









## Geyik Dağı güncel buzulları ve morfometrik özellikleri

### Current Glaciers and Morphometric Characteristics of Mount Geyik

Ferhat Keserci <sup>a\*</sup>  Gülan Güngör <sup>b</sup>  Mahsum Bozdoğan <sup>b</sup>  Ergin Canpolat <sup>c</sup>  Zeynel Çilgin <sup>d</sup>   
Cihan Bayrakdar <sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Ardahan Üniversitesi, İnsani Bilimler ve Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ardahan, Türkiye.

<sup>b</sup>İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

<sup>c</sup>Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü Hatay, Türkiye.

<sup>d</sup>Munzur Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tunceli.

ORCID: F. K. 0000-0003-2123-3551; G. G. 0000-0002-1244-3453; M.B 0000-0001-6624-4188; E. C. 0000-0003-2123-3551; Z. Ç. 0000-0002-8132-8774; C. B. 0000-0001-5542-700X

#### BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 25.11.2023

Kabul/Accepted: 11.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Geyik Dağları  
Geyik Dağı Buzulları  
Geç Kuvaterner buzullaşmaları  
Buzul modellemesi  
Denge hattı yüksekliği

#### Keywords:

Geyik Mountains  
Geyik Mountain Glaciers  
Late Quaternary glaciations  
Glacier modeling  
Equilibrium Line Altitude (ELA)

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(F. Keserci) ferhat.keserci@ardahan.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1395806



#### Atf/Citation:

Keserci, F., Güngör, G., Bozdoğan, M., Canpolat, E., Çilgin, Z., & Bayrakdar, C. (2023). Geyik Dağı güncel buzulları ve morfometrik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi* (84), 199-217. <https://doi.org/10.17211/tcd.1395806>

#### ÖZ/ABSTRACT

Geyik Dağları, Geç Kuvaterner boyunca yoğun ve tekrarlanan buzullaşmalara maruz kalmıştır. Güncel bir buzulun varlığı bölgede yapılan daha önceki çalışmalarda doğrulanmamış veya tespit edilememiştir. Bölgede yerel gezgin olan Hasan Hüseyin Kahrıman'ın 27 Ekim 2023 tarihinde buzul varlığını sosyal medya aracılığı ile aktarması üzerine buzulları tanımlamak ve yerlerini belirlemek için uzaktan algılama yöntemleri kullanılmış ve Geyik Dağı'na yapılan arazi çalışması ile güncel buzulların varlıkları doğrulanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda bilimsel olarak Geyik Dağı'nda güncel bir buzulun varlığını tanımlayan ve doğrulayan ilk çalışmadır. Belirlenen yayılış alanları üzerinden buzul modellemesi, ELA (Equilibrium Line Altitude) hesaplama araçları, bakı ve eğim intersekt (kesiştirme) analizleri ile sirk morfometrisi yöntemleri kullanılarak buzulların ve içerisinde yer aldıkları sirkler ile yakın çevresinin özellikleri nicel verilerle ortaya konulmuştur. Buzul modellemesi neticesinde Geyik Orta Buzulu'nun toplam 6000 ( $\pm 300$ ) m<sup>2</sup>, Doğu Buzulu'nun 2030 ( $\pm 100$ ) m<sup>2</sup> toplamda ise Geyik Dağı'ndaki buzulların 8030 ( $\pm 480$ ) m<sup>2</sup> alana sahip olduğu tespit edilmiştir. Buzulların ortalama olarak uzunlukları 98 m (metre), ELA değeri ise 2619 m olarak hesaplanmıştır. Buzulların 12-30° eğim değerleri arasında ve tamamen kuzey bakılı alanlarda buldukları tespit edilmiştir. Buzullar ve sirklerin morfolojik özellikleri, yüksek rakım, bakı özellikleri ve yüksek kar birikimi Geyik Dağı'ndaki buzulların bu kesimlerde korunmasına pozitif olarak etki etmiştir. Buzullar üzerinde yapılan karşılaştırmalı uydu görüntülerinde 06.09.2010 tarihinden günümüze kadar buzulların alansal olarak %50'sinden fazlasının eridiği ve önümüzdeki yıllarda etkisini giderek arttıran küresel ısınma ile beraber 5 yıl içerisinde tamamen ortadan kalkacağı tahmin edilmektedir.

*The Geyik Mountains have undergone intensive and repeated glaciations during the Late Quaternary. Despite previous studies, the presence of an active glacier in the region had neither been confirmed nor detected. Following the local explorer Hasan Hüseyin Kahrıman's social media announcement of glacier existence on October 27, 2023, remote sensing methods were employed to identify and locate the glaciers. Subsequent fieldwork on Geyik Mountain confirmed the presence of active glaciers. This study is also the first of its kind to scientifically identify and confirm the existence of an active glacier on Geyik Mountain. Glacier modeling, ELA (Equilibrium Line Altitude) calculations, slope and aspect intersect analyses, and cirque morphometry methods were utilized to quantify the characteristics of the glaciers and their surrounding areas. As a result of glacier modeling, it was determined that the Geyik Central Glacier covers a total area of 6000 ( $\pm 300$ ) m<sup>2</sup>, the East Glacier covers 2030 ( $\pm 100$ ) m<sup>2</sup>, with a combined glacier area on Geyik Mountain of 8030 ( $\pm 480$ ) m<sup>2</sup>. The average length of the glaciers was calculated to be 98 m (meters), with an ELA value of 2619 m. The glaciers were found to have slope values predominantly in the range of 12-30°, situated entirely in north-facing areas. The morphological features of glaciers and cirques, combined with high altitude, aspect characteristics, and significant snow accumulation, have positively contributed to the preservation of glaciers in the Geyik Mountains. Comparative satellite images of glaciers show that more than 50% of the glaciers have melted since 06.09.2010 and it is estimated that they will completely disappear within 5 years with the increasing global warming.*

## Extended Abstract

### Introduction

Glaciers; unlike normal snow and ice; are formed as a result of the accumulation of freshly fallen snow on top of each other and recrystallisation under its own weight and gaining flow movement in a process that continues for many years (Erinç, 1971; Flint, 1971; Turoğlu, 2011; Hooke, 2019). In Türkiye, current glaciers are distributed in the Eastern Black Sea Mountains, Taurus Mountains, individual mountains and volcanic mountains (Kurter, 1991; Çiner, 2003).

Türkiye, located in the Alpine-Himalayan orogenic belt, is a mountainous country with strong climatic and topographic differences due to its location. Due to these geographical features, it experienced severe glaciations during the Quaternary period which started 2,588 million years ago (Messerli, 1967; Kurter and Sungur, 1980). Some of the glaciers formed as a result of these glaciations on the permanent snowline and in the immediate vicinity of the mountains have survived until today in the sheltered parts of the mountains despite the melting process in recent years (Bayrakdar et al., 2017). In the areas where glaciers have completely melted, glacial morphological units such as cirques, moraines, hump rocks and glacial valleys continue to exist (Bayrakdar, 2023). It is possible to see the traces of the climate changes experienced in the Quaternary on the Taurus Mountain Belt, which surrounds the south of Anatolia from west to east. Especially in the Western Taurus Mountains, it is possible to see glacial erosion and accumulation patterns at lower elevations than Türkiye in general. These glaciation areas in the Western Taurus Mountains are from west to east; Sandiras Mountain (2295 m), Karadağ (2418 m), Akdağ (Kaş, 3016 m), Bey Mountains (3070 m), Barla Mountain (2798 m), Davraz Mountain (2637 m), Dedegöl Mountain (2992 m), Dumanlı Mountain (2273 m), Ermerdin Mountain (2385 m), Kovacık Mountain (2277 m), Bozburun Mountain (2504 m), Geyik Mountains (2877 m), Kuşak Mountain (2500 m) and Akdağ (Alanya, 2451 m) (Evans et al., 2021; Keserci, 2023).

The Geyik Mountains (36,53° N, 32,10° E), the largest glaciation area in the Western Taurus Mountains, is a high mass consisting largely of carbonates extending approximately 75 km in the northwest-southeast direction 40 km north of the Mediterranean Sea and forming the provincial border between Antalya and Konya. The Geyik Mountain mass contains important peaks. The highest point is the summit of Geyik Mountain (2877 m) in the east of the mass, while other high points are Delikkaya Tepe (2808 m), Akdağ Tepe (2720 m), Çandır Tepe (2618 m), Çalalanı Tepe (2540 m) and Ürküten Mountain (2535 m).

The first study on the Late Quaternary glaciations in the Geyik Mountains was conducted by Arpat and Özgül (1972). They defined the glacial deposits between 2050 and 2500 in the area as active rock glaciers. Çiner et al. (1999) defined them as hummocky and lateral moraines in their publication. Later, Çiner et al. (2015) and Sarıkaya et al. (2017) applied <sup>36</sup>Cl surface dating method to the moraine, lateral and frontal moraines in Namaras, Sesam, Güneycik, Çündüre and Çimi valleys, which are the main glacial valleys in the field. Within the scope of these studies, traces of SBM period, Late Glacial period, Younger Dryas

and Middle Holocene glaciations were revealed in the Geyik Mountains (Sarıkaya et al. 2017). In addition, karst features were investigated by Şimşek et al. (2019) in the Geyik Mountains and 98 cirques developed in Jurassic-Cretaceous neritic limestones on the northern slopes above 2000 m and 23,785 dolines, most of which are dissolution dolines, which can reach from a few metres to hundreds of metres in diameter, were identified. Keserci (2023) modelled all glacial areas in the Geyik Mountains in 3D.

### Data and Method

In this study, methods such as glacier modelling, ELA calculation, topographic analyses and cirque morphometry were used in order to determine the current glacier on Geyik Mountain and to examine the geographical and climatic characteristics of the glacier in this section. DEM data with a resolution of 8 cm produced from orthophotos taken by an unmanned aerial vehicle was used as the base data for these methods, and thermal camera images taken by an unmanned aerial vehicle, in situ observation and remote sensing technologies were used to determine the glacier boundaries.

### Results and Discussion

As a result, the total area of the Middle and East glaciers, which are currently identified, is 8030 (±480) m<sup>2</sup> and their average length is 98 m. ELA values were determined as 2618 m for the Middle Glacier and 2621 m for the Eastern Glacier. It was calculated that the glacier surface area during the maximum glacier extent during the SBM period was 13 (±0.780) km<sup>2</sup> and the glacier surface area determined according to satellite images in 2010 was 44500 m<sup>2</sup>. In this context, only 0.06 of the total glacier area during the SBM period has survived until today. In the 13-year period from 2010 to 2023, 82% of the glaciers have melted. Four retreat moraine ridges in front of the Geyik Mountain Middle Glacier show that the glacier is retreating. The topographic features of the glaciers on Mount Geyik were analysed by performing aspect slope intersect analyses. Accordingly, it was determined that more than 50% of the total area of Geyik Middle Glacier is in the range of 18-30° and 35% is in the range of 12-18° slope (Table 3). In the Eastern Glacier, 50% of the total glacier area is between 30-45° and 23% of the total area is between 18-30°. When the aspect characteristics of the glaciers on Geyik Mountain are analysed, it was determined that all of the glacier areas developed or remained in the north-facing areas. These circles also have the slope values required for the movement of glaciers in terms of slope values. The >7° slope values required for the rotational movement of active glaciers are present on the glacier surfaces (21° in the Central Cirque and 34° in the Eastern Cirque). In addition, it has been determined that the glaciers on Geyik Mountain have melted in recent years, and it should be stated that these glaciers will completely disappear in the coming years due to global warming, which is increasingly increasing its effect today.

### 1.Giriş

Buzullar; normal kar ve buzdan farklı olarak yağın taze karın üst üste birikmesi ve kendi ağırlığı altında rekristalize olması ile uzun yıllar devam eden süreçte akış hareketi kazanması sonucu

oluşur (Erinç, 1971; Flint, 1971; Turoğlu, 2011; Hooke, 2019). Dünyadaki güncel buzulların dağılımı, yüksek enlemlerdeki örtü buzulları ile orta ve alçak enlemlerdeki yüksek dağlarda uygun koşullarda varlıklarını sürdüren dağ buzullarıdır. Orta enlemlerde ve Alp-Himalaya orojenik kuşağı içerisinde yer alan Türkiye’de de güncel buzullar Doğu Karadeniz Dağları’nda, Toroslar’da ve münferit tek dağlar ile volkanik dağlarda gözlemlenebilmektedir (Şekil 1b) (Kurter, 1991; Çiner, 2003).

Türkiye, bulunduğu konum itibarıyla kuvvetli iklimsel ve topografik farklılıklara sahip dağlık bir ülkedir. Bu coğrafi özellikler nedeniyle günümüzden 2,588 milyon yıl önce başlamış olan Kuvaterner döneminde şiddetli buzullaşmalar yaşamıştır (Messerli, 1967; Kurter ve Sungur, 1980). Dağların daimi kar sınırı ve yakın çevresinde yaşanan bu buzullaşmalar sonucu oluşan buzulların bir kısmı son yıllardaki erime sürecine rağmen dağların korunaklı kısımlarında günümüze kadar kalabilmiştir (Şekil 1b) (Bayrakdar vd., 2017). Buzulların tamamen eridiği sahalarda ise sirkler, morenler, hörgüç kayalar ve buzul vadileri gibi buzul morfolojisine ait üniteler varlıklarını sürdürmektedirler (Şekil 1b) (Bayrakdar, 2023).

Doğu Karadeniz dağ kuşağında yer alan Kaçkar Dağı (3992 metre) üzerinde Krenek (1932), Erinç (1949), Kurter (1991), Doğu vd. (1993), Çiner (2003); Verçenik Dağı’nda Erinç (1949), Kurter (1991) ve Doğu vd. (1996); Tatos Dağı’nda Gürgen (2015, 2016, 2019); Karagöl Dağı’nda Kurter (1991); Bulut ve Altıparmak Dağları’nda Doğu vd. (1997); Karçal Dağları’nda Rickmer-Rickmers (1900, 1934), Gürgen ve Yeşilyurt (2012), Dede vd. (2015) güncel buzulların varlıklarını belirlemiş ve haritalamışlardır. Bayrakdar vd. (2015), Doğu Karadeniz Dağları’nın güneyinde yer alan Munzur Dağları üzerindeki Şahintaşı Tepe’nin hemen kuzey yamacında güncel bir buzulun varlığını tespit etmişlerdir. Türkiye’nin en doğusunda yer alan ve Ağrı Dağı (5137 m)’nda Imhof (1956), Arkel (1973), Blumenthal (1956, 1958), Klaer (1965), Birman (1968), Kurter ve Sungur (1980), Erinç (2001), Karakhanian vd. (2002), Sarıkaya (2012) ve Yalçın (2017) çalışmalarında takke buzulu ve 11 adet güncel buzulun varlığı belirtilmiş ve buzulların yıllar içerisinde önemli oranda küçüldüğünden bahsetmişlerdir. Ağrı Dağı’nın güneydoğusunda ve Van Gölü’nün kuzeyinde yer alan Süphan Dağı’nın kuzey yamaçlarında Kurter ve Sungur (1980), Kurter (1991) ve Kesici (2005) irili ufaklı buzulların bulunduğunu ifade etmişlerdir. Van Gölü’nün güneyinde yer alan İhtiyarşahap Dağları’nın kuzey yamaçları üzerinde irili ufaklı yaklaşık 14 adet güncel kaya buzulu Sarıkaya (2011) tarafından tespit edilmiştir. Güneydoğu Toroslar’ın en doğu bölümünü meydana getiren Cilo Dağı ve İkiyaka Dağları’nda ise Erinç, (1952), Erinç (1953) tarafından güncel buzullar tespit edilmiş olup Kurter (1991) ve Yeşilyurt vd. (2013) çalışmalarında bu buzulların giderek küçüldüğünü belirtmiştir. Türkiye’de güncel buzul izlerinin tespit edildiği bir diğer yer ise Erciyes Dağı’dır. Dağın kuzeybatı yamacında yer alan Aksu Vadisi’nde toplam uzunluğu 700 metre olan bir buzul keşfedilmiş olup bu buzulun zaman içinde 3100 metreden 3420 metreye kadar çekildiği tespit edilmiştir (Blumenthal, 1938; Erin, 1952; Güner ve Emre, 1983; Sarıkaya vd., 2003). Gürgen vd. (2010a), Gürgen vd. (2010b), Çalışkan vd. (2012) Aladağlar ve Bolkar Dağları üzerinde güncel buzullar ile çok sayıda döküntü ötlü ve olası döküntü örtülü buzul alanları belirlemişlerdir. Sarıkaya (2011), Sarıkaya ve Tekeli (2014) ve Yavaşlı (2015) uzaktan algılama teknolojilerinden faydalanarak Türkiye’nin güncel buzul

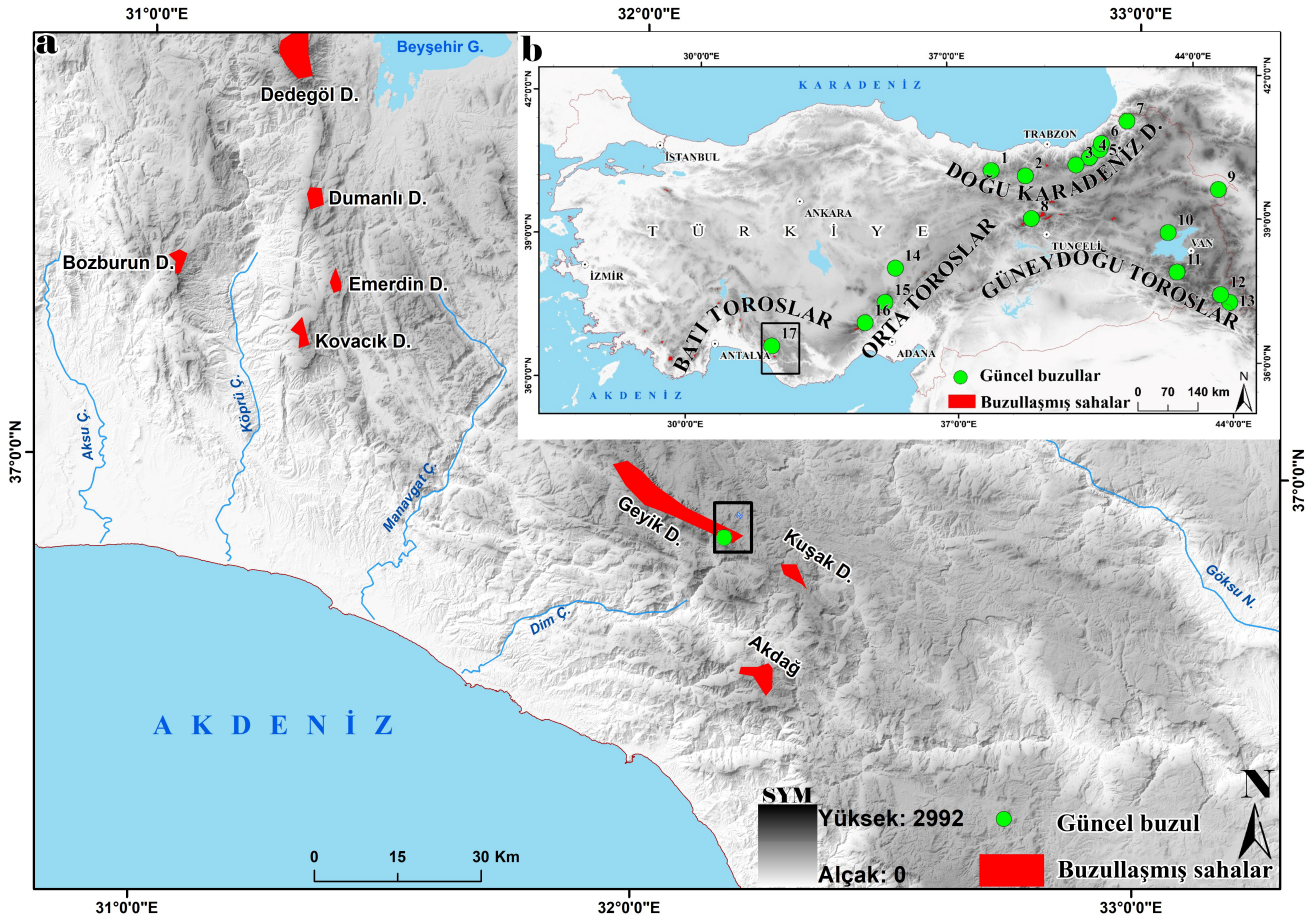
envanterini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalara göre Türkiye’de buzul alanlarının hızla eridiği ve bu erimenin temel nedeninin küresel ısınma ve yaz erime dönemlerindeki minimum sıcaklık artışları olduğu ifade edilmiştir. Buzulların tamamen ortadan kalktığı kesimlerde ise buzullara ait jeomorfolojik izler veya yapılar ifade edilen dağlık sahalarda saptanabilmektedir.

Geç Kuvaternere ait eski buzul izlerinin yaygın olarak görüldüğü alanlardan biri de Anadolu’nun güneyini, batıdan doğuya kuşatan Toros Dağ Kuşağı’dır. Özellikle Batı Toroslar’da Türkiye’nin genelinden daha düşük yükseltilerde buzul aşınım ve birikim şekillerini görmek mümkündür. Batı Toroslar’daki bu buzullaşma sahaları batıdan doğuya doğru; Sandıras Dağı (2295 m), Karadağ (2418 m), Akdağ (Kaş, 3016 m), Bey Dağları (3070 m), Barla Dağı (2798 m), Davraz Dağı (2637 m), Dedegöl Dağı (2992 m), Dumanlı Dağ (2273 m), Emerdin Dağı (2385 m), Kovacık Dağı (2277 m), Bozburun Dağı (2504 m), Geyik Dağları (2877 m), Kuşak Dağı (2500 m) ve Akdağ (Alanya, 2451 m) şeklinde sıralanmaktadır (Evans vd., 2021; Keserci, 2023).

Batı Toroslar’daki bu 14 dağda Son Buzul Maksimumu (SBM) döneminde, Denge Hattı Yüksekliği (Equilibrium Line Altitude=ELA) 2000 m ile 2600 m arasında farklılık göstermiştir (Planhol, 1953; Messerli, 1967; Çiner, 2003; Sarıkaya vd., 2011). Bugün ise Batı Toroslar’da güncel ELA 3000 m ile 3750 m aralığında değişmektedir. Bu durum, SBM’den bu yana ELA’nın 1100 ile 1500 m arasında bir artış yaşadığını göstermektedir. (Kurter, 1991; Sarıkaya vd., 2011; Sarıkaya ve Çiner, 2015).

Batı Toroslar’da en büyük buzullaşma alanı olan Geyik Dağları (36.53° K, 32.10° D), Anadolu Yarımadası’nın güneybatı bölümünde yer alan Batı Toroslar’ın en doğusunu temsil etmektedir. Akdeniz’in 40 km kuzeyinde kuzeybatı- güneydoğu doğrultulu takriben 75 km kadar uzanan ve Antalya ile Konya il sınırını oluşturan büyük ölçüde karbonatlardan oluşan yüksek bir kütledir. Geyik Dağı kütlesi önemli zirveleri barındırmaktadır. En yüksek noktası kütlenin doğusunda Geyik Dağı zirvesi (2877 m) iken diğer yüksek noktalar Delikkaya Tepe (2808 m), Akdağ Tepe (2720 m), Çandır Tepe (2618 m), Çalalanı Tepe (2540 m) ve Ürküten Dağı (2535 m)’dir.

Geyik Dağları’ndaki Geç Kuvaterner buzullaşmaları ile ilgili ilk çalışma Arpat ve Özgül (1972) tarafından yapılmıştır. Burada özellikle sahadaki 2050 ile 2500 m arasında yer alan buzul çökeltilerini güncel kaya buzulları olarak tanımlamışlardır. Çiner vd. (1999) yayınında ise bunları tümseksi ve yanal morenler olarak tanımlamıştır. Daha sonra Çiner vd. (2015) ve Sarıkaya vd. (2017) sahadaki başlıca buzul vadileri olan Namaras, Susam, Güneycik, Çündüre ve Çimi vadilerinde tümseksi, yanal ve cephe morenlerine 36Cl yüzey tarihlendirme yöntemi uygulamışlardır. Bu çalışmalar kapsamında Geyik Dağları’nda SBM dönemi, Geç Buzul dönemi, Younger Dryas ve Orta Holosen buzullaşmalarının izleri ortaya konmuştur (Sarıkaya vd. 2017). Yine Geyik Dağları’nda Şimşek vd. (2019) tarafından karstik özellikler araştırılmış ve 2000 m’nin üzerinde genellikle kuzey yamaçlarda Jura-Kretase neritik kireçtaşları içerisinde gelişen 98 adet sirk ile çapları birkaç metreden yüzlerce metreye ulaşabilen çok büyük bir kısmı çözünme dolini karakterinde olan 23.785 adet dolin tespit edilmiştir. Keserci (2023) ise Geyik Dağları’ndaki tüm buzul alanlarını 3B olarak modellemiştir.



**Şekil 1.** Geyik Dağı ve çalışma sahasının lokasyon haritası (a) Türkiye'nin güncel buzul ve eski buzullaşmış sahaları (b) Güncel buzullar: 1-Karagöl D.; 2-Gavur D.; 3-At D.; 4-Verçenik D.; 5-Kaçkar D.; 6-Altparmak D.; 7-Karçal D.; 8- Munzur D.; 9-Ağrı D.; 10-Süphan D.; 11-İhtiyarşahap D.; 12-Buzul D.; 13-İkiyaka D.; 14-Erciyes D.; 15-Aladağlar; 16-Bolkar D.; 17-Geyik D.

**Figure 1.** Location map of Geyik Mountain and the study area (a) Current glacial and former glaciated areas of Türkiye (b) Current glacial: 1-Karagöl M.; 2-Gavur M.; 3-At M.; 4-Verçenik M.; 5-Kaçkar M.; 6-Altparmak M.; 7-Karçal M.; 8- Munzur M.; 9-Ağrı M.; 10-Süphan M.; 11-İhtiyarşahap M.; 12-Buzul M.; 13-İkiyaka M.; 14-Erciyes M.; 15-Aladağlar; 16-Bolkar M.; 17-Geyik M.

Model sonucunda toplam 132 km<sup>2</sup> alan ile Geyik Dağları, Batı Toroslardaki en büyük buzullaşma alanına sahip olduğu tespit edilmiştir. Geyik Dağları'nın SBM'de ELA seviyesi 2000-2400 m iken günümüz ELA 3200-3400 m olarak belirlenmiştir (Eriñç, 1952; Messerli, 1967; Kurter, 1991; Çiner, 2003; Sarıkaya vd., 2011; Sarıkaya ve Çiner, 2017).

Ancak sahanın Geç Kuvaterner buzullaşmasına yönelik çalışmalarda güncel bir buzul varlığından bahsedilmemiştir. Bölgede yerel gezgin olan Hasan Hüseyin Kahrıman'ın 27 Ekim 2023 tarihinde vermiş olduğu röportajda sahada güncel buzul varlığını gösteren videolarını yayınlaması sonucunda 4 Kasım 2023 tarihinde gerçekleştirilen arazi çalışmaları sonucunda Geyik Dağı zirvesinin (2877 m) kuzeyinde iki noktada buzul varlığı tespit edilmiştir (Fotoğraf 1a-b). Bugüne kadar buzulun varlığının tespit edilememesinin temel sebebi buzulun büyük çoğunlukla döküntü örtüsü ve yıllık kar ile üstünün örtülü olmasıdır. Döküntü örtülü buzullar (debris-covered glaciers), Dünya'nın buzullaşmış bölgelerinin neredeyse tamamında mevcuttur (Kirkbride, 2011). Buzulların ablastyon bölgesinin bir kısmının ya da tamamının döküntü örtüsüyle kaplı olduğu buzullar "döküntü örtülü buzullar" olarak tanımlanmaktadır. Bir diğer tanım ise, buzulun ablastyon bölgesinin en az %50' si üzerinde bir döküntü örtüsü bulunan buzullar olduğu şeklindedir (Anderson, 2000; Gürgen vd., 2010a; Anderson ve Anderson,

2016; Mayr ve Hagg, 2019; Miles vd., 2020). Ülkemizde Orta Toroslarda Aladağ ve Bolkarlar'da, Doğu Karadeniz Dağlarında sirkler içerisinde döküntü örtülü buzulların varlığı tespit edilmiştir (Gürgen vd., 2010b; Çalışkan vd., 2012; Gürgen, 2019).

## 2. Yöntem

Geyik Dağı'nda güncel buzulun tespiti ve buzulun bu kesimde günümüze kadar kalabilmesindeki coğrafi ve iklimsel özellikleri irdeleyebilmek amacıyla buzul modellemesi, ELA hesaplaması, topoğrafik analizler ve sirk morfometrisi gibi yöntemlerden faydalanılmıştır. Bu yöntemler için altlık veri olarak insansız hava aracı ile çekilmiş ortofotolardan üretilmiş 8 cm çözünürlüğe sahip DEM verisi kullanılmış olup buzul sınırları belirlenmesi için ise insansız hava aracı ile çekilmiş olan termal kamera görüntüleri, yerinde gözlem ve uzaktan algılama teknolojileri kullanılmıştır.

### 2.1. Buzul Modellemesi

Arazi çalışması ile ilk olarak buzulların jeomorfolojik delillerinin tespiti ve termal kameralı insansız hava aracı ile sınırlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu sayede buzulun morfometrik özelliklerinin hesaplanmasını mümkün kılan buzul rekonstrüksiyonu (GlaRE) gerçekleştirilmiştir.



**Fotoğraf 1.** Geyik Dağı'nda yer alan Orta Buzulu'nun İHA ile havadan uzak(a) ve yakın (b) görünümü.  
**Photo 1.** Distant (a) and closely (b) views of the Middle Glacier on Mount Geyik from the air by UAV.

Bu yarı otomatik, Python kodlu bir toolbox olarak çalışan ve ArcMap programına entegre edilen bir sistemdir. GlaRE esasen paleo buzulların yeniden inşası için, buzullar tarafından geride bırakılan lateral ve terminal moren gibi buzul yer şekillerinin kanıtları üzerinden çalışmaktadır (Lukas, 2006; Rea ve Evans, 2007; Federici vd., 2008; Pellitero vd., 2016). Kullanılan sayısal yöntem, buzul merkezi çizgilerinin yatağı üzerinde bir buzul denge profili oluşturmak için buzul akış dinamiğini kullanır. Modelin ürettiği hata payı kullanılan DEM ve F faktörü hesaba katıldığında %6 olarak belirlenmiştir (Pellitore vd., 2016).

Bu çalışmada güncel buzulun yerinde gözlem ve termal kamera ölçümleri neticesinde buzulların sınırları üzerinden buzul modellemesi gerçekleştirilmiştir. Buzulların içinde yer aldığı topografyaı doldurması ve derinlik ölçümlerinin yetersiz olması nedeniyle buzul modellemesi ile buzulların alan değerleri, uzunluk, terminal ve buzul başlangıç seviyeleri gibi morfolojik özellikleri tespit edilmiştir.

## 2.2. ELA Hesaplaması

Yapılan buzul rekonstrüksiyonu ile elde edilen buzulların sayısal yükselti modeli üzerinden ELA değerleri hesaplanmıştır. GlaRE gibi ArcGIS'e entegre edilmiş olan "ELA hesaplama" aracı, ELA'nın otomatik hesaplanmasını sağlamaktadır. Rekonstrüksiyonla elde edilen buzul yüzeyini girdi olarak kullanarak, ELA hem AAR (accumulation–area ratio) (MGE dahil) hem de AABR (area–altitude balance ratio) yöntemleri ile hesaplanabilmektedir (Pellitero vd., 2015).

Rea (2009), çalışmasında AABR oranı olarak 1.69 kullanımını önermiş, ancak Oien vd. (2022) tarafından yapılan son karşılaştırmalı ELA hesaplamalarında AABR 1.56' nin daha gerçekçi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bu nedenle ELA hesaplaması için AABR 1.56 metodu kullanılmıştır.

## 2.3. Topografik Analizler

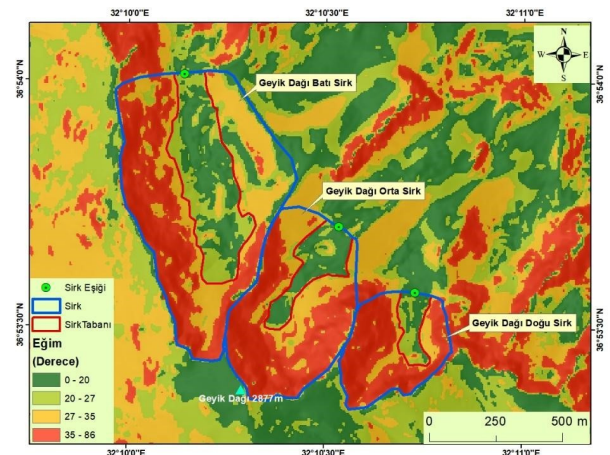
Geyik Dağı ve sirk alanlarını içeren kesimlerin bakı ve eğim analizleri gerçekleştirilmiş, buzulların bu eğim ve bakı özelliklerini tespit edebilmek amacıyla intersect (kesiştirme) analizlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca buzulların yer aldığı sirk çanakları ve

yakın çevresinin gökyüzü görünürlük parametreleri, toplam güneş radyasyon miktarları, topografik olarak kapalılık oranları gibi topografik parametreler hesaplanmış ve iklim özellikleri ile irdelenmiştir.

## 2.4. Sirk Morfometrisi

Sirklerin glasiyolojik önemi, sirkli oluşturan buzulların, sıcak tabanlı olmaları ve bol miktarda buzul erimesi ile oluşmuş su içermeleridir. Ayrıca sirklerin yükselteleri ve bakı özellikleri, buzullaşma dönemindeki kalıcı kar seviyesi bilgilerini elde etmek için genellikle paleoklimatik rekonstrüksiyon çalışmalarında kullanılmaktadır (Bennet ve Glasser, 2009). Sirk sınırları çizilirken gerekli olan DEM (Digital Elevation Model), CBS ortamında (ArcGIS 10.8 programında) Harita Genel Müdürlüğü (HGK)'nden temin edilen 1/5000 ölçekli sayısal izohipsler kullanılarak elde edilmiştir.

Çalışma alanında sirklerin sınırları ve sirk eşiği manuel olarak çizilip belirlenmiştir. Sirklerin sınırları belirlenirken, çalışma alanına ait DEM kullanılarak üretilen 0° -20°, 20° -27°, 27° -35° ve >35° olmak üzere 4 aralıkta yer alan sınıflandırılmış eğim haritası (Şekil 2), gölgelendirme (hillshade) ve 1/25000 ölçekli topografya haritası kullanılmıştır. Yöntemin detayları için Evans ve Cox (1995) çalışması incelenebilir.



**Şekil 2.** Geyik Dağı Tepesi'nin kuzeyinde yer alan sirklerin sınıflandırılmış eğim haritası.

**Figure 2.** Classified slope map of the cirques located north of Geyik Mountain Hill.

Geyik Dağı'nda sirklerin morfometrik parametrelerinin bir kısmı (örneğin sirk tabanı eğimi, sirk duvarı eğimi, sirk tabanı alanı, relatif yön) manuel olarak bir kısmı ise Spagnolo vd. (2017) tarafından geliştirilen ve ArcGIS'e entegre edilebilen "Sirk Metriğinin Otomatik Çıkarımı" olarak çevirebileceğimiz ACME (Automated Cirque Metric Extraction) araç kutusu aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada hem manuel yöntemlerle hem de ACME ile elde edilen morfometrik verilerden yararlanılmıştır.

### 2.5. Uzaktan Algılama

Sahada buzullaşmaya ait sınırın ve buzullaşmanın olduğu noktaların saptanması için yer yüzey sıcaklıklarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Klimatik özellikler göz önünde bulundurulduğunda topoğrafya yüzeyinde karın çok azaldığı eylül ve ekim aylarının seçilmesi kararlaştırılmıştır. Veri olarak 2013 yılında NASA tarafından yörüngeye oturtulan ve Thermal Infrared Sensor (TIRS) içeren Landsat 8 uydusu Operational Land Imager (OLI) verileri seçilmiştir. Landsat 8'in pankromatik bandı 15 m RGB, NIR ve SWIR bantları 30 m, termal bandı 100 m yersel çözünürlüktedir. 2013-2023 yılları arasında her 16 günde bir geçiş gerçekleştiren ve verileri USGS Earth Explorer web sayfasından paylaşılan Landsat 8 OLI-TIRS (Operational Land Imager-Thermal Infrared Sensor) uydusunun termal bantları 10. ve 11. bantlardır. Geyik Dağları'nın zirve kesiminin yer aldığı ve buzul keşfi yapılan saha Landsat 8 uydusunun Path 177 Row 034 dilimine karşılık gelmektedir. Uydunun geçişi GMT saatiyle 08:30 civarında olmaktadır. Bu saat eylül ve ekim aylarında Türkiye saatiyle 10:30 civarındadır ve gölge boyunun sabah erken saatlere göre oldukça azaldığı bir saattir. Termal bantlar incelenirken bulutluluğun az olduğu görüntülerin seçimine önem verilmiştir.

### 3. Çalışma Sahasının Genel Fiziki Coğrafya Özellikleri

Araştırma alanı, Geyik Dağları'nın doğu bölümünde yer almakta ve araştırmaya konu olan buzullar Geyik Dağları'nın en yüksek zirvesinin bulunduğu Geyik Dağı (2877 m)'nin kuzey yamaçlarında yer alan sirklerde bulunmaktadır. Geyik Dağları'nda engebeli arazi yapısı, değişken hava koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak araştırmacıların, özellikle buzulların yer aldığı kesimler üzerinde çalışma imkânı azalmış ve bu durumda güncel buzulları keşfetmesine engel teşkil etmiştir.

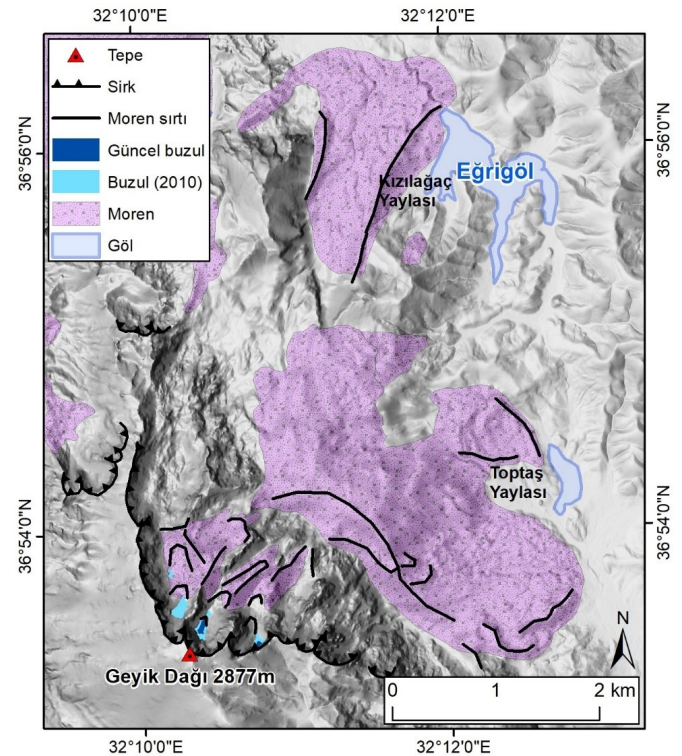
#### 3.1. Genel Jeomorfolojik Özellikler

Geyik Dağları'nın yüksek kesimleri çoğunlukla Jura- Kretase neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Özgül, 1976; Turan, 1990; Şenel vd., 1998). Çalışma sahasındaki yaygın sirkler de yine Jura- Kretase neritik kireçtaşları içinde oluşmuşlardır (Keserci, 2023). Geyik Dağı kütlesinin jeomorfolojisi genel olarak Miyosen'den günümüze kadar süren tektonik hareketler, Kuvaterner'de meydana gelen şiddetli buzullaşmalar, flüviyal süreçler ile karstlaşmaya bağlı olarak şekillenmiştir. Kuvaterner dönemi içerisinde yüksek dağlık sahalar üzerinde Glasiyo-karstik şekiller gelişmiştir (Nazik ve Tuncel, 2010; Bayrakdar, 2012). Yine Batı Toroslar, karstik süreçler ve özellikler, irtifa ile morfoiklimsel bir ardışıklık göstermektedir. 2000–2200 m rakımın üzerinde yüksek alpin karstı ve 1700 ile 2200 m arasında karla ilişkili karst gelişim göstermektedir (Zahno vd., 2009; Sarıkaya vd., 2017). Batı Avrupa'nın Alp Dağları'ndan çok farklı olan bu yer şekilleri,

kalıntı buzullar, kaya buzulları, morenler ve buzullar arası iklimsel değişimlerle yakından bağlantılıdır (Delannoy ve Maire 1983). Örneğin Şimşek vd. (2019) çalışmalarında Geyik Dağı kütlesi üzerinde 23.785 adet dolin, 1.814 adet uvala olmak üzere toplam 25.599 karstik depresyon tespit etmiş ve bu karstik şekillerin genellikle 2000 m ve üzeri kesimlerde çok daha yoğun geliştiklerini tespit etmişlerdir. Geyik Dağları'nda bu genel jeomorfolojik yapı içerisinde şekillenen bölümlerinden biri de dağlık sahanın doğusunda 2877 m yükseltisi ile Geyik Dağları'nın en yüksek kesimini meydana getiren Geyik Tepesi ve yakın çevresidir. Bu alan, güncel buzul kanıtlarının tespit edildiği, SBM döneminde Geyik Tepesi'nden başlayarak kuzeyinde moren setti gölü olan Eğri Göl'ü içerecek şekilde buzulların geniş alanlara yayıldığı; cephe, yanal ve tümseksi morenlerin izlerinin görülebildiği kesimdir (Şekil 3).

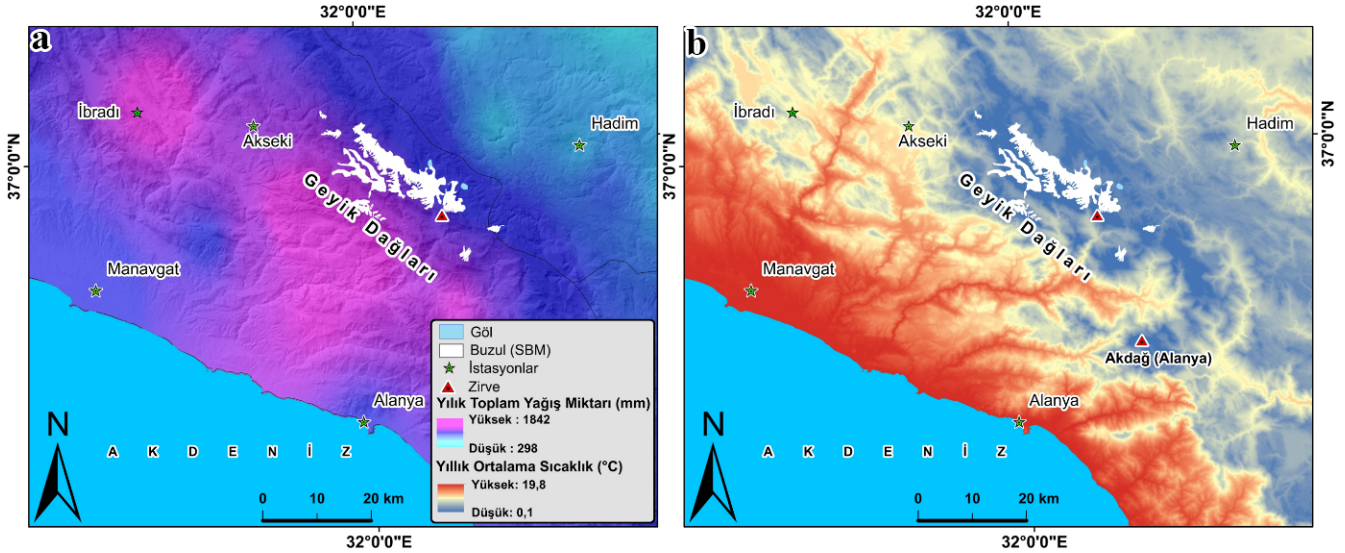
#### 3.2. Genel İklim Özellikleri

Kış ayları döneminde Akdeniz üzerinde gelişim gösteren ve/veya Atlantik üzerinden gelen orta enlem siklonları, Almazroui vd. (2015) tarafından gösterildiği üzere doğu ve kuzeydoğu yönünde hareket etme eğilimindedir. Özellikle Güney Ege ve Rodos Adası çevresinden ilerleyen ve kuzeydoğu yönlü hareket eden alçak basınç (AB) alanları özellikle Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda uzanan Toros Dağları'na dik bir açı yapmaktadır. Bu durumun sonucunda güneybatıdan yaklaşan nemli hava kütleleri Toros Dağları'nın özellikle güney ve güneybatı yamaçlarında orografik olarak yükselerek yağışın bu bölgelerde süresini ve şiddetini arttırmaktadır. Bu durum özellikle kabaca kuzeydoğu güneybatı istikametinde uzanan Geyik Dağları'nın güney bölümlerinde çok daha kuvvetli bir şekilde görülmektedir. Akdeniz üzerinden güney ve güneybatı yönlü gelen nemli ve yağışlı hava kütleleri Geyik Dağları'na dik bir açı ile karşılaşmaktadır.



Şekil 3. Geyik Tepesi ve Eğri Göl buzullaşma alanının genel buzul jeomorfolojisi haritası.

Figure 3. General glacial geomorphology map of Geyik Hill and Eğri Lake glaciation area.



Şekil 4. Geyik Dağları ve yakın çevresinin yıllık ortalama yağış dağılışı (a) ve sıcaklık haritası (b).

Figure 4. Annual mean precipitation distribution (a) and temperature map (b) of Geyik Mountains and its surroundings.

Bu durum, dağın güney yamaçlarında yağışların şiddetini ve süresini arttırmaktadır. Ayrıca Geyik Dağları'nın doğu batı yönünde 50 km'yi bulan uzunluğu nedeniyle cephelerin yavaşlamasına ve dağ üzerinde ve güney bölümünde oklüzyon cephe oluşumuna neden olmaktadır. Bu yağış mekanizması ve bu yapının etkilerini Şekil 4a ve Tablo 1'de görmek mümkündür.

Şekil 4a'da da görüldüğü üzere Geyik Dağları'nın özellikle Akdeniz'e bakan güney aklanında yıllık yağış miktarları orografik etki ve oklüzyon cephe etkisi ile 2000 mm'ye yaklaşmaktadır. Geyik Dağları'nın kuzeyinde kalan Hadim istasyonunda ise yıllık yağış miktarı 500 mm'lere kadar düşmektedir. Bu durum Geyik Dağları'nın oluşturduğu yağmur gölgesi ile yakından alakalıdır. Bu durum Şekil 4a'da ki yağış haritasında Geyik Dağları üzerinde bir yağış sınırı olduğu üzerinde açıkça görülmektedir. Bu kesimin kuzeyinde yağışlar önemli oranda azalmaktadır.

Geyik Dağları'nın yakın çevresinde yer alan istasyonların aylık yağış dağılımları incelendiğinde yıllık toplam yağışın %60'ından fazlasının sonbahar sonları ile kış aylarında düştüğü görülmektedir. Bu durum Geyik Dağları üzerinde kış yağışlarının önemli bir bölümünün kar şeklinde olduğunu ve yıllık kar birikimleri ve karla kaplı gün sayısının yüksek olmasına neden olabileceği de belirtilmelidir.

Geyik Dağları'nın yakın çevresinde uzun dönemli rasata sahip istasyonların aylık ve yıllık sıcaklık ortalama değerleri elde edilmiş ve bu değerler üzerinden laps rate (0.65) oranına göre hesaplama yapılarak sıcaklık dağılım haritası oluşturulmuştur

Tablo 1. Geyik Dağı ve yakın çevresinde yer alan uzun dönemli rasata sahip istasyonların aylık ve yıllık ortalama yağış değerleri.

Table 1. Monthly and annual average precipitation values of the stations with long-term observations in Geyik Mountain and its surroundings.

AYLIK YAĞIŞ ORTALAMALARI (mm)													
İstasyon	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Alanya	220	154	100	66	39	9	9	5	27	97	163	236	1125
Manavgat	230	171	94	51	26	11	4	11	19	95	160	238	1110
Akseki	245	187	149	100	60	33	22	17	26	100	185	285	1409
İbradi	440	224	171	98	74	37	9	23	43	149	191	314	1773
Hadim	106	59	57	48	52	37	4	8	13	51	51	96	582

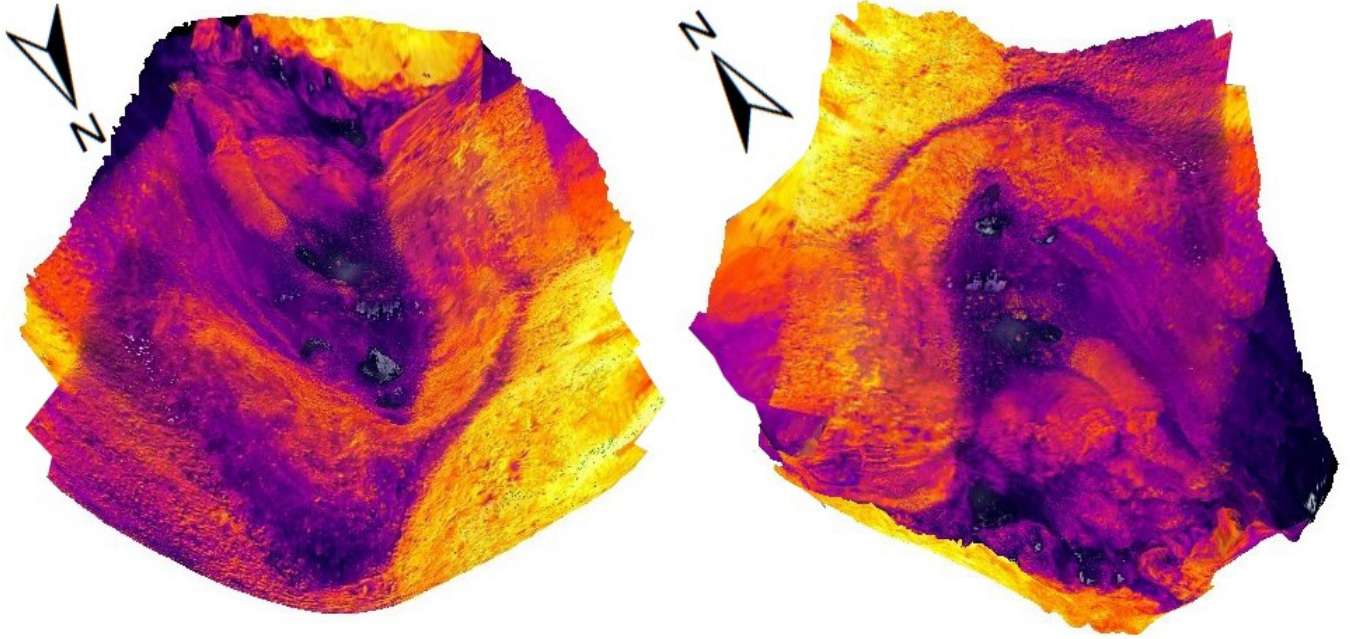
(Şekil 4b). Sıcaklık değerleri yağış koşullarına göre daha stabil bir meteorolojik parametre olarak genel itibarı ile yükselti ve karasallık oranına göre değişim göstermektedir. Elde edilen sıcaklık değerleri bu bağlamda anlamlı olup Geyik Dağı üzerindeki çalışma sahasında yıllık ortalama olarak 1.5- 2°C civarında olduğu görülmüştür.

#### 4. Bulgular

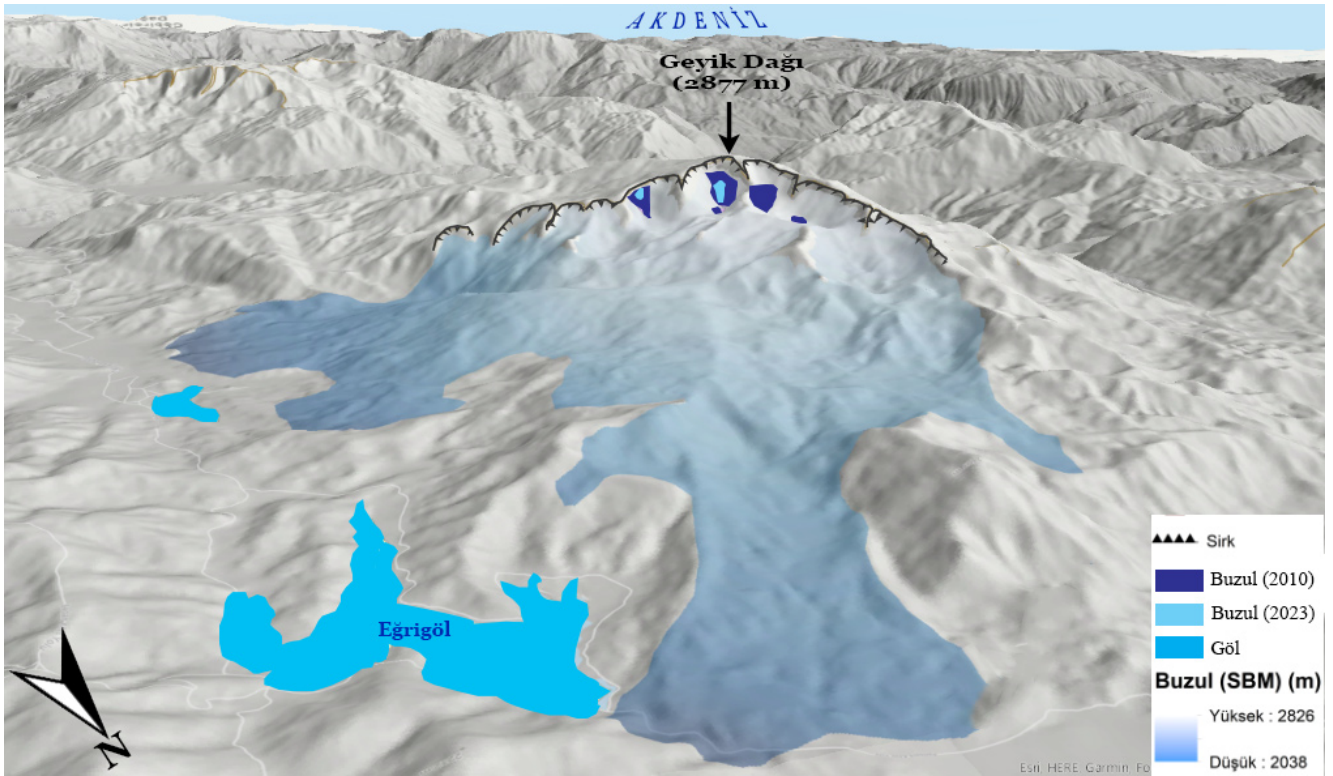
##### 4.1. Buzul Morfometrisi ve ELA Hesaplaması

Geyik Dağı'na yapılan arazi çalışması, yerinde gözlem ve termal kameraya sahip insansız hava arazi ile buzul alanı ve yakın çevresi için ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Bu kapsamda ince bir moloz veya döküntü örtüsü ile kaplı buzul alanının sınırları belirlenmiştir. Orta ve Doğu buzulu için GlaRe modeli çalıştırılarak buzulun belli bazı morfometrik özellikleri tespit edilmiştir. Orta Buzulu ile yakınında yer alan iki sirk alanının daha geçmiş uydu görüntüleri incelenmiş ve buzul alanlarının yaklaşık 13 yıllık sürede alansal olarak %50'den fazla küçüldüğü tespit edilmiştir.

2010 yılına ait uydu görüntülerinden elde edilen buzul alanlarının sınırları belirlenerek güncel buzul alanları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yaklaşık 132 km<sup>2</sup> paleo buzul alanına sahip olan Geyik Dağları'ndaki önemli buzullaşma alanlarından biri olan Eğri Göl buzullaşma alanının moren, moren sırtları ve trimlenleri da belirlenerek GlaRe buzul modellemesi yapılmış, SBM, 2010 ve güncel buzul alanları 3 boyutlu topografya üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Orta Buzulu'nun termal kamera görüntüsü.  
Figure 5. Thermal camera image of the Middle Glacier.



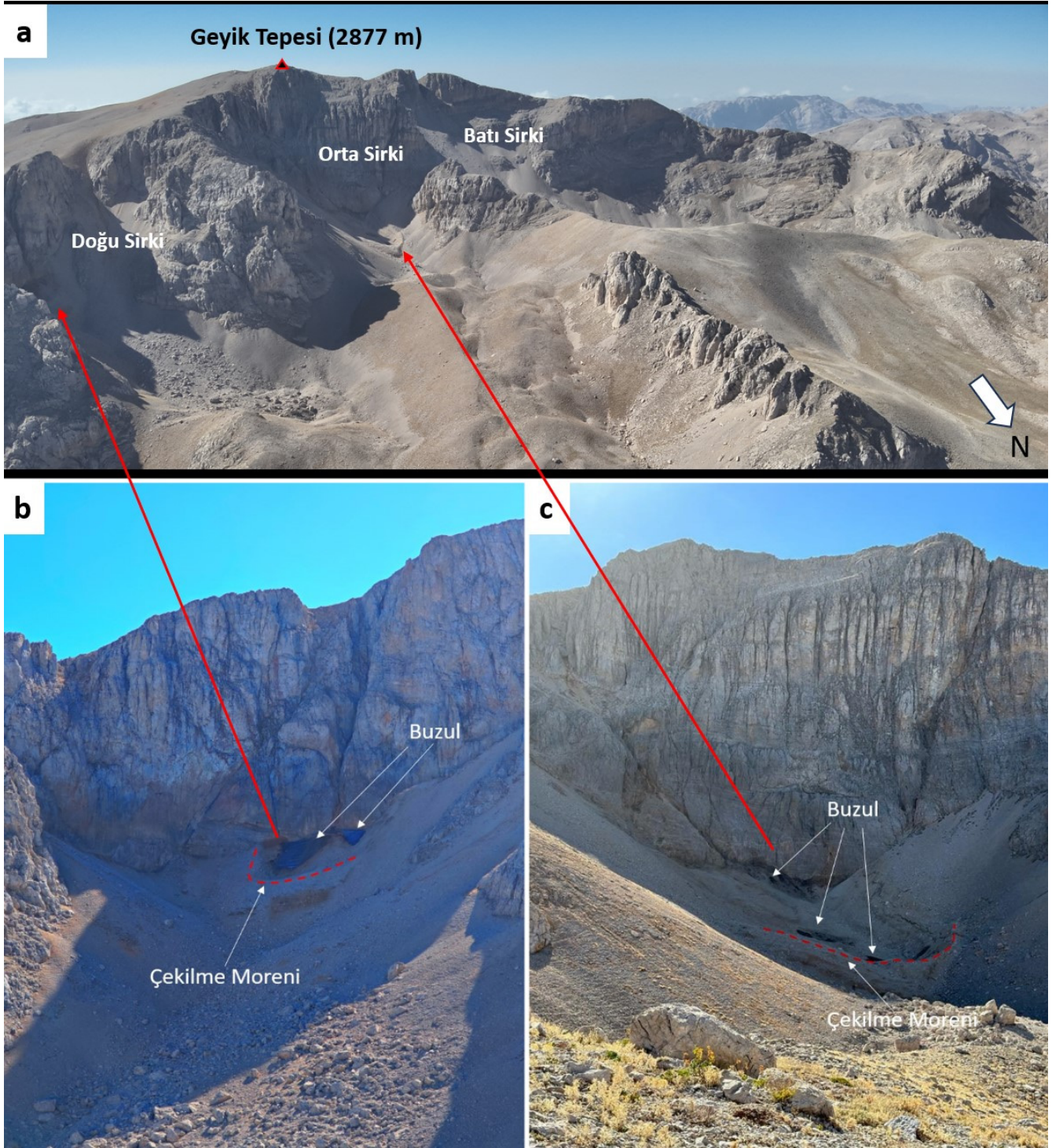
Şekil 6. Eğri Göl buzullaşma alanının SBM buzul modeli ile 2010 ve 2023 buzul alanlarının 3 boyutlu gösterimi.  
Figure 6. 3D representation of 2010 and 2023 glacier areas of Eğri Lake glaciation area with SBM glacier model.

Yapılan arazi gözlemleri ve jeomorfolojik deliller çerçevesinde yapılan buzul modellemesine göre SBM döneminde Eğri Göl buzullaşma toplam alanı  $13 (\pm 0.780)$  km<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Orta Buzulu'nun alanı 6000 m<sup>2</sup> (Fotoğraf 2a-c), Doğu Buzulu'nda ise 2030 m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir (Fotoğraf 2a-b).

Buzul modeli sonucunda Orta Buzulu'nun buzul başlangıç yüksekliği 2641 m, buzul terminal seviyesi ise 2583 m olarak belirlenmiştir. Doğu Buzulu'nun ise buzul başlangıç yüksekliği 2645 m, buzul terminal seviyesi ise 2574 m olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Orta buzulunun uzunluğu 150 m, doğu buzulunun uzunluğu ise 46 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Geyik Dağı üzerinde yer alan buzulların toplam alanı ise 8030 m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Bu alansal büyüklüğün %90'ı 6000 m<sup>2</sup> ile orta buzuluna aittir (Tablo 2). Buzul modellemesi neticesinde buzul morfometrisi verileri elde edilmiş buzullar için buzul model yüzeyi girdi olarak ELA hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Orta buzulunun ELA seviyesi 2618 m, doğu buzulunun ise 2621 m olarak hesaplanmıştır (Tablo 2, Şekil 7a).





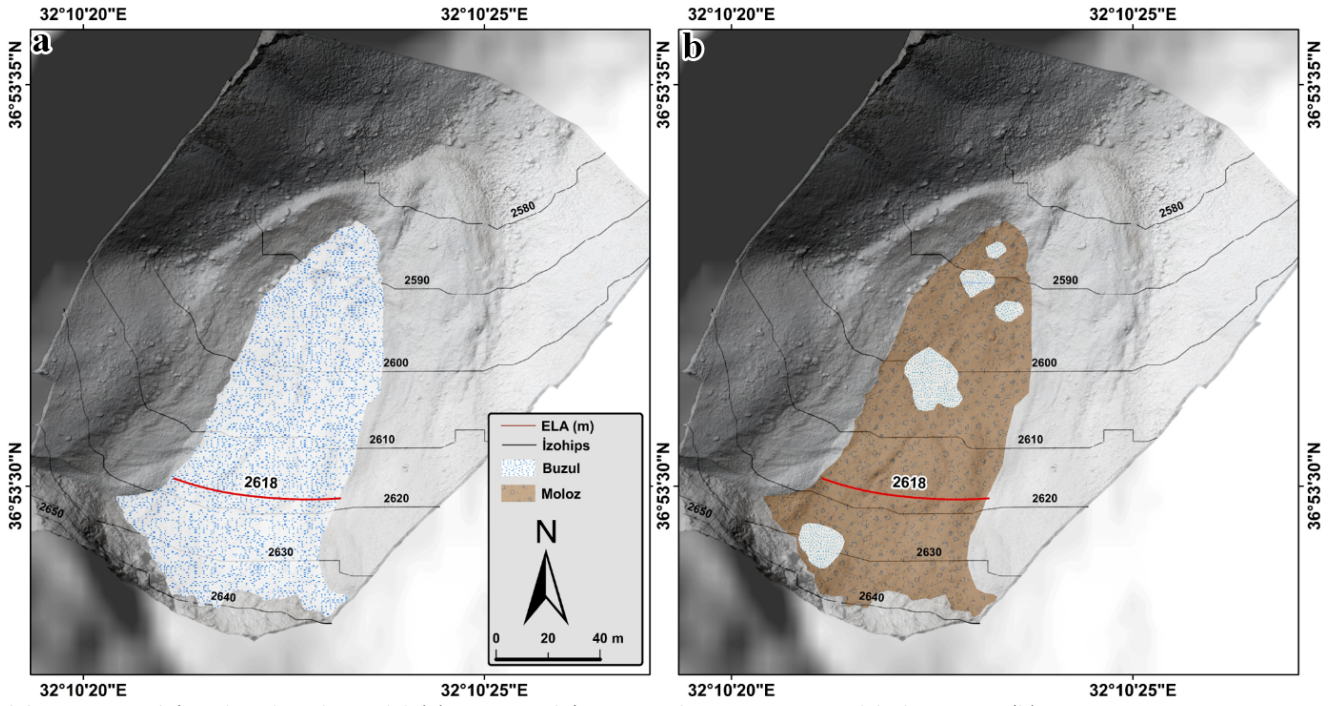
**Fotoğraf 2.** Geyik Dağı ve kuzeyinde yer alan buzul alanlarının havadan görünümü(a), Doğu Buzulu ve eski çekilme moreni (b), Geyik Orta Buzulu ve eski çekilme moreni (c).

**Photo 2.** Aerial view of Mount Geyik and the glacier fields to the North (a), Eastern Glacier and old retreat morain (b), Geyik Middle Glacier and old retreat morain (c).

**Tablo 2.** Geyik Orta ve Doğu buzullarının buzul modellemesinden elde edilen morfometrik özellikleri.

**Table 2.** Morphometric properties of the central and eastern glaciers derived from glacier modelling.

Buzul	Buzul Uzunluğu (m)	Buzul Terminal Yüksekliği (m)	Buzul Başlangıç Yüksekliği (m)	AABR (1.56)	Alan (m <sup>2</sup> )
Geyik Orta Buzulu	150	2583 (±3)	2641 (±3)	2618	6000 (±300)
Geyik Doğu Buzulu	46	2574 (±4)	2645 (±4)	2621	2030(±100)
Geyik Ortalama	98	2578 (±4)	2643 (±4)	2619	8030(±480)



Şekil 7. Orta Buzulu'nun buzul yayılış modeli (a), Orta Buzulu'nun güncel arazi yüzeyinin şekilsel gösterimi (b).

Figure 7. Glacier extent model of the Middle Glacier (a), figural representation of the current land surface of the Middle Glacier (b).



Fotoğraf 3. Geyik Orta Buzulundaki döküntü örtüsünün altında yüzeylenen buzul alanlarının gösterimi.

Photo 3. Representation of the glacier areas surfaced under the debris cover on Geyik Middle Glacier.

Güncel uydu görüntülerinde, üzerinde yer alan ince moloz ve örtü malzemesinden dolayı Orta buzul alanının görünmesi veya tespit edilmesi oldukça zor olmuş yerinde arazi gözlemleri ile ince moloz örtüsü altında 4 farklı noktadan yüzeylendiği belirlenmiştir (Şekil 7; Fotoğraf 3). Bu buzul hattı takip edildiğinde ve termal kamera görüntüleri ve ortofotolar ile incelendiğinde buzul alanının şekil 7a'daki şekliyle yayılım gösterdiği ifade edilebilir.

#### 4.2. Topografik Analizler ve Uzaktan Algılama

Glasiyal sirkler ve sirk buzulları için, eğim derecesi aralığının buzulların gelişmelerinin optimum şartı olarak  $12^{\circ}$ -  $45^{\circ}$  aralığı olduğu, sirk tabanlarının  $<20^{\circ}$  ve sirk duvarının  $>33^{\circ}$  olduğu eğim dereceleri özdeştiği ifade edilmiştir (Evans ve Cox, 1974; Derbyshire ve Evans, 1976; Evans and Cox, 1995; Evans, 2006; Simoni, 2011). Sirklerin ve buzulun üzerinde yer aldığı topografyanın ortalama eğim değerinin  $45^{\circ}$  üstünde veya  $12^{\circ}$  altında bulunduğu durumlarda ise buzul morfolojisinden kaynaklı

olarak rotasyonel hareketinin olumsuz etkilenmesi nedeniyle sirk buzulların bu kesimlerde oluşmasının zor olduğu belirtilmiştir (Evans ve Cox, 1976; Evans ve Cox, 1995).

Geyik Dağı'nda yer alan sirk alanları ve yakın çevresinin eğim ve bakı özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra buzulların yayılım alanlarını ile eğim ve bakı verileri ağırlıklı çakıştırma (Weighted Overlay) analizine tabi tutularak buzul alanının hangi eğim ve bakı alanında kaç km<sup>2</sup> alan kapladığı ortaya çıkarılmıştır. Yapılan eğim analizlerine göre belirtilen literatürel açıklamalara paralel olarak Orta Buzulu alanında toplam alanının %50'sinden fazlasının 18-30° aralığında, %35'inin ise 12-18° eğim aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Doğu Buzulu'nda da ise toplam buzul alanının %50'si 30-45° derecesi arasında yer alırken, %23'ü 18-30° eğim dereceleri arasında yer almıştır (Tablo 3).

Geyik Dağı'nda yer alan buzulların bakı intersect analizleri gerçekleştirilmiş ve hesaplama sonuçlarına bakıldığında buzul alanlarının tamamının kuzey bakılı alanlara geliştiği veya bu kesimde kaldığı belirlenmiştir. Orta Buzulu'nun 6000 m<sup>2</sup>'lik toplam alanının %67'si kuzey yönde gelişirken, %17'si kuzeydoğu yönde, %16'sı ise düz bir alanda yer almıştır. Orta Buzulu'nun diğer yönlerde gelişim göstermediği tamamen kuzey yöne geliştiği açıkça görülmektedir (Tablo 4). Doğu Buzulu'nun 2030 m<sup>2</sup>'lik toplam buzul alanının %79'u kuzey bakılı alanda, geriye kalanının önemli bir bölümü ise kuzeydoğu ve kuzeybatılı alanlarda yer almıştır. Bu bağlamda Orta ve Doğu buzulları hemen tamamen kuzey bakılı alanlarda yer almaktadır ve diğer yönlerde oldukça kapalı bir özellik gösteren sirk duvarları tarafından çevrelenmiştir.

Çalışma sahası içerisinde yer alan buzul alanlarının gelişim gösterdikleri veya korunaklı olarak kalabildikleri sirk çanaklarının topografik özelliklerini irdeleyebilmek adına kapalılık oranları ve gökyüzü görünürlük faktörleri incelenmiştir (Şekil 8). Yılın herhangi bir gününde sirk içerisinde herhangi bir noktadan gökyüzünün hangi ölçüde görüldüğünü ifade eden bu faktör bir kesimin kapalılık oranını gösteren önemli parametrelerden biri olarak ifade edilebilir. 0-1 aralığındaki renk skalasında 0 görünürlüğün hiç olmadığı, 1 ise gökyüzünün görünürlüğün çok yüksek olduğunu belirtmektedir. Yapılan analizlere göre güncel buzulların yer aldığı sirk çanaklarının kapalılık oranların oldukça yüksek olduğu ve buna bağlı olarak gökyüzü görünürlük faktör-

rünün düşük olduğu görülmüştür. Geyik Dağı'nda yer alan buzul alanlarının gökyüzü görünürlük analizine bakıldığında her iki buzulunda bulunduğu kesimin gökyüzü görünürlük değerinin 0'a oldukça yakın olduğu görülmektedir (Şekil 8a). Bu durum ise esasen buzulun yerleştiği alanının oldukça kapalı bir havza içerisinde yer aldığı ve özellikle güneş radyasyonunda oldukça korunaklı bir kesimde yer aldığını göstermektedir.

Şekil 8b' de ise aynı bölgenin toplam güneş radyasyon verisi görülmektedir. Güneş geliş açısında bağlı olarak hangi bölgenin güneş radyasyonundan ne kadar etkilendiğini ifade eden görselde buzulların içerisinde yer aldığı sirk çanaklarının bölgenin en düşük toplam güneş radyasyonuna sahip olduğu görülmektedir (Şekil 8b). Bu durum temelde sirk çanaklarının yüksek eğim değerlerine sahip olması, kapalılık oranının fazla olması ile doğrudan ilişkilidir. Bu şartlar altında bölgede düşük güneş radyasyonu sıcaklık koşullarının sirk çanakları içerisinde daha düşük olmasına ve güneş radyasyonu ile özellikle yaz aylarında süblimasyon etkisi ile erimeye karşı önemli topografik koşulları meydana getirmektedir.

Topoğrafik analizler neticesinde güncel buzul alanlarının düşük güneş radyasyonu ve kapalılık oranlarının yüksek olmasına bağlı olarak kuzey ve güneyde yer alan kesimlerde sıcaklıkların arttığı sahalara nazaran düşük sıcaklık adası halindeki sahalardır. Landsat 8 termal uydu bantlarından elde edilen verilere göre sirkler ve hemen önündeki çukur alanlara karşılık gelen bu sahalara, topografik etkilerle güneşlenme potansiyeli düşük ve daha çok duldada kalma özelliğindedir. Yer Yüze Sıcaklığı tespitine yönelik yapılan çalışmalarla buzullaşma alanında 2013-2023 yılları arasındaki uydu verisinin alındığı günlerde sıcaklığın -3,68 °C (25/10/2023) ile 12,16 °C (04/09/2022) arasında değiştiği ve bu sahalarda her görüntüde en düşük sıcaklık değerlerine sahip olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır (Şekil 9). Eylül ayı verilerinde bu kesimdeki en düşük sıcaklık -1,69 °C (30/09/2014) iken eylül ayına ait diğer verilerde sıcaklık genellikle 7-9 °C'ler arasındadır.

Ekim ayına ait 3 adet görüntüde en düşük sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Ekim ayına ait bu görsellerde en düşük sıcaklık değerleri -3,68 ile 1,98 (03/10/2021) arasındadır. Saat 10:30 sularında yüzeyde kaydedilen bu sıcaklık değerlerinin gece boyunca olan ışıma ile daha da düşmesi olasılığı, buzulun varlığını sürdürmesinin temel nedeni olarak görülmektedir (Şekil 9).

**Tablo 3.** Geyik Dağı buzul- eğim intersect analiz sonuçları.

**Table 3.** Geyik Mountain glacier-slope intersect analysis results.

Geyik Dağı Buzul-Eğim Intersect Analizi								
Eğim Değerleri (°)	0-2	2-6	6-12	12-18	18-30	30-45	45-82	Toplam
Geyik Orta Buzulu (m <sup>2</sup> )	0	100	20	2100	3220	560	0	6000
Geyik Doğu Buzulu (m <sup>2</sup> )	0	24	14	100	474	998	420	2030
Toplam (m <sup>2</sup> )	0	124	34	2200	3694	1558	420	8030

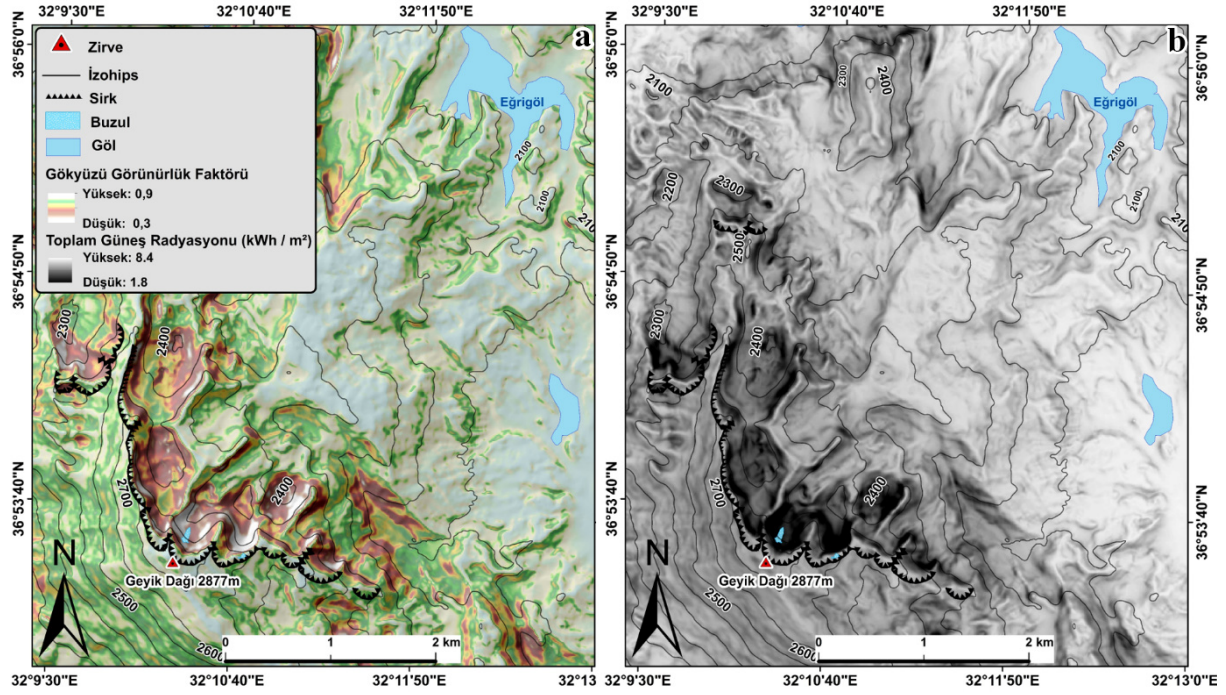
**Tablo 4.** Geyik Dağı buzul- bakı intersect analiz sonuçları.

**Table 4.** Geyik Mountain glacier- aspect intersect analysis results.

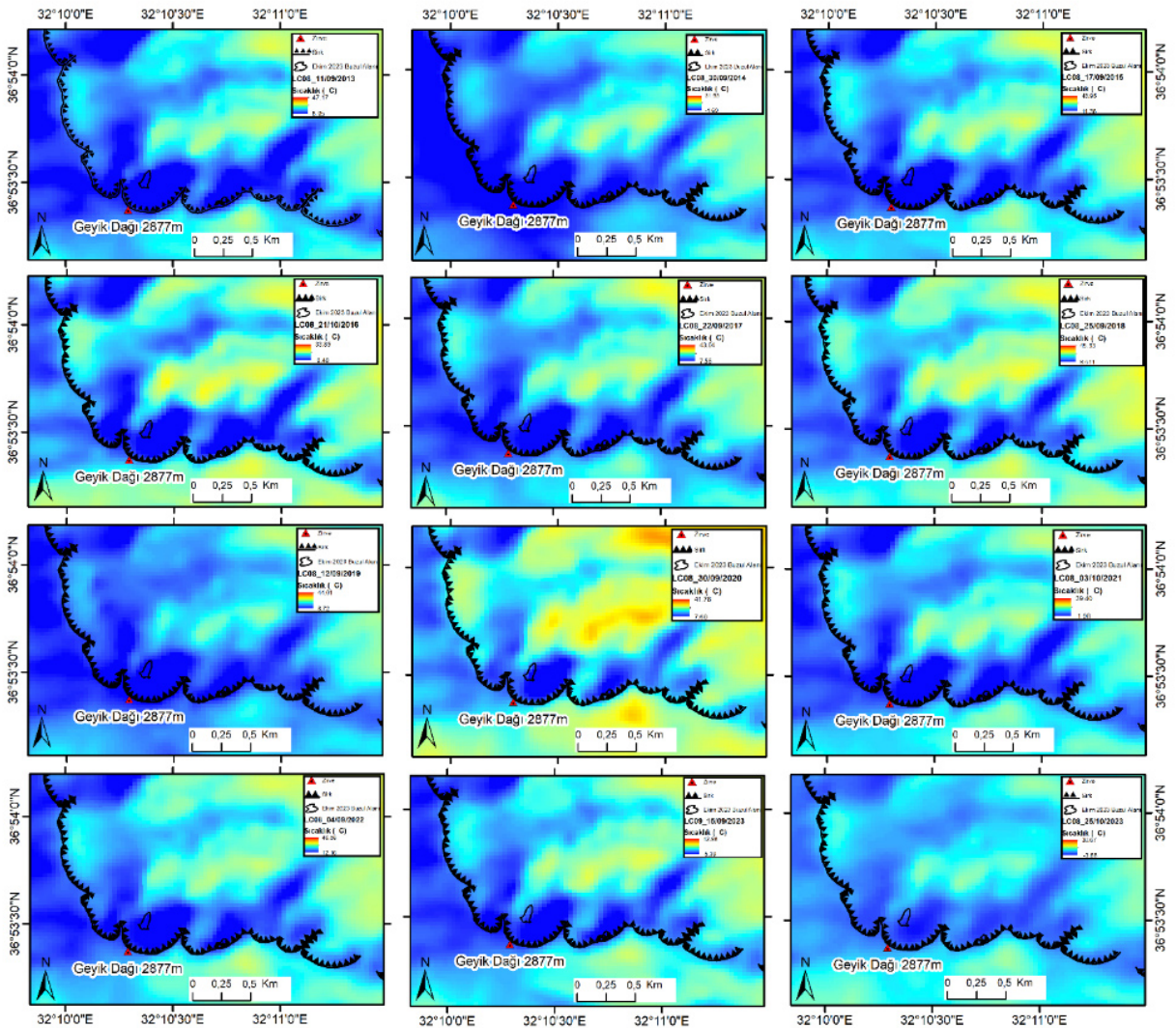
Geyik Dağı Buzul Bakı Intersect Analizi										
Bakı (Yön)	D	K	KD	D	GD	G	GB	B	KB	Toplam
Geyik Orta Buzulu (m <sup>2</sup> )	1000	4000	1000	0	0	0	0	0	0	6000
Geyik Doğu Buzulu (m <sup>2</sup> )	300	1600	10	0	0	0	0	0	120	2030
Toplam (m <sup>2</sup> )	1300	5600	1010	0	0	0	0	0	120	8030

#### 4.3. Sirk Morfometrisi

Geyik Dağı'nda 2010 yılına kadar güncel buzul barındıran 3 sirk bulunmaktadır (Şekil 2). Bu sirkler Batı, Orta ve Doğu sirkleri olarak adlandırılmıştır. Sirkler Geyik Dağı'nın en yüksek noktası olan Geyik Dağı Tepe (2877 m) kuzey ve kuzeydoğusunda gelişmişlerdir. Geyik Dağı'nda güncel buzul bulunan sirklerin morfometrik analizleri ve yorumları Evans and Cox, (1974, 1995), Evans (2006), Mîndrescu vd. (2010), Hughes vd. (2007) ve Simoni (2011), Barr ve Spagnolo, (2015) ve Spagnolo vd. (2017) tarafından izlenen yaklaşımlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Sirklerin morfometrik özellikleri boyutlar, yükselti, bakı (yön), eğim, iklim özellikleri açısından ayrı ayrı ele alınmıştır (Tablo 5).



Şekil 8. Geyik Dağı'nın gökyüzü görünürlük faktörü (a) ve toplam güneş radyasyon verileri (b).  
 Figure 8. Sky visibility factor (a) and total solar radiation data of Geyik Mountain (b).



Şekil 9. 2013-2023 tarihleri arasındaki eylül ve ekim ayları dönemlerine ait yer yüzeyi sıcaklık (YYS) haritaları.  
 Figure 9. Land surface temperature (LST) maps for the periods of September and October between 2013 and 2023.

**Tablo 5.** Geyik Dağı'nda buzul barındıran sirklerin Morfometrik özellikleri.**Table 5.** Morphometric characteristics of the glacier-containing cirques on Geyik Mountain.

Morfometrik Parametreler	Sirk		
	Batı	Orta	Doğu
Sirk Eşiği Yükseltisi (m)	2592	2576	2498
En Alçak Taban Yüksekliği (m)	2548	2554	2494
Ortalama Taban Yüksekliği (m)	2604	2582	2535
En Yüksek Taban Yüksekliği (m)	2660	2609	2575
Sirk Duvarı Yüksekliği (m)	2852	2866	2743
Ortalama Sirk Yüksekliği (m)	2700	2710	2618
En Yüksek Sirk Duvarı Yüksekliği (m)	2870	2875	2798
Orta Eksen Yüksekliği (H) (m)	304	312	249
Maksimum Taban Amplitüdü (m)	112	55	81
Sırttan Eşiğe Orta Eksen Uzunluğu (L) (m)	1070	716	451
Orta Eksene Dik Maksimum Genişlik(W) (m)	612	425	390
Orta Eksende Duvar Yüksekliği (m)	210	257	223
Uzunluk/ Genişlik Oranı	1,77	1,68	1,16
Uzunluk/Yükseklik Oranı	5,64	2,79	2,68
Sirk Çevre Uzunluğu (Perimeter) (m)	2.835	1.983	1433
Sirk Tabanı Alanı (km <sup>2</sup> )	0,118	0,049	0,025
Sirk Alanı (km <sup>2</sup> )	0,461	0,257	0,134
Dairesellik indeksi	0,72	0,82	0,82
Sirk Yönü (Ortalama) (°)	29	26	41
Relatif Sirk Yönü	KKD	KKD	KD
Sirkin Ortalama Eğimi (°)	31	36	41
Ortalama Taban Eğimi (°)	8,1	7,1	20,8
Ortalama Sirk duvarı Eğimi (°)	38,3	54,7	42,5
Sirkin Gelişim Aşaması	4	4	3

#### 4.3.1. Boyutlar

Sirklerin boyutlarındaki farklılıklar, konum, topografya, iklim, jeolojik yapı, litoloji ve tektonik gibi lokal faktörlere bağlı olarak meydana gelmektedir (Simoni, 2011). Derbyshire ve Evans (1976) Dünyanın farklı bölgelerinde yer alan sirklerin incelenmesi ve karşılaştırılmasıyla elde edilen ortalama değerlere göre, bir sirkin yaklaşık 700 m uzunluğa, 250 m genişliğe ve 0,4 km<sup>2</sup> alana sahip olduğu ileri sürmüştür.

Geyik Dağı'nda bulunan Batı Sirk'i 1070 m uzunlukla en uzun sirk durumundadır. Bunu, 716 m ile Orta sirk ve 451 m ile Doğu Sirk takip etmektedir (Tablo 5). Sirkler genişlik bakımından ele alındığında en geniş sirk 612 m ile Batı Sirk en geniş sirk durumunda olup, bunu, 425 m ile Orta Sirk ve 390 m ile Doğu Sirk izlemektedir. Uzunluk/genişlik oranları incelendiğinde Batı Sirk'i uzamış (elongated cirque) özelliği taşıyan, Doğu Sirk'i nispeten dairesel bir geometriye daha yakın durmaktadır. Yine, sirkler alanları bakımından uzunluk ve genişlikte olduğu gibi en büyükten en küçüğe sırasıyla Batı (0,47 km<sup>2</sup>), Orta (0,26 km<sup>2</sup>) ve Doğu sirk'i (0,13 km<sup>2</sup>) olmak üzere bir sıralanış göstermektedir. Sirk taban alanları incelendiğinde, Batı Sirk'i 0,12 km<sup>2</sup> ile oransal büyük bir alana sahiptir ve sirk alanının yaklaşık ¼'ünü oluşturmaktadır. Orta Sirk 0,05 km<sup>2</sup>, Doğu Sirk'i ise 0,02 km<sup>2</sup> taban alanına sahiptir (Tablo 5). Geyik Dağı'nda bulunan sirk boyutları yukarıda ifade edilen değerler standardize sirk boyutları çerçevesinde (Derbyshire ve Evans, 1976) incelendiğinde, Batı Sirk'in standardize edilmiş sirk boyutları içinde olduğu, Orta ve Doğu Sirk'lerin ise uzunluk ve alan bakımından düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Geyik Dağı'nda, Doğu Sirk'i ve Orta Sirk 1,10, Batı Sirk ise 1,18 dairesellik oranına sahiptir. Dairesellik oranının 1'e yakın olduğu sirkler dairesel, 1 değerinden uzak olanlar dairesel görünümünden uzaklaşıp uzamış sirk (elongated cirque) görüntüsü kazanırlar (Tablo 5). Bu açıdan değerlendirildiğinde Doğu ve Orta Sirk'i daha dairesel değerlere sahipken,

Batı Sirk'i ise uzamış sirk görüntüsündedir.

#### 4.3.2. Yükselti

Sirkler, Geyik Dağı'nın en yüksek zirvesinin (2877 m) kuzeye bakan yamaçlarında yer alırlar. Sirklerin ortalama yükseltileri Batı Sirk'inde 2645 m, Orta Sirk'te 2659 m ve Doğu Sirk'inde 2623 m olmak üzere birbirine yakın değerlerde bulunmaktadır. (Tablo 5). Sirklerin ortalama taban yükseltileri Batı ve Orta Sirk'lerde birbirine yakın değere sahipken (sırasıyla 2604 m ve 2582), Doğu Sirk'te biraz daha alçak bir seviyededir (2535 m).

#### 4.3.3. Sirk duvar yüksekliği

Sirk tabanının üst yüksek noktası ile sirk duvarının en yüksek noktası arasındaki yükseklik farkı olan sirk duvarı yüksekliği Batı Sirk 210 m, Orta Sirk 266 m ve Doğu Sirk 223 m olarak ölçülmüştür (Tablo 5). Orta Sirk'te duvar yüksekliğinin daha fazla olması gölge boyunun daha fazla uzamasına ve dolayısıyla buradaki buzulun varlığını sürdürmesi bakımından bir avantaj sağladığı ileri sürülebilir. Batı Sirk'te duvar yüksekliğinin diğer iki sirke bir miktar daha az olması 2010 yılında bu sirkin içinde mevcut olan buzulun erime süreci açısından olumsuz bir durum oluşturmuştur.

#### 4.3.4. Yön

Geyik Dağı'nda yer alan 3 sirkin geliştikleri yönler ACME yön-temi ile ortalama sirk yönleri (aspectmean) kapsamında otomatik olarak elde edilmiştir. Buna göre Batı Sirk'i 29° (Kuzey-kuzeydoğu), Orta Sirk 29° (Kuzey-kuzeydoğu) ve Doğu Sirk 41° (kuzeydoğu) yönlerinde gelişmişlerdir (Tablo 5). Kuzey yarımkürede sirkler baskın şekilde KKD yönünde gelişme eğilimi göstermektedir (Barr ve Spagnolo, 2015). Geyik Dağı'ndaki sirklerin ortalama yönleri ana hatları ile bu eğilim doğrultusunda olmuştur.

Geyik Dağı'nda yer alan sirklerin bakı özellikleri incelendiğinde, büyük bölümünün güneş ışınlarından daha az etkilenen ve gölge etkisinde kalan yönlerde geliştiği, dolayısı ile bakının belirleyici role sahip olduğu görülmektedir.

#### 4.3.5. Eğim

Glasiyal sirkler için, ortalama eğim aralığının 12°- 45°'de bulunduğunu, bununla birlikte ideal eğimin 20°-30° arasında olduğunu ve genellikle sirk tabanının <20° ve sirk duvarının >35° değerleri ile karakterize olduğunu ileri sürülmüştür (Evans ve Cox, 1974, 1995; Derbyshire ve Evans 1976; Evans, 2006). Derbyshire ve Evans (1976) ortalama eğim değerinin 45° üstünde veya 12° altında bulunan yüzeylerde, buzulun rotasyonel hareketi için gerekli eğim şartlarının oluşmamasından dolayı bu tür yerlerin glasiyal sirk olduğuna şüpheli ile bakılması gerektiğini belirtmişlerdir. Geyik Dağı'nda bulunan sirklerin ortalama eğim değerleri ACME araç kutusu kullanılarak elde edilmiştir. Ortalama eğim değerleri, Batı Sirk için 31°, Orta Sirk için 36° ve Doğu Sirk için 41° bulunmuştur (Tablo 5). Sirk tabanı eğimleri Batı Sirk için 8,1°, Orta Sirk için 7,1° ve Batı Sirk için 20,8° hesaplanmıştır. Sirk taban eğimleri Batı ve Orta Sirk birbirine yakın ve düşük değerler gösterirken, Doğu Sirk yüksek bir değere sahiptir. Sirk duvarı ortalama eğimleri ise, 54° ile

ile Orta Sirk en yüksek bulunurken, Batı ve Doğu Sirklerinde ise sırasıyla 43° ve 42° civarındadır. Sirklerin mevcut eğim değerleri, Derbyshire ve Evans (1976)'a tarafından belirlenen ve buzulların hareketi için gerekli olan eğim aralığında yer almaktadır. Bununla birlikte, Batı Sirk tabanında 6,6°, Orta Sirk tabanında ise 13°'yi bulan ters eğimler mevcuttur. Doğu Sirkte ise bariz bir ters eğim mevcut değildir.

2023 yılı itibarıyla, Orta sirkteki buzulun uzunluğu yaklaşık 155 m, Doğu Sirkindeki büyük buzulun uzunluğu 45 m, küçüğü 17 m'dir. Buzulların yüzey eğim hesapları yapılmış ve buna göre Orta Sirkte yer alan buzulun ortalama eğimi 21°, Doğu Sirkinde yer alan buzulların ortalama eğimi 34° olarak hesaplanmıştır. Buna göre güncel buzulların rotasyonel hareketi için gerekli olan >7° eğim değerine (Lewis, 1960; Barr ve Spagnolo, 2015) sahip oldukları belirlenmiştir. Güncel buzulların sirk tabanı ile sirk duvarı sınırında nispeten yüksek bir eğim aralığında varlıklarını sürdürdükleri görülmüştür.

## 5. Tartışma

Geyik Dağları 2500 m'yi aşan birçok zirveye sahip yüksek bir dağlık alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kesim SBM dönemi için yapılan çalışmalara göre Batı Toroslar içerisinde en büyük buzullaşma alanı olarak belirtilmiştir (Keserci, 2023). Ancak bu büyük ve eski buzul alanlarından günümüze jeomorfolojik izler kalmıştır. Tüm Batı Toroslar üzerinde günümüze kadar güncel buzulların varlığını ifade eden bir delil bulunmamıştır. Ancak yerel bir gezginin keşfi üzerinde yapılan arazi çalışmaları ve yerinde gözlemler neticesinde Geyik Dağları'nın en yüksek noktasını oluşturan 2877 m'lik zirvesi Geyik Dağı'nın kuzey bakılı alanlarındaki sirklerin içerisinde iki güncel buzulun varlığı teyit edilmiştir. Bu buzul alanının arazi çalışmaları, uydu görüntüleri ve termal kamera görüntüleri kullanılarak sınırları belirlenmiş ve buzul modellemesi gerçekleştirilmiştir. Modelleme sonuçlarına göre SBM dönemi buzul yayılış alanları uydu gözlemleri ile tespit edilen 2010 buzul yüzey alanı ile 2023 arazi gözlemleri ile tespit edilen buzul alanları karşılaştırılmış ve bu buzulların esasen SBM döneminde var olan ve geniş alanlara yayılan buzulları besleyen sirk buzullarının birer kalıntısı olduğu belirlenmiştir.

SBM dönemi maksimum buzul yayılışı sırasında 13 ( $\pm 0.780$ ) km<sup>2</sup> olan Eğri Göl buzullaşma alanı, günümüzde iki buzul alanının toplamında 0,00803 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. 2010 yılındaki uydu görüntülerine göre belirlenen buzul yüzey alanının ise 0,0445 km<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda SBM dönemindeki toplam buzul alanının yalnızca 0,06'sı günümüze kadar kalabilmiştir. 2010 yılından 2023 yılına kadar yani 13 yıllık sürede ise buzulların %82'sinin eridiği görülmüştür. Küresel sıcaklıkların giderek arttığı bu dönemde önümüzdeki yıllarda buzulların tamamen ortadan kalkacağı da ifade edilebilir.

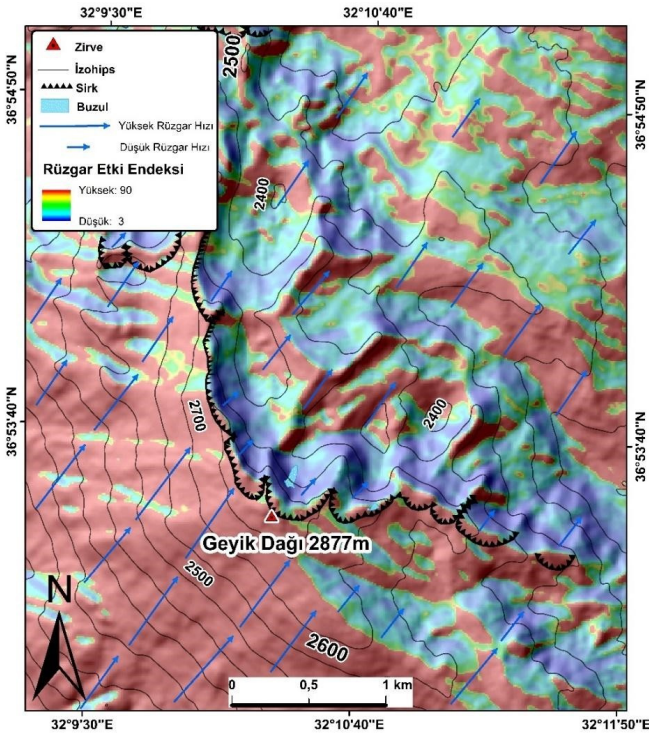
Geyik Dağı'nda yer alan buzulların ELA seviyelerinin ortalaması 2619 m olarak tespit edilmiştir. Geyik Dağları'nın güncel ELA seviyesinin 3000 ile 3500 m olarak ifade edildiği düşünülürse 2619 m'lik güncel ELA seviyesi oldukça dikkat çekici ve bilimsel anlamda oldukça önemli bir veri niteliği taşımaktadır. Bu ELA seviyesinin Geyik Dağları'nın tümünü ifade etmediği gibi sadece Geyik Tepesi'nin kuzeyinde yer alan iki buzulun ortalama değeri olarak düşünülmesi gerektiği de belirtilmelidir.

Batı Toroslar' da SBM buzullaşma dönemi dışında güncel buzullara rastlanılan Geyik Dağı bu noktada oldukça önemli ve dikkat çekicidir. 2500 m seviyelerinde buzulların varlığını hala sürdürebilmesi sıcaklık koşullarını veya iklim koşullarını modifiye eden topografik faktörlerle yakından ilişkilidir. Buzulların bulunduğu sirk çanakları yapılan analizler neticesinde hemen tamamen kuzey bakılı olduğu ve güncel buzulların ise tamamının kuzey bakılı alanlarda kaldığı tespit edilmiştir. Sirk çanaklarının güney ve diğer yönlere tamamen kapalı ve eğim derecesinin 45 dereceden fazla olması aynı zamanda sirk içerisinde yer alan buzulların güneş radyasyonundan önemli ölçüde korunduğu ve çevresinde göre kuvvetli mikroklima etkisi yarattığı belirlenmiştir. Bu durumda buzulların gerek sıcaklık şartları gerekse de süblimasyonla buzul erimesine karşı engel olarak buzulların günümüze değin kalabilmesinde oldukça önemli olmuştur.

Bu topografik yapının ortaya çıkmasında litolojik-stratigrafik yapının etkisi oldukça önemlidir. Çalışma sahasındaki sirklerin bulunduğu kesimde kireçtaşı formasyonun kalınlığı özellikle periglasyal dönemlerde derine karstik gelişime olanak sağlamıştır. Bu yapı ise özellikle Geyik Dağı zirve kesiminde buzul dönemlerine sirklere dönüşen uvala ve dikey mağara gelişimlerini desteklemiştir. Bu mekanizma buzulların bulunduğu sirk baş duvarlarının neredeyse 90 derecelik bir açığa sahip olmalarını da sağlamıştır.

Topografik yapı bakı ve eğim durumlarını ve dolayısı ile buzul alanları içerisinde düşen toplam güneş radyasyonunu, sıcaklığı ve rüzgâr etkisini doğrudan etkilemiştir. Bölgenin iklim özellikleri incelendiğinde Akdeniz Bölgesi'nin en fazla yağış alan kesimlerinden biri olan Geyik Dağları'nda özellikle sonbahar ve kış aylarında meydana gelen kuvvetli yağışların güneybatı yönlü rüzgarlar ile etkili olduğu görülmüştür. Bu durum ise sirklerin ve Geyik Dağları'nın uzanım doğrultusuna dik bir yapı sergilemektedir. Güney ve güneybatı yönlü rüzgarlar ile kuvvetli kar yağışları dağın güney ve zirve kesimlerinden süpürülerek buzulların içerisinde yer aldığı sirk çanaklarına birikmektedir. Bu durum rüzgârın etki ve şiddetine göre bazı durumlarda normalde yağın kardan daha fazla birikime neden olabilmektedir. İfade edilen mekanizma rüzgâr gölge endeksinde de açıkça görülmektedir (Şekil 10). Kuvvetli yağış dönemlerindeki hâkim rüzgâr yönü tespit edilerek oluşturulan rüzgâr gölge endeksinde bakıldığında Geyik Dağı'nın özellikle rüzgâra dik uzanan güney yamaçlarında rüzgârın hızı artmakta zirve düzlüğünden itibaren kuzey bakılı sirk çanaklarında ise oldukça düşmektedir (Şekil 10). Bu durum güney yamaçlardan ve zirveden rüzgâr ile süpürülen karın sirkler içerisinde biriktiğini göstermektedir. Bu durum halihazırda kuvvetli kış yağışlarında biriken karlara ilaveten rüzgâr etkisi ile buzulun daha fazla beslendiğinin bir göstergesidir.

Geyik Dağı'nda yer alan Orta Buzulu'nun dikkat çeken özelliklerinden biri de son zamanlarda buzulun üzerinde yer alan döküntü örtüsünün varlığıdır. Yapılan arazi çalışmasında buzulun üzerinde ince bir döküntü malzemesi tespit edilmiş bu malzemenin ortadan kalktığı yerlerde de buzulun yüzeylendiği görülmüştür. 2010 yılına ait uydu görüntülerine bakıldığında buzulun üzerinde döküntü örtüsü malzemesinin varlığı saptanamamıştır.



Şekil 10. Geyik Dağı rüzgâr gölge endeksi.

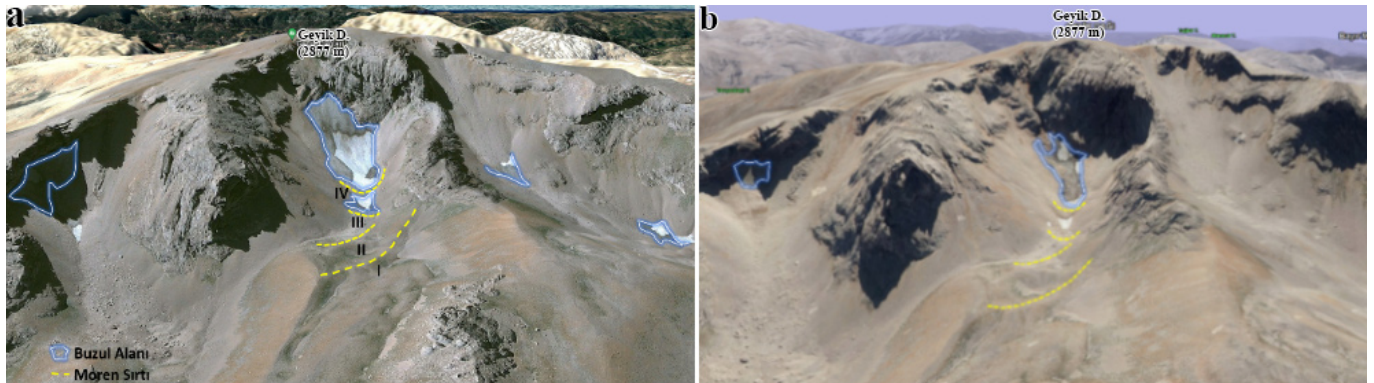
Figure 10. Geyik Mountain wind shadow index.

2010 yılından 2023 yılına kadar yapılan hesaplamalarda buzulun %50'den fazla küçüldüğü tespit edilmiştir. Döküntülü örtülü genellikle buzulun çevresinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal ayrışma süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Çeşitli boyutlardaki ayrışan malzeme yerçekimi etkisiyle buzulun üstüne taşınır (Anderson, 2000). Etkili süreçler arasında kaya düşmeleri, kaya çığları, moloz akışları, rüzgâr ve kar çığları yer almaktadır (Hambrey vd., 2008). Bu nedenle buzulun çevresindeki kayaçların iklim ve litoloji tarafından kontrol edilen ayrışma oranları ve çevresel topografi, buzulun üstündeki döküntünün ortaya çıkmasını kontrol eden temel faktörlerdir. Buzulun yanıl morenleri de başka bir döküntü malzeme kaynağını temsil etmektedir. Geyik Dağı'ndaki Orta Buzulu'nun yıldan yıla erimesine bağlı olarak buzulu çevreleyen yanıl morenler ve sirk duvarlarından gelen örtü malzemesi ile üzerinin kapatıldığı görülmüştür.

Buzulun kendi yatağı içerisinde yüzeyden erimesine bağlı olarak çevresine göre küçük ölçekli bir havza oluşturması, çevresindeki yükseltilerden yerçekimi etkisi ile döküntü malzemesinin bu-

zulun üzerinin örtülmesine neden olmuştur. Ancak ifade edildiği üzere bu durum 2010 yılında görülmemiş olup 2010 yılı öncesine ait uydu görüntülerinde yıllık karların varlığı nedeniyle saptanamamıştır. Bu durum temelde buzulun sürekli veya bir bölümünün döküntü örtülü buzul karakteri göstermediği buzulun erimesine ve küçülmesine bağlı olarak son dönemlerde döküntü örtülü karakter gösterdiği ifade edilmelidir. 06.09.2010 yılı uydu görüntüsü ve 24.08.2021 yılına ait HGM ortofoto görüntüsü karşılaştırıldığında 2010 yılında buzul üzerinde herhangi döküntü örtü malzemesi görünmezken 06.09.2021 yılında buzulun küçülmesine bağlı olarak küçük bir bölümün döküntü örtü malzemesi ile kaplandığı görülmektedir (Şekil 11). 11.08.2023 tarihi uydu görüntüleri ve arazi çalışmasının yapıldığı 4 Kasım 2023 tarihinde daha da küçülmüş olan buzulun önemli bir bölümü ince döküntü örtü malzemesi ile kaplanmıştır. Uydu görüntüleri ve arazi çalışmaları neticesinde Orta buzul alanının kuzeyinde daha yakın zamana ait olduğu düşünülen buzulun kütle kaybının ve küçüldüğünün bir diğer göstergesi olarak dört adet çekilme moreni de tespit edilmiştir (Şekil 11).

Bunun yanında buzul üzerindeki döküntü örtüsü, buzul kütle dengesinde önemli bir bileşendir ve buzun iklim değişikliğine tepkisini karmaşıktığı bilinmekle birlikte ilişki tam olarak anlaşılamamıştır. Döküntü örtüsünün alansal dağılışı, kalınlığı, bileşimi ve yağış miktarı gibi değişkenlere bağlı olarak buzul erimesini engelleyebilir ya da güçlendirebilir. Birçok çalışma, buzullar üzerindeki kalın döküntü örtüsünün erime hızlarını büyük ölçüde azaltabildiğini, dolayısıyla iklim değişikliğine tepkilerinin gecikmesine neden olduğunu göstermiştir (Benn ve Evans, 1998; Mattson, 2000; Pelto, 2000; Anderson ve Anderson, 2016). Bazı durumlarda ise döküntü örtüsünün ince ve süreksiz olduğu alanlarda ablyasyon oranlarının büyük oranda artmasına neden olmuştur (Nicholson ve Benn, 2006; Benn vd., 2012; Immerzeel vd., 2014). Belirtilen mekanizma nedeniyle son zamanlarda Orta Buzulu'nun süreksiz ve ince döküntü malzemesinin varlığı ile sirk çanaklarındaki düşük güneş radyasyonuna rağmen çevresine göre daha fazla ısı kazanması nedeniyle buzulun ablyasyonunu arttırdığı ifade edilebilir. Süreksiz ve ince örtü malzemesi, küçük ve orta ölçekli malzemelerinden meydana geldiği ve buzul örtüsüne göre daha koyu unsurlar barındırdığı için güneş radyasyonunu daha fazla absorbe etmektedir. Bu bağlamda çevresine göre fazla ısınan ve birkaç cm'lik kalınlığa sahip olan döküntü örtüsü, bünyesinde var olan ısıyı altındaki buzula iletmekte ve buzulun erimesine katkı sağlamaktadır. Buzuldaki 13 yıllık dönemdeki erime oranı göz önüne alındığında bu durum olasılığının yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 11. 06.09.2010 yılı Geyik Dağı uydu görüntüsü (Google Earth Pro) (a), 24.08.2021 yılı Geyik Dağı HGM ortofoto görüntüsü (b).

Figure 11. Geyik Mountain satellite image of 06.09.2010 (Google Earth Pro) (a), Geyik Mountain HGM orthophoto image of 24.08.2021 (b).

Tüm bu etken ve süreçlerin Geyik Dağı buzullarının bu yükselti seviyelerinde nispi olarak Anadolu Yarımadası'nın en sıcak bölgelerinden birinde yer alan Geyik Dağları'nda varlığını sürdürmesine etki ettiği ifade edilebilir. Buzul alanlarının hemen önlerinde yer alan çekilme morenleri ile yakın tarihlerde oluştuğu düşünülen yanal morenlerin ne zaman geliştiği ile alakalı bilgiler yapılacak olan yüzey tarihlendirme çalışmaları ile ortaya konabilir. Bu durum ise iklim değişikliği açısından en hassas noktalardan birinde yer alan Akdeniz Havzası ve Geyik Dağları'ndaki paleoiklimsel süreçleri anlama ve iklimin günümüze kadar nasıl ve hangi oranda değiştiğini belirleyebilmek açısından oldukça değerli olacaktır.

## 6. Sonuç

Bu çalışmanın iki temel odak noktası bulunmaktadır: Birincisi, Geyik Dağı buzullarının morfometrik (buzul ve sirk) özelliklerini belirlemektir. İkincisi ise Türkiye'nin en sıcak bölgelerinden biri olan Batı Toroslar'da, uygulanan yöntemler çerçevesinde iklimsel ve jeomorfolojik perspektifte güncel buzulların varlığını sürdürmesini neden sonuç ilişkisi içerisinde irdelemektir. Bu çalışma aynı zamanda bilimsel olarak Geyik Dağı'nda güncel bir buzulun varlığını tanımlayan ve doğrulayan bu türde bir ilk çalışmadır.

Güncel olarak tespit edilen Orta ve Doğu buzullarının toplam alanı 8030 ( $\pm 480$ ) m<sup>2</sup> olup ortalama uzunlukları 98 m olarak belirlenmiştir. ELA değerleri Orta Buzulu'nda 2618 m, Doğu Buzulu'nda ise 2621 m olarak tespit edilmiştir. SBM dönemi maksimum buzul yayılımı sırasında 13 ( $\pm 0.780$ ) km<sup>2</sup>, 2010 yılındaki uydu görüntülerine göre belirlenen buzul yüzey alanının ise 44500 m<sup>2</sup> olduğu hesaplanmıştır. Bu bağlamda SBM dönemindeki toplam buzul alanının yalnızca 0,06'sı günümüze kadar kalabilmiştir. 2010 yılından 2023 yılına kadar yani 13 yıllık sürede ise buzulların %82'sinin eridiği görülmüştür. Geyik Dağı Orta Buzulu'nun önünde dört çekilme moren sırtı, buzulun geri çekildiğini göstermektedir. Geyik Dağı'nda yer alan buzullara bakı eğim intersect analizleri yapılarak topografik özellikleri irdelemiştir. Buna göre Geyik Orta Buzulu'nun toplam alanının %50'sinden fazlasının 18-30° aralığında, %35'inin ise 12-18° eğim aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Doğu Buzulu'nda ise toplam buzul alanının %50'si 30-45° derecesi arasında, %23'ü 18-30° eğim derecesi arasında yer aldığı görülmüştür. Geyik Dağı'nda yer alan buzulların bakı özelliklerine bakıldığında ise buzul alanlarının tamamının kuzey bakılı alanlara geliştiği veya bu kesimde kaldığı belirlenmiştir. Bu sirkler aynı zamanda eğim değerleri bakımından buzulların hareketi için gerekli olan eğim değerlerine sahiptirler. Yine, güncel buzulların rotasyonel hareketi için gerekli olan >7° eğim değerleri buzul yüzeylerinde mevcuttur (Orta Sirkte 21° ve Doğu Sirkte 34°).

Geyik Dağı'nın da üzerinde yer aldığı Geyik Dağları silsilesi kabaca kuzeybatı güneydoğu doğrultusunda uzanmaktadır. Sonbahar ve kış aylarında Akdeniz üzerinden güneybatı kuzeydoğu hareket rotası izleyen alçak basınç sistemlerine dik bir yapı sergilemektedir. Bu özelliği ile oklüzyon cephelerin oluşuma ve kuvvetli orografik etkiye maruz kalmaktadır. Bu özelliği ile Batı Toroslar üzerinde en fazla yağış alan kesimlerden biri olan Geyik Dağları özellikle kış ayları döneminde önemli miktarlarda kar birikimlerine sahip bir bölgedir. Tüm etkiler ile Orta ve Doğu

Sirklerinde yer alan buzulların varlığını korumalarında oldukça yüksek eğime sahip dik duvarlı ve yaklaşık 250 m yüksekliğe sahip sirk duvarlarının gölge etkisini arttırmaları etkili olmuştur. Ayrıca Orta ve Doğu Sirklerinde olduğu gibi dairesel-iyi kavilme gösteren sirklerde buzul gelişimini teşvik etmiştir.

Yapılan analizler neticesinde Geyik Dağı'nda yer alan buzulların yakın tarihler içerisinde eridiği tespit edilmiş olup günümüzde etkisini giderek attıran küresel ısınma nedeniyle önümüzdeki uzak olmayan yıllarda bu buzulların da tamamen ortadan kalacağı ifade edilmelidir.

**Çıkar Çatışması/Conflict of interest:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. *The authors declare that there is no conflict of interest.*

**Yazar katkısı/Author contribution:** Çalışma konsepti ve tasarımı C. B. tarafından yapılmıştır. F. K., G. G., M. B., E. C., Z. Ç. ve C. B. tarafından veriler toplanmış ve değerlendirilmiştir. İlk yazım kısmı F. K., G. G., M. B., E. C. ve Z. Ç. tarafından yapıldı daha sonra C.B. tarafından okunmuş, en son gerekli düzeltmeler F. K., G. G., M. B., E. C., Z. Ç. ve C. B. tarafından yapılmıştır. *The study concept and design were made by C. B. Data were collected and evaluated by F. K., G. G., M. B., E. C., Z. Ç. and C. B. The first writing part was made by F. K., G. G., M. B., E. C. and Z. Ç. later read by C.B. the last necessary corrections were made F. K., G. G., M. B., E. C., Z. Ç. and C. B.*

**Teşekkür ve Katkı Belirtme:** Bu çalışmayı, 122Y360 proje numarasıyla destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Almazroui, M., Awad, A. M., Islam, M. N., Al-Khalaf, A. K. (2015). A climatological study: wet season cyclone tracks in the East Mediterranean region. *Theoretical and Applied Climatology*, 120, 351-365. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1178-z>
- Anderson, R. S. (2000). A model of ablation-dominated medial moraines and the generation of debris-mantled glacier snouts. *Journal of Glaciology*, 46(154), 459-469. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756500781833025>
- Anderson, L. S., Anderson, R. S. (2016). Modeling debris-covered glaciers: response to steady debris deposition. *The Cryosphere*, 10(3), 1105-1124. <https://doi.org/10.5194/tc-10-1105-2016>
- Arkel, N. A. (1973). Die gegenwärtige Vergletscherung des Ararat. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 9(1-2), 89-103.
- Arpat, E., Özgül, N. (1972). Geyikdağ'da kaya buzulları, Orta Toroslar. *MTA Dergisi*, 80, 30-35. <https://www.acarindex.com/pdf/acarindex-88896328.pdf>
- Barr, I.D., Spagnolo, M. (2015). Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations. *Earth-Science Reviews*, 151, 48-78. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.10.004>
- Bayrakdar, C. (2012). Akdağ Kütlesi'nde (Batı Toroslar) karstlaşma-buzul ilişkisinin jeomorfolojik analizi (Yayın no. 314839) [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.



- Bayrakdar, C., Cilgin, Z., Doker, M. F., Canpolat, E., (2015). Evidence of an active glacier in the Munzur Mountains, eastern Turkey. *Turkish Journal Of Earth Sciences*, 24(1), 56-71. DOI: 10.3906/yer-1403-7
- Bayrakdar C., Çilgin Z., Sarış, F. (2017). Karadağ'da Pleystosen buzullaşmaları, Batı Toroslar, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni / Geological Bulletin of Turkey*, 60, 451-469. DOI:10.25288/tjb.360610.
- Bayrakdar, C. (2023). Kuşak Dağı'nda (Batı Toroslar) Kuvaterner buzullaşmaları ve eski buzulların morfometrisi. İstanbul University Press. DOI: 10.26650/B/PS12.2023.013
- Benn, D.I., Evans, D.J.A. (1998). *Glaciers and glaciation*. Arnold. <https://doi.org/10.4324/9780203785010>
- Bennet, M., Glasser, N. (2009). *Glacial Geology, Ice Sheets and Landforms*. Wiley-Blackwell.
- Benn, D. I., Bolch, T., Hands, K., Gulley, J., Luckman, A., Nicholson, L. I., Wiseman, S. (2012). Response of debris-covered glaciers in the Mount Everest region to recent warming, and implications for outburst flood hazards. *Earth-Science Reviews*, 114(1-2), 156-174. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.03.008>
- Birman, J.H. (1968). Glacial reconnaissance in Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 79, 1009-1026. [https://doi.org/10.1130/00167606\(1968\)79\[1009:GRIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/00167606(1968)79[1009:GRIT]2.0.CO;2)
- Blumenthal, M. M. (1938). Der Erdchias-Dağh, 3916m. *Die Alpen*, 14(3),82-87.
- Blumenthal, M.M. (1956). Die Vergletscherung des Ararat (Nordöstliche Türkei). *Geographica Helvetica*, 11(4), 263-264.
- Blumenthal, M.M. (1958). Vom Ağrı Dağ (Ararat) zum Kaçkar Dağ Bergfahrten innordostanatolischen Glenzlanden. *Die Alpen*, 34, 125-137.
- Çalışkan, O., Gürgen, G., Yılmaz, E., Yeşilyurt, S. (2012). Bolkar Dağları kuzeydoğusunun glasyal morfolojisi ve döküntüyle örtülü buzulları. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 9(1), 890-911. <https://core.ac.uk/download/pdf/268072694.pdf>
- Çiner, A., Deynoux, M., Çörekcioğlu, E. (1999). Hummocky moraines in the Namaras and Susam valleys, central Taurids, SW Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 18(4-5), 659-669. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(98\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(98)00103-6)
- Çiner, A. (2003). Türkiye'nin güncel buzulları ve Geç Kuvaterner buzul çökelleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 1(46), 55-78. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28630/590866>
- Çiner, A., Sarıkaya, M.A., Yıldırım, C. (2015). Hummocky moraines of piedmont glaciers from Geyikdağ, Central Tauride Mountains, Turkey; insights from cosmogenic <sup>36</sup>Cl dating. *Quaternary Science Reviews*, 116, 44-56. DOI: /10.1016/j.quascirev.2015.03.017.
- Dede, V., Çiçek, İ., Uncu, L. (2015). Karçal Dağlarında kaya buzulu oluşumları. *Yerbilimleri*, 36(2),61-80. <https://doi.org/10.17824/yrb.90910>
- Delannoy, J. J. Maire, R. (1983). Le Massif de Dedegöl dağ (Taurus Occidental, Turquie). *Recherches de geomorphologie glaciaire et karstique. Bulletin Association Geographe Français*,491,43-53. [https://www.persee.fr/doc/bagf\\_0004-5322\\_1983\\_num\\_60\\_491\\_5380](https://www.persee.fr/doc/bagf_0004-5322_1983_num_60_491_5380)
- Derbyshire, E., Evans, I.S. (1976). The climatic factor in cirque variation. In: Derbyshire, E. (Ed.), *Geomorphology and Climate*, John Wiley Sons ,447-494.
- Doğu, A. F., Somuncu, M., Çiçek, İ., Tunçel, H., Gürgen, G. (1993). Glacier landforms, yaylas and tourism on the Kaçkar Mountains. *Turkish Geography Bulletin Ankara University*, 2, 157-183. [http://tucaum.ankara.edu.tr/wpcontent/uploads/sites/280/2015/08/tucaum2\\_6.pdf](http://tucaum.ankara.edu.tr/wpcontent/uploads/sites/280/2015/08/tucaum2_6.pdf)
- Doğu, A. F., Çiçek, İ., Gürgen, G., Tunçel, H. (1996). Üçdoruk (Verçenik) Dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi, Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 5, 29-51. [http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/tucaum5\\_2.pdf](http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/tucaum5_2.pdf)
- Doğu, A. F., Gürgen, G., Tunçel, H., Çiçek, İ. (1997). Bulut-Altparmak dağlarında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi, Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 6,63-91. [http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/tucaum6\\_5.pdf](http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/tucaum6_5.pdf)
- Eriñç, S. (1949). Past and present glacial forms in Northeast Anatolian mountains. *Geologische Rundschau*, 37, 75-83.
- Eriñç, S. (1952). Glacial evidences of the climatic variations in Turkey. *Geografiska Annaler*, 34, 89-98. <https://doi.org/10.2307/520146>
- Eriñç, S. (1953). Van'dan Cilo Dağlarına. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 2 (3-4), 84-106.
- Eriñç, S. (1971). *Jeomorfoloji II (Genişletilmiş 2. Baskı)*. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları.
- Eriñç, S. (2001). *Jeomorfoloji II (Güncelleştirilmiş 3. Basım)*. Der Yayınları.
- Evans, I.S., Cox, N. (1974). *Geomorphometry and Operational Definition of Cirques*, *Area*, 6 (2), 150 – 153. <https://www.jstor.org/stable/20000855>
- Evans, I.S., Cox, N. (1995). The Form of Glacial Cirques in the English Lake District, Cumbria, *Zeitschrift für Geomorphologie*. 39, 175-202. DOI: 10.1127/zfg/39/1995/175
- Evans, I.S. (2006). Allometric development of glacial cirque form: geological, relief and regional effects on the cirques of Wales. *Geomorphology*, 80 (3-4), 245-266. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.02.013>
- Evans, I. S., Çilgin, Z., Bayrakdar, C., Canpolat, E. (2021). The form, distribution and palaeoclimatic implications of cirques in southwest Turkey (Western Taurus). *Geomorphology*. 391. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107885>
- Federici, P.R., Granger, D.E., Pappalardo, M., Ribolini, A., Spagnolo, M., Cyr, A.J. (2008). Exposure age dating and Equilibrium Line Altitude reconstruction of an Egesen moraine in the Maritime Alps, Italy. *Boreas*, 37, 245-253. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2007.00018.x>
- Flint, R.F. (1971). *Glacial and Quaternary geology*. John Wiley Press.
- Güner, Y., Emre, Ö. (1983). Erciyes Dağı'nda Pleystosen buzullaşması ve volkanizma ile ilişkisi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 11, 23-34.
- Gürgen, G., Yeşilyurt, S., Çalışkan, O., Yılmaz, E. (2010a). Döküntü örtülü buzullar ve kaya buzulları. *Nature Sciences*, 5(2), 98-116. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsanature/issue/10851/130551>
- Gürgen, G., Çalışkan, O., Yılmaz, E., Yeşilyurt, S. (2010b). Yedigöller platosu ve Emlî vadisinde (Aladağlar) döküntü örtülü buzullar. *E-Journal of New world Sciences Academy. NEWSSA*, 5(2), 98-116. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/112015>

- Gürgen, G. Yeşilyurt, S. (2012). Karçal Dağı buzulları (Artvin). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 10 (1), 91-104. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aucbd/issue/44469/551196>
- Gürgen, G. (2015). Tatos gediği buzulu (Rize). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13 (2), 161-172. DOI: 10.1501/Cogbil\_0000000169
- Gürgen, G. (2016). Çınaçor buzulu (Tatos Dağları). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 14 (1), 57-70. DOI: 10.1501/Cogbil\_0000000173
- Gürgen, G. (2019). Çatakaya Döküntü Örtülü Buzulu (Tatos Dağları). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17(1), 217-236. DOI: 10.33688/aucbd.536616
- Hambrey, M. J., Quincey, D. J., Glasser, N. F., Reynolds, J. M., Richardson, S. J., Clemmens, S. (2008). Sedimentological, geomorphological and dynamic context of debris-mantled glaciers, Mount Everest (Sagarmatha) region, Nepal. *Quaternary Science Reviews*, 27(25-26), 2361-2389. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.08.010>
- Hughes, P.D., Gibbard, P.L., Woodward, J.C. (2007). Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. *Geomorphology*, 88 (3), 242-253. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.11.008>
- Hooke, R. L. (2019). *Principles of glacier mechanics*. Cambridge University Press.
- Imhof, B. (1956). Der Ararat. *Die Alpen*, 32(1), 1-14.
- Immerzeel, W. W., Kraaijenbrink, P. D., Shea, J. M., Shrestha, A. B., Pellicciotti, F., Bierkens, M. F., de Jong, S. M. (2014). High-resolution monitoring of Himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing of Environment*, 150, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.025>
- Karakhianian, A., Djrashian, R., Trifonov, V., Philip, H., Arakelian, S., Avagian, A. (2002). Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113(1-2), 319-344. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(01\)00264-5](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(01)00264-5)
- Keserci, F. (2023). Batı Toroslar'daki Kuvaterner buzullaşmalarının gelişimi ve seyri üzerinde yerel topoğrafya ile iklim özelliklerinin rolü [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Kesici, O. (2005). Küresel ısınma çerçevesinde Süphan ve Cilo dağlarında buzul morfolojisi araştırmaları. TÜBİTAK proje raporu, No: 101Y131
- Kirkbride, M. P. (2011). Debris-covered glaciers. In *Encyclopedia of snow, ice and glaciers*. Springer, 190-192. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2\\_622](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2_622)
- Klear, W. (1965). *Geomorphologische Untersuchungen in den Randgebirgen des VanSee (Ostanatolien)*. Zeitschrift für Geomorphologie, 9, 346-355.
- Krenek, L. (1932). Gletscher im pontischen Gebirge (Lazistan). *Zeitschrift für Gletscherkunde*, 20, 129-131.
- Kurter, A., Sungur, K. (1980). Present glaciation in Turkey, in *World Glacier Inventory, Proceedings of the workshop at Riederalp, Switzerland*. International Association of Hydrological Sciences, 126, 155-160.
- Kurter, A. (1991). Glaciers of Middle East and Africa-glaciers of Turkey. In: Williams RS, Ferrigno JG (eds) *Satellite Image Atlas of the World*. USGS Professional Paper, Denver, USA, United States Geological Survey, 1386-G-1, 1-30
- Lewis, W. V. (1960). The problem of cirque erosion. *Norwegian Cirque Glaciers: Royal Geographical Society Research Series*, 4, 97-100.
- Lukas, S. (2006). Morphostratigraphic principles in glacier reconstruction a perspective from the British Younger Dryas. *Progress in Physical Geography*, 30(6), 719-736. DOI: 10.1177/0309133306071955
- Mattson, L. E. (2000). The influence of a debris cover on the midsummer discharge of Dome Glacier, Canadian Rocky Mountains. IAHS-AISH publication, 25-33. DOI: <https://doi.org/10.3189/2015AoG70A971>
- Mayr, E., Hagg, W. (2019). Debris-Covered Glaciers. In: Heckmann, T., Morche, D. (Eds) *Geomorphology of Proglacial Systems. Geography of the Physical Environment*. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-319-94184-4\_4
- Messerli, B. (1967). Die eiszeitliche und die gegenwertige Vergletscherung in Mittelmeerraum. *Geographica Helvetica*, 22, 105-228. <https://doi.org/10.5194/gh-22-105-1967>
- Miles, K. E., Hubbard, B., Irvine-Fynn, T. D., Miles, E. S., Quincey, D. J., Rowan, A. V. (2020). Hydrology of debris-covered glaciers in High Mountain Asia. *Earth-Science Reviews*, 207, 103212. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103212>
- Mîndrescu, M., Evans, I. S., Cox, N. J. (2010). Climatic implications of cirque distribution in the Romanian Carpathians: palaeowind directions during glacial periods. *Journal of Quaternary Science*, 25(6), 875-888. <https://doi.org/10.1002/jqs.1363>
- Nazik, L., Tuncer, K. (2010). Türkiye karst morfolojisinin bölgesel özellikleri. *Türk Speleoloji Dergisi, Karst ve Mağara Araştırmaları*, 1(1), 7-19. [https://www.researchgate.net/publication/326770943\\_Turkiye\\_Karst\\_Morfolojisinin\\_Bolgesel\\_Ozellikleri](https://www.researchgate.net/publication/326770943_Turkiye_Karst_Morfolojisinin_Bolgesel_Ozellikleri)
- Nicholson, L., Benn, D. I. (2006). Calculating ice melt beneath a debris layer using meteorological data. *Journal of Glaciology*, 52(178), 463-470. <https://doi.org/10.3189/172756506781828584>
- Oien, R., Rea, B., Spagnolo, M., Barr, I., Bingham, R. (2022). Testing the area-altitude balance ratio (AABR) and accumulation-area ratio (AAR) methods of calculating glacier equilibrium-line altitudes. *J. Glaciol.* 68(268), 357-368. doi:10.1017/jog.2021.100.
- Özgül, N. (1976). Toroslar'ın bazı temel jeoloji özellikleri. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 19, 65-78. [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/4b2aeb2453bdada\\_ek.pdf?dergi=T%C3%9CRK%C3%20YE%20JEOLUJ%C3%20%20B%C3%9CLTEN%C3](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/4b2aeb2453bdada_ek.pdf?dergi=T%C3%9CRK%C3%20YE%20JEOLUJ%C3%20%20B%C3%9CLTEN%C3)
- Pellitero, R., Rea, B.R., Spagnolo, M., Bakke, J., Hughes, P., Ivy-Ochs, S., Lukas, S., Ribolini, A. (2015). A GIS tool for automatic calculation of glacier equilibrium-line altitudes. *Computers and Geosciences*, 82, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.05.005>
- Pellitero, R., Rea, B.R., Spagnolo, M., Bakke, J., Ivy-Ochs, S., Frew, C.R., Hughes, P., Ribolini, A., Lukas, S., Renssen, H. (2016). GlaRe, a GIS tool to reconstruct the 3D surface of paleoglaciers. *Computers and Geosciences*, 94, 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.06.008>
- Pelto, M. S. (2000). Mass balance of adjacent debris-covered and clean glacier ice in the North Cascades, Washington. *Iahs Publication*, 35-42. [https://www.researchgate.net/publication/267966629\\_Mass\\_balance\\_of\\_adjacent\\_debris-covered\\_and\\_clean\\_glacier\\_ice\\_in\\_the\\_North\\_Cascades\\_Washington](https://www.researchgate.net/publication/267966629_Mass_balance_of_adjacent_debris-covered_and_clean_glacier_ice_in_the_North_Cascades_Washington)

- Planhol, X. (1953). Les formes glaciaires du Sandıras Dağ et la limite des neiges eternelles Quaternaires dans le so de Anatolie. *Compte Rendu Sommaire de la Societe Geologique de France*, 263- 265.
- Rea, B., Evans, D.J.A. (2007). Quantifying climate and glacier mass balance in north Norway during the Younger Dryas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 246, 307–330. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.10.010>
- Rea, B.R. (2009). Defining modern day Area-Altitude Balance Ratios (AABRs) and their use in glacier-climate reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, 28, 237–248. doi: 10.1016/j.quascirev.2008.10.011. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.10.011>
- Rickmer-Rickmers, W. (1900). Der Kartsch-Chal in Transkaukasien, *Zeitschrift des deutschen und österreichen Alpenvereins*, 31, 156-178.
- Rickmer-Rickmers, W., 1934. Lazistan and Acaristan, *The Geographical Journal*, 84(6), 465-478.
- Sarikaya, M. A., Çiner, A., Zreda, M. (2003). Erciyes volkanı Geç Kuvaterner buzul çökelleri. *Yerbilimleri*, 24(27),59-74. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yerbilimleri/issue/13623/165077>
- Sarikaya, M. A. (2011). Türkiye'nin güncel buzulları. İçinde Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistematik ve Bölgesel, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, 6, 527-544. [https://www.researchgate.net/profile/Mehmet-Sarikaya-5/publication/259643340\\_Turkiye%27nin\\_guncel\\_buzullari/links/54c0aae00cf28a6324a32df6/Tuerkiyenin-guencel-buzullari.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mehmet-Sarikaya-5/publication/259643340_Turkiye%27nin_guncel_buzullari/links/54c0aae00cf28a6324a32df6/Tuerkiyenin-guencel-buzullari.pdf)
- Sarikaya, M. A., Ciner, A., Zreda, M. (2011). Quaternary glaciations of Turkey. In *Developments in Quaternary Sciences*. 15, 393-403. DOI: 10.1016/B978-0-444-53447-7.00030-1.
- Sarikaya, M. A. (2012). Recession of the ice cap on Mount Ağrı (Ararat), Turkey, from 1976 to 2011 and its climatic significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 46, 190-194.
- Sarikaya, M.A., Tekeli, A.E. (2014). Satellite Inventory of Glaciers in Turkey. İçinde Kargel, J., Leonard, G., Bishop, M., Kääh, A., Raup, B. (eds) *Global Land Ice Measurements from Space*, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-79818-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-540-79818-7_21)<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.12.009>
- Sarikaya, M.A., Çiner, A. (2015). Late Pleistocene glaciations and paleoclimate of Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 151, 107-127. DOI: 10.19111/bmre.35245
- Sarikaya, M. A., Ciner, A. (2017). Late Quaternary glaciations in the eastern Mediterranean. *Geological Society, London, Special Publications*, 433(1), 289-305. <https://doi.org/10.1144/SP433.4>
- Sarikaya, M.A., Çiner, A., Yılđırım, C. (2017). Cosmogenic <sup>36</sup>Cl glacial chronologies of the Late Quaternary glaciers on Mount Geyikdag in the eastern Mediterranean. *Quaternary Geochronology*, 39, 189–204. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.03.003>
- Simoni, S. (2011). Typological and Morphometric Characteristics of the Glacial Cirques in Doamnei River Basin (Făgăraş Massif). *Forum Geografic*, 10(1), 35-49. <https://www.proquest.com/docview/1519289873>
- Spagnolo, M., Pellitero, R., Barr, I. D., Ely, J. C., Pellicer, X. M., Rea, B. R. (2017). ACME, a GIS tool for automated cirque metric extraction. *Geomorphology*, 278, 280-286. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.018>
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdarođlu, M., Metin, S., Esentürk, K., Özgöl, N. (1998). Orta Toroslar'da Güzelsu koridoru ve kuzeyinin jeolojisi. *MTA Dergisi*, 120, 171-197. [https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/tr/20150529113228\\_355\\_227b2ca5.pdf](https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/tr/20150529113228_355_227b2ca5.pdf)
- Şimşek, M., Utlu, M., Poyraz, M., Öztürk, M. Z. (2019). Geyik Dağı kütlesinin yüzey karstı jeomorfolojisi ve kütle üzerindeki karst-buzul jeomorfolojisi ilişkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 28 (2), 97-110. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ecd/issue/50833/594465>
- Turan, A. (1990). Toroslar'da Hadım (Konya) ve güneybatısının jeolojisi, stratigrafisi ve tektonik gelişimi [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- Turoğlu, H. (2011). Buzullar ve buzul jeomorfolojisi. Çantay.
- Yalçın, M. (2017). Ağrı Dağı Buzul Değişimlerinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 166-170. [https://fenbildergi.aku.edu.tr/wp-content/uploads/2017/11/2686\\_mustafayalcin-166-170.pdf](https://fenbildergi.aku.edu.tr/wp-content/uploads/2017/11/2686_mustafayalcin-166-170.pdf)
- Yavaşlı, D. D., Tucker, C. J., Melocik, K. A. (2015). Change in the glacier extent in Turkey during the Landsat Era. *Remote Sensing of Environment*, 163, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.002>
- Yeşilyurt, S., Uđur, D., Kılar, H. (2013). Climate change and glacier retreat from 1955 to 2006 on Cilo Mountains, Southeast Anatolia, Turkey. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-8408.pdf>
- Zahno, C., Akçar, N., Yavuz, V., Kubik, P., Schlüchter, C. (2009). Surface exposure dating of Late Pleistocene glaciations at the Dedegöl Mountains (Lake Beyşehir, SW Turkey). *J. Quaternary Science*, 1016–1028. <https://doi.org/10.1002/jqs.1280>