

# Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 48

Sayı - Number 1

Haziran / June 2024

## İçindekiler / Contents

### Makaleler / Articles

- 1- Research Article / *Araştırma Makalesi*  
**Özgür SATICI**  
**Limitations in Tunnel Portal Design: An Evaluation Using Numerical Models and Line Surveys**  
*Tünel Portal Tasarımında Kısıtlar: Sayısal Model ve Hat Etütleri Kullanarak Bir Değerlendirme*
- 19- *Araştırma Makalesi / Research Article*  
**Mehmet DOĞRULUK, Nurgül YEŞİLOĞLU-GÜLTEKİN**  
**Bir Kaya Düşme Alanında LiDAR Sensörlü Akıllı Telefon Kullanarak Tekil Kaya Blok Hacimlerinin Belirlenmesi**  
*The Determination of Individual Rock Block Volumes Using a Smartphone with LiDAR Sensor for a Rockfall Area*
- 43- *Araştırma Makalesi / Research Article*  
**Kamil KAYABALI, Emre PINARCI, Farhad HABIBZADEH, Muhammet BEYHAN, Aylin FİDAN ÜZGÜN, Mehmet YAKUT**  
**Süreksizliklerde İkinci Derece Düzensizlik Açılarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi**  
*A Comparative Assessment of the Second Degree Asperity Angles of Discontinuities*
- 59- *Araştırma Makalesi / Research Article*  
**Mehmet YÜKSEL**  
**Deprem Araştırmalarında Optik Uyarmalı Lüminesans Tarihlendirme: Kuvars Minerallerinde SAR Protokolü Uygulamaları**  
*Optically Stimulated Luminescence Dating in Earthquake Research: Applications of the SAR Protocol in Quartz Minerals*
- 77- *Araştırma Makalesi / Research Article*  
**Candan GÖKÇEOĞLU**  
**Türkiye Cumhuriyeti'nin 100. Yılında Türkiye Adresli Yayınların Dünya Heyelan Literatürüne Katkısı**  
*Turkish Contributions to the World Landslide Literature on the 100th Anniversary of the Republic of Türkiye*





Research Article / Araştırma Makalesi

## Limitations in Tunnel Portal Design: An Evaluation Using Numerical Models and Line Surveys

### Tünel Portal Tasarımında Kısıtlar: Sayısal Model ve Hat Etütleri Kullanarak Bir Değerlendirme

Özgür SATICI 

Karayolları Genel Müdürlüğü, İç Denetim Birimi Başkanı, Ankara, Türkiye

Received (Geliş): 02 Kasım (November) 2023 / Revised (Düzeltilme): 13 Aralık (December) 2023/ Accepted (Kabul): 9 Nisan (April) 2024

#### ABSTRACT

In this study, the engineering geology and the geotechnical design studies of the Aslankaya Tunnel Project are explained. Owing to the low overburden thickness, the tunnel in question, which is located near a slope face, will be exposed to asymmetrical loading after commencement of excavation. The asymmetrical loadings will especially affect the right tube, in the direction of increasing kilometer markings. Furthermore, the thickness between the right tube's right wall and the slope face in this section has decreased down to 6 m. Moreover, as the tunnel is passing under a 1st degree protected archeological area. Some of the site investigation studies, such as geotechnical drilling and site laboratory works, could not be performed. The excavation support system of the tunnel was determined using empirical studies and numerical models with the help of line surveys, local sampling, and internationally accepted rock mass classification studies (RMR, Q, GSI). These studies were performed on rock mass outcrops. Rock mass engineering properties were determined through the utilization of empirical equations that incorporate data derived from site investigation studies and laboratory test results as input. By using geotechnical properties obtained from line surveys and engineering geology studies, a numerical model was generated. The numerical model results corroborated the asymmetrical loading predictions obtained from line surveys and engineering geology studies. The main aim of this study is to emphasize the importance of interpretation of the geological units and their post excavation behaviors on the excavation stability.

**Keywords:** Line surveys, Numerical modeling, Rock mass classifications, Slope tunnel design

#### ÖZ

Bu çalışmada Aslankaya tünel projesine ait mühendislik jeolojisi ve jeoteknik tasarım çalışmalarını anlatılmaktadır. Düşük örtü kalınlığı nedeni ile şev yüzeyine yakın olan yamaç tüneli, özellikle kazı işlemine başladıktan sonra asimetrik yüklemeye maruz kalacaktır. Asimetrik yükleme, proje artış kilometresi yönünde özellikle sağ tüpte etkili olacaktır. Ayrıca, bu bölgedeki sağ tüp sağ duvarı ile yamaç yüzeyi arasındaki et kalınlığı 6 m seviyesine kadar düşmektedir. Ayrıca, tünelin 1. derece arkeolojik koruma alanı altından geçiyor olması nedeniyle, tünel ekseninde yapılması gerekli olan bazı saha araştırma çalışmaları, örneğin jeoteknik sondaj çalışmaları ve ilgili saha deneyleri yapılamamıştır. Tünelin kazı destek sistemi; hat etütleri, yerinden örnek alma ve uluslararası kabul görmüş

*kaya sınıflama sistemleri kullanılarak (RMR, Q, GSI) ampirik çalışmalar ve nümerik modellemeler aracılığı ile belirlenmiştir. Bu çalışmalar için sahada yüzlek veren kaya kütlesi kesimleri kullanılmıştır. Saha çalışmalarından ve laboratuvar testlerinden elde edilen sonuçlar girdi olarak kullanılarak ampirik eşitlikler yardımı ile kaya kütlesi mühendislik parametreleri hesaplanmıştır. Hat etütleri ve mühendislik jeolojisi çalışmalarından elde edilen veriler ile nümerik modeller oluşturulmuştur. Nümerik modellerden elde edilen sonuçlar, mühendislik jeolojisi aşamasında asimetrik yükleme koşulları için yapılan tahminleri doğrulamıştır. Bu çalışmanın esas amacı da jeolojik birimlerin ve onların kazı sonrası davranışlarının doğru yorumlanmasının tünel kazı stabilitesi üzerindeki önemini göstermektir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Hat etütleri, Sayısal modelleme, Kaya kütle sınıflamaları, Yamaç tünel dizaynı*

## Introduction

Due to high traffic load and the inadequacy of the existing roads, it was decided to construct a double-tube highway tunnel at the Zonguldak-Kilimli road city crossing. Not only would this make travel more comfortable, but total travel time would be reduced and gasoline consumption of the vehicles would decrease. The tunnel is located on the west Black Sea coastline in the Northern part of Türkiye (Figure 1). The tunnel dimensions are 340 m in length, 10 m in width and 8 m in height.

The tunnel is located on an incline and, as the tunnel progresses, the wall thickness on the right side of the right tube is not thick enough. In other words, there is not enough overburden thickness for construction stability. In other words, there will be asymmetrical loads when the construction starts that will threaten the tunnel's stability. During the mapping stage, it was noticed that the wall thickness decreased to 6 m between the right wall of the tube and the outer face of the slope. In this case, the arch effect will not occur and this will threaten both short-term and long-term tunnel stability. Since the tunnel road is located in a 1<sup>st</sup> degree protected archaeological site, the necessary site investigation studies could not be carried out. Site investigation studies have been done using line surveys and in-situ sampling on the right side of the route where there are outcrops.

Internationally accepted rock mass classification methodologies have been used. Using the results of all these studies and laboratory test results, an attempt has been made to estimate the rock mass strength parameters. Numerical models were created for the right tube entrance portal which may be affected by asymmetrical loads. There are several studies in literature about solutions for similar problems. (Kun and Onargan 2013, Xiao et. al. 2014, Das et al. 2017, Zhang et. al. 2017, Hu et al. 2021, Zhou et. al. 2022, Guo et al. 2023). Kun and Onargan (2013) studied the Metro tunnel in İzmir, which is located in a faulty area with low overburden thickness. Geological and geotechnical conditions were modeled with finite element software. Tunnel stability was ensured by using rock bolts, steel wire mesh and shotcrete, as well as an umbrella arch with lattice girders. Xiao et. al. (2014) studied the cracking mechanism of shallow and asymmetrically-loaded tunnels in loose deposits. Similar to this study, the left tube of the tunnel portal is under asymmetrical loading conditions and low overburden thickness. After the application of the final lining, cracks were observed on the concrete lining surface which is the result of surface settlement. The problem was modeled using a numerical method. After the completion of the excavation and lining, asymmetrical loads which threaten tunnel stability were prevented using a retaining wall.





Figure 1: Location of the tunnel

*Şekil 1: Tünelin Türkiye haritasındaki lokasyonu*

Surface subsidence in asymmetrically parallel highway tunnels located in the Himalayan terrain was studied by Das et al. (2017). In this study the tunnel tubes are asymmetric both in terms of diameter (12 m and 8.5 m) and overburden depths (26 m and 36 m). This study shows the difference in surface settlement and deformations for the larger in diameter and deeper tunnel tube even though the same supporting pattern is applied for both tubes. A cracking mechanism of an asymmetrically-loaded entrance portal to a highway tunnel was studied by Hu et al. (2021). In this case study, cracks developed on the lining at the entrance section after the excavation was completed. A three-dimensional finite element model was used to understand the failure mechanism. Ground reinforcements and reverse loading were suggested to prevent such failures in future studies.

### Geology of the Tunnel Axis

Early Cretaceous age Kilimli Formations are outcropped on the route of Aslankaya Tunnel and its close surroundings. The Kilimli Formation which is located with conformity on top of the İnalti Formation, is formed from sandstone, siltstone, claystone, clayed limestone and marls. Grey, dark grey, and yellowish beige are the distinctive colors of the formation. The bedding thickness ranges from thin to thick. The Kilimli formation was surveyed by dividing it into three sub-members; yellow-colored quartz sandstones were named Velibey, glauconitic sandstones and clayed limestones were named Sapca, and the marled levels were named Tasmaca. Among these groups, Sapca is outcropped on the Aslankaya tunnel route. Sandstone, claystone, and siltstone intercalation is observed in the Sapca. There are partly sandy and clayey limestone levels observed in the Sapca. The sandstone grains are composed of quartz, glauconite, metamorphic rock segments and magmatic rock grains. A photo taken from the entrance portal of the tunnel is provided below in Figure 2.

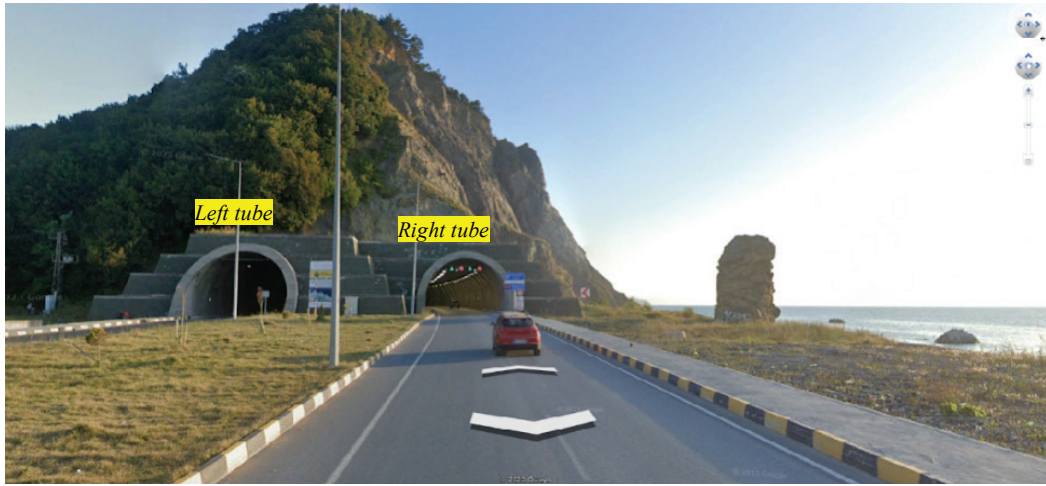


Figure 2: Photo of the tunnel entrance portal

Şekil 2: Tünel giriş portalinin fotoğrafı

### Engineering geology and geotechnical parameters

Sandstones of Kilimli formation are mostly grey colored, fair to thick and linearly bedded, the discontinuity spacings are 15 – 50 cm, the apertures are less than 5 mm, cracks are mostly clear, partly calcite plastered, rough to slightly rough, moderately to highly weathered, observationally moderately strong medium strength and moderately hard (Bieniawski 1989). Beddings are the main discontinuity sets. Other joint sets are also observed that cut this bedding vertically and diagonally. Free sandstone blocks can be seen in both tunnel portal sections. Due to the tunnel route being located in a 1st degree archaeological protection site, geotechnical drillings were not carried out. However, as the rock outcrops are clearly observed on the right slope side of the tunnel route (Figure 3), some of the necessary geotechnical measurements and line surveys were taken from these sections. The geological plan and engineering geology map are provided in Figure 4.

In order to obtain the strength parameters of the geological units of the tunnel route, block

samples were taken from both tunnel portal sections and the necessary laboratory tests were carried out. The laboratory test results are provided in Table 1.

### Structural geology

The rocks located on the tunnel route are highly jointed and fractured. Joints, folds and faults are formed due to north-south directional compressional forces and lamed through the northeast-southwest direction. Dominated joint sets are determined in the northeast-southwest direction. The less distinct joint sets are located in a roughly perpendicular direction to the main joint sets. Discontinuity fillings are hard and intact. In the massive rocks joint set spacings are fairly large. However, discontinuities in the claystone and shale formations are in the form of irregular fractures and discontinuity spacings are frequent. Fillings are mostly closed, smooth to rough, sometimes containing calcite infillings. The thickness of the beddings in the tunnel can vary from laminate up to very thick. The bedding spacings are closed. Although the bedding directions and slopes are variable due to local

folding and faults, they are mostly distinct in the NE-SW directions, with dip angles  $30^\circ$  or steeper (KGM, 2015).



Figure 3: A descriptive geological section of the Kilimli Formation's Sapca Member from the entrance portal

Şekil 3: Giriş portal Kilimli formasyonu Sapca Üyesinin jeolojik yapısını tanımlayıcı fotoğrafı

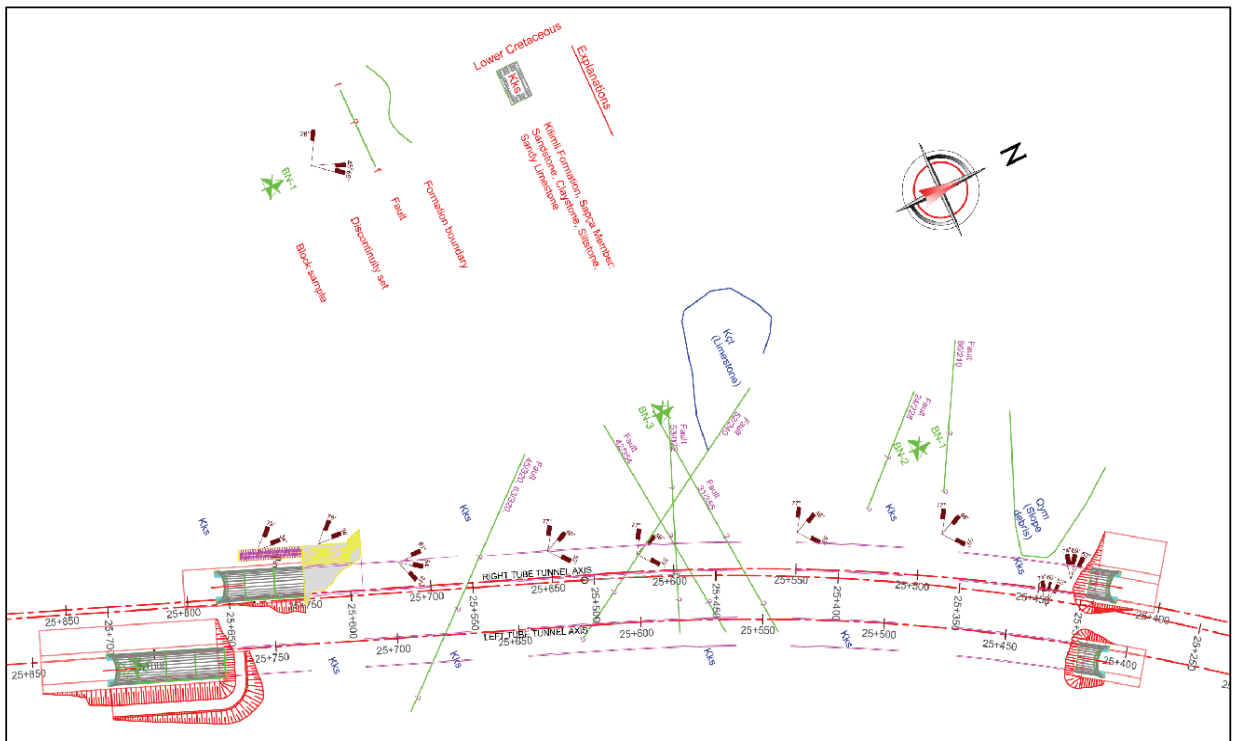


Figure 4: Geological map and plan of the tunnel axis

Şekil 4: Tünel eksenine ait plan ve jeolojik harita

Table 1. Laboratory test results of block samples taken from tunnel route

Tablo 1. Tünel güzergahından alınan blok numunelere ilişkin laboratuvar sonuçları

Sample No	$W_n$ (%)	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$E_i$ (MPa)	$\nu$	UCS (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)
BS-1	0,22	24,82	9826.00	0,257	38,19	1,22
BS-2	0,14	24,01	7423.00	0,250	30,15	1,27
BS-3	0,17	25,75	10585,67	0,263	41,67	1,47
BS-4	0,20	24,26	5833.00	0,253	23,51	1,19

$W_n$ : Natural water content,  $\gamma_n$ : Natural unit volume weight,  $\nu$ : Poisson ratio,  $I_s$ : Point load indice, UCS: Uniaxial compressive strength,  $E_i$ : Intact rock modulus of elasticity

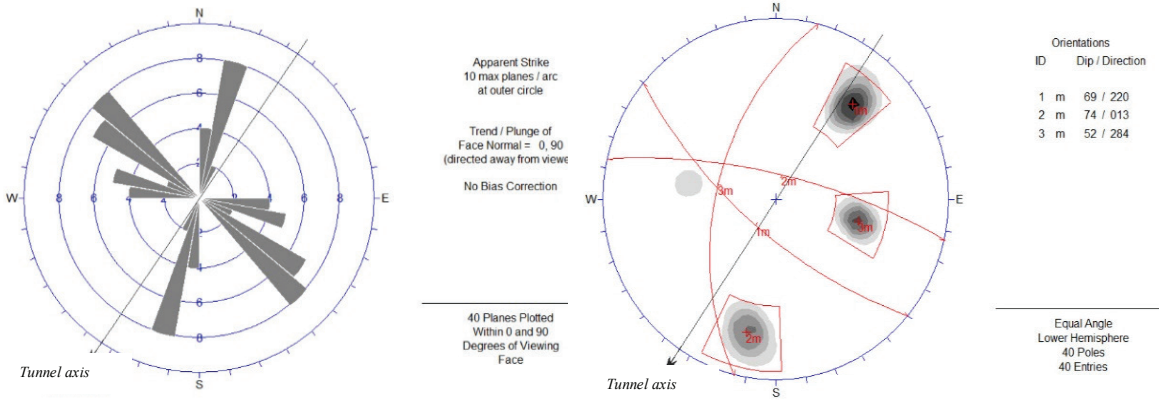


Figure 5. Contour planes and rose diagrams of the main discontinuity sets in the tunnel entrance portal

Şekil 5. Tünel giriş portalı ana süreksizlik setlerine ilişkin kontur ve gül diyagramları

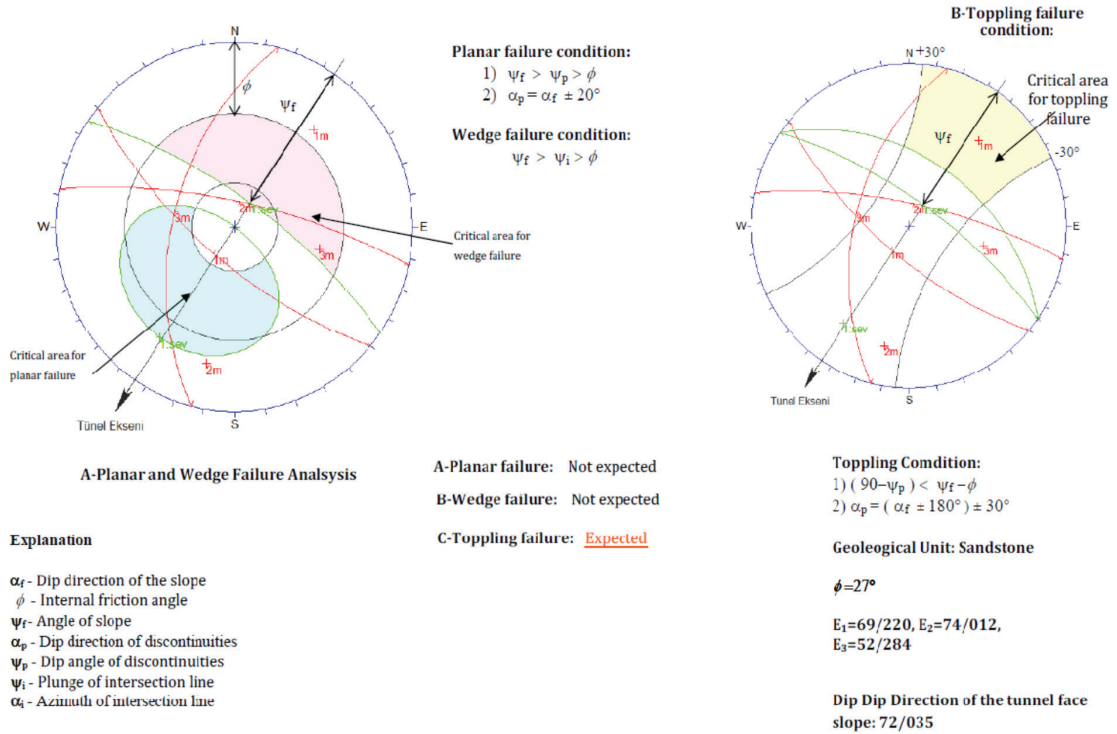
### Kinematical evaluations

The Dip and dip directions of the joint set were measured on the field for a kinematical analysis of the tunnel entrance portal section. According to measurements, dominating joint sets were specified by using contour and rose diagrams. A commercial software, Dips, was used for this aim. The density of the measured joints indicated that there are 3 main joint sets and some other random joints. Based on the measurements taken, dip/dip direction of the main bedding planes are 69°/220° and 74°/013° and dip/dip direction of the main joint sets are

52°/284°. The rose diagram and contour planes were given below in Figure 5.

According to the kinematical evaluations (Figure 6), a planar type failure stability problem is not expected entrance portal area. Wedge and toppling type failures were detected in the kinematical analysis (Figure 6). However, all wedges detected by the kinematical analysis have greater safety values and are stable (Figure 6 and 7). Toppling type failure was detected for only one discontinuity plane and it was excavated and removed from its housing once the excavation started.





Angle of tunnel entrance face slope 1Horizontal/3Vertical: 72°

Figure 6. Tunnel entrance right tube (Km 25+427 – 25+434) kinematical analysis

Şekil 6. Tünel giriş sağ tüp (Km 25+427 – 25+434) kinematik analizler

### Geotechnical Evaluation of Tunnel Portal

The classifications and geotechnical parameters of the rock mass at the tunnel entrance were determined according to line surveys, rock surface analysis, laboratory tests applied to block samples, discontinuity measurements and engineering geology studies. RMR, Q, GSI scores and the geotechnical parameters of the entrance portal are given below. The estimation parameters for the RMR evaluation are provided in detail (Table 2).

Besides the rock mass parameters, a rock mass deformation modulus is also necessary for the numerical analysis. Accordingly, the estimation methodology is outlined briefly below. To obtain more accurate results, the deformation modulus was determined by using various approaches.



Figure 7. Tunnel entrance right tube (Km 25+427 – 25+434) probable wedge failures and their factor of safety values  
Şekil 7. Tünel giriş sağ tüp (Km 25+427 – 25+434) olası kama tipi kaymalar ve bunlara ait güvenlik sayısı değerleri

- Nicholson&Bieniawski (1990)

$$\frac{E_m}{E_i} = \frac{1}{100} \left( 0,0028RMR^2 + 0,9e^{\left(\frac{RMR}{22,82}\right)} \right) \quad [1]$$

For RMR=49 and  $E_i=9826$  MPa;

$$\frac{E_{rm}}{9826} = \frac{1}{100} \left( 0,0028 \times 49^2 + 0,9e^{\left(\frac{49}{22,82}\right)} \right)$$

$$E_{rm} = 1418 \text{ MPa}$$

- Hoek&Diederich (2005)

$$E_m = E_i \left( 0,02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{[(60 + 15D - GSI)/11]}} \right) \quad [2]$$

For GSI=47,  $E_i=9826$  MPa and disturbance factor  $D=0,5$ ;

$$E_m = 9826 \left( 0,02 + \frac{1 - \frac{0,5}{2}}{1 + e^{[(60 + 15 \times 0,5 - 47)/11]}} \right)$$

$$E_{rm} = 1186 \text{ MPa}$$

As the Q estimation uses the parameters based on the RMR chart, details of the Q value estimation (Barton 2002) are not provided here for the sake of brevity ( $Q = RQD/J_n * J_r/J_a * J_w/SRF$ ;  $J_n=12$ ,  $J_r=3$ ,  $J_a=1$ ,  $J_w=1$ ,  $SRF=5$ ).

Table 2: Tunnel entrance portal right tube (Km 25+427 – 25+434) RMR analysis

Tablo 2: Tünel girişi sağ tüp (Km 25+427 – 25+434) RMR analizi

1	Strength of intact rock material Uniaxial compressive strength	Point load strength index	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this low range- uniaxial compressive test is preferred		
		>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa	
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD		%90-%100	%75-%90	%50-%75	%25-%50	<%25		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2m	0,6-2m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Discontinuity length		<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
	Rating		6	4	2	1	0		
	Separation (Aperture)		Yok	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm		
	Rating		6	5	4	1	0		
	Roughness		Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided		
	Rating		6	5	3	1	0		
	Infilling <5mm		None >5mm	Hard filling		Soft filling			
				<5mm	>5mm				
	Rating		6	4	2	2	0		
	Weathering		Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed		
Rating		6	5	3	1	0			
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	Yok	<10 l/m	10-25 l/m	25-125 l/m	>125 l/m		
		(Joint water press)/(Major principal $\sigma$ )	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		

GSI value and Hoek & Brown failure criterion were also provided in Figure 8.

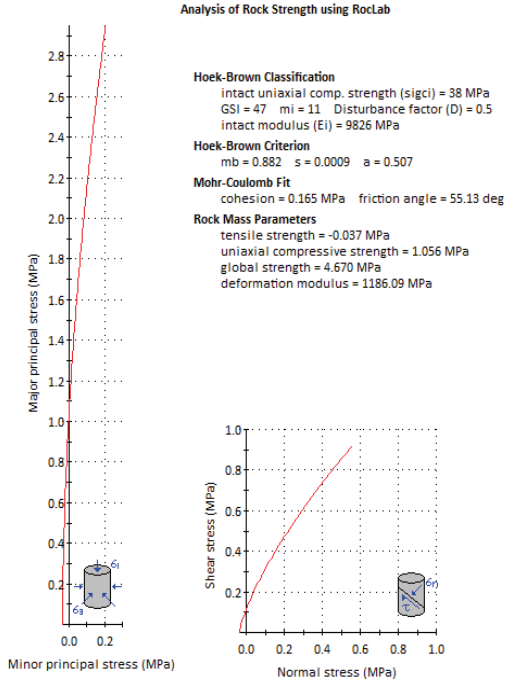


Figure 8. Tunnel entrance right tube (Km 25+427 – 25+434) GSI value ve Hoek&Brown rock mass failure criterion

Şekil 8. Tünel giriş sağ tüp (Km 25+427 – 25+434) GSI değeri ve kaya kütleli için Hoek&Brown yenilme kriteri

All of the obtained rock mass geotechnical parameters and results are shown in Table 3.

### Support Design According to Rock Mass Classification

The tunnel excavation was designed in accordance with the sequential excavation method. Accordingly, the NATM philosophy was chosen as an excavation methodology. The tunnel entrance portal support system was designed in accordance with the universal rock

mass classification systems by using Table 3 and site investigation studies. Support design suggestions of rock mass classification systems and NATM were listed in Table 4.

Table 3. Geotechnical parameters of entrance portal section

Tablo 3. Tünel giriş portal jeoteknik parametreleri

Parameters	Score
UCS, Uniaxial Compressive Strength (MPa)	38
Basic RMR score (Bieniewski, 1989)	49
Adjusted RMR score	37
Q, Tunnel Quality Index (Barton, 2002)	1,25
GSI, Geological Strength Index score (Sönmez et.al., 2002)	47
GSI <sub>r</sub> Residual Geological Strength Index score (Cai vd., 2007)	25,03
$m_i$ (Hoek-Brown rock constant)	11
$m_b$ (Hoek-Brown rock constant)	0,882
$s$ (Hoek-Brown rock constant)	0,0009
$a$ (Hoek-Brown rock constant)	0,507
D, Disturbance factor	0,5
$E_i$ , Modulus of Elasticity (MPa)	9826
$\gamma$ , Unit Volume Weight (kN/m <sup>3</sup> )	25
H, Overburden thickness (m)	15
$C_{m^2}$ , Cohesion (kPa) RMR (Bieniewski, 1989)	100-200 165*
$C_{m^2}$ , Cohesion (kPa) (Hoek vd., 1997)	
$\phi_{m^2}$ , Internal Friction Angle (°) (Bieniewski, 1989)	15-25 55,13*
$\phi_{m^2}$ , Internal Friction Angle (°) (Hoek vd., 1997)	
$E_{m^2}$ , Deformation Modulus (MPa) (Nicholson vd., 1990)	1418 1186*
$E_{m^2}$ , Deformation Modulus (MPa) (Hoek vd., 2005)	



Table 4. Support suggestions of rock classification system and NATM for tunnel entrance portal excavation  
 Tablo 4. Tünel giriş portal kazısına ilişkin kaya sınıflama sistemelerinin ve NATM nin destek sistemi önerileri

Excavation support classes according to rock mass classifications

- **RMR Support and Excavation Suggestion, Class IV (App.I):** Excavation should be top heading and bench, max advance length should be between 1.0 – 1.5 m in the top heading, all supports should be completed 10 m before the excavation face, 4.0 – 5.0 m in length systematic rock bolts should be applied at 1.0 – 1.5 m intervals, together with welded wire mesh, on the top heading at a thickness of 100 – 150 mm; and on the side walls at a thickness of 100 mm shotcrete should be applied; steel ribs, when necessary, should be applied in 1.5 m intervals (Bieniawski, 1989).
- **Q Support and Excavation Suggestion, Class 23A for the roof (App.II);** tensioned systematic rock bolts at 1.0 – 1.5 m intervals; with cement-injection and welded wire mesh with 10 – 15 cm thick shotcrete
- **Q Support and Excavation Suggestion, Class 23B for the walls;** systematical rock bolts at 1.0 – 1.5 m intervals; with cement-injection, 10 – 15 cm thick shotcrete (Barton et. al., 1974 and Barton, 2002).
- **NATM Support and Excavation Suggestion, Class B2;** Very brittle rock mass, water inflow has minor effect on the strength of weathered and disintegrated rock mass, excavation divided into sections depending on the excavation cross-section, excavation advance length depending on the unsupported stand-up time and distance. Advance length should not be more than 1.5 – 2.0 m in the top heading excavation and 3.0 – 3.5 m in the bench. Excavation can be done by using soft blasting. Systematic support is necessary on the roof and the walls. Forepoling should be used, when necessary, on the roof (KTŞ, 2013).

As seen in Table 4, NATM provides subjective information about the support system and does not contain detailed specific data about the supporting system (Cording and Deere, 1972). Therefore, a support design based solely on NATM would be incomplete, if not inaccurate. Therefore, numerical models supported with rock mass classifications can overcome this shortcoming if appropriate geotechnical inputs are obtained and accurate geological models are created to use in the models (Carter, 1992).

### Numerical Excavation Model of The Tunnel Entrance Portal

As explained in the previous section, in addition to the support and excavation suggestions of rock mass classification systems, stress distributions

that vary depending on the excavation medium, the overburden thickness and tectonic factors should also be considered in support design. To achieve this goal, finite element numerical analyses were employed to assess support design and deformations that follow the excavation. For this aim, a 15-stage model was generated. As each of the tunnel tubes are going to be excavated using conventional methods, i.e. mechanically, top heading excavation was completed in three steps in the model. When it comes to bench excavation, it was conducted in two steps to simulate real excavation and supporting conditions in the field. 5 cm shotcrete and wire mesh were applied in the numerical models to observe controlled deformations of the top heading excavation. Although discontinuities such as joints and bedding planes were observed and measured

during line surveys and field investigations, most of the discontinuity sets were closed and unfilled, and their continuity was not observed in the host rock; therefore, they were not integrated into the numerical models. Instead, material conditions were incorporated into the numerical model by selecting the “Generalized Hoek-Brown Criterion” as the failure criterion in the model. In this approach, instead of specifying a specific rock mass strength value, rock mass strength values were adjusted based on depth, excavation conditions, and stress distributions. In this way, the Kilimli Formation’s Sapca member, which is the main geological unit of the tunnel route consisting of sandstone, claystone, and siltstone intercalation, could be modeled as a whole (Hoek and Brown 1997, Sönmez and Ulusay 2002). The cross-section of the entrance portal and the created model structure with the input rock mass parameters are depicted in Figure 9.

There are various approaches to determine in-situ stress in literature e.g., Jamison and

Cook (1979), Hoek and Brown (1980), Sheorey (1994), Amadei and Stephansson (1997), Hudson and Harrison (1997), Reinecker et al. (2004). However, it has been suggested to use these relationships with caution (Zhang 2017). Most of these approaches determine “k” value, the average horizontal stress to vertical stress ratio, in general, to be greater than 1. This approach is accurate when the surface topography is horizontal. However, if the lateral boundaries are limited, such as homogeneous rock mass with a complex topography consisting of hills and no surface loads, the rock mass is under gravity alone with no lateral displacements (Zhang 2017). The case explained in this study is very close to the surface and lateral loads are limited. Therefore tunnel excavation will mainly be under gravity loading. For this reason, a numerical model is employed to determine the “k” value by using actual topography. The “actual ground surface condition - gravity” option was used in numerical modelling.

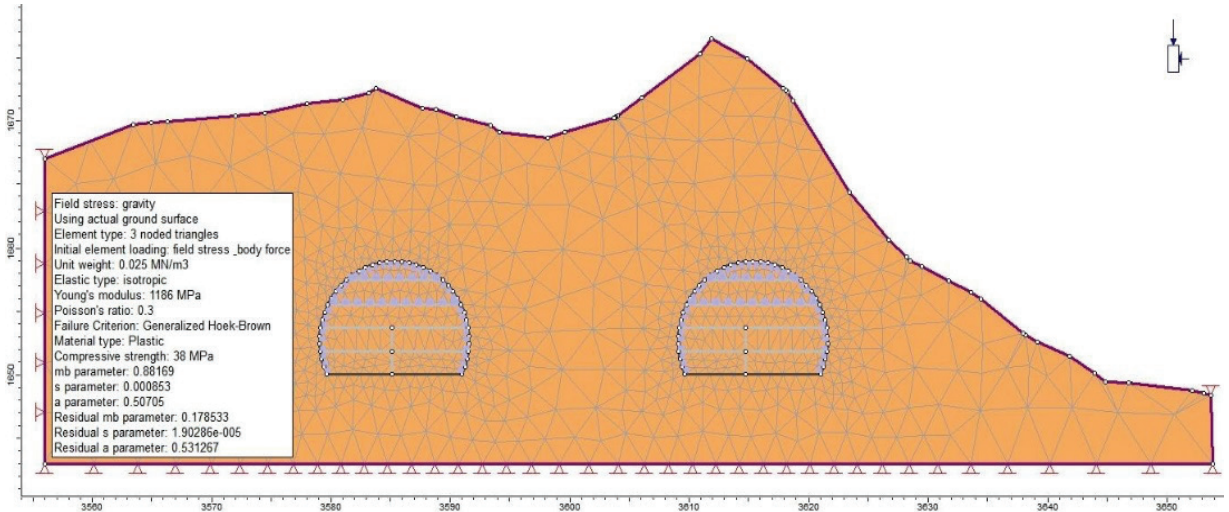


Figure 9. Model cross-section, mesh structure and input parameters

Şekil 9. Model kesiti, ağ yapısı ve girdi parametreleri

Pre-excavation stress trajectories, total stresses, and stress distributions found through numerical analysis were presented in Figure 10. As depicted in Figure 10, the topographical conditions (in the form of asymmetrical loading conditions) and geological structure are expected to result in asymmetrical stress distributions around the excavation area upon commencement of excavation, potentially exerting adverse effects on tunnel stability.

In the 15-stage excavation model, the excavation of the left tube's top-heading was completed in three steps. Following this, a 5 cm shotcrete layer was applied for preliminary support to prevent rock falls and facilitate controlled deformations and stress relief. Subsequently, top-heading of the right tube was excavated in a similar manner. Bench excavations were carried out in two steps and a 5 cm shotcrete layer was applied in the numerical model in accordance with the field application.

The evolution of horizontal and vertical stress distributions after excavation and the

corresponding shear and tensile-strain state are shown in Figures 11 and 12. As is evident in the results obtained, the vertical stresses after excavation are approximately 3.50 times higher than the horizontal stresses. After this stage, to ensure tunnel stability, the selection of support type, pattern, and structure should be carried out to mitigate horizontal and vertical stresses based on critical cross-sections. However, details and application of rock bolt and other supporting elements were not given here. This is because the aim of this study as to emphasize the importance of geological structure and the behavior of geological units after the excavation.

As observed in the following figures, in this example, the highest stresses have predominantly developed in a nearly vertical direction, sloping towards the slope. During the design of the support system, not only the pressures that the selected supports can withstand but also the directions in which these pressures would act were taken into account.

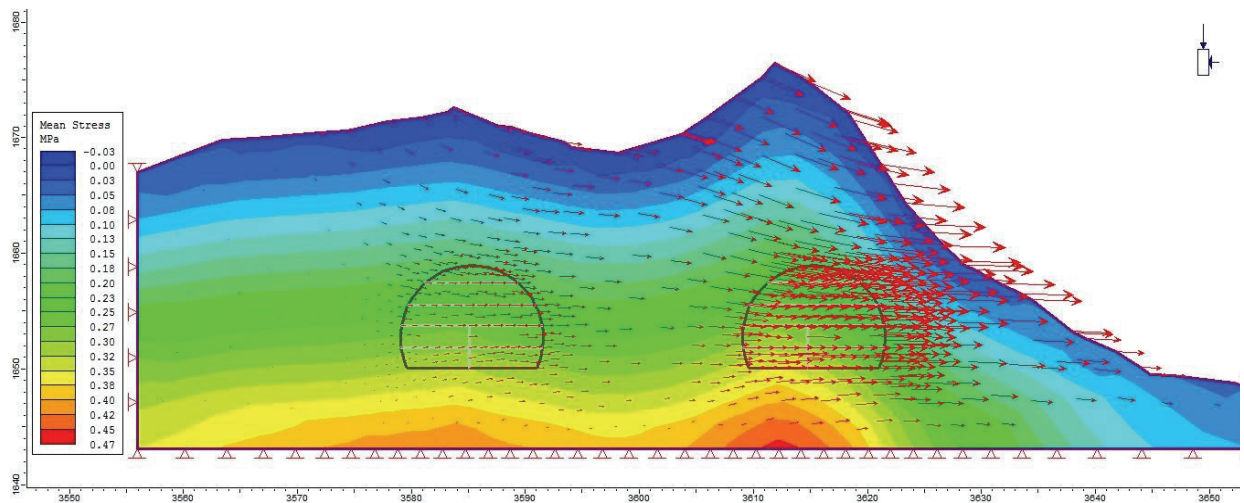


Figure 10. Total stress distributions during the pre-excavation stage.

Şekil 10. Kazı öncesi aşamada toplam gerilme dağılımları

Satici

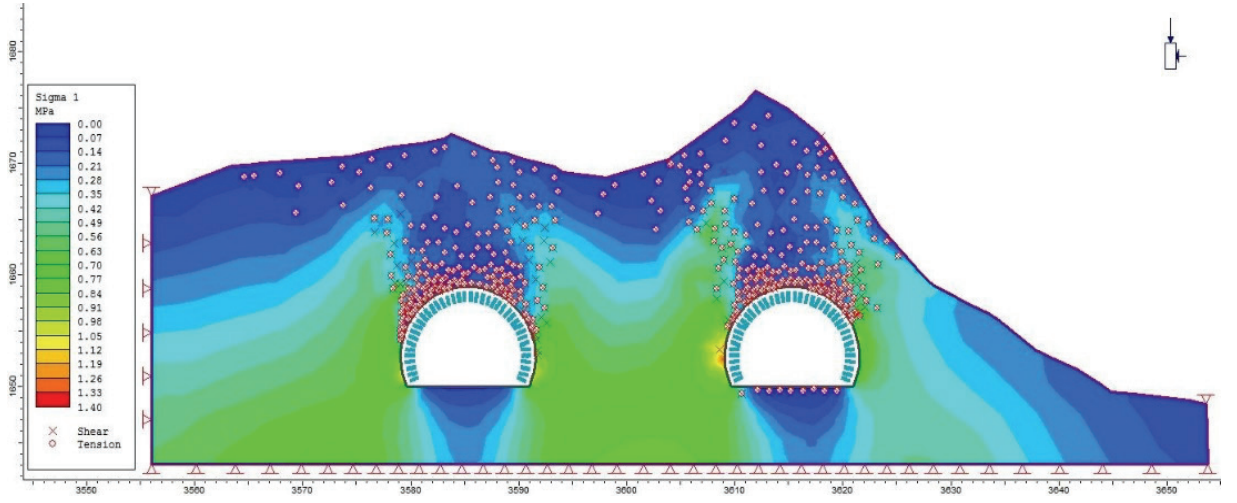


Figure 11. Vertical stress distributions after the excavation

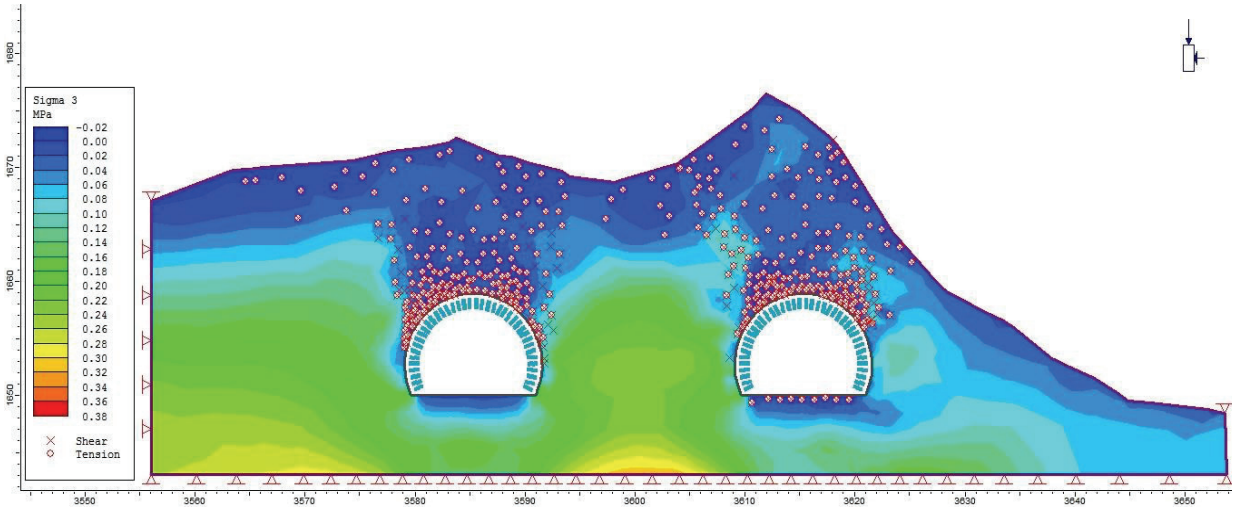
*Şekil 11. Kazı sonrası aşamada düşey gerilme dağılımları*

Figure 12. Horizontal stress distributions after the excavation

*Şekil 12. Kazı sonrası aşamada yatay gerilme dağılımları*

## 5. Discussion

Obtained modeling results show that there will be asymmetrical loads on the tunnel's right side walls after the excavation. So, the support suggestions or post failure behavior predictions

may give misleading results if they are only based on empirical rock mass classifications. These suggestions mostly give a good starting point for the designer but should be verified once excavation commences. Numerical models



are also useful and practical tools for this aim. However, designs that depend only on numerical models will also give misleading results. It should be noted that, despite the fact that most rock mass evaluation systems have not undergone significant revisions, excavation and supporting technologies have evolved. Accordingly, while high-capacity excavation machinery and blasting technology enable larger-scale excavation at once, they also may induce greater deformation in the host rock. Hence, deformations occurring in the host rock after blasting or machinery excavation should be incorporated into numerical models. As a result, supporting types and strategy need to be revised both in the rock mass evaluation systems and numerical modelling strategy in accordance with the developed excavation technology. Tunnel excavation and support design should have to consider field studies, geological models, stratigraphical relations of the rock masses, historical tectonism of the area and engineering geology model and laboratory studies. Numerical models considering both this data and engineering input will give more accurate results. The results of the numerical models will directly depend on what the designer puts into the models. Additionally it must be noted that because of the limitations that obstruct geotechnical field studies, there will always be some assumptions made. In conclusion, tunnel designs and field studies should be carried out with an experienced geological – geotechnical engineer. In this way, accurate numerical models that reflect real conditions in the field can be produced.

## 6. Conclusion

The aim of this study is to show how empirical predictions regarding tunnel excavation support may give misleading results if they are not supported with geological field evaluations and engineering geology studies. This is because empirical supporting strategies such as RMR, Q or NATM do not take into account post excavation stress distributions, depth and topographical conditions. As a result, once the geological and engineering geology model has been generated, the selection of support type and choices should be undertaken in collaboration with experienced civil, mining or geological engineers or competent engineers with postgraduate education in these fields. Finally, excavation and support designs, as well as the application project, derived from numerical models, must be monitored in the field. This monitoring is necessary not only to ensure that the construction team is working in accordance with the outputs of the numerical model design, but also to verify the accuracy of the geological model estimation. In this manner, excavation safety can be established, and a more accurate and economical project can be executed.

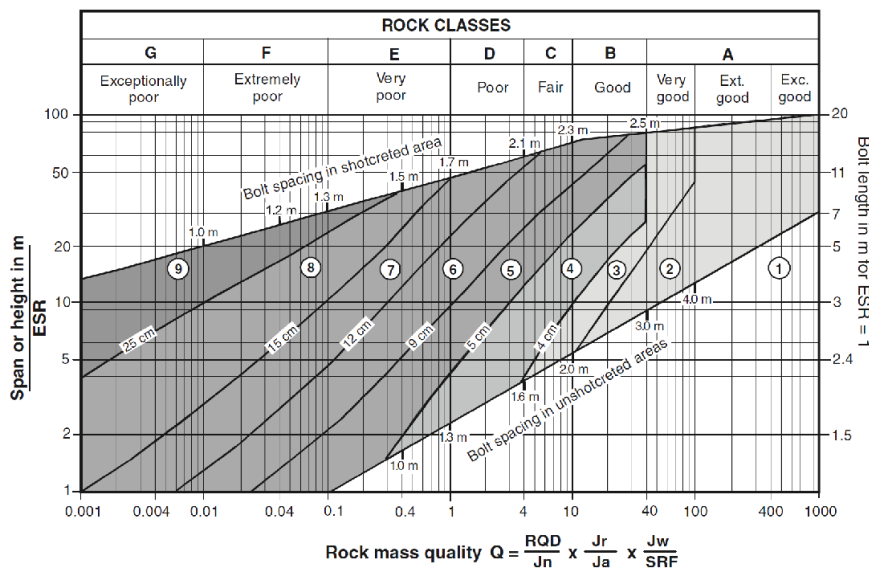
## Acknowledgements

The author thanks all workers of the General Directorate of Turkish Highways for their great devoted efforts.

Appendices

Rock mass class	Excavation	Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted)	Shotcrete	Steel sets
<b>I - Very good rock</b> RMR: 81-100	Full face, 3 m advance.	Generally no support required except spot bolting.		
<b>II - Good rock</b> RMR: 61-80	Full face , 1-1.5 m advance. Complete support 20 m from face.	Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wire mesh.	50 mm in crown where required.	None.
<b>III - Fair rock</b> RMR: 41-60	Top heading and bench 1.5-3 m advance in top heading. Commence support after each blast. Complete support 10 m from face.	Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5 - 2 m in crown and walls with wire mesh in crown.	50-100 mm in crown and 30 mm in sides.	None.
<b>IV - Poor rock</b> RMR: 21-40	Top heading and bench 1.0-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation, 10 m from face.	Systematic bolts 4-5 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh.	100-150 mm in crown and 100 mm in sides.	Light to medium ribs spaced 1.5 m where required.
<b>V - Very poor rock</b> RMR: < 20	Multiple drifts 0.5-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting.	Systematic bolts 5-6 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert.	150-200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face.	Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required. Close invert.

Appendix I: Guidelines for excavation and support of 10 m span rock tunnels in accordance with the RMR system (After Bieniawski 1989).



REINFORCEMENT CATEGORIES:

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Unsupported</li> <li>2) Spot bolting</li> <li>3) Systematic bolting</li> <li>4) Systematic bolting, (and unreinforced shotcrete, 4 - 10 cm)</li> <li>5) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5 - 9 cm</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>6) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 9 - 12 cm</li> <li>7) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 12 - 15 cm</li> <li>8) Fibre reinforced shotcrete, &gt; 15 cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting</li> <li>9) Cast concrete lining</li> </ul> |
|---|---|

Appendix II: Estimated support categories based on the tunnelling quality index Q (After Grimstad and Barton, 1993, reproduced from Palmstrom and Broch, 2006).

## REFERENCES

- Amadei, B. and Stephansson O., (1997), *Rock Stress and Its Measurement*, Chapman & Hall, London, UK, DOI:10.1007/978-94-011-5346-1
- Barton, N. Lien, R. Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, *Rock Mechanics*, 6, 189-239 <https://doi.org/10.1007/BF01239496>
- Barton, N. (2002), Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v.39, pp.185–216 [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00011-4](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00011-4)
- Bieniawski, Z.T. (1989), *Engineering rock mass classification*, John Wiley Sons, New York
- Cai, M. Kaiser, P.K. Tasaka, Y. Minamic, M. (2007). Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2007;44:247–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2006.07.005>
- Carter, TG. (1992). Prediction and uncertainties in geological engineering and rock mass characterization assessments. *Proceedings of 4th. international rock mechanics and rock engineering conference.*, Torino. Paper 1.
- Cording, E.J. and Deere D.U. (1972). Rock tunnel supports and field measurements. *Proc. North American rapid excav. tunneling conf.*, Chicago, (eds. K.S. Lane and L.A. Garfield) 1, 601-622. New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mineral Metall Petroleum Engineers
- Das, R., Singh, P.K., Kainthola, A., Panthee, S., Singh, T.N., (2017). Numerical analysis of surface subsidence in asymmetric parallel highway tunnels, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 9, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.11.009>
- Guo, S., Wang, B., Zhang, P., Wang, S., Guo, S., Hou, X., (2017). Influence analysis and relationship evolution between construction parameters and ground settlements induced by shield tunneling under soil-rock mixed-face conditions, *Tunnelling and Underground Space Technology* 134, 105020, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105020>
- Grimstad, E. and Barton, N. (1993). Updating the Q-System for NMT. *Proc. int. symp. on sprayed concrete - modern use of wet mix sprayed concrete for underground support*, Fagernes. 46-Oslo: Norwegian Concrete Association
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1980). *Underground Excavations in Rock*. London Institution of Mining and Metallurgy, London, 527 p.
- Hoek, E. Brown, E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v.34(8), pp1165–1186 [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(97\)80069-X](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(97)80069-X)
- Hoek, E. Diederichs M.S. (2005). Empirical Estimation of Rock Mass Modulus, *International Journal Of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v.43
- Hu, Z., Shen, J., Wang, Y., Guo, T., Liu, Z., Gao, X., Cracking characteristics and mechanism of entrance section in asymmetrically-load tunnel with bedded rock mass: A case study of a highway tunnel in southwest China, [doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105221](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105221)
- Hudson, J. A. and Harrison, J. P. (1997). *Engineering rock Mechanics: An introduction to the principles*. Published by Elsevier Science Ltd. 444pp.
- Jamison, D.B., and Cook, N.G.W., (1979). An analysis of the measured values for the state of stress in the earth's crust, In *Fundamental of Rock Mechanics*, 3<sup>rd</sup> Edition, Chapman and Hall, London
- KGM, ARGE Dai. Bşk. (2013). Zonguldak Amasra Kurucasıle Yolu Kilimli Geçışı Aslankayası Jeolojik-Jeoteknik ve Tüneli Kesin Proje Raporları KTŞ. (2013). Karayolu Teknik Şartnamesi, Bölüm 350
- Kun, M., Onargan, T., (2013). Influence of the fault zone in shallow tunneling: A case study of Izmir Metro Tunnel, *Tunnelling and Underground Space Technology* 33 (2013) 34–45, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.06.016>

- Nicholson, G.A. Bieniawski, Z.T. (1990). A nonlinear deformation modulus based on rock mass classification, *International Journal of Mining and Geological Engineering*, v. 8, issue 3, pp 181- 202, <https://doi.org/10.1007/BF01554041>
- Palmstrom, A. and Broch, E. (2006). Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. *Tunnels and Underground Space Technology*, 21, 575-593, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.10.005>
- Reinecker, J., Heidbach, O., Tingay, M., Connolly, P., and Müller, B. (2004). Release 2004 of the World Stress Map, Heidelberg Acad, of Sci. and Hum., Karlsruhe Univ., Karlsruhe, Germany (Available at [www.world-stress-map.org](http://www.world-stress-map.org)).
- Sönmez, H. Ulusay, R. (2002). A discussion on the Hoek–Brown failure criterion and suggested modification to the criterion verified by slope stability case studies, *Yerbilimleri Dergisi*, v.26, p.77-79
- Sheorey, P.R., (1994). A theory for In Situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Volume 31, Issue 1, February 1994, Pages 23-34, [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(94\)92312-4](https://doi.org/10.1016/0148-9062(94)92312-4)
- Xiao, J.Z., Dai, F.C., Wei, Y.Q, Min, H., Xu, C., Tu, X.B., Wang, M.L., (2014). Cracking mechanism of secondary lining for a shallow and asymmetrically-loaded tunnel in loose deposits, *Tunnelling and Underground Space Technology* 43 (2014) 232–240, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2014.05.01>
- Zhang, Z., Chen, F., Li, N., Swoboda, Liu, N., (2017). Influence of fault on the surrounding rock stability of a tunnel: Location and thickness, *Tunnelling and Underground Space Technology* 61 (2017) 1–11, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.09.003>
- Zhang, L., (2017) *Engineering Properties of Rocks*, University of Arizona, Tucson, Arizona, United States, p. 378, <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02645-7>
- Zhou, J., Yang X., Guo, J., (2022). Stability predictions for excavations of mountain tunnels based on [BQ] method and its field verification, *Engineering Failure Analysis*, 141, 106727 <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106727>



Araştırma Makalesi / Research Article

## Bir Kaya Düşme Alanında LiDAR Sensörlü Akıllı Telefon Kullanarak Tekil Kaya Blok Hacimlerinin Belirlenmesi

*The Determination of Individual Rock Block Volumes Using a Smartphone with LIDAR Sensor  
for a Rockfall Area*

Mehmet DOĞRULUK<sup>1</sup> , Nurgül YEŞİLOĞLU-GÜLTEKİN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Hacettepe Üniversitesi Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Hacettepe Üniversitesi Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş (Received): 6 Mayıs (May) 2024 / Düzeltme (Revised): 14 Mayıs (May) 2024 / Kabul (Accepted): 22 Mayıs (May) 2024

### ÖZ

Bir kaya düşmesi bölgesinde düşen blokların hacminin belirlenmesi kaya düşmesi modelleme çalışmaları için önemli bir parametredir. Bu kapsamda yoğun bir araç trafiğinin bulunduğu Ankara Zir Vadisi yamaçlarından düşen 30 adet andezit bloğun hem şerit metre ile boyutları ölçülmüş, hem de lazer tarama özelliği bulunan bir akıllı telefon aracılığıyla fotogrametrik üç boyutlu (3B) modeli oluşturulmuştur. Böylece hem geleneksel, hem de fotogrametrik yöntemle toplanan veriler yardımıyla düşen blokların hacim hesapları gerçekleştirilmiş ve bu iki farklı yöntemle yapılan hesaplar karşılaştırılmıştır. Buna göre; geleneksel yöntemle belirlenen hacim değerleri ile fotogrametrik olarak belirlenen hacimler arasında istatistiksel olarak yüksek bir ilişki bulunmaktadır. Araziye şerit metre ile yapılan ölçümler zaman kaybı oluşturmakta, sonuçlar ölçümü alan kişinin hassasiyetine bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca, düzensiz bir şekle sahip blokların hacmi hesaplanırken şekil düzenli bir geometriye indirgenmekte ve bir yaklaşımda bulunmaktadır. Akıllı telefonlar ile tek bir ölçümle her bir blok ayırtlanabilmekte ve hacimleri ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. Elde edilen bulgular, çalışmada kullanılan fotogrametrik yöntemi uygulama pratikliği açısından ön plana çıkarmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaya düşmesi, Blok hacmi, Akıllı telefon, LiDAR, nokta bulutu

### ABSTRACT

*Determining the volume of fallen blocks in a rockfall area is a crucial parameter for rockfall modeling studies. Within this scope, the dimensions of 30 andesite blocks that had fallen from the slopes of the Ankara Zir Valley, where there is heavy vehicle traffic, were measured with a tape measure and a photogrammetric three-dimensional (3D) model was generated using a smartphone equipped with laser scanning capabilities. Hence, the fallen blocks' volume was determined by utilizing data obtained from both conventional and photogrammetric methods, and, a comparison was subsequently made between the calculations derived from these two different approaches. There is a significant statistical correlation between the volume values obtained by the conventional method and those found using photogrammetry. Measurements conducted using tape measures in the field can be time consuming and the results may vary depending on the precision of the individual performing the measurement. Furthermore, while determining the volume of blocks that have an irregular shape, the shape is simplified to a regular geometric form and an approximation is performed. Smartphones enable the differentiation of each block through a single*

*measurement, allowing the independent calculation of their volumes. These results emphasize the effectiveness of the photogrammetric method employed in this study.*

**Keywords:** Rockfall, Block volume, Smartphone, LiDAR, Point cloud

## GİRİŞ

Ülkemiz doğal tehlikelerin etkisi altında bulunan bir coğrafyada yer almakta olup, bu olayların afetlere dönüşmemesi için tehlikelerin yerinde belirlenip değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Kaya düşmeleri büyük oranda hasara neden olabilecek özellikle doğal tehlikeler olup, kaya düşmesi kaynak alanlarında askıda duran ve düşen blokların boyutlarının ve hacimlerinin bilinmesi kaya düşmelerinin modellenmesi noktasında oldukça önemlidir. Blok hacmi, düşme hareketinin dinamiğini ve sonuçlarını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle kaya düşmesi analizlerinde kaya blokların hacim değerlerini dikkate alan ve farklı blok boyutlarının kaya düşmesi senaryolarını etkilediğini ortaya koyan çok sayıda çalışma mevcuttur (Agliardi vd., 2009; Ağca vd., 2020a; Assali vd., 2014; Frattini vd., 2008; Guzzetti vd., 2002; Gültekin, 2023; Sarro vd., 2018; Topal vd., 2007). Günümüzde kaya blok hacimlerinin belirlenmesi için ihtiyaç duyulan veriler geleneksel yerinde ölçümle veya üç boyutlu (3B) lazer tarama ve fotogrametrik görüntü alımı gibi dijital veri toplama yaklaşımları ile elde edilebilmektedir. Literatürde bu verilerden yararlanarak kaya bloklarının hacimlerinin belirlenmesine yönelik çok sayıda bilimsel çalışma bulunmaktadır (Ağca vd., 2020b; Chen vd., 2017; Illeditsch ve Preh, 2024; Koulibaly vd., 2023; Umili vd., 2020). Bu çalışmalarda, erişilmesi zor olan kısımlarda yer alan kaya bloklarının hacim hesabı için genellikle dijital verilere (nokta bulutu, mesh model vb.) dayalı 3B modelleme yaklaşımları önerilmektedir.

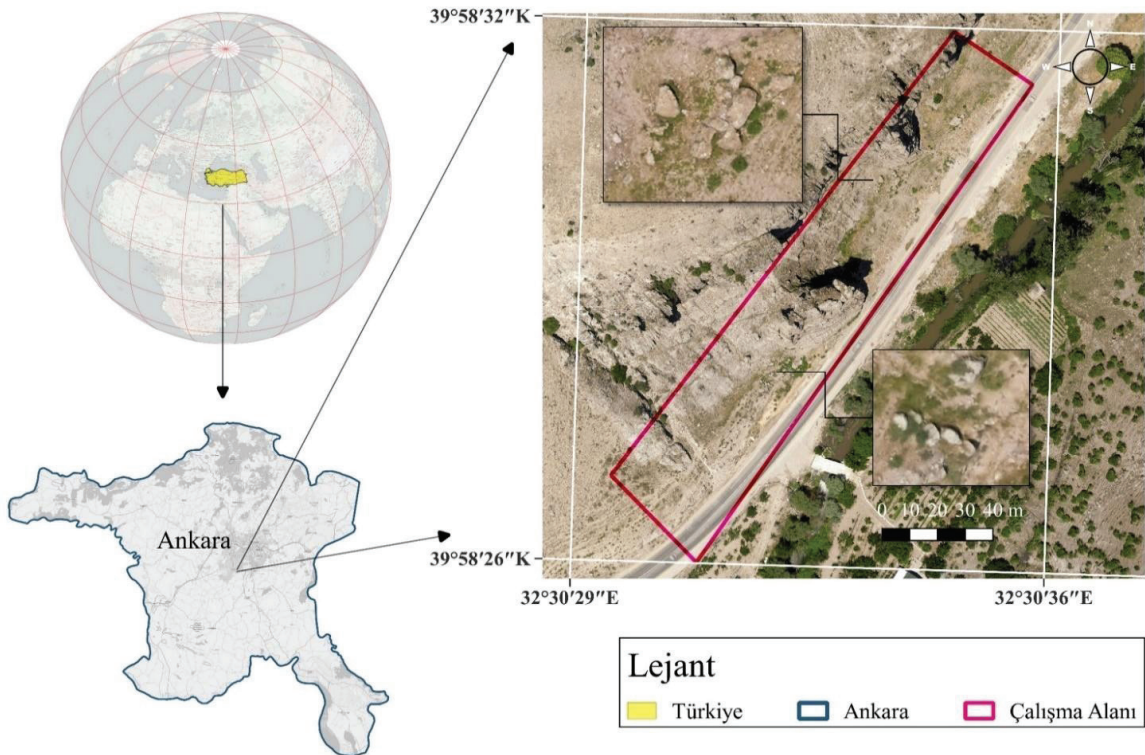
Son yıllarda mobil cihazlar üzerine yerleştirilensensörlerin kalitesinin ve çeşitliliğinin artması bu cihazları farklı amaçlara yönelik jeo-uzamsal veriler toplamak için uygun bir alternatif haline getirmiştir. 2020 yılında LiDAR (Light Detection and Ranging) sensörüne sahip Apple iPhone 12 Pro'nun satışa sunulmasıyla birlikte bu alandaki bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır (Luetzenburg vd., 2021). Örneğin King vd. (2022), kar derinliğindeki değişiklikleri doğru bir şekilde gözlemlemek için iPhone 12 Pro'nun kullanılabilirliğini araştırmıştır. Torkan vd. (2023), iPhone 12 Pro Max'in LiDAR sensörünün kalitesinin yer altı alanlarının 3B modellerini oluşturmak için yeterli olduğunun altını çizmiştir. Zeybek ve Ediz (2022), yol yüzeyindeki çukurları iPhone 12 Pro ile belirlemiştir. Riquelme vd. (2021), kayalık şevleri 3B modellemek ve süreksizlik setlerini çıkarmak için iPhone 12 Pro'yu kullanmıştır ve 3 m'yi aşmayan mesafelerden yüksek ve düşük çözünürlüklü görüntü alım konfigürasyonlarını ve bunların işleme sürelerini (20 saniye ile 4 dakika arasında) araştırmıştır.

iPhone'ların daha güncel versiyonları (iPhone 13/14/15 Pro) daha gelişmiş LiDAR sensörlere ve kameralara sahiptir (Nik Azhan Hakim vd., 2023; Stevenson ve Liscio, 2024). Bu nedenle yakın tarihli çalışmalar ağaçlar, kültür mirası eserleri ve iç mekan nesnelere gibi çeşitli boyut ve özellikteki spesifik objelerin doğru ve güvenilir 3B modellerini oluşturmak için bu cihazların kullanımına odaklanmaktadır (Catharia vd., 2023; Gopal ve Shukor, 2023; Gülci vd., 2023; Łabędź vd., 2022; Monsalve vd., 2023; Tatsumi vd., 2023; Tazudin vd., 2023;

Vacca, 2023). Ancak, düşen kaya blokları gibi düzgün şekillere sahip olmayan objelerin tekil 3B modellenmesine odaklanan çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Örneğin, Mikita vd. (2020) zeminde yer alan iki kaya bloğu için 3B modeller üretmiş ancak LiDAR sensörüne sahip olmayan bir akıllı telefon (Xiaomi MI 8) kullanmıştır. Paukkonen (2023), bir arkeolojik projenin 3B dokümantasyonu kapsamında iki kaya bloğu için nokta bulutları oluşturmuş ve bunların hacim hesaplarını gerçekleştirmiştir. Ivanovski vd. (2023) bir kaya çıkıntısının nokta bulutunu oluşturmak için iPhone 13 Pro kullanmıştır. Literatürdeki bu mevcut çalışmalar benzer özelliklere sahip bir ya da birkaç kayanın ya da objenin 3B modellenmesini ele almaktadır. Bu çalışmada ise; farklı ve çok sayıda kaya

bloğunun hacimlerini hesaplamak için, LiDAR sensörlü bir akıllı telefon ile toplanan verilerin, geleneksel arazi ölçümleri verilerine alternatif olup olmayacağını araştırılması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, aktif bir kaya düşmesi kaynak alanında yer alan farklı şekil ve boyutlara sahip 30 kaya bloğu incelenmiştir. Öncelikle LiDAR sensörüne sahip bir iPhone 14 Pro Max akıllı telefon ile kaya blokların fotogrametrik görüntüleri alınmış ve bu verilerden yoğun nokta bulutları üretilmiştir. Diğer taraftan, arazi çalışmaları kapsamında yerinde yapılan geleneksel ölçümler ile kaya bloklarının boyutları belirlenmiştir. Fotogrametrik yöntemle ve geleneksel yöntemle belirlenen hacimler karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.





Şekil 2. Çalışma kapsamında değerlendirilen bloklar.

Figure 2. The blocks that were evaluated for the study.



## ÇALIŞMA ALANI

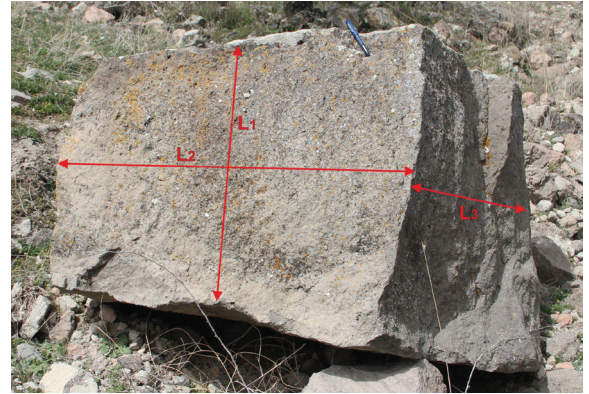
Çalışma alanı, Ankara İli Sincan İlçesi sınırları içinde yer alan ve geçmişte bir yerleşimin de merkezi olan Zir Vadisi'dir. Zir Vadisi yamaçları kaya düşmelerinin izlendiği ve yoğun bir araç trafiğinin olduğu bir alandır. Çok sayıda ağır ve orta vasıta araç, atık taşıma aracı ve binek araç bu yolu kullanmaktadır. Çalışma alanı 1/100000 ölçekli Ankara İ28-İ29 jeoloji paftaları içinde yer almaktadır. Bölge lav önü çökmesi sonucu oluşan blok ve kül akışlarının meydana getirdiği peri bacası görünümlü tüf-aglomera, andezit ve bazalt üyelerinden oluşan özel oluşumları içermektedir (Bilgin, 2014; Ersoy, 2003). Bu oluşumlarda kaya düşmeleri meydana gelmektedir. Zir Vadisi 2018 yılında "Doğal Sit-Sürdürülebilir Koruma ve Kontrollü Kullanım Alanı" olarak tescil edilmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2018). Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1' de yer almaktadır.

## Geleneksel Yöntem

Çalışma kapsamında, geleneksel yerinde ölçümde her bağımsız kaya bloğu için şerit metre ile en ( $L_1$ ), boy ( $L_2$ ) ve yükseklik ( $L_3$ ) değerleri cm hassasiyetinde ölçülmüş ve ölçülen bloklara bir numara atanmıştır (Şekil 3).

Arazi çalışmaları sırasında ölçülen blokların büyük kısmı köşeli, paralel kenarlı geometrik şekle daha uygundur. Ancak çok az sayıda elipsoid şekle yakın bloklar da görülmektedir. Arazide ölçülen blokların şekilleri düzenli bir geometriye sahipse elde edilen sonuçlar gerçekçidir. Ancak, düzensiz bir geometriye sahip bloğun boyutlarından hacim hesabına geçmek için düzenli bir geometri için yaklaşımda bulunmaktadır. Geleneksel yöntemle farklı büyüklüklerdeki toplam 30

blok değerlendirilmiştir. Bu blokların her biri fotoğraflanmış (Şekil 2) ve boyutları şerit metre ile ölçülmüştür (Çizelge 1).



Şekil 3. Arazide yapılan geleneksel ölçüm (Blok 20).  
Figure 3. Conventional measurement method in the field (Block 20).

Çizelge 1. Arazi çalışmaları ile ölçülen blok boyutları  
Table 1. Block sizes measured in field studies

Blok No	$L_1$ (cm)	$L_2$ (cm)	$L_3$ (cm)	Blok No	$L_1$ (cm)	$L_2$ (cm)	$L_3$ (cm)
Blok 1	190	130	90	Blok 16	85	56	46
Blok 2	80	75	45	Blok 17	133	58	49
Blok 3	50	42	35	Blok 18	115	110	35
Blok 4	38	25	25	Blok 19	66	60	25
Blok 5	200	129	80	Blok 20	110	103	85
Blok 6	35	30	25	Blok 21	60	40	24
Blok 7	27	22	14	Blok 22	103	63	50
Blok 8	24	25	13	Blok 23	157	138	61
Blok 9	168	71	52	Blok 24	49	49	20
Blok 10	35	34	23	Blok 25	55	43	40
Blok 11	104	75	60	Blok 26	32	30	22
Blok 12	90	50	37	Blok 27	78	33	21
Blok 13	58	55	40	Blok 28	40	35	16
Blok 14	30	28	18	Blok 29	36	32	25
Blok 15	60	38	24	Blok 30	40	30	16

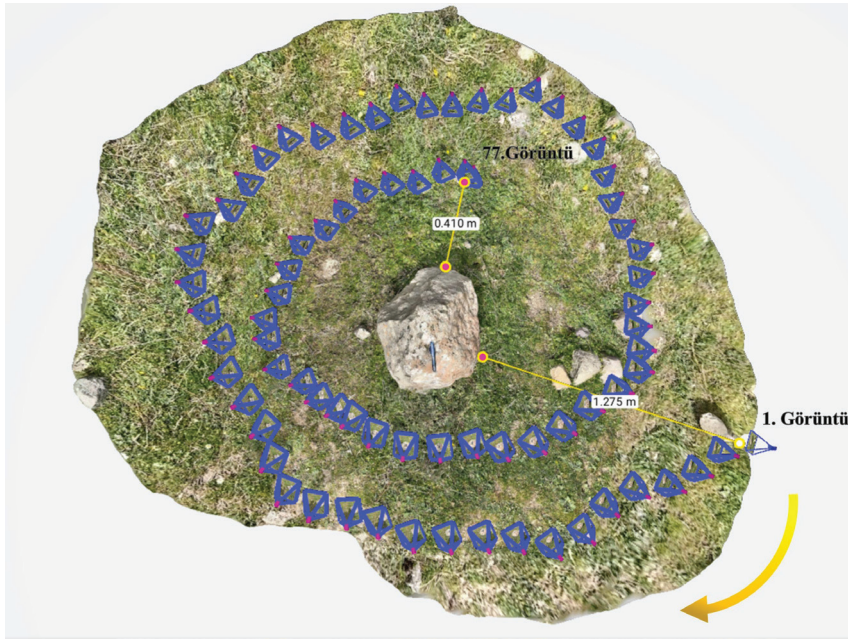
## Fotogrametrik Yöntem

Çalışma kapsamında düşen kaya blokların hacimlerinin belirlenmesinde kullanılan bir diğer yöntem fotogrametrik yöntemdir. Fotogrametrik veriler, lazer tarama özelliğine sahip bir mobil cihaz olan Apple iPhone 14 Pro Max ile toplanmıştır. Söz konusu akıllı telefonun arka yüzünde üç adet görünür ışık kamera (ana, geniş açı ve telefoto) ve bir LiDAR sensörü yer almaktadır (Apple, 2023). iPhone 14 Pro Max'ta Dikey Boşluklu Yüzey Yayan Lazerler (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers- VCSELs) kullanılmaktadır. Lazer darbelerinin doğrudan uçuş süresi, Tek Foton Çığ Fotodiyotları (Single Photon Avalanche Photodiodes – SPADs) ile ölçülmektedir. Cihaz etkinleştirildiğinde VCSEL tarafından toplam 576 nokta yayılmaktadır (Monsalve vd., 2023; Moyano vd., 2023). Daha sonra 576 derinlik noktası, 60 Hz'de  $256 \times 192$  derinlik haritası üretmek için geniş açılı mercekten gelen gerçek renk (Red, Green, Blue - RGB) değerleriyle özel bir veri birleştirme işlemi yoluyla birleştirilmektedir (Tondo vd., 2023). iPhone Pro modelleri, dahili GNSS (Global Navigation Satellite Systems) alıcısına ve manyetometre, barometre, üç eksenli jiroskop ve ivme ölçeri içeren atalet ölçüm birimi (Inertial Measurement Unit - IMU) sensörlerine sahiptir (Apple, 2023). Görüntü alımı esnasında pasif ve aktif sensörlerden gelen bilgiler ile dahili GNSS alıcısından elde edilen bilgiler birleştirilerek görüntülerin poz (konum ve yönelim) bilgileri belirlenmektedir. Bununla beraber, kullanıcılar bir sahnenin alımı esnasında hareket halindedir ve sabit olmayan el hareketleri sürüklenme hatalarına neden olmaktadır (Scargill vd., 2022; Tamimi, 2022). Bu hatayı azaltmak için ölçüme başlamadan önce akıllı telefon bir el gimballi (DJI Osmo Mobile SE) üzerine monte edilmiştir. El gimballi, kameranın belirli bir düşey açıya ayarlanmasını sağlamakla beraber hareket

esnasında ortaya çıkan titreşimlerin görüntü kalitesi ve derinlik haritası üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaktadır (Rasti vd., 2021).

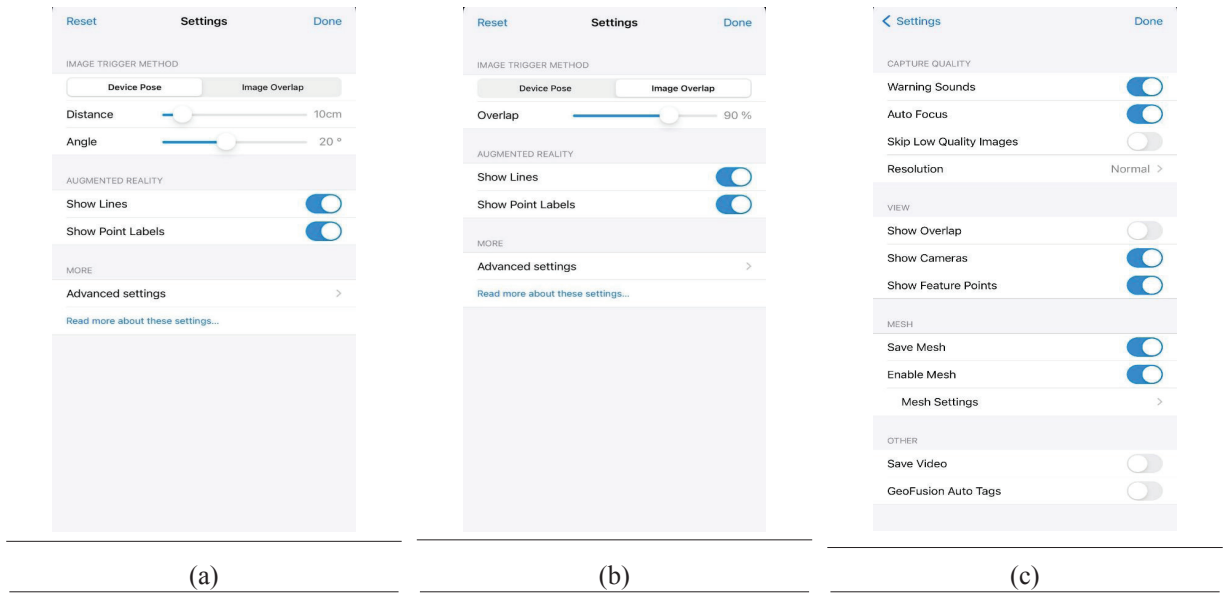
Çalışma kapsamında kaya blok modelleri üretmek için farklı görüntüleme açılarından yersel görüntü alımına başlamadan önce en iyi sonuçları elde etmek ve görüntüler arasında yeterli örtüşmeyi sağlamak için obje(ler) merkezde olacak biçimde dairesel bir yörünge belirlenmiştir (Rutkowski ve Lipecki, 2023). Ayrıca, görüntü alımı esnasında LiDAR sensörü ile optimum sonuçları elde etmek için sahneye olan uzaklık  $\sim 3$  m'yi aşmayacak şekilde ayarlanmıştır (Tavani vd., 2022). Şekil 4'te bir kaya bloğunun ölçüm senaryosu ve sahnelerin görüntüleme geometrisi mavi renkte gösterilmektedir. Ayrıca ölçüm yönü (sarı ok) ve başlangıç ve bitiş görüntülerinin objeye olan yaklaşık uzaklıkları da Şekil 4'te verilmiştir. Çalışma kapsamında modellenecek tüm bloklar için bu aşama gerçekleştirilmiştir. Bazı bloklar tek tek taranırken bazı bloklar topluca taranabilmiştir.

Hâlihazırda mobil cihazlar ile uyumlu olarak çalışan ve görüntü verileri ile LiDAR verileri arasındaki entegrasyonu sağlayan birçok mobil uygulama (EveryPoint, 3D Scanner App, Polycam, Pix4Dcatch vb.) mevcuttur. Bu uygulamalar, LiDAR sensörü tarafından yakalanan noktaları gerçek zamanlı olarak kalibre eden bir eşzamanlı konum belirleme ve harita oluşturma (Simultaneous Localization and Mapping-SLAM) algoritması aracılığıyla bir nokta bulutu üreterek LiDAR'ın haritalama yeteneklerine erişime olanak tanımaktadır (Hou vd., 2024; Teppati Losè vd., 2022). Bu çalışmada Pix4Dcatch v.1.31.2 uygulaması kullanılmıştır. Pix4Dcatch uygulaması için tercih edilen tüm ayarlar Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Kaya bloklarının yersel görüntü alım geometrisi

Figure 4: Terrestrial image acquisition geometry of rock blocks



Şekil 5. Pix4Dcatch uygulamasında seçilen görüntü alım ayarları (a) cihaz görüntü ayarları, (b) görüntü örtüşme ayarları, (c) ileri düzey ayarlar.

Figure 5. The image adjustments of Pix4Dcatch software (a) device image settings (b) image aliasing settings, (c) advanced settings.

Uygulama başlatıldığında iPhone belirli bir mesafe ya da açı değeri kadar hareket ettikçe (bu çalışma için 0.10 m ve 20 °) yeni görüntü alımı tetiklenmekte ve kaydedilen görüntüler ön işleme alınırken ekranda nesnenin yüzeyi üzerinde üçgen bir ağ görüntülenmektedir (Tamimi ve Toth, 2023a). Kullanıcı daha fazla veri toplamak için cihazı hareket ettirdikçe Pix4Dcatch, ağı gerçek zamanlı olarak günceller ve ölçülen alanları ve oluşan üçgenleri göstermektedir. Bu sayede kullanıcı ek tarama gerektiren bölgeleri belirleyebilmekte ve bu bölgeler için daha fazla görüntü almayı tercih edebilmektedir. Ayrıca cihazlarında LiDAR sensörleri bulunan kullanıcılar, sahnede hangi detayların yakalandığı hakkında bilgi edinmek için canlı ön izleme özelliğini kullanabilmektedir (Pix4D, 2024a).

## VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

### *Fotogrametrik Verilerin İşlenmesi*

Fotogrametrik verilerindeğerlendirilmesinde Intel Xeon E-2124 merkezi işlemciye, Quadro P2000 grafik işlemciye ve 80 GB sistem belleğine sahip bir masaüstü bilgisayar kullanılmıştır. Değerlendirme yazılımı olarak ise Pix4Dmatic v.1.58.1 kullanılmıştır. Söz konusu yazılım, Pix4Dcatch ile toplanan veriler için ayrıntılı ve doğru bir 3B temsilinin oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Suleymanoglu vd., 2023; Tamimi ve Toth, 2023b). iPhone mobil cihazlar ile tamamlanmış bir Pix4Dcatch projesini Pix4Dmatic ile değerlendirmek için projenin öncelikle dışa aktarılması gerekmektedir. Dışa aktarılan proje, Pix4Dmatic yazılımına girdi olarak verilir. LiDAR özellikli cihazlarla üretilen projelerde görüntü sayısınca oluşturulan “Confidence.tiff” ve “DepthMap.tiff” dosyaları LiDAR derinlik verilerini temsil ederken, “Image.jpg” dosyaları görüntü içeriğini temsil etmektedir. Pix4Dmatic yazılımında LiDAR

özellikli iPhone cihazlar ile toplanan verilerden nokta bulutu elde etmek için kalibrasyon, derinlik nokta bulutu, yoğun nokta bulutu ve derinlik ve yoğunluk füzyon aşamalarını içeren bir iş akışı uygulanmaktadır (Pix4D, 2024b). Çalışma kapsamında tüm aşamalarda Pix4Dcatch uygulaması için oluşturulan şablon ayarları kullanılmıştır. Her kaya bloğu için Pix4Dmatic yazılımından çıktı olarak ise derinlik nokta bulutu ve yoğun nokta bulutunun füzyonu sonucunda oluşturulan kaynaştırılmış nokta bulutu elde edilmiştir.

### **Kalibrasyon**

Kalibrasyon, hareketten yapı (Structure from Motion –SfM) yöntemi ile bir veri kümesinin işlenmesindeki ilk aşamadır ve sonraki adımların temelini oluşturmaktadır. Bu aşamada görüntü ölçeği, anahtar noktalar, otomatik kesişme bağlantı noktaları, iç güven düzeyi ve LiDAR derinlik haritaları (modelin ölçeğini daha doğru tahmin etmek ve veri boşluklarını doldurmak için) kalibrasyonu geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Pix4D, 2024c). Bu aşama tamamlandığında, eşleşen anahtar nokta sayısına sahip seyrek nokta bulutu oluşturulmaktadır. Kalibrasyon aşamasında kullanılan ayarlar Şekil 6’da verilmiştir.

### **Derinlik nokta bulutu**

Derinlik nokta bulutu, LiDAR derinlik haritalarından oluşturulmaktadır. Yansıtıcı ve tekrarlayan dokulu yüzeylerde hatalı görüntü eşlemeye bağlı veri boşlukları oluşması durumunda derinlik haritalarından oluşturulan nokta bulutu bu boşlukları doldurmak üzere kullanılabilir (Pix4D, 2024d). Pix4Dmatic’in mevcut sürümünde kullanıcılar derinlik haritası ayarlarını görüntüleyememekte ve değiştirememektedir.



## Yoğun nokta bulutu

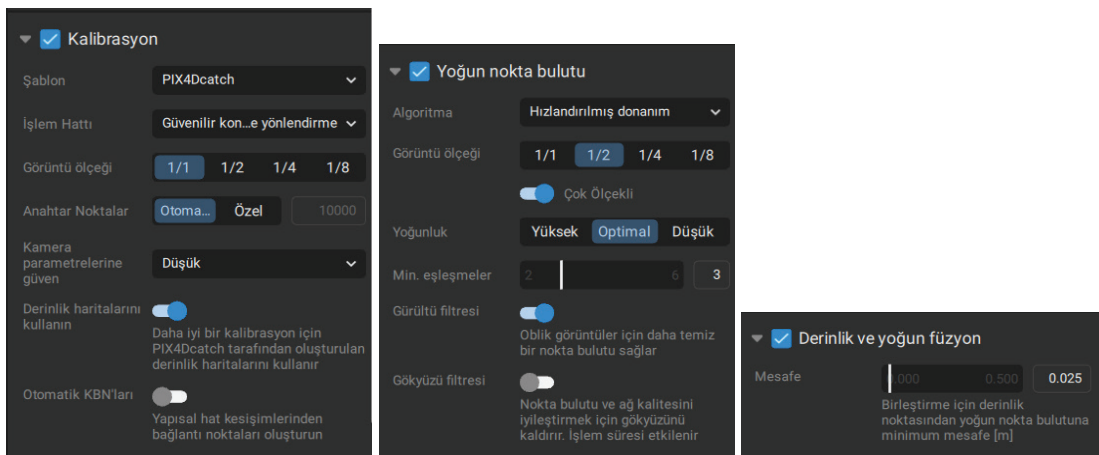
Bu aşamada, kalibrasyon sonucunda üretilen seyrek nokta bulutu yoğun nokta bulutuna dönüştürülmektedir. Görüntü ölçeği, ek 3B noktaların hesaplandığı görüntülerin ölçeğini tanımlamaktadır. Çoklu ölçek etkinleştirildiğinde, birden fazla görüntü ölçeğinde ek 3B noktalar hesaplanmaktadır. Yoğunluk parametresi, oluşacak nokta bulutunun yoğunluğunu tanımlamaktadır. Ön tanımlı ayar “optimal” olarak varsayılmıştır ve bu ayarda orijinal görüntünün her 8 pikseli için bir 3B nokta hesaplanmaktadır. Minimum eşleşme sayısı, 3B noktanın görüntülere geçerli minimum yeniden projeksiyon sayısını temsil etmektedir. Minimum eşleşme sayısı 3 (varsayılan) olarak ayarlandığında, her 3B noktanın en az 3 görüntüde doğru şekilde yeniden yansıtılması gerekmektedir. Gürültü filtresi, eğik görüntülere sahip veri kümeleri için daha temiz bir nokta bulutu sağlamaktadır (Pix4D, 2024d). Seçilen yoğun nokta bulutu ayarları Şekil 6’da gösterilmektedir.

## Derinlik ve yoğunluk füzyon

Derinlik ve yoğun füzyon seçeneği, yoğun nokta bulutunu ve LiDAR nokta bulutunu birleştirmekte ve nihai nokta bulutunu daha yoğun ve daha eksiksiz hale getirmektedir. Kullanıcı, bir derinlik noktası ile yoğun nokta bulutunu kaynaştırmak için gereken minimum mesafeyi ayarlayabilmektedir. Pix4Dmatic ayarlarında bu mesafe 0.025 m olarak varsayılmıştır (Pix4D, 2024d). Seçilen derinlik ve yoğunluk füzyon ayarları Şekil 6’da gösterilmektedir.

## Kaya blok nokta bulutları

Çalışma kapsamında toplanan verilerin (görüntü ve LiDAR) fotogrametrik değerlendirilmesi sonucunda her kaya bloğu için kaynaştırılmış nokta bulutu verileri üretilmiştir (Şekil 7). Fotogrametrik değerlendirme sonuçları ile üretilen nokta bulutlarının özellikleri ise Çizelge 2’de birlikte gösterilmektedir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 6. Pix4Dmatic yazılımında seçilen görüntü işleme ayarları (a) kalibrasyon, (b) yoğun nokta bulutu, (c) derinlik ve yoğunluk füzyon.

Figure 6. Image processing settings selected in Pix4Dmatic software (a) calibration, (b) dense point cloud, (c) depth and dense fusion.





Şekil 7. Kaya blokları temsil eden nokta bulutları.

Figure 7. Point clouds representing rock blocks.



Çizelge 2. Fotogrametrik değerlendirme sonuçları.

Table 2. Results of photogrammetric evaluation.

Blok No	Girdi / Kalibre Edilen Görüntü Sayısı	Kamera Optimizasyonu (%)	Yer Örnekleme Aralığı (YÖA) (m)	Nokta Yoğunluğu (nokta/m <sup>2</sup> )
1	269 / 269	0.01	0.002	302885
2	86 / 86	0.03	0.001	450087
3	56 / 56	0.07	0.001	363786
4	56 / 56	0.08	0.001	299157
5	270 / 270	0.03	0.001	223518
6	60 / 60	0.03	0.001	350202
7	56 / 56	0.06	0.001	295320
8	66 / 66	0.04	0.001	386521
9	129 / 129	0.02	0.002	224393
10	67 / 67	0.07	0.001	382762
11	71 / 71	0.02	0.001	291645
12	109 / 109	0.02	0.001	612732
13	104 / 104	0.03	0.001	512793
14	41 / 41	0.04	0.001	430379
15	75 / 75	0.03	0.001	489683
16	104 / 104	0.04	0.001	421178
17	117 / 117	0.01	0.001	305009
18	142 / 142	0.03	0.001	521832
19	91 / 91	0.05	0.001	477875
20	140 / 140	0.01	0.001	360885
21	75 / 75	0.06	0.001	528238
22	83 / 83	0.05	0.001	453856
23	123 / 123	0.02	0.001	525561
24	45 / 45	0.01	0.001	426422
25	73 / 73	0.01	0.001	643257
26	46 / 46	0.03	0.001	856377
27	89 / 89	0.03	0.001	943937
28	68 / 68	0.03	0.001	597824
29	77 / 77	0.04	0.001	554886
30	59 / 59	0.01	0.001	548157

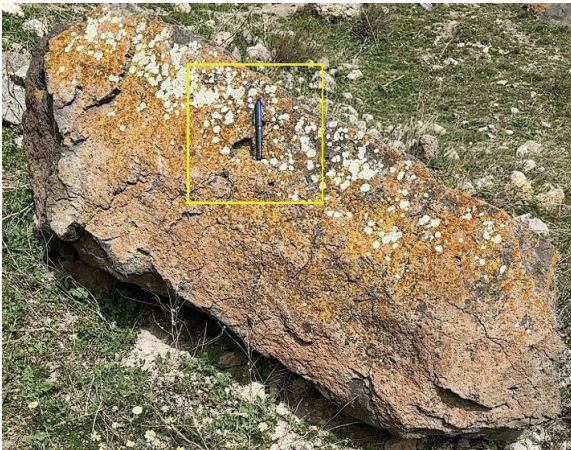
Çizelge 2'deki fotogrametrik değerlendirme sonuçları incelendiğinde, her kaya bloğu için girdi görüntülerinin tamamının kalibre edildiği ve nokta bulutu üretiminde kullanıldığı görülmektedir. Kamera optimizasyonu ise kameranın başlangıç ve optimize edilmiş odak uzaklığı arasındaki farkın yüzdesini temsil etmektedir. Bu değer tüm kaya blokları için % 0.01-0.08 arasında değişmektedir. Elde edilen

bu sonuçlar benzer çalışmaların sonuçları ile uyumludur (An vd., 2021; Gillihan, 2021; Jasińska vd., 2023).

### Nokta Bulutlarının Doğruluk Değerlendirmesi

Mobil cihazlar ile üretilen fotogrametrik modellerin doğruluğu, hassas şekilde ölçülen yer kontrol noktalarının modele dahil edilmesiyle

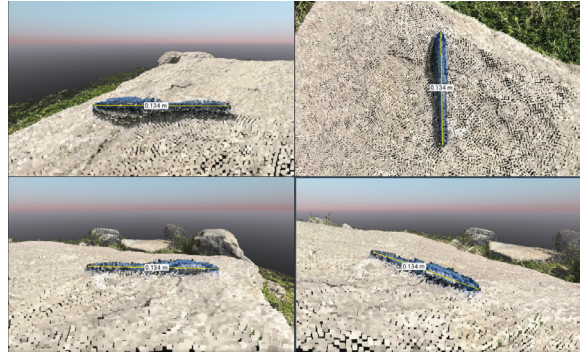
ya da görüntü alımında ek donanımlar (viDoc) kullanılarak artırılabilir (Pavelka jr vd., 2023). Modele ek verilerinin dahil edilmediği durumlarda dahili GNSS alıcısının sağladığı mutlak pozisyon doğruluğu birkaç metre düzeyindedir (Brach vd., 2023; Corradetti vd., 2022; Winberg vd., 2023). Bir fotogrametrik projenin görelî (rölatif) doğruluğu ise bir nokta bulutu, model ya da ortomozaik üzerindeki bireysel özelliklerin referans eş özelliklerle karşılaştırılması yoluyla ölçülebilmektedir (Tamimi ve Toth, 2023a). Örneğin, bir nokta bulutu üzerinden iki nokta arasında ölçülen mesafe ile gerçekteki mesafe tutarlıysa nokta bulutunun rölatif doğruluğu yüksektir (Luetzenburg vd., 2021). Bu çalışmada nokta bulutlarının rölatif doğruluğunu test etmek için veri toplamaya başlamadan önce kaya blokları üzerine uzunluğu (0.135 m) bilinen bir kalem yerleştirilmiştir (Şekil 8). Bu sayede referans uzunluk ile nokta bulutları üzerinden ölçülen uzunluk karşılaştırılmıştır.



Şekil 8. Doğruluk değerlendirmesinde kullanılan referans obje.

*Figure 8. The reference object used in accuracy evaluation.*

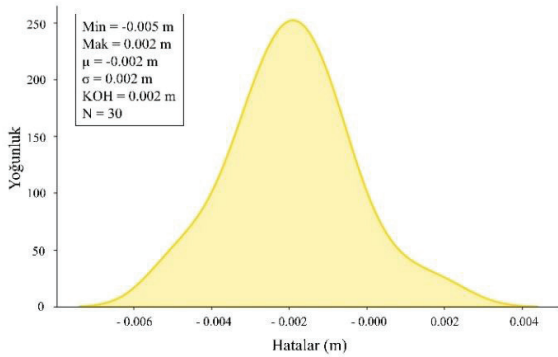
Nokta bulutlarının görelî doğruluğunu araştırmak için; bloklar üzerine yerleştirilen kalemin uzunluğu, Pix4Dsurvey yazılımı kullanılarak ölçülmüştür. Şekil 9'da 24 numaralı kayanoktabulutuuzerinden gerçekleştirilendijital ölçümün sonucu (0.134 m) gösterilmektedir. Obje başlangıç ve bitiş noktalarını yeterince hassas yakalamak için bu ölçüm dört farklı bakış açısından kontrollü olarak yapılmıştır.



Şekil 9. Farklı bakış açılarından gerçekleştirilen dijital ölçüm.

*Figure 9. Digital measurement performed from different perspectives.*

Modellenen her kaya bloğu için bu ölçüm işlemi tekrarlanmıştır. Daha sonra gözlemlenen uzunluklar ile kalemin gerçekteki uzunluğu karşılaştırılmış ve model hataları hesaplanmıştır. Şekil 10'da bu hataların istatistikleri Kernel yoğunluk grafiği üzerinde gösterilmektedir. Burada hataların ortalaması ( $\mu$ ) -0.002 m, standart sapma ( $\sigma$ ) ve karesel ortalama hata (KOH) değerleri ise  $\pm 0.002$  m olarak hesaplanmıştır. Tavani vd. (2022) yaptıkları çalışmada 14 bağımsız model oluşturmuş ve bu modeller üzerinden ölçülen dijital ve gerçek mesafeler arasındaki farkların 0.01 m düzeyinde olduğunu raporlamışlardır. Çalışma, bu sonuçlar ile karşılaştırıldığında, kaya blokları üzerine yerleştirilen kalem için elde edilen farkların çok daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Model hataları için Kernel yoğunluk grafiği.  
Figure 10. Kernel density plot of model errors.

## KAYA BLOKLARIN HACİM HESAPLARI

Çalışma kapsamında 30 adet arazide belirlenen kaya blok için geleneksel ve fotogrametrik yöntemlerle hacim hesapları gerçekleştirilmiştir.

## Geleneksel Yöntemle Hacim Hesabı

Çalışma kapsamında boyutları arazide şerit metre ile ölçülen düşmüş blokların hacim hesaplamaları, blokların şekillerinin heterojenliği nedeniyle, paralel kenarlı (Eşitlik 1) ve elipsoid (Eşitlik 2, Eşitlik 3) olmak üzere iki farklı geometrik şekil esas alınarak belirlenmiştir. Böylece bu iki farklı geometrik şekil için hacim hesapları ( $V_p$ ,  $V_e$ ) yapılmıştır (Umili vd., 2020). Hesaplamalar Çizelge 3’de verilmiştir.

$$V_p = L_1 L_2 L_3 \quad (1)$$

$$V_e = \frac{4}{3} \pi \frac{d_{1,2}}{2} \frac{d_{1,3}}{2} \frac{d_{2,3}}{2} \quad (2)$$

Burada  $L_{1,2,3}$  her bir bloğa ait üç farklı kenar uzunluklarını,  $d_{1,2,3}$  blokların üç farklı kenarının köşegenlerini ifade etmektedir. Buna göre köşegenler Eşitlik 3’te verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$d_{ij} = \sqrt{L_i^2 + L_j^2} \quad (3)$$

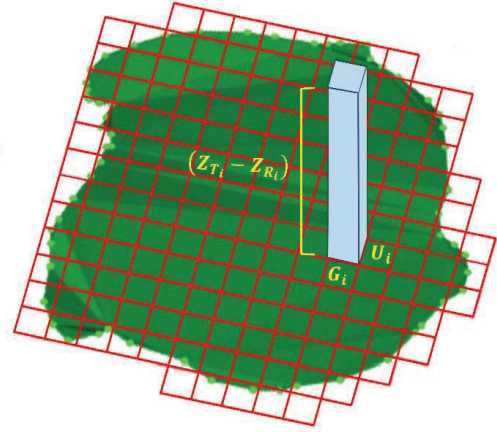
Çizelge 3. Geleneksel yöntemle hesaplama aşamaları.

Table 3. Calculation steps for conventional method.

Blok No	$d_{1,2}$ ( $L_1, L_2$ ) (cm)	$d_{1,3}$ ( $L_1, L_3$ ) (cm)	$d_{2,3}$ ( $L_2, L_3$ ) (cm)	Blok No	$d_{1,2}$ ( $L_1, L_2$ ) (cm)	$d_{1,3}$ ( $L_1, L_3$ ) (cm)	$d_{2,3}$ ( $L_2, L_3$ ) (cm)
Blok 1	230.217	210.238	158.114	Blok 16	101.789	96.649	72.471
Blok 2	109.659	91.788	87.464	Blok 17	145.097	141.739	75.928
Blok 3	65.299	61.033	54.672	Blok 18	159.138	120.208	115.434
Blok 4	45.486	45.486	35.355	Blok 19	89.196	70.576	65.000
Blok 5	237.994	215.407	151.793	Blok 20	150.695	139.014	133.544
Blok 6	46.098	43.012	39.051	Blok 21	72.111	64.622	46.648
Blok 7	34.828	30.414	26.077	Blok 22	120.739	114.495	80.430
Blok 8	34.655	27.295	28.178	Blok 23	209.029	168.434	150.881
Blok 9	182.387	175.864	88.006	Blok 24	69.296	52.924	52.924
Blok 10	48.795	41.881	41.049	Blok 25	69.814	68.007	58.728
Blok 11	128.222	120.067	96.047	Blok 26	43.863	38.833	37.202
Blok 12	102.956	97.309	62.201	Blok 27	84.694	80.777	39.115
Blok 13	79.931	70.456	68.007	Blok 28	53.151	43.081	38.484
Blok 14	41.037	34.986	33.287	Blok 29	48.166	43.829	40.608
Blok 15	71.021	64.622	44.944	Blok 30	50.000	43.081	34.000

### Fotogrametrik Yöntemle Hacim Hesabı

Nokta bulutu verilerine dayalı olarak gerçekleştirilen hacim hesaplama yaklaşımları dışbükey kapsülleme, voksel, dilimleme ve ampirik formüllere dayalı yöntemler olarak sıralanabilmektedir. Her bir hacim hesaplama yönteminin farklı yüzeyler ve objeler için güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır (Wang vd., 2023). Örneğin kayaların askıda bulunduğu, yüzey yönlerinde ve sarkma özelliklerinde büyük farklılıklar bulunan zorlu arazilerde dışbükey kapsülleme yöntemleri daha hassas sonuçlar vermektedir (DiFrancesco vd., 2021; Walton ve Weidner, 2023). Dilimleme yöntemleri ise düzensiz özelliklere sahip ve yüzeyde boşluklar (delikler) içeren kayalar için daha uygundur (Li vd., 2019). Ampirik formüllere dayalı yöntemler ise belirli geometrik şekillere uyan kaya blokları için kolay uygulanabilir özellik göstermektedir (Battulwar vd., 2021; Jaklič vd., 2015; Koulibaly vd., 2023). Voksel yönteminde hedef objeyi temsil eden nokta bulutu hücreler (vokseller) oluşturacak şekilde referans yüzeye yansıtılmaktadır. Voksel yöntemi hücre boyutuna ve projeksiyon düzlemine duyarlıdır. Çoğu durumda iyi bir çözünürlük (küçük hücre değeri) ve görece düz bir projeksiyon yüzeyi, daha doğru bir hacim hesabı ile sonuçlanmaktadır (Doğan ve Güllü, 2021). Çalışma alanında yer alan kaya bloklarını temsil eden nokta bulutu verilerinin küçük hücreler oluşturmak için yeterli yoğunluğa sahip olması nedeniyle bu çalışmada hacim hesabında voksel yöntemi kullanılmıştır. Tüm hacim hesaplamaları Pix4Dsurvey v.1.58.2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pix4Dsurvey yazılımında hacim hesabı, referans yüzeyi oluşturan her noktanın yüksekliği dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Daha sonra referans yüzey, girdi Yer Örnekleme Aralığına (YÖA) eşit voksellere yansıtılmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Referans yüzeyin yansıtıldığı vokseller (kırmızı) ve bir vokselin hacminin (mavi) grafik gösterimi (Pix4D, 2024e).

*Figure 11. Graphical representation of the projected voxels (red) and the volume of a voxel (blue) onto the reference surface (Pix4D, 2024e).*

Her voksel ( $V_i$ ) için hacim değeri Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır (Pix4D, 2024e).

$$V_i = U_i \times G_i \times (Z_{T_i} - Z_{R_i}) \quad (4)$$

$V_i$  voksel hacmini,  $U_i$  voksel uzunluğunu,  $G_i$  voksel genişliğini,  $Z_{T_i}$  vokselin merkezine karşılık gelen arazi yüksekliğini,  $Z_{R_i}$  ise; vokselin merkezine karşılık gelen referans yüzeyin yüksekliğini temsil etmektedir. Bir vokselin uzunluğu ve genişliği ise Eşitlik 5'te gösterildiği gibi projenin ortalama YÖA değerine eşittir.

$$YÖA_{ort} = U_i = G_i \quad (5)$$

Her bir nokta bulutu için toplam kaya blok hacmi voksel hacimlerinin toplamına eşittir ve Eşitlik 6'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (6)$$

Kaya blokların hacim hesabına başlamadan önce nokta bulutları bir dizi ön işlem sürecinden

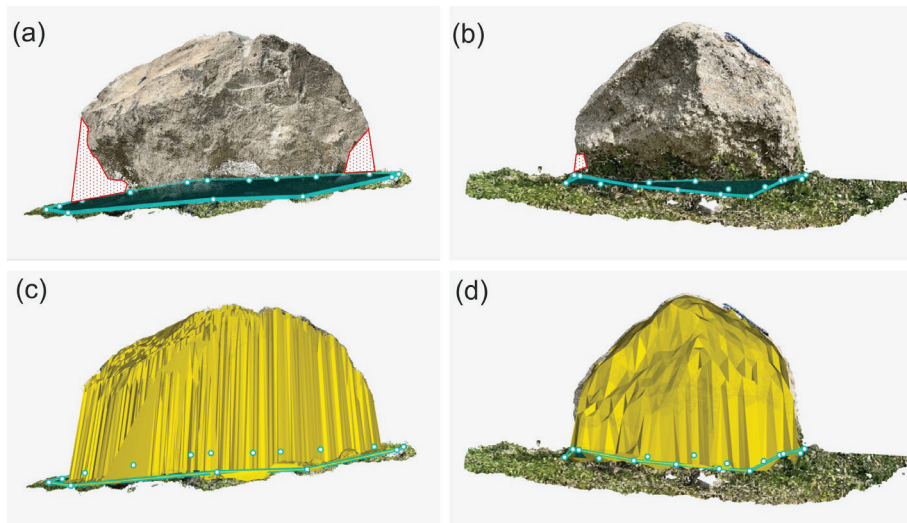


geçirilmiştir. Öncelikle nokta bulutlarında kayanın yakın çevresini temsil etmeyen kısımlar kesilmiştir. Daha sonra gürültülü noktalarını kaldırmak için CloudCompare v.2.12.4 yazılımında yer alan gürültü filtresi (noise filter) kullanılmıştır. Burada, arama yarıçapı parametresi olarak proje YÖA değerinin üç katı ve maksimum mutlak hata sınırı parametresi olarak ise derinlik ve yoğunluk füzyonunda kullanılan eşik değeri (0.025 m) seçilmiştir (Zhang vd., 2018). Ayrıca 3'ten az komşusu olan izole edilmiş noktalar da kaldırılmıştır. Son olarak kayaların zeminle birleşim bölgelerinde yer alan ilgisiz objeleri (otlar, çiçekler vb.) temsil eden noktalar manuel olarak silinmiştir. Böylece bu noktaların hacim hesabının dışında tutulması sağlanmıştır. Ön işleme aşamasının ardından her kaya bloğu için projeksiyon yüzeyini oluşturan poligonlar belirlenmiştir. Güllü vd. (2018) hesap yüzeyi olarak üç noktadan geçen düzlem kullanmıştır. Bu çalışmada referans yüzey, farklı yüksekliklere sahip noktalar içeren

poligonlar şeklinde belirlenmiştir. Bu yaklaşım özellikle arazi eğiminin arttığı bölgelerde daha gerçekçi bir hesap yüzeyi oluşturmaya olanak tanımaktadır. Şekil 12'de iki farklı kaya bloğu için oluşturulan referans yüzey (mavi) ve nokta bulutları (a ve b) ile hacim hesapları sonucunda oluşan vokseller (c ve d) birlikte gösterilmektedir. Şekil 12c ve Şekil 12d incelendiğinde, blok nokta bulutları üzerinde kırmızı renkte gösterilen içbükey boşlukların hacim hesabına dahil edildiği görülmektedir. Bu durumun hacim hesap sonuçlarına etkisi Şekil 12a'da verilen kaya için daha çok iken, Şekil 12b'de verilen kaya için daha az olup, vokselle yönteminin bir sınırlaması olarak değerlendirilmektedir.

### Hacim Hesaplarının Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında kaya bloklarının geleneksel verilere dayalı hacim hesapları ( $V_p$ ,  $V_c$ ) ve fotogrametrik verilere dayalı hacim hesapları ( $V_f$ ) Çizelge 4'te verilmiştir.



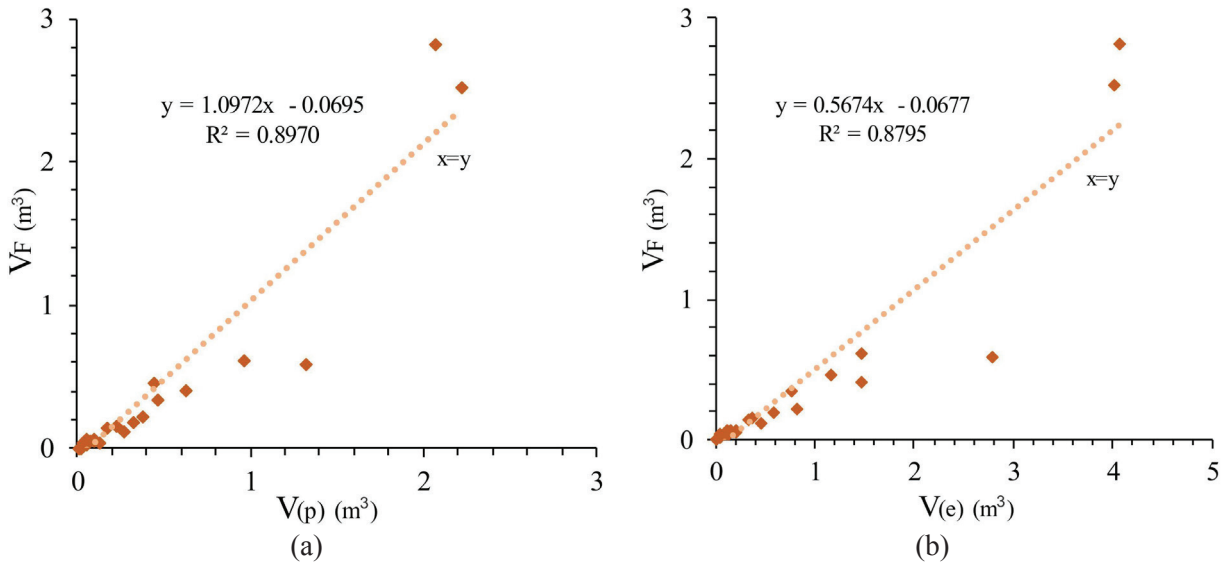
Şekil 12. Kaya blok için çizilen referans yüzeyi ve hacim hesabı sonucu oluşan vokseller.

Figure 12. A reference surface created for the rock block, and voxels generated as a result of the volume calculation.

Çizelge 4. Blok hacim sonuçları.

Table 4. Block volume results.

Blok No	$V_p$ (m <sup>3</sup> )	$V_e$ (m <sup>3</sup> )	$V_F$ (m <sup>3</sup> )	Blok No	$V_p$ (m <sup>3</sup> )	$V_e$ (m <sup>3</sup> )	$V_F$ (m <sup>3</sup> )
Blok 1	2.223	4.005	2.523	Blok 16	0.219	0.373	0.157
Blok 2	0.270	0.461	0.120	Blok 17	0.378	0.817	0.220
Blok 3	0.074	0.114	0.052	Blok 18	0.443	1.156	0.457
Blok 4	0.024	0.038	0.030	Blok 19	0.099	0.214	0.071
Blok 5	2.064	4.072	2.820	Blok 20	0.963	1.464	0.618
Blok 6	0.026	0.041	0.020	Blok 21	0.058	0.114	0.044
Blok 7	0.008	0.014	0.007	Blok 22	0.324	0.582	0.187
Blok 8	0.008	0.014	0.006	Blok 23	1.322	2.780	0.587
Blok 9	0.620	1.477	0.415	Blok 24	0.048	0.102	0.035
Blok 10	0.027	0.044	0.021	Blok 25	0.095	0.146	0.061
Blok 11	0.468	0.774	0.341	Blok 26	0.021	0.033	0.011
Blok 12	0.167	0.326	0.147	Blok 27	0.054	0.140	0.041
Blok 13	0.128	0.200	0.048	Blok 28	0.022	0.046	0.014
Blok 14	0.015	0.025	0.013	Blok 29	0.029	0.045	0.042
Blok 15	0.055	0.108	0.067	Blok 30	0.019	0.038	0.009



Şekil 13. Geleneksel yöntemlerle belirlenen hacim hesapları ile fotogrametrik yöntemle belirlenen hacim hesaplarının çapraz korelasyon grafikleri (a)  $V_p$ - $V_F$  (b)  $V_e$ - $V_F$

Figure 13. Cross correlation graphs between volume calculations from conventional method and photogrammetric method (a)  $V_p$ - $V_F$  (b)  $V_e$ - $V_F$



Çizelge 4'te verilen hacim değerleri incelendiğinde, geleneksel yöntem ile genel olarak daha büyük hacimler hesaplandığı görülmektedir.

Her bir bloğun şerit metre ile ölçülerek, farklı iki geometri için hesaplanan blok hacimleri ( $V_p$ ,  $V_e$ ) ile fotogrametrik yöntemle belirlenen hacimler karşılaştırılmıştır (Şekil 13).

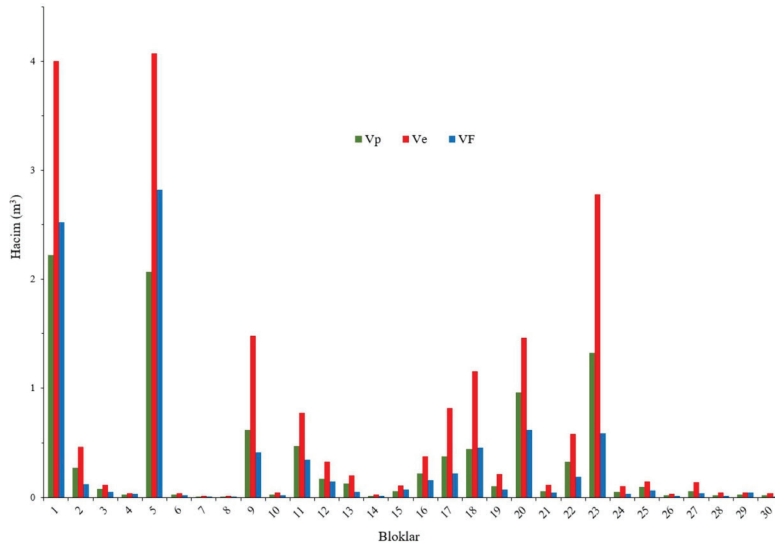
Şekil 14'te her bir blok için geleneksel yöntemle ( $V_p, V_e$ ) ve fotogrametrik yöntemle ( $V_F$ ) hesaplanan hacimler için sütun grafiği verilmiştir. Bu grafikte farklı geometrik şekillerde belirlenmiş hacimlerle fotogrametrik analizle belirlenen hacimler bir arada görülmektedir.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanı olarak seçilen Zir Vadisi kaya düşmelerinin yaşandığı ve yoğun araç trafiğinin bulunduğu bir alan olup, düşen blokların hacminin belirlenmesi kaya düşmesi modelleme çalışmaları için önemli bir parametredir.

Blokların hacminin hesaplanması; düşen ya da düşebilecek özellikte bulunan blokların kaya düşme alanlarında yaratacakları etkinin boyutunu etkileyebilir bir parametredir. Çünkü düşen blokların boyutu, bloğun sahip olduğu ya da olacağı potansiyel ve kinetik enerjilerini belirlemektedir. Bu durum kaya düşmesi analiz çalışmalarında düşen blokların ilerleme mesafelerini etkileyecek, kaya düşmelerinden korunma ve önleme yöntemlerini belirleyecektir. Bu nedenle kaya blokların hacimlerinin doğru belirlenmesi kaya düşmesi analiz çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır.

Zir Vadisi yamaçlarından düşen kaya bloklarının hacimleri; arazide şerit metre ile ölçülen boyutlar kullanılarak iki farklı geometrik şekil için ve fotogrametrik yöntem için belirlenmiştir. Bu amaçla arazi çalışmaları sırasında geleneksel yöntemle ölçümleri alınan 30 adet blok için aynı zamanda fotogrametrik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 14. Geleneksel ( $V_p$ ,  $V_e$ ) ve fotogrametrik ( $V_F$ ) yöntemle belirlenmiş blok hacim değerlerine ait sütun grafiği  
 Figure 14. Column graph of the block volume values determined by conventional method ( $V_p$ ,  $V_e$ ) and photogrammetric ( $V_F$ ) method

Fotogrametrik 3B model oluşturmak için ihtiyaç duyulan veriler, lazer tarama özelliğine sahip Apple iPhone 14 Pro Max ile toplanmıştır. Görüntü verileri ile LiDAR verileri arasındaki entegrasyonu sağlamak için Pix4Dcatch, nokta bulutu üretmek için Pix4Dmatic ve hacim hesaplamaları için Pix4Dsurvey yazılımları kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında arazide yapılan ölçümlerden ve fotogrametrik yöntemlerden elde edilen hacimler arasında çapraz korelasyon grafikleri çizilmiş ve bu grafiklere göre determinasyon katsayıları belirlenmiştir ( $R^2$ ). Buna göre arazide şerit metre ile boyutları ölçülerek belirlenen  $V_p$  ile  $V_f$  arasında  $0.90 V_c$  ile  $V_f$  arasında ise  $0.88 R^2$  değerleri belirlenmiştir. Grafikler değerlendirildiğinde; arazide ölçülen blokların boyutu büyüdükçe ölçümü güçleşmekte ve fotogrametrik olarak yapılan değerlendirme ile arasındaki fark açılmaktadır. Bu durum; ölçülmesi, erişilmesi güç alanlarda daha da belirgin olacaktır. Ayrıca arazide şerit metre ile yapılan ölçümler zaman kaybı oluşturmakta, ölçümü alan kişinin hassasiyetine bağlı olarak değişebilmektedir. Özellikle düzenli bir geometriye sahip olmayan blokların hacimlerinin belirlenmesinde güçlük yaşanmakta, bu tür bloklar geometrisi bilinen şekillere indirgenmek durumunda kalınmaktadır. Bu durum arazide şerit metre ile alınan ölçümlerle belirlenen hacim hesaplamalarının sınırlamasıdır. Şerit metre ile her bir blok için tek tek ölçüm yapılırken, akıllı telefonlar ile çoklu blokların etrafından alınan tek bir ölçümle her bir blok ayırtlanabilmekte ve hacimleri ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan fotogrametrik yöntemler uygulamada gösterdiği pratikliği açısından tercih edilebilir bir yöntemdir. Ayrıca, fotogrametrik çalışmalar ile elde edilen sonuçlar, LiDAR özellikli cihazın yer kontrol noktası olmaksızın farklı boyut ve şekillere sahip kaya

blok modelleri üretmek için saha çalışmalarında faydasını ortaya koymaktadır. Bu cihazlar kısıtlı mutlak konum doğruluğu ve tarama mesafesi gibi dezavantajlarına rağmen, kaya modellemede oldukça yüksek ölçeklendirme doğruluğu sağlamakta ve güvenilir hacim değerleri üretmek için geleneksel saha ölçümlerine göre güçlü bir alternatif oluşturmaktadır. Ancak, kaya yüksekliğinin görüntü alımını zorlaştıracak düzeyde arttığı durumlarda (örneğin 3m), kayanın üst kısımlarını görüntülemek için uzatma çubuğu kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, bina gibi çok daha büyük ölçekteki projeler söz konusu olduğunda ise, görece doğruluğun korunmasındaki zorluklar ve modeller üzerinde oluşan deformasyonlara bağlı tutarsızlıklar literatürde vurgulanmıştır (Miller vd., 2023; Tamimi, 2022). Bu nedenle, modellenen obje/yüzey büyüklüğünün çok arttığı durumlarda ölçek ve sürüklenme hatalarını azaltmak için kontrol noktaları gibi ek veriler ya da viDoc gibi ek donanımlar kullanılması, sonuç ürünlerin mutlak ve görece doğruluğunu arttırabilmektedir (Moyano vd., 2023; Süleymanoğlu vd., 2023).

Tamimi ve Toth (2023), iPhone 13 Pro verilerine dayalı olarak Pix4Dsurvey yazılımında hesapladıkları hacim değerlerini İnsansız Hava Aracı (İHA) görüntülerinden hesaplanan hacim değerleri ile karşılaştırmışlar ve iki yöntem arasında %8 fark bulmuşlardır. Rutkowski ve Lipecki (2023), profesyonel yersel lazer tarayıcı ile iPhone 13 Pro'dan elde edilen verileri karşılaştırmış ve %2'nin altında hatalarla beton hacimlerinin belirlenebileceğini göstermişlerdir. iPhone 14 Pro Max kullanarak yapılan bu çalışmada ise; fotogrametrik verilerin yüksek bağıl doğruluğu göz önüne alındığında, bu veriler ile gerçek değere daha yakın blok hacimleri hesaplandığı değerlendirilmektedir. Ancak, voksel yönteminde referans yüzey ile kaya yüzeyi arasında bulunan boşlukların hacim hesabına

dahil edilmesi, blok hacimlerinin olduğundan fazla hesaplanmasına neden olmaktadır. Bu durum yöntemin bir sınırlaması olup, gelecekteki çalışmalarda farklı hacim hesaplama yaklaşımları kullanılarak nokta bulutlarından hesaplanan hacim değerlerinin doğruluğu artırılabilir. Tüm bu değerlendirmelere ek olarak; ilerideki çalışmalar için; farklı dijital veri elde etme platformları ile elde edilen nokta bulutlarının karşılaştırılması üzerine çalışmaların yapılması önerilmektedir.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar, çalışmada kullanılan Pix4Dmatic v.1.58.1 uygulaması ile ilgili desteğinden dolayı ATAY Mühendislik'e teşekkürlerini sunarlar.

## KAYNAKLAR

- Agliardi, F., Crosta, G. B., & Frattini, P. (2009). Integrating Rockfall Risk Assessment and Countermeasure Design by 3D Modelling Techniques. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9(4), 1059-1073. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/nhess-9-1059-2009>
- Ağca, M., Gültekin, N., & Kaya, E. (2020a). İnsansız Hava Aracından Elde Edilen Veriler ile Kaya Düşme Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Adam Kayalar Örneği, *Mersin. Geomatik*, 5(2), 134-145. <https://doi.org/https://doi.org/10.29128/geomatik.595574>
- Ağca, M., Kaya, E., & Yılmaz, H. M. (2020b). Yersel Ve Fotogrametrik Yöntemler İle Kaya Bloklarının Hacimlerinin Hesaplanması: Selime Örneği, *Aksaray. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 465-471. <https://doi.org/https://doi.org/10.35414/akufemubid.679005>
- An, P., Fang, K., Jiang, Q., Zhang, H., & Zhang, Y. (2021). Measurement of Rock Joint Surfaces by Using Smartphone Structure From Motion (SfM) Photogrammetry. *Sensors*, 21(3), 922. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21030922>
- Apple. (2023). iPhone 14 Pro Max - Teknik Özellikleri. Retrieved 1 Nisan from <https://support.apple.com/tr-tr/111846>
- Assali, P., Grussenmeyer, P., Villemin, T., Pollet, N., & Viguier, F. (2014). Surveying and Modeling of Rock Discontinuities by Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetry: Semi-Automatic Approaches for Linear Outcrop Inspection. *Journal of Structural Geology*, 66, 102-114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsg.2014.05.014>
- Battulwar, R., Zare-Naghadehi, M., Emami, E., & Sattarvand, J. (2021). A State-of-The-Art Review of Automated Extraction of Rock Mass Discontinuity Characteristics Using Three-Dimensional Surface Models. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(4), 920-936. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.01.008>
- Bilgin, A. (2014). Türkiye Jeoloji Haritaları Ankara İ-28 Paftası (Publication Number 208) MTA Jeoloji Etütleri Dairesi. Ankara, Türkiye.
- Brach, M., Tracz, W., Krok, G., & Gaşior, J. (2023). Feasibility of Low-Cost LiDAR Scanner Implementation in Forest Sampling Techniques. *Forests*, 14(4), 706. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/f14040706>
- Catharia, O., Richard, F., Vignoles, H., Véron, P., Aoussat, A., & Segonds, F. (2023). Smartphone LiDAR Data: A Case Study for Numerisation of Indoor Buildings in Railway Stations. *Sensors*, 23(4), 1967. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/4/1967>
- Chen, N., Kemeny, J., Jiang, Q., & Pan, Z. (2017). Automatic Extraction of Blocks from 3D Point Clouds of Fractured Rock. *Computers & Geosciences*, 109, 149-161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.08.013>
- Corradetti, A., Seers, T., Mercuri, M., Calligaris, C., Busetto, A., & Zini, L. (2022). Benchmarking Different SfM-MVS Photogrammetric and iOS

- LiDAR Acquisition Methods for the Digital Preservation of a Short-Lived Excavation: A Case Study from an Area of Sinkhole Related Subsidence. *Remote Sensing*, 14(20), 5187. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14205187>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2018). Ankara ili, Sincan ilçesi, Zir Vadisi Doğal Sit Alanı “Doğal Sit-Sürdürülebilir Koruma ve Kontrollü Kullanım Alanı» olarak tescil edilmiştir. Retrieved 1 Mayıs from <https://tvk.csb.gov.tr/ankara-ili-sincan-ilcesi-zir-vadisi-dogal-sit-alani-dogal-sit-surdurulebilir-koruma-ve-kontrollu-kullanim-alani-olarak-tescil-edilmistir.-duyuru-366770>
- DiFrancesco, P.-M., Bonneau, D. A., & Hutchinson, D. J. (2021). Computational Geometry-Based Surface Reconstruction for Volume Estimation: A Case Study on Magnitude-Frequency Relations for A Lidar-Derived Rockfall Inventory. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(3), 157. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijgi10030157>
- DJI. (2022). Osmo Mobile SE - Technical Specifications. Retrieved 30 Mart from <https://www.dji.com/global/osmo-mobile-se/specs>
- Doğan, S., & Güllü, H. (2021). Multiple Methods for Voxel Modeling And Finite Element Analysis for Man-Made Caves in Soft Rock of Gaziantep. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(1), 23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10064-021-02489-8>
- Ersoy, O. (2003). Soğumakta Olan Lav Akıntısının Patlamalı Çökmesi İle Oluşan Blok ve Kül Akışının ve Patlama Zonu Özelliklerinin İncelenmesi: Zir Çayı Lav Akışı Örneği, Kuzeybatı Ankara [Master’s Thesis, Hacettepe Üniversitesi]. Ankara, Türkiye.
- Frattini, P., Crosta, G., Carrara, A., & Agliardi, F. (2008). Assessment of Rockfall Susceptibility by Integrating Statistical and Physically-Based Approaches. *Geomorphology*, 94(3), 419-437. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.037>
- Gillihan, R. N. (2021). Accuracy Comparisons of iPhone 12 Pro LiDAR Outputs [Ph.D. Thesis, University of Colorado]. Colorado, USA
- Gopal, L., & Shukor, S. A. A. (2023). Modelling Small Artefact for Preservation – A Case Study of Perlis Heritage. *Journal of Physics: Conference Series*, 2641(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2641/1/012005>
- Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R., & Agliardi, F. (2002). STONE: A Computer Program for The Three-Dimensional Simulation of Rock-Falls. *Computers & Geosciences*, 28(9), 1079-1093. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00025-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00025-0)
- Gülci, S., Yurtseven, H., Akay, A. O., & Akgul, M. (2023). Measuring tree diameter using a LiDAR-equipped smartphone: a comparison of smartphone- and caliper-based DBH. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6), 678. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11366-8>
- Güllü, M., Solmaz, M., Baybura, T., & Turgut, B. (2018). Tehlikeli Kaya Bloklarının Düşürülmesi ve Metrajlarının Lazer Tarayıcı İle Hesaplanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 276-284. <https://doi.org/https://doi.org/10.5578/fmbd.66782>
- Gültekin, N. (2023). Ankara Zir Vadisi kaya düşmelerinin üç boyutlu analizlerle değerlendirilmesi. *Yerbilimleri*, 44(2), 179-201. <https://doi.org/https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1332884>
- Hou, J., Hübner, P., Schmidt, J., & Iwaszczuk, D. (2024). Indoor Mapping with Entertainment Devices: Evaluating the Impact of Different Mapping Strategies for Microsoft HoloLens 2 and Apple iPhone 14 Pro. *Sensors*, 24(4), 1062. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s24041062>

- Illeditsch, M., & Preh, A. (2024). Determination of meaningful block sizes for rockfall modelling. *Natural Hazards*, 120(6), 5685-5710. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11069-024-06432-4>
- Ivanovski, I., Nedelkovska, N., Petrov, G., Jovanovski, M., & Nikolovski, T. (2023). COMPARISON BETWEEN TRADITIONAL AND CONTEMPORARY METHODS FOR DATA RECORDING IN STRUCTURAL GEOLOGY. *Geologica Macedonica*, 37(2), 119-133. <https://doi.org/10.46763/GEOL23372119i>
- Jaklič, A., Erič, M., Mihajlović, I., Stopinšek, Ž., & Solina, F. (2015). Volumetric Models from 3D Point Clouds: The Case Study of Sarcophagi Cargo from a 2nd/3rd Century AD Roman Shipwreck near Sutivan on Island Brač, Croatia. *Journal of Archaeological Science*, 62, 143-152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.08.007>
- Jasińska, A., Pyka, K., Pastucha, E., & Midtiby, H. S. (2023). A Simple Way to Reduce 3D Model Deformation in Smartphone Photogrammetry. *Sensors*, 23(2), 728. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23020728>
- King, F., Kelly, R., & Fletcher, C. G. (2022). Evaluation of LiDAR-Derived Snow Depth Estimates From the iPhone 12 Pro. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1-5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/LGRS.2022.3166665>
- Koulibaly, A. S., Shahbazi, A., Saeidi, A., Rouleau, A., Quirion, M., & Chesnaux, R. (2023). Advancements in rock block volume calculation by analytical method for geological engineering applications. *Environmental Earth Sciences*, 82(13), 344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12665-023-11027-6>
- Łabędź, P., Skabek, K., Ozimek, P., Rola, D., Ozimek, A., & Ostrowska, K. (2022). Accuracy Verification of Surface Models of Architectural Objects from the iPad LiDAR in the Context of Photogrammetry Methods. *Sensors*, 22(21), 8504. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/21/8504>
- Li, B., Wei, J., Wang, L., Ma, B., & Xu, M. (2019). A Comparative Analysis of Two Point Cloud Volume Calculation Methods. *International Journal of Remote Sensing*, 40(8), 3227-3246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1541111>
- Luetzenburg, G., Kroon, A., & Bjørk, A. A. (2021). Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*, 11(1), 22221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9>
- Mikita, T., Balková, M., Bajer, A., Cibulka, M., & Patočka, Z. (2020). Comparison of Different Remote Sensing Methods for 3D Modeling of Small Rock Outcrops. *Sensors*, 20(6), 1663. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s20061663>
- Miller, S. H., Hashemian, A., Gillihan, R., & Benes, S. (2023). Accuracy and Repeatability of Mobile Phone LiDAR Capture <https://doi.org/10.4271/2023-01-0614>
- Monsalve, A., Yager, E. M., & Tonina, D. (2023). Evaluating Apple iPhone LiDAR measurements of topography and roughness elements in coarse bedded streams. *Journal of Ecohydraulics*, 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/24705357.2023.2204087>
- Moyano, J., Nieto-Julián, J. E., Fernández-Alconchel, M., Oreni, D., & Estévez-Pardal, R. (2023). Analysis and Precision of Light Detection and Ranging Sensors Integrated in Mobile Phones as a Framework for Registration of Ground Control Points for Unmanned Aerial Vehicles in the Scanning Technique for Building Information Modelling in Archaeological Sites. *Drones*, 7(7), 477. <https://www.mdpi.com/2504-446X/7/7/477>
- Nik Azhan Hakim, N., Razali, R., Said, M., Muhamad, M., Abdul Rahim, H., & Mokhtar, M. (2023). Accuracy Assessment on Detail Survey Plan Using iPhone 13 Pro Max LiDAR Sensor. *International Journal of Geoinformatics*, 19(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.52939/ijg.v19i5.2665>



- Paukkonen, N. (2023). Towards a Mobile 3D Documentation Solution. Video-Based Photogrammetry and iPhone 12 Pro as Fieldwork Documentation Tools. *Journal of Computer Applications in Archaeology*. <https://doi.org/10.5334/jcaa.135>
- Pavelka jr, K., Kuzmanov, P., Pavelka, K., & Rapuca, A. (2023). Different data joining as a basic model for hbim – a case project St. Pataleimon in Skopje. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-5/W2-2023, 85-91. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-5-W2-2023-85-2023>
- Pix4D. (2024a). Capture a project - PIX4Dcatch. Retrieved 15 Mart from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/4409722555025-Capture-a-project-PIX4Dcatch>
- Pix4D. (2024b). How to process PIX4Dcatch datasets in PIX4Dmatic. Retrieved 25 Mart from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/4414523101073-How-to-process-PIX4Dcatch-datasets-in-PIX4Dmatic>
- Pix4D. (2024c). FAQ - PIX4Dcatch. Retrieved 26 Mart from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360043331092-FAQ-PIX4Dcatch#benefits>
- Pix4D. (2024d). Pix4D Processing options. Retrieved 25 Mart from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/sections/4407352591889-Processing-options>
- Pix4D. (2024e). Volume measurement - PIX4Dsurvey. Retrieved 30 Ocak from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/4405473285777-Volume-measurement-PIX4Dsurvey>
- Rasti, S., Bleakley, C. J., Silvestre, G. C. M., Holden, N. M., Langton, D., & O'Hare, G. M. P. (2021). Crop Growth Stage Estimation Prior to Canopy Closure Using Deep Learning Algorithms. *Neural Computing and Applications*, 33(5), 1733-1743. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00521-020-05064-6>
- Riquelme, A., Tomás, R., Cano, M., Pastor, J. L., & Jordá-Bordehore, L. (2021). Extraction of Discontinuity Sets of Rocky Slopes Using Iphone-12 Derived 3DPC and Comparison to TLS and SFM Datasets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 833(1), 012056. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1755-1315/833/1/012056>
- Rutkowski, W., & Lipecki, T. (2023). Use of the iPhone 13 Pro LiDAR Scanner for Inspection and Measurement in the Mineshaft Sinking Process. *Remote Sensing*, 15(21), 5089. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15215089>
- Sarro, R., Riquelme, A., García-Davalillo, J. C., Mateos, R. M., Tomás, R., Pastor, J. L., Cano, M., & Herrera, G. (2018). Rockfall Simulation Based on UAV Photogrammetry Data Obtained During An Emergency Declaration: Application at A Cultural Heritage Site. *Remote Sensing*, 10(12), 1923. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs10121923>
- Scargill, T., Premsankar, G., Chen, J., & Gorlatova, M. (2022, 3-6 May 2022). Here To Stay: A Quantitative Comparison of Virtual Object Stability in Markerless Mobile AR. 2022 2nd International Workshop on Cyber-Physical-Human System Design and Implementation (CPHS),
- Stevenson, S., & Liscio, E. (2024). Assessing iPhone LiDAR & Recon-3D for determining area of origin in bloodstain pattern analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 69(3), 1045-1060. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.15476>
- Suleymanoglu, B., Tamimi, R., Yilmaz, Y., Soycan, M., & Toth, C. (2023). Road Infrastructure Mapping by Using Iphone 14 Pro: An Accuracy Assessment. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-M-1-2023, 347-353. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-1-2023-347-2023>
- Tamimi, R. (2022). Relative Accuracy Found within Iphone Data Collection. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B2-2022, 303-308. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2022-303-2022>

- Tamimi, R., & Toth, C. (2023a). Performance Assessment of a Mini Mobile Mapping System: Iphone 14 Pro Installed on a e-Scooter. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-M-3-2023, 307-315. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-3-2023-307-2023>
- Tamimi, R., & Toth, C. (2023b). Comparison of Iphone 13 Pro's Camera and Lidar Sensor To UAS Photogrammetric Model of The Great Pyramid of Giza. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-M-3-2023, 299-306. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-3-2023-299-2023>
- Tatsumi, S., Yamaguchi, K., & Furuya, N. (2023). ForestScanner: A mobile application for measuring and mapping trees with LiDAR-equipped iPhone and iPad. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(7), 1603-1609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/2041-210X.13900>
- Tavani, S., Billi, A., Corradetti, A., Mercuri, M., Bosman, A., Cuffaro, M., Seers, T., & Carminati, E. (2022). Smartphone assisted fieldwork: Towards the digital transition of geoscience fieldwork using LiDAR-equipped iPhones. *Earth-Science Reviews*, 227, 103969. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103969>
- Tazudin, H., Shukor, S. A. A., & Johari, J. (2023). Performance Evaluation of Different Devices and Algorithms for Modelling Small Artefact. *Journal of Physics: Conference Series*, 2641(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2641/1/012026>
- Teppati Losè, L., Spreafico, A., Chiabrando, F., & Giulio Tonolo, F. (2022). Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain. *Remote Sensing*, 14(17), 4157. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14174157>
- Tondo, G. R., Riley, C., & Morgenthal, G. (2023). Characterization of the iPhone LiDAR-Based Sensing System for Vibration Measurement and Modal Analysis. *Sensors*, 23(18), 7832. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23187832>
- Topal, T., Akin, M., & Ozden, U. A. (2007). Assessment of Rockfall Hazard Around Afyon Castle, Turkey. *Environmental Geology*, 53(1), 191-200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00254-006-0633-2>
- Torkan, M., Janiszewski, M., Uotinen, L., & Rinne, M. (2023). Method to obtain 3D point clouds of tunnels using smartphone LiDAR and comparison to photogrammetry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1124(1), 012016. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1755-1315/1124/1/012016>
- Umili, G., Bonetto, S. M. R., Mosca, P., Vagnon, F., & Ferrero, A. M. (2020). In Situ Block Size Distribution Aimed at the Choice of the Design Block for Rockfall Barriers Design: A Case Study along Gardesana Road. *Geosciences*, 10(6), 223. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/geosciences10060223>
- Vacca, G. (2023). 3D Survey with Apple LiDAR Sensor— Test and Assessment for Architectural and Cultural Heritage. *Heritage*, 6(2), 1476-1501. <https://www.mdpi.com/2571-9408/6/2/80>
- Walton, G., & Weidner, L. (2023). Accuracy of Rockfall Volume Reconstruction from Point Cloud Data—Evaluating the Influences of Data Quality and Filtering. *Remote Sensing*, 15(1), 165. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15010165>
- Wang, Y., Ding, M., Zhang, Q., Zhang, X., & Qu, Z. (2023). Volume calculation methods of irregular stone artifacts based on 3D laser scanning technology. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(6), 3386-3402. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/13467581.2023.2182640>
- Winberg, O., Pyörälä, J., Yu, X., Kaartinen, H., Kukko, A., Holopainen, M., Holmgren, J., Lehtomäki, M., & Hyypä, J. (2023). Branch information extraction from Norway spruce using handheld laser scanning point clouds in Nordic forests. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 9, 100040. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ophoto.2023.100040>

Zeybek, M., & Ediz, D. (2022). Detection of Road Distress with Mobile Phone LiDAR Sensors. *Advanced LiDAR*, 2(2), 48-53. <http://193.255.128.114/index.php/lidar/article/view/465>

Zhang, Z., Gerke, M., Vosselman, G., & Yang, M. Y. (2018). Filtering Photogrammetric Point Clouds Using Standard Lidar Filters Towards DTM Generation. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-2, 319-326. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-319-2018>

Araştırma Makalesi / Research Article

## Süreksizliklerde İkinci Derece Düzensizlik Açılarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

*A Comparative Assessment of the Second Degree Asperity Angles of Discontinuities*

Kamil KAYABALI<sup>1</sup>, Emre PINARCI<sup>2</sup>, Farhad HABIBZADEH<sup>3</sup>, Muhammet BEYHAN<sup>4</sup>

Aylin FİDAN ÜZGÜN<sup>5</sup>, Mehmet YAKUT<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı/Ankara

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sarıçam/Adana

<sup>3</sup> National Iranian Copper Industries Company, NICICO, Tahran Province, Iran

<sup>4</sup> Mitto Consultancy, Ankara

<sup>5</sup> Yenimahalle Belediyesi, Ankara

<sup>6</sup> DSİ Genel Müdürlüğü, TAKK Daire Başkanlığı, Ankara

Geliş (Received): 6 Mayıs (May) 2024 / Düzeltme (Revised): 22 Mayıs (May) 2024 / Kabul (Accepted): 25 Mayıs (May) 2024

### ÖZ

Kaya kütlelerinin mühendislik davranışı, sağlam kayanın dayanımından daha çok süreksizlik yüzeylerinin dayanımı tarafından kontrol edilir. Süreksizlik yüzeylerinin kesme dayanımı üzerinde de pürüzlülük açılarının çok önemli rolü vardır. Süreksizlik yüzeylerinin dayanımı laboratuvarında doğrudan kesme deneyi ile belirlenebilmektedir. Ancak, arazideki doğal süreksizliklerden laboratuvarında kesme deneyi için uygun süreksizlik yüzeyleri elde etmek ve kesme deney cihazına yerleştirmek her zaman mümkün olamamaktadır. Bu çalışmada 9 farklı kaya üzerinde doğrudan kesme deneylerinin yanı sıra tiltmetre düzeneği ile temel sürtünme açıları ( $\phi_b$ ), elektromekanik profilometre cihazıyla da süreksizlik yüzeylerindeki ikinci derece pürüzlülük açıları ( $i$ ) belirlenmiştir. Bu iki değerden de toplam sürtünme açıları elde edilmiştir ( $\phi_t = \phi_b + i$ ). Bu değerler farklı normal gerilmeler altında doğrudan kesme deneyleri yapılarak, Patton çift eğrili yenilme zarfından elde edilen  $\phi_b$  ve  $\phi_t$  sonuçları ile karşılaştırılmış ve ne derece uyumlu oldukları değerlendirilmiştir. Farklı normal gerilme seviyelerinde gerçekleştirilen doğrudan kesme deneylerinden elde edilen yenilme zarflarının 9 numune için de Patton çift eğrili yenilme modeline uyduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre doğrudan kesme deneylerinden elde edilen temel sürtünme açıları ve toplam sürtünme açıları profilometre ve tiltmetre deneylerinden elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında; temel sürtünme açılarının toplam test edilen 9 kaya için oldukça yüksek bir uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir ( $R^2= 0,91$ ). Toplam sürtünme açılarının ise yüksek dayanıma sahip iki kaya hariç yine yüksek doğruluk seviyesinde elde edilebileceği görülmüştür ( $R^2= 0,86$ ). Doğrudan kesme deneyinin yapılmasına olanak olmadığı durumlarda profilometre ve tiltmetre deneyleri ile de temel sürtünme açısı ve toplam sürtünme açısı değerlerine bir yaklaşımda bulunulabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Süreksizlik, ikinci derece düzensizlik, Patton çift eğrili yenilme modeli, doğrudan kesme deneyi, tiltmetre, profilometre.



**ABSTRACT**

The engineering behavior of rock masses is controlled more by the strength of the discontinuity surfaces than by the strength of the intact rock. Asperity angles play a very important role in the shear strength of discontinuity surfaces. The strength of discontinuity surfaces can be determined by direct shear tests in the laboratory. However, it is not always possible to obtain suitable discontinuity surfaces from natural discontinuities in the field and place them in the shear test device. In this study, in addition to direct shear tests on 9 different rocks, basic friction angles ( $\phi_b$ ) were determined with a tiltmeter device and the second degree asperity angles ( $i$ ) on the discontinuity surfaces were determined with an electromechanical profilometer device. From these two values, the total friction angles were obtained ( $\phi_t = \phi_b + i$ ). These values were compared with the results of  $\phi_b$  and  $\phi_t$  obtained from Patton's bi-linear failure envelope by direct shear tests under different normal stresses and their compatibility was evaluated. It was determined that the failure envelopes obtained from direct shear tests performed at different normal stress levels comply with the Patton bi-linear failure model for all 9 specimens. According to the results obtained, when the basic friction angles and total friction angles obtained from direct shear tests were compared with the values obtained from profilometer and tiltmeter tests; it was determined that the basic friction angles were in a very high level of agreement for all 9 rocks tested ( $R^2 = 0.91$ ). Total friction angles can be obtained with high accuracy except for two rocks (granodiorite and marble) with high strength ( $R^2 = 0.86$ ). It was concluded that basic friction angles and total friction angles can also be obtained by profilometer and tiltmeter tests whenever it is not possible to direct shear tests.

**Keywords:** Discontinuity, second-degree asperities, Patton bi-linear failure model, direct shear test, tiltmeter, profilometer.

**GİRİŞ**

Kaya kütlelerinin mühendislik davranışları süreksizlik dayanımından büyük ölçüde etkilenir çünkü süreksizlik yüzeylerinin dayanımı genellikle kırıksız kayanın dayanımından oldukça düşüktür. Kaya ortamında gerçekleştirilecek bir mühendislik projesi için süreksizlik dayanımlarının doğru bir şekilde karakterize edilmesi hayati önem taşır. Dolgusuz bir süreksizliğin kayma dayanımını etkileyen başlıca faktörler; kaya türü, süreksizlik üzerindeki normal gerilmenin büyüklüğü, süreksizliğin pürüzlülüğü ve boyutu, bozuşma derecesi, süreksizlik yüzeyi dayanımı, nem ve su basıncıdır. Üzerindeki dalgalanmalar ve düzensizliklerin doğal süreksizlik yüzeylerinin kayma davranışı üzerinde etkisi oldukça büyüktür. Patton (1966), düzensizliklerin birincil ve ikincil olarak iki sınıfa ayrılabilceğini öne sürmüştür. Birincil dereceden düzensizlikler tabakalanma yüzeylerindeki büyük dalgalanmalara karşılık gelirken, ikinci dereceden düzensizlikler

yüzeydeki küçük çıkıntılar ve dalgalanmalardır ve daha yüksek pürüzlük açısı ( $i$ ) değerlerine sahiptir.

Kaya mühendisliği projelerinde düz ve düzlemsel süreksizliklerin kesme mukavemetinin kohezyon ( $c$ ) ve sürtünme açısı ( $\phi$ ) cinsinden ifade edildiği bir Mohr-Coulomb malzemesi olduğu varsayılır ve aşağıdaki doğrusal eşitlikle ifade edilir (Coulomb, 1776; Mohr, 1900).

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

Süreksizliklerin pürüzlü olduğu durumda pürüzlülük yüzeyin kesme dayanımını artırır ve bu artış kayada yapılan kazıların duraylılığını önemli ölçüde etkiler. Patton (1966) duraysız kireçtaşı şevlerinde tabakalanma düzlemi izlerinin fotoğraflarından pürüzlülük açısının ( $i$ ) ortalama değerini ölçerek tabakalanma düzlemi izinin eğiminin yaklaşık olarak düzlemsel yüzeyler üzerindeki laboratuvar testlerinden elde edilen kayanın sürtünme açısı  $\phi_b$  ile ortalama  $i$  açısının toplamına eşit olduğunu bulmuştur.

Daha sonra “testere dişi” şeklindeki örnekler üzerinde yaptığı doğrudan kesme deneyleri ile çift eğrili yenilme modelini geliştirmiştir (Patton, 1966; Wyllie & Mah, 2005; Hoek, 2023; Şekil 1). Başlangıçta bozuşmamış ve birbirine kenetlenmiş pürüzlü bir yüzey ( $\phi_b + i$ ) toplam sürtünme açısına sahiptir. Artan normal gerilme ve yer değiştirme ile pürüzlülükler tıraşlanır ve sürtünme açısı, kayanın temel ( $\phi_b$ ) veya rezidüel ( $\phi_r$ ) sürtünme açısının minimum değerine kadar giderek azalır. Bu genişleme-kayma durumu Mohr diyagramında, başlangıç eğimi ( $\phi + i$ )’ye eşit olan ve daha yüksek normal gerilmelerde  $\phi_b$ ’ye düşen çift eğrili bir dayanım zarfı olarak temsil edilir (Patton, 1966; Wylie & Mah, 2005).

Patton testere dişli numunelerin kesme mukavemetini şu şekilde ifade etmiştir:

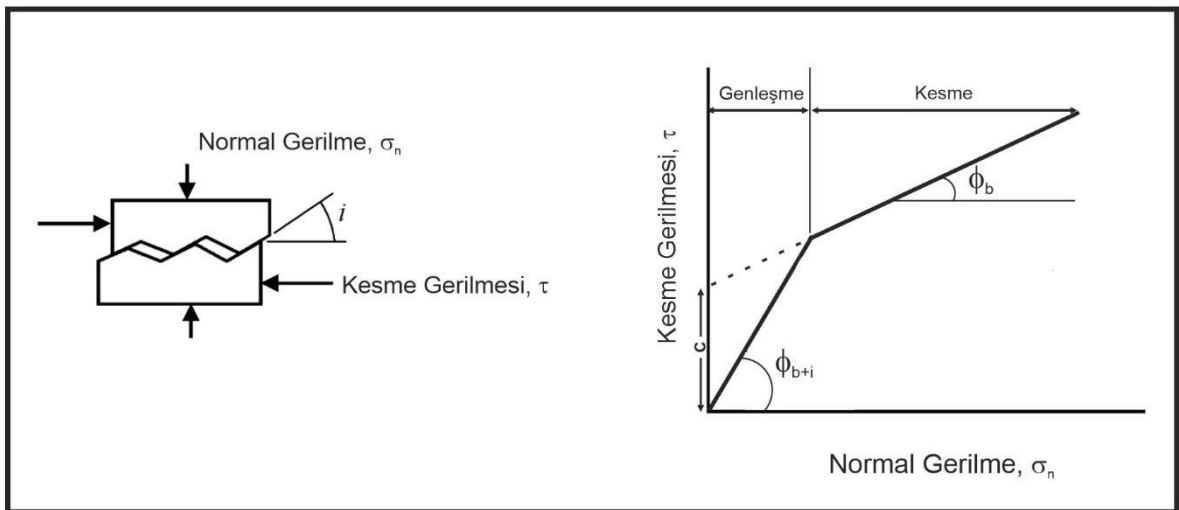
$$\tau = \sigma_n + \tan(\phi_b + i) \quad (2)$$

Burada;

$\phi_b$ : süreksizlik yüzeyinin temel sürtünme açısı

$i$ : testere dişi yüzeyinin açısıdır.

Brady ve Brown (2005) pürüzlülüğü bir süreksizliğin ortalama düzlemine göre doğal yüzey dalgalılığı ve düzensizliğinin bir ölçüsü olarak tanımlamıştır. Doğrusal profillerden süreksizlik pürüzlülüğünün tahmin edilmesi, ölçümün yapılacağı ölçek üzerinde bazı fiziksel araçlarla düz bir çizgiye yüzeyden olan mesafenin belirlenmesini gerektirir. Laboratuvar ortamında bu işlem profil ölçüm aletleri kullanılarak gerçekleştirilebilir (Poropat, 2008). Doğrusal süreksizlik profillerini daha kolay ve hızlı bir şekilde elde etmek için, doğruluk derecesi düşük olan profil tarakları ve cetveller küçük ölçekli düzensizlik ve büyük ölçekli dalgalılık bileşenlerini ölçmek için yaygın biçimde kullanılmaktadır. Laboratuvarında süreksizliklerin pürüzlülük açıları elektromekanik profilometreler aracılığıyla yüksek hassasiyet derecesi ile ölçülebilmektedir. Profilometreler yüksek çözünürlük ve doğrulukta veri elde etme kapasitesine sahiptir.



Şekil 1. Patton (1966)’ın pürüzlü bir eklem için  $\sigma - \tau$  ilişkisini temsil eden modeli.

Figure 1. Patton's (1966) model representing the  $\sigma - \tau$  relationship for a rough joint.

Kayabalı, Pınarcı, Habibzadeh, Beyhan, Fidan Üzgün, Yakut

Temel sürtünme açısı ( $\phi_b$ ) düz bir yüzeyde ölçülen sürtünme açısı olup, malzemenin mineral bileşimi ve dokusu tarafından belirlenen kayanın içsel bir özelliğidir (Patton 1966; Barton 1973; Jang vd., 2018).  $\phi_b$  değerleri önceden kesilmiş düzleme sahip numuneler kullanılarak yapılan doğrudan kesme deneyleri, üç eksenli sıkışma deneyleri ve tiltmetre deneyleri ile de elde edilebilmektedir.  $\phi_b$  değerinin ölçümünü için henüz standart bir yöntem önerilmese de doğrudan kesme deneyinin en doğru sonucu verdiği düşünülmektedir. Tiltmetre deneyinde bir düzlem üzerinde eğilen numunenin kaydığı andaki açı ölçülerek  $\phi_b$  değeri belirlenir. Basit bir yöntemdir ve kolayca uygulanır ve bu nedenle temel sürtünme açısı ölçümleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçümler için testere ile kesilmiş yüzeyler veya zımparalanmış yüzeyler kullanılabilir (Horn & Deere, 1962; Stimpson, 1981; Cruden & Hu, 1988; Bruce vd., 1989; Wines & Lilly, 2003; Alejano vd., 2012; Ruiz & Li, 2014; González vd. 2014 Jang vd., 2018, Zhang vd., 2019).

Süreksizlik yüzeyleri üzerinde araziden alınan numuneler üzerinde doğrudan kesme deneyleri yapılarak  $c$  ve  $\phi$  değerlerini tespit edebilmek her ne kadar mümkün olsa da araziden kesme cihazı hücrelerine uygun süreksizlik yüzeyi bulmak, cihaz hücrelerine yerleştirilecek

boyutlara getirmek mümkün ise de çok zordur. Proje kısıtları, zaman ve bütçe yetersizlikleri bu deneylerin yapılabilmesini oldukça güçleştirebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı çok sayıda farklı türdeki kayada yapay olarak oluşturulmuş süreksizlikler üzerinde doğrudan kesme deneyleri yapılarak elde edilen  $\phi_b$  ve  $\phi_t$  değerlerinin, tiltmetre deneyinden bulunan  $\phi_b$  değerleri ve profilometre kullanılarak ölçülmüş  $i$  değerleri ile birlikte değerlendirerek toplam sürtünme açısının ( $\phi_t = \phi_b + i$ ) karşılaştırmalı analizini yapmaktır.

## MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden elde edilmiş ve farklı petrografik özelliklere sahip 9 adet kaya örneği kullanılmıştır (Çizelge 1). Mermer firmalarından 15 cm'lik küpler şeklinde temin edilen kayalar laboratuvarında özel bir düzene ile (Şekil 2) ortadan ikiye ayrılarak yapay süreksizlik düzlemleri elde edilmiştir. Tek eksenli deney cihazının alt ve üst başlıkları yerine balta ağzı şekilli uzun kesme aparatları monte edilmiştir. Bu kesme aparatları arasına tam ortasından yerleştirilen küp şekilli numune üzerine baskı yapılarak yük uygulanmış ve eş düzlemsel yapay süreksizler elde edilmesi sağlanmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan numunelerin petrografik tanımlamaları.

Table 1. Petrographic descriptions of the samples used in the study.

No.	Kayaç adı	Mineral bileşimi
1	Diyabaz	Plajiolklas, piroksen, amfibol, opak mineraller
2	İgnimbrit-1	Plajiolklas (oligoklas ve andezin türünde), piroksen, sanidin, biyotit, opak mineraller
3	İnce kristalen diyabaz	Plajiolklas, piroksen, opak mineraller
4	İgnimbrit-2	Plajiolklas, kuvars, opak mineraller, bazalt, andezit, dasit, trakit ve pomza kaya parçaları
5	Trakit	Plajiolklas, sanidin, piroksen, amfibol, opak mineraller
6	Litik Tüf	Plajiolklas, kalsit, opak mineraller, bazalt, trakibazalt, kuvarsit, andezit kaya parçaları
7	Granodiyorit	Ortoklaz, plajiyoklas, mikroklin, kuvars, amfibol, biyotit, titanit, opak mineraller
8	Mermer	Kalsit, ankerit, az aragonit
9	İgnimbrit-3	Kuvars, plajiyoklas, sanidin, biyotit (piroklastik), opak mineraller



Şekil 2. Yapay süreksizlik elde etmede kullanılan düzenek.

*Figure 2. Apparatus used to obtain artificial discontinuities.*

Özel düzenek ile ikiye ayrılan numuneler göz ile incelenmiş ve bazı numunelerin kırılma yüzeylerinin konkav olduğu, eş düzlemsel yüzeyler oluşturacak şekilde ikiye ayrılmadığı görülmüştür. Bu numuneler, doğrudan kesme deneylerinde doğru sonuçları vermeyeceğinden dolayı kullanılmamıştır.

### **Doğrudan kesme deneyi**

Doğrudan kesme deneylerini gerçekleştirmek amacıyla eş düzlemsel süreksizlik yüzeylerine sahip olacak şekilde ikiye ayrılan numuneler kesme kutusu hücresine

yerleştirilmiş ve örneği kutuya sabitlemek amacıyla kalıp ve numunenin arası uygun kıvamda hazırlanan alçı ile doldurulmuştur. Alçının kurumması için 24 saat beklenmiştir. Deney öncesinde kesme kutusu hücresinin iç kısımları gres ile yağlanarak deney sonunda alçının metal yüzeyden kolay ayrılması sağlanmıştır. Bu sayede numunelerin kesme hücresinden kolay bir şekilde çıkarılabilmesi sağlanmıştır. Hazırlanmış olan numuneler kesme kutusu içerisine yerleştirilerek, hücre üzerinde bulunan vidalar yardımıyla süreksizlik düzlemlerinin yatay düzleme paralel olması sağlanmıştır

Çalışmada kullanılan servo kontrollü doğrudan kesme cihazı “Wille Geotechnik” markasıyla tasarlanmış ve üretilmiştir. Normal ve kesme yükleri, iki hidrolik pompa tarafından uygulanmaktadır. Hidrolik pompalar maksimum 300 kN normal ve kesme yükü uygulayabilme kapasitesine sahiptir. Kesme cihazı hem statik hem de dinamik kesme kuvvetleri uygulayabilmektedir. Deney sırasında yatay ve dikey yer değiştirmeler 25 mm ölçüm kapasitesine ve 0,001 mm ölçüm hassasiyetine sahip deformasyon ölçerler ile ölçülmektedir. Cihaz motorlarının ısınmasını önlemek için şebeke suyundan soğutma suyu sağlanmaktadır (Şekil 3). Elde edilen verileri kaydetmek için veri toplayıcı ve incelemek için yüksek çözünürlüklü dönüştürücüler kullanılmaktadır. Cihazda kullanılan tüm sensörler ve ölçüm üniteleri bilgisayar üzerinden GEOSys yazılımı ile kontrol edilmektedir.

Numune kalıbının içerisine daha önce bahsedildiği gibi yerleştirilen numune alçı donduktan sonra cihaz içerisine kesme düzlemine paralel olacak şekilde yerleştirilir, ayarları yapıldıktan sonra başlık kapakları kapatılarak vidaları sıkılır ve gerekli bağlantıları yapılır. Numunelere normal gerilme uygulanırken



Kayabalı, Pınarcı, Habibzadeh, Beyhan, Fidan Üzgün, Yakut

çelik numune kalıbı ve başlığın ağırlığı da dikkate alınarak normal yükler tatbik edilmiştir. Deneysel 1 mm/dk sabit kesme hızı altında gerçekleştirilmiştir.

### Profilometre Deneyi

Özel düzenele ile elde edilen taze yüzeylerin pürüzlülük açısı ölçümleri profilometre cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Kaya süreksizliklerin pürüzlülükleri genellikle pürüzlülük tarağı kullanılarak belirlenir, ancak pürüzlülüklerin ölçümleri daha hassas ölçüm yapabilen farklı amaçlar için tasarlanmış elektromekanik pürüzlülük ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Profilometre cihazı yatay yönde 100 mm ve düşey yönde 50 mm ölçüm yapabilmektedir. Cihazın ölçüm hızı kapasitesi 0,02-5 mm/s arasında olup, bu çalışma kapsamında ölçme hızı 1 mm/s olarak belirlenmiştir. Ölçümler Mitutoyo marka CV-2100 model cihazla farklı yönlerde (kesme yönünü, kesme yönüne dik ve çapraz) 0,1 mikron hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).

Kenar uzunluğu küçük olan numunelerde (10 cm) tek seferde ölçüm yapılabilirken, daha büyük olan numunelerde (15–20 cm) manevra yetersizliğinden dolayı ölçümler iki seferde tamamlanmıştır. Taranan yüzeyin görseli bilgisayar yazılımına aktarıldıktan sonra pürüzlülük hattı kontrol edilerek belirlenen sabit aralıklarla düzlem üzerine teğet çizilerek bu çizginin yatayla yapmış olduğu açı belirlenmiştir. Her bir kaya için yapay süreksizlikler üzerinde en az 20 adet ölçüm alınmış ve bunların aritmetik ortalamaları süreksizliğin pürüzlülük açısı ( $i$ ) olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5).



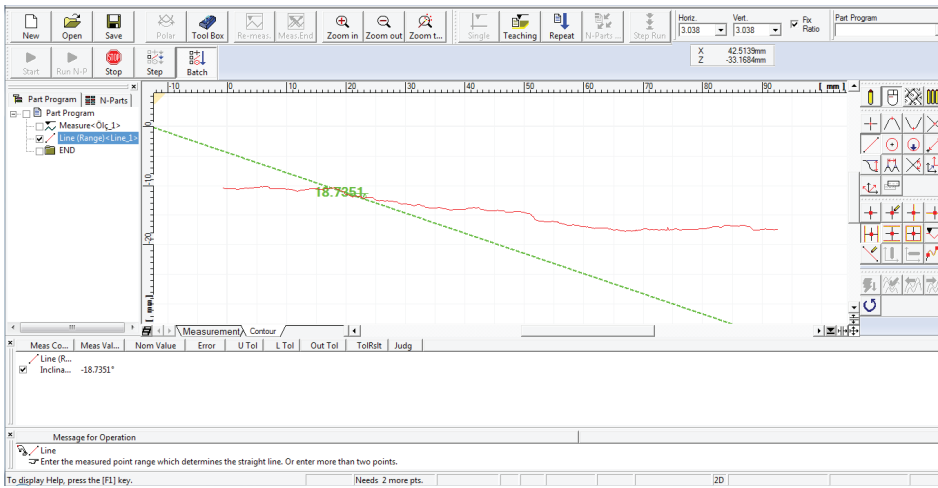
Şekil 3. Doğrudan kesme cihazı.

Figure 3. Direct shear device.



Şekil 4. Profilometre cihazı.

Figure 4. Profilometer device.



Şekil 5. Pürüzlülük açısı ölçümüne ait örnek bir ekran görüntüsü.

Figure 5. An example screenshot of roughness angle measurement.

### Tiltmetre deneyi

Tiltmetre (eğdirme) deneyi, düz süreksizlik yüzeylerinin temel içsel sürtünme açılarını ( $\phi_b$ ) belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Kaya numunelerinin  $\phi_b$  değerlerinin belirlenmesi amacıyla özel olarak tasarlanmış taşınabilir bir tiltmetre düzeneği yaptırılmıştır (Şekil 6).

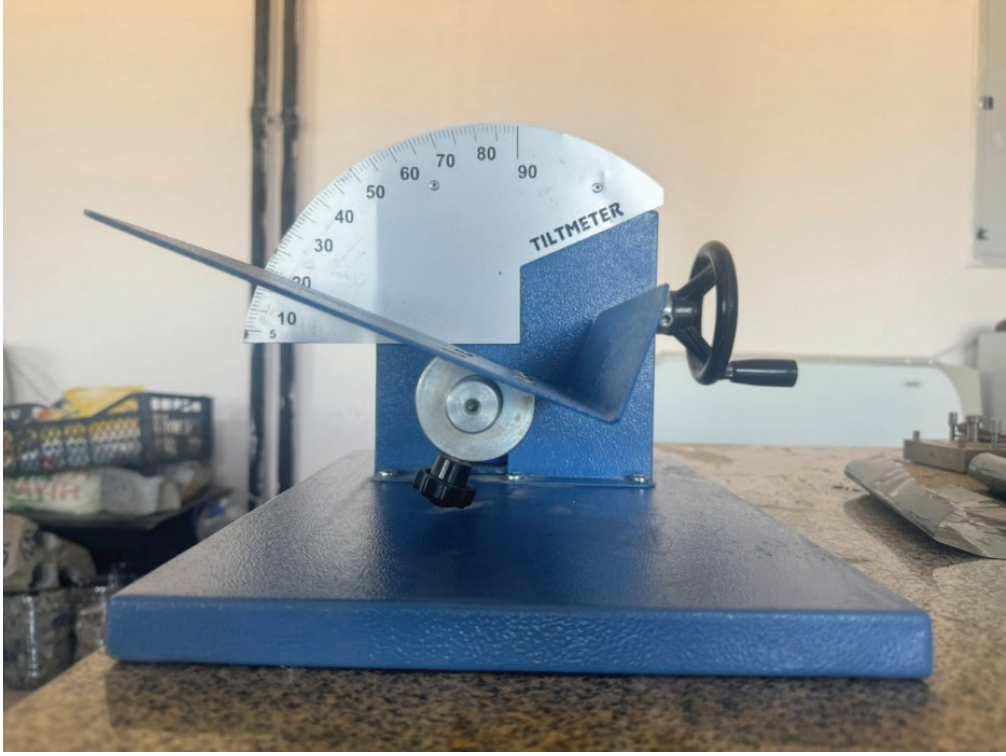
Laboratuvara getirilen ve iki parçaya ayrılmış olan numunelerden deney çiftleri oluşturulmuştur. Tiltmetre tablası yatay düzleme paralel konuma getirildikten sonra deney çiftinin taze kırılma yüzeyi dışa gelecek, testere ile kesilen yüzeyi içe gelecek şekilde deney tablasına yerleştirilmiştir. Daha sonra düzenek kolu dikkatli bir şekilde çevrilerek üstte yer alan numune hareket etmeye başladığı anda deney bitirilip düzlemin açısı kaydedilmiştir. Daha sonra örnek 90° çevrilerek aynı şekilde ikinci bir açı daha belirlenmiştir.

Dört hat için elde edilen süreksizlik kayma açılarının ortalaması temel içsel sürtünme açısını verir. Bu deneyden elde edilen  $\phi_b$  açıları, çift eğrili Patton yenilme eğrisinden elde edilen  $\phi_b$

ve profilometre deneyinden elde edilen  $i$  açıları ile birlikte  $\phi_t$  değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

### BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışma kapsamında kullanılan 9 farklı kayanın temel içsel sürtünme açısı değerlerini belirlemek amacıyla tiltmetre cihazında deneyler yapılmıştır. Deneyler taş testeresi ile kesilmiş yüzeyler ve karot yüzeyleri üzerinde her bir numune için 15 kez tekrar edilmiş ve bu sonuçların ortalaması kayacın  $\phi_b$  değeri olarak alınmıştır. Ölçüm sonuçlarına ilişkin veriler Çizelge 2’de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre  $\phi_b$  değeri en yüksek 9 No.’lu kaya en düşük ise 4 No.’lu kayadır. Her bir kaya türü için elde edilen verilerin değişim aralığının bir ifadesi olan ve standart sapmanın ortalamaya oranı olarak tanımlanan değişim katsayısı (COV) değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler incelendiğinde verilerin dar bir aralıkta değişim gösterdiği gözlenmiştir. En yüksek COV değerinin %4,9 ile 7 No.’lu kayaya ait olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Tiltmetre deney cihazı.

Figure 6. Tiltmeter test device.

Doğrudan kesme deneylerinde yapay süreksizlik düzlemleri üzerinde  $i$  açılarını belirlemek amacıyla çok sayıda profilometre ölçümü gerçekleştirilmiştir. Her bir farklı blok üzerinde farklı yönlerde 3 ya da 4 adet yüzey taraması yapılmıştır. Yüzey taramaları doğrudan kesme deneyindeki kesme yönüne dik, paralel ve köşeden köşeye çapraz olacak şekilde ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Ölçümler profilometre cihazında yapıldıktan sonra elde edilen süreksizlik yüzey geometrileri bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen profiller üzerinde cihaza ait yazılım aracılığı ile her bir profil üzerinde çok sayıda  $i$  açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Görülen

pürüzlüklerin seçilerek  $i$  açılarının ölçüldüğü durumda veri dağılımının her bir profil için daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sebeple ölçümler yapılırken profil üzerinde yakınlştırma yapılarak eşit aralıklarla ilerlemeye dikkat edilmiştir. Bu sayede her bir profil üzerinde en az 20 ölçüm alınması sağlanmıştır.

Çizelge 3'de 1 No.'lu kayaya ait 6 farklı örnek üzerinde yapılan profilometre ölçüm sonuçları sunulmuştur. Elde edilen  $i$  açıları incelendiğinde süreksizlik yüzeylerinin doğal yapısı gereği değerlerin çok geniş bir aralıkta yayılım gösterdiği gözlenmiştir.

Çizelge 2. Tiltmetre deneylerinden elde edilen  $\phi_b$  değerleri.

Table 2.  $\phi_b$  values obtained from tiltmeter tests.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	44,1	37,4	38,4	29,8	34,3	35,3	35,6	33,4	41,3
2	43,2	38,1	38,7	28,7	33,2	35,1	34,5	32,3	42,3
3	43,5	37,8	39,2	29,1	32,84	35,0	31,2	31,5	43,1
4	42,6	38,5	39,5	30,2	33,6	35,3	32,3	32,1	43,3
5	41,5	39,2	39,8	29,4	33,5	34,6	31,2	31,4	43,1
6	41,3	38,3	39,6	27,7	33,6	36,5	30,5	31,7	43,4
7	41,5	38,6	40,2	27,5	34,0	36,0	30,9	32,1	42,1
8	42,9	38,4	40,6	28,2	34,5	35,1	30,	32,5	41,2
9	41,7	38,9	38,6	27,4	33,4	35,0	30,5	33,1	43,3
10	43,4	38,4	40,5	28,1	32,8	36,4	31,9	33,4	42,2
11	42,6	38,8	39,8	27,8	32,6	35,1	30,7	33,3	42,6
12	42,8	37,8	40,5	28,0	33,7	36,0	30,9	33,9	43,9
13	43,1	38,9	39,7	27,2	33,0	35,7	31,2	32,3	43,0
14	42,5	38,3	40,9	27,5	33,3	35,1	31,1	32,4	42,5
15	42,6	37,7	40,8	28,4	33,0	36,0	30,8	32,6	43,2
<b>Ortalama <math>\phi_b</math></b>	<b>42,6</b>	<b>38,3</b>	<b>39,8</b>	<b>28,3</b>	<b>33,4</b>	<b>35,5</b>	<b>31,5</b>	<b>32,5</b>	<b>42,7</b>
<b>Standart sapma</b>	<b>0,82</b>	<b>0,51</b>	<b>0,81</b>	<b>0,92</b>	<b>0,56</b>	<b>0,58</b>	<b>1,53</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>
<b>Değişim katsayısı COV, %</b>	<b>1,92</b>	<b>1,33</b>	<b>2,03</b>	<b>3,24</b>	<b>1,67</b>	<b>1,64</b>	<b>4,86</b>	<b>2,32</b>	<b>1,81</b>

9 kaya için yapılan profilometre deney sonuçlarına ait özet sonuçlar Çizelge 4'te sunulmuştur. Bu sonuçlara göre en yüksek  $i$  açısının 7 No.'lu kayaya; en düşük  $i$  açısının ise 3 No.'lu kayaya ait olduğu görülmektedir. Aynı kayadaki farklı ölçüm yönlerinin ortalamalarının kendi aralarındaki standart sapmaları incelendiğinde 9 kayada en yüksek standart sapmanın  $0,89^\circ$  ile 1 No.'lu kayaya ait olduğu belirlenmiştir.  $1^\circ$ 'den küçük olan bu sapma, ölçümlerin yüksek doğrulukta ve hassasiyette yapılabildiğini göstermektedir.

Çalışmada  $\phi_b$  ve  $\phi_t$  değerlerini elde edebilmek amacıyla 9 farklı kaya üzerinde 6 farklı normal gerilme altında doğrudan kesme deneyleri yapılarak yenilme zarfları elde edilmiştir. Deneylerde kesme hızı 1mm/dk olacak şekilde sabit tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda

her bir kaya için gerilme-deformasyon eğrileri elde edilmiştir. 1 No.'lu kayaya ait örnek gerilme-deformasyon eğrileri Şekil 7'de verilmiştir. Elde edilen gerilme deformasyon eğrilerinin pik noktaları o numune için yenilme yükü olarak kabul edilmiştir. Uygulanan normal gerilme ( $\sigma_n$ ) ve o normal gerilmelerde elde edilen yenilme yükleri ( $\tau$ ) kullanılarak yenilme zarfları çizilmiştir. Elde edilen yenilme zarflarının Patton çift eğrili yenilme modeline uyumlu olduğu gözlenmiştir. Düşük normal gerilmelerde kohezyon değeri sıfır olarak elde edilirken normal gerilmeler artırıldığında pürüzlülüklerin tıraşlanması sonrasında çizilen yenilme zarfında kohezyon değerinin yükseldiği görülmektedir. Elde edilen iki ayrı yenilme zarfının genellikle 2 MPa normal gerilme seviyesinde birbirleriyle kesiştiği görülmüştür. (Şekil 8).



Kayabalı, Pınarcı, Habibzadeh, Beyhan, Fidan Üzgün, Yakut

Çizelge 3. 1 No.'lu kayaya ait profilometre ölçüm sonuçları.

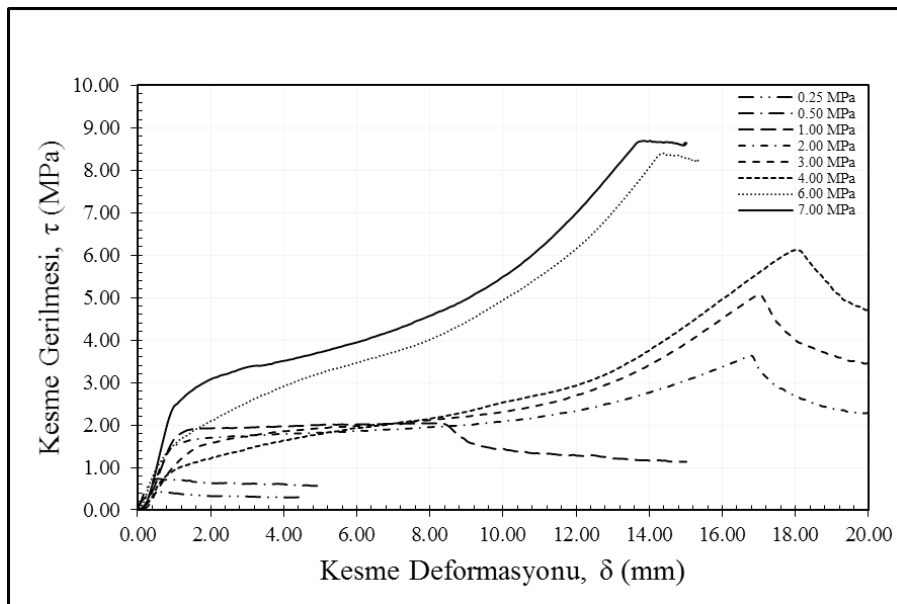
Table 3. Profilometer measurement results of sample No. 1.

1-1-1		1-1-2		1-1-3		1-1-4		1-1-5		1-1-6					
No.	i (°)	No.	i (°)	No.	i (°)	No.	i (°)	No.	i (°)	No.	i (°)				
1	10,41	42	9	1	1,28	43	8,7	1	0,47	1	9,5	1	0,77	1	14,02
2	7,26	43	12,78	2	1,67	44	12,51	2	15,36	2	7,45	2	13,75	2	9,62
3	4,78	44	10,92	3	11,62	45	5,97	3	4,33	3	14,89	3	2,49	3	13,87
4	3,67	45	12,49	4	5,13	46	7,97	4	10,86	4	8,55	4	7,00	4	6,15
5	0,67	46	2,92	5	8,62	47	13,56	5	11,09	5	4,72	5	12,27	5	8,80
6	18,2	47	9,93	6	14,26	48	8,85	6	5,18	6	4,92	6	5,98	6	1,00
7	11,17	48	11,19	7	7,83	49	11,76	7	11,45	7	7,79	7	5,37	7	0,53
8	28,27	49	16,02	8	9,68	50	3,26	8	1,09	8	13,22	8	7,71	8	16,55
9	5,4	50	12,61	9	10,83	51	14,92	9	14,79	9	2,29	9	11,94	9	5,53
10	7,82	51	9,97	10	6,89	52	17,4	10	11,55	10	20,81	10	17,32	10	6,89
11	1,18	52	4,98	11	16,72	53	3,01	11	13,82	11	4,58	11	8,03	11	4,22
12	3,65	53	11,12	12	10,3	54	15	12	5,68	12	7,65	12	0,79	12	1,59
13	11	54	6,42	13	13,24	55	10,37	13	8,39	13	11,05	13	10,23	13	11,34
14	5,92	55	1,02	14	7,16	56	19,03	14	4,1	14	5,59	14	1,57	14	0,18
15	0,054	56	14,41	15	6,0	57	9,46	15	9,34	15	17,21	15	3,40	15	7,35
16	4,176	57	6,44	16	9,26	58	4,28	16	3,09	16	13,45	16	1,47	16	11,61
17	19,67	58	4,71	17	8,43	59	19,95	17	1,33	17	13,58	17	8,38	17	0,16
18	0,6	59	1,88	18	2,75	60	6,94	18	3,84	18	6,33	18	1,85	18	18,00
19	10,61	60	9,95	19	9,68	61	4,1	19	14,6	19	1,06	19	5,16	19	4,84
20	6	61	25,28	20	26,83	62	19,42	20	13,18	20	12,59	20	5,29	20	11,43
21	17,63	62	18,44	21	4,1	63	4,85	21	3,6	21	1,82	21	8,48	21	6,95
22	0,701	63	5,78	22	9,81	64	1,77	22	13,45	22	14,57	22	2,1	22	11,30
23	2,71	64	18,29	23	17,7	65	18,29	23	10,17	23	3,67	23	13,37	23	12,67
24	15,42	65	15,22	24	9,33	66	2,89	24	6,7	24	25,18	24	5,02	24	9,28
25	27,04	66	5,77	25	7,11	67	12,1	25	8,62	25	6,47	25	6,64	25	3,38
26	3,79	67	4,03	26	5,02	68	23,9	26	9,3	26	8,49	26	11,17	26	5,75
27	8,74	68	6,05	27	12,09	69	10,3	27	15,0	27	6	27	8,67	27	7,96
28	16,71	69	8,03	28	6,76	70	9,54	28	4,2	28	2,55	28	3,85	28	9,20
29	27,28	70	8,9	29	2	71	4,53	29	11,12	29	3,85	29	9,65	29	18,30
30	5,03	71	10,84	30	2,42	72	9,36	30	14,78	30	18,22	30	2,23	30	4,35
31	3,04	72	12,15	31	18,24	73	5,93	31	12,75	31	3,79	31	3,29	31	12,11
32	26,07	73	6,42	32	4,94	74	14,28	32	0,89	32	12,32	32	24,36	32	8,06
33	7,28	74	21,58	33	2,97	75	2,51	33	14,59	33	5,07	33	12,39	33	16,17
34	21,83	75	2,04	34	8,15	76	9,14	34	8,67	34	14,47	34	5,6	34	9,90
35	0,48	76	16,47	35	4,58	77	19,8	35	5,44	35	9,3	35	6,47	35	16,25
36	11,55	77	6,55	36	7,67	78	15,46	36	1,64	36	9,5	36	14,12	36	1,34
37	8,05			37	9,12	79	4,83	37	16,91	37	1,83			37	5,93
38	12,32			38	0,09	80	12,22	38	3,9	38	7,05			38	0,46
39	11,35			39	9,22	81	9,4	39	6,6	39	7,33			39	11,50
40	6,13			40	22,86	82	2,1	40	4,29	40	0,1			40	12,10
41	2,61			41	7,91	83	14,16	41	9,71	41	4,87			41	0,36
				42	7,08	84	17,3	42	10,11	42	10,6			42	5,17
								43	7,22	43	12,57			43	18,96
										44	10,9				
										45	3,6			44	9,02
										46	25,59				
										47	0,74				
										48	23,7				
<b>Ortalama</b>			9,83	<b>Ortalama</b>			9,62	<b>Ortalama</b>	8,45	<b>Ortalama</b>	9,20	<b>Ortalama</b>	7,45	<b>Ortalama</b>	8,41
<b>Minimum</b>			0,05	<b>Minimum</b>			0,09	<b>Minimum</b>	0,47	<b>Minimum</b>	0,10	<b>Minimum</b>	0,77	<b>Minimum</b>	0,16
<b>Maksimum</b>			28,27	<b>Maksimum</b>			26,83	<b>Maksimum</b>	16,91	<b>Maksimum</b>	25,59	<b>Maksimum</b>	24,36	<b>Maksimum</b>	18,96

Çizelge 4. Profilometre deneyi özet sonuçları.

Table 4. Summary of the results of profilometer tests.

Kayaç No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Numune sayısı	6	8	6	6	17	18	4	6	6
Ölçülen Yön sayısı	3	3	3	4	4	4	3	4	4
Ortalama Pürüzlülük Açısı ( $i$ )	9,06	6,84	6,01	8,38	7,82	9,00	9,7	7,04	8,40
Profiller arası standart sapma	0,89	0,55	0,26	0,49	0,33	0,76	0,59	0,66	0,6



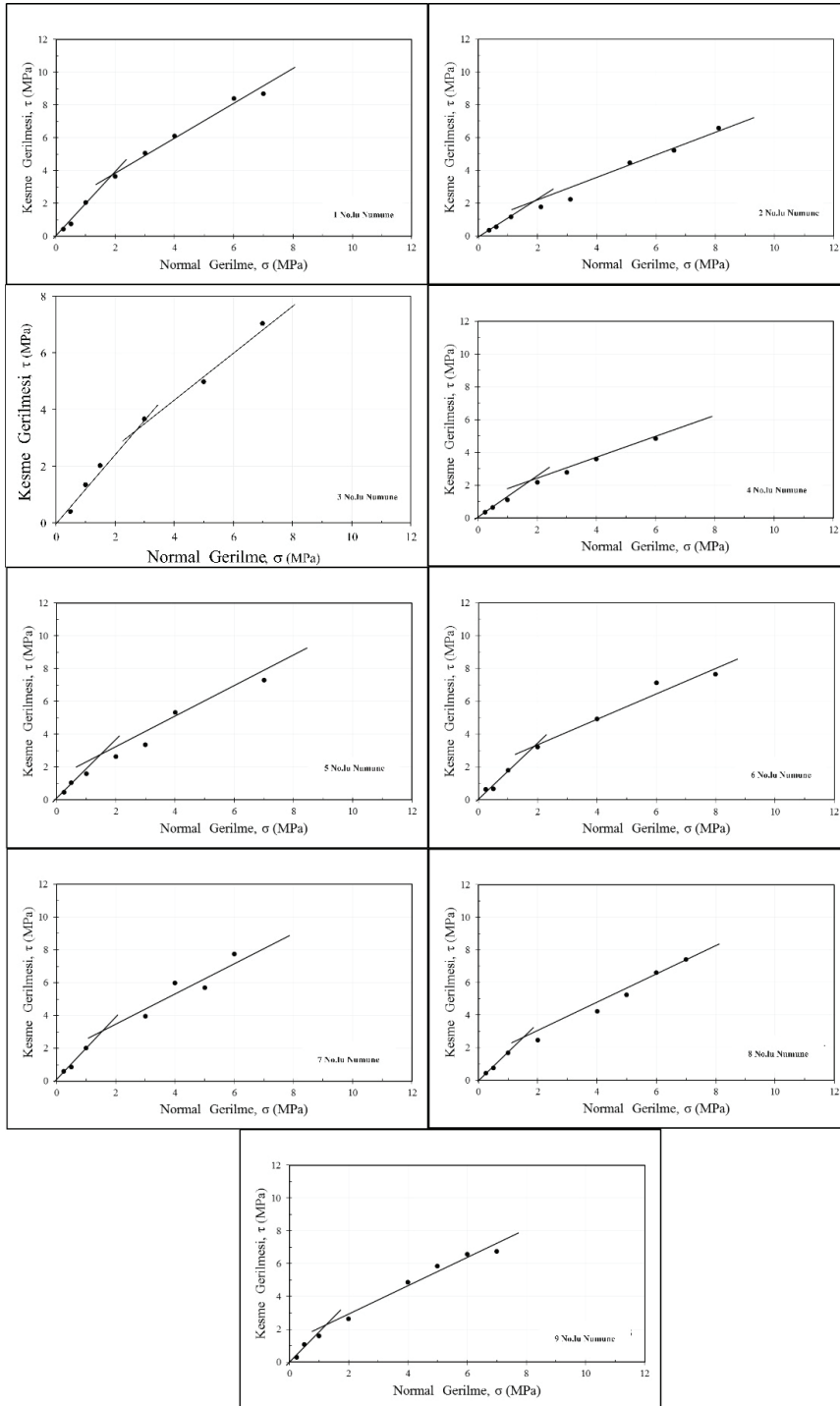
Şekil 7. 1 No'lu kaya için farklı normal gerilmelere ait gerilme - deşformasyonu grafikleri.

Figure 7. Stress-deformation graphs under different normal stresses for sample No 1.

Profilometre, tiltmetre ve doğrudan kesme deney sonuçlarına ait veriler Çizelge 5'te sunulmuştur. Bu sonuçlar incelendiğinde tiltmetre deneyinden elde edilmiş olan  $\phi_b$  değerleri doğrudan kesme deneyinden elde edilen Patton çift eğrili yenilme zarfından elde edilen  $\phi_b$  değerleri ile karşılaştırıldığında sonuçların

birbirine oldukça yüksek bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar arasındaki farklar yüzde olarak ifade edildiğinde en düşük değerin %0,4 ile 5 No.'lu kayaya, en yüksek değerin ise %7,9 ile 7 No.'lu kayaya ait olduğu görülmektedir.

Kayabalı, Pınarcı, Habibzadeh, Beyhan, Fidan Üzgün, Yakut



Şekil 8. Doğrudan kesme deneylerinden elde edilen çift eğrili Patton yenilme zarfları.

Figure 8. Patton bi-linear failure envelopes obtained from direct shear tests.

Toplam sürtünme ( $\phi_t$ ) açılarının değerlendirilmesi için profilometre ve tiltmetre deneyinden bulunan değerlerin toplamı ( $\phi_b + i$ ) ile Patton çift eğrili yenilme zarfının ilk bölümün eğim açısı karşılaştırıldığında 7 ve 8 No.'lu kayalar (granodiyorit ve mermer) hariç geri kalan değerlerin birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir (Çizelge 5).

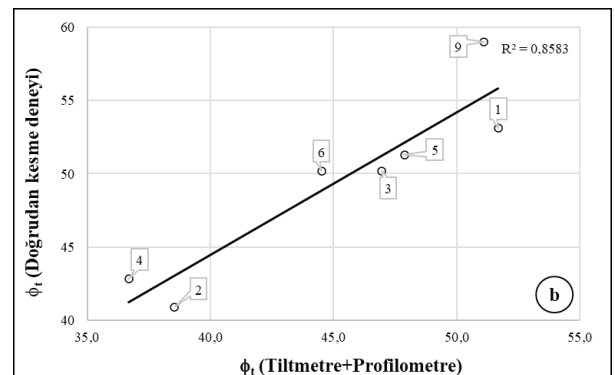
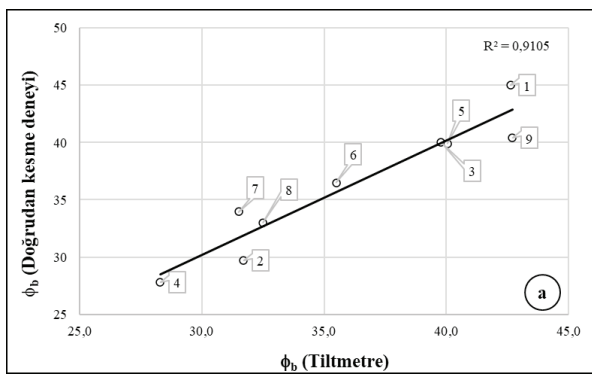
Profilometre ve tiltmetre deneylerinden elde edilen  $\phi_b$  ve  $\phi_t$  değerleri doğrudan kesme

deneylerinde elde edilen sonuçlar ile grafiksel olarak karşılaştırıldığında 9 kaya için  $\phi_b$  değerleri arasında 0,91 gibi oldukça yüksek bir korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) elde edildiği görülmektedir. Ancak,  $\phi_t$  değerleri grafiksel olarak incelendiğinde 7 ve 8 No.'lu kayaların  $\phi_t$  değerlerinin iki farklı yöntemle göre farklı değerler aldığı görülmektedir. Bu iki kaya analiz dışında bırakıldığında geriye kalan 7 kaya arasında korelasyon katsayısının ( $R^2$ ) 0,86 olarak elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 9).

Çizelge 5. Profilometre, tiltmetre ve doğrudan kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar.

Table 5. The results obtained from the profilometer, tiltmeter and direct shear tests.

Numune No.	Pürüzlülük Açısı (Profilmetre) $i$		$\phi_b$ (Doğrudan kesme deneyi)	$\phi_t$ ( $\phi_{b+i}$ ) (Profilmetre+Tiltmetre)	$\phi_t$ (Doğrudan kesme deneyi)	Pürüzlülük Açısı ( $i = \phi_t - \phi_b$ ) (Patton eğrisinden)		Fark $\phi_b$ (%)	Fark $\phi_t$ (%)
		$\phi_b$ (Tiltmetre)							
1	9.1	42.6	45.0	51.7	53.1	8.1	5.6	2.7	
2	6.8	31.7	29.7	38.5	40.9	11.2	6.3	5.8	
3	7.2	39.8	40.0	47.0	50.2	10.2	0.5	6.5	
4	8.4	28.3	27.8	36.7	42.8	15.0	1.8	14.3	
5	7.8	40.1	39.9	47.9	51.3	11.4	0.4	6.7	
6	9.0	35.5	36.5	44.5	50.2	13.7	2.8	11.4	
7	9.7	31.5	34.0	41.2	55.2	21.2	7.9	25.4	
8	7.0	32.5	33.0	39.5	58.9	25.9	1.54	32.9	
9	8.4	42.7	40.4	51.1	59.0	18.6	5.4	13.4	



Şekil 9. Profilometre, tiltmetre ve doğrudan kesme deneylerinden elde edilen a)  $\phi_b$  değerlerinin ve b)  $\phi_t$  değerlerinin karşılaştırılması (7 No.'lu granodiyorit ve 8 No.'lu ve mermer hariç).

Figure 9. Comparison of a)  $\phi_b$  values b)  $\phi_t$  values obtained from profilometer, tiltmeter and direct shear tests (except No.7 granodiorite and No.8 marble).



Kayabalı, Pınarcı, Habibzadeh, Beyhan, Fidan Üzgün, Yakut

Patton çift eğrili yenilme zarfından elde edilen farklı eğime sahip iki farklı yenilme zarfının eğim açılarının farkı ( $i = \phi_t - \phi_b$ ) pürüzlülük açısı olarak değerlendirilerek profilometre ölçümleri ile karşılaştırıldığında 1 ve 3 numaralı örnekler hariç tutulduğunda değerlerin birbirinden oldukça farklı olduğu görülmektedir.

## SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmada farklı köken ve petrografik özelliklere sahip 9 adet kaya üzerinde profilometre, tiltmetre ve doğrudan kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Profilometre ölçümleri yapılırken yazılıma aktarılan profil üzerinde yakınlaştırma yapılarak eşit aralıklarla ölçümler alınmasına dikkat edilmiştir. Bu yöntem ölçümlerin daha standart ve hassas olmasını sağlamaktadır. Bunun aksine ekranda görülen pürüzlülükler kullanıcı tarafından seçilerek tavan ve taban pik noktaları arası ölçüldüğü durumda kullanıcı etkisi ve çözünürlük etkisinin devreye girebileceği ve ölçüm sonuçlarında yanlılığa neden olabileceği sonucuna varılmıştır. Eşit aralıklarla ölçümler yapılarak oldukça tutarlı veri setlerinin elde edilebilmesi sağlanmıştır.

$\phi_b$  değerini elde edebilmek amacıyla tiltmetre deneyleri her bir örnek için 15 defa tekrar edilerek bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Ölçümlerin standart sapma ve değişim katsayısı değerlerinin oldukça düşük olması bu deney sonuçlarının oldukça yüksek hassasiyette ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Ancak, Patton eğrilerinin eğimlerinin farkı kullanılarak elde edilen  $i$  değerlerinin profilometre deneyinden elde edilen değerlerle uyumsuz olduğu görülmüştür. Bu uyumsuzluğun daha fazla örnekle daha çok sayıda deney yapılarak araştırılması önerilmektedir.

Profilometre deneyi ve tiltmetre deneyinden elde edilen  $\phi_b$  ve  $\phi_t$  değerlerinin doğrudan kesme deneylerinde elde edilen değerlerle uyumlu olduğu;  $\phi_b$  değerinin özellikle 3, 4, 5 ve 8 No.'lu kayalarda,  $\phi_t$  değerlerinin ise 1, 2 ve 5 No.'lu kayalarda oldukça yüksek korelasyon sergilediği gözlenmiştir. Deney yapılan toplam 9 kaya için tiltmetre deneyinden elde edilen  $\phi_b$  değerlerinin %91 doğrulukla doğrudan kesme deneylerinden elde edilenler ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Tiltmetre deneylerinden elde edilen  $\phi_b$  ve profilometre deneylerinden elde edilen  $i$  açılarının toplamıyla ( $\phi_t = \phi_b + i$ ) doğrudan kesme deneyinden elde edilen  $\phi_t$  değerleri karşılaştırıldığında 7 No.'lu granodiyorit ve 8 No.'lu mermer hariç tutulduğunda yüksek bir uyum gözlenmektedir ( $R^2 = 0,86$ ). 7 ve 8 No.'lu kayalardaki sapma derecesinin fazla oluşunun, test edilen diğer kayalara kıyasla bu kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının hayli yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tek eksenli sıkışma dayanımı yüksek olan kayalarda bu yöntemin uygulanabilirliğinin daha fazla sayıda örnek ve deneyle araştırılması önerilir.

Bu araştırmadan çıkan genel sonuca göre, bir kayaya ait birkaç adet numuneyi laboratuvarında doğrudan kesme deneyine tabi tutmadan Patton çift eğrili yenilme zarfının elde edilebilmesinde bir yaklaşımda bulunulabileceği düşünülmektedir. Geriye, bu eğrilerin kesişim noktasının hangi normal gerilme değerinde kesiştiğinin belirlenmesi kalmaktadır. Habibzadeh (2020)'e göre bu kesişme 2 MPa'da gerçekleşmektedir.

Sınırlı sayıda ve sadece 9 adet kayada gerçekleştirilen bu çalışmanın süreksizliklerin kesme dayanımını pratik yoldan belirlemede profesyonellere yönelik önemli kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak, bu

çalışmada elde edilen sonuçların daha geniş bir veri setiyle teyit edilmesi önerilir.

## KAYNAKLAR

- Alejano, L. R., González, J. & Muralha, J. (2012). Comparison of Different Techniques of Tilt Testing and Basic Friction Angle Variability Assessment. *Rock Mech. Rock Eng.* 45(6):1023-1035. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0265-7>
- Barton, N. (1973). Review of a New Shear Strength Criterion for Rock Joints. *Engineering Geology.* 7:287-332. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(73\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0013-7952(73)90013-6)
- Brady, B. H. G. & Brown, E. T. (2005). *Rock Mechanics for Underground Mining*: New York, Kluwer Academic Publishers, 628 p.
- Bruce, I. G., Cruden, D. M. & Eaton, T. M. (1989). Use of a Tilting Table to Determine the Basic Friction Angle of Hard Rock Samples. *Can. Geotech. J.* 26:474-479. <https://doi.org/10.1139/t89-060>
- Coulomb, C. A. (1776). *Essai sur une application des regles de maximis et minimis quelques problemes de statique, relatits a l'architecture*. Memoires de Mathematique de l'Academie Royale de Science 7, Paris.
- Cruden, D. M. & Hu, X. Q. (1988). Basic Friction Angles of Carbonate Rocks from Kananaskis County, Canada. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 38(1):55-59. <https://doi.org/10.1007/BF02590448>
- González, J., González-Pastoriza, N., Castro, U., Alejano, L. R. & Muralha, J. (2014). Considerations on the Laboratory Estimate of the Basic Friction Angle of Rock Joints. In: Alejano R, Perucho A, Olalla C, Jimenez R. (eds) *Rock eng. and rock mech: structures in and on rock masses (EUROCK 2014)*, ISRM Eu Reg. Symp, Vigo, pp 199-204. <https://doi.org/10.1201/b16955-31>
- Goodman, R. E. (1970). The Deformability of Joints. In *Determination of the In Situ Modulus of Deformation of Rock*. Am. Soc. Testing and Materials, Spec. Tech. Publication, No. 477, 174-96. <https://doi.org/10.1520/STP477-EB>
- Habibzadeh, F. (2020). *Süreksizliklerin Statik ve Dinamik Koşullardaki Kesme Dayanımının Yapay Süreksizlikler Yoluyla Karşılaştırılması*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 185s.
- Hoek, E. (2023). *Practical Rock Engineering*. (<https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>).
- Horn, H. M. & Deere D. U. (1962). Frictional Characteristics of Minerals. *Géotechnique* 12:319-335. <https://doi.org/10.1680/geot.1962.12.4.319>
- Jang, H. S., Zhang, Q. Z., Kang, S. S. & Jang, B. O. (2018). Determination of the Basic Friction Angle of Rock Surfaces by Tilt Tests. *Rock Mech Rock Eng* 51, 989-1004. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1388-7>
- Mohr, O. (1900). Welche Umstände Bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch eines Materials? *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 44, pp. 1-12.
- Patton, F. D. (1966). *Multiple Modes of Shear Failure in Rock and Related Material*. Ph.D. Thesis, University of Illinois, p 282.
- Paulding, B. W. Jr. (1970). Coefficient of Friction of Natural Rock Surfaces. *Proc. ASCE. Soil Mech. Foundation Div.*, Vol. 96 (SM2), 385-94. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001393>
- Poropat, G. V. (2008). *Remote Characterization of Surface Roughness of Rock Discontinuities*. In Y. Potvin, J. Carter, A. Dyskin, & R. Jeffery (eds.), *Proceedings 1<sup>st</sup> Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium*, Perth, Australia, 16-19 September 2008: 447-458. [https://doi.org/10.36487/ACG\\_repo/808\\_123](https://doi.org/10.36487/ACG_repo/808_123)
- Rengers, N. (1971). *Roughness and Friction Properties of Separation Planes in Rock*. Thesis, Tech. Hochschule Fredericiana, Karlsruhe, Inst. Bodenmech. Felsmech. Veroff, 47, 129 pp.

Kayabalı, Pınarcı, Habibzadeh, Beyhan, Fidan Üzgün, Yakut

- Ruiz, J. & Li, C. (2014). Measurement of the Basic Friction Angle of Rock by Three Different Tilt Test Methods. In: Alejano R, Perucho A, Olalla C, Jimenez R (eds) Rock eng and rock mech: structures in and on rock masses (EUROCK 2014), ISRM EU reg symp, Vigo, pp 261-266. <https://doi.org/10.1201/b16955-42>
- Stimpson, B. (1981). A Suggested Technique for Determining the Basic Friction Angle of Rock Surface using Core. *Int J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abst.* 18(1):63–65. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(81\)90266-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(81)90266-7)
- Wines, D. R. & Lilly, P. A. (2003). Estimates of Rock Joint Shear Strength in Part of the Fimiston Open Pit Operation in Western Australia. *Int J Rock Mech Min Sci* 40(6):929-937. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(03\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(03)00020-0)
- Wyllie, C. & Mah, W. (2005). *Rock Slope Engineering, Civil and Mining*, 4<sup>th</sup> Edition. Taylor & Francis Group, London and New York, 431 p.
- Zhang, N., Li, C. C., Lu, A., Chen, X., Liu, D. & Zhu, E. (2019). Experimental Studies on the Basic Friction Angle of Planar Rock Surfaces by Tilt Test. *ASTM International. J. Test. Eval.* January 2019; 47(1): 256-283. <https://doi.org/10.1520/JTE20170308>



Araştırma Makalesi / Research Article

## Deprem Araştırmalarında Optik Uyarmalı Lüminesans Tarihlendirme: Kuvars Minerallerinde SAR Protokolü Uygulamaları

*Optically Stimulated Luminescence Dating in Earthquake Research: Applications of the SAR Protocol in Quartz Minerals*

Mehmet YÜKSEL 

Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Sarıçam, Adana, Türkiye

Geliş (Received): 11 Mayıs (May) 2024 / Düzeltme (Revised): 23 Mayıs (May) 2024 / Kabul (Accepted): 26 Mayıs (May) 2024

### ÖZ

Optik uyarmalı lüminesans (OSL) tarihlendirme, paleosismoloji çalışmalarında fay segmentlerinden alınan örneklerin yaşlarını 1 milyon yıla kadar geniş bir aralıkta hesaplamak için kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Temel olarak OSL yöntemi ile örneklerin gün ışığını en son gördükleri zaman hesaplanabilmektedir. Toprakta bol miktarda bulunan kuvars, feldspat vb. minerallerin gömülü oldukları süre boyunca biriktirdikleri doğal radyasyon enerjisi OSL tarihlendirme yönteminin veri kaynağını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, hendeklerin açılması, OSL örneklerinin alınması ve yaş hesaplamalarının yapılması süreçleri ile ilgili genel bilgiler ve dikkat edilmesi gereken önemli noktalara vurgu yapılmış ve daha sonra deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Deneysel çalışmalarla laboratuvar ortamında yaşlandırılan (M1:  $940 \pm 65.8$  yıl, M2:  $6230 \pm 323.96$  yıl, M3:  $24000 \pm 715$  yıl) kuvars örneklerinin tek tablet doz yenileme (SAR) protokolü ile eşdeğer dozları belirlenerek OSL yaşları hesaplanmış ve yaşa karışan hataların hesaplanması ile ilgili istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, OSL Tarihlendirme, Paleosismoloji, SAR Protokolü, Yaş istatistiği

### ABSTRACT

Optically stimulated luminescence (OSL) dating is one of the most important methods in paleoseismology studies to calculate the ages of samples taken from fault segments over a wide range of up to 1 million years. Basically, the time when the samples last saw daylight can be calculated with the OSL method. The natural radiation energy that minerals such as quartz, feldspar, etc., which are abundant in the soil, accumulate during their burial is the data source of the OSL dating method. In this study, general information and important points to be considered about the processes of opening trenches, taking OSL samples and making age calculations are emphasized; and then experimental studies are included. OSL ages were calculated by determining the equivalent doses of quartz samples aged in the laboratory (M1:  $940 \pm 65.8$  years, M2:  $6230 \pm 323.96$  years, M3:  $24000 \pm 715$  years) using the single aliquot regeneration (SAR) protocol, and statistical evaluations were made for the calculation of age errors.

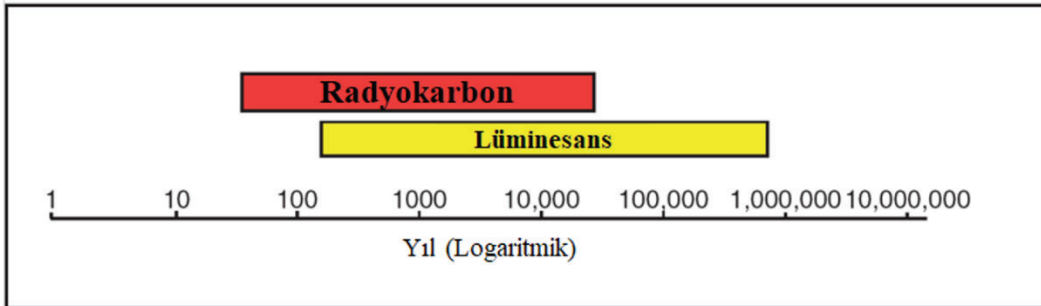
**Keywords:** Earthquake, OSL Dating, Paleoseismology, SAR Protocol, Age statistics



## GİRİŞ

Yalıtkan ve yarıiletken fosforlar doğal ya da yapay radyasyon kaynaklarından yayılan iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldıklarında radyasyon kaynaklı enerjinin bir kısmını soğururlar. Fosforun yapısında depolanan bu enerji, fosforun bir dış kaynakla (ısı, ışık, elektrik alan, basınç vb.) uyarılması sonucunda serbest kalarak ışık olarak yayınlanır. Meydana gelen bu ışık yayınlanması olayı lüminesans olarak adlandırılmaktadır (Gribkovskii ve Vij, 1998; Feathers, 2008; Yukihara ve McKeever, 2011; Yüksel, 2018). Fosforun enerji soğurmasını takiben dış uyarım kaynağı olarak ışık -örneğin mavi- kullanılması sonucunda depolanan enerjinin yine görünür ışık olarak yayılması olayına optik uyarımlı lüminesans (optically stimulated luminescence, OSL) adı verilmektedir (Aitken, 1998). OSL mekanizması, tarihsel gelişim sürecinde dozimetrik çalışmalarda maruz kalınan iyonlaştırıcı radyasyon dozunun ve katıların bazı lüminesans parametrelerinin hesaplanması çalışmalarında kullanıldığı gibi arkeolojik ve jeolojik materyallerin yaşlarının tespit edilmesinde de çokça başvurulan yöntemlerden biri olmuştur (Aitken, 1997). Sedimanların OSL yöntemi kullanılarak tarihlendirilmesi ile ilgili ilk çalışmalar Huntley vd., (1985) tarafından yapılmış olup OSL tarihlendirme yönteminin kullanımı ile ilgili

tarihsel süreç de böylece başlamıştır. Yapılan tarihlendirme çalışmalarında başta kuvars olmak üzere feldspat ve kalsit gibi minerallerin en son güneş ışığına maruz kalmasından bu yana geçen süreye ilişkin hesaplamalar yapılmaya başlanmış ve yöntem tarihsel süreci içerisinde daha da geliştirilerek günümüzdeki yerini almıştır (Huntley vd., 1993; Murray ve Wintle, 2000). OSL tarihlendirme yöntemi kullanılarak başlangıçta 350-400 bin yıla kadar tarihlendirme çalışmaları yapılabilirken teknolojinin gelişimi ile bilgisayarla eğri benzetimlerinin ileri düzeyde yapılabilmesi, özellikle deneysel imkanların gelişmesi ve deneysel veri destekli teorik çözümlenmelerle birlikte lüminesans tuzak ve yük yapılarının daha anlaşılır hale gelmesi sonucunda tarihlendirilebilir yaş aralığı ellili yıllardan 1 milyon yıla kadar (Jull, 2018) uzanan geniş bir yelpazede yapılmaya başlanmıştır (Şekil 1). Yapılan en titiz çalışmalarda OSL yaşlarının % 4-5, titiz davranılmayan çalışmalarda %5-10 seviyesinde hata içerdiği bilinmekle birlikte hata yüzdesi çok genç (ellili) veya çok yaşlı (milyon mertebesindeki) örneklerde artabilmektedir (Feathers, 2008; Wallinga vd., 2014). Yaşa karışabilecek bu hatalar aynı örnek grubundan mümkün olduğunca çok sayıda örnek hazırlanması ve elde edilen yaşların istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda kabul edilebilir bir seviyeye indirilebilmektedir.



Şekil 1. Radyokarbon ve lüminesans tarihlendirme yöntemleri için zaman ölçekleri.

Figure 1. Time scales for radiocarbon and luminescence dating methods.

İnsanlık tarihinden de eski olan deprem ve depremlerle yeryüzünün yeniden şekillenmesi gerçeği göz önüne alındığında yeterli bilimsel çalışmaların yapılmaması ve alınması gereken önlemlerin alınmaması durumunda can ve mal kayıpları yanında tarihsel ve kültürel kayıpların da yüksek oranda yaşanacağı bir gerçektir. Özellikle ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde meydana gelen moment büyüklükleri sırasıyla 7.7 ve 7.6 olan depremler ve bu depremlerden sonra meydana gelen sayısı binlerle ifade edilen artçı depremlerde yaşanan kayıplar deprem gerçeğini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Bu nedenle yaşanmış depremlerin disiplinler arası çalışmalarla bilimsel olarak incelenmesi, risk azaltma çalışmalarının yapılması ve bu çalışmaların sürekli hale getirilmesi oldukça önemli ve güncelliğini koruyan bir çalışma alanıdır. Depremler bağlamında düşünüldüğünde tarihlendirme teknikleri, tarih boyunca meydana gelen depremlere ait izlerin incelenmesi ve araştırılması anlamına gelen Paleosismoloji çalışmalarının olmazsa olmazlarından biridir. Deprem araştırmalarında, yapılan paleosismolojik çalışmalarla fayların açılması, eski deprem izlerinin incelenmesi ve fayda meydana gelen olayların meydana gelme zamanlarına ait tarihlendirme çalışmalarının yapılması depremin geçmişini ve geleceğini anlayabilmek adına oldukça önemlidir. Özellikle OSL ve radyokarbon ( $^{14}\text{C}$ ) teknikleri paleosismoloji çalışmalarında en çok tercih edilen tarihlendirme yöntemlerinin başında gelmektedir. OSL tekniği ile milyon yıl mertebelerine,  $^{14}\text{C}$  tekniği ile de elli bin yıla kadar olan depremlerle ilgili tarihlendirme yapılabilmektedir (Feathers, 2008; Wallinga vd., 2014). Bu nedenle daha geniş bir tarihlendirme aralığına sahip olan OSL tekniği günümüzde en çok tercih edilen tarihlendirme yöntemlerinden biri olmuştur. OSL tarihlendirme

yöntemi, paleosismoloji çalışmalarında fay ve fay çevresinde meydana gelen olaylarla ilgili çok önemli ve kullanışlı veriler sağlayan bir teknik konumundadır.

Deprem araştırmaları ile ilgili yakın tarihe ait bilimsel yayınlar incelendiğinde hem yurtdışı kaynaklı çalışmalarda hem de Türk araştırmacılar tarafından ülkemizde meydana gelen depremlere bağlı olarak faylar üzerinde yaptıkları çalışmalarda OSL tarihlendirme yönteminin tercih edildiği görülmektedir. Ran vd. (2010), Longmenshan fay zonunun Beichuan-Yingxiu Fayı ve Jiangyou-Guanxian Fayı'nın orta segmentindeki yüzey yırtılma zonları boyunca 3 sahada ayrı ayrı 3 hendek kazmışlar ve Leigu, Bailu ve Xiaoyudong hendeklerinden aldıkları örnekleri OSL tekniği ile tarihlendirmişlerdir. Yapılan tarihlendirme çalışmalarının sonucunda tüm hendeklerden alınan örneklerden en genç olanın yaşını  $60 \pm 10$  yıl ve en yaşlı olanın yaşını ise  $54900 \pm 12500$  yıl olarak hesaplamışlardır. Xiaobo vd., (2021), 2003 yılında 6.1 büyüklüğünde deprem meydana gelen Tibet Platosunun kuzeydoğu ucundaki Minle-Yongchang fay zonu üzerinde yaptıkları çalışmalarla fay üzerinde meydana gelen deprem dizilerini aydınlatmaya çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada OSL tarihlendirme tekniği ile fay düzlemlerindeki olay bölgelerinden aldıkları örnekleri tarihlendirerek yaşlarını belirlemişler ve sonuç olarak meydana gelen 2003 depreminin Hexi Koridor Havzasındaki kör bir ters fay ile ilişkili kıvrımın en son aktivitesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Tsodoulos vd. (2016), "Gyrtoni Fayı'nın Orta-Geç Holosen Deprem Geçmişi, Orta Yunanistan: Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) Tarihleme ve Paleosismolojiden Elde Edilen Bilgiler" başlıklı çalışmalarında, Yunanistan'da bulunan Gyrtoni Fayı'nın Holosen sismotektonik davranışını anlamak ve geçmiş depremlerin zamanlamasını

tahmin etmek için paleosismolojik hendekler kazarak hem yukarı hem de aşağı atımlı fay bloklarından flüviyal-kolüvyal tortu örnekleri almışlardır. OSL tarihlendirme tekniğinde kullanılan tek tablet doz yenileme (SAR) protokolü ile aldıkları örneklerin yaşlarını belirlemişlerdir. Elde ettikleri yaşların tutarlı ve mevcut stratigrafik veriler, arkeolojik kanıtlar ve radyo karbon tarihleri ile uyumlu olduğunu rapor etmişlerdir. Atlıhan ve Meriç (2008), Türkiye’de Denizli ilinde bulunan bir ana fay hattından aldıkları örnekleri OSL tekniği tarihlendirme protokollerinden çok tablet ek doz (MAAD) ve SAR yöntemlerini kullanarak tarihlendirmişler ve örneklere ait yaşları  $5490 \pm 300$  yıl ile  $6000 \pm 320$  yıl arasında hesaplamışlardır. Softa vd. (2023), Batı Anadolu genişleme provensinin eğim atımlı aktif faylarından biri olan Manisa Fayı’nın Pleistosen’den Holosen’e kadar olan deprem döngüsünü araştırmak için fay yüzeyindeki OSL ağartma profillerinin depremler tarafından üretilen taze fay yarıklarının açığa çıkmasıyla doğrudan ilişkili olmasından hareketle OSL yüzey pozlama tekniklerini kullanmışlardır. Sonuç olarak önceki kozmojenik tarihlendirme ve hendek tabanlı paleosismolojik kronolojik verilerle uyumlu sonuçlar elde etmişler ve OSL yüzey kronolojisinin paleo-depremlerin fay yarıklarının tarihlendirilmesi için umut verici bir alternatif olduğunu bildirmişlerdir. Dogan vd. (2015), Doğu Anadolu Fay sisteminin Türkoğlu-Antakya segmentinde açtıkları hendeklerden aldıkları örneklerden alüvyon sediman örneklerinin birikim zamanını belirlemek için OSL tarihlendirme tekniği kullanmışlar ve aldıkları örneklerin yaşlarını belirleyerek henüz belgelenmemiş tarihsel deprem olaylarının OSL tekniği ile belirlenebileceğini bildirmişlerdir. Karabacak vd. (2013), Türkiye’nin Güneybatısında yer alan Kibyra Antik Kenti’nde meydana gelmiş olan tarihi depremlerle ilgili

yaptıkları çalışmada OSL yöntemini kullanarak yıkılan blokların altındaki çökellerden yaş hesaplamışlar ve elde ettikleri sonuçlara bağlı olarak M.S. 10-11. yüzyıl civarında meydana gelen ve Kibyra stadyumunda büyük hasara ( $I_0 = VIII-IX$ ) neden olan başka bir büyük olayın varlığını bildirmişlerdir. Duran vd. (2021), Manisa Fay Zonu’nun doğu segmentinin Holosen sismotektonik davranışını ortaya çıkarabilmek için ilk kez hendek tabanlı paleosismolojik analizler yapmışlar ve yaptıkları çalışmada OSL ve radyokarbon tarihlendirme yöntemlerini kullanmışlardır. Elde ettikleri yaşlardan faydalanarak çalıştıkları segment üzerindeki en son yüzey kırıklı depremden bu yana yaklaşık 159 yıl geçmiş olduğunu bildirmişlerdir. Öncü vd. (2024), İzmir ilinin en önemli sismik kaynaklarından biri olarak kabul edilen Tuzla Fayının tarihsel davranışını analiz etmek amacıyla, üç geometrik segmenti üzerinde fay skarpı boyunca üç hendek tabanlı paleosismoloji çalışması yürütmüşlerdir. Yapılan çalışmada OSL tekniği ile örnekleri tarihlendirmişler ve Paleosismolojik bulgular ışığında fay tarafından yedi tarihi/tarih öncesi depremin üretildiğini tespit etmişlerdir. Tuzla Fayı’nda bir depremin yinelenme aralığının 700 yıl ile 4300 yıl arasında, en son yüzey faylanması depreminden bu yana geçen sürenin 1844 yıl olduğunu tespit etmişler ve buna bağlı olarak çalışılan fayın yakın gelecekte, özellikle sismik boşluk olarak değerlendirilebilecek Orhanlı ve Çatalca segmentlerinde yıkıcı depremler üretme potansiyeline sahip olduğunu öngörmüşlerdir. Benzer şekilde yapılan çalışmalar incelendiğinde OSL tarihlendirme yönteminin, geç Kuvaterner çökellerinin çökme yaşını belirlemek (Preusser vd., 2008; Mahan vd., 2022) ve kama, kolüvyon ve son çökelleri doğrudan tarihlendirmek (Spencer vd. 2019; Fattahi vd. 2010) için en iyi bilinen ve en uygun tarihlendirme tekniklerinden biri

olduğu söylenebilir ki dünyadaki paleosismoloji çalışmalarına başarıyla uygulanmış olması da bunun bir kanıtıdır (Rittase vd. 2014; Stahl vd. 2016; Jayangondaperumal vd. 2017).

Deprem gerçeği ile yaşamak durumunda olan ülkemizde deprem özel çağruları ile birçok fay segmenti paleosismolojik olarak incelenmeye başlanmış bulunmaktadır. Ayrıca yakın zamanda meydana gelen yıkıcı depremler nedeniyle henüz paleosismolojik çalışma yapılmamış olan ve deprem üretme ihtimali bulunan faylar üzerinde de çalışmalar başlatılmış olup geniş kapsamlı araştırmalar yapılacak olan projelere farklı araştırma grupları tarafından başlanmıştır. Türkiye genelinde yürütülen bu araştırma projelerinde tarihlendirme ile ilgili verilerin de oldukça önemli olduğu bir gerçektir. Bu bağlamda yapılan bu çalışmanın ilk aşamasında, paleosismolojik çalışmalar için hendeklerin açılmasından OSL örneklerinin alınmasına ve alınan örneklerin yaşlarının hesaplanmasına kadar geçen süreçte yapılan tüm çalışmalar ve hesaplamalar teorik olarak kısaca sunulmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında, deneysel çalışmalarla laboratuvar ortamında iyonlaştırıcı radyasyona maruz bırakılarak yaşlandırılan üç farklı kuvars örneğinin OSL tarihlendirme yöntemi ve SAR protokolü kullanılarak yaşlarının hesaplanması çalışmaları yapılmıştır. Son olarak yaş hesaplamalarına karışan hatalar değerlendirilmiş ve OSL tarihlendirme yönteminin uygulanması aşamalarında dikkat edilmesi gereken noktalar öneri olarak sunulmuştur.

## MATERYAL VE METOD

### Paleosismolojik Hendeklerin Açılması

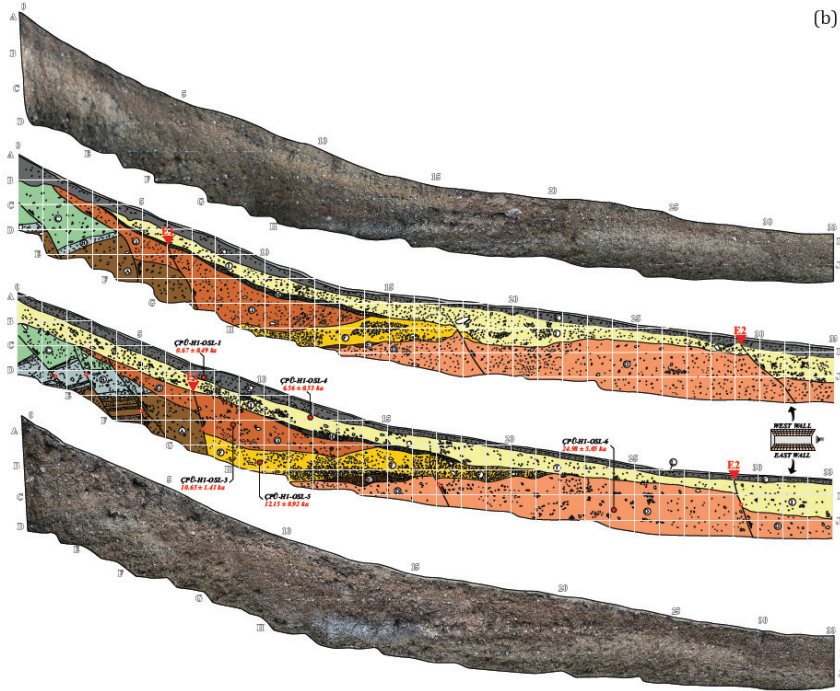
OSL tarihlendirmede kullanılacak olan örneklerin alınması aşamasından önce yüzey kırığı oluşturmuş ve deprem üreten diri fayların

yerlerinin belirlenip fay uzanımlarına dik ya da paralel olacak şekilde paleosismolojik hendekler iş makineleri ile açılarak hendek içi ve hendek duvarları temizlenir. Fay kesitlerinin ve eski depremlerin etkisi ile meydana gelmiş olayların net bir şekilde görüntülenebilmesi için hendek açımı sırasında meydana gelen kepçe izlerinin temizlenmesi gerekmektedir. Hendek duvarlarının çizimini kolaylaştırmak için her iki duvar için de ip ve çiviler kullanarak hendek duvarlarını karelere bölme (karelaj, grid oluşturma) işleminin yapılması ve uygun şekilde her bir gridin köşe noktalarının seviye seviye etiketlenmesi işlemi gerçekleştirilir. Karelajı tamamlanan hendeklerin her iki duvarının yapısını, fay kesitlerini, fayda meydana gelmiş eski depremlere ait olaylara göre tarihlendirme örneklerinin alınacağı noktaları ve fay üzerindeki olayları ayrıntılı olarak gösteren çizimler log kağıtlarına yapılır ve daha sonra bu çizimler grafik tasarım programları kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılır. Hendeklerin örnek alınmasına hazırlanması ile ilgili bu süreçlere örnek olabilecek bir görsel ve örnek bir log çizimi (Duran vd., 2021) Şekil 2b'de görülmektedir.

### OSL Tarihlendirme İçin Örneklerin Alınması

OSL tarihlendirmede kullanılacak örneklerin alınması aşamasında, karotlar daha önce belirlenmiş olan ve fayda meydana gelen eski depremlere ait olayların analiz edileceği uygun yerlere çakılır. Karotun içinin tamamen toprakla dolup dolmadığı kontrol edilerek tamamen toprakla dolmuşsa karot çıkarılır. Çıkarılan karotun ışık almayacak şekilde paketlenmesi ve paketin üzerine örnek kodlarının yazılması bu aşamada yapılması gereken önemli işlemlerden biridir. Örneğin alındığı karot boşluğunun içinden yıllık doz hesabında kullanılacak olan örnekler de alınmalıdır (Şekil 3).





Şekil 2. (a) Paleosismolojik hendeklerin açılması, temizlik, karelej ve (b) loglama süreçleri.

Figure 2. The processes of (a) opening paleoseismological trenches, cleaning, gridding and (b) logging.

### Örneklerin OSL Ölçümlerine Hazırlanması ve Yıllık Doz

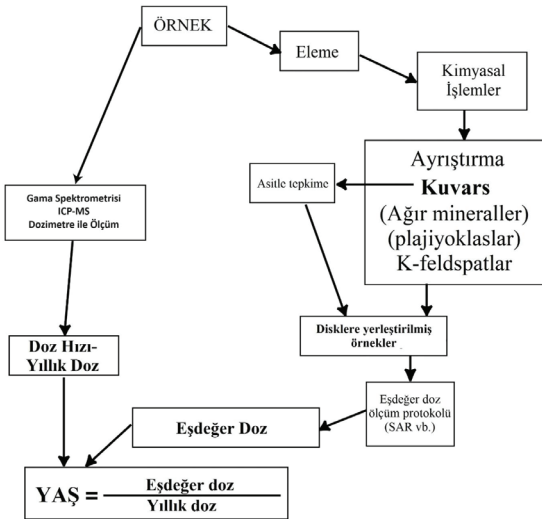
Fay segmentlerinden alınan örneklerin eşdeğer dozlarının ( $D_e$ ) hesaplanması için gerekli olan OSL ölçümlerine ve yıllık doz

hesaplamalarına (ya da ölçümlerine) hazır hale getirilmesi için laboratuvarında bir takım hazırlık süreçleri bulunmaktadır. Bu süreçlere ait genel Türkçeleştirilmiş ve düzenlenmiş şema Şekil 4'te verilmiştir (Cordier vd., 2010).



Şekil 3. Hendeklerden OSL ve yıllık doz örneklerinin alınması, paketlenmesi ve kodlanması.

Figure 3. Collection, packaging and coding of OSL and annual dose samples from trenches.



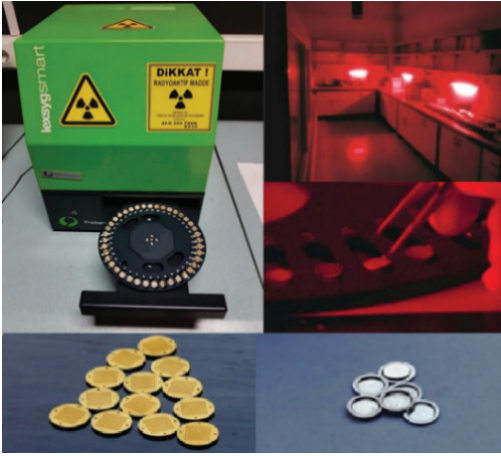
Şekil 4. OSL ölçümleri için örneklerin hazırlanması, yıllık dozların ve yaşın hesaplanması.

Figure 4. Preparation of samples for OSL measurements, calculation of annual doses and age.

Şekil 4'te de görüldüğü gibi OSL ölçümleri yapılacak olan örneklerin eleme, kimyasal işlemler, farklı asitlerle tepkimeler gibi bir

süreçten geçirilmesi ve bu süreç boyunca ışık görmemesi gerekmektedir. Bu nedenle bu işlemlerin tamamen karanlık bir laboratuvar ortamında ve kırmızı ışık altında yapılması önemlidir (Şekil 5). Örneklerin bu süreçte ışık görmesi, hesaplanacak yaşın gerçek yaştan daha genç olmasına neden olacak ve hata artacaktır. Laboratuvardaki bu hazırlık süreci sonunda kuvars ya da feldspat gibi minerallerin ayrıştırılmış olması gerekmektedir. Örneklerden ayrıştırılan mineralin hangi mineral olduğu OSL ölçümleri sırasında kullanılacak olan uyarım kaynağı ve kullanılacak olan filtrenin seçiminin doğru yapılmasında önemli bir etkidir. Örneğin kuvars için mavi (Blue-OSL) ve feldspat için kızılötesi (IRSL) ışıkla uyarım yapılması gerekirken benzer şekilde kuvars için Hoya U-340 (UV) ve feldspat için de Corning 7-59 ile Schott BG-39 filtre kombinasyonlarının (Bejarano-Arias vd., 2023) kullanılması önemlidir. Örneklerin ayrıştırılmasından sonra elde edilen mineralin kuvars, feldspat ya da kuvars-feldspat karışımı olup olmadığının da test edilmesi seçilecek olan OSL ölçüm protokolünü belirlemektedir. Bu nedenle elde edilen mineralin OSL ölçümü için hazırlanıp ölçüm yapılarak IRSL/OSL sinyal şiddetleri oranına göre mineralden emin olunması gerekmektedir. Sinyal şiddetleri oranı 0.1'den küçükse mineral saf kuvarstır (Duller, 2003; Yüksel, 2018) ve kuvars için seçilmesi gereken protokoller uygulanabilir. OSL ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanacak olan eşdeğer doz değerlerinin en az hata ile hesaplanabilmesi için mutlaka istatistiksel değerlendirmeler yapılmalıdır. Bu nedenle her bir örnek grubundan istatistiksel değerlendirmeye imkan verecek sayıda ve mümkün olduğunca çok sayıda örnek ölçüm diskleri hazırlanmalıdır. Uygun protokolün seçimi ve OSL ölçümlerinin yapılmasından sonra -örneğin SAR protokolü- elde edilen

termolüminesans (TL) ve OSL eğrilerinin analizi ile eğdeğer doz hesaplanabilmektedir. Kuvars için en çok tercih edilen ölçüm protokolü SAR protokolü (Şekil 6) olup ölçüm yapılan örnek için uygun test dozu, kesme sıcaklığı, ön ısıtma sıcaklığı ve ısıtma hızı gibi değişken parametrelerin titizlikle ayarlanması, gerekiyorsa deneysel olarak belirlenmesi yaşa karışacak hatayı en aza indirebilmek için -özellikle çok genç ya da çok yaşlı örnekler için- önemlidir.

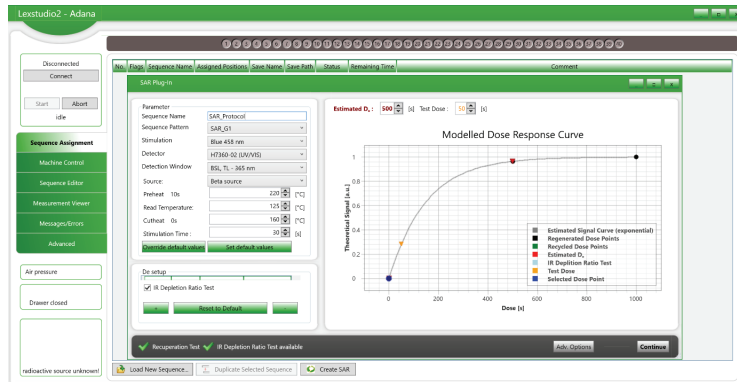


Şekil 5. Örnek hazırlama ve OSL ölçümü için kullanılan laboratuvarlardan bir örnek.

Figure 5. An example of laboratories used for sample preparation and OSL measurement.

Yıllık doz ölçümleri, indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ve gama spektrometresi kullanılarak yapılabildiği gibi pasif dozimetrelerin (TLD ya da OSLD) örnek alım noktalarına gömülmesi ile de yapılabilmektedir. Ancak pasif dozimetrelerin tercih edilmesi durumunda dozimetrelerin 1 yıl gibi bir süre örnek alım noktasında kalması ve sonra çıkarılarak ölçüm yapılması gerektiğinden bu yöntemin paleosismoloji çalışmalarında kullanımı pek uygun değildir. ICP-MS ölçümleri, numunenin ppm olarak uranyum (U), toryum (Th) ve % ağırlık olarak potasyum ( $K_2O$ ) miktarlarının ve gama spektrometresi ölçümleri de benzer şekilde U, Th ve K kaynaklı doğal aktivitelerin (Bq/kg olarak) belirlenmesi amacı ile yapılmaktadır. ICP-MS ölçümleri gama spektrometresi ölçümlerine göre daha kısa sürede yapılabildiğinden son yıllarda tercih sebebi olmuştur. Ancak doğal radyoaktif izotopların miktarlarının/aktivitelerinin belirlenmesi yıllık dozu doğrudan vermediğinden elde edilen bu veriler yardımıyla ayrıca hesaplanması gerekmektedir.

Yaş hesaplamalarında kullanılan temel formül eşitlik (1)'de ve formülün en spesifik hali ise eşitlik (2)'de verilmiştir.



Şekil 6. OSL ölçümleri için SAR protokolü parametrelerinin ayarlanması.

Figure 6. Setting SAR protocol parameters for OSL measurements.



$$Yaş = \frac{Eşdeğer\ doz\ (D_e)}{Yıllık\ doz\ (D)} \quad (1)$$

$$Yaş = \frac{D_e}{w(\alpha D_\alpha + D_\beta + D_\gamma) + D_c} \quad \text{ve} \quad D_c = D_0 \left[ F + J e^{\left(\frac{t}{T}\right)} \right] \quad (2)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde:

w: Doymuş su içeriği,  $\alpha$ : Alfa verimliliği,  $D_\alpha$ : Alfa parçacıklarından kaynaklı doz,  $D_\beta$ : Beta parçacıkları kaynaklı doz,  $D_\gamma$ : Toplam gama dozu ve  $D_c$ : Kozmik radyasyon dozudur.

Yaşa karışabilecek hataların en aza indirebilmesi için doymuş su içeriğinin deneysel olarak ve kozmik radyasyon dozunun da mutlaka ilgili parametreler kullanılarak hesaplanması gerekmektedir.

## Deneysel Çalışmalar

### Kuvars örneklerinin OSL ölçümüne hazırlanması

Bilindiği üzere, OSL tarihlendirme çalışmalarında çoğunlukla kuvars ve feldspat mineralleri kullanılmaktadır. Örneğin fay segmentleri içerisinde bulunan kuvars mineralleri deprem meydana gelmesi ve yüzey kırıklarının oluşması sonucunda gün ışığı görmekte ve daha sonra tekrar gömülmektedir. Gün ışığını görmesi ile sıfırlanan lüminesans saati mineralin yeniden gömülmesi ile birlikte toprakta bulunan doğal radyoaktif izotoplardan ve kozmik radyasyondan kaynaklı olarak iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktadır. Mineralin ışık ya da ısı göreceği bir başka olay meydana gelene kadar bu radyasyon maruziyeti mineralin yapısında enerjinin yeniden birikimine sebep olmakta ve lüminesans saati maruziyet süresi boyunca yeniden çalışmaktadır. Yapılan bu çalışmada da kuvars örnekleri kullanılmış ve aşağıda yer alan örnek hazırlama süreçleri uygulanmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan kuvars örnekleri tanecik boyutları 150-250  $\mu\text{m}$  arasında olacak şekilde eleklerle elenmiştir.

Elenen numuneler her biri  $m=5\pm 0.3$  mg olacak şekilde hassas terazi ile tartılarak kenarlıklı ölçüm disklerine silikon yağı kullanılarak yapılandırılmış ve bu şekilde 63 adet örnek ölçüme hazır hale getirilmiştir. Ölçüme hazırlanan örnekler için yıllık doz vb. veriler Çizelge 1'de sunulmuştur. Hazırlanan örneklerin lüminesans saatleri, laboratuvar ortamında hem yüksek sıcaklıklarda tavlansarak ( $450^\circ\text{C}$ 'de 1 saat) hem de mavi ışıkla uyarım yapılarak sıfırlanmıştır. Ölçüme hazırlanmış olan örnekler 21 diskten oluşan üç gruba (M1, M2 ve M3) ayrılarak deneysel çalışmalara başlanmıştır.

Numunelerin normal şartlarda toprak altında gömülü buldukları zaman zarfında maruz kalacakları radyasyonun bir temsili olacak şekilde radyasyona maruz bırakılmaları ya da diğer bir deyişle laboratuvar ortamında yaşlandırma işlemi Şekil 5'te de görülen lexsyg smart TL/OSL cihazı içerisinde bulunan  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  beta kaynağı ile her bir grup ayrı ayrı olacak şekilde yapılmıştır. Hazırlanan M1, M2 ve M3 örnek grupları sırasıyla 3, 15 ve 50 Gy'lik radyasyon dozlarına maruz kalacak şekilde cihaz içerisinde ışınlanmıştır.

Çizelge 1. Örneklere ait yıllık doz değerleri ve hazırlanan disk sayıları.

Table 1. Annual dose values of samples and number of aliquots prepared.

Örnek adı	Yıllık doz (mGy)	Disk sayısı
M1	3.2	21
M2	2.4	21
M3	2.1	21

## SAR protokolü

OSL ölçümleri için kuvars mineralinin kullanıldığı çalışmalarda kuvars içerisinde



depolanmış olan radyasyon kaynaklı enerjinin serbest bırakılması olayı mavi ışıkla uyarım yapılarak sağlanmakta ve bu uyarım sonucunda elde edilen lüminesans ışığı uygun detektörlerle kaydedilerek OSL bozunum eğrileri elde edilebilmektedir. OSL tarihlendirme çalışmalarının gelişim sürecinde elde edilen önemli veriler ışığında SAR protokolü kuvars minerali içindeki eşdeğer radyasyon dozlarını ölçmek için kullanılabilir en başarılı yaklaşım olarak belirlenmiştir (Wintle ve Murray, 2006).

Bu alışmada, OSL ölçümü için kullanılan SAR protokolü için test dozu 4.5 Gy, ön ısıtma sıcaklığı 220°C, kesme sıcaklığı 160°C ve ısıtma hızı da 5°C/s olarak ayarlanmış ve kullanılan SAR protokolüne ait adımlar izelge 2’de sunulmuştur.

## BULGULAR VE TARTIşMA

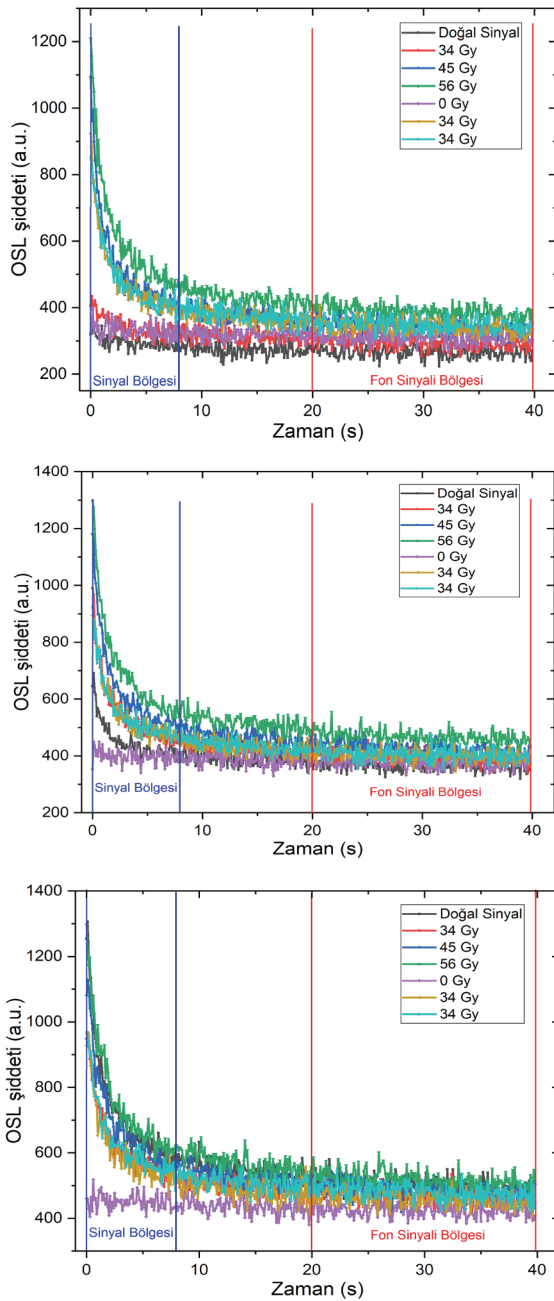
M1, M2 ve M3 örneklerinin OSL eşdeğer doz ölçümleri izelge 2’de verilen SAR protokolü uygulanarak yapılmış ve her bir gruptan seçilen birer örnekten elde edilen OSL bozunum eğrileri grafikleri şekil 7’de gösterilmiştir.

şekil 7’de kuvars örneklerine ait doğal -eşdeğer doza karşılık- ve doz yenileme noktalarında elde edilen (34, 45 ve 56 Gy için) OSL sinyalleri görülmektedir. Ayrıca net OSL sinyalini elde etmek için kullanılan sinyal bölgesi ve fon sinyali bölgeleri de şekillerde verilmiştir. Net OSL sinyali elde edilirken sinyal bölgesinden elde edilen değerden fon sinyali bölgesinden elde edilen değer çıkarılmıştır. Sinyal ve fon sinyali bölgeleri analizler yapılırken araştırmacılar tarafından değiştirilebilmekte olup bu bölgelerin doğru seçilmesi hesaplanacak olan eşdeğer doza karışabilecek hataları en aza indirecektir. Elde edilen bu grafiklere bağlı olarak eşdeğer dozun hesaplanması için kullanılan Analyst programında elde edilen sonuçlar şekil 8’de görülmektedir.

Çizelge 2. Kuvars için uygulanan SAR protokolü.

Table 2. SAR protocol applied to quartz.

Adım	Süreç	Gözlem
1	Ön ısıtma 220°C, 10 s	
2	Mavi LED’le uyarma (125°C, 80 s)	$L_n$
3	Test dozu (4.5 Gy)	
4	Kesme sıcaklığı TL (160°C, 5°C/s)	
5	Mavi LED’le uyarma (125°C, 80 s)	$T_n$
6	Doz (Işınlama)	Doz yenileme 1
7	Ön ısıtma 220°C, 10 s	
8	Mavi LED’le uyarma (125°C, 80 s)	$L_x$
9	Test dozu (4.5 Gy)	
10	Kesme sıcaklığı TL (160°C, 5°C/s)	
11	Mavi LED’le uyarma (125°C, 80 s)	$T_x$
12	Adım 6’ya dönüş	



Şekil 7. M1, M2 ve M3 örneklerine ait OSL bozunum eğrileri.

Figure 7. OSL decay curves of samples M1, M2 and M3.

Şekil 8’de görülen ED (s) değerleri, saniye cinsinden eşdeğer dozlara karşılık gelmekte

olup cihazda bulunan radyasyon kaynağının doz hızı ile (0.1 Gy/s) çarpıldığında eşdeğer dozları soğurulmuş doz birimi (Gy) cinsinden vermektedir.

Şekilde görülen diğer bir değer ise tekrarlanabilirlik oranı (Recycling) olarak adlandırılan ve R6/R1 değerine karşılık gelen temel tekrar oluşturma ölçümünden sonra ilk tekrar oluşturma dozunun tekrarlanmasıyla kontrol edilmesi gereken hassaslık düzeltmesidir ki bu değer de yaklaşık 1.0 civarında olması beklenmektedir (Murray ve Wintle, 2000).

Şekil 8’de de görüldüğü gibi yapılan ölçümlerden elde edilen tekrarlanabilirlik oranları M1, M2 ve M3 için sırasıyla  $1.00 \pm 0.11$ ,  $1.05 \pm 0.14$  ve  $1.01 \pm 0.11$  şeklinde olup üç örnek grubu için de hassaslık düzeltmelerinin uygun ve kabul edilebilir olduğu söylenebilir.

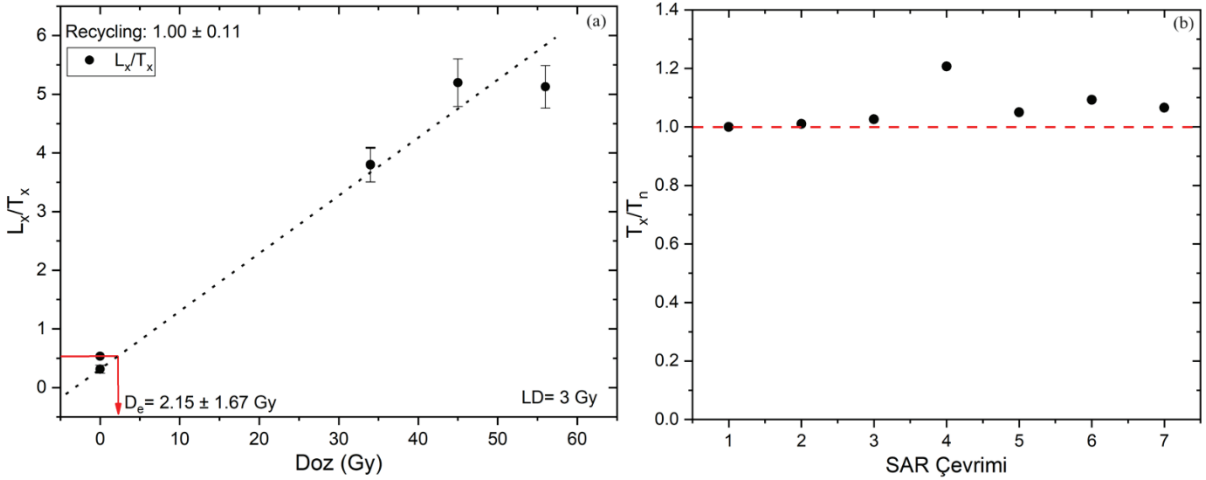
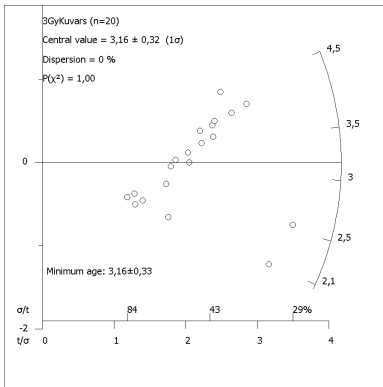
M1 örnek grubunda yer alan ve laboratuvarında 3 Gy’lik radyasyon dozuna ( $LD=3$  Gy) maruz bırakılarak yaşlandırılan örneklerden birine ait olan  $L_x/T_x$  doz/cevap (büyüme) ve SAR çevrimine karşılık  $T_x/T_n$  (test dozu sonrası OSL sinyalinin doğal OSL sinyaline oranı) grafikleri Şekil 9’da görülmektedir.

Şekil 9a’da görülen grafikten faydalanarak M1 örneklerinden birine ait olan eşdeğer doz ( $D_e$ )  $2.15 \pm 1.67$  Gy olarak hesaplanmıştır. M1 grubu örneklerinde tek bir diske ait olan bu eşdeğer doz sonucunun gerçek doza ( $LD=3$  Gy) göre yüzde hatası 28.33’tür. M1 örnek grubuna ait yıllık doz değeri 3.2 mGy olup bu örneğin yaşı,  $671.88 \pm 521.88$  yıl olarak hesaplanmıştır. Eşdeğer dozdaki yüzde hata oldukça yüksek bir değer olduğundan herhangi bir istatistik dağılım yapılmadan tek bir örnekle hesaplanan bu yaş değerinin hata payı oldukça yüksek olup gerçek yaşı ( $940 \pm 65.8$  yıl) vermemektedir. M1 örnek grubundan hazırlanmış olan 20 adet diskten elde edilen eşdeğer dozların radyal dağılım grafiği Şekil 10’da görülmektedir.

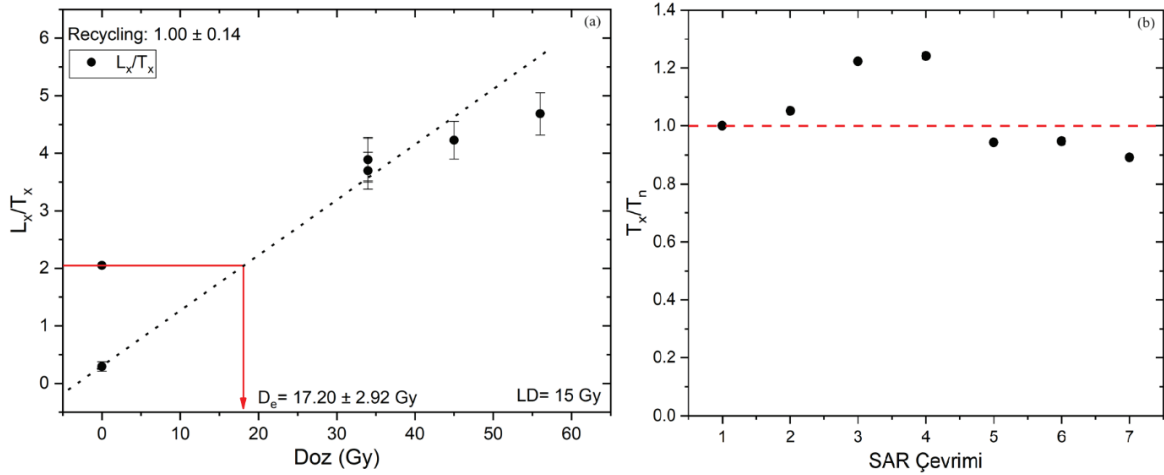
Results	Results	Results
ED (s): 21.52 ± 16.56 (a)	ED (s): 192.03 ± 29.15 (b)	ED (s): 527.51 ± 41.51 (c)
Recycling:	Recycling:	Recycling:
1.00± 0.11 (R 5/R 1)	1.05± 0.14 (R 5/R 1)	1.01± 0.11 (R 5/R 1)
1.00± 0.11 (R 6/R 1)	1.05± 0.14 (R 6/R 1)	1.01± 0.11 (R 6/R 1)
1.00± 0.11 (R 6/R 5)	1.00± 0.14 (R 6/R 5)	1.00± 0.11 (R 6/R 5)

Şekil 8. M1, M2 ve M3 örnekleri için eşdeğer doz ve tekrarlanabilirlik sonuçları.

Figure 8. Equivalent dose and recycling results for samples M1, M2 and M3.

Şekil 9. (a)  $L_x/T_x$  büyüme (doz/cevap) ve (b) SAR çevrimine karşılık  $T_x/T_n$  grafikleri.Figure 9. (a)  $L_x/T_x$  growth (dose/response) and (b)  $T_x/T_n$  versus SAR cycle graphs.Şekil 10. M1 örneklerinin eşdeğer doz ( $D_0$ ) dağılımının radyal grafiği.Figure 10. Radial plot of equivalent dose ( $D_0$ ) distribution of M1 samples.

Şekil 10'da da görüldüğü gibi 20 diskten elde edilen dağılıma göre merkezi eşdeğer doz değeri  $3.16 \pm 0.32$  Gy ve minimum eşdeğer doz değeri  $3.16 \pm 0.33$  Gy'dir. Elde edilen merkezi eşdeğer dozun gerçek doza ( $LD=3$  Gy) göre yüzde hatası 5.33'tür. Bu değere bağlı olarak M1 örnek grubunun OSL yaşı,  $987.50 \pm 100$  yıl olarak hesaplanmış olup gerçek yaş ( $940 \pm 65.8$  yıl) ile hata sınırları içerisinde tutarlıdır. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi OSL yaşları hesaplanırken eşdeğer doz ya da yaşlara ait dağılım grafikleri çizilmeli ve hangi yaklaşımın kullanılacağı (merkezi ya da minimum yaş modelleri) ile ilgili değerlendirmeler mutlaka yapılmalıdır.



Şekil 11. (a)  $L_x/T_x$  büyüme (doz/cevap) ve (b) SAR çevrimine karşılık  $T_x/T_n$  grafikleri.

Figure 11. (a)  $L_x/T_x$  growth (dose/response) and (b)  $T_x/T_n$  versus SAR cycle graphs.

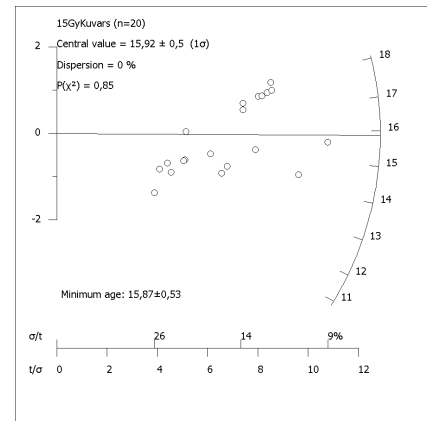
M2 örnek grubunda yer alan ve laboratuvarda 15 Gy'lik radyasyon dozuna (LD=15 Gy) maruz bırakılarak yaşlandırılan örneklerden birine ait olan  $L_x/T_x$  doz/cevap (büyüme) ve SAR çevrimine karşılık  $T_x/T_n$  grafikleri Şekil 11'de görülmektedir.

Şekil 11a'da görülen grafikten faydalanarak M2 örneklerinden birine ait olan eşdeğer doz ( $D_e$ )  $17.20 \pm 2.92$  Gy olarak hesaplanmıştır. Bu eşdeğer doz sonucunun gerçek doza (LD=15 Gy) göre yüzde hatası 14.67'dir. M2 örnek grubuna ait yıllık doz değeri 2.4 mGy olduğundan bu örneğin yaşı,  $7166.67 \pm 1216.67$  yıl olarak hesaplanmıştır. Eşdeğer dozdaki yüzde hatanın yüksek olması ve tek bir örnekle yaş hesaplanması nedeniyle elde edilen bu yaş değerinin laboratuvar şartlarında yaşlandırılan örneğin gerçek yaşını ( $6230 \pm 323.96$  yıl) vermediği görülmektedir.

M2 örnek grubundan hazırlanmış olan 20 adet diskten elde edilen eşdeğer dozlar kullanılarak oluşturulan radyal dağılım grafiği Şekil 12'de görülmektedir.

Şekil 12'de de görüldüğü gibi 20 diskten elde

edilen dağılıma göre merkezi eşdeğer doz değeri  $15.92 \pm 0.5$  Gy ve minimum eşdeğer doz değeri  $15.87 \pm 0.53$  Gy'dir. Elde edilen merkezi eşdeğer dozun gerçek doza (LD=3 Gy) göre yüzde hatası 6.13'tür. Bu değere bağlı olarak M2 örnek grubunun OSL yaşı,  $6633.33 \pm 208.33$  yıl olarak hesaplanmış olup gerçek yaş ( $6230 \pm 323.96$  yıl) ile hata sınırları içerisinde tutarlıdır.

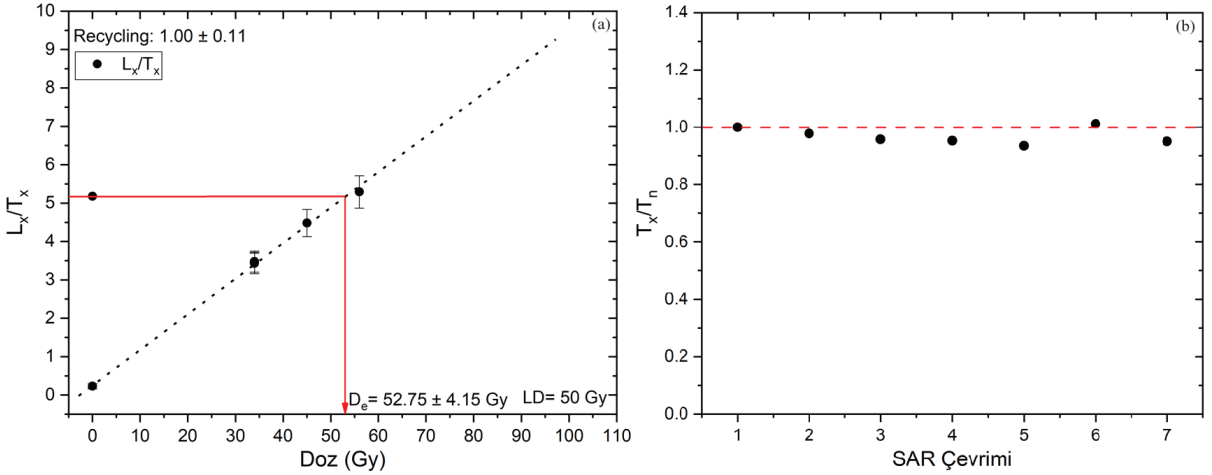


Şekil 12. M2 örneklerinin eşdeğer doz ( $D_e$ ) dağılımının radyal grafiği.

Figure 12. Radial plot of equivalent dose ( $D_e$ ) distribution of M2 samples.



Yüksel



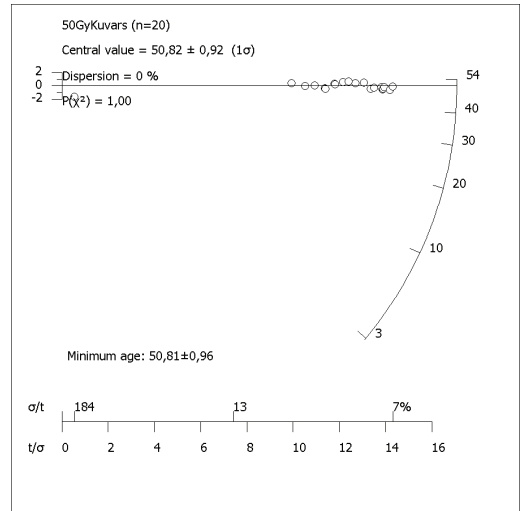
Şekil 13. (a)  $L_x/T_x$  büyüme (doz/cevap) ve (b) SAR çevrimine karşılık  $T_x/T_n$  grafikleri.

Figure 13. (a)  $L_x/T_x$  growth (dose/response) and (b)  $T_x/T_n$  versus SAR cycle graphs.

M3 örnek grubunda yer alan ve laboratuvarıda 50 Gy'lik radyasyon dozuna ( $LD=50$  Gy) maruz bırakılarak yaşlandırılan örneklerden birine ait olan  $L_x/T_x$  doz/cevap (büyüme) ve SAR çevrimine karşılık  $T_x/T_n$  grafikleri Şekil 13'te görölmektedir.

Şekil 13a'da görölen grafikten faydalanarak M3 örneklerinden birine ait olan eşdeğer doz ( $D_e$ )  $52.75 \pm 4.15$  Gy olarak hesaplanmıştır. Bu eşdeğer doz sonucunun gerçek doza ( $LD=50$  Gy) göre yüzde hatası 5.5'tir. M3 örnek grubuna ait yıllık doz değerü 2.1 mGy olduğundan bu örneğin yaşı,  $25119.05 \pm 1976.19$  yıl olarak hesaplanmıştır. Eşdeğer dozdaki yüzde hatanın kabul edilebilir bir değerü sahip olması M3 örnek grubu içerisinden seçilen bu örneğe ait eşdeğer dozun dağılımında merkezi eşdeğer doz değerine yakın bir sonuç vermesinden kaynaklanmaktadır. Çalışılan önceki örneklerde göröldüğu gibi deneysel çalışmalarda her zaman bu Şekilde ortalama değerü yansıtan bir sonuçla karşılaşmak mümkün olamayabilir. Bu nedenle OSL yaşları hesaplanırken mümkün olduğunca fazla örnek diski hazırlanmalı ve dağılım grafikleri çizilerek Őans faktörüne güvenilmemelidir.

M3 örnek grubundan hazırlanmış olan 20 adet diskten elde edilen eşdeğer dozlar kullanılarak oluşturulan radyal dağılım grafiği Şekil 14'te görölmektedir.



Şekil 14. M3 örneklerinin eşdeğer doz ( $D_e$ ) dağılımının radyal grafiği.

Figure 14. Radial plot of equivalent dose ( $D_e$ ) distribution of M3 samples.

Şekil 14'te de görüldüğü gibi 20 diskten elde edilen dağılıma göre merkezi eşdeğer doz değeri  $50.82 \pm 0.92$  Gy ve minimum eşdeğer doz değeri  $50.81 \pm 0.96$  Gy'dir. Elde edilen merkezi eşdeğer dozun gerçek doza ( $LD=50$  Gy) göre yüzde hatası 1.64'tür. Bu değere bağlı olarak M3 örnek grubunun OSL yaşı,  $24200 \pm 438.09$  yıl olarak hesaplanmış olup gerçek yaş ( $24000 \pm 715$  yıl) ile hata sınırları içerisinde tutarlıdır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, OSL tarihlendirme yönteminin deprem araştırmaları kapsamındaki paleosismoloji çalışmalarında kullanımı ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra laboratuvarında yapay olarak 3, 15 ve 50 Gy radyasyon dozları ile ışınlanarak sırasıyla  $940 \pm 65.8$  yıl (M1),  $6230 \pm 323.96$  yıl (M2) ve  $24000 \pm 715$  yıl (M3) yaşlandırılan kuvars örneklerinin OSL yaşları SAR protokolü kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar M1, M2 ve M3 örnek gruplarının her biri için hem 1 hem de 20 örnek diskinden oluşan örneklerle yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

$940 \pm 65.8$  yıl yaşındaki M1 örnek grubu için tek disk kullanılarak yapılan OSL ölçümleri ve hesaplamalarla örneğin yaşı, %28.52 hata ile  $671.88 \pm 521.88$  yıl olarak hesaplanmıştır. 20 disk kullanılarak yapılan OSL ölçümleri ve istatistiksel analizler sonucunda yapılan hesaplamalarla ise örneğin yaşı, %5.05 hata ile  $987.50 \pm 100$  yıl olarak hesaplanmış olup kabul edilebilir sınırlar içerisinde bir yaştır.

$6230 \pm 323.96$  yıl yaşındaki M2 örnek grubu için tek disk kullanılarak yapılan OSL ölçümleri ve hesaplamalarla örneğin yaşı, %15.03 hata ile  $7166.67 \pm 1216.67$  yıl olarak hesaplanmıştır. 20 disk kullanılarak yapılan OSL ölçümleri

ve istatistiksel analizler sonucunda yapılan hesaplamalarla ise örneğin yaşı, %6.47 hata ile  $6633.33 \pm 208.33$  yıl olarak hesaplanmış olup kabul edilebilir sınırlar içerisinde bir yaştır.

$24000 \pm 715$  yıl yaşındaki M3 örnek grubu için tek disk kullanılarak yapılan OSL ölçümleri ve hesaplamalarla örneğin yaşı, %4.66 hata ile  $25119.05 \pm 1976.19$  yıl olarak hesaplanmıştır. 20 disk kullanılarak yapılan OSL ölçümleri ve istatistiksel analizler sonucunda yapılan hesaplamalarla ise örneğin yaşı, %0.83 hata ile  $24200 \pm 438.09$  yıl olarak hesaplanmış olup kabul edilebilir sınırlar içerisinde bir yaştır.

Deprem araştırmaları kapsamında yapılan paleosismoloji çalışmalarında en çok tercih edilen tarihlendirme yöntemlerinden biri olan OSL tarihlendirme yönteminin yaş hesaplamalarında kullanımı ve örnek alım süreçleri ile ilgili öneriler aşağıda sunulmuştur.

Güncel çalışmalar ışığında lüminesans tarihlendirme yöntemleri ile 50 yıl ile 1 milyon yıl arasındaki zaman ölçeğinde tarihlendirme imkanı sunmakta olup bu zaman ölçeğinde sınırlara doğru yaklaştıkça hata paylarının arttığı mutlaka göz önüne alınmalı, çok genç ve çok yaşlı örneklerle yapılan çalışmalarda daha titiz davranılmalıdır.

Örneklerin doymuş su içeriği yıllık doz hesaplamalarında önemli bir parametre olduğu (Softa ve Utku, 2022) için örnek alımları mümkün olduğunca zeminin kuru olduğu dönemlerde yapılmalı ve örnek alım çalışmaları sırasında hendekler ıslatılmamalıdır. Böylece yaşa karışacak hata payı da azalmış olacaktır.

Hendeklerden OSL örnekleri alınırken fay düzlemleri ve fayda meydana gelmiş olan olaylar mümkün olduğunca dikkatli analiz edilmeli örnek alım noktaları titizlikle seçilmelidir.

Çalışma tamamlandıktan sonra yeniden örnekleme yapılmasının güç olması nedeni ile hendeklerden OSL örnekleri alınırken karotun tam olarak dolduğundan emin olunmalı ve karot içerisindeki örneklerin ışık görmemesi sağlanmalıdır. Ayrıca alınan örneklerin kodlanması ve log kağıtlarında bu kodun doğru yerde işaretlenmesi de önemlidir.

OSL ölçümleri ve eşdeğer doz hesaplamaları için karot içerisindeki örneklerden yeterince kuvars/feldspat vb. mineral elde edilememe riski düşünülerek yıllık doz hesaplamalarında kullanılacak örnekler karotun çakıldığı boşluklardan ayrıca alınmalı ve paketlenmelidir.

Alınan örneklerden kuvars veya feldspat ayırıştırma çalışmaları yapılırken kırmızı ışıkla aydınlatılmış bir laboratuvar ortamı kullanılmalı örneklerin asitle tepkime işlemleri sırasında ışık görmemesi için uygun ve karanlık bir ortam tercih edilmelidir.

Ayırıştırılan örneklerin hangi mineral olduğu tam olarak tespit edilmeli bunun için IRSL/OSL sinyal oranları çalışmalara başlamadan önce test edilmelidir. Mineral türüne göre OSL ölçümünde kullanılacak olan protokol, uyarım kaynağı ve filtrenin doğru bir şekilde seçilmiş olduğundan emin olunmalıdır.

OSL ölçümleri için mümkün olduğunca çok sayıda örnek hazırlanmalı yapılan ölçümlerden elde edilen eşdeğer doz ya da yaş verilerinin istatistiksel değerlendirmeleri doğru bir şekilde yapılarak en uygun yaklaşım tercih edilmeli ve hata payları minimum düzeye indirilmelidir.

Eşdeğer doz ölçüm protokolüne ait parametreler (ön ısıtma, kesme sıcaklıkları, ısıtma hızı, test dozu vb.) doğru bir şekilde seçilmeli gerekli ise bazı deneysel ölçümlerle bu parametreler belirlenmelidir.

Yıllık doz hesabında hatayı en aza indirmek için literatür verisi kullanmak yerine örneklerin doymuş su içerikleri deneylerle belirlenmeli ve kozmik radyasyon kaynaklı katkı jeomanyetik enlem ve ilgili parametreler kullanılarak hesaplanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Aitken, M.J., (1997). Luminescence dating. Chronometric dating in archaeology. Springer, US, Boston, MA, pp 183–216
- Aitken, M.J. (1998). An Introduction to Optical Dating. Oxford University Press, Oxford.
- Atlıhan, M.A., & Meriç, N., (2008). Luminescence dating of a geological sample from Denizli, Turkey, Applied Radiation and Isotopes, 66(1), 69-74. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2007.07.020>.
- Bejarano-Arias, I., Van Wees, R.M.J., Alexanderson, H., Janočko, J., & Perić, Z.M., (2023). Testing the Applicability of Quartz and Feldspar for Luminescence Dating of Pleistocene Alluvial Sediments in the Tatra Mountain Foothills, Slovakia, Geochronometria 2023;50(1):50-80.
- Cordier, S., Frechen, M., Tsukamoto, S. (2010). Methodological Aspects on Luminescence Dating of Fluvial Sands from the Moselle Basin, Luxembourg. Geochronometria, 35, 67-74. <https://doi.org/10.2478/v10003-010-0006-4>
- Dogan, T., Cetin, H., Yegingil, Z., Topaksu, M., Yüksel, M., Duygun, F., Nur, N., & Yegingil, I., (2015). Optically stimulated luminescence dating of Holocene alluvial fans, East Anatolian Fault System, Turkey. Radiation Effects and Defects in Solids, 170(7-8), 630-644.
- Duller, G.A.T., (2003). Distinguishing quartz and feldspar in single grain luminescence measurements, Radiation Measurements, 37(2), 161-165, [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(02\)00170-1](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(02)00170-1).
- Duran İ, Sözbilir H, Eski S, Softa M, Uytun H, Yüksel M., & Topaksu M., (2021). Paleoseismic history

- of the Manisa fault zone, Western Anatolia. *Turk J Earth Sci* 30(SI-1):806–832.
- Fattahi, M., Nazari, H., Bateman, M.D., Meyer, B., Se'brier, M., et al., (2010). Refining the OSL age of the last earthquake on the Dshshir fault, Central Iran. *Quat Geochronol* 5(2–3):286–292. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2009.04.005>
- Feathers, J., (2008). Luminescence Dating, *Encyclopedia of Archaeology*, Academic Press, 1590-1592, <https://doi.org/10.1016/B978-012373962-9.00306-X>.
- Gribkovskii, V.P., Vij, D.R., (1998). *Luminescence of Solids*, Springer, US.
- Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I., & Thewalt, M.L.W., (1985). Optically dating of sediments. *Nature*, 313, 105-107.
- Huntley, D.J., Hutton, J.T. and Prescott, J.R., (1993). Optical dating using inclusions within quartz grains. *Geology*, 21(12), 1087-1090.
- Jayangondaperumal, R., Kumahara, Y., Thakur, V.C., Kumar, A., Srivastava, P., et al (2017). Great earthquake surface ruptures along backthrust of the Janauri anticline, NW Himalaya. *J Asian Earth Sci* 133:89–101
- Jull, A.J.T., (2018). *Past Glacial Environments (Second Edition)*, Chapter 19 - Geochronology Applied to Glacial Environments, Elsevier, 665-687, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100524-8.00020-8>.
- Karabacak, V., Yönlü, Ö., Dökü, E., Kıyak, N.G., Altunel, E., Özüdoğru, Ş., Yalçmer, C.Ç. & Akyüz, H.S., (2013). Analyses of Seismic Deformation at the Kibyra Roman Stadium, Southwest Turkey. *Geoarchaeology*, 28, 531-543. <https://doi.org/10.1002/gea.21456>
- Mahan, S.A., Rittenour, T.M., Nelson, M.S., Atae, N., Brown, N., DeWitt, R., Durcan, J., Evans, M., Feathers, J., Frouin, M., Guérin, G., Heydari, M., Huot, S., Jain, M., Keen-Zebert, A., Li, B., López, G.I., Neudorf, C., Porat, N., Rodrigues, K., Sawakuchi, A.O., Spencer, J.Q.G., & Thomsen, K., (2022) Guide for interpreting and reporting luminescence dating results. *GSA Bull* 135:1480–1502. <https://doi.org/10.1130/B36404.1>
- Murray, A.S., & Wintle, A.G., (2000). Luminescence Dating of Quartz using an Improved Single Aliquot Regenerative-Dose Protocol. *Radiation Measurements* 32 (1): 57-73. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(99\)00253-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(99)00253-X).
- Öncü, U., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Softa M., Sümer, Ö., Eski, S., Spencer, J.Q.G., Şahiner, E., Yüksel, M., Meriç, N., & Topaksu, M., (2024). Palaeoseismological assessment for a seismic gap located very close to the epicentre of the 30 October 2020 Samos Earthquake (M6.9), western Anatolia, Turkey. *Nat Hazards* 120, 4699–4727. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06290-6>
- Preusser, F., Degering, D., Fuchs, M., Hilgers, A., Kadereit, A., Klasen, N., Richter, D., & Spencer, J.Q.G., (2008). Luminescence dating: basics, methods and applications. *E&G Quat Sci J* 57(1/2):95–149. <https://doi.org/10.3285/eg.57.1-2.5>
- Ran, Y., Chen, L., Chen, J., Wang, H., Chen, G., Yin, J., Shi, X., Li, C., & Xu, X., (2010). Paleoseismic evidence and repeat time of large earthquakes at three sites along the Longmenshan fault zone. *Tectonophysics*, 491(1–4), 141-153. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.01.009>.
- Rittase, W.M., Kirby, E., McDonald, E., Walker, J.D., Gosse, J., Spencer, J.Q.G., & Herrs, A.J., (2014). Temporal variations in Holocene slip rate along the central Garlock fault, Pilot Knob Valley, California. *Lithosphere* 6(1):48–58. <https://doi.org/10.1130/L286.1>
- Softa M, Sahiner E, Sözbilir H, Spencer JQG, Utku M, & Büyüktopçu, F., (2023). The first application of the luminescence surface exposure dating method on active fault scarps in the Western Anatolia extensional province: the Manisa Fault as an example. *Turki J Earth Sci* 32(2):163–180. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1836>
- Softa, M., ve Utku, M. (2022). Paleosismoloji Çalışmalarında Kolüvyal Çökellerdeki Su İçeriğinin Lüminesans Tarihlendirmeye Etkisinin Değerlendirilmesi; Soma-Kırkağaç Fayı'ndan Bir Örnek. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(2), 417-430. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1077643>



- Spencer, J.Q.G., Huot, S., Archer, A.W., & Caldas, M.M., (2019) Testing luminescence dating methods for small samples from very young fluvial deposits. *Methods Protoc* 2(4):90. <https://doi.org/10.3390/mps2040090>
- Stahl, T., Quigley, M.C., McGill, A., & Bebbington, M.S., (2016). Modeling earthquake moment magnitudes on imbricate reverse faults from palaeoseismic data: fox peak and forest creek faults, South Island, New Zealand. *Bull Seismol Soc Am* 106(5):2345–2363
- Tsodoulos, I.M., Stamoulis, K., Caputo, R., Koukouvelas, I., Chatzipetros, A., Pavlides, S., Gallousi, C., Papachristodoulou, C., & Ioannides, K., (2016). Middle–Late Holocene earthquake history of the Gyrtani Fault, Central Greece: Insight from optically stimulated luminescence (OSL) dating and paleoseismology, *Tectonophysics*, 687, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.08.015>.
- Xiaobo, Z., Daoyang, Y., Yanxiu, S., Xingwang, L., Weipeng, G., & Bo, Z., (2003). The 2003 Ms6.1 Minle Earthquake: An Earthquake in the Minle-Yongchang Reverse Fault-Related Fold Belt in the Hexi Corridor, NW China, *Frontiers in Earth Science*, 9, DOI=10.3389/feart.2021.649268
- Wallinga, J., & Cunningham, A.C., (2014). Luminescence Dating, Uncertainties, and Age Range. In: Rink, W., Thompson, J. (eds) *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6326-5\\_197-1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6326-5_197-1)
- Wintle AG, Murray AS (2006). A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation measurements* 41 (4): 369-391.
- Yukihara, E. G., & McKeever, S. W., (2011). *Optically stimulated luminescence: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.
- Yüksel, M., (2018). *Termolüminesans Yöntemi ve Dozimetrik Çalışmalar*. Fen Bilimleri ve Matematik Temel Alanı Örnek Araştırmaları Kitabı (pp.171-192), Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Yüksel, M., (2018). Thermoluminescence and dosimetric characteristics study of quartz samples from Seyhan Dam Lake Terraces. *Canadian Journal of Physics*. 96(7): 779-783. <https://doi.org/10.1139/cjp-2017-0741>



Araştırma Makalesi / Research Article

## Türkiye Cumhuriyeti'nin 100. Yılında Türkiye Adresli Yayınların Dünya Heyelan Literatürüne Katkısı

*Turkish Contributions to the World Landslide Literature on the 100<sup>th</sup> Anniversary of the  
Republic of Türkiye*

Candan GÖKÇEOĞLU 

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara

Geliş (Received): 27 Şubat (February) 2024 / Düzeltme (Revised): 29 Nisan (April) 2024 / Kabul (Accepted): 6 Mayıs (May) 2024

### ÖZ

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye Cumhuriyeti'nin 100. Yılında Türkiye açısından neden olduğu can ve mal kayıpları açısından önemli ve yaygın bir doğal tehlike olan heyelanlar konusunda Türkiye adresli araştırmaların Dünya literatürüne katkısı incelenmesidir. İnceleme kapsamında Web of Science kayıtları kullanılmış, adres olarak "Turkey veya Türkiye veya Türkiye", bütün alanlarda ise "landslide\*" anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Elde edilen sorgu sonuçlarından sadece makale ve derleme çalışmaları dikkate alınmıştır. Sonuçta 721 adet kayıt elde edilmiş ve bu kayıtlar incelenmiştir. Türkiye adresli ilk yayın 1989 tarihlidir. Türkiye'de heyelan konulu uluslararası yayınlar geç başlamasına rağmen, alanının önemli dergileri olan Engineering Geology, Landslides, Environmental Earth Sciences, Computers & Geosciences ve Natural Hazard gibi dergilerde Türkiye adresli çok sayıda makale yayınlanmıştır. 1990'larda sınırlı sayıda makale yayınlanmışken, 2000'li yıllarda makale sayısında ciddi artış olmuş, 2020 yılında 66 sayısına ulaşmıştır. Makalelerin ortalama atfı 33.73 gibi oldukça yüksek bir sayıya ulaşmış, Türkiye adresli araştırmacılar önemli bir başarı göstermiştir. Bununla birlikte, en çok atf alan 10 makalenin toplam atfı 630-339 arasında olup, olağanüstü yüksektir. Buna karşın, Türkiye adresli makalelerin %12.6'sı hiç atf almamıştır. Sonuçta, makalelerin gerek nitelik ve niceliği gerekse atf sayısı dikkate alındığında, Türkiye adresli heyelanla ilişkili yayınların uluslararası literatürde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** : Heyelan, bibliyometri, Türkiye, makale, Web of Science

### ABSTRACT

The main purpose of the present study is to celebrate the 100th anniversary of the Republic of Türkiye by investigating the contribution of researchers from Türkiye to the world literature on landslides. Landslides are a significant and common natural hazard in terms of both loss of life and property. Within the scope of the analysis, Web of Science records with the keywords "landslide\*" and the address "Turkey or Türkiye or Türkiye" were used. Among the query results obtained, only articles and reviews were considered. As a result, 721 records were obtained and analyzed. The earliest publication addressing Türkiye was dated 1989. Although international publications on landslides in Türkiye started late, many articles addressing Türkiye have since been published in important journals such as Engineering Geology, Landslides, Environmental Earth Sciences, Computers & Geosciences, and Natural Hazard. While a limited number of articles were published in the 1990s, there was a significant increase in the number of articles in the 2000s, at one point reaching 66 in 2020. These articles were cited on average 33.73 times,

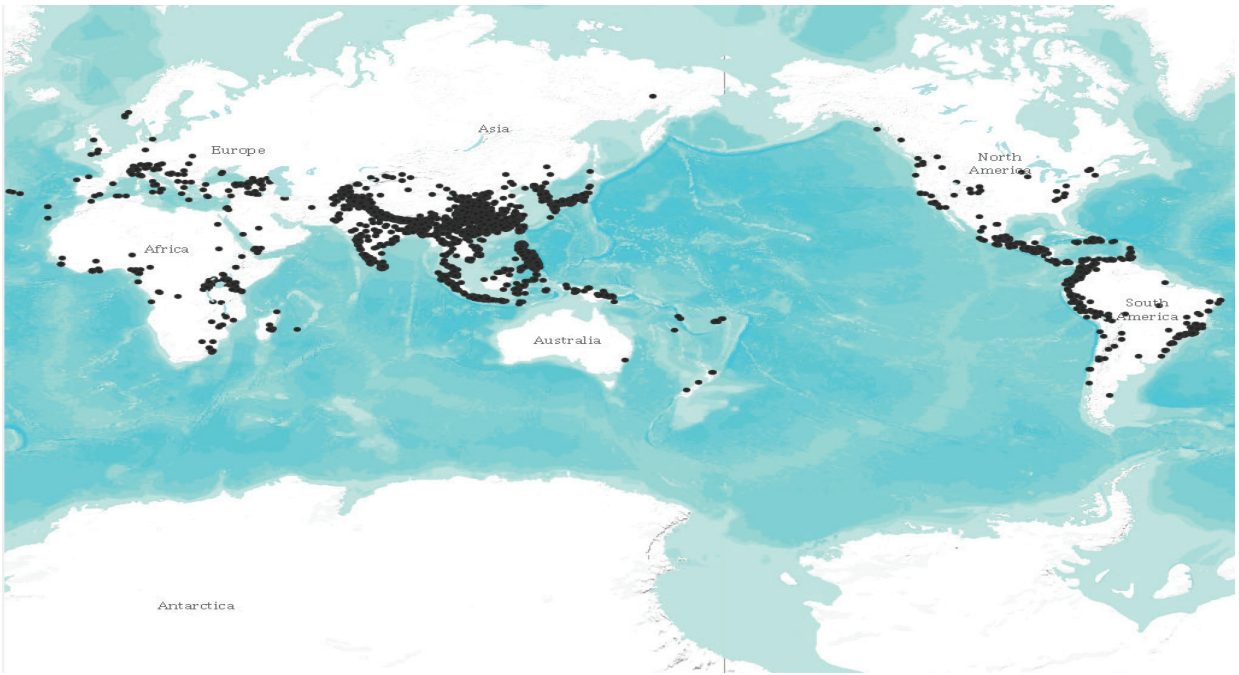
*a very high number, indicating the success of researchers from Türkiye. Indeed, the total citations of the 10 most cited articles range from 630-339, which is extraordinarily high. On the other hand, 12.6% of articles from Türkiye were not cited at all. As a result, considering both the quality and quantity of the articles and the number of citations, it is understood that landslide-related publications from Türkiye have had a significant impact on the international literature.*

**Keywords:** landslide, bibliometry, Türkiye, article, Web of Science

## 1. GİRİŞ

Alcantara-Ayala (2002) tarafından tariflendiği gibi Homo Sapiens'in Dünya'da ortaya çıkmasından önce gezegenimizde tamamen doğal bir sistem hüküm sürüyordu. Depremler, volkanik patlamalar, heyelanlar ve/veya su baskını gibi pek çok doğal olay sadece mevcut flora ve faunayı tehdit ederek gerçekleşti. Milyonlarca yıl sonra insan varlığı doğal olayları doğal afetlere dönüştürdü (Alcantara-Ayala, 2002). Oluşum sıklığı ve büyüklüğü değişmekle beraber, Dünya'nın hemen her coğrafyasında görülen heyelanlar can ve mal kayıplarına neden olan doğal tehlikeler içinde önemli paya sahiptir. Heyelanlar genel olarak depremler, şiddetli yağışlar ve antropojenik aktivitelerle tetiklenirler. Dolayısıyla heyelanlar aktif tektonizmanın ve şiddetli yağış rejimlerinin olduğu bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin de yağışlarla tetiklenen heyelanlar üstünde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Korup vd. (2012)'ye göre, iklim değişikliğine ilişkin öngörülen senaryolar, özellikle değişen yağış ve sıcaklık rejimlerinin bir sonucu olarak heyelanların büyüklüğünde ve sıklığında meydana gelebilecek olası değişiklikler hakkında genel tahminlere sahiptir. İklim değişikliğinin bir sonucu olan dengesiz ve ani yağışlar Türkiye'de de yaşanmakta ve son derece ciddi can ve mal kayıplarına neden olmaktadır (Kocaman et al., 2020). Bununla birlikte, Türkiye Dünyanın en aktif tektonik zonlarından biri olan Alp-

Himalaya kuşağı içinde yer almaktadır. Bu nedenle Türkiye'de yaşanan büyük depremlerde heyelanlar tetiklenmekte ve ek kayıplara neden olmaktadır (Karakas vd., 2021; Görüm vd., 2023; Gokceoglu, 2023). 2004-2016 yılları arasında Dünya'da ölümle sonuçlanan yağışla tetiklenmiş heyelanların dağılımı Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1'de görülen 4862 heyelanda 55997 kişi hayatını kaybetmiştir (Froude ve Petley, 2018). Görüm ve Fidan (2021) Türkiye'de 1929-2019 yılları arasında meydana gelmiş ve ölüme sebebiyet vermiş heyelanlar için bir veri tabanı derlemiştir. Bu veri tabanına göre, 389 ölümle sonuçlanan heyelan meydana gelmiş, bu heyelanlar 1343 kişinin hayatını kaybetmesine sebep olmuştur (Görüm ve Fidan, 2021). Şekil 2'de Görüm ve Fidan (2021) tarafından üretilen haritaya göre (Şekil 2), 31 ve daha fazla ölüme sebebiyet veren heyelanların önemli bir kısmı Doğu Karadeniz Bölgesinde oluşmuştur. Heyelanlar Türkiye'de çok yaygın olmasına ve ciddi miktarda can ve mal kaybına sebep olmasına rağmen, bu konudaki Türkiye adresli ilk uluslararası makale Jones vd. (1989) tarafından yayınlanmıştır. Jones vd. (1989) tarafından yayınlanan çalışma 23 Haziran 1988 yılında meydana gelen ve 66 insanın hayatını kaybettiği Çatak heyelanı ile ilgilidir. Buna karşın Web of Science kayıtlarında heyelanla ilgili karşılaşılan yayın Grater (1945) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışma Zion Kanyonu'nu kapatan ve geniş bir göl oluşturan büyük bir heyelan hakkındaki bir araştırmanın ürünüdür (Grater, 1945).



Şekil 1. 2004-2016 yılları arasında Dünyada yağışların tetiklediği ölümlerle sonuçlanan heyelanların dağılımı (<https://shefuni.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=98462998953c4f1fbd7caaa166373f63>).

Figure 1. Distribution of fatal landslides triggered by rainfall in the world between 2004 and 2016 (<https://shefuni.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=98462998953c4f1fbd7caaa166373f63>).

Heyelanlardan kaynaklanan can kayıpları daha çok yağışların tetiklediği heyelanlarla ilişkilendirilmektedir. Nitekim Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001) bu durumu heyelanları depremler ile aşırı ve şiddetli yağışlar tetiklediğinden, çoğunlukla heyelanlar neden oldukları kayıplar açısından ikincil olay olarak dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, Petley (2012) tarafından da vurgulandığı gibi heyelanlardan kaynaklanan küresel can kaybının miktarı yeterince belirlenmemektedir.

Gökçeoğlu ve Sezer (2009) tarafından Dünya heyelan literatürü üzerinde yapılan istatistiksel bir araştırma sonucunda, Dünya'da *Web of Science* indeksi tarafından taranan dergilerde konusu heyelan olan makale sayısı 1945-1975 periyodunda 1, 1975-1987

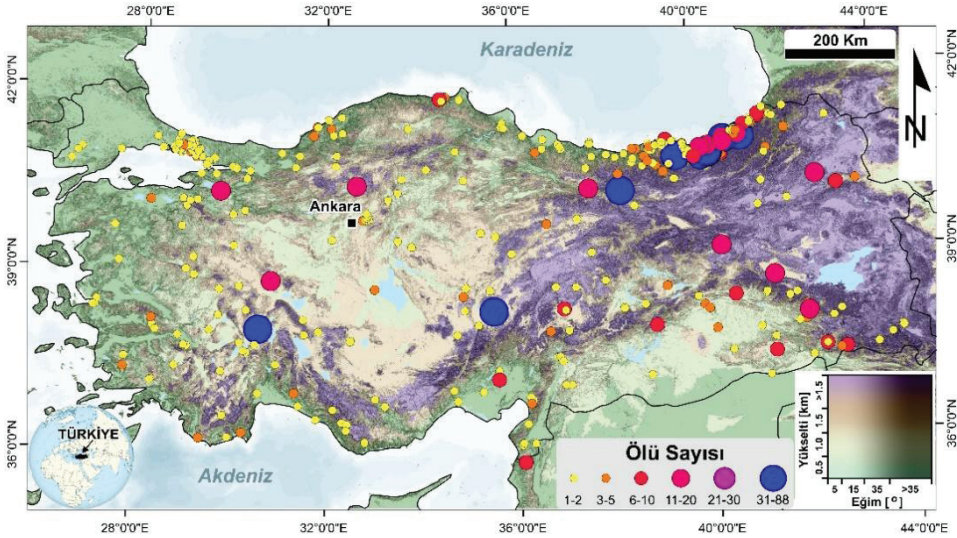
periyodunda 11 ve 1987-2009 periyodunda ise 150'dir. Buradan da görüldüğü gibi, en karmaşık doğal olaylardan biri olan heyelanlar hakkındaki araştırmalar Dünya'ya paralel olarak Türkiye'de artmıştır. Yine bu çalışmanın önemli sonuçlarından biri de bölgesel heyelan duyarlılık ve tehlike de değerlendirilmesi konusundaki çalışmaların artacağıdır (Gökçeoğlu ve Sezer, 2009). Nitekim bu bulgu Derin ve Ercanoğlu (2018) tarafından yapılan heyelanlarla ilgili bir bibliyometrik çalışma ile doğrulanmıştır. Derin ve Ercanoğlu (2018) tarafından AB'ne üye ülkelerdeki ve Türkiye'deki araştırmacılar tarafından uluslararası dergilerde yayımlanan toplam 714 çalışma incelenmiş ve en fazla çalışmanın heyelan duyarlılığı konusunda yapıldığı görülmüştür. Benzer biçimde Lima vd. (2022) tarafından heyelan duyarlılığının veriye



dayalı değerlendirmesi konusunda yapılan bir bibliyometrik çalışmada, özellikle 2000'li yıllardan sonra artan sayıda yayının 2019'da 380 ile en yüksek sayıya ulaştığını göstermiştir. Bununla birlikte, teknolojik gelişmelere bağlı olarak heyelanlarla ilgili Türkiye adresli içinde yeni kavramların bulunduğu çalışmaların da yayınlanmaya başladığı görülmektedir. Heyelan riski ve duyarlılığına ilişkin toplum algılarını anket yoluyla inceleyen çalışma ile (Bukhari et al., 2023) heyelan verisi toplama amaçlı vatandaş bilimi yaklaşımı (Kocaman ve Gökçeoğlu, 2019) örnek olarak gösterilebilir. Bununla birlikte Türkiye'de ülke çapında heyelan envanteri projesi MTA tarafından başlatılmış ve yaklaşık 10 yıl süren bir çalışma ile envanter tamamlanmıştır. Ülke açısından oldukça önemli bir veri tabanı oluşturulmuş ve <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/> web adresi aracılığıyla herkesin kullanımına açılmıştır. Bu araştırma projesi sonucunda önemli bilimsel araştırma sonuçları yayınlanmıştır

(Duman vd., 2005a ve b; Nefeslioglu vd., 2008; Duman, 2009; Duman ve Can, 2023). Ayrıca Görüm (2019) tarafından Anadolu platosundaki büyük heyelanları kontrol eden tektonik, topografik ve litoloji türü gibi faktörleri dikkate alıp birlikte değerlendirmeleri içeren ve heyelan literatürü açısından oldukça önemli bir çalışma yayınlanmıştır. Bununla birlikte, Duman ve Çan (2023) tarafından yayınlanan Türkiye kuzeyinin derin heyelanlarını konu alan araştırma makalesi Dünya heyelan literatürü açısından oldukça dikkat çekicidir.

Mühendislik Jeolojisi araştırma alanının en önemli dergilerinden olan Engineering Geology'nin 50. Yılı nedeniyle 2016 yılında yayınlanan bir değerlendirme çalışmasında en belirgin artış heyelanlar konusundaki makale sayısında yaşanmıştır (Şekil 3) (Juang vd., 2016). Dünyadaki heyelan araştırmalarıyla ilgili artışın Türkiye özelinde incelenmesi önemlidir.

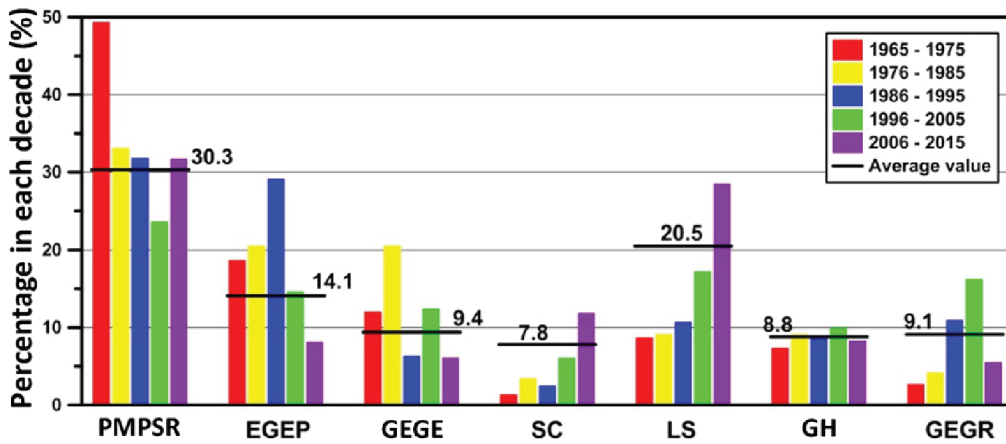


Şekil 2. Türkiye'de 1929'dan 2019'a kadar ölümcül heyelan ve ölümlerin mekânsal dağılımı (Görüm ve Fidan, 2021)  
Figure 2. Spatial distribution of fatal landslides and deaths in Türkiye from 1929 to 2019 (Görüm and Fidan, 2021)

Bu amaçla Web of Science indeksinde anahtar kelime “*landslide\**” ve adres olarak “*Turkey or Türkiye or Türkiye*” olacak şekilde, 1 Ocak 1945’den 31 Aralık 2023 tarih aralığında tarama gerçekleştirilmiş ve tarama sonuçları elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen tarama sonuçları kullanılarak, Türkiye Cumhuriyeti’nin 100. Yılında Türkiye adresli araştırmacıların Dünya heyelan literatürüne katkısı istatistiksel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Kuşkusuz bu tür çalışmaların sonuçları kullanılan veri tabanı ve çalışma yapılan zaman aralığıyla doğrudan ilişkilidir. Daha açık bir ifade ile çalışmada dikkate alınan periyot değiştiği zaman sonuçlarda da değişiklikler olacaktır. Neticede, bu çalışma verilen anahtar kelime ve zaman aralığıyla sınırlıdır.

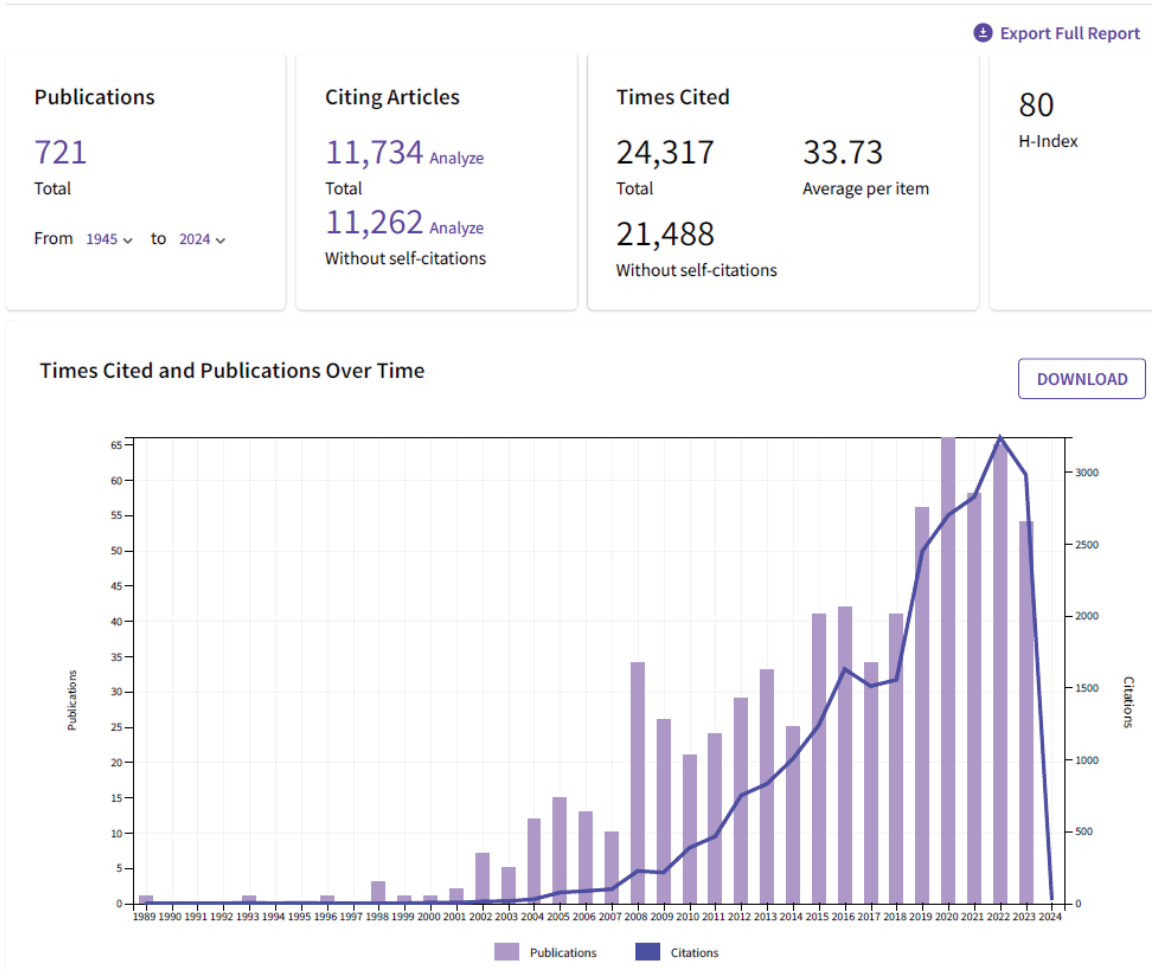
## 2. YÖNTEM ve VERİ

Çalışmanın amacına uygun olarak “*landslide\**” anahtar kelimesi kullanılarak Web of Science indeksi kullanılarak veriler sağlanmıştır. Elde edilen tarama sonuçları sadece “*article*” ve “*review*” sınıftaki çalışmalar dikkate alınmıştır. Bu rafine sonucunda 1 Ocak 1945 – 31 Aralık 2023 tarihleri arasında Türkiye adresli 721 adet makale ve derleme çalışmasına ulaşılmıştır. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında kullanılan 721 çalışmanın tüm verileri excel dosyası olarak saklanmış ve bu çalışmanın eki olarak paylaşılmaktadır. Bu çalışmada şev stabilitesi, kaya düşmesi ve yanal yayılma gibi diğer yamaç hareketlerini içeren anahtar kelimeler kullanılmamış sadece “heyelan” anahtar kelimesi kullanılmıştır.



Şekil 3. Son elli yılda Engineering Geology dergisinde yayınlanan farklı konu kategorilerinin çeşitliliği ve zamana bağlı değişimi. PMPSR: Zemin, kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri; EGEP: Mühendislik projeleri için mühendislik jeolojisi; GEGE: Jeoloji mühendisliği ve jeoteknik mühendisliği; SC: Saha karakterizasyonu; LS: Heyelanlar; GH: Jeotehlikeler; GEGR: Jeo-çevre ve coğrafi kaynaklar (Juang vd., 2016)

Figure 3. Diversity and temporal evolution of different topic categories published in the journal Engineering Geology over the last fifty years. PMPSR: Physical and mechanical properties of soil, rock material and rock masses; EGEP: Engineering geology for engineering projects; GEGE: Geological engineering and geotechnical engineering; SC: Site characterization; LS: Landslides; GH: Geohazards; GEGR: Geo-environment and geographical resources (Juang et al., 2016)



Şekil 4. Web of Science'dan alınan 721 adet yayının atıf raporu

Figure 4. Citation reports of 721 publications obtained from Web of Science

Yayın ve atıf sayılarının yıllara bağlı değişimi Şekil 4'de verilmektedir. Web of Science indeksine giren Türkiye adresli ilk yayın 1989 tarihli'dir. Bu tarihten 2000'li yılların başına kadar oldukça düşük olan yayın sayısı 2003'den itibaren artmaya başlamış ve yıllar içinde küçük değişiklikler olmasına rağmen genel olarak artış eğiliminde olmuştur. Yayın sayısı 2022 yılında yıllık 66'ya ulaşmış, 2023 yılında ise 63 makale yayınlanmıştır. Bu eğilim korunduğu takdirde gelecek 10 yıl içinde yıllık 100 adet heyelan

konulu sayısına ulaşılması beklenmelidir. Bu eğilim Türkiye adresli araştırmacıların Dünya yerbilimleri literatürüne katkısı konulu başka bir araştırmanın (Gökçeoğlu vd., 2008) sonuçlarıyla uyumludur. 2001 yılından itibaren Türkiye'de uygulamaya konulan doçentlik kriterleri genel olarak uluslararası yayınların artışına neden olmuş, doğal olarak bu artış heyelan konulu yayınlara da yansımıştır.

Tespit edilen 721 yayının Web of Science'daki atıf raporu incelendiğinde, bu

yayımların toplam 24317 atıf aldığı ve yayın başına düşen atıf sayısının 33.73 olduğu, kendine atıflar çıkarıldığında dahi ortalama atıfın 29.8 gibi oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu yayınların H-indeksi 80'dir. Neticede Türkiye adresli heyelan makaleleri atıf açısından incelendiğinde, ortalama atıf değerinin oldukça yüksek ve toplam atıf sayısının yıllara bağlı olarak da arttığı görülmektedir.

Sonuç olarak özellikleri verilen veriler kullanılarak istatistiksel yorumlar ve değerlendirmeler yapılmıştır.

### 3. KONU, DERGİ ve ADRES DEĞERLENDİRMESİ

İstatistiksel değerlendirme kapsamında atıf, yazar, konu, dergi gibi parametreler dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Veriler Web of Science konular bazlı incelendiğinde (Şekil 5), yayınların %54.1'inin Çok disiplinli

yerbilimleri dergilerinde, %21.9'unun Çevre bilimleri dergilerinde, %20.3'ünün Su Kaynakları dergilerinde ve %16.8'inin de Mühendislik Jeolojisi dergilerinde yayınlandığı görülmektedir. Bununla birlikte, Meteoroloji Atmosferik Bilimler, Uzaktan Algılama ve İnşaat Mühendisliği dergilerinde de önemli oranda heyelan konulu makaleler yayınlanmıştır.

Makalelerin yayınlandığı dergiler incelendiğinde (Şekil 6), Türkiye adresli ve heyelan konulu makale yayınlayan derginin Environmental Earth Sciences olduğu görülmektedir. Ayrıca yine listede bulunan Environmental Geology dergisinin 2010 yılından itibaren Environmental Earth Sciences olarak yayınlanmaya devam ettiği dikkate alındığında, makalelerin %9.29'u bu dergide yayınlanmıştır. Bu dergiyi %5 ile Natural Hazards, %4.3 ile Engineering Geology, %4.02 ile Bulletin of Engineering Geology and the Environment, %2.78 ile Arabian Journal of Geosciences and Landslides dergileri izlemektedir.



Şekil 5. Türkiye adresli heyelan konulu makalelerin yayınlandığı dergilerin konu dağılımı

Figure 5. Subject distribution of journals where articles on landslides from Turkey are published





Şekil 6. Türkiye adresli heyelan konulu makalelerin yayınlandığı dergilerin dağılımı

Figure 6. Distribution of journals from Türkiye where articles on landslides are published

En çok yayının yapıldığı 10 derginin ayrıntılı parametreleri Çizelge 1'de verilmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen yayınların yayınlandığı en yüksek etki faktörlü dergi 7.9 ile Engineering Geology olup, bunu 7 etki faktörüyle Landslides izlemektedir. Bu listede bulunan en düşük etki faktörlü dergi ise 0.58 ile Fresenius Environmental Bulletin'dir. Çizelge 1 incelendiğinde, bu listedeki en yüksek etki faktörüne sahip Engineering Geology dergisinde yayınlanan çalışmaların ortalama atfı 103.35 gibi oldukça yüksektir. Buna karşın en düşük etki faktörlü Fresenius Environmental Bulletin'de yayınlanan çalışmaların ise aldığı ortalama atfı sayısı ise 4.31 ile oldukça düşüktür. Bununla birlikte Environmental Geology dergisindeki yayınlar ortalama 81.5 atf almıştır. Dergi etki faktörüne bağlı olarak çok yüksek ortalama atf değerinin olmasının ana sebebi, bu dergideki yayınların yaşının çok yüksek olmasıdır. Diğer bir ifade ile bu dergideki en yeni yayın 2010 tarihli olup, bu tarihten sonra dergi Environmental

Earth Science olarak yayınlanmaya başlamıştır. Çizelge 1'deki dergilerin etki faktörü ile ortalama atf sayısı arasındaki ilişki Şekil 7'de verilmektedir. Dergi etki faktörüyle ortalama atf arasında, 0.41 regresyon katsayısına sahip bir ilişki bulunmaktadır. Buna göre, yüksek etki faktörüne sahip dergilerde yayınlanmış makaleler genel olarak daha yüksek atf almaktadır.

Çizelge 1'de verilen listeye girmeyen ancak yüksek etki faktörüne sahip dergilerde Türkiye adresli heyelan konulu makaleler de yayınlanmıştır. Bunlara örnek olarak, 13.6 etki faktörüne sahip Earth-Science Reviews (Zennaro vd., 2021), 12.4 etki faktörüne sahip ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (Osmanoğlu vd., 2016), 8.8 etki faktörü ile IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (Pradhan vd., 2010), 8.3 etki faktörü ile Expert Systems with Applications (Sezer vd., 2011), 7.4 etki faktörü ile International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (Aksoy vd.,

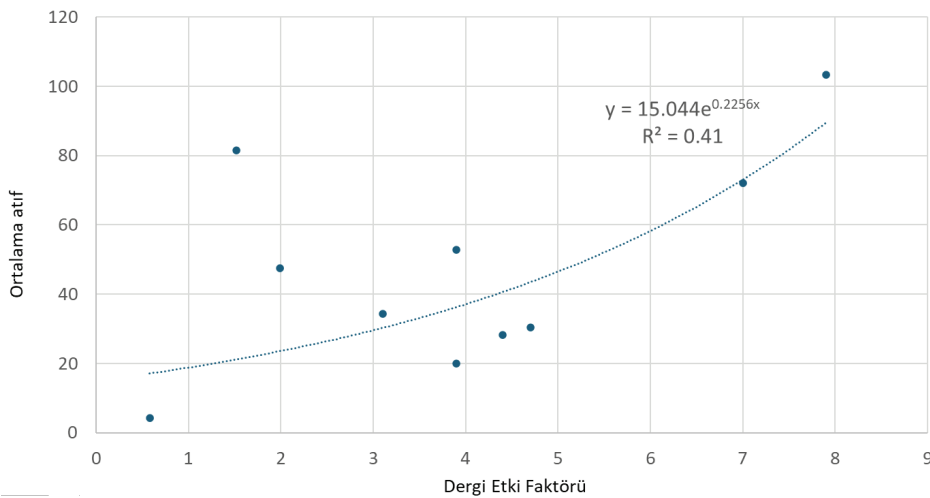
2004), 7.2 etki faktörü ile International Journal of Earth Observations and Geoinformation (Nefeslioğlu vd., 2012; Liu vd., 2013; San, 2014; Erten ve Rossi, 2019; Hastaoğlu vd., 2019), 6.9 etki faktörü ile Land Use Policy (Demir vd., 2015; Nefeslioğlu ve Görüm, 2020) ve Rock Mechanics

and Rock Engineering (Akın, 2013; Kumsar vd., 2016) ve 6.4 etki faktörü ile Catena (Yalçın, 2008; Yalçın vd., 2011; Alimohammadlou vd., 2014; Demir, 2019; Keleş ve Nefeslioğlu, 2021; Eker ve Aydın, 2021; Ekmekçioğlu ve Koç, 2022) verilebilir.

Çizelge 1. Türkiye adresli heyelan konulu en çok yayının bulunduğu 10 dergi ve parametreler

Table 1. The 10 journals with the most publications from Türkiye on landslides and their parameters

Dergi	5 yıllık etki faktörü	Toplam yayın sayısı	Toplam atıf sayısı	Ortalama atıf sayısı	h-indeks
Environmental Earth Sciences	3.1	43	1480	34.42	16
Natural Hazards	3.9	36	1902	52.83	18
Engineering Geology	7.9	31	3204	103.35	19
Bulletin of Engineering Geology and the Environment	4.4	29	822	28.34	15
Environmental Geology	1.52	24	1956	81.5	15
Arabian Journal of Geosciences	1.99	20	951	47.55	12
Landslides	7	20	1442	72.1	15
Natural Hazards and Earth System Sciences	4.7	15	457	30.47	9
Fresenius Environmental Bulletin	0.58	13	56	4.31	3
Geocarto International	3.9	12	241	20.08	8



Şekil 7. Türkiye adresli heyelan konulu en çok yayının bulunduğu 10 derginin etki faktörü ile ortalama atıf değerleri arasındaki korelasyon.

Figure 7. Correlation between impact factor and average citation values of the 10 journals with the most publications from Türkiye on landslides.

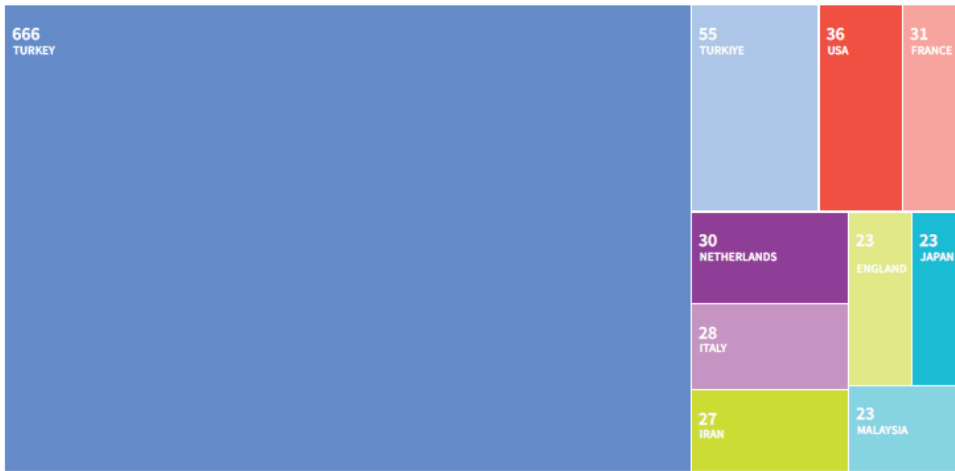
Türkiye ve Turkey adresli 721 yayında başka ülkeler de yer almaktadır. Türkiye adresli araştırmacıların yaptıkları uluslararası ortaklı çalışmalar nedeniyle farklı ülke adresleri de analiz sonuçları içine girmektedir (Şekil 8). Türkiye adresli araştırmacıların ortaklık yaptığı araştırmacıların adresine bakıldığında en çok ortaklık %4.5 ile Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Bunu %4.3 ile Fransa, %4.2 ile Hollanda, %3.9 ile İtalya, %3.7 ile İran, %3.2 ile İngiltere, Japonya ve Malezya izlemektedir. Bu durum Türkiye adresli araştırmacıların ciddi uluslararası ilişkiler kurduğunu ve araştırmalar tamamlayarak yayınlar ürettiğini göstermektedir.

Türkiye içinde heyelan konulu makalelerin hangi üniversite ve kurumlarda çalışan araştırmacıların olduğunun incelenmesi amacıyla, Web of Science kaynaklarında kurum analizi yapılmıştır (Şekil 9). Buna göre bu çalışma kapsamında tespit edilen tüm yayınların %12.76'sı Hacettepe Üniversitesi araştırmacıları tarafından yapılmıştır. Hacettepe Üniversitesi araştırmacılarını %10.13 ile İstanbul Teknik

Üniversitesi araştırmacıları, %9.6 ile Ortadoğu Teknik Üniversitesi araştırmacıları, %9.15 ile Karadeniz Teknik Üniversitesi araştırmacıları ve %6.1 ile MTA araştırmacıları takip etmektedir. Bununla birlikte Cumhuriyet Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi ve Gazi Üniversitesi de önemli paya sahiptir.

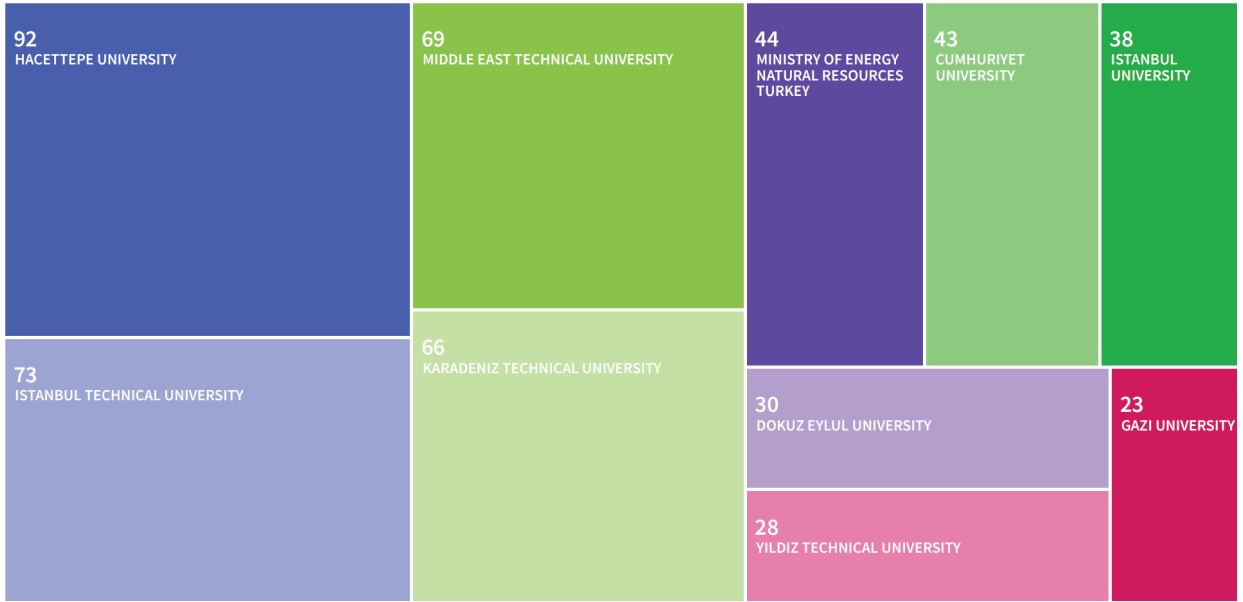
#### 4. ATIF ve YAZAR ANALİZİ

Çalışma kapsamında tespit edilen makalelerin atıf ve yazar analizi ayrıca gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen 721 yayının 91 adedi, diğer bir ifade %12.6'sı hiç atıf almamıştır (Şekil 10). Yayınların %27'si 2 ve daha az atıf almıştır. Bununla birlikte, yayınların %16.5'u 50'den fazla, %8.7'si ise 100'den fazla atıf almıştır. Bununla birlikte, makalelerin toplam atıf sayıları yayınlandığı yıl ile, diğer bir ifadeyle yaşıyla da ilişkilidir. En yüksek atıfa sahip Türkiye adresli heyelan konulu makaleler Çizelge 2'de verilmektedir.



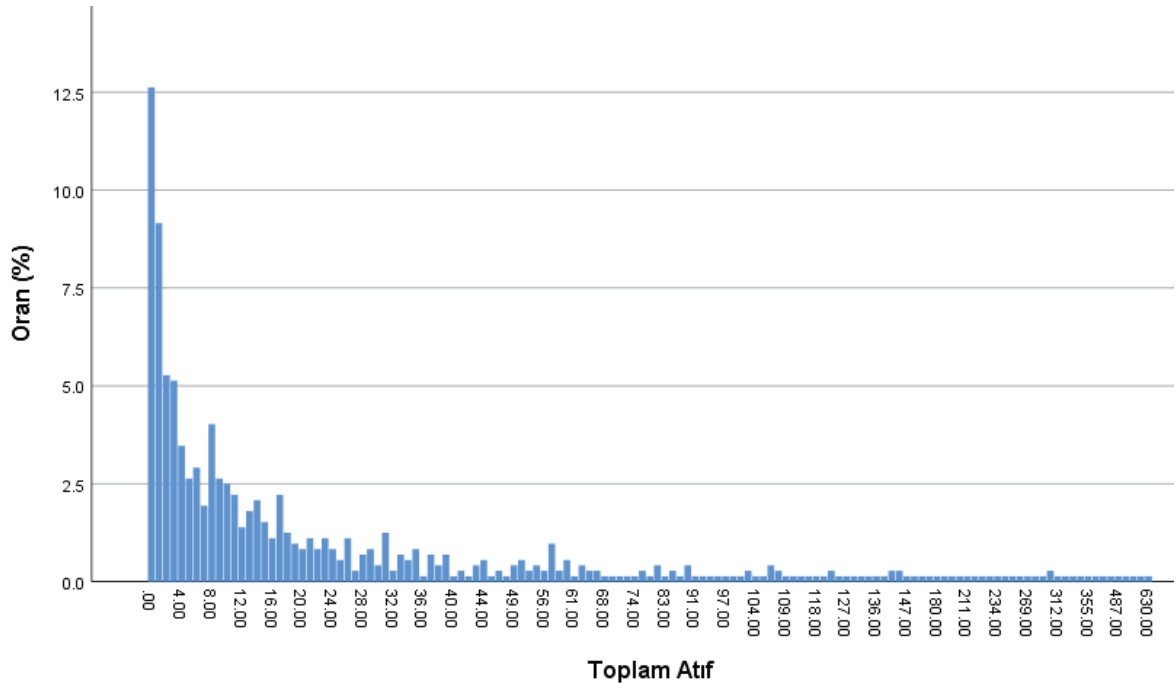
Şekil 8. Çalışmada kullanılan verilerde tespit edilen diğer ülkeler

Figure 8. Other countries identified in the data used in the study



Şekil 9. Heyelan konulu makalelerin Türkiye içindeki Üniversite ve Kurumlara göre dağılımı

Figure 9. Distribution of articles on landslides by Universities and Institutions in Türkiye



Şekil 10. Çalışmada incelenen yayınların toplam atıf sayısı.

Figure 10. Total number of citations in the publications examined in the study.



Gökçeoğlu

Çizelge 2’de verilen en yüksek atıf alan 10 çalışma incelendiğinde tamamının bölgesel ölçekli heyelan duyarlılığı değerlendirmeleri ile ilgili olduğu görülmektedir. Bununla birlikte en yüksek atıf alan 10 çalışma 2002-2014 yılları arasındaki 12 yıllık dönemde yayımlanan makaleler almıştır. Heyelan duyarlılığı çalışmaları tüm dünyada üstünde çok çalışılan, dolayısıyla çok sayıda makale yayımlanan bir araştırma alanı olmuştur. Bu nedenle heyelan duyarlılığı konusunda yayımlanan çalışmaların en yüksek atıf alması normal kabul edilmelidir. Ayrıca, en yüksek atıf alan 10 çalışmanın yıllık ortalama atıfları incelendiğinde, bu listede bulunan yayınların toplam atıflarının

gelecek 5 yılda atıf sayılarının daha da artması beklenmelidir.

Çalışmanın son aşamasında yazar analizi yapılmıştır. Bu amaçla tarama aşamasında yazar analizi doğrudan Web of Science’da gerçekleştirilmiştir (Şekil 11). Şekil 11’de verilen grafik incelendiğinde, C. Gökçeoğlu, I. Yılmaz ve T. Görüm en çok yayın üreten üç araştırmacıdır. Bu araştırmacıları H.A. Nefeslioğlu, M. Ercanoğlu, A. Akgün ve T. Kavzoğlu takip etmektedir. Türkiye adresli yazarlarla birlikte çalışmalar üreten B. Pradhan ve M. Marschalko çıkarıldığında, bu listeye 11’er yayımla E.K. Şahin, H. Sönmez ve A.C. Yalçınmer girmektedir.



Şekil 11. Heyelan konusunda en çok yayın yapan araştırmacılar.

Figure 11. Researchers who published the most on landslides.

Çizelge 2. Türkiye adresli ve heyelan konulu yayınlar içinde en yüksek atıfa sahip 10 çalışma

Table 2. The 10 studies with the highest citation rate of publications out of Türkiye on the topic of landslides

Yıl	Yayın Adı	Yazar(lar)	Dergi	Toplam Atıf	Ortalama Yıllık Atıf
2012	Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran	Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gokceoglu, C.	Natural Hazards	630	48.48
2009	Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey)	Yılmaz, I.	Computers & Geosciences	614	38.38
2008	GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations	Yalçın, A.	Catena	578	34.00
2005	Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey)	Yesilnacar, E., Topal, T.	Engineering Geology	567	28.35
2011	A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility	Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., Yomralioglu, T.	Catena	487	34.79
2008	An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility	Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H.	Engineering Geology	405	23.82
2014	Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression	Kavzoglu, T., Sahin, E.K., Colkesen, I.	Landslides	401	36.45
2010	Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine	Yılmaz, I.	Environmental Earth Sciences	387	25.8
2002	Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach	Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C.	Environmental Geology	355	15.43
2012	A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at Izmir, Turkey	Akgun, A.	Landslides	339	26.08

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

Dünya'nın muhtemelen en karmaşık yüzey süreçlerinden biri olan heyelanlar hemen her coğrafyada görülmekle birlikte, Dünya'nın belirli bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Heyelanlarla ilgili gerekli araştırmalar ve önlemler alınmadan yapılan mühendislik yapıları ciddi hasar görmekte, yerleşimlerde ise ciddi can kayıplarına neden olmaktadır. Türkiye'nin gerek jeolojik ve jeomorfolojik gerekse iklim özellikleri dikkate alındığında, heyelanlı bölgelerin yaygın olması son derece normaldir. Yaygın heyelan alanları nedeniyle, zaman zaman şiddetli yağışlar ve depremler nedeniyle heyelanlar tetiklenmekte ve ciddi can ve mal kayıpları oluşmaktadır. Bu özelliği dikkate alındığında, Türkiye adresli araştırmacıların Dünya heyelan literatürüne katkısının Web of Science kayıtları kullanılarak incelenmesi bu çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, Web of Science'de tarama yapılmış ve 1945-2023 aralığında konusunda heyelan ve en az bir yazarının adresinin Türkiye olduğu makale ve derleme olan 721 adet kayda ulaşılmıştır. Unutulmamalıdır ki, yapılan genel taramada bazı küçük hatalar olması ihtimali bulunmaktadır. Ancak, veriler bu konudaki genel eğilimleri yansıtabilecek düzeydedir. Bununla birlikte, Web of Science sistemi dinamik olup, neredeyse hemen her gün güncellenmektedir. Bu nedenle, elde edilen veriler araştırmanın yapıldığı tarih aralığında excel dosyası olarak saklanmış, bu çalışmanın eki olarak sunulmaktadır. Bu bakımdan ilerleyen dönemde heyelan konusundaki çalışmalarda ilerlemeye paralel olarak bu değerlendirme güncellenerek ülke olarak kaydettiğimiz gelişme değerlendirmeye açıktır.

1945 yılından bugüne indekslenen heyelan konulu veya heyelanla ilişkili makaleler içinde ilk Türkiye adresli makale 1989 tarihlidir. Bu

kadar yaygın heyelanların bulunduğunu bir ülke olmasına rağmen Türkiye adresli ilk makale 44 yıl sonra Web of Science kayıtlarına girmiştir. Daha açık bir ifade ile, Türkiye'de heyelanla ilgili bilimsel araştırmaların geç kalmasına neden olmuştur. Bu durum Dünya'da etki faktörü en yüksek dergiler olan Nature ve Science gibi dergilerde henüz Türkiye adresli bir makale yayınlanmamıştır. Oysa bu dergilerde heyelanla ilişkili çok sayıda araştırma makalesine rastlamak mümkündür.

Geç başlamasına rağmen Türkiye adresli ciddi sayıda ve alanının önemli dergileri olan Engineering Geology, Landslides, Environmental Earth Sciences, Computers & Geosciences ve Natural Hazard gibi dergilerde Türkiye adresli makaleler yayınlanmıştır. 1990'larda sınırlı sayıda makale yayınlanmışken, 2000'li yıllarda makale sayısında ciddi artış olmuştur. Bundaki en önemli idari gerekçe Doçentlik unvanı için uluslararası indeksli makale zorunluluğudur. Bilimsel ve teknik gerekçe ise 1990'ların sonunda MTA tarafından başlatılan Türkiye heyelan envanteri projesi ve heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan çok çeşitli yöntemlerin geliştirilmesidir. Açıktır ki Türkiye adresli araştırmacılar bu konuda ciddi bir başarı göstermiştir. Nitekim makalelerin ortalama atfı 33.73 gibi oldukça yüksek bir sayıya ulaşmıştır. En çok atıf alan 10 makaleye bakıldığında ise toplam atıflar 630-339 arasında değişmekte olup, bu sayılar olağanüstü yüksektir. Bununla birlikte, Türkiye adresli makalelerin %12.6'sı hiç atıf almamıştır. Genel olarak bakıldığında bu oranın yüksek olduğu söylenemez. Neticede, atıf açısından bakıldığında Türkiye adresli heyelanla ilişkili yayınların literatürde önemli bir etkiye sahip olduğu açıktır.

Heyelan konusu ağırlıklı Jeoloji Mühendisliğinin ana araştırma konularından

biri olmakla beraber, farklı yönleriyle İnşaat Mühendisliği, Harita ve/veya Geomatik Mühendisliği ve Jeomorfoloji alanları içinde yer almaktadır. Bu nedenle, heyelanlar konusunda çok disiplinli araştırmaların yapılması daha yüksek nitelikli ve yüksek etkiye sahip yayınların üretilmesinin önünü açacaktır. Araştırmalar genel olarak incelendiğinde, belirli oranda çok disiplinli çalışmalar bulunmakla beraber, henüz yeterli orana ulaşmadığı anlaşılmaktadır.

İtalya'dan sonra en fazla heyelana sahip olan ülkemiz buna karşın Kıta Avrupa'sında ölüm sıralamasında birinci sırada yer almaktadır (Haque vd., 2016). Türkiye'nin çok yüksek heyelan potansiyeline rağmen, bu konuda araştırma yapan araştırmacı sayısı yetersizdir. Sadece 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinde 3600 civarında heyelanın tetiklendiği düşünüldüğünde (Görüm vd., 2023), heyelanın ne kadar büyük ve ülke açısından önemli bir araştırma alanı olduğu anlaşılır.

Heyelan duyarlılık konusundaki başarıyla rağmen henüz heyelan tehlikesi ve riski ile heyelanların evriminin ve mekanizmasının incelenmesi konusundaki araştırmalar yetersizdir. Bununla birlikte çoklu tehlikelerin değerlendirilmesi ve heyelanlarla ilgili erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi konusundaki çalışmalar da oldukça sınırlıdır. Göreceli olarak Dünya'da heyelanların evriminin ve mekanizmasının incelenmesi konusundaki araştırmalar belirli bir düzeye gelmiş olmakla birlikte, heyelan tehlikesi ve riski ile çoklu tehlikelerin bölgesel değerlendirilmesi konuları Dünya'da da henüz sınırlıdır. Yakın gelecekte bu konularda Dünya'da çok sayıda araştırmanın yayınlanması beklenmekte olup, Türkiye'deki araştırmacıların bu konuları dikkate alması son derece yerinde olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Akgun, A. (2012). A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at Izmir, Turkey. *Landslides*, 9 (1), 93-106, 10.1007/s10346-011-0283-7
- Akın, M. (2013). Slope Stability Problems and Back Analysis in Heavily Jointed Rock Mass: A Case Study from Manisa, Turkey. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46 (2), 359-371, 10.1007/s00603-012-0262-x
- Aksoy, C.O., Kose, H., Onargan, T., Koca, Y., & Heasley, K. (2004). Estimation of limit angle using laminated displacement discontinuity analysis in the Soma coal field, Western Turkey. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41 (4), 547-556, 10.1016/j.ijrmms.2003.01.002
- Alcantara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47, 107-124
- Alimohammadlou, Y., Najafi, A., Gokceoglu, C. (2014). Estimation of rainfall-induced landslides using ANN and fuzzy clustering methods: A case study in Saeen Slope, Azerbaijan province, Iran. *Catena*, 120, 149-162, 10.1016/j.catena.2014.04.009
- Bukhari, M.H., da Silva, P.F., Pilz, J., Istanbuluoglu, E., Görüm, T., Lee, J., Karamehic-Muratovic, A., Urmi, T., Soltani, A., Wilopo, W., Qureshi, J.A., Zekan, S., Koonisetty, K.S., Sheishenaly, U., Khan, L., Espinoza, J., Mendoza, E.P., & Haque, U., (2023). Community perceptions of landslide risk and susceptibility: a multi-country study. *Landslides*, 20, 1321-1334, DOI 10.1007/s10346-023-02027-5
- Demir G. (2019). GIS-based landslide susceptibility mapping for a part of the North Anatolian Fault Zone between Resadiye and Koyulhisar (Turkey). *Catena*, 183, 104211, 10.1016/j.catena.2019.104211

- Demir, O., Inan, H.I., Biyik, C., & Uzun, B. (2015). Land management for erosion prevention: A case study for a Turkish nature reserve. 47, 394-400, 10.1016/j.landusepol.2015.01.036
- Derin, L., & Ercanoğlu, M., (1998). Heyelan Duyarlılığı, Tehlikesi ve Riski ile İlgili Çalışmalarda Türkiye ve Avrupa Birliği Ülkelerinin Karşılaştırılması. Afet ve Risk Dergisi, 1(1), 26-38
- Duman, T.Y. (2009). The largest landslide dam in Turkey: Tortum landslide. Engineering Geology, 104 (1-2), 66-79, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.08.006>
- Duman, T.Y., & Çan, T. (2023). Characteristics of landslides and assessment of deep-seated landslide susceptibility in Northern Turkey. Med. Geosc. Rev. 5, 131–157, <https://doi.org/10.1007/s42990-023-00105-3>
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Keçer, M., Doğan, A., Ateş, Ş., & Durmaz, S. (2005a). Landslide inventory of northwestern Anatolia, Turkey. Engineering Geology, 77(1-2), 99-114, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.08.005>
- Duman, T.Y., Can, T., Ulusay, R., Keçer, M., Emre, O., Ateş, S., & Gedik, I. (2005b). A geohazard reconnaissance study based on geoscientific information for development needs of the western region of Istanbul (Turkey). Environ Geol 48, 871–888 (2005). <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0026-y>
- Eker, R., & Aydın, A. (2021). Long-term retrospective investigation of a large, deep-seated, and slow-moving landslide using InSAR time series, historical aerial photographs, and UAV data: The case of Devrek landslide (NW Turkey). Catena, 196, 104895, 10.1016/j.catena.2020.104895
- Ercanoğlu, M., & Gokceoglu, C., (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environmental Geology, 41 (6), 720-730, 10.1007/s00254-001-0454-2
- Erten, E., & Rossi, C., (2019). The worsening impacts of land reclamation assessed with Sentinel-1: The Rize (Turkey) test case. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 74, 57-64, 10.1016/j.jag.2018.08.007
- Ekmekcioglu, O., & Koc, K. (2022). Explainable step-wise binary classification for the susceptibility assessment of geo-hydrological hazards. Catena, 216, 106379, 10.1016/j.catena.2022.106379
- Froude, M. J., & Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 2161–2181, <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Hastaoglu, K.O., Gul, Y., Poyraz, F., & Kara, B.C. (2019). Monitoring 3D areal displacements by a new methodology and software using UAV photogrammetry. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 83, 101916, 10.1016/j.jag.2019.101916
- Haque, U., Blum, P., Da Silva, P. F., Andersen, P., Pilz, J., Chalov, S. R., & Keellings, D., (2016). Fatal landslides in Europe. Landslides, 13, 1545-1554.
- Gokceoglu, C. (2023). 6 February 2023 Kahramanmaraş – Türkiye Earthquakes: A general overview. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-M-1-2023, 417–424, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-1-2023-417-2023>
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. Yerbilimleri, 23, 189-206
- Gökçeoğlu, C., & Sezer, E. (2009). A statistical assessment on international landslide literature (1945–2008). Landslides, 6, 345–351, DOI 10.1007/s10346-009-0166-3
- Gokceoglu, C., Okay, A.I., & Sezer, E. (2008). International earth science literature from Turkey – 1970–2005: Trends and possible causes. Scientometrics, 74 (3), 409–423, DOI: 10.1007/s11192-007-1813-x
- Görüm, T. (2019). Tectonic, topographic and rock-type influences on large landslides at the northern margin of the Anatolian Plateau. Landslides, 16, 333–346, DOI 10.1007/s10346-018-1097-7



- Görüm, T., & Fidan, S. (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey. *Landslides*, 18, 1691–1705, DOI 10.1007/s10346-020-01580-7
- Görüm, T., Tanyas, H., Karabacak, F., Yılmaz, A., Girgin, S., Allstadt, K.E., Süzen, M.L., & Burgi, P. (2023). Preliminary documentation of coseismic ground failure triggered by the February 6, 2023 Türkiye earthquake sequence. *Engineering Geology*, 327, 107315, DOI 10.1016/j.enggeo.2023.107315
- Grater, R.K. (1945). Landslide in Zion Canyon, Zion National Park, Utah. *The Journal of Geology*, 53 (2), 116-124, <https://doi.org/10.1086/625254>
- Juang, C.H., Carranza-Torres, C., Crosta, G., Dong, J.-J., Gokceoglu, C., Jibson, R.W., Shakoob, A., Tang, H., van Asch, T.J.W., & Wasowski, J. (2016). Engineering geology — A fifty year perspective. *Engineering Geology*, 201, 67–70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.12.020>
- Jones, D.K.C., Lee, E.M., Hearn, G.J., & Genc, S. (1989). The Catak landslide disaster, Trabzon Province, Turkey. *Terra Nova*, 1 (1), 84-90, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1989.tb00331.x>
- Keles, F., & Nefeslioglu, H.A. (2021). Infinite slope stability model and steady-state hydrology-based shallow landslide susceptibility evaluations: The Guneyisu catchment area (Rize, Turkey). *Catena*, 200, 105161, 10.1016/j.catena.2021.105161
- Karakas, G., Nefeslioglu, H.A., Kocaman, S., Buyukdemircioglu, M., Yurur, T., & Gokceoglu, C. (2021). Derivation of earthquake-induced landslide distribution using aerial photogrammetry: the January 24, 2020, Elazig (Turkey) earthquake. *Landslides* 18, 2193–2209, <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01660-2>
- Kavzoğlu, T., Sahin, E.K., & Colkesen, I. (2014). Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11 (3), 425-439, 10.1007/s10346-013-0391-7
- Kocaman, S., & Gokceoglu, C. (2019). A CitSci app for landslide data collection. *Landslides*, 16, 611–615, <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1101-2>
- Kocaman, S., Tavus, B., Nefeslioglu, H.A., Karakas, G., & Gokceoglu, C. (2020). Evaluation of Floods and Landslides Triggered by a Meteorological Catastrophe (Ordu, Turkey, August 2018) Using Optical and Radar Data. *Geofluids*, 2020, Article ID 8830661, <https://doi.org/10.1155/2020/8830661>
- Korup, O., Görüm, T., & Hayakawa, Y. (2012). Without power? Landslide inventories in the face of climate change. *Earth Surf. Process. Landforms*, 37,92–99, DOI: 10.1002/esp.2248
- Kumsar, H., Aydan, O., Tano, H., Celik, S.B., & Ulusay, R. (2016). An Integrated Geomechanical Investigation, Multi-Parameter Monitoring and Analyses of Babadag-Gundogdu Creep-like Landslide. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49 (6), 2277-2299, 10.1007/s00603-015-0826-7
- Lima, P., Steger, S., Glade, T., Murillo-García, & F.G. (2022). Literature review and bibliometric analysis on data-driven assessment of landslide susceptibility. *Journal of Mountain Science*, 19(6). <https://doi.org/10.1007/s11629-021-7254-9>
- Liu, P., Li, Z., Hoey, T., Kincal, C., Zhang, J., Zeng, Q., & Muller, J.-P., (2013). Using advanced InSAR time series techniques to monitor landslide movements in Badong of the Three Gorges region, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 253-264, 10.1016/j.jag.2011.10.010
- Nefeslioglu, H.A., & Görüm, T. (2020). The use of landslide hazard maps to determine mitigation priorities in a dam reservoir and its protection area. *Land Use Policy*, 91, 104363, 10.1016/j.landusepol.2019.104363
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., & Durmaz, S. (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94 (3–4), 401-418, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.036>

- Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., & Sonmez, H., (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility. *Engineering Geology*, 97 (3-4), 171-191, 10.1016/j.enggeo.2008.01.004
- Nefeslioglu, H.A., San, B.T., Gokceoglu, C., & Duman, T.Y. (2012). An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide susceptibility mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14 (1), 40-60, 10.1016/j.jag.2011.08.005
- Osmanoglu, B., Sunar, F., Wdowinski, S., & Cabral-Cano, E. (2016). Time series analysis of InSAR data: Methods and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 90-102, 10.1016/j.isprsjprs.2015.10.003
- Petley, D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, 40 (10), 927-930, doi:10.1130/G33217.1
- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C., (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63 (2), 965-996, 10.1007/s11069-012-0217-2
- Pradhan, B., Sezer, E.A., Gokceoglu, C., & Buchroithner, M. F. (2010). Landslide Susceptibility Mapping by Neuro-Fuzzy Approach in a Landslide-Prone Area (Cameron Highlands, Malaysia). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48 (12), 4164-4177, 10.1109/TGRS.2010.2050328
- San, B.T. (2014). An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: The Candir catchment area (western Antalya, Turkey). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 399-412, 10.1016/j.jag.2013.09.010
- Sezer, E.A., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2011). Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Systems with Applications*, 38 (7), 8208-8219, 10.1016/j.eswa.2010.12.167
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72 (1), 1-12, 10.1016/j.catena.2007.01.003
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A. C., & Yomralioglu, T., (2011). A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility. *Catena*, 85 (3), 274-287, 10.1016/j.catena.2011.01.014
- Yeşilnacar, E., & Topal, T., (2005). Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79 (3-4), 251-266, 10.1016/j.enggeo.2005.02.002
- Yılmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers & Geosciences*, 35 (6), 1125-1138, 10.1016/j.cageo.2008.08.007
- Yılmaz, I. (2010). Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine. *Environmental Earth Sciences*, 61 (4), 821-836, 10.1007/s12665-009-0394-9
- Zennaro, F., Furlan, E., Simeoni, C., Torresan, S., Aslan, S., Critto, A., & Marcomini, A. (2021). Exploring machine learning potential for climate change risk assessment. *Earth-Science Reviews*, 220, 103752, 10.1016/j.earscirev.2021.103752

# 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 gözetererek 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 hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katımlı 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 gözetererek, 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 kelimedenden 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 yayımlanmış bir makaledeki hataları düzeltmek için bir hata bildirimini 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 bulunduğu 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 takdirde, 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, siyasi düşünce, ticari kaygılar vb. nedenlerle tarafsızlıklarını kaybetmemelidirler.
- Görüş ve önerilerini akademik görgü kuralları içinde, yapıcı ve akademik bir dille yapmaları, kişisel polemiğe 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 bulundurmaz. 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](mailto: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 yayım 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 puntoyla (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.

Makaledeki 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](mailto: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. Öзде 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 virgül 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\(90\)94333-0](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)94333-0)

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](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. Prensipten olarak, değişkenler italik olarak sunulmalıdır. "e" nin kuvvetleri "(exp)" ile gösterilmelidir. Eşitliklerde kullanılacak 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<sup>++</sup> veya CO<sup>-</sup> - gibi ifadeler yerine Ca<sup>+2</sup> ve CO<sup>3-2</sup> 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 belirtilebilirsiniz.

### 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. şekilde 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.
- Reviewer 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](mailto: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](mailto: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/ekler/174e0f6fa731893\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/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.,  $y = 5 * 10^{-3}$ ). 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.



