlarda uzama oranının 0,6 ile 1,0 arasında değiştiğini belirtmektedir. Ayrıca

0,5'ten küçük uzama oranına sahip havzalar daha uzun şekilli olarak kabul edilmektedir (Shekar ve Mathew, 2024). İncelenen akarsu havzalarına ait en yüksek uzama oranı değeri 0,51 iken en düşük uzama oranı değeri 0,29'dur (Çizelge 4). Bu değerlere göre 17 akarsu havzasının tümü uzun ve daha uzun şekilli havza olarak belirlenmiştir. Düşük uzama oranına sahip, uzun ve dar havzalarda yüzey akışı yüksek olup, aşınma ve sediman taşınımı fazla olmaktadır (Biswas vd., 1999). Bu tür havzalar yüksek rölyef, düşük sızma kapasitesi ve dik topoğrafya ile karakterize edilmektedir (Reddy vd., 2004; Özdemir, 2011; Utlu ve Özdemir, 2018).

Drenaj yoğunluğu ile ilişkili karakteristik bir parametre olan yüzeysel akış uzunluğu (L_g), yeryüzüne düşen suyun belli bir yatağa ulaşmadan önce katettiği mesafenin bir ölçüdür (Horton, 1945). Bu parametre havza şekli, arazi eğimi, bitki örtüsü ve zeminin geçirirliliği gibi değişkenlerden etkilenmektedir. Yüksek drenaj yoğunluğuna ve dairesel şekle sahip havzalar, yüzey akışının akarsu kanallarına daha fazla yönlendirilmesi nedeniyle daha kısa yüzeysel akış uzunluğu sergilemektedir (Özdemir, 2011; Samal vd., 2015; Sukristiyanti vd., 2018; Cheruku vd., 2023). Uzama ile karakterize edilen, düşük akış koşullarına sahip ve geçirirliliği fazla olan havzaların yüzeysel akış uzunluk değerleri yüksek olmaktadır (Jayswal vd., 2021). Bununla birlikte, eğimin fazla olduğu havzalarda, kanallara doğru daha hızlı su taşınımı nedeniyle yüzeysel akışların uzunluğu azalmaktadır (Gomi vd., 2008; Nieuwenhuizen vd., 2021). Çalışma alanında bulunan havzaların yüzeysel akış uzunluğu değerleri 0,17 (Arpaçbahşiş havzası) ile 0,45 (Paşasuyu havzası) arasında değişmektedir (Çizelge 4).

Rölyef oranı (R_r), bir havzanın diklik derecesini ifade eden önemli bir morfometrik

parametre olup matematiksel olarak, dikey yükseklik farkının (toplam havza rölyefi) havzanın maksimum uzunluğuna oranlanmasıyla (Çizelge 4) elde edilmektedir (Schumm 1956). Rölyef oranı, erozyonal süreçler ile havzanın topoğrafyası hakkında gösterge olarak kullanılmaktadır (Cürebal ve Ekinci, 2006; Karataş, 2017). Yüksek rölyef oranı, dik topoğrafyayla, genellikle artan akışla, fazla aşınmayla ve taşkın riskleriyle ilişkilidir (Babu vd., 2014). Rölyef oranı düşük olan havzaların, eğime bağlı olarak boşalım miktarı az olduğundan dolayı bu havzaların yeraltı suyu potansiyeli yüksektir (Parveen vd., 2012). Çalışma alanında en düşük rölyef oranı 0,02 (Lamas havzası), en yüksek rölyef oranı ise 0,07 (Kocahasanlı havzası) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4). Elde edilen sonuçlara göre; havza alanı ile rölyef oranında negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Havzaların evrimleri sırasında, farklı aşamalardaki aşınmış arazi şekilleri arasında ayırım yapmak için Strahler (1952) tarafından hipsometrik integral (I_{hyp}) yöntemi geliştirilmiştir. Jeomorfolojik bir parametre olan hipsometrik integral, 0 ile 1 arasında değerler almakta olup bu değerler hipsometrik eğri altında kalan alanı temsil etmektedir. Erozyon döngüsünün bir göstergesi olan (Singh vd., 2008) hipsometrik integral kullanılarak havzaların erozyon döngüsü üç sınıfa ayrılmıştır (Strahler (1952). Bu sınıflar, aşınma ve erozyon süreçlerinin bittiği “yaşlı evre” ($I_{hyp} < 0,3$), havzanın denge durumuna ulaştığı “olgun evre” ($0,3 \leq I_{hyp} < 0,6$) ve havzanın erozyona karşı oldukça hassas olduğu “genç evre” ($I_{hyp} \geq 0,6$) şeklindedir. Çalışma kapsamında 17 adet akarsu havzasının ikisinin yaşlı evrede, onunun olgun evrede ve beşinin genç evrede olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Karakteristik morfometrik parametrelere ait sonuçlar.

Table 4. Values of characteristic morphometric parameters.

Karakteristik Parametreler									
Havza Adı	D_d (km ⁻¹)	F_s	D_t	R_b	R_f	R_c	L_g	R_r	I_{hyp}
Deliçay	1,84	2,54	6,06	3,98	0,10	0,36	0,27	0,03	0,33
Kumlukoyak	2,71	2,64	1,51	3,44	0,09	0,34	0,18	0,04	0,30
Müftü	1,66	1,81	4,78	3,86	0,07	0,31	0,30	0,03	0,59
Mezitli	2,23	3,04	5,54	5,00	0,11	0,38	0,22	0,05	0,41
Kandak	2,92	4,94	3,79	5,88	0,08	0,32	0,17	0,05	0,50
Sıpa Koyağı	2,98	3,98	2,12	3,35	0,13	0,41	0,17	0,06	0,29
Tece	2,30	3,88	4,32	3,72	0,07	0,29	0,22	0,05	0,50
Gilindirez	1,59	1,64	3,90	5,41	0,09	0,35	0,31	0,04	0,53
Karakız	2,02	2,66	3,62	4,36	0,08	0,33	0,25	0,05	0,53
Arpaçbahşiş	2,99	4,56	2,28	3,74	0,08	0,32	0,17	0,04	0,40
Kargıcak	1,66	1,40	1,41	4,22	0,08	0,33	0,30	0,06	0,49
Sorgun	1,80	1,80	3,68	4,18	0,07	0,30	0,27	0,03	0,66
Kocahasanlı	1,83	1,68	1,27	4,38	0,20	0,51	0,27	0,07	0,37
Lamas	1,51	1,28	5,94	4,42	0,12	0,39	0,33	0,02	0,64
Paşasuyu	1,10	0,70	0,81	3,39	0,12	0,38	0,45	0,04	0,63
Miytan	1,74	1,64	2,59	3,75	0,09	0,35	0,28	0,04	0,63
Kapız 2	1,54	1,32	2,01	4,02	0,07	0,29	0,32	0,03	0,68

Tarihsel süreç boyunca Mersin ilinde, kayda değer maddi ve manevi kayıplara neden olmuş birçok sel ve taşkın olayı meydana gelmiştir (Çizelge 5). Bu afetlerin oluşum

yerlerine bakıldığında çoğunlukla Mersin ili merkez ilçeleri ve doğusunda meydana geldiği görülmüştür. Bu göstergeler ise bu çalışmanın sonuçları ile örtüşmektedir.

Çizelge 5. Mersin ilinde meydana gelen kaydadeğer sel/taşkın afetleri.

Table 5. Significant flooding disasters in Mersin province.

Tarih	İlçe/Bölge	Etkiler	Kaynak
28 Aralık 1968	Silifke, Tarsus, Mersin Merkez	5 ölü, 851 bina zarar, 95 bin dekarlık alan sular altında	MP, 2016
3 Aralık 2001	Silifke (Kızkalesi), Mersin Merkez	5 ölü, çok sayıda ev ve iş yeri hasarlı	Kaynak, 2001
2014	Mersin Merkez	70 kg/m ² yağış, su baskınları	İçel, 2014
29 Aralık 2016	Yenişehir, Mezitli, Akdeniz	5 ölü, kent merkezinde altyapı ve taşkın zararı	Bilici ve Everest, 2017

SONUÇLAR

Çalışma kapsamında Mersin ili merkezinde bulunan Deliçay, Kumlukoyak, Müftü, Mezitli, Kandak, Sıpa Koyağı, Tece, Gilindirez, Karakız, Arpaçbahşiş, Kargıcak, Sorgun, Kocahasanlı, Lamas, Paşasuyu, Miytan ve Kapız 2 olmak üzere 17 adet akarsu havzasının morfometrik analizleri yapılmış ve analizler sonucunda elde edilen veriler ile çalışma alanında ilerleyen süreçte yapılabilecek hidrolojik modelleme ve afet risk yönetimi süreçlerinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar için veri tabanı oluşturulmuştur. Ayrıca akarsu havzalarının morfometrik parametrele değerleri karşılaştırılarak ve aralarındaki farklılıklar ve benzerlikler ortaya koyulmuştur.

Karbonatlı kayaçların bulunduğu güneybatıdaki havzalar, ofiyolitik kayaçların bulunduğu kuzeydoğu havzalarına göre daha düşük drenaj yoğunluğuna sahiptir. Batıdaki karbonat kayaçlarının bulunduğu havzalarda akarsu sıklığı ve sel riski düşük olup, doğudaki havzalarda ise sel riski daha yüksektir. Havzalar, çok kaba drenaj dokusundan ince drenaj dokusuna kadar çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Bazı havzalarda tektonik ve yapısal faktörlerin çatallanma oranlarını etkilediği tespit edilmiştir. Akarsu havzaların uzama oranları ve form faktör değerleri arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Havzalar kuzey-güney doğrultusunda ince ve uzun şekillidir. Paşasuyu havzası en uzun, Arpaçbahşiş havzası ise en kısa yüzeysel akış uzunluğuna sahip havzalardır. En yüksek rölyef oranına sahip havzalar Kocahasanlı ve Sıpa Koyağı iken, en düşük rölyef oranına sahip havza Lamas'tır. Elde edilen sonuçlara göre havza alanı ile rölyef oranı arasında negatif bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Hipsometrik integral değerleri referans alınarak 17 adet akarsu havzasının ikisinin yaşlı evrede, onunun

olgun evrede ve beşinin genç evrede olduğu bulunmuştur. Batıdaki havzaların hipsometrik integral değerleri, doğudaki karbonat kayaçların bulunduğu havzalara göre daha yüksek olup bu havzaların aşınma/erozyona karşı hassasiyeti daha yüksektir.

Çalışma alanının doğu bölgelerinde ve Mersin il merkezini de kapsayan akarsu havzalarında hızlı kentleşme ve nüfusun artmasıyla arazi kullanımı da hızla değişmektedir. Özellikle bu havzalarda sel ve taşkın riskine karşı gerekli planlamalar yapılarak önlemlerin alınması ve bu süreçte havzaların morfometrik özelliklerinin de göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, birinci yazara (Ümit Yıldırım) ait “Göksu Nehri ve Tarsus Çayı (Mersin) Arasında Yer Alan Akarsuların Morfometrik, Hidrolojik ve Hidrokimyasal Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı doktora tezinden üretilmiş olup Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 2015-TP3-1008). Yazarlar bu desteğinden dolayı Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- Alan, İ., Şahin, S., Balcı, V., Elibol, H., Böke, N., Altun, İ., Esirtgen, T., Keskin, H., Kop, A., ve Bakırhan, B. (2011). *Orta Torosların jeodinamik evrimi: Bozyazı-Aydıncık-Gülner-Silifke (Mersin) yöresi* (Rapor no: 11462). MTA (yayımlanmamış).
- Alan, İ., Şahin, S., Böke, N., Saçlı, L., Keskin, H., Pehlivan, Ş., Altun, İ., Kop, A., Bakırhan, B., Hanılçı, N., Balcı, V. ve Çelik, Ö. F. (2007). *Orta Torosların jeodinamik evrimi: Ereğli (Konya)-Ulukışla (Niğde)-Karsanti (Adana)-Namrun (İçel) yöresi* (Rapor no: 11006). MTA (yayımlanmamış).

- Altıparmak, S. ve Türkoğlu, N. (2018). Yakacık Çayı havzasının (Hatay) morfometrik analizi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 58(1), 353-374.
- Appiagyei, B. D., Belhoucine-Guezouli, L., Bessah, E., Morsli, B., & Fernandes, P. A. M. (2022). A review on climate change impacts on forest ecosystem services in the Mediterranean basin. *Journal of Landscape Ecology*, 15(1), 1-26. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0001>
- Arıkan, M., Erkal, T. ve Ertek, T. A. (2023). Kuzey Anadolu Fay zone ve güneyindeki Kızılırmak Havzası'nın (Çorum) relief morfometrisi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 28(49), 8-27. <https://doi.org/10.5152/EGJ.2023.220405>
- Avcı, V. (2017). Darköprü Deresi havzasında (Bingöl) tektonik etkinin morfometrik analizlerle belirlenmesi. *Journal of International Social Research*, 10(48), 270-284. <https://doi.org/10.17719/jisr.2017.1499>
- Avcı, V. ve Sunkar, M. (2015). Giresun'da sel ve taşkın oluşumuna neden olan Aksu Çayı ve Batlama Deresi havzalarının morfometrik analizleri. *Journal of Geography*, 30, 91-119. https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25075/264657#article_cite
- Ayhan, A. ve Lengeranli, Y. (1986). Yahyalı-Demirkazık (Aladağ Yöresi) arasının tektonostratigrafik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27, 31-45. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmd/issue/90147/1632017#article_cite
- Babaiban, E. (2020). *Morfometrik parametreler yardımıyla olası havza taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi: Doğu Akdeniz havzası örneği* [Yayımlanmamış Yüksek Tezi]. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Babu, K. J., Sreekumar, S. & Aslam, A. (2014). Implication of drainage basin parameters of a tropical river basin of South India. *Applied Water Science*, 6(1), 67-75. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0212-8>
- Baduna Koçyiğit, M., Akay, H. ve Babaiban, E. (2021). Temel bileşen analizi kullanılarak Doğu Akdeniz Havzası ani taşkın potansiyelinin morfometrik yaklaşımla değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1669-1686. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.829390>
- Barton, G. (2015). Simulating environmental impacts based on the example of roşia montană. *Journal of Environmental Geography*, 8(3-4), 1-10. <https://doi.org/10.1515/jengeo-2015-0007>
- Baye, M. (2020). Watershed delineation by Arc Hydro tools. *International Journal of Science and Research*, 9(5), 956-961. <https://www.doi.org/10.21275/SR20516144818>
- Bhat, A. G., Paradkar, V., Aishwarya, M. S., Balley, P., & Rema, K. P. (2023). Geospatial analysis of Kurumanpuzha sub-watershed in the Chaliyar River basin: a remote sensing and GIS approach for geomorphological assessment. *Journal of Experimental Agriculture International*, 45(11), 9-21. <https://doi.org/10.9734/jeai/2023/v45i112230>
- Bilici, Ö. E. & Everest, A. (2017). 29 Aralık 2016 Mersin Selinin Meteorolojik Analizi ve İklim Değişikliği Bağlantısı. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 22(38), 227-250. <https://doi.org/10.17295/ataunided.294027>
- Biswas, S., Sudhakar, S. & Desai, V. R. (1999). Prioritisation of subwatersheds based on morphometric analysis of drainage basin: A remote sensing and GIS approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 27(3), 155-166. <https://doi.org/10.1007/bf02991569>
- Bolongaro-Crevenna, A., Rodríguez, V., Sorani, V., Frame, D., & Ortíz, M. (2005). Geomorphometric analysis for characterizing landforms in morelos state, Mexico. *Geomorphology*, 67(3-4), 407-422. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.11.007>
- Cheruku, S., Prabhakar, G. & Boddu, U. R. (2023). Morphological characteristics of Kanthatmakur Vagu watershed of Warangal district: Using Geographical Information System (GIS). *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 17(1), 255-265. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.17.1.0027>
- Chorley, R. J., Schumm, S. A. & Sugden, D. E. (1984). *Geomorphology* (1st ed.). Methuen, London.

- Cox, R. T. (1994). Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi embayment. *Geological Society of America Bulletin*, 106(5), 571–581. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1994\)106<2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1994)106<2.3.co;2)
- Cürebal, İ. ve Ekinci, D. (2006). Kızılkeçili Deresi havzasında CBS tabanlı RUSLE (3D) yöntemiyle erozyon analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 47, 115-130.
- Cürebal, İ., Efe, R., Özdemir, H., Soykan, A. & Sönmez, S. (2015). GIS-based approach for flood analysis: case study of Keçidere flash flood event (Turkey). *Geocarto International*, 31(4), 355-366. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1047411>
- Debbage, N. & Shepherd, J. M. (2018). The influence of urban development patterns on streamflow characteristics in the Charlanta Megaregion. *Water Resources Research*, 54(5), 3728-3747. <https://doi.org/10.1029/2017WR021594>
- Demirtaşlı, E. (1967). *Pınarbaşı-Sarız-Mağara ilçeleri arasındaki sahanın litostratigrafi birimleri ve petrol imkanları*. (Rapor no: 3489). MTA (yayımlanmamış).
- Dikici, M. (2024). Rapid identification of flood-prone settlements in the Eastern Mediterranean basin in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 83, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11614-1>
- Dimple, D., Rajput, J., Al-Ansari, N., Elbeltagi, A., Zerouali, B. & Santos, C. A. G. (2022). Determining the hydrological behavior of catchment based on quantitative morphometric analysis in the hard rock area of Nand Samand catchment, Rajasthan, India. *Hydrology*, 9(2), 31. <https://doi.org/10.3390/hydrology9020031>
- Dwivedi, L., Pandey, R. & Tripathi, S. (2022). Remote sensing and GIS based morphometric characterization of Bichiya River watershed of Rewa district, MP. *International Journal of Applied Research*, 8(6), 101-107. <https://doi.org/10.22271/allresearch.2022.v8.i6b.9829>
- Ede, P. N. (2015). Morphometric features of a low-elevation urban catchment and the implications for flooding. *Global Journal of Geological Sciences*, 13(1), 9-14. <https://doi.org/10.4314/gjgs.v13i1.2>
- Eimers, M. C. & McDonald, E. C. (2015). Hydrologic changes resulting from urban cover in seasonally snow-covered catchments. *Hydrological Processes*, 29(6), 1280-1288. <https://doi.org/10.1002/hyp.10250>
- Ensley, R., Hansen, R., Morales-Aguilar, C., & Thompson, J. (2021). Geomorphology of the mirador-calakmul karst basin: a gis-based approach to hydrogeologic mapping. *Plos One*, 16(8), e0255496. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255496>
- Eren, M., Kadir, S., Hatipoğlu, Z. & Gül, M. (2008). Quaternary Calcrete development in the Mersin area, Southern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(4), 763-784. <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol17/iss4/7>
- Erol, A. & Karadeniz, C. (2018). Morfometrik parametrelerin havza hidrolojisi bakımından değerlendirilmesi. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 447-454. <https://doi.org/10.18182/tjf.476776>
- Esen, F. (2022). Ayancık Çayı Havzası'nda (Sinop) meydana gelen taşkın olaylarının havza morfometrisi açısından değerlendirilmesi. *International Journal of Geography and Geography Education*, 47, 233-257. <https://doi.org/10.32003/igge.1126933>
- ESRI. (2009). ArcGIS version 9.3. Redlands, California
- Evans, I. S. (1972). *General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics*. In R. J Chorley (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*, (pp. 17-90). Harper and Row.
- Fraga, H., Moriando, M., Leolini, L., & Santos, J. A. (2020). Mediterranean olive orchards under climate change: a review of future impacts and adaptation strategies. *Agronomy*, 11(1), 56. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010056>
- Gedik, A., Birgili, Ş., Yılmaz, H. ve Yoldaş, R. (1979). Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi

- ve petrol olanakları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 22, 8-26.
- Gericke, O. J. (2019). GIS applications to investigate the linkage between geomorphological catchment characteristics and response time: a case study in four climatological regions, *South Africa. Water*, 11(5), 1072. <https://doi.org/10.3390/w11051072>
- Gomi, T., Sidle, R. C., Miyata, S., Kosugi, K. & Onda, Y. (2008). Dynamic runoff connectivity of overland flow on steep forested hillslopes: scale effects and runoff transfer. *Water Resources Research*, 44(8), 1-16. <https://doi.org/10.1029/2007wr005894>
- Hajam, R. A., Hamid, A. & Bhat, S. U. (2013). Application of morphometric analysis for geo-hydrological studies using geo-spatial technology-a case study of Vishav drainage basin. *Journal of Waste Water Treatment and Analysis*, 4(3), 1-13. <https://doi.org/10.4172/2157-7587.1000157>
- Harsha, J., Ravikumar, A. S. & Shivakumar, B. L. (2020). Evaluation of morphometric parameters and hypsometric curve of Arkavathy river basin using RS and GIS techniques. *Applied Water Science*, 10(3), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1164-9>
- Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *American Geophysical Union of Transactions*, 13(1), 350-361. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275-370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:edosat\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:edosat]2.0.co;2)
- Hurtrez, J. E, Sol, C. & Lucazeau, F. (1999). Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik Hills (Central Nepal). *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(9), 799-808. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199908\)24:9<799::AID-ESP12>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199908)24:9<799::AID-ESP12>3.0.CO;2-4)
- Hutchinson, M. F. & Dowling, T. I. (1991). *A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia*, *Hydrological Processes*, 5 (1), 45-58. In: Beven, K. J., Moore, I. D. (Eds.), 1995, Terrain analysis and distributed modelling in hydrology (Advances in Hydrological Processes), John Wiley & Sons, 49-62.
- Hutchinson, M. F. (1996). *A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models*. In Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM, January 21-26, 1996. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis.
- Hutchinson, M. F. (1997). ANUDEM Version 4.6, User Guide, (Revision: 26 August 1997), The Australian National University, Centre for Resource and Environmental Studies, Canberra.
- İçel, G. (2014). Mersin'de Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Afetler. *Journal of Turkish Studies*, 9(11), 263-282. <http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.7454>
- Iqbal, M., Sajjad, H. & Bhat, F. A. (2013). Morphometric analysis of Shaliganga Sub Catchment, Kashmir Valley, India using Geographical Information System. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4 (1), 10-21. <https://ijettjournal.org/archive/ijett-v4i1p202>
- İlker, S. (1975). *Adana Baseni Kuzey-Batısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları* (Rapor No: 973). TPAO (yayımlanmamış).
- İrcan, M. R., Kale, M. M. ve Duman, N. (2024). Morfometrik analizlerle taşkın duyarlılık değerlendirmesi: Şanlıurfa örneği. *Geomatik*, 9(3), 361-374. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1506840>
- Jayswal, P. S., Gontia, N. K. & Sondarva, K. N. (2021). Morphometric study of Dhatarwadi River basin using RS and GIS techniques. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 40(11), 1-11. <https://doi.org/10.9734/cjast/2021/v40i1031354>

- Juteau, T. (1980). Ophiolites of Turkey. *Ofiyoliti*, 2, 199-233.
- Kanth, T. A. & ul Hassan, Z. (2012) Morphometric analysis and prioritization of watersheds for soil and water resource management in Wular catchment using Geo-Spatial tools. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2(1), 30-41.
- Karataş, A. (2017). Karasu Çayı Havzasının Hidrografik Planlaması. Çantay.
- Kaynak, A. (2001). *Mersin'de Sel Afeti Raporu*. TMH (Türkiye Mühendislik Haberleri), 415. <https://www.imo.org.tr/Eklenti/1718,mersinde-sel-afeti-raporupdf.pdf?>
- Khalifa, A., Bashir, B., Alsalman, A., Naik, S. P. & Nappi, R. (2023). Remotely sensed data, morpho-metric analysis, and integrated method approach for flood risk assessment: Case study of Wadi Al-Arish landscape, Sinai, *Egypt. Water*, 15(9), 1797. <https://doi.org/10.3390/w15091797>
- Krishnamurthy, J., Srinivas, G., Jayaram, V. & Chandrasekhar M. G. (1996). Influence of rock type and structure in the development of drainage networks in typical hard rock terrain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(3), 252-259.
- Kumar, S., Singh, V. & Saroha, J. (2023). Application of geospatial techniques in soil erosion assessment in Sarbari Khad of Himachal Pradesh, India. *Journal of Advanced Zoology*, 44(3), 25-33. <https://doi.org/10.17762/jaz.v44i3.215>
- Kuşçu, İ. & Özdemir, H. (2025). Flood susceptibility analysis of settlement basins on a provincial scale using inventory flood data. *Environmental Earth Sciences*, 84(15), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11988-2>
- Lin, L., Wu, Z., & Liang, Q. (2019). Urban flood susceptibility analysis using a GIS-based multi-criteria analysis framework. *Natural Hazards*, 97(2), 455-475. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03615-2>
- Makhamreh, Z., Al-Hawary, M. & Odeh, S. (2020). Assessment of morphometric characteristics of Wadi Al-Shumar Catchment in Jordan. *Open Journal of Geology*, 10, 155-170. <https://doi.org/10.4236/ojg.2020.102009>
- Mazahir, S., Javed, A. & Khanday, M. (2022). Drainage basin characteristics of Dhund River basin, Eastern Rajasthan India, using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Geographic Information System*, 14(4), 347-363. <https://doi.org/10.4236/jgis.2022.144019>.
- Merritts, D. J. & Vincent, K. R. (1989). Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift, Mendocino triple junction region, Northern California. *Geological Society of America Bulletin*, 101(11), 1373-1388. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)1012.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)1012.3.co;2)
- MGM (2025, 03 Mart). Meteoroloji Genel Müdürlüğü. İllimize Ait Genel İstatistik Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ICEL>
- Moieni, A., Zarandi, N. K., Pazira, E. & Badiollahi, Y. (2015). The relationship between drainage density and soil erosion rate: a study of five watersheds in Ardebil province, Iran. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 197, 129-138. <https://doi.org/10.2495/rm150121>
- Morisawa, M. E. (1959). *Relation of morphometric properties to runoff in the Little Mill Creek, Ohio, Drainage basin*, (Rapor no: CU-TR-17). Columbia University (yayınlanmış).
- MP (Mersin Portal) (2025, 06 Mayıs). *Mersin 1968 – 2001 – 2016 Değişmeyen Kaderi Sel*. <https://www.mersinportal.com/mersin/mersin-1968-2001-2016-degismeyen-kaderi-sel-h34102.html>
- Mueller, J. E. (1968). An Introduction to the hydraulic and topographic sinuosity indexes. *Annals of the Association of American Geographers*, 58(2), 371-385. <https://www.jstor.org/stable/2561621>
- Mzobe, P., Yan, Y., Berggren, M., Pilesjö, P., Olefeldt, D., Lundin, E., Roulet, N. T. & Persson, A. (2020). Morphometric control on dissolved organic carbon in Subarctic streams. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(9), 1-16. <https://doi.org/10.1029/2019JG005348>
- Nieuwenhuizen, N. V., Lindsay, J. B. & DeVries, B. (2021). Smoothing of digital elevation models

- and the alteration of overland flow path length distributions. *Hydrological Processes*, 35(7), 1-12. <https://doi.org/10.1002/hyp.14271>
- Ocak, F. & Bahadır, M. (2024). Evaluation of potential soil erosion areas in the Ladik Lake basin via AHP and GIS integration (Samsun, Türkiye). *Journal of Geography* 49, 83-96. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2024-1452908>
- Oguchi, T. (1997). Drainage density and relative relief in humid steep mountains with frequent slope failure. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22(2), 107-120. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199702\)22:2<107::AID-ESP680>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199702)22:2<107::AID-ESP680>3.0.CO;2-U)
- Ohmori, H. (1993). Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. *Geomorphology*, 8(4), 263-277. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90023-U](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90023-U)
- Oruonye, E. D. & Ahmed, Y. M. (2021). Evaluation of erosion-prone areas in Lamurde River basin, Nigeria using morphometric prioritization method. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 25(8) 17-31. <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2021/v25i830301>
- Ödeker, B. ve Türkoğlu, N. (2020). Sabuncular Deresi havzasının (Rize/Çayeli) morfometrik özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 60(1), 14-38.
- Özdemir, H. & Bird, D. K. (2009). Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and dem in point of floods. *Environmental Geology*, 56(7), 1405-1415. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1235-y>
- Özdemir, H. (2011). *Havza Morfometrisi ve Taşkınlar* In D. Ekinci (Ed.), *Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistemlik ve Bölgesel*, (ss. 507-526). Babil.
- Paliaga, G., Faccini, F., Luino, F., & Turconi, L. (2019). A spatial multicriteria prioritizing approach for geo-hydrological risk mitigation planning in small and densely urbanized Mediterranean basins. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(1), 53-69. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-53-2019>
- Pande, C. B. & Moharir, K. N. (2017). GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River basin, Maharashtra India. *Applied Water Science*, 7(2), 861-871. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0298-7>
- Parveen, R., Kumar, U. & Singh, V. K. (2012). Geomorphometric characterization of upper South Koel basin, Jharkhand: A Remote Sensing & GIS Approach. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(12), 1042-1050. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.412120>
- Poisson, A. (1977). *Recherches géologiques dans les Taurides occidentales* (Turquie) [Ph.D. Thesis], Université Paris-Sud Orsay.
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K. & Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003>
- Romshoo, S. A., Bhat, S. A., & Rashid, I. (2012). Geoinformatics for assessing the morphometric control on hydrological response at watershed scale in the upper Indus basin. *Journal of Earth System Science*, 121(3), 659-686. <https://doi.org/10.1007/s12040-012-0192-8>
- Samal, D. R., Gedam, S. S. & Nagarajan, R. (2015). GIS based drainage morphometry and its influence on hydrology in parts of western Ghats region, Maharashtra, India. *Geocarto International*, 30(7), 755-778. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.978903>
- Segnalini, M., Nardone, A., Bernabucci, U., Vitali, A., Ronchi, B., & Lacetera, N. (2010). Dynamics of the temperature-humidity index in the Mediterranean basin. *International Journal of Biometeorology*, 55(2), 253-263. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0331-3>
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New

- Jersey. *Geological Society of American Bulletin*, 67(5), 597-646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- Shekar, P. R. & Mathew, A. (2024). Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. *Watershed Ecology and the Environment*, 6, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001>
- Sherzad, S. & Tharavathy, N. C. (2022). Morphometric analysis of Baghlan province for Amu river basin in Afghanistan using remote sensing and GIS. *Ecology, Environment and Conservation*, 28(2), 964-974. <https://doi.org/10.53550/eec.2022.v28i02.059>
- Shreve, R. L. (1969). Stream lengths and basin areas in topologically random channel networks. *The Journal of Geology*, 77(4), 397-414. <https://doi.org/10.1086/628366>
- Singh, M. C., Satpute, S. & Prasad, V. (2023). Remote sensing and GIS-based watershed prioritization for land and water conservation planning and management. *Water Science & Technology*, 88(1), 233-265. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.207>
- Singh, O., Sarangi, A. & Sharma, M. C. (2008). Hypsometric integral estimation methods and its relevance on erosion status of north-western lesser Himalayan watersheds. *Water Resources Management*, 22(11), 1545-1560. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9242-z>
- Singh, R., Sahu, P., Kumari, S. & Chauhan, V. (2025). Assessing tectonic influence on landscape evolution: case study of the Nandakini watershed, Western Himalaya. *Journal of Mountain Science*, 22(2), 666-680. <https://doi.org/10.1007/s11629-024-9065-2>
- Singh, W. R., Barman, S. & Tirkey, G. (2021). Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai watershed. *Applied Water Science*, 11(9), 151. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01483-5>
- Smith, K. G. (1950). Standards for grading textures of erosional topography. *American Journal of Science*, 248, 655-668. <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.248.9.655>
- Soni, S. (2016). Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh, India using geospatial technique. *Applied Water Science*, 7(5), 2089-2102. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0395-2>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:haoet\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:haoet]2.0.co;2)
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>
- Strahler, A. N. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In V. T. Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*, (pp. 439-476). McGraw Hill Book Company.
- Sukristiyanti, S., Maria, R. & Lestiana, H. (2018). *Watershed-based morphometric analysis: a review*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 118, 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012028>
- Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman, T. Y. (1998). *Adana-Mersin dolayının jeoloji etüt raporu* (Rapor no: 10098). MTA (yayımlanmamış).
- Tekin, S. (2019). *Göksu Nehri havzasının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı jeomorfometrik analizi ve niceliksel heyelan olası tehlike değerlendirmesi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Thomas, J., Joseph, S. & Thrivikramaji, K. P. (2010). Morphometric aspects of a small tropical mountain river system, the southern Western Ghats, India. *International Journal of Digital Earth*, 3(2), 135-156. <https://doi.org/10.1080/17538940903464370>
- Thomas, J., Joseph, S., Thrivikramaji, K. P. & Abe, G. (2011). Morphometric analysis of the drainage system and its hydrological implications in the

- Rain Shadow Regions, Kerala, India. *Journal of Geographical Sciences*, 21, 1077-1088. <https://doi.org/10.1007/s11442-011-0901>
- Topuz, M. ve Karabulut, M. (2016). Limonlu ve Alata havzalarının (Mersin-Erdemli) jeomorfometrik analizi. *Journal of Turkish Studies*, 11(2), 1231-1231. <https://doi.org/10.7827/turkishstudies.9165>
- Utlü, M. ve Özdemir, H. (2018). Havza morfometrik özelliklerinin taşkın üretmedeki rolü Biga Çayı havzası örneği. *Journal of Geography*, 36, 49-62. https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/37715/408101#article_cite
- Verstappen, H. (1983). *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier, New York.
- Yıldırım, Ü. (2021a). Trabzon (KD Türkiye) akarsu vavzalarının Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak morfometrik analiz yoluyla hidrolojik değerlendirmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 244-253. <https://doi.org/10.24011/barofd.894180>
- Yıldırım, Ü. (2021b). Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of Coruh River basin (Northern Turkey) using GIS technique. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(05), 4962-4974.
- Zorer, H. ve Tonbul, S. (2019). Başkale havzasında havza gelişiminin jeomorfometrik analizlerle incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 29(2), 19-38. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.536045>

Araştırma Makalesi / Research Article

Evaluation of the Safe Mud Weight Window: Wellbore Stability Analysis, Rumaila Oilfield, Southern Iraq

Güvenli Çamur Ağırlık Penceresinin Değerlendirilmesi: Bir Kuyu Stabilite Analizi, Rumaila Petrol Sahası, Güney Irak

Saad W. SAADI^{1*} , Nihad Saoud ALJUBOORI² , Mohammed Zainel QADER³

Elaf Mohammed SHAKIR³ , Ahmed Ibrahim AL-NAEMI³ , Lizan Ahmed SALEH³

¹University of Mosul, College of Petroleum and Mining Engineering, Department of Petroleum Reservoir Engineering, Mosul/ Iraq

²University of Mosul, College of Petroleum and Mining Engineering, Department of Mining Engineering, Mosul/ Iraq

³North Oil Company, Kirkuk/ Iraq

Geliş (Received): 11/05/2025 / Düzeltme (Revised): 04/07/2025 / Kabul (Accepted): 06/09/2025

ABSTRACT

Wellbore instability leads to severe operational interruption and financial losses during the drilling process, resulting in additional non-productive periods in the petroleum and natural gas sector. This study was undertaken to comprehend the nature of wellbore stability challenges at the Rumaila oilfield, southern Iraq for the purpose of enhancing well design. The aim of this study was to create a one-dimensional geomechanical model. Measurements from open hole well logs were required to create the model. Three failure criteria including Mohr-Coulomb, Mogi-Coulomb, and Modified Lade were utilized to figure out the minimum mud weight required for a solid (stable) wellbore wall and also to analyze borehole breakouts. To improve the precision of the geomechanical model, a comparison was made between the projected instability profile of the borehole with the observed failure of the borehole, as reported by the caliper log. The findings indicate that the Mogi-Coulomb criterion more accurately predicts well failure than the other two criteria, establishing it as the superior method for forecasting the rock lowest boundary of mud weight window in the study area. The study of wellbore instability indicated that low and vertical wells with a deviation of less than 40° are safer and more stable. The suggested mud weight was increased to 10.5 ppg to mitigate the majority of instability issues. The findings will aid in planning development for wells adjacent to the examined region, and hence reduce non-productive time and costs.

Keywords: Geomechanical model, wellbore instability, one-dimensional geomechanical model, safe mud weight window, Mogi-Coulomb criterion

ÖZ

Kuyu kararsızlığı, sondaj sürecinde ciddi operasyonel kesintilere ve mali kayıplara yol açarak petrol ve doğal gaz sektöründe ek üretimsiz zamanlara neden olur. Bu çalışma, kuyu tasarımı iyileştirmek amacıyla Irak'ın güneyindeki Rumaila petrol sahasında kuyu stabilitesi sorunlarının doğasını anlamak için yürütülmüştür. Çalışmanın

amacı, bir boyutlu jeomekanik model oluşturmaktır. Modeli geliştirmek için açık kuyu loglarından elde edilen ölçümlere ihtiyaç duyulmuştur. Kuyu duvarının sağlam kalması için gerekli minimum çamur ağırlığını belirlemek ve kuyu genişlemelerini analiz etmek amacıyla Mohr–Coulomb, Mogi–Coulomb ve Modifiye Lade olmak üzere üç farklı yenilme kriteri kullanılmıştır. Jeomekanik modelin doğruluğunu artırmak için, kuyu için öngörülen duraysızlık profili, kaliper logu ile raporlanan gözlenen kuyu başarısızlığı ile karşılaştırılmıştır. Bulgular, çalışma alanında çamur ağırlığı aralığının alt sınırını tahmin etmede Mogi–Coulomb kriterinin diğer iki kriterden daha doğru sonuç verdiğini, dolayısıyla en uygun yöntem olduğunu göstermektedir. Kuyu duraysızlığı analizi, düşük eğimli ve 40°'den az sapmaya sahip dik kuyuların daha güvenli ve daha sağlam olduğunu ortaya koymuştur. Duraysızlıkların büyük bölümünü azaltmak için önerilen çamur ağırlığı 10,5 ppg'ye yükseltilmiştir. Elde edilen sonuçlar, incelenen bölgeye yakın kuyuların planlanmasına yardımcı olacak, böylece üretimsiz zamanların ve maliyetlerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Jeomekanik model, kuyu duraysızlığı, tek boyutlu jeomekanik model, güvenli çamur ağırlık penceresi, Mogi–Coulomb kriteri

INTRODUCTION

Geomechanics is an essential field in engineering that focuses on analyzing the connection between rocks and stress distribution. In addition, geomechanics investigates the impact of a number of elements on rock, such as changes in pressure, temperature, and related environmental conditions (AlShibli and Alrazzaq, 2022; Balaky et al. 2023).

In the last few decades, developments in the oil and gas industry drove geomechanics specialists and researchers to increase the drilling penetration rate and implement deviated and horizontal drilling technology (Ma et al., 2015; Rafieepour et al., 2020; Yan et al., 2022; Ding et al., 2023; Liu, et al., 2024; Wei et al., 2024). However, wellbore instability problems were exacerbated (Hosseini et al., 2023; Kianoush et al., 2023; Pirhadi, et al., 2023; Wang et al., 2023). To address this, scientists developed theories, constitutive models, correlations, failure criteria, and digital applications. These tools were used to determine pore pressure, in-situ stresses, and rock mechanical properties to analyze wellbore stability (Al-Juraisy and Al-Majid, 2021; Wang et al., 2023). This analysis contributed to mitigating the challenges associated with wellbore instability.

In spite the fact that there is a noticeable advances and newly developed technologies in the petroleum and natural gas sectors, the issue of wellbore instability remains one of the most formidable challenges faced throughout the drilling and completion processes (Al-Qahtani, and Zillur; 2001, Mohiuddin, et al., 2001; Abalioglu, et al., 2011; Bagheri, et al., 2021; Almasi, and Mohsenipour, 2022). This leads to increases in operational expenses and non-productive time (NPT) (Zeynali, 2012; Manshad et al., 2022; Ounegh, et al., 2024). Therefore, wellbore stability has become a crucial part of planning wells (Boutt, et al. 2011). Wellbore instability occurs when the applied mud weight is insufficient to counteract the compressive strength of the surrounding formations, leading to phenomena such as wellbore expansion and collapse. Also, if the weight of the mud exceeds the pressure at which the formation fractures, it will induce fracturing, resulting in lost circulation. Moreover, natural fractures of any size could have a substantial impact on the condition of in-situ stresses and other stresses that are caused by the borehole annulus (Ewy, 1999). Consequently, there are increases in the costs of drilling operations and NPT. However, these problems can be avoided by adequate internal wellbore pressure (mud weight). Other parameters must

be considered such as borehole inclination and direction, concerning in-situ stresses to avoid the effect of the wellbore angle on wellbore failure and the correct selection of mud weight windows (Al-Ajmi and Zimmerman, 2006; Chandong, et al., 2006; Algburi, et al., 2023). An overall rise in wellbore slope results in an elevation of breakout pressure due to the angle of inclination and azimuth (Plumb and Richard, 1985).

Accurately determining both regional and local in-situ stresses is crucial for effective well design to mitigate wellbore instability challenges such pipe blockage, fluid loss, and inadequate hole cleaning (Al-Rubaye and Hamd-Allah, 2019). Recently, considerable attention has been given to geomechanics for the sake of solving wellbore instability problems by utilizing a numerical method that can greatly reduce the wellbore instability through building mechanical earth models (MEM) (Gstalder and Raynal, 1966). The model can predict the state of stress and mechanical rock properties (strength and elastic) around the wellbore. MEM utilize data from core laboratory tests, drilling mud reports, and geological studies, as well as daily and final well drilling reports for the investigated area. Stress and rock properties are used to select safe mud weight and orientation of wellbore to design a stable trajectory by using an appropriate failure criterion. The parameters presented in this study are derived from the analysis of outputs obtained from a one-dimensional mechanical earth model (1DMEM) (Ounegh, et al., 2024).

The safe mud weight window is an important component in preventing different drilling issues, including wellbore instability, collapse, wash-out, tightening, kicks, increased drilling costs, production stops, and even well loss. The safe mud weight window ensures the stability of the wellbore and avoids the occurrence of lost

circulation. To ensure wellbore stability and control these stresses, it is necessary to drill the well using a mud weight that is safe (Boutt et al. 2011).

The aim of this research is to study the pore pressure prediction and identify the size and direction of in-situ primary stresses (vertical stress, horizontal stresses). A one-dimensional geomechanical earth model (1D MEM) was built using Techlog well-log interpretation software. In addition, appropriate failure criteria were selected to analyze wellbore stability based on the outcomes of 1D-MEM. Finally, the safe mud weight window (SMWW) was designed for different formations based on the reservoir and geomechanical considerations.

STUDY AREA AND STRATIGRAPHIC SETTING

The Rumaila oilfield was discovered in 1953 and is regarded as one of the largest oilfields globally; thereby, earning the designation of a supergiant field. It is situated around 50 kilometers west of Basra, south of Iraq. Rumaila oilfield has an area of 1,600 km², extending about 80 km in the north-south direction towards the Iraq-Kuwait border and 20 km in the east-west direction towards the West Qurna oilfield, as seen in Figure 1. It comprises two anticlines: the North Dome and the South Dome. Rumaila reservoir includes stacked sandstone and carbonate up to 4 km thick dated to the Cretaceous (ROO, 2016).

The lithologic column for the Rumaila oilfield extends from the Dibdiba Formation to the Zubair Formation, as shown in Figure 2 (Bradley, 1979; Al-Agaili, 2012). The lithologic column for the model begins at a depth of 1834 m with the Sadi Formation and extends to a depth of 3340 m with the lower Zubair Formation,

which is the interval of interest. This sector has two primary pay zones, namely the Mishrif and Zubair Formations (Al-Agaili, 2012).

PROBLEM STATEMENT

The problems arise at an 8 ½ inch portion, which corresponds to the production section per the well design for Rumaila oilfield. Four unstable shale horizons are present, namely Tanuma, Ahmadi, Nahr-Umr, and Zubair/Upper Shale Formations. Tanuma and Upper Shale of Zubair are the formations that cause the most significant problems. Wellbore instability has

different forms in the problematic formations, as listed below (ROO, 2016):

1. Tanuma: mainly chemical, instability develops over time and creating splintery cavings.
2. Zubair /Upper Shale: stress-related, instantaneous with angular to blocky cavings.

Zubair Formation is the interval of interest and these problems lead to high NPT compared with other drilling operations in the same section, as shown in Figure 3.

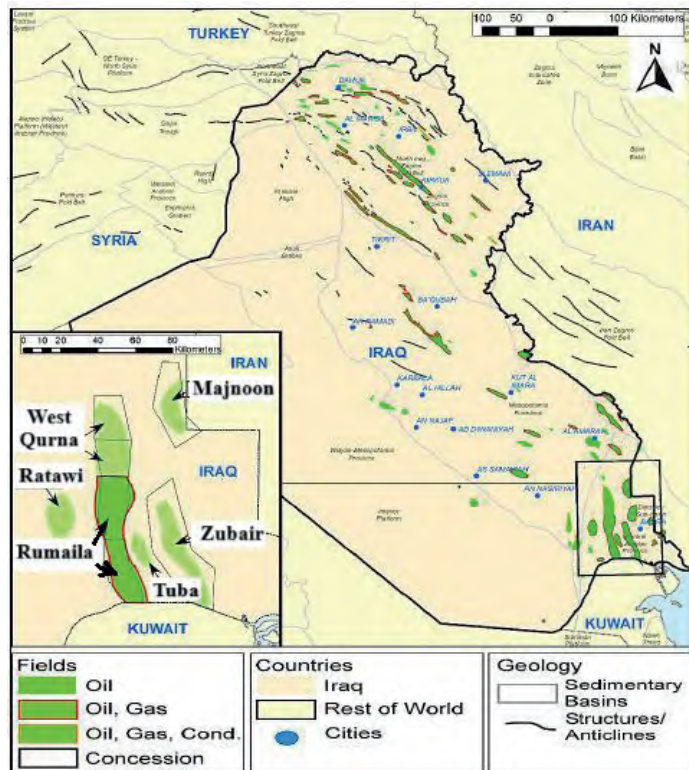


Figure 1. The distribution of oil and gas fields across Iraq, with an emphasis on major production regions, particularly focusing on the study area—Rumaila Oilfield in southern Iraq (ROO, 2016).

Şekil 1. Harita, Irak genelindeki petrol ve doğalgaz sahalarının dağılımını göstermekte olup, başlıca üretim bölgelerine vurgu yapılmaktadır. Özellikle çalışma alanı olan güney Irak'taki Rumaila Petrol Sahası'na odaklanılmaktadır (ROO, 2016).

Age		Group	Formation	Lithology	Description	Average thickness (m)
Period	Epoch					
Tertiary	L. Miocene-Recent	Kuwait	Dibdibba		Sand & pebble	200
	Early-M Miocene		Lower Fars		Clay St, Lst arg	170
			Ghar		Sand & subround pebble occ Clay	110
	M-L Eocene	Hasa	Dammam		Dolomite, porous vuggy	210
	Paleocene-Early Eocene		Rus		Anhydrite, white, massive Interbedded w\ Dolomite	165
Umm-Er-Radhuma				Dolomite grey saccharoidol, inpart anhydritic	450	
Cretaceous	Late Cretaceous	Aruma	Tayarat		Bituminous Shale at top, Dolomite grey	220
			Shiranish		Limestone marly	120
			Hartha		Lst, gloc, Dol, porous, locally vuggy, Lst, grey, arg.	180
			Sadi		Limestone white, chalcky, fine compact	260
			Tanuma		Shale: black-brown fissile	50
			Khasib		Limestone: grey shaly	45
			Middle Cretaceous	Wasia	Mishrif	
	Rumaila				Limestone: grey, marly	100
	Ahmadi				Shale: Dark grey, fissile w/ Limestone: grey	140
	Mauddud				Limestone grey	110
	Nahr Umr				Shale black inter. w/ Sst	270
	Early Cretaceous	Thamama			Shuaiba	
			Zubair		Shale, fissile, w/ sandstone fine-m. grained, Silt st, Clay st.	400
			Ratawi		Limestone with streaks of Shale	200
Yamama				Limestone, light grey	120	
Jurassic	Upper Jurassic		Sulayy		Limestone, argillaceous and marly	300

Figure 2. Stratigraphic column for Rumaila oilfield (Bradley, 1979; Al-Agaili, 2012).

Şekil 2. Rumaila petrol sahasına ait stratigrafik kesit (Bradley, 1979; Al-Agaili, 2012).

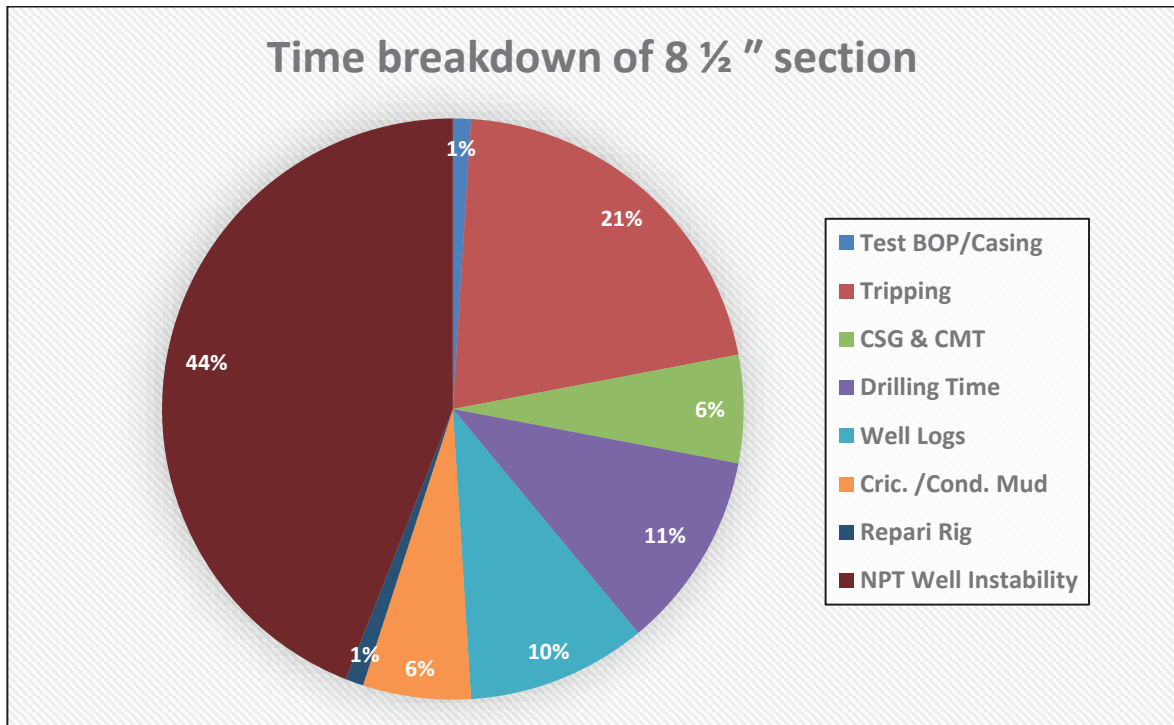


Figure 3. Time breakdown of 8½ " section (ROO, 2016).

Şekil 3. 8 ½ " kesitinin zaman dağılımı (ROO, 2016).

METHODOLOGY

This study utilized samples obtained from Rumaila oilfield, operated by the South Oil Company in Iraq (Nader et al., 2022; Ali, 2023). The geomechanical model study for Rumaila oilfield was accomplished by using an integrated method comprising four primary phases, as seen in Figure 4. The first phase included gathering the necessary data for model creation, including logs measuring density, gamma ray, shear wave velocities, compression wave velocities, caliper, and bit size. Additionally, data measured with laboratory core testing was collected and its

validity was verified. The next phase included the building of 1D mechanical earth model (1D-MEM). The third phase consisted of calculations from 1D-MEM profiles, such as mechanical properties of rock, pore pressure and magnitudes, and also the direction of far-field stress. Finally, wellbore stability was analyzed by comparing the failure prediction of the wellbore employing multiple failure criteria, with the actual wellbore profile, obtained from the caliper log. This analysis will help to determine suitable orientation (inclination and azimuth) and safe mud weight range for drilling new wells in nearby locations.

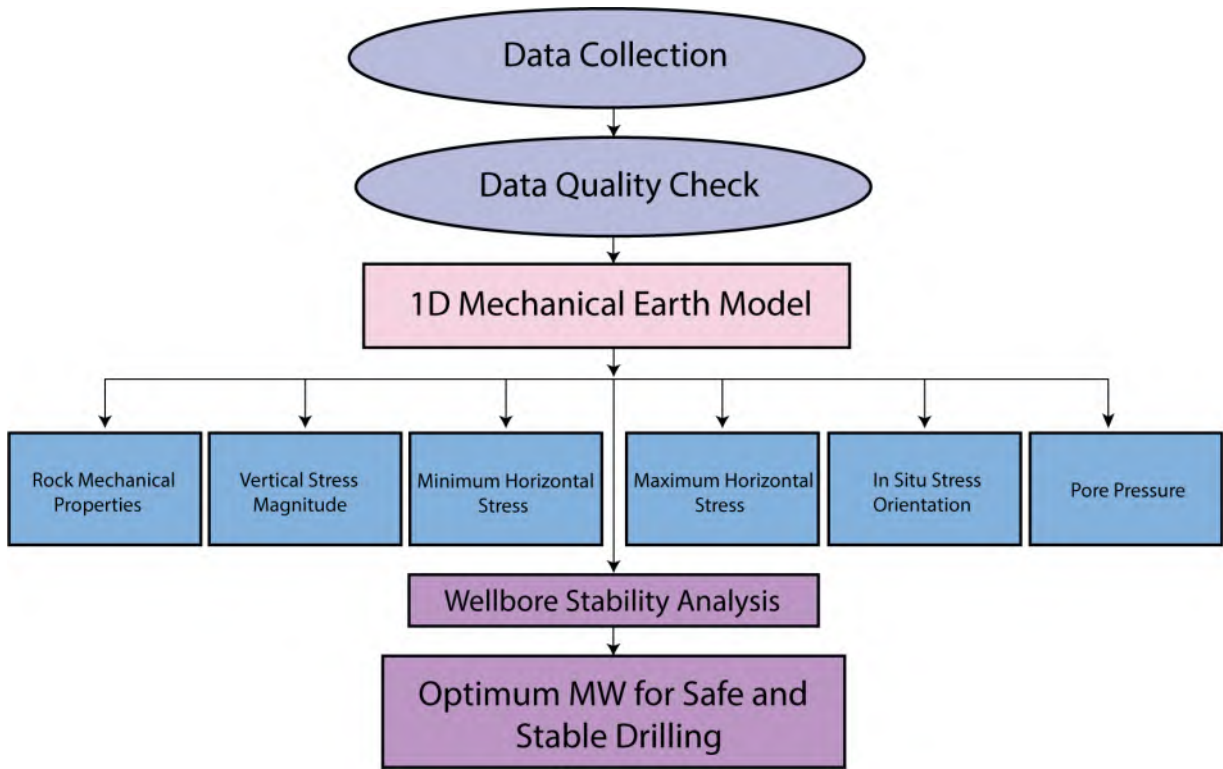


Figure 4. Methodological workflow for the study.

Şekil 4. Çalışman metodolojisinin iş akışı.

Geomechanical Model (Mathematical Approach)

Failure criteria formulations for wellbore stability are given below.

1. Mohr-Coulomb Failure Criterion (2D)

This criterion is commonly employed and postulates that failure occurs when the shear stress acting on a plane exceeds a critical threshold, which is determined by the material's cohesion and internal angle of friction (Aadnoy and Looyeh, 2019).

$$\tau = c + \sigma_n \cdot \tan(\varphi) \quad (1)$$

In terms of principal stresses:

$$\frac{(1 + \sin(\varphi))}{(1 - \sin(\varphi))} + \frac{(2c \cdot \cos(\varphi))}{(1 - \sin(\varphi))} \quad (2)$$

2. Mogi-Coulomb Failure Criterion (3D)

This model represents an extension of the Mohr-Coulomb criterion by incorporating the influence of the intermediate principal stress (σ_2); thereby, enhancing the accuracy of failure predictions under true triaxial stress conditions (Aadnoy and Looyeh, 2019).

$$\tau_{\text{oct}} = a + b \cdot \sigma_{m,2} \quad (3)$$

where:

$$\begin{aligned}\tau_{\text{oct}} &= \sqrt{\frac{1}{3} \cdot ((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} \\ \sigma_{m,2} &= (\sigma_1 + \sigma_3) / 2\end{aligned}$$

3. Modified Lade Failure Criterion

This criterion accounts for all three principal stresses and is considered more suitable for wellbore stability in brittle formations (Ewy, 1999).

$$(I_1 / \sqrt{I_3})^2 = k \quad (4)$$

where:

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

$$I_3 = \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3$$

k = material constant determined from lab tests

The current study employs a geomechanical model for reliability and validity in the determination of wellbore stability (Figure 5). Mechanical characteristics of rock, pore pressure, and in-situ stress are the primary geomechanical model components (AlShibli and Alrazzaq, 2022). The mud weight window and wellbore trajectory are two main output parameters of the geomechanical model that can be improved to limit the incidence of tensile failure in the wellbore and lower the high cost of NPT (Hoseinpour and Riahi, 2022).

Geomechanical problems can be addressed via the construction of 1D-MEM and 3D-MEM, which ascertain the size and direction of far-field stresses, estimate pore pressure, and evaluate the mechanical characteristics of rocks.

Several prevalent failure criteria, including Mohr-Coulomb, Mogi-Coulomb, and modified Lade, were used to anticipate the possible

lowest boundary of mud weight window for the wellbore in this rock formation. The Mohr-Coulomb failure criterion is categorized as a two-dimensional criterion, recognized for assessing wellbore breakout. Its fundamental assumption is a linear relationship between maximum and minimum stresses, disregarding intermediate stresses that could enhance the rock's strength. Consequently, experts determined that the Mohr-Coulomb criteria is an inadequate and overly cautious evaluation of suitable mud pressure. In true triaxial testing, the modified Lade and Mogi-Coulomb classifications are used to consider the effects of intermediate stress.

The primary components of the geomechanical model including vertical stress, mechanical stratigraphy (shale flag), pore pressure, rock properties (strength and elastic), and horizontal stresses (orientations and magnitudes) were used and developed by exploiting the relevant geomechanical data.

Vertical Stress (overburden stress)

The vertical stress was computed by incorporating the derived densities from the bulk density log that covered the rocks, and using the following equation (Al-Ameri, 2015; Al-Ameri et al., 2020b; Al-Ameri et al., 2020c).

$$SV = g \int_0^Z \rho b(z) dz \quad (5)$$

Where is the bulk density of overlaying rocks integrated with respect to depth (Z) and g denotes gravitational acceleration (m/s^2). The missing density at the surface interval is extrapolated by using the equation below (2) (Gstalder and Raynal, 1966; Bell, 2003).

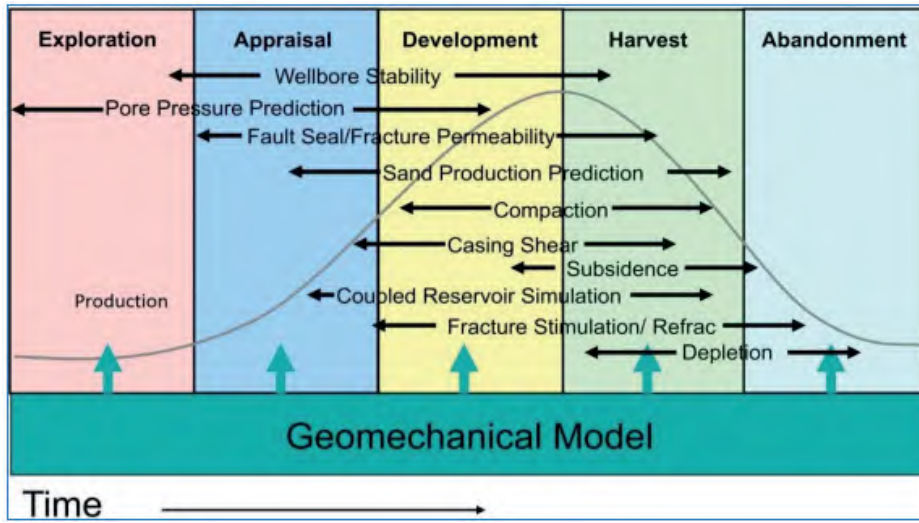


Figure 5. Geomechanics throughout the life of the field (Hoseinpour and Riahi, 2022).

Şekil 5. Saha ömrü boyunca jeomekanik (Hoseinpour ve Riahi, 2022).

Where is the bulk density of overlaying rocks integrated with respect to depth (Z) and g denotes gravitational acceleration (m/s^2). The missing density at the surface interval is extrapolated by using the equation below (2) (Gstalter and Raynal, 1966; Bell, 2003).

$$\rho_M = \rho_{mudline} + A_o \times (TVD - Air\ gap - Water\ depth)^\alpha \quad (6)$$

Where is the density at ground level in gm/cm^3 , $\rho_{mudline}$ is the substance density at ground level (soil density $1.65\ gm/cm^3$), air gap is the height of the rotary table from the ground (m), TVD is the true vertical depth (m), and A_o and α are equation constants. The vertical stress profile is shown in the third track of Figure (6) for the studied formations.

Shale Flag (Mechanical Stratigraphy)

A key outcome of MEM is the temporal characterization of rock mechanics, as well as the

optimal estimation of geomechanical parameters through the classification of rocks based on their mechanical stratigraphy. This allows differentiation between shale and non-shale formations, as illustrated in the second track of Figure 6 under the designation shale flag.

Pore Pressure

In this study, pore pressure is utilized as it constitutes a fundamental component of the 1D-MEM, and plays a crucial role in estimating the size (magnitude) of in-situ horizontal stresses and predicting safe mud weight window to achieve wellbore stability particularly in the drilling phase. Pore pressure is estimated by direct and indirect methods. The direct method measures with the RFT and DST techniques. In the indirect method, the profile pore pressure is computed through merging the normal pressure and geo-pressure profiles. The profile of the hydrostatic pressure (P_h) was computed through using equation number 7 and the profile of geo-

pressure in this study was calculated according to equation number 8, using the Eaton method (AlHusseini and Hamed-Allah, 2023). This equation was used to estimate the pore pressure in the shale formations (non-producing zone). The resultant profile was calibrated against actual pressure point measurements from indirect methods to minimize the uncertainty of the estimated pore pressure. This is demonstrated in the third track of Figure 6 under the name formation pressure for the studied formations.

$$P_{hydrostatic} = \int_0^z \rho_w g dz \quad (7)$$

$$P_p = \sigma_v - (\sigma_v - P_{pnorm}) * \quad (8)$$

Rock Mechanical Properties

In this phase, both elastic and strength qualities were used for optimal assessment of the rock mechanical characteristics. The elastic properties encompass Young's modulus (E), which quantifies the resistance of a rock sample to uniaxial stress; Poisson's ratio (ν), which assesses the rock's expansion relative to axial shortening; the shear modulus (G), indicating the degree of rock deformation under shear stress; and the bulk modulus (K), reflecting the material's hardness under volumetric compression. Strength attributes include the internal friction angle (φ) which estimates rock failure; cohesive strength (S_o) that specifies the degree of adhesion between interconnected molecules; tensile strength (T_s) which indicates the rock's resistance; and unconfined compressive strength (UCS), which is the highest axial compressive stress in a triaxial test that a rock withstands before failing (Aadnoy and Looyeh, 2011; AlShibli and Alrazzaq, 2022). These properties are considered essential components in the determination of the magnitude of horizontal stresses, analysis of the

stability of the wellbore, and prediction of mud windows to achieve stable drilling.

The properties are assessed using direct laboratory procedures and indirect petrophysical methods, with direct methods often used to calibrate the estimated profiles derived from indirect methods.

In this study, the mechanical properties of rock were evaluated using indirect petrophysical methods based on three types of well logs: shear and compressional wave velocities, and bulk density, as expressed in equations 9 and 10. These were utilized to compute bulk and shear moduli (G and K). Shear module (G) is the measurement of the stiffness of material resistance against the applied shear stress. Bulk module (K) measures the capability of the material to resist the change in volume when all sides of the material are under compression (AlHusseini and Hamed-Allah, 2023). Hence, the dynamic profiles of Young's modulus (E) in Mpsi and Poisson ratio (ν) can be estimated from the two modules (shear and bulk), by using equations 11 and 12 sequentially (Schlumberger, 2018).

$$G_{dyn} = 13474.45 * \frac{\rho_b}{(\Delta t_{shear})^2} \quad (9)$$

$$K_{dyn} = 13474.45 * \left[\frac{\rho_b}{(\Delta t_{comp})^2} \right] - \frac{3}{4} * G_{dyn} \quad (10)$$

where is ρ_b bulk density of the formation (g/cm³), (Δt_{shear}) and (Δt_{comp}) are acoustic travel time of shear and compressional in $\mu\text{sec}/\text{ft}$.

$$E_{dyn} = \frac{9 * G_{dyn} * K_{dyn}}{G_{dyn} + 3 * K_{dyn}} \quad (11)$$

$$\nu_{dyn} = \frac{3K_{dyn} - 2G_{dyn}}{6K_{dyn} + 2G_{dyn}} \quad (12)$$

These dynamic properties were used to estimate static elastic properties by applying

an appropriate correlation. In this study, John Fuller's correlation is employed to estimate the static Young's modulus profile. This describes a more realistic profile and is usually lower than the dynamic profile because of the influence of pore pressure, cementation, amplitude and also rate of stress-strain. The static Poisson's ratio was considered analogous to the dynamic form, as usually used in rock mechanics.

The estimated static profiles exhibit strong agreement with direct measurements obtained from laboratory tests of the investigated formations, as illustrated in the fourth track of Figure 6. Also, the profile of rock mechanical strength parameters has a good match with the direct measurements from core laboratory testing, as demonstrated in the fifth track of Figure 6 for the studied formations (Bell, 2003).

Horizontal Principal Orientations and Stress Magnitudes

There are different indirect methods to determine the size of both maximum (σ_H) and minimum (σ_h) horizontal stress. In this study the pore elastic constitutive model is employed, which is considered the most successful method in determining magnitude of horizontal stresses (Moos et al., 2003), as demonstrated in the third track of Figure 6. The model equations are mainly based on the Young modulus, pore pressure, density, and rock deformation as expressed in equations 13 and 14 (Schlumberger, 2018).

$$\sigma_h = \frac{v}{1-v} * \sigma_v - \frac{v}{1-v} * \alpha P_o + \alpha P_o \frac{s*v}{1-v} * \varepsilon_h + \frac{v*E}{1-(v)^2} * \varepsilon_H \quad (13)$$

$$\sigma_H = \frac{v}{1-v} * \sigma_v - \frac{v}{1-v} * \alpha P_o + \alpha P_o \frac{s*v}{1-v} * \varepsilon_H + \frac{v*E}{1-(v)^2} * \varepsilon_h \quad (14)$$

σ_h and σ_H are the minimum and maximum horizontal stresses, respectively, V refers to Poisson's ratio, σ_v represents the vertical stress, α indicates Biot's coefficient (conventionally $\alpha=1$), and E represents the static Young's modulus. P_p represents the pore pressure. ε_h and ε_H are the strain in the direction of σ_h and σ_H , respectively, as expressed in equations 15 and 16.

$$\varepsilon_h = \frac{\sigma_v * v}{E} * \left(1 - \frac{v^2}{1-v}\right) \quad (15)$$

$$\varepsilon_H = \frac{\sigma_v * v}{E} * \left(\frac{v^2}{1-v} - 1\right) \quad (16)$$

Mud weight window

The mud weight window is a crucial outcome of wellbore stability analysis, including four essential parameters. These important parameters are delineated in relation to the mud pressure (Zhang, 2013; Bandara and Al-Ameri, 2024), as elucidated in Figure 7, which corresponds to the pressure equivalent of drilling mud weight:

1. Pore pressure: This refers to the formation pressure that must not surpass the drilling mud pressure to avert washout expansion, blowouts, or well kicks.
2. Shear failure pressure (Breakout pressure): minimum mud weight imposed must support the borehole wall to prevent breakout occurrence.
3. Formation breakdown pressure: The maximum pressure that the wellbore drilling mud pressure must not surpass to avert mud loss (formation ballooning) resulting from the initiation of an induced hydraulic crack on the wellbore wall.
4. The mud weight must not exceed the minimal horizontal stress to avert lost circulation resulting from the infiltration of wellbore fluid into advancing hydraulic fractures and reactivated conductive natural cracks or fissures around the wellbore.

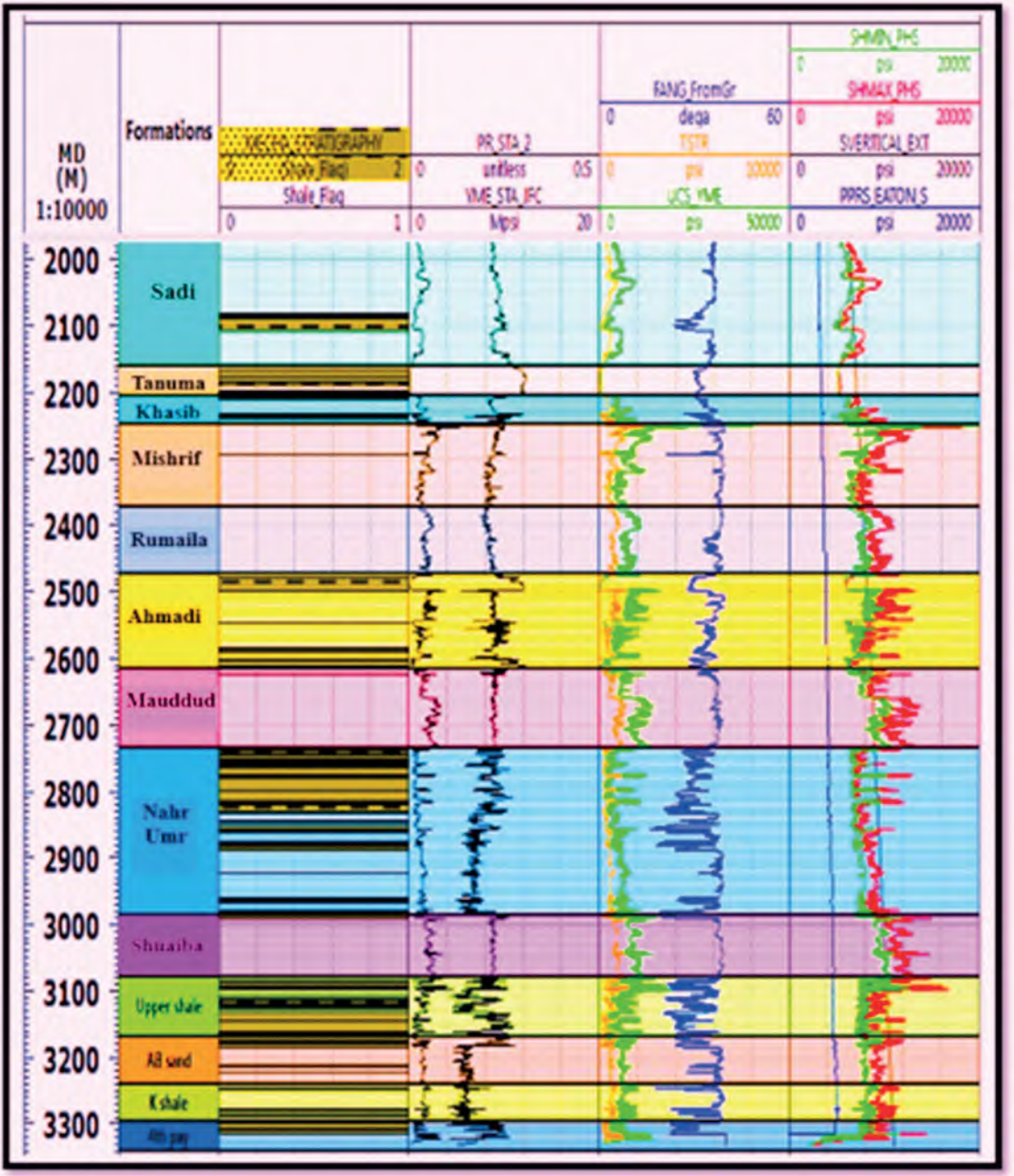


Figure 6. 1D-Geomechanical Model.

Şekil 6. 1D- Jeomekanik Model.

From the above, it can be concluded that the safe mud weight window and a mechanically stable wellbore should be designed so that

the mud weight is above both the shear failure pressure and the pore pressure. Figure 8 shows the relationship between pore pressure, shear

failure pressure, minimum horizontal stress (losses), and formation breakdown pressure with depth. The safe mud weight window is indicated by the shaded green area between the shear failure and the minimum horizontal stress, within which wellbore stability can be maintained while remaining below the formation breakdown pressure and the minimum horizontal stress. Otherwise, the wellbore may become unstable, resulting in significant rock failure and material collapse around the borehole circumference. Then, there is excessive total volume of failed rock material and drilled cuttings and inadequate lifting capacity caused by annulus enlargement. Subsequently, a borehole pack off can occur on the bottom hole assembly. Hence, this condition is sometimes referred to as the lower boundary of the mud weight window, as it indicates that the wellbore has collapsed during drilling, preventing the cuttings from being effectively circulated out of the hole (Figure 9). Wellbore stability analysis starts by determining the rock strength, estimates far-field stress state, and analyzes the stress concentration around the wellbore that is induced due to drilling. All of these parameters are then incorporated into failure criteria in order

to calculate the safe mud weight required to maintain wellbore stability (Noah, et al., 2023).

RESULTS AND DISCUSSION

Geomechanical Model Validation

To evaluate the precision of the geomechanical model and to guarantee the outcomes for future well design and field development, each procedure must be validated using actual field data. The validation phase is regarded a crucial stage in the history matching procedure and must be executed prior to model application. Several approaches may be used to diagnose borehole failure, including caliper logging, formation micro-imaging logging (FMI), and analysis of cuttings. Figures 8 to 10 depict wellbore failure anticipated by the failure criteria, namely Modified Lade, Mogi-Coulomb, and Mohr-Coulomb. These metrics delineate the pore pressure, geological attributes, anticipated mud weight range, rock failure, and the true well profile. In each figure below, track 4 delineates the mud weight window, including pore pressure, breakdown, losses, and shear failure, represented in various colors in Table 1 below:

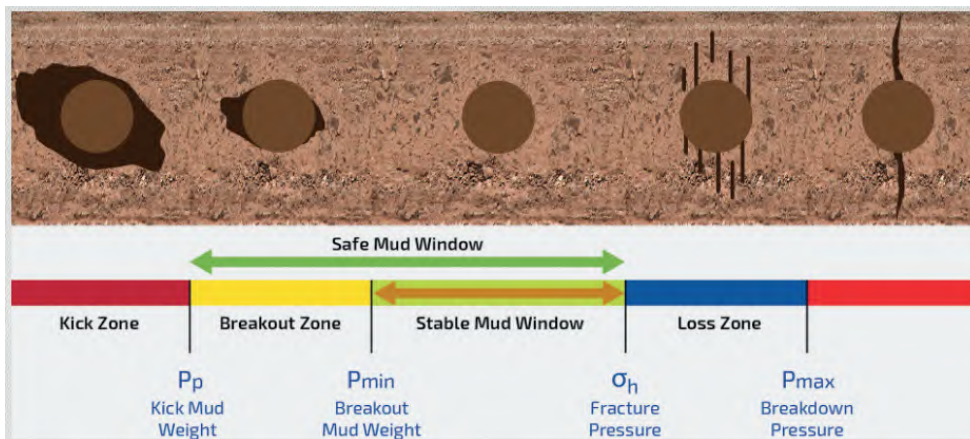


Figure 7. The notion of safe mud weight parameters for drilling (Noah et al., 2023).

Şekil 7. Sondaj için güvenli çamur ağırlığı parametreleri kavramı (Noah ve diğerleri, 2023).

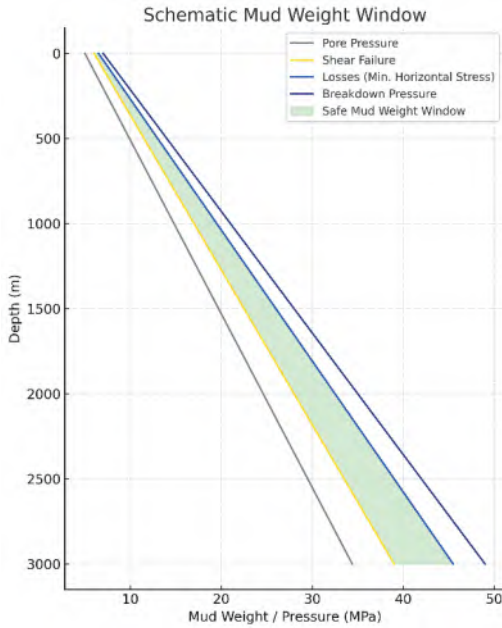


Figure 8. Schematic representation of the mud weight window showing the relationship between pore pressure, shear failure pressure, minimum horizontal stress (losses), and formation breakdown pressure with depth.

Şekil 8. Gözenek basıncı, kesme kırılma basıncı, minimum yatay gerilme (kayıplar) ve formasyon bozulma basıncı ile derinlik arasındaki ilişkiyi gösteren çamur ağırlık penceresinin şematik gösterimi.

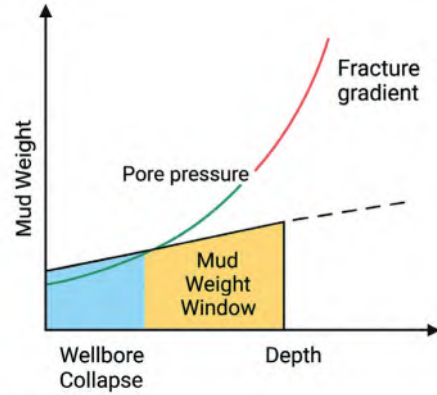


Figure 9. Schematic representation of the mud weight window, illustrating the relationship between pore pressure, fracture gradient, and wellbore collapse as a function of depth (Aadnoy and Looyeh, 2011).

Şekil 9. Gözenek basıncı, kırık gradyanı ve kuyu çökme sınırları arasındaki ilişkiyi derinliğe bağlı olarak gösteren çamur ağırlığı penceresinin şematik gösterimi (Aadnoy ve Looyeh, 2011).

Table 1. The limits of mud weight window.

Çizelge 1. Çamur Ağırlık Penceresinin sınırları.

Property Name	Color code	Description
Pore pressure		Defines the limit of the minimum mud weight required to maintain hydraulic safety.
Shear failure		Defines the minimum mud weight allowed for mechanical stability of the borehole. Below this mud weight, the rock starts to fail, thus intensive breakout occurs.
Losses		When the mud weight pressure (mud density) equals the minimum horizontal stress that causes loss of mud to the fracture formations.
Breakdown		Defines the maximum mud weight allowed for borehole mechanical stability.

To prevent the occurrence of a kick or rock failure on the left side of track 4 in Figures 10-12, the actual mud weight must exceed both the pore pressure (guideline for kick prevention) and the shear failure threshold, indicating the mud weight limit related to shear failure. On the right side of the middle track of the figure, the light blue trend indicates the threshold of mud weight, which indicates the lowest horizontal tension, while the dark blue trend delineates the limit of mud losses and signifies the onset of mud penetration into the formation. To prevent mud losses and breakdown failures, the actual mud weight must be less than the breakdown and loss thresholds. Therefore, to ensure secure operation of drilling procedures and a stable wellbore, the optimal mud weight should be maintained within the intermediate range between the breakout and fracture gradient limits, referred to as the safe mud weight window (SMWW).

Track number 5 in Figures 10-12 outlines the anticipated profile for the rock lowest boundary of mud weight window according to the failure criteria used in this work. The predicted failure differs between red-hued broad breakouts and green-hued shallow knockouts. The well's actual profile was documented and shown by the caliper log and size of the bit, as seen in track 6. Analysis of the projected wellbore instability against the actual rock failure profile reveals a lack of concordance between the two when using the Mohr-Coulomb criterion, likely due to the neglect of intermediate stress factors. The Modified-Lade criterion demonstrates effective matching; nevertheless, it is more cautious about shear failure. The Mogi-Coulomb criterion exhibits closer alignment with the actual wellbore profile obtained from the caliper log at Rumaila oilfield.

Interpretation of the mud weight window at specific depths (2800 m and 3000 m):

To enhance the understanding of how different failure criteria influence the calculated mud weight window (MWW), we analyzed the results at two key depths: 2800 m and 3000 m within the Zubair Formation.

Mud Weight Window at 2800 m Depth:

Mohr-Coulomb Criterion: The calculated mud weight window is relatively narrow. The breakout pressure (shear failure limit) is ~9.8 ppg, while the breakdown pressure (highest boundary of mud weight window) reaches ~13.2 ppg. This suggests a safe drilling range of approximately 3.4 ppg. However, the Mohr-Coulomb criterion tends to underestimate rock strength because it neglects the intermediate principal stress, leading to a conservative (overprotective) estimate of minimum mud weight.

Mogi-Coulomb Criterion: At the same depth, the breakout pressure increases to ~10.5 ppg, and the breakdown pressure is around 13.5 ppg, producing a wider and more realistic mud weight window. The inclusion of intermediate stress enhances prediction accuracy, and the result shows better alignment with the observed caliper log breakouts.

Modified Lade Criterion: This model gives a breakout pressure of about 10.1 ppg and breakdown pressure around 13.8 ppg, resulting in a broader but more conservative safe margin. The Lade model tends to overestimate the effect of stress triaxiality, resulting in a safer, but perhaps less efficient, drilling window.

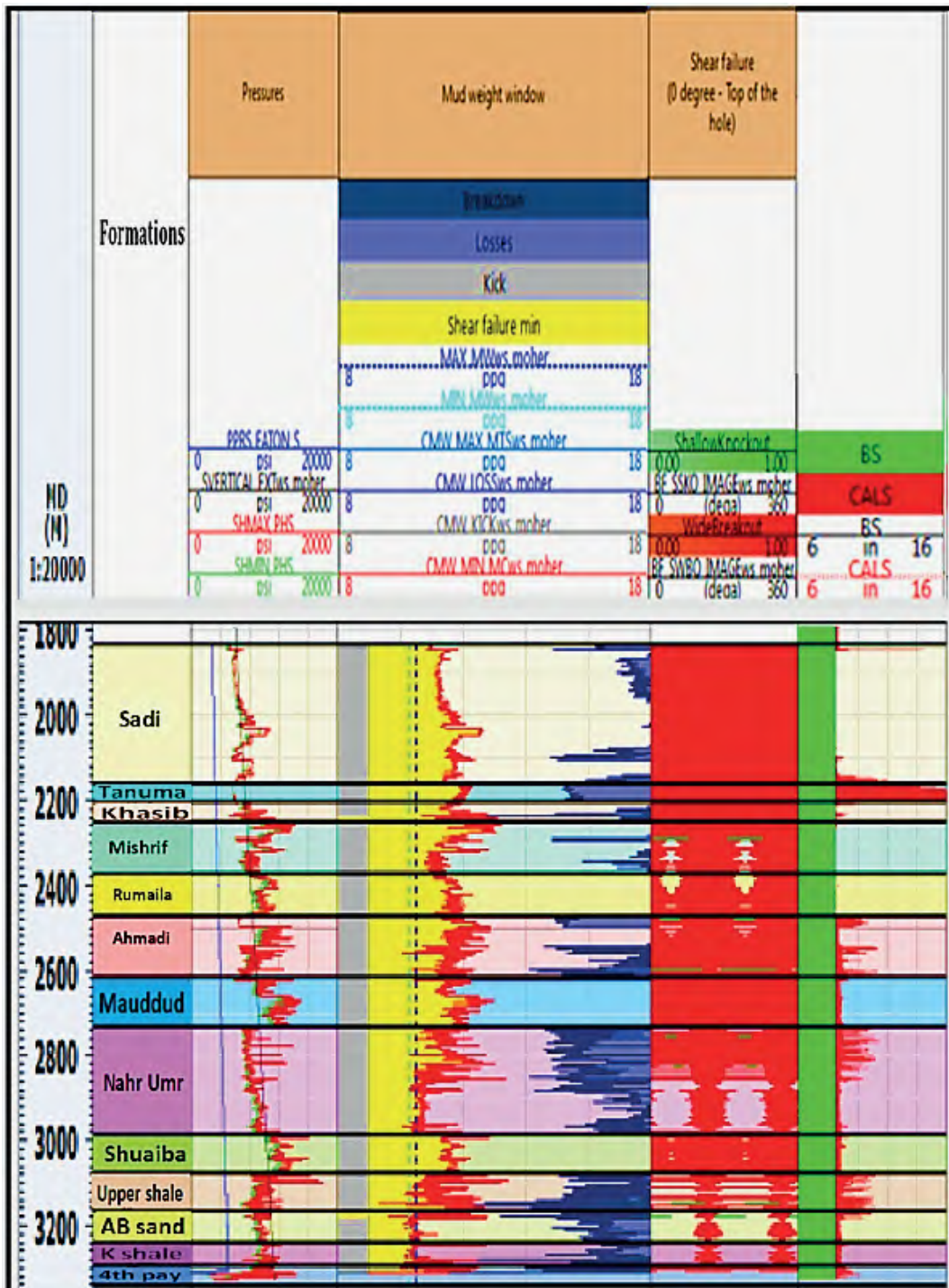


Figure 10. Wellbore failure anticipated by the Mohr-Coulomb failure criterion.

Şekil 10. Mohr-Coulomb yenilme kriteri tarafından öngörülen kuyu çökmesi.

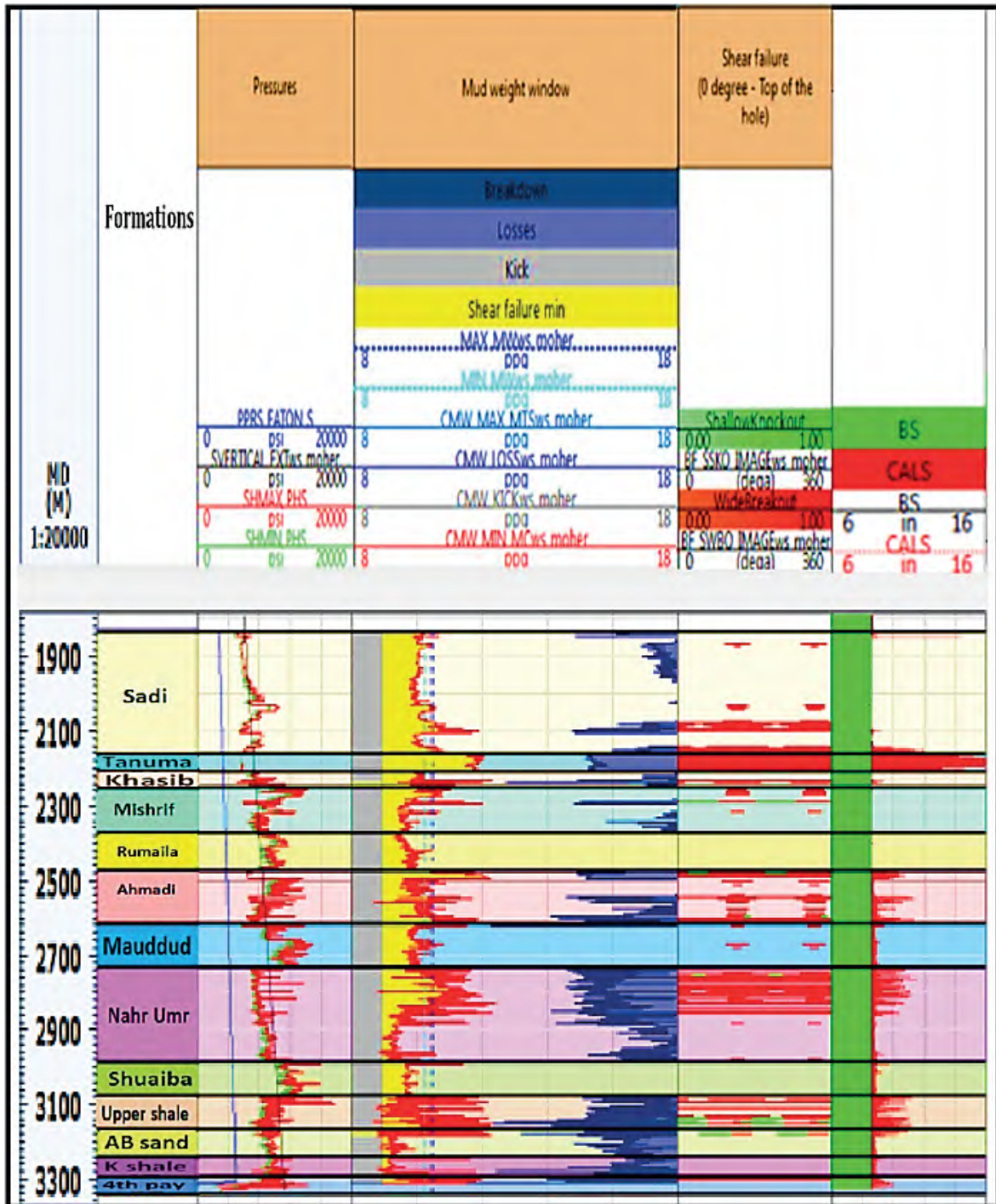


Figure 11. Wellbore failure anticipated by the Mogi-Coulomb failure criterion.

Şekil 11. Mogi-Coulomb yenilme kriteri tarafından öngörülen kuyu çökmesi.

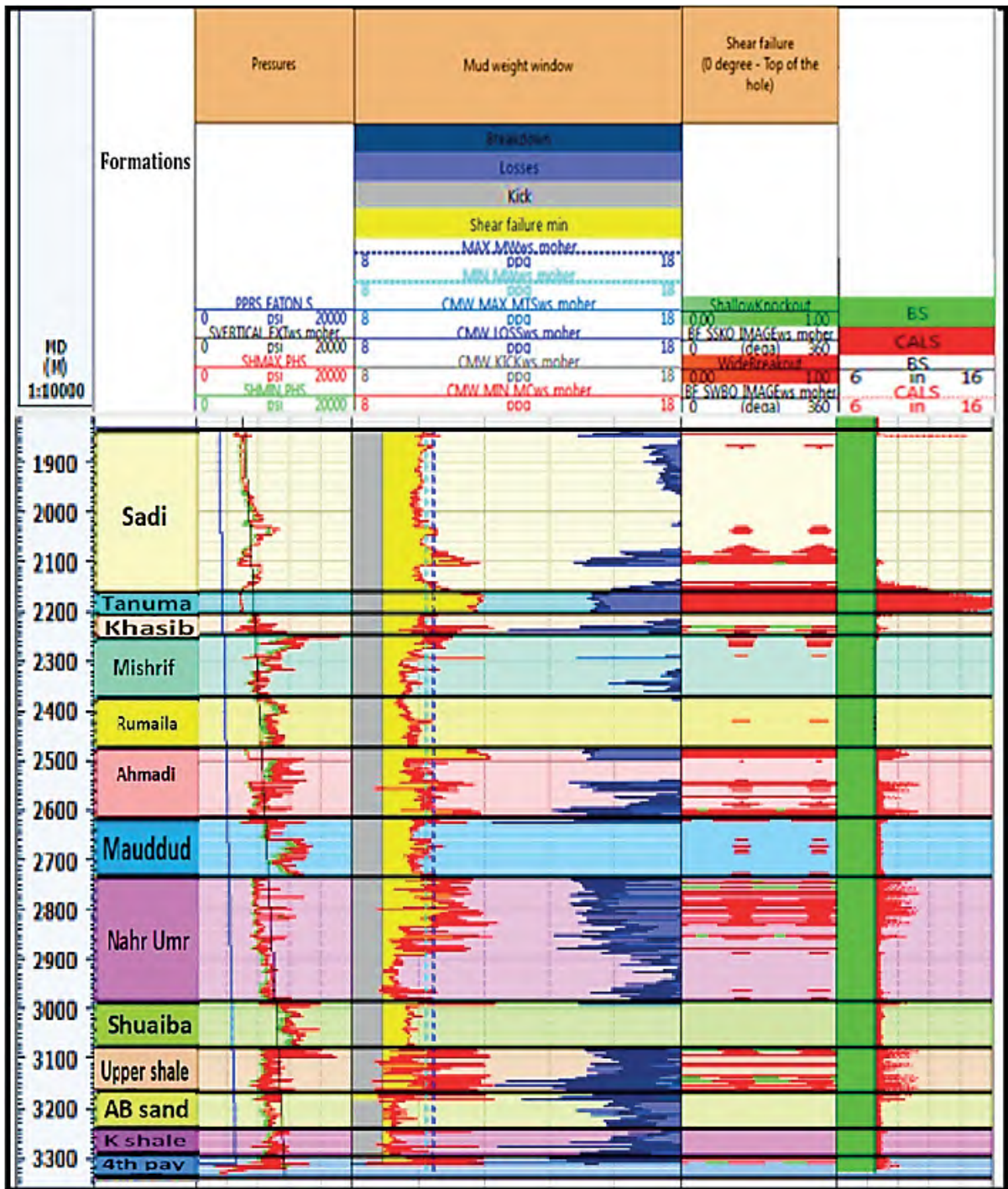


Figure 12. Wellbore failure anticipated by the Modified-Lade failure criterion.

Şekil 12. Değiştirilmiş-Lade yenilme kriteri tarafından öngörülen kuyu çökmesi.

Mud Weight Window at 3000 m Depth

Mohr-Coulomb Criterion: The breakout pressure increases to approximately 10.0 ppg, and breakdown pressure remains close to 13.5 ppg, keeping the safe window around 3.5 ppg. The narrow window reflects its limitation in representing real subsurface conditions at this deeper depth. *Mogi-Coulomb Criterion:* A breakout pressure of 10.7 ppg and breakdown pressure of 13.7 ppg is observed. This criterion continues to reflect a more balanced and accurate representation of wellbore stability, making it a suitable choice for high-stress environments like Rumaila.

Modified Lade Criterion: At this depth, the breakout pressure is close to 10.3 ppg with the breakdown limit extending to 14.0 ppg, again demonstrating a more conservative profile similar to its behavior at 2800 m.

Impact of Failure Criterion on Mud Weight Window

Mohr-Coulomb criterion: While simple and widely used, this criterion yields conservative and potentially inefficient drilling windows, especially in deep and high-stress zones. *Mogi-Coulomb Criterion:* This proves to be most representative of actual borehole behavior, as confirmed by caliper logs. It balances safety and operational efficiency and accounts for the intermediate principal stress, which becomes more influential at greater depths.

Modified Lade criterion: This is more conservative, typically providing wider upper safety margins. This makes it appropriate for brittle or fractured formations where failure prediction is critical but may result in overdesign in more competent formations.

Sensitivity Analysis and Mud Weight Window

The borehole data necessary for performing analysis of sensitivity at a certain depth include well orientation, geomechanical model parameters, and the mud weight. Due to increased brittleness and susceptibility to fracturing of sandstone, induced-tensile failure and mud losses are likely to occur. Shale is more likely to develop breakout compared with sandstone. The sensitivity analysis of mud weight window showed that the safe mud weight is below 40° and mud weight range is 10.5 to 14.2 ppg. The azimuth had zero effect on the mud weight as shown in Figures 13 and 14.

CONCLUSIONS

The following findings can be drawn from the outcomes of the 1D MEM analysis for the Zubair Formation/Rumaila oilfield:

1. To achieve an accurate 1D-MEM, integrated data is required such as well logs (caliper log, bit size, sonic log, gamma ray and bulk density) and drilling formation data (daily drilling report, final drilling report, geological report). Measured data are essential for validation of the constructed model.
2. The Mohr-Coulomb criterion appeared overstate rock failure, while the Modified-Lade criterion was conservative in predicting rock failure. The Mogi-Coulomb criterion was more reasonable and appropriate in predicting rock failure for Rumaila oilfield and showed good agreement with the breakouts observed in logs because it considers intermediate principal stress when analyzing failure.

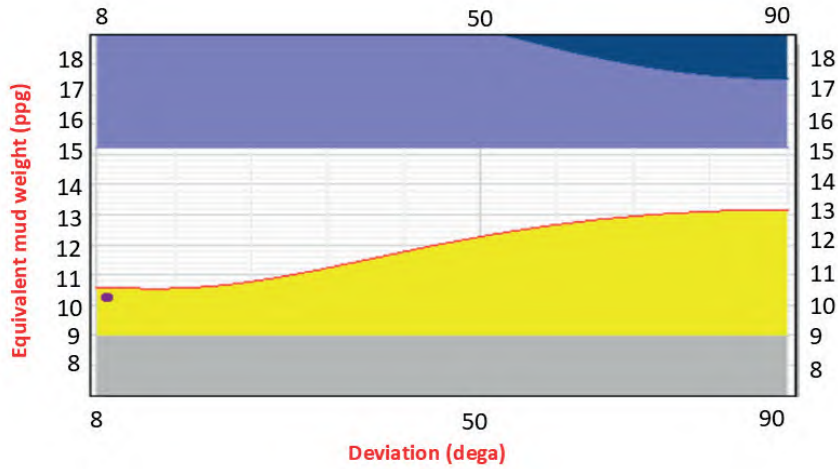


Figure 13. Mud weight window vs. deviation.

Şekil 13. Çamur ağırlık penceresi ve sapma.

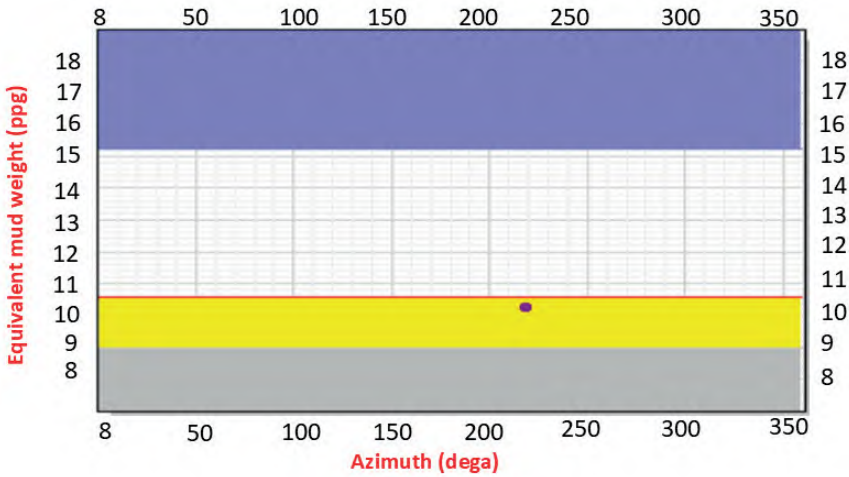


Figure 14. Mud weight window vs. azimuth.

Şekil 14. Çamur ağırlığı penceresi ve Azimut.

3. Sensitivity analysis indicated that vertical and minimally deviated wells exhibit greater stability than horizontal and deviated wells. Furthermore, the current mud weight is inadequate and must be elevated to 10.5 ppg in order to ensure the stability of the wellbore wall during drilling operations.

These findings may be used to mitigate the elevated NPT and excessive costs associated with well drilling operations.

4. Vertical and low-deviation wells with less than 40° exhibit greater stability than highly deviated and horizontal wells (from Sadi to Zubair Formation), which is based on

the results of sensitivity analysis at a single depth.

5. Ultimately, the appropriate and best failure criterion should be chosen for use in building a geomechanical model to create drilling programs. This step is crucial for planned wells and making real-time revisions to those programs has proven valuable when successfully drilling hazardous intervals, simultaneously reducing costs and duration of the planned well delivery.

RECOMMENDATIONS

For future work, the recommendations can be listed as following:

1. Based on these study components, a strong three-dimensional geomechanical model (3D MEM) should be developed that will greatly integrate the mechanical earth model and the structural geology model to give a more thorough and accurate evaluation of wellbore stability.
2. It is recommended to study the chemical effects of the mud.
3. The values for minimal horizontal stresses should be corrected by performing further leak-off tests or extended leak-off tests at various intervals.

REFERENCES

- Aadnoy, B. and Looyeh, R., (2011). *Petroleum rock mechanics: drilling operations and well design*. Gulf Professional Publishing.
- Aadnoy, B. and Looyeh, R., (2019). *Petroleum Rock Mechanics Drilling Operations and Well Design* Second Edition. Gulf Professional Publishing.
- Abalioglu, I., Legarre, H., Garland, C., Sallier, B., Gao, J., van Galen, M., Chou, Q., Neil, B., Soroush, H., Qutob, H., Mahli, Z., (2011). *The role of geomechanics in diagnosing drilling hazards and providing solutions to the northern Iraq fields*, in: SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, SPE, pp. SPE-142022, <https://doi.org/10.2118/142022-MS>.
- Al-Agaili, H. E. C. (2012). *Palynofacies and hydrocarbon potential for selected samples from Subba oil field, south Iraq*. University of Baghdad, Baghdad.
- Al-Ajmi, A. M., and Zimmerman, R. W. (2006). Stability analysis of vertical boreholes using the Mogi–Coulomb failure criterion, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol 43, pp .1200-1211, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2006.04.001>.
- Al-Ameri N. J., Hamd-allah S, Abass H. (2020b). *Investigating geomechanical considerations on suitable layer selection for hydraulically fractured horizontal wells placement in tight reservoirs*. In: Abu Dhabi international petroleum exhibition and conference (ADIPEC). SPE-203249-MS, <https://doi.org/10.2118/203249-MS>.
- Al-Ameri N. J., Hamd-allah S, Abass H. (2020c). Specifying quality of a tight oil reservoir through 3-D reservoir modeling. *Iraqi Journal of Science*, 61(12), 3252–3265, <https://doi.org/10.24996/ij.s.2020.61.12.14>.
- Al-Ameri, N. J. (2015). Kick tolerance control during well drilling in southern Iraqi deep wells. *IJCPE*, vol. 16, no. 3, pp. 45–52, <https://doi.org/10.31699/IJCPE.2015.3.5>.
- Algburi, A., Alatrosh, R. K., and Alrashedi, M. A., (2023). Study of Hydrocarbon Potentials and Sedimentary Properties of Ispartaçay Formation, Turkey. *Iraqi Geological Journal*. Vol. 56 (2C), 33-49. DOI: <https://doi.org/10.46717/igj.56.2C.3ms-2023-9-9>.
- AlHusseini, A. K. & Hamed-Allah, S. M. (2023). Estimation Pore and Fracture Pressure Based on Log Data; Case Study: Mishrif Formation/ Buzurgan Oilfield at Iraq. *IJCPE*, vol. 24, no. 1, pp. 65–78, <https://doi.org/10.31699/IJCPE.2023.1.8>.
- Ali, R., A. (2023). Petrography and Geochemistry of Zubair Shale Formation in Rumaila oilfield

- southern Iraq: implications for provenance and tectonic setting. *JPRS*, Volume No. 40, pp. 19-40. <http://doi.org/10.52716/jprs.v13i3.729>.
- Al-Juraisy, B.A. and Al-Majid, M.H.A. (2021). Importance of Velocity Deviation Technique and Negative Secondary Porosity in Detection of Hydrocarbon Zones in Khasib Formation, East Baghdad Oil Field. *Iraqi Geological Journal*. Vol. 54 (2E), 86-103. DOI: <https://doi.org/10.46717/igj.54.2E.6Ms-2021-11-22>.
- Almasi, A., and Mohsenipour, A. (2022). Determining the mud window, geomechanical model (MEM), and well wall stability analysis, using analytical and numerical methods in one of the wells in Iran's southwest fields, *Advanced Applied Geology* 12 (1), 1–11. DOI:10.22055/AAG.2020.34229.2135.
- Al-Qahtani, M. Y., and Zillur, R. (2001). *A mathematical algorithm for modeling geomechanical rock properties of the Khuff and Pre-Khuff reservoirs in Ghawar field*, in: SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, pp. SPE–68194. SPE.
- Al-Rubaye W. I. T., and Hamd-Allah, S. M. (2019). A High Resolution 3D Geomodel for Giant Carbonate Reservoir- A Field Case Study from an Iraqi Oil Field. *Jcoeng*, vol. 26, no. 1, pp. 160–173, 2019, <https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.01.12>.
- AlShibli, F. H., and Alrazzaq, A. A. A. (2022). Laboratory Testing and Evaluating of Shale Interaction with Mud for Tanuma Shale formation in Southern Iraq. *IJCPE*, vol. 23, no. 3, pp. 35–41, <https://doi.org/10.31699/IJCPE.2022.3.5>.
- Bagheri, H., Ayatizadeh Tanha, A., Doulati Ardejani, F., Heydari-Tajareh, M., and Larki, E. (2021). *Geomechanical model and wellbore stability analysis utilizing acoustic impedance and reflection coefficient in a carbonate reservoir*, *J. Pet. Explor. Prod. Technol.* 11, 3935–3961.
- Balaky S. M., Al-Dabagh M. M., Asaad I. S., Tamar-Agha M., Ali M. S., Radwan A. E. (2023). Sedimentological and petrophysical heterogeneities controls on reservoir characterization of the Upper Triassic shallow marine carbonate Kurra Chine Formation, Northern Iraq: Integration of outcrop and subsurface data. *Mar Pet Geol.* 149. doi:10.1016/j.marpetgeo.2022.106085.
- Bandara, M. K. and Al-Ameri, N. J. (2024). Wellbore Instability Analysis to Determine the Safe Mud Weight Window for Deep Well, Halfaya Oilfield. *Iraqi Geological Journal*. vol. 57 (1D), 153-173. DOI:10.46717/igj.57.1D.13ms-2024-4-23.
- Bell, J. S. (2003). Practical methods for estimating in situ stresses for borehole stability applications in sedimentary basins. *Journal of Petroleum Science and Engineering* vol. 38, pp. 111–119, [https://doi.org/10.1016/S0920-4105\(03\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(03)00025-1).
- Boutt, D. F., Cook, B. K. and Williams, J. R. (2011). A coupled fluid–solid model for problems in geomechanics: Application to sand production, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol.35, pp. 997-1018, <https://doi.org/10.1002/nag>.
- Bradley, W. B. (1979). Failure of inclined boreholes, *J. Energy Resour. Technol. Trans. ASME*, vol. 101, no. 4, pp. 232–239, 1979, <https://doi.org/10.1115/1.3446925>.
- Chandong, C., Zoback, M. D. and Khaksar, A. (2006). Empirical Relations between Rock Strength and Physical Properties in Sedimentary Rocks. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol.51, pp.223–237, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2006.01.003>.
- Ding, Y., Liu, X., Liang, L., Xiong, J., Li, W., Wei, X., Duan, X., and Hou, L. (2023). Wellbore stability model in shale formation under the synergistic effect of stress unloading-hydration. *Pet. Explor. Dev.* 50 (6), 1478-1486.
- Ewy, R.T. (1999). Wellbore-Stability Predictions by Use of a Modified Lade Criterion,” *SPE Drill & Compl*, vol. 14, pp. 85–91, <https://doi.org/10.2118/56862-Pa>.
- Fischer, K., Henk, A. (2013). A workflow for building and calibrating 3-D geomechanical models &ndash a case study for a gas reservoir in the North German Basin, *Solid Earth* 4 347–355.
- Gstalder, S. and Raynal, J. (1966). Measurement of Some Mechanical Properties of Rocks And

- Their Relationship to Rock Drillability, *J. Pet. Technol.*, vol. 18, no. 08, pp. 991–996, <https://doi.org/10.2118/1463-Pa>.
- Herwanger, J. (2014). *Seismic geomechanics: how to build and calibrate geomechanical models using 3D and 4D seismic data*, in: Fourth EAGE CO2 Geological Storage Workshop, European Association of Geoscientists & Engineers, 2014 cp-439.
- Hoseinpour M. and Riahi, M. A. (2022). Determination of the mud weight window, optimum drilling trajectory, and wellbore stability using geomechanical parameters in one of the Iranian hydrocarbon reservoirs. *J Petrol Explor Prod Technol*, vol.12, pp. 63–82, <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01399-5>.
- Hosseini, S. A., Keshavarz Faraj Khah, N., Kianoush, P., Arjmand, Y., Ebrahimabadi, A., Jamshidi, E. (2023b). Tilt angle filter effect on noise cancellation and structural edges detection in hydrocarbon sources in a gravitational potential field. *Results Geophys. Sci.* 14, 100061, <https://doi.org/10.1016/j.ringps.2023.100061>.
- Kianoush, P., Mohammadi, G., Hosseini, S. A., Keshavarz Faraj Khah, N., Afzal, P. (2023b). Determining the drilling mud window by integration of geostatistics, intelligent, and conditional programming models in an oilfield of SW Iran. *J. Pet. Explor. Prod*, <https://doi.org/10.1007/s13202-023-01613-6>.
- Liu J, Ma T, Fu J, Gao J, Martyushev D. A., Ranjith PG. (2024). Thermodynamics based unsaturated hydro-mechanical-chemical coupling model for wellbore stability analysis in chemically active gas formations. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.09.024>.
- Ma, T., Chen, P. (2015). A wellbore stability analysis model with chemical-mechanical coupling for shale gas reservoirs. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 26, 72–98, <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.05.028>.
- Ma, T., Chen, P., Yang, C., and Zhao, J. (2015). Wellbore stability analysis and well path optimization based on the breakout width model and Mogi-Coulomb criterion. *J. Pet. Sci. Eng.* 135, 678–701, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.10.029>.
- Manshad, A. K., Ali, J., Aghayari, M., Hayavi, M. T., Mohammadi, A. H., Iglauer, S., and Keshavarz, A. (2022). *An insight into modeling wellbore stability using the extended Mogi-Coulomb criterion and poly-axial test data*. Upstream Oil Gas Technol. Vol. 9, 100082, <https://doi.org/10.1016/j.upstre.2022.100082>.
- Mohiuddin, M. A., Awal, M. R., Abdulraheem, A., and Khan, K. (2001). *A new diagnostic approach to identify the causes of borehole instability problems in an offshore Arabian field*, in: SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, SPE, pp. SPE–68095, <https://doi.org/10.2118/68095-MS>.
- Moos, D., Peska, P., Finkbeiner, T., and Zoback, M. (2003). Comprehensive wellbore stability analysis utilizing Quantitative Risk Assessment. *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 38, pp. 97–109, [https://doi.org/10.1016/S0920-4105\(03\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(03)00024-X).
- Nader, A. F., Muhammad, R., J., Saleh, W., M., Abdullah, M., S., and Atwan, A., Q. (2022). evaluation of main Pay-Zubair Formation after operations re-injection of produced water dirwctly in Rumaila oil field norths under matrix condition. *Journal of Petroleum Research and Studies*. Volume No. 35, pp. 13-26. <http://doi.org/10.52716/jprs.v12i2.655>.
- Noah, A. Z., Mesbah, M. A., and Osman, H. (2023). Comprehensive Wellbore Instability Management by Determination of Safe Mud Weight Windows Using Mechanical Earth Model, Meleiha Field, Western Desert, Egypt. *Egyptian Journal of Chemistry*, vol. 66 , pp. 449-463, doi.org/10.21608/ejchem.2022.150856.6534.
- Ounegh, A., Hasan-Zadeh, A., Khanaposhtani, M. M., and Kazaemzadeh, Y. (2024). Wellbore stability analysis based on the combination of geomechanical and petrophysical studies. *Results in Engineering*. Vol. 24, 103016, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103016>.
- Pirhadi, A., Kianoush, P., Ebrahimabadi, A., and Shirinabadi, R. (2023). Wellbore stability in a depleted reservoir by finite element analysis of coupled thermo-poro-elastic units in an oilfield, SW Iran. *Results in Earth Sciences journal*. Vol. 1, 100005, <https://doi.org/10.1016/j.rines.2023.100005>.

- Plumb, R.A., and Richard, S. H. (1985). Stress-induced borehole elongation: A comparison between the four-arm dipmeter and the borehole televiwer in the Auburn Geothermal Well. *Journal of Geophysical Research*, vol. 90, pp. 5513–5521, <https://doi.org/10.1029/JB090iB07p05513>.
- Rafieepour, S., Zamiran, S., and Ostadhassan, M. (2020). A cost-effective chemo-thermo-poroelastic wellbore stability model for mud weight design during drilling through shale formations. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* 12 (4), 768-779, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.12.008>.
- Ramjohn, R., Gan, T., Sarfare, M. (2018). *3D geomechanical modeling for wellbore stability analysis: starfish*, ECMA, Trinidad and Tobago, in: SPE Trinidad and Tobago Section Energy Resources Conference, SPE, D031S027R002, <https://doi.org/10.2118/191242-MS>.
- Rumaila Operating Organization, ROO. (2016). *Integrated Subsurface Description* (unpublished report).
- Schlumberger, 2018. *Techlog Software Manual*.
- Wang, Y., Duan, L., Zhang, F., Lian, M., and Li, B. (2023). Dynamic wellbore stability analysis based on thermo-poro-elastic model and quantitative risk assessment method. *Geoenergy Sci. Eng.*, 212063, <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212063>.
- Wei, Y., Feng, Y., Tan, Z., Yang, T., Yan, S., Li, X., and Deng, J. (2024). Simultaneously improving ROP and maintaining wellbore stability in shale gas well: A case study of Luzhou shale gas reservoirs. *Rock Mech. Bull.* 3 (3), 100124, <https://doi.org/10.1016/j.rockmb.2024.100124>.
- Yan, C., Dong, L., Zhao, K., Cheng, Y., Li, X., Deng, J., Li, Z., and Chen, Y. (2022). Time-dependent borehole stability in hard-brittle shale. *Pet. Sci.* 19 (2), 663-677, <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.12.019>.
- Zeynali, M. E. (2012). Mechanical and physico-chemical aspects of wellbore stability during drilling operations. *J. Pet. Sci. Eng.* 82, 120-124, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.01.006>.
- Zhang, J. (2013). Borehole stability analysis accounting for anisotropies in drilling to weak bedding planes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 60, 160–70, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.12.025>.
- Zoback, M. D., Moos, D., Mastin, L., and Anderson, R. N. (1985). Well bore breakouts and in situ stress, *J. Geophys. Res. Solid Earth* 90, 5523–5530, <https://doi.org/10.1029/JB090iB07p05523>.

Ahlat Taşı ve Tarihi Yapılardaki Yeri: Kültürel Miras Açısından Bir Değerlendirme

*Ahlat Stone and Its Use in Historical Structures:
An Assessment From the Perspective of Cultural Heritage*

Ogün Ozan VAROL

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

Geliş (Received): 24/09/2025 / Düzeltme (Revised): 26/10/2025 / Kabul (Accepted): 23/11/2025

ÖZ

Ahlat Taşı, volkanik kökenli bir doğaltaş olup, Van Gölü Havzası'nda yüzyıllardır yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Özellikle Selçuklu döneminde inşa edilen mezar taşları, kümbetler, camiler ve köprülerde yoğun biçimde tercih edilmesi, taşın bölgenin kültürel kimliğinin oluşumunda belirleyici bir rol üstlendiğini göstermektedir. Yerel mimaride estetik değer kazandırmasının yanı sıra, taş işçiliği geleneği ile birlikte bölgedeki sanat anlayışını da şekillendirmiştir. Ancak Ahlat Taşı, gözenekli yapısı nedeniyle donma-çözünme döngüleri, tuzlanma ve atmosferik etkiler karşısında bozunmaya oldukça duyarlıdır. Bu durum, taşın korunabilirliğini ve geleceğe aktarılmasını tehdit etmektedir. Bu çalışmada Ahlat Taşı'nın kültürel miras açısından önemi, tarihsel kullanımı ve karşı karşıya olduğu koruma sorunları ele alınmıştır. Ayrıca taşın doğru restorasyon uygulamaları ve sürdürülebilir koruma stratejileriyle kültürel mirasın devamlılığına katkı sağlayabileceği vurgulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ahlat Taşı, kültürel miras, taş işçiliği, koruma

ABSTRACT

Ahlat stone is a natural volcanic stone that has been used as a building material in the Lake Van Basin for centuries. Its extensive use, particularly in Seljuk-period constructions such as tombstones, mausoleums, mosques, and bridges, demonstrates its decisive role in shaping the cultural identity of the region. Beyond its contribution to the esthetic quality of local architecture, Ahlat stone with the tradition of stone craftsmanship, has also influenced artistic expression in the region. However, due to its porous structure, Ahlat stone is highly susceptible to deterioration by freeze-thaw cycles, salt weathering, and atmospheric conditions. This vulnerability poses significant threats to the preservation and transmission of the stone to future generations. This study examines the cultural heritage significance of Ahlat stone, its historical use, and the conservation challenges it faces. Furthermore, the study emphasizes that proper restoration practices and sustainable preservation strategies will significantly contribute to the continuity of this cultural heritage.

Keywords: Ahlat Stone, cultural heritage, stone craftsmanship, conservation

GİRİŞ

Geçmiş toplumların jeolojik çeşitlilik ile kurduğu ilişkiyi anlamak, bu çeşitliliğin tarihsel süreçteki önemine dair yeni bakış açıları geliştirmeye olanak tanımaktadır (Hurst vd., 2023). Ekolojik çeşitliliğin kültürel açıdan değerini ortaya koymanın yollarından biri, mümkün olduğunca fazla sayıda alanın kültürel jeosit olarak tanımlanmasıdır. Bu alanlar arasında, yüzyıllardır mimari yapılarda kullanılan doğal taşların da bulunduğu bilinmektedir. Doğal taş, nitelikli ve değerli bir yapı malzemesi olmakla birlikte, zaman içerisinde hem doğal etkenler hem de insan kaynaklı müdahaleler sonucunda yıpranabilmektedir. Son dönemlerde yapılan araştırmalar, taş malzemeler ile iklim koşulları arasındaki etkileşim sonucu, taş yapılardan oluşan kültürel mirasta bozulmaların hızla arttığını ortaya koymuştur (Akgül vd., 2025; Akın vd., 2016; Özvan vd., 2015a; Siegesmund & Snethlage, 2011; Varol, 2024a). Öte yandan bazı çalışmalar, çeşitli deneysel yöntemler ve modeller aracılığıyla, iklim değişikliğinin belirli kayaç türlerinde gelecekte yol açabileceği değişimleri öngörmüş; birçok tarihî yapının ciddi tahribat riski altında bulunduğunu belirtmiştir (Akın vd., 2017; Akın & Özsan, 2011; Varol, 2024b). Taş yapılardan oluşan kültürel mirasın korunması günümüzde önemli bir araştırma konusudur. Özellikle, yapıda kullanılan taşların yenilenmesinin zorunlu olduğu durumlarda, özgün malzemenin doğru biçimde tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Böylece yapılacak müdahaleler, eserin estetik özelliklerini ya da kültürel değerini zedelemeyecek şekilde gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşım, doğal süreçlerin kültürel mirası tehdit ettiği ve kullanılan taş türünün net olarak belirlenemediği durumlarda daha da kritik bir gereklilik haline gelmektedir (Pereira, 2023).

Doğal yapı taşları sundukları renk ve desenlerden dolayı geçmişten günümüze kadar yapılarda dekoratif amaçlar ile kullanılmaktadır. Van ve Bitlis bölgelerindeki tarihi yapılar incelendiğinde birçok tarihi yapıda Ahlat taşı olarak nitelendirilen ignimbiritlerin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 1).

Bölgede yer alan ignimbiritler Nemrut stratovulkanının ürünü olan piroklastik kayaç grubunun bir çeşididir. Kolay şekil verilebilme özelliğine sahip olduklarından dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Tarihi dönemlerde ve günümüzde yapıların iç ve dış mekanlarında yapı taşı olarak kullanılan ignimbiritler, farklı renk ve doku özelliği sunduklarından dolayı günümüzde dekoratif amaçlar ile dış cephe kaplamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Akın vd., 2016). Ancak mekanların iç ve dış duvarlarında kullanılan doğal taşlar zamanla aşındırıcı faktörlerin etkisi altında kalmaktadır (Karaca vd., 2012; Yavuz vd., 2008). Doğal taşların aşınmalar karşısında gösterdiği direncin belirlenmesinde çoğunlukla böhme aşınma direnci ve geniş diskli aşınma direnci deneyleri tercih edilmektedir. Doğal taşların aşınma direncinin belirlendiği bu deneylerin numune hazırlaması, deneylerin zaman alıcı olması ve kullanılan aşındırıcı tozların sağlık üzerinde olan olumsuz etkileri gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Ozdemir & Kahraman, 2023; Özvan & Direk, 2021). Birçok araştırmacı doğal taşların aşınma direncinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir (Deliormanlı, 2012; Karaca vd., 2012; Karaca vd., 2010; Özvan ve Direk, 2021; Özvan ve Ercan, 2020; Yılmaz vd., 2017). Deliormanlı (2012) yaptığı çalışmada 15 mermer numunesinin Cerchar aşınma indeksi ile böhme aşınma direncini belirlemiştir. Karaca vd., (2010) yaptıkları çalışmada 10 farklı doğal taş numunesinin donma-çözünme sonrası aşınma dirençlerini belirlemiştir.



Şekil 1. Ahlat taşı kullanılarak yapılan tarihi ve modern yapılar a) Selçuklu mezarlığı (Van-Gevaş), b) Hüseyin Paşa camii (Van-Merkez), c) Ahlat Belediye binası (Bitlis-Ahlat), d) Halime Hatun türbesi (Van-Gevaş).

Figure 1. Historical and modern structures built using Ahlat stone: a) Seljuk gravestones (Van-Gevaş), b) Hüseyin Paşa Mosque (Van-City Center), c) Ahlat Municipality Building (Bitlis-Ahlat), d) Halime Hatun Mausoleum (Van-Gevaş).

Araştırmacılar, donma-çözünme sonrası en fazla aşınmanın traverten numunelerinde olduğunu belirlemişlerdir. Öte yandan gelişen bilgisayarlar ve yapay zekanın yer bilimlerinde de uygulanmaya başlanması ile birlikte birçok araştırmacı yapay sinir ağları ve konvensiyonel regresyon analizleri kullanarak doğal taşların böhme aşınma direncini belirlemeye yönelik çalışmalar yürütmüştür (Adam Mohammed vd., 2021; Bayram, 2020; Bozdağ, 2020; Çelik & Çobanoğlu, 2022; Kılıç & Teymen, 2008; Strzałkowski & Köken, 2022; Yavuz vd., 2008). Literatürde Ahlat taşının fiziksel-mekanik özellikleri ve atmosferik etkilerden dolayı meydana gelen bozunmalar üzerine

(Akbulut, 2022; Akın vd., 2016, 2017; Baykara & Işık, 2016; Özvan vd., 2015b; Şimşek & Erdal, 2010), kapiler su emme özellikleri üzerine (Akın vd., 2016; Dinçer vd., 2012) çalışmalar yürütülmüştür.

Ahlat örneği, bu yaklaşımın önemini açıkça göstermektedir. Bununla birlikte, ignimbiritlerin yüksek poroziteleri ve iklimsel etkilere karşı hassas yapıları, günümüzde Ahlat'taki taş eserlerin korunabilirliği açısından önemli tehditler oluşturmaktadır. Ahlat taşının kullanımına ilişkin tarihsel ve jeolojik özellikler kadar, bu taşların korunmasına yönelik konservasyon uygulamaları da büyük önem taşımaktadır. Ahlat Selçuklu Meydan Mezarlığı'nda yürütülen koruma ve

onarım çalışmaları, taşın fiziksel özellikleri ile çevresel etkiler arasındaki ilişkiyi ortaya koymuş ve uygun koruma yöntemleri geliştirilmiştir (Avşar & Güleç, 2019). Bu bağlamda, Ahlat taşında gerçekleştirilen restorasyon ve konservasyon çalışmaları, taşın sürdürülebilir biçimde korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Ahlat taşının yüksek gözenekliliği ve kapiler su emme özelliği nedeniyle, klasik çimento bazlı onarım malzemeleriyle yapılan müdahalelerin taşın özgün yapısını olumsuz etkilediği bilinmektedir (Akbulut, 2022). Baykara ve Işık (2016) tarafından yapılan mikroyapısal değerlendirmelerde, taşın mevcut bozulma düzeyine göre aşamalı konservasyon uygulamalarının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, Ahlat taşının petrografik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ayrıntılı olarak ortaya konulması, iklimsel ve çevresel etkilere karşı bozunma süreçlerinin modellenmesi ve bu veriler ışığında uygun koruma stratejilerinin geliştirilmesi, bölgenin eşsiz kültürel mirasının sürdürülebilirliği açısından bilimsel ve toplumsal bir zorunluluk olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Ahlat taşının kültürel miras içerisindeki benzersiz rolünü kapsamlı bir biçimde ortaya koymaktır. Çalışma, taşın petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri daha önce yapılan çalışmalar ışığında değerlendirerek, bu özelliklerin tarihî yapıların estetik ve kültürel kimliğine olan katkısını anlamayı hedeflemektedir. Ayrıca, taşın iklimsel ve çevresel etkilere karşı gösterdiği tepkiler ayrıntılı olarak incelenerek, bozunma süreçlerinin modellenmesi ve sürdürülebilir koruma stratejilerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca Ahlat taşının değerini ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda bölgedeki taş kültürünün tarih boyunca toplumsal, sanatsal ve kimliksel boyutlarını da görünür kılmaktadır.

Sonuç olarak, çalışma, hem bilimsel literatüre katkı sağlayacak hem de yerel ve ulusal düzeyde kültürel mirasın korunmasına yönelik politika ve stratejilerin geliştirilmesine temel oluşturacak niteliktedir.

Ahlat'ın Tarihsel ve Kültürel Arka Planı

Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Van Gölü'nün kıyısında konumlanan Ahlat, Bitlis şehir merkezine yaklaşık 60 kilometre mesafededir (Şekil 2). 2024 yılı resmi nüfus verilerine göre ilçenin nüfusu yaklaşık 45.096'dır (*Ahlat Nüfusu Bitlis*, 2025). Tarih boyunca birçok medeniyetin etkisi altında kalan Ahlat, ayrıca ünlü İpek Yolu üzerinde yer alması sebebiyle tarihî ve stratejik bir öneme sahiptir. Yerleşim alanı, M.Ö. 1100'lü yıllarda Urartu uygarlığından izler taşımaktadır. Daha sonraki dönemlerde, Selçuklu ve Osmanlı yönetimleri (11.–17. yüzyıllar) Ahlat'a birçok önemli yapı kazandırmıştır.

Selçuklu döneminde, Anadolu'ya doğru gerçekleştirilen Türk göçlerinin merkezi olarak işlev gören Ahlat, 10. yüzyıldan itibaren başlayan ve sonraki yüzyıllarda devam eden göç hareketlerinde stratejik bir üs olmuştur. 1071 Malazgirt Savaşı sonrasında Sultan Alparslan ve ordusunun seferleri sırasında da önemli bir merkez olarak kullanılmıştır. Bu dönemlerde, Anadolu Selçuklu Devleti'ni oluşturan Türkmen boylarının yerleşiminde kilit bir rol oynamıştır. Sonuç olarak, Ahlat Selçuklu döneminin en önemli şehirlerinden biri olarak camiler, kümbetler, köprüler, hamamlar ve su kemerleri gibi birçok tarihî ve anıtsal yapıya ev sahipliği yapmaktadır.

İlçedeki en dikkat çekici tarihî alanlardan biri, İkikubbe Mahallesi ile Harabeşehir arasında yaklaşık 200 dönümlük bir alana yayılan Selçuklu Mezarlığıdır (Şekil 3).



Şekil 2. Ahlat yer bulduru haritası.

Figure 2. Location map of Ahlat.



Şekil 3. Ahlat Selçuklu mezarlığı havadan görünümü.

Figure 3. Aerial view of Ahlat Seljuk cemetery.

Bu alanda 12. ile 16. yüzyıllar arasında inşa edilen, farklı biçim ve süslemelere sahip mezar taşları bulunmaktadır. Taşlar, figürler, motifler, dekoratif unsurlar ve Kur'an ayetleri, şiirler veya yöresel atasözleri gibi yazıtlarla zenginleştirilmiş olup, dönemin sanatsal anlayışını ve kültürel çeşitliliğini günümüze aktarmaktadır.

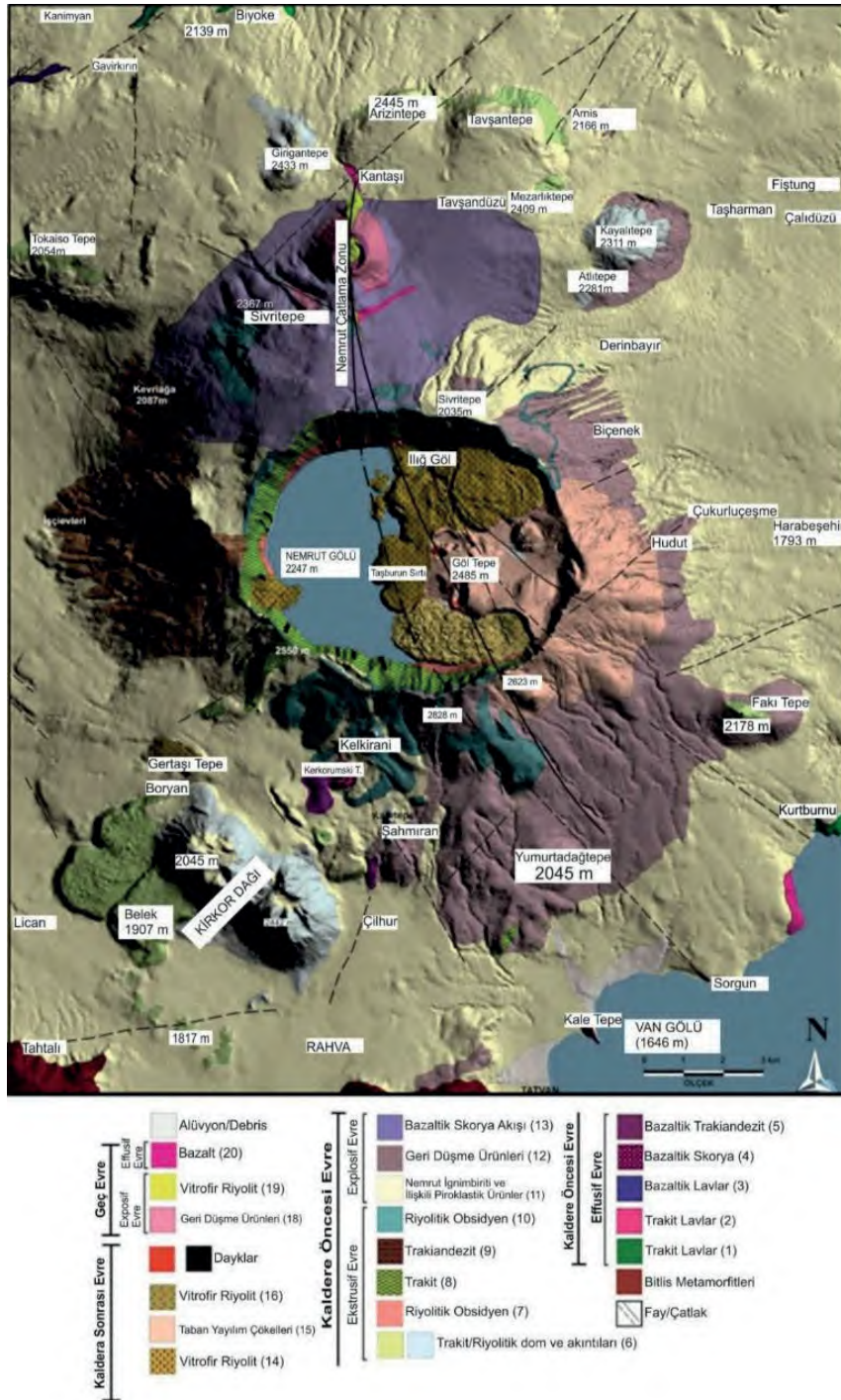
Ahlat Taşının Jeolojik, Jeokimyasal ve Mühendislik Özellikleri

Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kıta-kıta çarpışması sonucu oluşan Nemrut stratovolkani, Van Gölü'nün güneybatısında yer almaktadır (Keskin, 2007). Nemrut stratovolkani'nin deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık olarak 2950 m'dir. 7x8 km²'lik kaldera çapına sahip olan volkanın taban alanı 210 km²'dir (Şekil 4). Özdemir vd. (2006) Nemrut volkanizmasını kaldera öncesi, kaldera sonrası ve geç dönem olmak üzere üç ayrı sınıfa ayırmıştır. Bölgede yaygın olarak bulunan ignimbiritler, Nemrut volkanizmasının kaldera öncesi ürünü olarak oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Özdemir vd. (2006) çalışmalarında bölgedeki ignimbiritlerin toplam hacminin yaklaşık olarak 58 km³ olduğunu belirlemişlerdir. Bölgenin geneline yayılan ignimbiritler oldukça heterojen bir yapı göstermektedir (Şekil 5). İgnimbiritler içerisinde farklı oranda pomza ve litik malzeme bulunmaktadır. Bu nedenle bölgede farklı renk ve dokularda ignimbirit seviyeleri mevcuttur. Farklı sıcaklık koşullarında oluşan bu ignimbiritlerin sadece doku ve rengi değişmekle kalmayıp fiziksel ve mekanik özellikleri de değişmiştir (Akın vd., 2017).

Bu çalışmaya konu olan Ahlat taşının jeokimyasal ve mühendislik özellikleri daha önce Dinçer vd. (2012), Akbulut (2022), Akın vd. (2017), Akın vd. (2016) tarafından yapılan çalışmalardan derlenmiştir. Bu araştırmalara göre Ahlat ignimbiritleri %60–70 oranında SiO₂

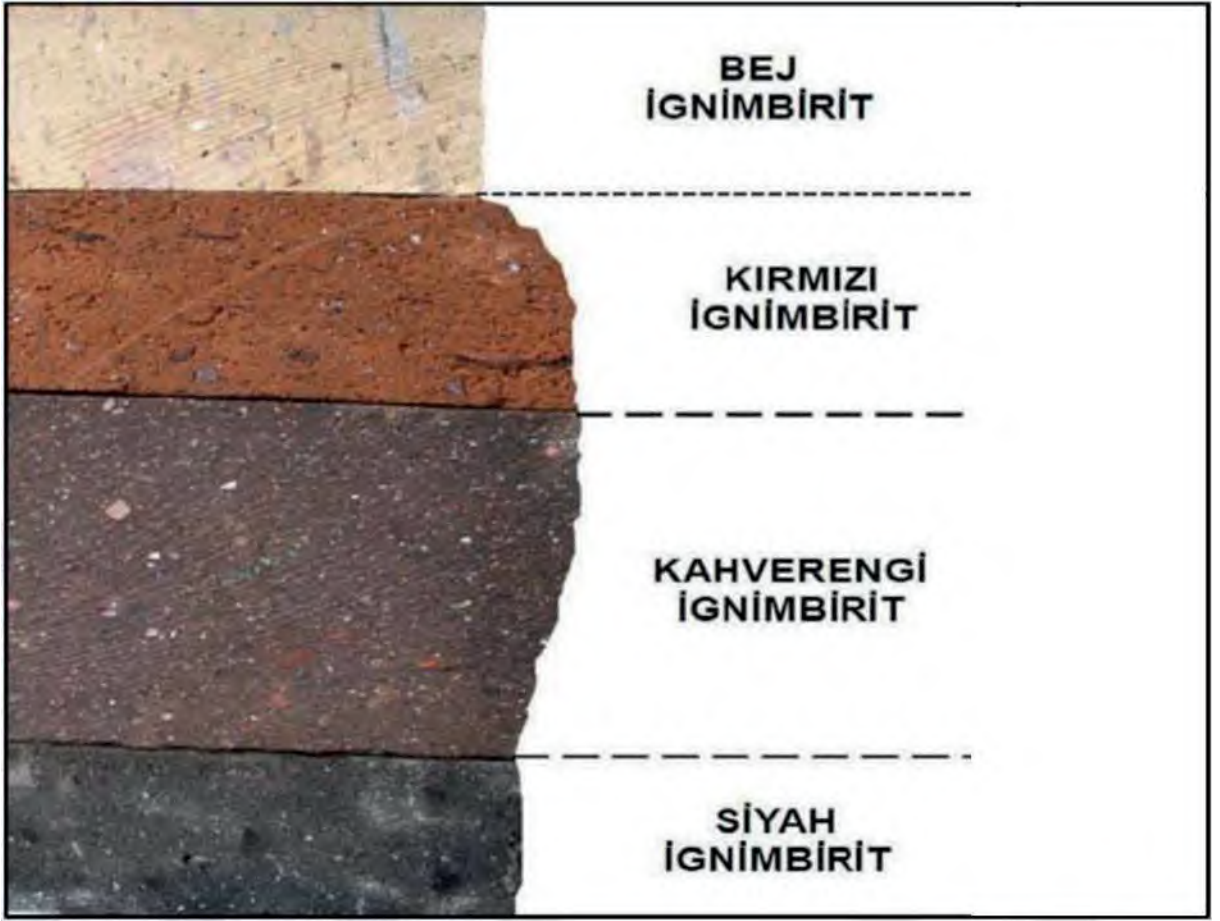
içermektedir. Ortalama %15 seviyesindeki Al₂O₃, kayaların önemli bir bileşenini oluştururken; yaklaşık %5 oranında Na₂O ve K₂O belirlenmiştir. Le bas vd. (1992) tarafından önerilen toplam alkali-silika diyagramına göre Ahlat ignimbiritleri, trakit ve riyolit litoloji grubunda yer almaktadır. Ahlat taşının mekanik özelliklerine bakıldığında ise ignimbiritlerin çok düşük birim hacim ağırlığa sahip kayaç grubu içerisinde değerlendirildiğini göstermektedir (NBG, 1985). Gözeneklilik oranları %20.35 ile %31.53 arasında değişmekte olup, bu sonuçlar Ahlat taşının yüksek poroziteli yapısını ortaya koymaktadır. Tek eksenli sıkışma dayanımı bakımından dört farklı renk sunan ahlat taşlarının sıkışma dayanımları birbirine yakın olup 12.10–15.78 MPa aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, tüm ignimbirit grupları Deere ve Miller (1966) sınıflamasına göre düşük–çok düşük dayanımlı kaya grubu içerisinde yer almaktadır.

Bu mineralojik, jeokimyasal ve mekanik özellikler, Ahlat taşının tarih boyunca tercih edilmesinde belirleyici olmuştur. Özellikle yüksek gözeneklilik ve pomza içeriği, taşın işlenmesini kolaylaştırmış; böylece Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde anıtsal mezar taşları, camiler, köprüler ve diğer mimari eserlerin inşasında yaygın olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, aynı özellikler taşın dış etkilere karşı hassasiyetini de artırmaktadır. Yüksek porozite, iklimsel faktörlerle (donma-çözünme, nem döngüleri) etkileşimde hızlı bozunma süreçlerine yol açabilmektedir. Dolayısıyla Ahlat ignimbiritlerinin petrografik ve jeokimyasal karakteristiklerinin ayrıntılı biçimde incelenmesi, yalnızca jeolojik açıdan değil, aynı zamanda kültürel mirasın korunabilirliği açısından da kritik öneme sahiptir. İgnimbiritlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar Çizelge 1'de sunulmuştur.



Şekil 4. Nemrut stratovulkani ve yakın çevresinin jeolojisi (Karaoğlu vd., 2005).

Figure 4. Geology of Nemrut stratovolcano and surrounding area (Karaoğlu et al., 2005).



Şekil 5. Ahlat bölgesinde bulunan farklı renk ve dokular sunan ignimbiritler (Dede, 2009).

Figure 5. Ignimbrites from the Ahlat region exhibiting diverse colors and textures (Dede, 2009).

Le bas vd. (1992) tarafından önerilen toplam alkali-silika diyagramına göre Ahlat ignimbritleri, trakit ve riolit litoloji grubunda yer almaktadır. Ahlat taşının mekanik özelliklerine bakıldığında ise ignimbritlerin çok düşük birim hacim ağırlığa sahip kayaç grubu içerisinde değerlendirildiğini göstermektedir (NBG, 1985). Gözeneklilik oranları %20.35 ile %31.53 arasında değişmekte olup, bu sonuçlar Ahlat taşının yüksek poroziteli yapısını ortaya koymaktadır. Tek eksenli sıkışma dayanımı bakımından dört farklı renk sunan ahlat taşlarının sıkışma dayanımları birbirine yakın olup 12.10–15.78 MPa aralığında değiştiği

belirlenmiştir. Bununla birlikte, tüm ignimbrit grupları Deere ve Miller (1966) sınıflamasına göre düşük–çok düşük dayanımlı kaya grubu içerisinde yer almaktadır.

Bu mineralojik, jeokimyasal ve mekanik özellikler, Ahlat taşının tarih boyunca tercih edilmesinde belirleyici olmuştur. Özellikle yüksek gözeneklilik ve pomza içeriği, taşın işlenmesini kolaylaştırmış; böylece Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde anıtsal mezar taşları, camiler, köprüler ve diğer mimari eserlerin inşasında yaygın olarak kullanılmıştır. Bununla

birlikte, aynı özellikler taşın dış etkilere karşı hassasiyetini de artırmaktadır. Yüksek porozite, iklimsel faktörlerle (donma-çözünme, nem döngüleri) etkileşimde hızlı bozunma süreçlerine yol açabilmektedir. Dolayısıyla Ahlat ignimbritlerinin petrografik ve jeokimyasal karakteristiklerinin ayrıntılı biçimde incelenmesi, yalnızca jeolojik açıdan değil, aynı zamanda kültürel mirasın korunabilirliği açısından da kritik öneme sahiptir. İgnimbritlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1’de sunulan veriler incelendiğinde, Ahlat ignimbritinin Nemrut volkanizmasının bir ürünü olarak yüksek gözeneklilik (%18–32), düşük–orta dayanım (10–27 MPa) ve belirgin pomza içeriği ile karakterize edildiği görülmektedir. Akbulut (2022) tarafından yapılan deneysel çalışmalar, bu taşların özellikle donma–

çözülme çevrimlerine karşı duyarlı olduğunu, 50 çevrim sonrasında hem fiziksel hem de mekanik özelliklerinde belirgin düşüşler meydana geldiğini göstermiştir. Bu durum, Ahlat taşının atmosferik etkiler karşısında hassaslığını artırmakla birlikte, yüzeysel bozunma, kavraklanma ve kapiler su etkisiyle gelişen ayrışma türlerinin bölgedeki yapılarda yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Nevşehir ignimbritleri, Kapadokya volkanizmasının ürünleri olup Türkiye’de en düşük dayanım değerlerine (6–15 MPa) sahip ignimbrit türlerindendir. Akın vd. (2022) üç bölgeyi kapsayan kapsamlı çalışmada, Nevşehir ignimbritlerinde pomza tanelerinin daha yuvarlak geometriye sahip olduğu, gözenekliliğin diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu ve bu nedenle mekanik dayanımın belirgin şekilde düşük kaldığı belirtilmiştir.

Çizelge 1. İgnimbritlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Table 1. Physical and mechanical properties of the ignimbrites

Bölge	Numune	Kuru Birim Ağırlık (kN/m ³)	Görünür Gözeneklilik (%)	Su Emme (%)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Kaynak
Ahlat	BE	16.25	20.72	15.85	-	Akbulut (2022)
Ahlat	BL	15.25	26.87	18.82	-	Akbulut (2022)
Ahlat	BR	15.18	29.27	22.88	-	Akbulut (2022)
Ahlat	RE	14.98	32.01	24.57	-	Akbulut (2022)
Nevşehir	SB	14.08	28.22	29.68	7.77	Akın vd. (2022)
Nevşehir	GK	13.93	24.73	23.94	11.78	Akın vd. (2022)
Nevşehir	OH	13.71	24.80	18.90	19.24	Akın vd. (2022)
Kayseri	Sh	15.71	26.32	18.29	21.05	Akın vd. (2022)
Kayseri	Kh	14.64	26.94	18.76	22.52	Akın vd. (2022)
Kayseri	Kr	17.42	22.18	12.75	20.65	Akın vd. (2022)
Kayseri	S	15.37	28.72	18.19	20.92	Akın vd. (2022)
Kayseri	G	17.84	15.99	8.63	36.84	Akın vd. (2022)
Kayseri	B	15.78	27.96	17.37	17.26	Akın vd. (2022)

Nevşehir ignimbritlerinin yüksek porozite ve düşük kaynaklanma derecesi, hem su emme oranlarını artırmakta hem de bozunma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu nedenle, Ahlat ignimbriti ile karşılaştırıldığında Nevşehir örneklerinin daha zayıf, daha hızlı bozulan ve koruma gereksinimi daha yüksek bir malzeme olduğu görülmektedir. Kayseri ignimbritleri ise diğer iki bölgeyle karşılaştırıldığında en yüksek dayanım değerlerine (20–36 MPa) ve daha merceksi (fiyam) pomza tanelerine sahiptir. Akın vd. (2022) yaptıkları çalışmada, Kayseri ignimbritlerinde deformasyon ve kaynaklanmanın yüksek olduğunu, pomza tanelerinin belirgin biçimde yassılaştığını ve bunun malzemenin dayanımını artırdığını ortaya koymaktadır. Akgül vd. (2025) tarafından Kayseri'deki tarihi eserler üzerinde yapılan tahribatsız deney çalışmalarında, ignimbrit bloklarının özellikle taban seviyelerinde kapilarite nedeniyle bozunsada taze örneklerle karşılaştırıldığında Kayseri ignimbritinin Ahlat taşına kıyasla daha dayanıklı bir yapı sunmaktadır. Bu nedenle bu bölgedeki ignimbritler, Ahlat ignimbritine kıyasla daha iyi kaynaklanmış, daha yoğun ve çevresel etkiler karşısında daha dirençli bir malzeme niteliğindedir. Diğer bölgelerde yer alan ignimbrit ve tüf türleri, Ahlat taşına benzer gözenekli yapılarla sahip olmakla birlikte dayanım değerleri çoğunlukla düşüktür. Temiz (2011) Ankara tüfleri üzerine yürüttüğü çalışmada, tüflerin hem yüksek su emme kapasitesine hem de düşük basınç dayanımına sahip olduğunu belirlenmiş olup, tüflerin bu özellikleri Ahlat ignimbritinin davranışıyla benzerlik göstermektedir. Buna karşın Kula volkanik tüfleri, mineralojik bileşim itibarıyla Ahlat taşından daha farklıdır ve yapısal olarak daha heterojen bir yapı sunmaktadır (Şen vd., 2014). Genel olarak değerlendirildiğinde, Ahlat ignimbriti Türkiye'deki ignimbritler arasında orta dayanımlı, yüksek gözenekli ve

atmosferik etkilere duyarlı bir taş niteliğindedir. Nevşehir ignimbritleri Ahlat taşından daha zayıf ve hızlı bozulan bir karakter sergilerken, Kayseri ignimbritleri ise daha yüksek dayanım sunan ve yapısal bütünlüğünü daha iyi koruyabilen taşlardır. Doğal taşların kültürel mirasın devamlılığındaki rolü, taşın jeolojik, fiziksel ve kültürel özelliklerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesini gerektirir (Pereira, 2023). Ahlat ignimbriti de bu bağlamda bölgesel bir kültürel taş niteliği taşımaktadır.

Ahlat Taşının Kültürel Miras Yapılarında Kullanımı

Ahlat taşı, özellikle ignimbirit kökenli yapısıyla kolay işlenebilirliği ve estetik görünümü nedeniyle tarih boyunca geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Selçuklu döneminden itibaren bölgede inşa edilen camiler, kümbetler, köprüler, hamamlar ve sivil mimari örneklerinde bu taşın yoğun biçimde tercih edildiği bilinmektedir. En dikkat çekici örneklerden biri, dünyanın en büyük Türk-İslam mezarlıkları arasında gösterilen Ahlat Selçuklu Mezarlığıdır. Burada yer alan anıtsal mezar taşları, sadece dini ve estetik unsurlar değil; aynı zamanda yazıtlar, motifler ve semboller aracılığıyla dönemin sosyal ve kültürel kimliğini de yansıtmaktadır.

Ahlat taşının kullanımında öne çıkan bir diğer unsur, taşın yerel jeolojik kaynaklardan kolaylıkla temin edilebilmesidir. Bölgedeki volkanik faaliyetlerin bir ürünü olan ignimbritlerin, yüksek gözeneklilikleri sayesinde işlenmesi zahmetsiz olmuş; bu özellik, sanatkarların ince detaylı süslemeler yapabilmesine olanak tanımıştır. Dolayısıyla Ahlat taşı, yalnızca bir yapı malzemesi değil, aynı zamanda Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinin sanat anlayışını ve kimliksel sürekliliğini temsil eden kültürel bir unsur haline gelmiştir.

Ancak taşın bu avantajlı yönlerinin yanı sıra, yüksek porozite ve düşük mekanik dayanım gibi özellikleri, günümüzde yapıları çevresel koşullara karşı savunmasız bırakmaktadır. Özellikle donma-çözünme döngüleri, yağış, sıcaklık değişimleri ve biyolojik etkenler taşın yüzeyinde çatlak, pul pul dökülme ve ayrışma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu durum, Ahlat taşının geçmişten günümüze taşıdığı kültürel miras değerinin korunabilmesi için bilimsel temelli koruma ve restorasyon stratejilerine duyulan ihtiyacı açıkça göstermektedir.

Şekil 6'da görüldüğü üzere, Selçuklu Mezarlığı'ndaki Ahlat taşı mezar taşları, farklı bozunma türlerinin eşzamanlı olarak etkili olduğu örnekler sunmaktadır. Yazıtlı yüzeylerdeki yüzey kaybı ve pul pul dökülmeler, taşın gözenekli yapısı ve iklimsel etkilerle hızlanan ayrışma süreçlerinin sonucudur. Çatlaklar, özellikle sıcaklık değişimleri ve donma-çözünme döngülerinin yol açtığı iç gerilmeler nedeniyle gelişmiş olup, taşın bütünlüğünü zayıflatmaktadır. Alt bölümlerde gözlenen tuz kristalizasyonu, kapilarite ile taşın içerisine taşınan çözeltilerin buharlaşması sonucu oluşmuş ve yüzeyde kabarmalara yol açmıştır. Ayrıca, biyolojik kolonizasyon (likens, yosun) taş yüzeylerinde yoğun şekilde gözlenmekte, bu da taşın hem fiziksel hem de kimyasal ayrışma süreçlerini hızlandırmaktadır. Son olarak, renk değişimleri, atmosferik kirlenmeler ve biyolojik filmlerle ilişkili olup, taşın estetik değerini olumsuz etkilemektedir. Bu gözlemler, Ahlat taşının atmosferik koşullara karşı yüksek duyarlılığını ve korunmasına yönelik acil stratejilerin geliştirilmesi gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Şekil 7'de görüldüğü üzere, Ulu Kümbet'in taş yüzeylerinde farklı bozunma türleri aynı anda gözlenmektedir. Yapının kubbe kısmında

belirginleşen pul pul dökülmeler, Ahlat taşının yüksek gözenekliliği ve donma-çözünme döngülerine duyarlılığının bir sonucudur. Üst bölümlerdeki yüzey kayıpları, taşın estetik bütünlüğünü zayıflatmakta ve süsleme detaylarının silinmesine yol açmaktadır. Gövde yüzeyinde gelişen çatlaklar, hem taşın mekanik zayıflığını hem de iklimsel koşulların tetiklediği iç gerilmeleri yansıtmaktadır. Alt kısımlarda yer alan tuz kristalizasyonu, kapilarite yoluyla taşın içine taşınan çözeltilerin buharlaşması sonucu oluşmuş ve yüzeyde kabarmalara neden olmuştur. Aynı bölgede görülen biyolojik kolonizasyon (yosun ve liken oluşumları), taşın fiziksel ve kimyasal ayrışmasını hızlandırmaktadır. Bütün bu bulgular, Ulu Kümbet'in korunması için hem malzeme temelli hem de çevresel etkileri azaltmaya yönelik kapsamlı stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bayındır Kümbeti, Ahlat taşının anıtsal mezar mimarisinde kullanıldığı en önemli örneklerden biridir. Yapıda kullanılan taşın estetik özellikleri ve işlenebilirliği dikkat çekmekle birlikte, günümüzde belirgin bozulmalar gözlenmektedir. Dış yüzeylerdeki pul pul dökülmeler, taşın donma-çözünme döngülerine karşı hassasiyetini ortaya koyarken; gövde kısımlarında gelişen yüzey kayıpları kitabelerin ve bezemelerin silinmesine yol açmaktadır. Çatlaklar, yapının statik dengesini de tehdit edecek düzeyde ilerlemektedir. Alt bölümlerdeki tuz kristalizasyonu taşın kabarmasına ve parça kayıplarına neden olurken, nemli ortamlarda görülen biyolojik kolonizasyon taşın yüzeyinde liken ve yosun tabakaları oluşturmuştur. Ayrıca renk değişimleri, taşın estetik bütünlüğünü zedelemektedir (Şekil 8).



Şekil 6. Selçuklu Mezarlığı'nda yer alan anıtsal Ahlat taşı mezar taşlarında gözlenen başlıca bozunma türleri.

Figure 6. Major types of deterioration observed on monumental Ahlat stone gravestones in the Seljuk Cemetery.

Ahlat taşından inşa edilen farklı tipteki tarihi yapılarda gözlenen bozunmalar büyük ölçüde ortak özellikler göstermektedir. Mezar taşlarından kümbetlere ve camilere kadar tüm örneklerde yüzey kaybı, pul pul dökülme, çatlaklar, tuz kristalizasyonu, biyolojik kolonizasyon ve renk

değişimleri belirgin olarak saptanmıştır. Bu durum, Ahlat taşının yüksek gözenekliliği ve düşük mekanik dayanımı nedeniyle çevresel koşullara karşı oldukça hassas olduğunu ortaya koymaktadır. Donma-çözünme döngüleri ve sıcaklık farklılıkları, yüzey kayıpları ve çatlak

gelişimini hızlandırırken; nem ve yeraltı suyu etkisi, tuz kristalizasyonunu tetiklemektedir. Ayrıca, biyolojik kolonizasyon taşın ayrışma sürecini hem fiziksel hem de kimyasal olarak ivmelendirmekte; renk değişimleri ise estetik

değerini olumsuz etkilemektedir. Bu bulgular, Ahlat taşının koruma ve restorasyon stratejilerinde özgün malzeme özelliklerinin mutlaka dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 7. Ulu Kümbet'te gözlenen başlıca bozunma türleri.

Figure 7. Main types of deterioration observed on Ulu Kümbet.

Genel Değerlendirme

Ahlat taşının kullanıldığı tarihi eserlerde gerçekleştirilen gözlemler, bu taşın hem estetik hem de işlevsel açıdan büyük bir değer taşımasına

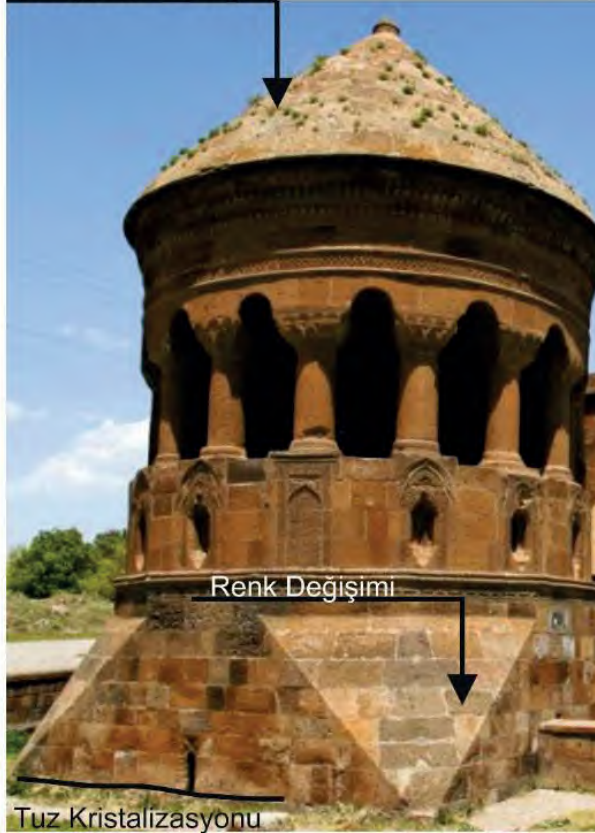
rağmen, çevresel koşullara karşı oldukça hassas olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle Selçuklu Mezarlığı'ndaki anıtsal mezar taşları, Ulu Kümbet ve Bayındır Kümbeti gibi yapıların incelenmesi, taşın farklı mekanizmalar

aracılığıyla bozulduğunu göstermiştir. Bu bozulmaların başında yüzey kayıpları ve pul pul dökülmeler gelmektedir. Yüzeyde gözlenen bu ayrışma, büyük ölçüde donma-çözünme döngülerinin etkisiyle hızlanmakta ve taşın yüksek gözenekliliği nedeniyle suyun taş bünyesinde kolaylıkla hareket etmesiyle şiddetlenmektedir. Bu süreç, süsleme ve yazıtların silinmesine yol açarak taşın yalnızca fiziksel bütünlüğünü değil, aynı zamanda kültürel ve sanatsal değerini de zedelemektedir.

Çatlak oluşumları, incelenen tüm yapılarda farklı derecelerde gözlenen bir diğer önemli bozulma türüdür. Çatlakların büyük kısmı, taşın

mekanik zayıflıkları ile iklimsel faktörlerin birleşik etkisi sonucu gelişmiştir. Sıcaklık farklılıklarının yol açtığı genleşme ve büzülme, taşın bünyesinde iç gerilmelere neden olmakta ve bu gerilmeler zamanla çatlakların ilerlemesine sebebiyet vermektedir. Çatlakların yapısal bütünlüğü tehdit eden en kritik unsurlardan biri olması, bu sorunun yalnızca estetik bir kayıp değil, aynı zamanda güvenlik riski de oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle kümbet ve cami gibi yük taşıyan yapılarda çatlakların artması, restorasyon ve koruma çalışmaları açısından ciddi önlemler alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Biyolojik Kolonizasyon



Şekil 8. Bayındır Kümbeti’nde gözlenen başlıca bozunma türleri.

Figure 8. Main types of deterioration observed on Bayındır Kümbet.

Tuz kristalizasyonu ise Ahlat taşının karşılaştığı en yıkıcı süreçlerden biridir. Kapilarite etkisiyle taşın gözenekli yapısı içerisine taşınan tuzlu sular, buharlaşma sonucunda yüzeyde kristalleşmekte ve kristal büyümesi taşın bünyesinde iç basınç oluşturmaktadır. Bu basınç, yüzeyde kabarmalara ve parça kayıplarına yol açmakta; zamanla taşın bütünlüğünü bozmaktadır. Özellikle mezar taşlarının ve kümbetlerin alt bölümlerinde yoğun olarak görülen bu süreç, taşın suyla temas ettiği alanlarda daha belirgin hale gelmiştir. Ahlat taşının tuz kristalizasyonuna karşı gösterdiği bu zayıflık, koruma stratejilerinde suyun hareketini engelleyecek çözümler geliştirilmesinin önemini göstermektedir.

Biyolojik kolonizasyon da incelenen eserlerde yaygın olarak gözlenmiştir. Yosun, liken ve mikroorganizma oluşumları taşın yüzeyinde yalnızca estetik bozulmalara neden olmakla kalmamakta, aynı zamanda taşın kimyasal ve fiziksel ayrışmasını hızlandırmaktadır. Özellikle gölgeli ve nemli bölgelerde gelişen biyolojik tabakalar, taş yüzeyinde asidik mikro ortamlar oluşturarak çözünmeyi artırmaktadır. Bunun yanı sıra, köklerin taş bünyesine girmesi çatlakların genişlemesine yol açmakta ve mevcut bozulmaları şiddetlendirmektedir. Bu durum, biyolojik etkenlerin göz ardı edilemeyecek derecede güçlü bir bozunma mekanizması olduğunu göstermektedir.

Renk değişimleri ise incelenen yapılarda taşın estetik değerini olumsuz etkileyen bir diğer bozulma türüdür. Atmosferik kirleticiler, biyolojik tabakalar ve kimyasal ayrışmalar taşın renginde düzensiz koyulaşmalar veya solmalar meydana getirmiştir. Bu değişimler yalnızca taşın görsel algısını etkilemekle kalmamakta, aynı zamanda bozulmanın ilerlediğini ve taşın özgün görünümünün kaybolduğunu işaret etmektedir.

Özellikle mezar taşları ve camilerdeki yazıtların okunabilirliğinin azalması, bu durumun kültürel mirasın belgelenmesi açısından da sorun teşkil ettiğini ortaya koymaktadır.

Bütün bu bulgular, Ahlat taşının çevresel ve iklimsel faktörlere karşı yüksek hassasiyetini ortaya koymaktadır. Ancak yalnızca bozulma süreçlerini tanımlamak yeterli değildir; bu taşın korunmasına yönelik etkili stratejiler geliştirmek gerekmektedir. İlk olarak, koruma çalışmalarında taşın özgün malzeme özelliklerinin detaylı biçimde analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Petrografik, jeokimyasal ve mekanik testlerle taşın gözeneklilik, dayanım ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi, hangi bozunma mekanizmalarının daha baskın olduğunu anlamak açısından kritik rol oynamaktadır. Bu analizler, taşın korunmasına yönelik uygulanacak yöntemlerin seçiminde temel bir yol gösterici işlevi görmektedir.

Koruma yaklaşımlarında önleyici yöntemler, bozulmanın ilerlemesini durdurmanın en etkili yoludur. Özellikle taşın su ile temasını azaltacak drenaj sistemleri, yüzey kaplamaları veya uygun geçirimsiz malzemeler kullanılması, tuz kristalizasyonu ve nem kaynaklı bozulmaların önlenmesinde önemlidir. Bununla birlikte, taş yüzeyindeki biyolojik oluşumların kontrol altına alınması için biyositler veya yüzey temizleme yöntemleri uygulanabilir. Ancak bu tür müdahalelerin taşın estetik özelliklerine zarar vermemesi ve taşın özgün kimliğini koruması için büyük bir özen gösterilmelidir.

Restorasyon çalışmalarında taş ikamesi gerektiğinde, mutlaka özgün taşla uyumlu malzeme seçimine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde yeni taş ile eski taş arasında farklı fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle uyumsuzluklar gelişebilir ve bu da yeni bozulmalara yol açabilir. Bu nedenle, taş ikamesinde Ahlat taşının kendisi

ya da ona en yakın özelliklere sahip malzemeler tercih edilmelidir.

Modern teknolojilerin korunma süreçlerine entegre edilmesi de oldukça önemlidir. Fotogrametri, lazer tarama, LiDAR ve insansız hava araçlarıyla elde edilen üç boyutlu modeller, yapıların mevcut durumunun ayrıntılı bir şekilde belgelenmesini sağlamaktadır. Bu yöntemler, yalnızca bozulmaların haritalanmasında değil, aynı zamanda ileride yapılacak koruma çalışmalarının etkinliğinin değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Bunun yanı sıra, tahribatsız test yöntemleri (ultrasonik hız ölçümleri, nem ölçümleri, termal kameralar) taşın iç yapısındaki gizli bozulmaları ortaya çıkararak erken müdahaleye olanak tanımaktadır.

Ulusal ve uluslararası düzeyde koruma politikaları da Ahlat taşının geleceği açısından büyük önem taşımaktadır. UNESCO Dünya Mirası kriterleri çerçevesinde Ahlat'ın ve bu taşın kullanıldığı eserlerin korunması, yalnızca bilimsel değil, aynı zamanda politik ve toplumsal bir sorumluluk olarak görülmelidir. Yerel yönetimlerin, üniversitelerin ve sivil toplum kuruluşlarının iş birliğiyle hazırlanacak uzun vadeli koruma planları, taşın sürdürülebilir korunması için temel bir gerekliliktir. Ayrıca, bu taşın "IUGS Heritage Stone Subcommission" tarafından Miras Taşı olarak tanınması yönündeki girişimler, uluslararası farkındalık ve destek sağlanması açısından önemli bir adım olacaktır.

Sonuç olarak, Ahlat taşının tarihî yapılardaki varlığı, hem bölgenin jeolojik mirasının hem de kültürel kimliğinin en somut göstergelerinden biridir. Ancak taşın çevresel koşullara karşı yüksek hassasiyeti, onu sürekli tehdit altında bırakmaktadır. Yapılan gözlemler ve analizler, Ahlat taşının korunmasının yalnızca bilimsel bir zorunluluk değil, aynı zamanda kültürel bir sorumluluk olduğunu ortaya koymaktadır.

Bozulma süreçlerinin sistematik biçimde belgelenmesi, koruma sorunlarının doğru anlaşılması ve uygun stratejilerin geliştirilmesi sayesinde, bu eşsiz mirasın gelecek kuşaklara aktarılması mümkün olacaktır. Aksi takdirde, Ahlat taşının şekillendirdiği tarihî ve kültürel değerler geri dönüşü olmayan kayıplarla karşı karşıya kalacaktır. Bu nedenle, disiplinlerarası iş birliği, modern teknolojilerin etkin kullanımı ve sürdürülebilir koruma politikaları, Ahlat taşının geleceği açısından vazgeçilmez unsurlar olarak değerlendirilmelidir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Ahlat taşının tarihî ve kültürel miras kapsamındaki önemini, jeolojik özelliklerini, kullanım alanlarını ve karşı karşıya olduğu bozunma süreçlerini kapsamlı biçimde ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, Ahlat taşının hem bölgenin jeolojik mirasının hem de Anadolu Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinden günümüze taşınan kültürel kimliğin en somut temsilcilerinden biri olduğunu göstermektedir. Taşın yüksek gözeneklilik, düşük mekanik dayanım ve su emme özellikleri; estetik ve işlenebilirlik açısından avantaj sağlarken, aynı zamanda çevresel etkenler karşısında yüksek bozunma eğilimi yaratarak korunabilirliğini zorlaştırmaktadır. Önleyici koruma önlemleri, bozunma hızını azaltmanın en etkili yoludur. Bu bağlamda, suyun yapı taşına girişini engelleyecek drenaj sistemlerinin kurulması, taş yüzeylerinde su itici fakat buhar geçirgenliği koruyan kaplamaların kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, tuz taşınımını azaltmak amacıyla zemin suyunun kontrolü ve yüzey temizliğinin düzenli yapılması gereklidir. Biyolojik kolonizasyonun engellenmesi için kontrollü biyosit uygulamaları yapılmalı, ancak bu işlemler taşın renk ve doku bütünlüğünü bozmayacak şekilde yürütülmelidir.

Modern teknolojiler, Ahlat taşının korunmasında büyük potansiyel sunmaktadır. Fotogrametri, LiDAR ve lazer tarama yöntemleriyle oluşturulan üç boyutlu modeller, hem mevcut bozulma düzeyinin belgelenmesini hem de zaman içinde değişimlerin izlenmesini kolaylaştırmaktadır. Tahribatsız test yöntemleri (örneğin ultrasonik hız ölçümleri, termal analiz, nem sensörleri) ise taşın iç yapısında henüz yüzeye yansımamış bozulmaların erken tespiti açısından büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, Ahlat taşı yalnızca bölgesel bir yapı malzemesi değil, Türkiye'nin jeolojik çeşitliliği ile tarihî mirasının kesişim noktasında yer alan bir kültürel değerdir. Bu değerın sürdürülebilir biçimde korunması; bilimsel araştırmalar, yerel farkındalık, teknoloji entegrasyonu ve kültürel sahiplenme ile mümkündür. Böylece, geçmişin taşla yazılmış hikâyesi, geleceğe sağlam bir biçimde aktarılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje no: FYD-2024-11054).

KAYNAKLAR

- Adam Mohammed, A. A., Fener, M., Comakli, R., İnce, İ., Balci, M. C., & Kayabalı, K. (2021). Investigation of the relationships between basic physical and mechanical properties and abrasion wear resistance of several natural building stones used in Turkey. *Journal of Building Engineering*, 42, 103084. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103084>
- Ahlat Nüfusu Bitlis. (2025). https://www.nufusu.com/ilce/ahlat_bitlis-nufusu
- Akbulut, Z. F. (2022). Investigation of the change in physical, mechanical, and microstructural properties of Ahlat ignimbrites under the effect of environment and freeze-thawing. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(6), 1-11.
- Akgül, M. K., Akın, M., & Akın, M. (2025). Kayseri İlindeki Bazı Tarihi Eserlerde Bozunma Etkilerinin Tahribatsız Deney Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 49(1), 1-24. <https://doi.org/10.24232/jmd.1579322>
- Akın, M., Dinçer, İ., Özvan, A., Oyan, V., & Tapan, M. (2016). İgnimbritlerdeki kılcal su emme özelliğinin Ahlat Selçuklu mezar taşlarının bozunmasındaki rolü. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 40(2), 149-166.
- Akın, M., Özvan, A., Dinçer, İ., & Topal, T. (2017). Evaluation of the physico-mechanical parameters affecting the deterioration rate of Ahlat ignimbrites (Bitlis, Turkey). *Environmental earth sciences*, 76(24), 1-22.
- Akın, M., & Özsan, A. (2011). Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70(1), 101-114. <https://doi.org/10.1007/s10064-010-0287-x>
- Akın, M., Topal, T., Dincer, İ., Akın, M., Özvan, A., Orhan, A., & Orhan, A. (2022). İgnimbritlerde Pomza Şekli ile Fiziksel-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. *Geosound*, 55(1), Article 1.
- Avşar, A., & Güleç, A. (2019). Ahlat selçuklu meydan mezarlığı mezar taşları analiz çalışmaları ve konservasyon önerileri. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 1(22), 3-16.
- Baykara, T., & Işık, M. C. (2016). Physical characterization, microstructural evaluation, and condition assessment of ancient ahlat tombstones in the Seljukian Cemetery of Ahlat (Turkey). *International Journal of Architectural Heritage*, 10(8), 1025-1040.
- Bayram, F. (2020). Data Mining Techniques for the Prediction of Bohme Surface Abrasion Rates from Rock Properties. *Journal of Testing and Evaluation*, 48(1), 323-332. <https://doi.org/10.1520/JTE20190130>

- Bozdağ, A. (2020). Doğal Yapı Taşlarının Fiziko Mekanik Özellikleriyle Böhme Aşınma Direncinin Tahmini. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.21923/jesd.771863>
- Çelik, S. B., & Çobanoğlu, İ. (2022). Modelling and estimation of Wide Wheel abrasion values of building stones by multivariate regression and artificial neural network analyses. *Journal of Building Engineering*, 45, 103443. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103443>
- Dede, E. (2009). *Ahlat Tasının (Ahlat-Bitlis) Mineralojik Ve Jeokimyasal İncelenmesi*. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi.
- Deliormanlı, A. H. (2012). Cerchar abrasivity index (CAI) and its relation to strength and abrasion test methods for marble stones. *Construction and Building Materials*, 30, 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.023>
- Dinçer, İ., Özvan, A., Akin, M., Tapan, M., & Oyan, V. (2012). İgnimbiritlerin Kapiler Su Emme Potansiyellerinin Değerlendirilmesi: Ahlat Taşı Örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(2), Article 2.
- Hurst, S., Cunningham, D., & Johnson, E. (2023). Collecting rocks on the frontier: Investigating the geodiversity significance of historical building stones and rock collecting at the maxey homestead, Northwest Texas, USA. *Resources*, 12(4), 44.
- Karaca, Z., Günes Yılmaz, N., & Goktan, R. M. (2012). Abrasion wear characterization of some selected stone flooring materials with respect to contact load. *Construction and Building Materials*, 36, 520-526. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.004>
- Karaca, Z., Hamdi Deliormanli, A., Elci, H., & Pamukcu, C. (2010). Effect of freeze-thaw process on the abrasion loss value of stones. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(7), 1207-1211. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2010.07.003>
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, A., Karabiyikoğlu, M., Köse, O., & Froger, J.-L. (2005). Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut Caldera: Implications for reconstruction of the caldera formation. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14(2), 123-143.
- Keskin, M. (2007). *Eastern Anatolia: A hotspot in a collision zone without a mantle plume*.
- Kılıç, A., & Teymen, A. (2008). Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(2), 237-244. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0128-3>
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., & Woolley, A. R. (1992). The construction of the Total Alkali-Silica chemical classification of volcanic rocks. *Mineralogy and Petrology*, 46(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/BF01160698>
- NBG. (1985). *Norwegian Rock Mechanics Group: Handbook in engineering geology – rock*.
- Ozdemir, A. C., & Kahraman, E. (2023). Performance comparison of training algorithms for the estimation of Böhme abrasion resistance using neural networks. *Journal of Mountain Science*, 20(12), 3732-3742. <https://doi.org/10.1007/s11629-023-8137-z>
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A. Ü., & Güleç, N. (2006). Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): The most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical geology*, 226(3-4), 189-211.
- Özvan, A., Dinçer, İ., Akin, M., Oyan, V., & Tapan, M. (2015a). Experimental studies on ignimbrite and the effect of lichens and capillarity on the deterioration of Seljuk Gravestones. *Engineering geology*, 185, 81-95.
- Özvan, A., Dinçer, İ., Akin, M., Oyan, V., & Tapan, M. (2015b). Experimental studies on ignimbrite and the effect of lichens and capillarity on the deterioration of Seljuk Gravestones. *Engineering Geology*, 185, 81-95. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.12.001>
- Özvan, A., & Direk, N. (2021). The relationships among different abrasion tests on deteriorated and undeteriorated rocks. *Bulletin of Engineering*

- Geology and the Environment*, 80(2), 1745-1756. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-02041-0>
- Özvan, A., & Ercan, İ. (2020). Mermerlerin Aşınma Direncini Belirlemek İçin Kullanılan Geniş Diskli Aşındırma Testi (GDA) İçin Bazı Yorumlar ve Öneriler. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(2), 181-194.
- Pereira, D. (2023). The value of natural stones to gain in the cultural and geological diversity of our global heritage. *Heritage*, 6(6), 4542-4556.
- Siegesmund, S., & Snethlage, R. (Ed.). (2011). *Stone in Architecture: Properties, Durability*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14475-2>
- Strzałkowski, P., & Köken, E. (2022). Assessment of Böhme Abrasion Value of Natural Stones through Artificial Neural Networks (ANN). *Materials*, 15(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/ma15072533>
- Şen, E., Aydar, E., Bayhan, H., & Gourgaud, A. (2014). Alkali bazalt ve piroklastik çökellerin volkanolojik özellikleri, Kula volkanları, Batı Anadolu. *Yerbilimleri*, 35(3), 141-168.
- Şimşek, O., & Erdal, M. (2010). Investigation of Some Mechanical And Physical Properties of the Ahlat Stone (Ignimbrite). *Gazi University Journal of Science*, 17(4), Article 4.
- Temiz, R. (2011). *Bey pazarı (Ankara) gölet yerindeki kaya kütlelerinin jeoteknik değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi (Turkey).
- Varol, O. O. (2024a). Nevşehir İğnimbiritlerinde Kapiler Su Emme Özelliğinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(2), 1064-1074.
- Varol, O. O. (2024b). Predicting uniaxial compressive strength of tuff after accelerated freeze-thaw testing: Comparative analysis of regression models and artificial neural networks. *Journal of Mountain Science*, 21(10), 3521-3535. <https://doi.org/10.1007/s11629-024-8729-2>
- Yavuz, H., Ugur, I., & Demirdag, S. (2008). Abrasion resistance of carbonate rocks used in dimension stone industry and correlations between abrasion and rock properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45(2), 260-267.
- Yılmaz, N. G., Goktan, R. M., & Onargan, T. (2017). Correlative relations between three-body abrasion wear resistance and petrographic properties of selected granites used as floor coverings. *Wear*, 372-373, 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.12.024>

YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

AMAC ve KAPSAM:

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

- İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözeterek daha güvenli ve sağlıklı bir yaşam ortamı sağlamak amacı ile insanlığın hizmetine sunmayı hedefleyen Jeoloji Mühendisliği mesleğinin, günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,
- Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendislerinin bilgisine sunmak,
- Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan bilim insanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandırarak, kolay erişilebilen, geniş katılımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,
- Uluslararası Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda, doğal kaynakların etkili yönetimi, mühendislik yapıları, mekansal planlamalar, insan ve doğayı yeryüzü dinamiklerini gözeterek, jeolojik tehlikeler göz önünde bulundurularak dirençli ortamların tasarımına katkıda bulunmak ve Jeoloji Mühendisliğine ilişkin diğer sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması ve geliştirilmesini sağlamak,
- Disiplinler arası araştırmaların ve birlikte çalışabilirlik ilkelerinin geliştirilmesine katkıda bulunma,

amaçlarına sahiptir.

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, mühendislik jeolojisi, jeoteknik, su kaynakları yönetimi ve hidrojeoloji, çevre jeolojisi ve atık yönetimi, jeotermal, sondaj tekniği ve uygulamaları, doğal olası tehlikeler, doğa kaynaklı afetler ve afet yönetimi gibi uygulamalı jeoloji mühendisliği hizmetleri konularının yanı sıra, uygulamaya yönelik yerbilim verilerinin de içinde bulunduğu inşaat, maden, jeofizik, petrol, çevre ve şehir bölge planlama gibi disiplinler arası ulusal ve uluslararası araştırmaların yayımlandığı bir dergidir.

Bu kapsamda;

- Mühendislik yapıları için uygun yer seçimi araştırmaları ve arazi kullanım planlamaları,
- Jeoteknik saha araştırmaları, sondaj çalışmaları, arazi ve laboratuvar deneyleri,
- Jeoteknik çalışmalarda kullanılan jeofizik yöntemler,
- Kaya ve zeminlerin jeomekanik özellikleri,
- Şev duraylılığı değerlendirmeleri ve izleme teknikleri,
- İnsan ve doğayı olumsuz etkileyen dinamik jeolojik süreçlere dirençli mekansal planlama çalışmaları,
- Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama teknolojilerinin jeoloji mühendisliği alanında uygulamaları,
- Doğal olası tehlike ve risk (Deprem, sıvılaşma, heyelan, obruk, tıbbi jeoloji, taşkın, çığ vb.) değerlendirmeleri,
- Doğa kaynaklı afetler ve afet yönetimi çalışmaları,

- Çevre jeolojisi araştırmaları, atık yönetimi ve yer seçimi çalışmaları,
- Yüze ve yeraltı su kaynaklarının yönetimi, hidrojeolojik sorunlar ve çözümlere yönelik yaklaşımlar,
- Jeolojik kaynakların yönetimi uygulamaları, sorunları, çözüm önerileri ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi,
- Jeotermal, maden ve mineral kaynaklarının araştırma ve geliştirilmesi, yeraltı jeolojisi modelleme çalışmaları,
- Kirleticiler ve ekosisteme etkileri,
- Doğal yapı malzemeleri ve zemin iyileştirme çalışmaları,
- Tarihi yapıların ve jeolojik anıtların korunmasında mühendislik jeolojisi,
- Kaynak arama ve üretim süreçlerindeki sondaj uygulamaları, sondaj teknolojilerindeki gelişmeler,
- Yapı üretim ve denetim süreçlerinde jeoloji mühendisliği alanına giren konulardaki araştırma, geliştirme ve proje çalışmaları,
- Jeoloji Mühendisliği eğitimi ve eğitimin geliştirilmesi,

konuları öncelikli olmak üzere, yukarıdaki konularla ilişkili tüm kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan araştırmalar Jeoloji Mühendisliği Dergisinde yayımlanır. Çalışmanın daha önce yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisinde, dört yazı türü yayımlanmaktadır:

- 1- **ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article):** Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılarıyla değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 9000 sözcük eşdeğerini (15 JMD sayfası) aşmamalıdır. Makale, alanında uzman en az iki hakem tarafından incelendikten sonra yayımlanır.
- 2- **DERLEME (Review):** Editörün daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, Jeoloji Mühendisliği'nin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımları günümüz teknolojik gelişmeleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler getiren ve geliştiren yazıdır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.
- 3- **TEKNİK NOT (Technical Note):** Teknik not makalesi, önceki yayınlara kıyasla gerçekten yeni olan bir teknik, ekipman, araştırma yöntemi veya bir değerlendirme yöntemini kapsayan çalışmalardır. Makalede değerlendirme veya ölçüm yöntemlerinin, nasıl doğrulandığı belirtilmelidir. Bir teknik not 4000 kelimeden uzun olmamalıdır (6 JMD sayfası). Makaleler en az iki yayın kurulu üyesi tarafından incelenecektir.
- 4- **DÜZELTME (Erratum):** Makalenin son düzenleme sırasında yazarlar veya yayın kurulu tarafından yanlışlıkla oluşturulan yayınlanmış bir makaledeki hataları düzeltmek için bir hata bildirimi yayımlanır. JMD, yayımlanan makalenin yazarları veya okuyucular tarafından hatalara karşı uyarılabilir. Yazarlar yayın kurulunu uyardıysa, mümkün olan en kısa sürede bir düzeltme (erratum) yayımlanır. Bir okuyucu yayın kurulunu uyardıysa, bir yazım hatası bildiriminin uygun olup olmadığını görmek için yazarla iletişime geçilir. Okuyucular, Editör ile iletişime geçebilirler. Editöre Mektup

alınmışsa ve yazım düzeltilmesi gerekliyse, orijinal makalenin yazarlarından, yayınlanan Editöre Mektup'a yanıt vermeleri ve düzeltme yazısı yazmaları istenir.

ETİK İLKELER VE YAYIN POLİTİKASI

1. Etik İlkeler ve Yayın Politikası

Jeoloji Mühendisliği Dergisi (JMD) yayıncı ve kullanıcıları (Editör ve teknik editör, yazarlar, hakemler, okuyucular vb.) Yayın Etiği Komitesi (Committee on Publication Ethics-COPE, <https://publicationethics.org/>) tarafından belirlenen etik kurallar ve sorumluluklara uyar.

Jeoloji Mühendisliği Dergisi hakemli bir dergidir. Basılı ve elektronik ortamda çevrimiçi yayın yapmakta olup, açık erişim sistemine sahiptir. Dergi sayıları Aralık ve Haziran aylarında yılda iki kez yayınlanır. Yayın süreçlerinde, bilimsel yöntemle özgürce ve yansız biçimde üretilen bilginin paylaşılması gözetilir. Makale değerlendirme sürecinde kör hakemlik sistemi uygulanır. JMD'nin 1977 yılından itibaren yayınlanan tüm sayıları gerek yayıncı kuruluş olan TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) tarafından basılı ve elektronik versiyonları, TÜBİTAK ULAKBİM- DergiPark tarafından ise elektronik versiyonları arşivlenmektedir.

1.1 Etik İlkeler

Editörlerin Etik Görev ve Sorumlulukları

Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde görev alan Editörler, Yayın Etiği Komitesi (Committee on Publication Ethics -COPE) tarafından "Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors" başlığı altında yayınlanan kılavuz kapsamında hazırlanan etik görev ve sorumluluklara sahiptir.

Editörler, derginin gelişimi ve yayınlanan çalışmaların kalitesini geliştirmeye yönelik süreçleri takip etmekle sorumludurlar.

JMD'ne sunulan makale ilk olarak, Editörler tarafından dergi amaç ve kapsamına uygunluğu açısından gözden geçirilir. Gönderilen makale, derginin amaç ve kapsamına uymuyorsa en geç 15 gün içerisinde reddedilir ve yazara bilgi verilir. Amaç ve kapsamı uygun bulunan makale, yapılan hakem değerlendirmesi öncesi yazım kuralları, dil ve anlatım ile çalışmanın planlanması açısından incelenir. Bu konularda eksiklikleri bulunan makalelerin yazar tarafından düzeltilmesi istenir.

Editörler, makalelerin tüm bölüm içeriklerini inceleyip, uygun bulduğunda makaleler hakem değerlendirmesine alınırlar. Ancak, herhangi bir nedenle hakem değerlendirmesine uygun bulunmayan makaleler, editörün değerlendirme raporuyla birlikte reddedilir. Yazara en geç 15 gün içerisinde bilgi verilir.

Hakem değerlendirmesinde makaleler, editör tarafından içerik ve uzmanlık alanlarına göre dergi hakem havuzundan ve/veya havuz dışından olmak üzere, en az üç hakeme gönderilir. Makale hakemlerinin belirlenmesinde, çıkar çatışması/çakışması hususlarına özen gösterilir.

Hakem görüşleri doğrultusunda, düzeltilmesi istenen makalelerin düzeltilmiş kopyası, geçerli bir neden olmaksızın yazarlar

tarafından 30 gün içerisinde tekrar editöre gönderilmediği taktirde, editörün makaleyi reddetme hakkı vardır. Yeniden düzenleme sonrası, düzeltilmiş makale editör tarafından gerekirse yeniden hakem değerlendirmesine gönderilir veya editör tarafından doğrudan kabul veya reddedilir.

Değerlendirme sonucu, hakemlerden gelen görüşler, editör tarafından en geç 15 gün içerisinde incelenir. İnceleme sonucunda, editör makaleye ilişkin nihai kararını vererek yazara iletir. Ret kararı verilen makaleler arşivlenir.

Editörler; olası suistimal ve görevi kötüye kullanma işlemlerine karşı önlem almakla yükümlüdür. Bu duruma yönelik şikayetlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda titiz ve nesnel bir soruşturma yapmanın yanı sıra, konuyla ilgili bulguların paylaşılması, editörün sorumlulukları arasında yer almaktadır. Suistimal şüphesi veya tartışmalı yazarlık durumlarında COPE akış şemaları (<https://publicationethics.org/resources/translated-resources/turkish-all-flowcharts>) dikkate alınarak gerekli aşamalar izlenir.

Editörler; yazar, hakem veya okuyuculardan gelen şikayetleri dikkatlice inceleyerek aydınlatıcı ve açıklayıcı bir şekilde yanıt vermekle yükümlüdür.

Dergi sahibi, yayıncı ve diğer hiçbir politik ve ticari unsur, editörlerin bağımsız karar almalarını etkilemez.

Editörler; yazar(lar), hakemler ve diğer editörler arasındaki çıkar çatışmalarını göz önünde bulundurarak, çalışmaların yayın sürecinin bağımsız ve tarafsız bir şekilde tamamlanmasını garanti eder.

Hakemlerin Etik Görev ve Sorumlulukları

Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde görev alan Hakemler, Yayın Etiği Komitesi (Committee on Publication Ethics -COPE) tarafından "COPE-Ethical Guidelines for Peer Reviewers" başlığı altında yayınlanan kılavuz kapsamında hazırlanan etik görev ve sorumluluklara sahiptir.

- JMD'de tüm bilimsel yayınların objektif değerlendirilmesini sağlamak amacıyla kör hakemlik sistemi uygulanmaktadır. Makaleye hakem atama aşamasında hakem ve yazar(lar) arasında herhangi bir çıkar çatışması/çakışması bulunmamasına özen gösterilmektedir. Bu amaçla hakem ve yazar(lar) arasında bilhassa;
 - Tez danışmanı/öğrenci ilişkisi olmaması,
 - Yazar(lar) ve hakem arasında yakın geçmişte (son 2 yıl) ortak araştırma ve yayın yapılmamış olması,
 - Aynı kurumda görev yapıyor olmaması,
 - Dergiye sunulan yazıya biçim ya da içerik yönünden katkı yapmamış olması,
 - Yazar(lar) ve hakem arasında yargıya ya da etik kurullara intikal eden ihtilafların olmaması,
 - Hakem ve yazar(lar) arasında akrabalık ilişkisinin olmaması,
 - Hakemin yazar(lar) hakkında kamuoyuna intikal etmiş önyargılarının bulunmaması,

- o Hakem ve yazar(lar) arasında herhangi bir ticari ilişkisinin olmaması,

gibi durumlar dikkate alınır. Yukarıda belirtilen ve dergi editörlüğünün gözünden kaçan durumların olması ihtimaline karşı hakemler editörü uyarır ve gerekli bilgiyi verir.

Ayrıca;

- Hakemler, sadece uzmanlık alanlarına giren makaleleri değerlendirir.
- Hakemler değerlendirmelerini tarafsız, objektif ve gizlilik içinde yapmakla yükümlüdürler.
- Değerlendirmede milliyet, cinsiyet, dini inanç, siyasal düşünce, ticari kaygılar vb. nedenlerle tarafsızlıklarını kaybetmemelidirler.
- Görüş ve önerilerini akademik görgü kuralları içinde, yapıcı ve akademik bir dille yapmaları, kişisel polemik yaratacak üsluptan kaçınmaları gerekmektedir.
- Yayın sürecini sebepsiz uzatacak şekilde değerlendirmelerini geciktirmemeleri gerekir. Hakem değerlendirme süreci için hakemlere verilen süre 30 gündür. Hakemler veya editörden gelen düzeltme önerilerinin yazarlar tarafından 30 gün içerisinde tamamlanması zorunludur. Hakemler makale için düzeltmelerini inceleyerek uygunluğuna karar verebilir veya gerekliyse birden çok defa düzeltme talep edebilir.

Yazarların Etik Görev ve Sorumlulukları

JMD’nde uygulanan yayın süreçleri, bilginin tarafsız ve saygın bir şekilde gelişimine ve dağıtımına temel teşkil etmektedir. Bu doğrultuda uygulanan süreçler, yazarların ve yazarları destekleyen kurumların çalışmalarının kalitesine doğrudan yansımaktadır. Hakemli çalışmalar bilimsel yöntemi somutlaştıran ve destekleyen çalışmalardır. Bu noktada sürecin bütün paydaşlarının (yazarlar, okuyucular ve araştırmacılar, yayıncı, hakemler ve editörler) Yayın Etiği Komitesi-COPE ilkelerine uyması önem taşımaktadır.

JMD’ne değerlendirilmek üzere makale gönderecek yazar(lar), öncelikle DergiPark’a üye olmak zorundadır. Sorumlu yazar çalışmalarını (orijinal makale, derleme, vb.) JMD’ne DergiPark sistemi üzerinden göndermelidir.

Makaleden sorumlu yazarın dergiye yeni makale gönderimi için “iThenticate İntihal Tespit Yazılımı” veya “Turnitin” veya eşdeğeri bir intihal programı kullanarak benzerlik raporunun yanı sıra, imzalanan “Telif Hakkı Devri Formu” ve “Etik Bildirim Formu”nu DergiPark sistemine yüklemesi gerekmektedir. Gönderilen makalenin benzerlik endeksi oranı, referans listesi hariç, % 20’nin altında olmalıdır.

Yazarlar çalışmalarını aynı anda birden fazla derginin başvuru sürecinde bulunduramaz. Her bir başvuru önceki başvurunun tamamlanmasını takiben başlatılabilir. Başka bir dergide yayınlanmış çalışma JMD’ne gönderilemez.

Sorumlu yazar, gönderilen bu makalenin başka bir yerde benzer bir formda yayınlanmadığını, makalenin orijinal olduğunu ve yayınlanmak üzere başka bir yere gönderilmeyeceğini garanti etmelidir.

Yazar(lar)ın gönderdikleri çalışmaların özgün olması beklenmektedir. Yazar(lar)ın başka çalışmalardan yararlanmaları veya başka çalışmaları kullanmaları durumunda eksiksiz ve doğru bir biçimde atıfta bulunmaları ve/veya alıntı yapmaları gerekmektedir.

Yazar(lar)dan değerlendirme süreçleri çerçevesinde makalelerine ilişkin ham veri talep edilebilir; böyle bir durumda yazar(lar) beklenen veri ve bilgileri yayın kuruluna sunmaya hazır olmalıdır.

Yazar(lar), kullanılan verilerin kullanım haklarına, araştırma/analizlerle ilgili gerekli izinlere sahip olduklarını gösteren belgeye sahip olmalıdır.

Makale yazarlarının her biri makaleye önemli bilimsel katkıda bulunmuş olması gerektiğinden her yazarın eşit etik sorumluluk taşıdığı kabul edilir. Yazar(lar)ın yayınlanmış, erken görünüm veya değerlendirme aşamasındaki çalışmasıyla ilgili bir yanlış ya da hatayı fark etmesi durumunda, dergi editörünü veya yayıncıyı bilgilendirme, düzeltme veya geri çekme işlemlerinde editörle iş birliği yapma yükümlülüğü bulunmaktadır.

Değerlendirme aşamasındaki makalesini geri çekme isteğinde bulunan yazar(lar)ın, konuyu içeren ıslak imzalı dilekçeyi dergi e-posta adresi jmd@jmo.org.tr üzerinden yayın kuruluna iletmesi gerekir. Yayın Kurulu, geri çekme dilekçesini inceleyerek en geç 15 gün içerisinde cevap verir. Yayın Kurulu tarafından dilekçesi onaylanmayan bir makalenin yazar(lar)ı, makalelerini başka bir dergiye gönderemezler.

Yayınlanmak üzere gönderilen tüm çalışmaların varsa çıkar çatışması teşkil edebilecek durumları ve ilişkileri açıklanmalıdır.

Değerlendirme süreci başlamış bir çalışmanın yazar sorumluluklarının değiştirilmesi (Yazar ekleme, yazar sırası değiştirme, yazar çıkartma gibi) teklif edilemez.

Değerlendirme sürecinde yazarlar; editör ve hakemlerin görüş, öneri ve eleştirilerine cevap vermekle yükümlüdürler. Yazarlar, hakem görüşlerini dikkate alarak sorulan soruları cevaplamak, görüş ve önerileri değerlendirmek, eleştirilere karşı olumlu ya da olumsuz karşılık vererek bunlara dair kanıtlarını ayrıntılı bir mektupla editöre bildirmek zorundadır. Bu karşı mektupta akademik üslup kullanılmalı, kişisel tartışmalardan kaçınılmalıdır.

1.2 Yayın Politikası

JMO ve/veya JMD yayınlanacak makalelerin telif haklarının alınması için yazarlardan yazılı onay alır. İlgili yazar, dergiye sunulan makalenin yazarı/sahibi olduğunu ve kendisi ve diğer yazar(lar) adına telif hakkını JMO ve/veya JMD’ne devreder. Telif Hakkı Devri Formunun doldurularak, makale sunumu esnasında dergi sistemine yüklenmesi zorunludur.

Sunulan makalenin tüm yazarları, yazının tüm haklarını ve tüm telif haklarını imzalayarak JMO ve/veya JMD’ne devretmelidir. JMO ve/veya JMD’nin, ilgili makalenin tamamını veya bir kısmını dersler/ders notları, raporlar ve ders kitapları/basılı kitaplar gibi gelecekteki eserlerinde herhangi bir ödeme yapmadan kullanma hakkı ve ilgili makalenin kendi kullanımı için kopyasını alma hakkı vardır. JMO ve/veya JMD; ticari amaçlar dışında patent hakları gibi telif hakkı dışındaki tüm haklarını saklı tutar.

JMD sistemindeki tüm kişisel bilgiler bilimsel amaçlarla kullanılmakta olup, üçüncü taraflarla paylaşılmamaktadır.

Editör, Teknik Editör ve Yayın Kurulu üyeleri, yazarların görüşlerinden ve yazı içeriğinden sorumlu değildir. Yazarlar, yazılarındaki etik özgünlük ve olası hatalardan sorumludur. Son okuma (düzeltme okuması) öncesi ve sayfa düzenleme aşamasında oluşabilecek tüm hatalardan yazarlar sorumludurlar. Son okuma sonrası meydana gelen hatalar dergi yetkililerinin sorumluluğundadır.

YAZIM KURALLARI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. Makale hangi dilde hazırlanmışsa Başlık, Öz, Şekil ve Çizelge açıklamalarını takiben diğer dildeki karşılığı yazılmalıdır. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması ve bu konuda makalenin dergiye sunumundan önce gerekli yardımı alamamaları durumunda, Başlık, Öz, Şekil ve Çizelge başlıklarının Türkçeye çevrilmesinde Editörler gerekli yardımı sağlar. Ana dili İngilizce olmayan yazarlara, yazılarını DergiPark sistemine yüklemeye önce, dil bilgisi ve yazım tarzı açısından, ana dili İngilizce olan bir kişiden katkı almaları özellikle önerilir.

Dergiye yayımlanmak üzere gönderilen makaleler, dergi yazım kurallarına göre hazırlanmalıdır.

Dergi yazım kurallarına göre hazırlanmış MS Office Word şablonunu bilgisayarınıza indirmek için lütfen [tıklayınız](#)...

Dergiye yayımlanmak üzere gönderilen makaleler, Etik İlkeler ve Yayın Politikası dikkate alınarak hazırlanmış olmalıdır.

Tüm makaleler Jeoloji Mühendisliği Dergisi DergiPark Sistemi üzerinden <https://dergipark.org.tr/tr/journal/1669/submission/step/manuscript/new> adresindeki "Makale Gönder" menüsü aracılığıyla elektronik ortamda gönderilmelidir.

Bunun için önce DergiPark sistemine üye olmalısınız. Makale Gönderim Aşamasında karşınıza çıkan Etik Beyan formu ve Telif Hakkı Devir formlarının düzenlenip, makale dosyalarıyla birlikte sisteme yüklenmesi gerekmektedir.

Yazılar aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır:

- Başlık (Türkçe ve İngilizce)
- Yazarların Ad(lar)ı SOYAD(LAR)I koyu olacak şekilde, adresleri (italik ve küçük harfle) ile sorumlu yazarın e-posta adresi
- Öz (Türkçe ve İngilizce)
- Anahtar Kelimeler (Türkçe ve İngilizce)
- Giriş (amaç, kapsam ve yöntemi)
- Ana metin (kullanılan yöntemler, çalışılan malzemeler, tanımlamalar, analizler vd.)
- Tartışma ve Sonuçlar veya Sonuçlar
- Katkı Belirtme
- Kaynaklar

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar farklı şekillerde ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Ana başlıklar büyük harflerle ve koyu yazılmalıdır. İkinci derece başlıklar alt başlık

olarak değerlendirilmeli ve birinci ve ikinci derece alt başlıklar küçük harfle (birinci derece alt başlıklarda her kelimenin ilk harfi büyük) ve koyu, üçüncü derece alt başlıklar ise italik olmalıdır. Başlıkların önüne numara veya harf konulmamalıdır. Yazılar (öz, metin, sponsor, katkı belirtme, kaynaklar, ekler ve şekiller dizini) A4 (29.7 cmX21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2.5 cm boşluk bırakılarak, 1,5 satır aralığında ve 12 puntuyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

Başlıklar şu şekilde olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

KATKI BELİRTME

ORCID

KAYNAKLAR

Başlık ve Yazarlar

Yazının başlığı, çalışmanın içeriğini anlaşılır şekilde yansıtmalıdır. Eğer yazı Türkçe hazırlanmışsa, Türkçe başlığı (koyu ve kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde) İngilizce başlık (italik ve kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kurallarına göre verilmelidir.

Makaledaki yazarlar, eğer henüz yoksa <http://orcid.org> web adresinden edinecekleri ORCID (ORCID, Open Researcher ve Contributor ID'nin kısaltmasıdır. ORCID, Uluslararası Standart Ad Tanımlayıcı (ISNI) olarak da bilinen ISO Standardı (ISO 27729) ile uyumlu 16 haneli bir numaralı URL'dir.) bilgilerini de makale ile birlikte sunmalıdır.

Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneklere uygun olarak verilmelidir.

Tolga ÇAN

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01250 Adana

e-posta: tolgacan@cu.edu.tr

ORCID Numarası: 0000-0001-9940-2832

ÖZ

Çalışma hakkında bilgi verici bir içerikle (çalışmanın amacı, elde edilen başlıca sonuçlar) ve 200 kelimeyi aşmayacak şekilde hazırlanmalıdır. Özde kaynaklara atıfta bulunulmamalıdır. Makalelerde hem Türkçe hem de İngilizce Öz bulunmalıdır. Türkçe yazılarda ilk önce Öz, daha sonra “Abstract” (İtalik), İngilizce yazılarda ise önce Abstract daha sonra Türkçe Öz (italik) olacak şekilde hazırlanmalıdır.

Anahtar Kelimeler

Öz ve Abstract’ın altında sırasıyla Türkçe ve İngilizce olarak en az 3-6 kelimeyi aşmayacak şekilde ve yazının konusunu yansıtan anahtar kelimeler verilmelidir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla, birinci anahtar kelimenin ilk harfi büyük, diğerleri ise küçük harflerle yazılmalı ve aralarına virgöl konmalıdır. Teknik Not türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

KATKI BELİRTME

Katkı belirtme, kısa olmalı ve teşekkür edilecek olanlar çalışmaya en önemli katkıyı sağlayan kişilerin ve/veya kuruluşların adlarıyla sınırlandırılmalıdır. Teşekkür edilecek kişilerin açık adları ünvanları belirtilmeksizin verilmeli, ayrıca bu kişilerin görevli oldukları kurum ve kuruluşların adları da eklenmelidir.

Hibe, proje fon desteği vb. teşekkürleri bu başlık altında ayrı bir paragraf olarak belirtilmelidir. Finansman sağlayan kuruluşların isimleri tam olarak yazılmalıdır.

Araştırma sırasında yardım sağlayan kişiler burada listelenmelidir (örneğin, İngilizce tercüme desteği sağlamak, yazım yardımı veya makalenin Türkçe ve İngilizce düzeltilmesini yapmak vb.).

DEĞİNİLECEK BELGELER

Metin İçinde Atıfların Yazılması

A. Yayında tek yazar varsa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Yazar1, Tarih) Ör: (Sönmez, 1996)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Yazar1 (Tarih) Ör: Sönmez (1996)

B. Yayında 2 yazar varsa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Yazar1 ve Yazar2, Tarih) Ör: (Merriman ve Frey, 1999)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Yazar1 ve Yazar2 (Tarih) Ör: Merriman ve Frey (1999)

C. Yayında 2’den fazla yazar varsa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Yazar1 vd., 1987) Ör: (Pettijohn vd., 1987)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Yazar1 vd. (1987) Ör: Pettijohn vd. (1987)

D. Arka arkaya birden fazla atıfta bulunulacaksa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Merriman ve Frey, 1999; Pettijohn vd., 1987; Sönmez, 1996)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Merriman ve Frey (1999), Pettijohn vd. (1987), Sönmez (1996)

. Aynı yazarların aynı yıl içinde birden fazla yayınına atıfta bulunulduysa

Bu durumda Kaynaklar bölümünde makalelerin tarihlerinden sonra a, b, c gibi harfler verilir, metin içindeki atıflarda da tarihlerden sonraki harfler kullanılır.

Kaynakçada:

Ahmetoğlu, A. ve Hüsnuoğlu, H. (2022a). Makale Adı 1. Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No(Sayı No), sayfa numaraları. Varsa DOI bilgisi

Ahmetoğlu, A. ve Hüsnuoğlu, H. (2022b). Makale Adı 2. Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No(Sayı No), sayfa numaraları. Varsa DOI bilgisi

Metin içindeki atıflarda:

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Ahmetoğlu ve Hüsnuoğlu, 2022a)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Ahmetoğlu ve Hüsnuoğlu (2022a)

Kaynaklar Bölümü

Aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır

- JMD’de Türkçe yayınlanacak makalelerde: Kaynak çok isimli bir çalışma ise: Son isimden önce “ve” gelmelidir eğer kaynak İngilizce ise “&” kullanılmalıdır.
- Editörün belirtilmesi gereken çalışmalarda: Tek isim ise (Ed.) çoklu editör ise: Son isimden sonra (Ed.ler) eğer kaynak İngilizce ise (Eds.) yazılmalıdır.

A. Süreli yayınlar:

A.1. Süreli yayınların gösterilmesi:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Makalenin başlığı. Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No(Sayı No), sayfa numaraları. Varsa DOI bilgisi

Hoek, E. & David, M. (1990). Estimating Mohr – Coulomb friction and cohesion values from Hoek – Brown failure criterion. International Journal of Rock Mechanics, 27(3), 220-229. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)94333-O](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)94333-O)

A.2. Özel durumlar:

A.2.1. Eğer makale serbest erişimli bir internet sayfasından alındıysa:

Ketin, İ. (1949). Son on yılda Türkiye'de vukua gelen büyük depremlerin tektonik ve mekanik neticeleri hakkında. Türkiye Jeoloji Bülteni, 2(1), 1-13. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/50279/650044>

A.2.2. Eğer makalenin makale numarası varsa:

Açlan, M., Oyan, V. & Köse, O. (2020). Petrogenesis and the evolution of Pliocene Timar basalts in the east of Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey: A consequence of the partial melting of a metasomatized spinel-rich lithospheric mantle source. Journal of African Earth Sciences, 168, Article 103844. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103844>

B. Bildiriler:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Bildirinin başlığı. Editör(ler), Sempozyum veya Kongrenin Adı, (bildirinin sayfa aralığı). Yayınevi. Varsa DOI bilgisi veya internet erişim bilgisi

Şanlıyüksel Yücel, D., İleri, B. (2019). Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. H. Sözbilir, Ç. Özkaymak, B. Uzel, Ö. Sümer, M. Softa, Ç. Tepe, S. Eski (Ed.ler), 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri ve Tam Metin Bildiriler Kitabı, (s.63-64). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893_ek.pdf

C. Kitaplar:

C.1. Kitapların gösterilmesi:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Kitabın Adı (ilk harfleri Büyük). Yayınevi. Varsa DOI bilgisi veya internet erişim bilgisi

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. (1987). Sand and Sandstones (2nd ed.). Springer-Verlag New York. <https://www.doi.org/10.1007/978-1-4612-1066-5>

Ketin, İ. (2016). Genel Jeoloji, Yerbilimlerine Giriş (9. Baskı). İTÜ Vakfı Yayınları.

C.2. Çeviri Kitapların Gösterilmesi:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Kitabın Çeviri Adı (Çevirenlerin adları). Yayınevi. (Orijinal yayın tarihi). Varsa DOI bilgisi veya internet erişim bilgisi

Komatina, M. M. (2011). Tıbbi Jeoloji: Jeolojik Ortamların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri (Çev: Y. Örgün ve D. Bayrak). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (Orijinal yayın tarihi: 2001).

D. Kitapta Bölüm ise:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Bölüm Adı. Editör(ler) Kitap adı (Bölümün sayfa aralığı). Yayınevi.

Merriman, R. J. & Frey, M. (1999). Patterns of very low-grade metamorphism in metapelitic rocks. In M. Frey & D. Robinson (Eds.), Low Grade Metamorphism, (pp. 61-107). Blackwell Sciences Ltd.

E. Raporlar ve Tezler:

E.1. Raporlar:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun başlığı (Varsa rapor no). Kurum adı (Yayımlanma durumu).

Kellogg, H. E. (1960). Stratigraphic report, Derik-Mardin area Petroleum District V, Southeast Turkey (Rapor no: 1367). TPAO (yayımlanmamış).

E.2. Tezler:

Yazar adı, (Tarih). Tezin başlığı [Yayımlanma durumu ve derecesi]. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı.

Sönmez, H. (1996). TKİ ELİ Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

F. Kişisel Görüşme:

Sözbilir, H., 2005. Personal communication. Geological Engineering Department of Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.

G. İnternette İndirilen Bilgiler:

Kurumun veya internet sayfasının adı, (Erişim tarihi). Web adresi.

KRDAE, (2020, 02 Ocak). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. Deprem Bilgileri, Büyük Depremler. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>

H. Kaynak olarak kullanılan haritalar:

Konak, N. ve Ercan, T., 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası Van Paftası, (Şenel, M., (Ed.)). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.

EŞİTLİKLER

Matematiksel sembolleri ve formülleri resim olarak değil, lütfen düzenlenebilir metin olarak gönderin. Denklemler için denklem düzenleyicisini veya MathType'ı kullanın. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir. Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir. Prensipler olarak, değişkenler italik olarak sunulmalıdır. “e” nin kuvvetleri “(exp)” ile gösterilmelidir. Eşitliklerde kullanılabilecek alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (Id, x2 gibi). Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir. Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis

olarak 0.5 kullanılmalıdır ($\sigma_{mass} = \sigma_{0.5}$ gibi). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine “/” simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde “*” işareti tercih edilmelidir ($y=5 * 10^{-3}$ gibi). Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} veya CO_3^{2-} gibi ifadeler yerine Ca^{+2} ve CO_3^{-2} kullanılmalıdır. Metinde eşitliklere “eşitlikler (1, 2, vb.)” şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Eşitlik verildikten sonra ilgili parametreler açıklanmalıdır.

ÇİZELGE VE ŞEKİLLER

Çizelge ve şekiller metin içerisinde yer almalıdır. Çalışmanın sonunda ayrıca verilmemelidir. Çizelge ve şekillerde genel şablonun dışında 10 punto Times New Roman yazı karakteri kullanılır. Paragraf sekmesinde girintiler bölümünde; önce ve sonra alanı 0, satır aralığı tek olmalıdır. Tablo ve şekiller sola dayalı olmalı ve metin kaydırma özelliği kapalı olmalıdır. Çizelge ve şekiller Dergi’nin tek (7.5 cm-genişlik) veya çift (16 cm-genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir.

Çizelgeler

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte, Dergi’nin sayfalarındaki baskı alanını (16 x 22cm) aşmayacak şekilde hazırlanmalı ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısımlarında hem Türkçe hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır. Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı, İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, “Çizelge 1” vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler içindeki karakterler 10 punto (duruma göre daha küçük) yazılmalıdır. Çizelgelerde dikey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi’nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Çizelgelerle ilgili varsa verilmesi gereken açıklamaları daha küçük karakterlerle çizelgenin altında belirtebilirsiniz.

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak “Şekil” başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Çizim, grafik ve fotoğraf formatlarında aşağıda önerilen kurallar dikkate alınmalıdır.

Kullanılan uygulama ne olursa olsun, elektronik fotoğraf/grafik sonlandırıldığında, ‘farklı kaydet’ seçeneğini kullanarak görüntüleri aşağıdaki biçimlerden birine dönüştürün (çizgi çizimler, yarı tonlar ve çizgi/yarı ton kombinasyonları için aşağıda verilen çözünürlük gereksinimlerine dikkat edin):

EPS (veya PDF): Vektör çizimleri. Yazı tipini yerleştirilmeli veya metin ‘grafik’ olarak kaydedilmeli.

TIFF (veya JPG): Renkli veya gri tonlamalı fotoğraflar (yarı tonlar) için en az 300 dpi kullanılmalı.

TIFF (veya JPG): Çizgi grafikler için en az 1000 dpi kullanılmalı.

TIFF (veya JPG): Çizgi grafikler /yarım ton (renkli veya gri tonlamalı) kombinasyonlarda minimum 500 dpi kullanılması gereklidir.

Şekil başlıkları; şekillerin altına yazılmalı ve çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 16 cm (genişlik) x 22 cm (uzunluk) olmalıdır. Özellikle haritalar, arazi ile ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) kullanılmamalı, metrik sisteme uygun çizgisel ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun koordinat sistemi (enlem/boylam veya izdüşüm koordinat sistemi) değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları (lejang); şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda örneğin; Şekil 1a, b’de, veya (Şekil 1c, d) a, b, c, d vb. şeklinde toplu olarak sunulan bir şekil, ayrı sayfalarda basılması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır.

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ

T.M.M.O.B. Jeoloji Mühendisleri Odası

Hatay Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Tel : (312) 432 30 85 / (312) 434 36 01

Faks : (312) 434 23 88

E-posta : jmd@jmo.org.tr

AIM & SCOPE

Journal of Geological Engineering has the following purposes;

- To more effectively reflect the place and importance of the geological engineering profession in daily life. The field of geological engineering studies the interactions between humans and the earth, then shares this knowledge and experience to provide humanity with safer and healthier living conditions that also consider the environment.
- To share national and international developments in the field with geological engineers.
- To provide an easily accessible and active discussion platform that strengthens and accelerates the sharing of knowledge and experience among scientists, researchers, engineers and other practitioners who are directly or indirectly involved in this field.
- To contribute to the design of resilient environments and solve problems in line with the International Sustainable Development Goals, which include the effective management of natural resources, and the consideration of humans and nature, as well as geological hazards when engineering structures and carrying out spatial planning.
- To contribute to the development of interdisciplinary research and interoperability principles.

The **Journal of Geological Engineering** covers national and international research in applied geological engineering domains such as engineering geology, geotechnics, water resources management and hydrogeology, environmental geology and waste management, geothermal energy, drilling techniques and applications, natural hazards, natural disasters and disaster management. The journal also accepts interdisciplinary work that uses geoscientific data from fields including civil engineering, mining, geophysics, petroleum engineering, environmental engineering, city and regional planning.

We are interested in papers on the following topics:

- Suitable site selection for engineering structures and land use planning
- Geotechnical site investigations, drilling studies, in-situ and laboratory tests
- Geophysical methods used in geotechnical studies
- Geomechanical properties of rocks and soils
- Slope stability assessments and monitoring techniques
- Spatial planning studies resistant to dynamic geological processes that adversely affect humans and nature
- Geographic Information Systems and Remote Sensing applications in the field of geological engineering
- Natural hazard and risk assessments (earthquakes, liquefaction, landslides, sinkholes, medical geology, floods and avalanches, etc.)
- Natural disasters and disaster management studies
- Environmental geology, waste management and site selection studies

- Management of surface and underground water resources, hydrogeological problems and practical solutions
- Geological resources management practices, problems, solutions and economic evaluations
- The research and development of geothermal, mineral and mineral resources and subsurface geological modeling
- Pollutants and their effects on the ecosystem
- Natural building materials and ground improvement works
- Engineering geology in the protection of historical structures and geological monuments
- Drilling applications in resource exploration and production processes, developments in drilling technologies
- Research, development and project studies in the field of geological engineering in building production and inspection processes
- Geological Engineering education and development

Theoretical and applied studies related to the above topics are also published in the Journal of Geological Engineering.

We only accept previously unpublished work. Four types of paper are published in the Journal of Geological Engineering:

1- Research Articles: Articles in which an original study is presented. The theoretical basis should include sections in which findings and conclusions based on sufficient quantitative and qualitative data are evaluated in detail. The total length of the manuscript should not exceed 9000 words (15 JMD pages). Articles will be subject to review by at least two experts in the field.

2- Reviews: Articles prepared upon the invitation of the Editor or with their knowledge, examining the techniques, methods and approaches still used in any field of Geological Engineering in light of today's technological developments and the writer's own experiences. The article should also make and develop suggestions in this regard. The length of the article may vary depending on the subject. There is no obligation of editorial review.

3- Technical Notes: A technical note article presents a technique, instrumentation, exploration method, or an assessment method that is truly new compared to earlier publications. An evaluation or measurement method should specify how it was validated. A technical note should be no longer than 4000 words (6 JMD pages). Articles will be subjected to review by at least two members of the editorial board.

4- Erratum: A notice to correct errors in a published article that were mistakenly created by the authors or editorial board during the final editing of the article. JMD may be warned of errors by the authors or readers of the published article. If the authors have alerted the editorial board, an erratum is published as soon as possible. If a reader has alerted the editorial board, the author will be contacted to see if a typo report is appropriate. Readers can contact the Editor. If a Letter to the Editor has been received and a spelling correction is required, the authors of the original article

are requested to respond and write a correction to the published Letter to the Editor.

Ethical Principles and Publication Policy

1. Ethical Principles and Publication Policy

Journal of Geological Engineering (JMD) publishers and users (Editor and technical editor, authors, reviewers, readers, etc.) comply with the ethical rules and responsibilities determined by the Committee on Publication Ethics - COPE, <https://publicationethics.org/>.

Journal of Geological Engineering is a peer-reviewed journal. It publishes online in print and electronic media and has an open access system. Journal issues are published twice a year in January and June. In the publication processes, sharing of the information produced freely and impartially taking in account the scientific methods. Blind refereeing system is applied in the manuscript evaluation process. All issues of JMD published since 1977 are archived both in printed and electronic versions by the publishing company, TMMOB Chamber of Geological Engineers (JMO), and electronic versions by TUBITAK ULAKBİM- DergiPark.

1.1 Ethical Principles

Ethical Duties and Responsibilities of Editors

The editors of the Journal of Geological Engineering, the ethical task prepared by the Committee on Publication Ethics (COPE) within the scope of the guidelines published under the headings of “Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors” has responsibilities.

Editors are responsible for following the processes for the development of the journal and improving the quality of published studies.

The manuscript submitted to JMD is first reviewed by the Editors for compliance with the journal’s purpose and scope. If the submitted manuscript does not comply with the purpose and scope of the journal, it is rejected within 15 days at the latest and the author is informed. The manuscripts found appropriate according to the journal’s aims and scope, is examined in terms of writing rules, language and expression and planning of the study before the reviewer’s evaluation. Manuscripts with deficiencies in these subjects are requested to be corrected by the author.

When the editors examine all the section contents of the manuscripts and find it appropriate, the manuscripts are evaluated by the reviewer. However, manuscripts that are not suitable for reviewer evaluation for any reason are rejected together with the editor’s evaluation report. The author is informed within 15 days at the latest.

In peer review, manuscripts are sent by the editor to at least three reviewers, from the journal’s reviewer pool and/or outside the pool, according to their content and areas of expertise. In the determination of the manuscript reviewers, attention is paid to the issues of conflict of interest.

In line with the opinions of the reviewers, if the corrected copy of the manuscripts requested to be corrected is not sent back to the

editor within 30 days by the authors without a valid reason, the editor has the right to reject the manuscript. After the re-editing, if necessary, the corrected manuscript is sent to the reviewers or directly accepted or rejected by the editor.

As a result of the evaluation, the opinions of the reviewers are reviewed by the editor within 15 days at the latest. As a result of the review, the editor gives his final decision on the manuscript and conveys it to the author. Rejected manuscripts are archived.

Editors are responsible to take precautions against possible abuse and misconduct. It is among the editor’s responsibilities to share the relevant findings, as well as to conduct a rigorous and objective investigation regarding the determination and evaluation of the complaints regarding this situation. In cases of suspected fraud or controversial authorship, necessary steps are followed by considering the COPE flowcharts (<https://publicationethics.org/resources/translated-resources/turkish-all-flowcharts>).

Editors; The author is obliged to carefully examine the complaints from the reviewers or readers and respond in an enlightening and explanatory manner.

The journal owner, publisher and no other political or commercial factors affect the editors’ independent decision making.

Editors; considers the conflicts of interest between the author(s), reviewers and other editors, and ensures that the publication process of the studies is completed independently and impartially.

Ethical Duties and Responsibilities of Reviewers

Reviewers in the Journal of Geological Engineering have ethical duties and responsibilities within the scope of the guidelines published under the title of “COPE-Ethical Guidelines for Peer Reviewers” by the Committee on Publication Ethics (COPE).

- Blind peer-review system is applied in order to ensure objective evaluation of all scientific publications at JMD. At the stage of assigning a reviewer to the manuscript, care is taken to ensure that there is no conflict of interest between the reviewer and the author(s). For this purpose, between the reviewer and the author(s), in particular;
 - o No thesis advisor/student relationship,
 - o No joint research or publication in the recent past (last 2 years) between the author(s) and the reviewer,
 - o Not working in the same institution,
 - o Not contributing to the manuscript submitted to the journal in terms of format or content,
 - o There are no disputes between the author(s) and the reviewer, which are submitted to the judiciary or ethical committees,
 - o There is no kinship relationship between the reviewer and the author(s),
 - o The reviewer has no prejudices about the author(s) that have been disclosed to the public,
 - o The absence of any commercial relationship between the reviewer and the author(s),

situations are considered. The reviewers warn the editor and give the necessary information in case of the above-mentioned situations that are overlooked by the journal editor.

Moreover;

- Reviewers only evaluate manuscripts that fall within their area of expertise.
- Reviewers are obliged to make their evaluations impartially, objectively and confidentially.
- Nationality, gender, religious belief, political opinion, commercial concerns, etc. they should not lose their impartiality for any reason.
- They should make their opinions and suggestions within academic etiquette, in a constructive and academic language, and avoid a style that will create personal polemics.
- They should not delay their evaluation in such a way as to prolong the publication process for no reason. The time given to the reviewers for the review processes is 30 days. The authors must complete the correction suggestions from the reviewers or the editor within 30 days. Reviewers can review their corrections for the manuscript and decide whether it is appropriate or request more than one correction if necessary.

Ethical Duties and Responsibilities of Authors

The publication processes implemented at JMD are the basis for the development and distribution of information in an impartial and respectful manner. The processes implemented in this direction are directly reflected in the quality of the authors' work and the institutions that support the authors. Peer-reviewed studies are studies that embody and support the scientific method. At this point, it is important that all stakeholders of the process (authors, readers and researchers, publisher, reviewers and editors) comply with the Principles of the Publication Ethics Committee-COPE.

The author(s) who will send a manuscript to JMD for evaluation must first become a member of DergiPark . Corresponding authors should submit their work (original article, review, etc.) to JMD through the DergiPark system.

The author responsible for the manuscript must upload the signed "Copyright Transfer Form" and "Ethics Notification Form" to the DergiPark system, in addition to the similarity report, by using the " iThenticate Plagiarism Detection Software" or " Turnitin " or an equivalent plagiarism program to submit a new manuscript to the journal. The similarity index rate of the submitted manuscript should be below 20%, excluding the reference list.

Authors cannot have their work in the application process of more than one journal at the same time. Each application can be started following the completion of the previous application. Work published in another journal cannot be submitted to JMD.

The corresponding author must ensure that this submitted manuscript has not been published in a similar form elsewhere and that the manuscript is original and will not be sent elsewhere for publication.

The works submitted by the author(s) are expected to be original. If the author(s) benefit from or use other works, they are required to cite and/or cite completely and accurately.

Raw data regarding their manuscripts can be requested from the author(s) within the framework of the evaluation processes; In such a case, the author(s) should be ready to present the expected data and information to the editorial board.

The author(s) must have a document showing that they have the right to use the data used and the necessary permissions for the research/analysis.

Each author is considered to have an equal ethical responsibility, as each of the authors must have made a significant scientific contribution to the manuscript. In the event that the author(s) notices an error or error in their published, pre-published or evaluation phase, they have an obligation to cooperate with the editor in informing, correcting or withdrawing the journal editor or publisher.

Author(s) who want to withdraw their manuscript under evaluation should forward the petition with a wet signature containing the subject to the editorial board via the journal's e-mail address jmd@jmo.org.tr. The Editorial Board reviews the withdrawal petition and responds within 15 days. The author(s) of a manuscript whose petition is not approved by the Editorial Board cannot send their manuscript to another journal.

All studies submitted for publication should be disclosed, if any, and their relationships that may constitute a conflict of interest.

Changing the author responsibilities of a work whose evaluation process has begun (such as adding an author, changing the order of authors, or removing an author) cannot be proposed.

In the evaluation process, the authors are obliged to respond to the opinions, suggestions and criticisms of the editors and reviewers. The authors are obliged to answer the questions asked by considering the opinions of the reviewers, to evaluate the opinions and suggestions, to respond positively or negatively to the criticisms and to report their evidence to the editor in a detailed letter. Academic style should be used in this counter letter, and personal discussions should be avoided.

1. 2 Publication Policy

JMO and/or JMD obtain written consent from the authors for the copyright of the manuscripts to be published. The related author is the author/owner of the manuscript submitted to the journal and transfers the copyright to JMO and/or JMD on behalf of himself and other author(s). It is obligatory to fill in the Copyright Transfer Form and upload it to the journal system during the submission of the manuscript.

All authors of the submitted manuscript must sign and transfer all rights and copyrights of the manuscript to JMO and/or JMD. JMO and/or JMD have the right to use all or part of the relevant manuscript in their future works such as lectures/lecture notes, reports and textbooks/printed books without any payment and the right to obtain a copy of the relevant manuscript for their own

use. JMO and/or JMD; reserves all its rights other than copyright, such as patent rights, for commercial purposes.

All personal information in the JMD system is used for scientific purposes and is not shared with third parties.

Editor, Technical Editor and Editorial Board members are not responsible for the opinions of the authors and the content of the manuscript. Authors are responsible for ethical originality and possible errors in their manuscripts. Authors are responsible for all errors that may occur before the last reading (revision reading) and during page editing. Errors that occur after the last reading are the responsibility of the journal authorities.

Author Guidelines

Both Turkish and English manuscripts are accepted by the Journal of Geological Engineering. According to the language chosen in the article; following the title, abstract, figure, and table captions, the equivalents in other languages should also be written. Editors provide the necessary assistance in translating the Title, Abstract, Figure, and Table captions into Turkish for the manuscripts prepared in English by the foreign author(s) (in case they cannot get the relevant Turkish language assistance before their submission). Authors whose native language is not English are strongly advised to seek support from a native English speaker in terms of grammar and style of the manuscript before submission.

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture, or an academic thesis) and that it is not under consideration for publication elsewhere.

Please click to **download** the MS Office Word template prepared according to the journal's manuscript writing format. Please check the relevant section in this Author's Guidelines for more details.

Manuscripts sent to the journal for publication should be prepared by considering the Ethical Principles and Publication Policy.

DergiPark online submission system for the Journal of Geological Engineering guides you stepwise through the process of entering your article details, and uploading your manuscript file together with Ethics Statement and Copyright Transfer forms. For this, you must first sign in to the DergiPark system.

Please submit your manuscript via <https://dergipark.org.tr/en/journal/1669/submission/step/manuscript/new>

Manuscripts should generally be structured as follows:

- (a) Title (English and Turkish)
- (b) Author Name(s) SURNAME(S) (bold), their affiliations (italic and lowercase), and the name and e-mail address of the corresponding author.
- (c) Abstract (English and Turkish)
- (d) Keywords (English and Turkish)

- (e) Introduction (aim, content, and methodology)
- (f) Main text (methods, material studied, descriptions, analyses, etc.)
- (g) Results and Discussion or Conclusions and Recommendations
- (i) Acknowledgements (if necessary)
- (j) References

The various levels of headings used in the manuscript should be clearly differentiated. All headings should be left-aligned. Major headings should be in bold capitals. Secondary headings should be considered sub-headings. Primary- and secondary subheadings should be given in lower-case and tertiary headings in italics. Headings should not be preceded by numerals or letters. Manuscripts (abstract, main text, acknowledgments, references, appendices and figure captions) should be typed on A4 page size (29.7 cm x 21 cm) with wide margins (at least 2.5 cm) and 1.5 line-spaced throughout, at a font size of 12 points (Times New Roman) and with all pages numbered.

Examples of headings:

ABSTRACT

INTRODUCTION

PRIMARY HEADING

Primary Sub-Heading

Secondary sub-heading

Tertiary sub-heading

CONCLUSIONS & DISCUSSION

ACKNOWLEDGEMENTS

REFERENCES

Title and Authors

The title of the manuscript should be concise and informative. If the paper is written in Turkish, the Turkish title (in boldface type and the first letter of the words capitalized) should be followed by the English title (italic and first letter of the words capitalized). If the paper is in English, the English title should appear before the Turkish title in the style mentioned above.

ORCID stands for Open Researcher and Contributor ID. ORCID is a 16-digit numbered URL that complies with the ISO Standard (ISO 27729), also known as the International Standard Name Identifier (ISNI). Please create free registration for individual ORCID at <http://orcid.org> ORCID information is requested from the authors during submission.

The information related to the authors should be given as follow:

Tolga ÇAN

Çukurova University, Engineering Faculty, Geological Engineering Department, 01250 Adana Türkiye

e-mail: tolgacan@cu.edu.tr

ORCID Number: 0000-0001-9940-2832

ABSTRACT

The abstract not exceeding 300 words should be informative (the aim of the study and main conclusive remarks). It should not contain references. The Abstract should be given in both Turkish and English. If the paper is written in Turkish, an English abstract (in italics) should follow the Turkish abstract, while a Turkish abstract (in italics) should appear after the English abstract in papers written in English.

Keywords

The abstract should include a minimum of 3, and not more than 6 keywords that reflect the entries the authors would like to see in an index. Keywords should be given in both Turkish and English. Keywords should be written in lower-case letters, separated by commas, and given in alphabetical order. No need to give keywords for Technical Note-type articles.

ACKNOWLEDGEMENTS

Acknowledgments should be brief and confined to persons and organizations that have made significant contributions. Please use full names without titles and indicate the name(s) of the organization(s) of the person(s) acknowledged.

Acknowledgments of grants, funds, etc. should be placed as a separate paragraph under this heading. The names of funding organizations should be written in full.

List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proofreading the article, etc.).

CITATIONS and REFERENCES

Citation in the text

A. If the article has one author

Parenthetical citations: (Author, Year) e.g.: (Sönmez, 1996)

Narrative citations: Author (Year) e.g.: Sönmez (1996)

B. If the article has two authors

Parenthetical citations: (Author1 & Author2, Year) e.g.: (Merriman & Frey, 1999)

Narrative citations: Author1 and Author2 (Year) e.g.: Merriman and Frey (1999)

C. If the article has more than two authors

Parenthetical citations: (Author1 et al., Year) e.g.: (Pettijohn et al., 1987)

Narrative citations: Author1 et al. (Year) e.g.: Pettijohn et al., (1987)

D. Citing Multiple Works

Parenthetical citations: (Merriman & Frey, 1999; Pettijohn et al., 1987; Sönmez, 1996)

Narrative citations: Merriman and Frey (1999), Pettijohn et al. (1987), Sönmez (1996)

E. If more than one publication of the same authors published in the same year is cited

In this case, letters such as a, b, and c are given after the years of the articles in the References section. In the same way, these letters are used in the citations in the text.

In References:

Ahmetoğlu, A. & Hüsnuoğlu, H. (2022a). Article 1. Full Name of Journal, Vol. (No), pages. DOI number (if available)

Ahmetoğlu, A. & Hüsnuoğlu, H. (2022b). Article 2. Full Name of Journal, Vol. (No), pages. DOI number (if available)

Citations in the text:

Parenthetical citations: (Ahmetoğlu & Hüsnuoğlu, 2022a)

Narrative citations: Ahmetoğlu & Hüsnuoğlu (2022a)

References

All references cited in the text, and in captions of figures and tables should be presented in a list of references under the heading of "REFERENCES" following the text of the manuscript.

A. Journals

A.1. Citing the periodicals:

Author(s), (Date). Title of paper. Full Name of Journal, Vol. (No), pages. DOI number (if available)

Hoek, E. & David, M. (1990). Estimating Mohr–Coulomb friction and cohesion values from Hoek – Brown failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics*, 27(3), 220-229. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)94333-O](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)94333-O)

A.2. Special cases:

A.2.1. If the article was taken from an open (free) access website:

Ketin, İ. (1949). Son on yılda Türkiye'de vukua gelen büyük depremlerin tektonik ve mekanik neticeleri hakkında. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 2(1), 1-13. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/50279/650044>

A.2.2. If the article has an article number:

Açlan, M., Oyan, V. & Köse, O. (2020). Petrogenesis and the evolution of Pliocene Timar basalts in the east of Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey: A consequence of the partial melting of a metasomatized spinel-rich lithospheric mantle source. *Journal of African Earth Sciences*, 168, Article 103844. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103844>.

B. Proceedings and Abstracts:

Author(s), (Date). Title of paper. Name of Editor(s), Title of Symposium or Congress, (pages). Name of Publisher. DOI number & internet address (If available).

Şanlıyüksel Yücel, D., İleri, B. (2019). Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. In H. Sözbilir, Ç. Özkaymak, B. Uzel, Ö. Sümer, M. Softa, Ç. Tepe, S. Eski (Eds.), 72nd Geological Congress of Turkey The Proceedings and Abstracts Book, (s.63-64). Chamber of Geological Engineers of Turkey Publications No: 140. https://www.jmo.org.tr/resimler/dokler/174e0f6fa731893_ek.pdf

C. Books:

C.1. Citing of books:

Author(s), (Date). Name of the Book. Name of the Publisher. DOI number & internet address (if available).

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. (1987). Sand and Sandstones (2nd ed.). Springer-Verlag New York. <https://www.doi.org/10.1007/978-1-4612-1066-5>

Ketin, İ. (2016). Genel Jeoloji, Yerbilimlerine Giriş (9. Baskı). İTÜ Vakfı Yayınları.

C.2. Citing of translated books:

Author(s), (Date). Name of the Translated Book. Name of the Publisher. (Original publishing date). DOI number & internet address (If available).

Komatina, M. M. (2011). Tıbbi Jeoloji: Jeolojik Ortamların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri (Translator: Y. Örgün ve D. Bayrak). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (Original publication date: 2001).

D. Chapter in a book:

Author(s), (Date). Chapter Name. Name of Editors, Name of Book (Page numbers of the chapter). Name of Publisher.

Merriman, R. J. & Frey, M. (1999). Patterns of very low-grade metamorphism in metapelitic rocks. In M. Frey & D. Robinson (Eds.), Low-Grade Metamorphism, (pp. 61-107). Blackwell Sciences Ltd.

E. Reports and Thesis:

E.1. Reports:

Author(s), (Date). Title of report (If any report no). Name of the Organization or Institution, (published or unpublished).

Kellogg, H. E. (1960). Stratigraphic report, Derik-Mardin area Petroleum District V, Southeast Turkey (Rapor no: 1367). TPAO (unpublished).

E.2. Thesis:

Author, (Date). Title of Thesis [published or unpublished & Ph.D. or MSc Thesis]. Name of the Institution or University.

Sönmez, H. (1996). TKİ ELİ Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi [Unpublished Msc Thesis]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

F. Personal Communications:

Sözbilir, H., 2005. Personal communication. Geological Engineering Department of Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.

G. Information Downloaded from the Internet

Name of the Organization, (Date). The web address, and date of access to the website.

KRDAE, (2020, 02, January). Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center, <http://www.gov.tr>.

Turkish references can also be given directly in Turkish. For such references please use Turkish characters.

Equations

Please submit mathematical symbols and formulae as editable text and not as images. Use the equation editor or MathType for equations. Equation numbers should appear in parentheses at the right-hand side of the equations and be numbered consecutively. For Greek or other non-Roman letters, identify the symbol in words in the left-hand margin just below the equation the first time it is used. In addition, the meaning of symbols used in equations should be given below the equations. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of “e” should be denoted by “(exp)”. Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller characters (e.g. I_d , x_2). Instead of a square-root symbol, indices of 0.5 should be used (i.e., $\sigma_{cmass} = \sigma_{c0.5}$). For the multiplication sign do not use any symbol, however, if necessary, the symbol “*” can be preferred (i.e., $y = 5 \times 10^{-3}$). Please use “/” for division instead of a horizontal line between the numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as Ca^{2+} and CO_3^{2-} instead of Ca^{++} and CO_3^{--} . In the text, equations should be referred to as equations (1, 2, etc.).

TABLE and FIGURES

Tables and figures should be embedded in the text, with their captions. For tables and figures, use Times New Roman, font size 10. Under the Paragraph tab, ensure that the indentation is as follows; before and after 0 nk and spacing single. Tables and figures should be left aligned, and the text wrapping feature should be turned off. Tables and figures should be arranged to fit in a single (7.5 cm-width) or double (16 cm-width) column of the Journal.

Tables

Tables with their captions should not exceed the printed area of the page (16 x 22 cm) and be numbered consecutively. Both Turkish and English captions should appear at the top of a table (do not print table captions on a separate sheet). If the manuscript is written in Turkish, the English title in italics should follow the Turkish title. For manuscripts in English, a Turkish title should

appear below the English title in italics. They should begin with “Table 1.” etc. Tables should be referred to as Table 1 or Tables 1 and 2 (if more than one table is referred to). Tables can be written in a font size smaller than that of the text (9 or 10 points). Tables should be arranged to fit a single column (7.5 cm wide) or a double column (16 cm wide). No vertical rules should be used. Horizontal rules should only be used at the top and bottom of the tables, and to separate headings and numbers listed in the tables (Please check the previous issues of the Journal). Tables should not duplicate results presented elsewhere in the manuscript (e.g. in graphs). Place any table notes below the table body.

Figures

All figures such as drawings, graphics, and photographs should be given in high-quality printed form under the title of “Figure” and numbered in the order in which they are mentioned in the text. The rules suggested below should be taken into account in drawing, graphic and photographic formats.

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please ‘save as’ or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as ‘graphics’.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi. TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Figure captions should be written under the figures, and figure captions should be prepared in both Turkish and English, similar to the format stated above for tables. The largest size for figures should be 16 cm (width) x 22 cm (length), including the figure title. In particular, maps, drawings, and photographs related to the area should not be used with a numerical scale (1:25000, etc.), and should be given in a linear scale suitable for the metric system. A north arrow should be shown on maps. Regional maps may include National Grid or latitude/longitude numbers where appropriate. Map legend should be given on the figure, not in the figure caption. Photographs, line drawings, or combinations may be grouped as figure parts (a), (b), etc. It is preferred that these are mounted.



İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

137- Araştırma Makalesi / Research Article

Ülkü Burcu ZENGİN, Koray ULAMIŞ

Üç Boyutlu Kaya Düşmesi Analizlerinde Blok Geometrisi Etkisinin İncelenmesi (Gölbaşı, Ankara)

Investigation of the Effect of Block Geometry in Three-Dimensional Rockfall Analyses (Gölbaşı, Ankara)

157- Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan SAYIN, Yahya ÖZTÜRK

Akyayla Dağı'nın Heyelan Morfolojisi ve Heyelan Duyarlılığının CBS Tabanlı Frekans Oranı (FO) Yöntemi ile Analizi (Doğubayazıt / Ağrı)

Landslide Morphology and Susceptibility Analysis of Mount Akyayla Using GIS-Based Frequency Ratio Method (Doğubayazıt / Ağrı)

189- Araştırma Makalesi / Research Article

Ümit YILDIRIM, Cüneyt GÜLER, Mehmet Ali KURT, Onur GÜVEN

Göksu Nehri ve Tarsus Çayı (Mersin) Arasında Yer Alan Akarsu Havzalarının Morfometrik Özellikleri

Morphometric Characteristics of River Basins Between Göksu River and Tarsus Stream (Mersin)

211- Araştırma Makalesi / Research Article

Saad W. SAADI, Nihad Saoud ALJUBOORI, Mohammed Zainel QADER

Elaf Mohammed SHAKIR, Ahmed Ibrahim AL-NAEMI, Lizan Ahmed SALEH

Evaluation of the Safe Mud Weight Window: Wellbore Stability Analysis, Rumaila Oilfield, Southern Iraq

Güvenli Çamur Ağırlık Penceresinin Değerlendirilmesi: Bir Kuyu Stabilité Analizi, Rumaila Petrol Sahası, Güney Irak

235- Araştırma Makalesi / Research Article

Ogün Ozan VAROL

Ahlat Taşı ve Tarihi Yapılardaki Yeri: Kültürel Miras Açısından Bir Değerlendirme

Ahlat Stone and Its Use in Historical Structures: An Assessment From the Perspective of Cultural Heritage