



### Araştırma Makalesi / Research Article

## KOLAT DAğI'NDA (DOğU KARADENİZ) GEÇ KUVATERNER BUZULLAşMASININ PALEOBUZUL REKONSTRÜKSİYONU VE PALEOİKLİM KOşULLARI

### Palaeoglacial Reconstruction and Palaeoclimate Conditions of the Late Quaternary Glaciation on Kolat Mountain (Eastern Black Sea)

Onur HALİS<sup>a</sup>, Cihan BAYRAKDAR<sup>b</sup>, Yingkui Lİ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Sorumlu Yazar / Corresponding Author

İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye

onurhalis@istanbul.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-0643-2651>

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

cihanbyr@istanbul.edu.tr <https://orcid.org/0000-0001-5542-700X>

<sup>c</sup> University of Tennessee, Knoxville, Department of Geography & Sustainability, Knoxville, USA

yli32@utk.edu <https://orcid.org/0000-0002-3722-8960>

#### Makale Tarihiçesi

Geliş 12 Şubat 2026

Kabul 10 Mart 2026

#### Article History

Received 12 February 2026

Accepted 10 March 2026

#### Anahtar Kelimeler

Paleoiklim, Paleobuzul, ELA, Doğu Karadeniz Dağları, Kuvaterner

#### Keywords

Palaeoclimate, Palaeoglacier, Equilibrium Line Altitude (ELA), Eastern Black Sea Mountains, Late Quaternary

#### Atıf Bilgisi / Citation Info

Halis, O., Bayrakdar, C. & Li, Y.

(2026) Kolat Dağı'nda (Doğu

Karadeniz) Geç Kuvaterner

Buzullaşmasının Paleobuzul

Rekonstrüksiyonu ve Paleoiklim

Koşulları / Palaeoglacial

Reconstruction and

Palaeoclimate Conditions of the

Late Quaternary Glaciation on

Kolat Mountain (Eastern Black

Sea), Jeomorfolojik Araştırmalar

Dergisi / Journal of

Geomorphological Researches,

2026 (16): 173-202.

doi: 10.46453/jader.1887668

#### ÖZET

Kolat (Çakırgöl) Dağı, Trabzon'un yaklaşık 45 km güneyinde yer almakta olup, Doğu Karadeniz Dağları'nın önemli kütlelerinden birini oluşturmaktadır. Doğu Karadeniz Dağları boyunca Geç Kuvaterner buzullaşmalarının etkili olduğu bu dağlık alan, günümüzde aktif buzul barındırmamakla birlikte, geçmiş buzullaşmalar tarafından şekillendirilmiş jeomorfolojik unsurların büyük ölçüde tazeliğini koruduğu bir sahadır. Bu çalışmada, Kolat (Çakırgöl) Dağı'ndaki buzul şekillerine ait kanıtlar öncelikle uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmiş, ardından Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilen stereoskopik hava fotoğrafları yardımıyla buzullaşmanın mekânsal boyutları tanımlanmış ve arazi çalışmalarıyla doğrulanmıştır. Kolat (Çakırgöl) Dağı'nın Geç Kuvaterner buzullaşma evrimi, bölgenin iklimsel özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir; bu kapsamda HGM verileri ile arazi çalışmaları sırasında insansız hava araçları (İHA) aracılığıyla elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda alanda altı buzul vadisi ve on bir sirk tanımlanmıştır. Paleobuzul rekonstrüksiyonları sonucunda ise Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda paleobuzul kalınlıklarının ortalama 94 m'ye ve uzunlukların 8.5 km'ye kadar ulaştığı ve gerçekteştirilen bu rekonstrüksiyonlara bağlı olarak paleo denge hattı yüksekliğinin (pELA) 2624-2635 m aralığında değiştiği belirlenmiştir. Tüm sirklerin kuzeye baktığı kütlede, yönelimin istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde 25,4°'lik ortalama vektör ile KKD yönünde toplandığı ve güneşlenme karşıtlıklarının yanı sıra sektörel yağış ve nem etkisinin de azimut kontrolü sağladığı görülmektedir. pELA temelli paleoiklim analizlerinin, bölgesel vekil kayıtlar ve iklim modeli sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmesi, bölgede günümüze kıyasla yaklaşık -12,7 °C ile -14,7 °C arasında değişen sıcaklık düşüşlerinin gerçekteşmiş olabileceğini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, bu soğuma koşullarına daha kurak bir iklim rejiminin eşlik ettiğini ve yağışların günümüze göre %37 ve %39 daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, güncel iklim özellikleri ile karşılaştırıldığında, Doğu Karadeniz Dağları'ndaki paleo buzullaşma süreçleri üzerinde sıcaklık faktörünün nemlilik faktörüne göre daha fazla etkili olduğunu göstermektedir.

#### ABSTRACT

Mount Kolat (Çakırgöl) is located approximately 45 km south of Trabzon and constitutes one of the major mountain massifs of the Eastern Black Sea Mountains. This terrain, which experienced extensive Late Quaternary glaciations, currently hosts no active glaciers. However, the geomorphological features shaped by these past glaciers remain remarkably well-preserved. In this study, evidence for glacial landforms on Mount Kolat was initially identified using satellite imagery. The spatial extent of glaciation was then delineated using stereoscopic aerial photographs obtained from the General Directorate of Mapping (GDM) and subsequently verified through field investigations. The Late Quaternary glacial evolution of Mount Kolat was assessed in relation to the region's climatic characteristics. For this purpose, data from the GDM and datasets acquired via Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) during fieldwork were analyzed within a Geographic Information System (GIS) framework. Morphometric analyses led to the identification of six glacial valleys and eleven cirques. Palaeoglacial reconstructions indicated that palaeoglacier thicknesses averaged 94 m, with lengths reaching up to 8.5 km. Based on these reconstructions, the palaeo-equilibrium line

altitude (pELA) was estimated to range from 2624 to 2635 m. On the massif, the cirque aspects show a statistically significant clustering toward NNE, with a mean vector of 25.4°, suggesting that variations in solar insolation, together with sectoral precipitation patterns and moisture availability, exerted an azimuthal control on cirque orientation. Evaluation of pELA-based palaeoclimate reconstructions, combined with regional proxy records and climate model outputs, suggests that the region experienced temperature depressions of approximately -12.7 °C to -14.7 °C relative to present conditions, accompanied by a drier climate regime with precipitation amounts reduced by about 37%–39% compared to today. These results indicate that the temperature depression was more influential on the palaeoglaciation processes in the Eastern Black Sea Mountains than the precipitation change.

© 2026 Jeomorfoloji Derneği / Turkish Society for Geomorphology  
Tüm hakları saklıdır / All rights reserved.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Mountain glaciers respond directly to variations in precipitation and temperature. Due to this sensitivity, three-dimensional reconstructions of the surface geometry, thickness, and volume of former glaciers enable the assessment of palaeoclimatic conditions in mountainous regions during different glacial periods. Geomorphological features shaped by former glaciers, such as moraines, trimlines, and glacial valley morphologies, serve as key indicators in glacier reconstructions. Together with the reconstructed palaeoglaciers, these landforms constitute a unique data source for investigating the drivers of climate change, which has become an increasingly critical global issue. In recent years, the number of studies focusing on palaeoglacier reconstructions in Türkiye has increased markedly. However, the majority of these studies have concentrated on the Taurus Mountains (e.g., Candaş et al., 2020; Bayrakdar et al., 2024; Sarıkaya et al., 2025), while reconstruction-based research in the Eastern Black Sea Mountains of northeastern Türkiye has remained relatively limited. Nevertheless, northeastern Türkiye represents a highly sensitive region for glacier extent and equilibrium-line altitude (ELA) fluctuations throughout the Late Quaternary, owing to its location at the intersection of the Eastern Mediterranean, Black Sea, and Eastern European climate systems. This climatic setting renders the region particularly responsive to changes in temperature, precipitation, and atmospheric circulation, thereby placing it in a key position for palaeoglacial and

palaeoclimate research (Akçar et al., 2017; Reber et al., 2022). Within this framework, numerous mountainous areas in the Eastern Black Sea Range have been examined in terms of glacial geomorphology, including Karagöl Mountain (Erinç, 1944; Planhol & Bilgin, 1961), Gavur (Karadağ) Mountain (Bilgin, 1969; Gürgen, 2001), Kolat (Çakırgöl) Mountain (Beret, 1956), Demirkapı Mountain (Doğu et al., 2000; Ocak, 2017), the Anzer, Kemer, and Orsor mountains (Gürgen, 2009a), Ovit Mountain (Kaldırım, 2023), Çapans Mountain (Gürgen, 2003), the northern (Doğu et al., 1996; Gürgen, 2014) and southern slopes of Mount Verçenik (Gürgen, 2006), Gölle (Hunut) Mountain (Doğu et al., 1994), Mount Kaçkar (Krenek, 1932; Erinç, 1944, 1949; Yalçınlar, 1951; Kurter & Sungur, 1991; Doğu et al., 1993; Bayrakdar & Özdemir, 2010; Yeşilyurt, 2025a, 2025b), the Bulut and Altıparmak mountains (Doğu et al., 1997; Gürgen, 2009b), Karçal Mountain (Gürgen & Yeşilyurt, 2012; Dede, 2016), and Çadır Mountain (Dede, 2009). However, most of these studies have primarily focused on identifying glacial geomorphological features and delineating glacier extents, while quantitative three-dimensional reconstructions of glacier geometry and associated palaeoclimatic interpretations have remained limited.

Mount Kolat (Çakırgöl) is located approximately 45 km south of Trabzon and constitutes one of the major mountain massifs of the Eastern Black Sea Mountains (Figure 1). The massif is composed of Paleocene–Eocene granites and Eocene volcanic, sedimentary, clastic, and carbonate units and experienced extensive Late Quaternary glaciations (Figure 2). Although it

does not host any active glaciers today, the geomorphological features shaped by these past glaciations remain remarkably well-preserved. Despite the well-preserved glacial landforms, this massif was first investigated by Beret (1956). In this study, we build upon and move beyond the qualitative observations of Beret (1956) by conducting detailed morphometric analyses of palaeoglaciers on Kolat (Çakırgöl) Mountain, where six glacial valleys and eleven cirques were identified. Utilizing field observations and stereoscopic aerial photographs from the General Directorate of Mapping, we mapped lateral moraine limits, cirque boundaries, and overall glacial extents in detail. This detailed map established the spatial footprint of the former glaciation and served as the foundational input for palaeoglacier reconstruction. For each glacial valley, glacier thickness, volume, area, and palaeo-equilibrium line altitude (pELA) were reconstructed. Quantitative morphometric analyses such as measurements of length, width, depth, and aspect were performed on the cirques. Through this integrated framework, the glacial morphometric characteristics of Kolat (Çakırgöl) Mountain were systematically investigated. The resulting comprehensive dataset was ultimately used to reconstruct palaeotemperature and palaeoprecipitation conditions for the region.

### Methods and Materials

The mapping of glacial landforms was based on field observations, high-resolution imagery acquired with unmanned aerial vehicles (UAVs) during field surveys, and high-resolution satellite imagery sourced from the Google Earth platform (Figure 5). To evaluate broader areas, stereoscopic aerial photographs provided by the General Directorate of Mapping were also utilized. Glacier and pELA reconstructions were performed using 10 m resolution digital elevation models (DEMs) generated by digitizing contour lines from topographic maps. In areas where archival aerial photographs were available, higher-resolution DEMs (with resolutions better than 1 m) were produced using photogrammetric methods (Figure 4). Regional temperature and precipitation data were obtained from the WorldClim dataset (Fick and Hijmans, 2017), which represents the

1970–2000 climatological normal period and has a spatial resolution of 1 km.

Glacier reconstructions were performed using the Palaeolce model (Li, 2023), while cirque morphometry was analyzed with the ACME2 tool (Li et al., 2024). In contrast to other approaches such as GlaRe (Glacier Reconstruction; Pellitero et al., 2016), Palaeolce is capable of automatically extracting palaeoglacier flowlines within complex, multi-tributary valley networks, thereby rendering the reconstruction procedure more objective, efficient, and reproducible. The model operates using a DEM that represents the pre-glacial bed surface. In this study, palaeoglacier reconstruction was constrained using the boundaries of terminal moraines as primary model inputs. ACME (Automated Cirque Metric Extraction), developed by Spagnolo et al. (2017) as an ArcGIS toolbox, was created for the extraction of cirque metrics. The toolbox derives 16 cirque metrics based on cirque outlines, threshold midpoints, and DEMs. This toolbox was later expanded by Li et al. (2024), revised, and released as ACME2. The extended toolbox adds the capability to automatically extract cirque threshold midpoints (focal points) and computes 49 metrics related to cirque location, size, shape, elevation, slope, and aspect (including axis-related variables), along with recording three input metadata variables. ACME2 requires two input datasets: a DEM and a cirque outline (polygon) file. ELA calculations were conducted via the Python-based toolbox of Pellitero et al. (2015), which is integrated into the Palaeolce 2.0 toolbox for automated analysis. To estimate Last Glacial Maximum (LGM) climate, we applied a range of plausible temperature depressions ( $\Delta T$ ) from regional palaeoclimate proxy studies to these present-day temperatures at the ELA, generating a suite of LGM temperature scenarios. Finally, palaeoclimate reconstructions were based on the P-T relationships at the ELAs proposed by Ohmura and Boettcher (2018).

### Results

The glacial geomorphology of Kolat (Çakırgöl) Mountain was mapped in detail through the integrated use of stereoscopic aerial photographs, high-resolution remote sensing

data, and field observations. The analyses identified six glacial valleys and eleven cirques on the northern slopes, whereas no glacial landforms were detected on the southern slopes, indicating a strong aspect control on glacier development. In particular, Glacial Valley No. 2 represents the most extensive system, with a length of 8.5 km, a glaciated area of 11.6 km<sup>2</sup>, and the greatest average ice thickness. It is followed by Valley No. 4, which also displays well-developed glacial morphology (Figure 6 and 7). The presence of well-preserved vast lateral moraines below the pELA in these valleys suggests a history of extensive and sustained glaciation. The absence of distinct terminal moraines, contrasted with the well-preserved lateral moraines, indicates that paraglacial and fluvial processes were dominant during the post-glacial period. Specifically, the north-flowing Meryemana Stream has significantly incised the valley fronts, eroding evidence of the maximum glacial extent. Therefore, the maximum ice limits were interpreted based on the downvalley termination of the lateral moraines. The reconstructed pELAs for Glacier Valleys 1–5 cluster around ~2600 m, while a significantly higher pELA of 2750 m was calculated for the east-facing Valley No. 6. This difference is attributed to the greater exposure to solar radiation on the eastern aspect. The mean pELA values across all valleys, calculated using the Accumulation Area Balance Ratio (AABR) and Accumulation Area Ratio (AAR) methods, are 2624 m and 2635 m, respectively. These values show strong agreement with the maximum elevations of lateral moraines, which served as independent geomorphological constraints (Figure 8 and Table 2). Palaeoclimatic reconstructions indicate temperature depressions of approximately 12.7 °C and 14.5 °C relative to present, corresponding to mean palaeotemperatures at the reconstructed pELA of –1.1 °C and –2.3 °C, respectively (Table 3). The temperature depressions are associated with precipitation amounts lower than modern conditions, implying precipitation reductions of approximately 37–39% (Figure 9). This finding is consistent with regional proxy records for the LGM. Morphometric and orientation analyses of cirques reveal predominantly circular forms

concentrated on north-facing slopes, highlighting the importance of reduced solar radiation and atmospheric circulation patterns in cirque development (Table 4 and Figure 10).

### Discussion and Conclusions

The only detailed study focusing on Kolat (Çakırgöl) Mountain was conducted by Beret (1956), who identified glacier-related landforms based on observations in a single valley. To date, no subsequent study has provided quantitative analyses aimed at glacier reconstruction for this area. Beret (1956) reported that a glacier fed by two cirques descended to approximately 2350 m and, based on this limited reconnaissance, suggested pELA values between 2600 and 2700 m. Yang et al. (2021) demonstrated statistically significant differences between ELA values derived from reconstructed palaeoglacier surfaces and those calculated solely from glacier-bed topography, emphasizing the necessity of surface reconstruction for obtaining reliable ELA estimates. Following this methodological principle, our comprehensive analyses on Kolat (Çakırgöl) Mountain, which applied the AABR and AAR methods, yielded pELA values between 2624 and 2635 m. Using the maximum elevations of lateral moraines as an independent geomorphological constraint, a representative pELA of 2620 m is established for the massif.

Independent of the AAR and AABR calculations derived from maximum glacial extents, pELA was additionally estimated based on cirque boundaries. Thus, the pELAs of cirque glaciers were also determined. For example, in a regional study of the Eastern Black Sea Mountains that excluded Kolat Mountain, Şimşek et al. (2023) reported mean cirque-floor elevations of 2760 m in the northern sector and 3004 m in the southern sector. When this method is applied to Kolat Mountain, the pELA derived from its mean cirque-floor elevation is calculated as 2742 m.

Comparisons with pELA values from other regions of Türkiye reveal that during the LGM, pELA values in southwestern Türkiye decreased to relatively low elevations (2000–2400 m), whereas in the Eastern Black Sea Mountains they remained higher, ranging between 2600 and 2650 m at Kolat (Çakırgöl) Mountain

(Sarıkaya et al., 2008; Allen et al., 2008; Bayrakdar et al., 2017; Keserci et al., 2023; Bayrakdar et al., 2024). While low pELA values in other mountain belts have been interpreted as indicators of enhanced moisture availability supported by independent humidity proxies, the results of this study point to a contrasting moisture regime. The relatively high pELA values in the Eastern Black Sea Mountains suggest that glaciation in this region was primarily temperature-controlled, with precipitation likely lower than present-day values. This finding allows a more holistic and representative interpretation of regional glaciation conditions compared to previous limited and site-specific assessments.

Accordingly, palaeoclimatic evaluations based on the calculated pELA values indicate colder and drier conditions relative to present. Marine records, oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) and carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) isotope data, and regional climate model simulations consistently show that both temperatures and precipitation in the Black Sea region were lower during the LGM compared to modern conditions. Reported temperature depressions for the Eastern Black Sea region during the LGM generally range from approximately  $-8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $-13.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pollen-based reconstructions suggest temperature reductions of about  $-8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , whereas the HadCM3 regional climate model indicates a decrease of approximately  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Glacier-geological reconstructions supported by pollen data report even larger temperature depressions, reaching up to  $-13.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Peyron et al., 1998; Tarasov et al., 1999; Allen et al., 2007; Allen et al., 2008). Furthermore, Allen et al. (2007) applied mass-balance-based temperature anomaly corrections to the HadCM3 model and showed that mean temperature depressions of  $-12.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $-14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  were required to sustain glacier formation in the Eastern Black Sea region during the LGM. A relatively lower estimate of temperature reduction comes from Sanchi et al. (2014), who reported that mean temperatures during the LGM were approximately  $6\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$  lower than present-day values.

Independent hydroclimatic evidence further indicates a colder and drier climate regime during the LGM. Fleitmann et al. (2009), comparing  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  isotope records from

Sofular Cave near Zonguldak with numerous regional and global speleothem and pollen records, showed that although the Black Sea remained a moisture source during the LGM, precipitation amounts were lower than today. The expansion of ice sheets and the associated strengthening of the Siberian High during the LGM significantly altered atmospheric circulation, restricting the transport of moisture-bearing systems from the Atlantic and Mediterranean into the Black Sea region and subjecting it instead to colder and drier air masses (Ünal-İmer et al., 2015; Matthews et al., 2021; Held et al., 2025). Consequently, the Black Sea ceased to function as a major moisture source as it does today; frequent cold-air incursions from the north enhanced sea-surface freezing, reduced evaporation, and substantially diminished Black Sea-derived orographic precipitation in the Eastern Black Sea Mountains, leading to cold but dry conditions (Sarıkaya, 2009). In addition, extremely low  $\delta^{18}\text{O}_{\text{fi}}$  values recorded in fluid inclusions from Sofular Cave indicate not only very cold moisture source regions but also a reduction in total precipitation reaching the area. High deuterium excess (d-excess) values further support lower relative humidity over the Black Sea surface, confirming drier conditions during glacial periods (Held et al., 2025).

In this study, pELA-based palaeoclimate scenarios applying temperature depressions of  $5\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$  indicate that reductions of  $-12.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $-14.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  relative to present conditions best match independently constrained LGM temperature ranges while also realistically reflecting expected decreases in precipitation. These results demonstrate that the Eastern Black Sea Mountains experienced colder and relatively drier climatic conditions compared to today, reflecting the region's distinctive hydroclimatic regime. The P-T reconstructions presented here are consistent with regional proxy records and indicate precipitation reductions of approximately 37–39% relative to modern conditions. Overall, these findings indicate that the Eastern Black Sea Mountains were glaciated under a cold but relatively dry climate regime, with the region's unique hydroclimatic character playing a decisive role throughout this period.

### **Acknowledgements**

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) through the 1001 Program (Project No. 122Y360) and the 2214-A International Doctoral Research Fellowship Program, as well as by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University (Project No. 40901). The first author thanks the TÜBİTAK

2214-A International Doctoral Research Fellowship Program for their support during his PhD. We also thank Furkan Karabacak for his contributions during the processing of stereoscopic aerial photographs, and the reviewers for their valuable contributions to improving the paper.

## 1. GİRİŐ

Dağ buzulları, yağış ve sıcaklıktaki değişikliklere doğrudan tepki verir. Bu hassasiyet nedeniyle, eski buzulların yüzeyinin, kalınlığının ve hacminin üç boyutlu olarak yeniden yapılandırılması, farklı buzul dönemlerinde dağlık bölgelerdeki paleoklimatik koşulların değerlendirilmesini mümkün kılar. Bu bağlamda, eski buzullar tarafından şekillendirilen morenler, törpülenme sınırları ve vadi şekilleri gibi jeomorfolojik özellikler, özellikle dağlık bölgelerde buzul rekonstrüksiyonlarında temel göstergeler olarak hizmet eder. Bu yer şekilleri, yeniden oluşturulan eski buzullarla birlikte, günümüzde giderek daha önemli bir sorun haline gelen iklim değişikliğinin etkilerini araştırmak için eşsiz bir veri kaynağı oluşturmaktadır.

Son yıllarda Türkiye’de paleobuzul rekonstrüksiyonlarına yönelik çalışmaların sayısında belirgin bir artış gözlenmektedir. Ancak bu çalışmaların büyük bölümü Toros Dağları’na odaklanmış olup (Candaş vd., 2020; Keserci vd., 2023; Bayrakdar, 2023; Bayrakdar vd., 2024; Sarıkaya vd., 2025), Türkiye’nin kuzeyinde yer alan Doğu Karadeniz Dağları’nda rekonstrüksiyon temelli araştırmalar görece sınırlı kalmıştır. Oysa Türkiye’nin kuzeydoğusu, Doğu Akdeniz, Karadeniz ve Doğu Avrupa iklim sistemlerinin kesişim kuşağında yer alması nedeniyle, Geç Kuvaterner boyunca buzulların yayılım alanı ve denge hattı yüksekliğinin (ELA) sıcaklık, yağış ve atmosferik dolaşımdaki değişimlere son derece duyarlı olduğu bir bölgeyi temsil etmektedir. Bu özellik, bölgeyi paleobuzul ve paleoiklim araştırmaları açısından önemli bir konuma taşımaktadır. Bu bağlamda Doğu Karadeniz Dağları’ndaki birçok dağlık alan, buzul jeomorfolojisi açısından incelenmiştir. Karagöl Dağı (Erinç, 1944; Planhol & Bilgin, 1961), Gavur (Karadağ) Dağı (Bilgin, 1969; Gürgen, 2001), Kolat (Çakırgöl) Dağı (Beret, 1956), Demirkapı Dağı (Doğu vd., 2000; Ocak, 2017) Anzer, Kemer, Orsor Dağları (Gürgen, 2009a), Ovit Dağı (Kaldırım, 2023), Çapans Dağı (Gürgen, 2003), Verçenik Dağı’nın kuzey (Doğu vd., 1996; Gürgen, 2014) ve güney yamaçları (Gürgen, 2006), Göller (Hunut) Dağı (Doğu vd., 1994), Kaçkar Dağı (Krenek, 1932; Erinç, 1944, 1949; Yalçınlar, 1951; Kurter &

Sungur, 1991; Doğu vd., 1993; Bayrakdar & Özdemir, 2010; Yeşilyurt, 2025a, 2025b), Bulut ve Altıparmak Dağları (Doğu vd., 1997; Gürgen, 2009b), Karçal Dağları (Gürgen & Yeşilyurt, 2012; Dede, 2016) ve Çadır Dağı (Dede, 2009) bu kapsamda öne çıkan örneklerdir. Ayrıca, Verçenik, Başyayla, Kavron ve Barhal Vadileri için manuel yeniden yapılandırmalara dayanan rekonstrüksiyonlar da yapılmıştır (Akçar vd., 2017; Reber vd., 2022). Ancak söz konusu çalışmaların büyük bir bölümü buzul jeomorfolojisinin tanımlanmasına ve buzulların yayılım alanlarının belirlenmesine odaklanmış; buzulların üç boyutlu geometrisinin arazi şekli-buz yüzeyi profil modelleri kullanılarak nicel olarak yeniden yapılandırılması ve buna bağlı paleoklimatik değerlendirmeler ise sınırlı kalmıştır.

Bölgede yürütölen bazı çalışmalarda, kozmojenik izotop tarihlendirme yöntemleri kullanılarak paleobuzulların ilerleme ve çekilme evreleri ile buzullaşma şiddeti de ortaya konulmuştur. Kavron, Verçenik, Başyayla ve Barhal Vadileri ile Karçal Dağı’nda yapılan <sup>10</sup>Be ve <sup>36</sup>Cl temelli çalışmalar, bölgedeki buzullaşmanın zamanlamasına ilişkin önemli nicel veriler sağlamıştır (Akçar vd., 2007, 2008; Reber vd., 2014; Dede vd., 2017; Reber vd., 2022). Bu çalışmalar sonucunda, Doğu Karadeniz Bölümü’nde GÖ 54.9 ± 1.3 bin ile 11.5 ± 0.8 bin yılları arasına tarihlenen birden fazla buzul ilerleme evresi tanımlanmış; yerel maksimum buzul sınırları, Küresel Son Buzul Maksimumu’na (SBM) karşılık gelen ilerlemeler ve buzulların tamamen ortadan kalktığı dönemler belirlenebilmiştir.

Buzul jeomorfolojisi ve kozmojenik tarihlendirme temelli bu çalışmalar, paleobuzulların nicel olarak yeniden yapılandırılmasına yönelik yeni araştırmaları teşvik etmektedir. Bu kapsamda ayrıntılı biçimde incelenmesi gereken alanlardan biri Kolat (Çakırgöl) Dağı’dır. Bu dağdaki buzullaşmaya ilişkin ilk gözlemler Ardel ve Lembke tarafından dile getirilmiş, ardından Beret (1956) tarafından gerçekteştirilen çalışma ile alan daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Söz konusu çalışmada, biri

küçük diğeri büyük olmak üzere iki sirk tanımlanmış; büyük sirkün günümüzde Çakırğöl tarafından doldurulduğu belirtilmiştir. Beret (1956), gölün önünde gelişmiş bir moren setinin varlığına dikkat çekmiş ve bu setin Meryemana Deresi tarafından yarılarak Değirmendere havzasına boşaldığını ifade etmiştir. İki sirk beslediği bu buzul vadisi için Pleistosen daimi kar sınırı yaklaşık 2600–2700 m olarak tahmin edilmiş, morenlerin ise 2350 m seviyelerine kadar indiği rapor edilmiştir (Beret, 1956). Her ne kadar Beret (1956) kuzey yamaçlarda buzullaşmanın daha yoğun olduğunu belirtmiş olsa da, çalışmada buzullaşmanın mekânsal sınırları, buz kalınlıkları, sirklerin dağılımı, hangi vadilerin buzulla kaplandığı ve Kolat (Çakırğöl) Dağı'na ait paleo denge hattı yüksekliği (pELA) konusunda ayrıntılı ve nicel veriler sunulmamıştır. Ayrıca, buzullaşmaya eşlik eden paleoklim koşullarına ilişkin herhangi bir değerlendirme de yapılmamıştır.

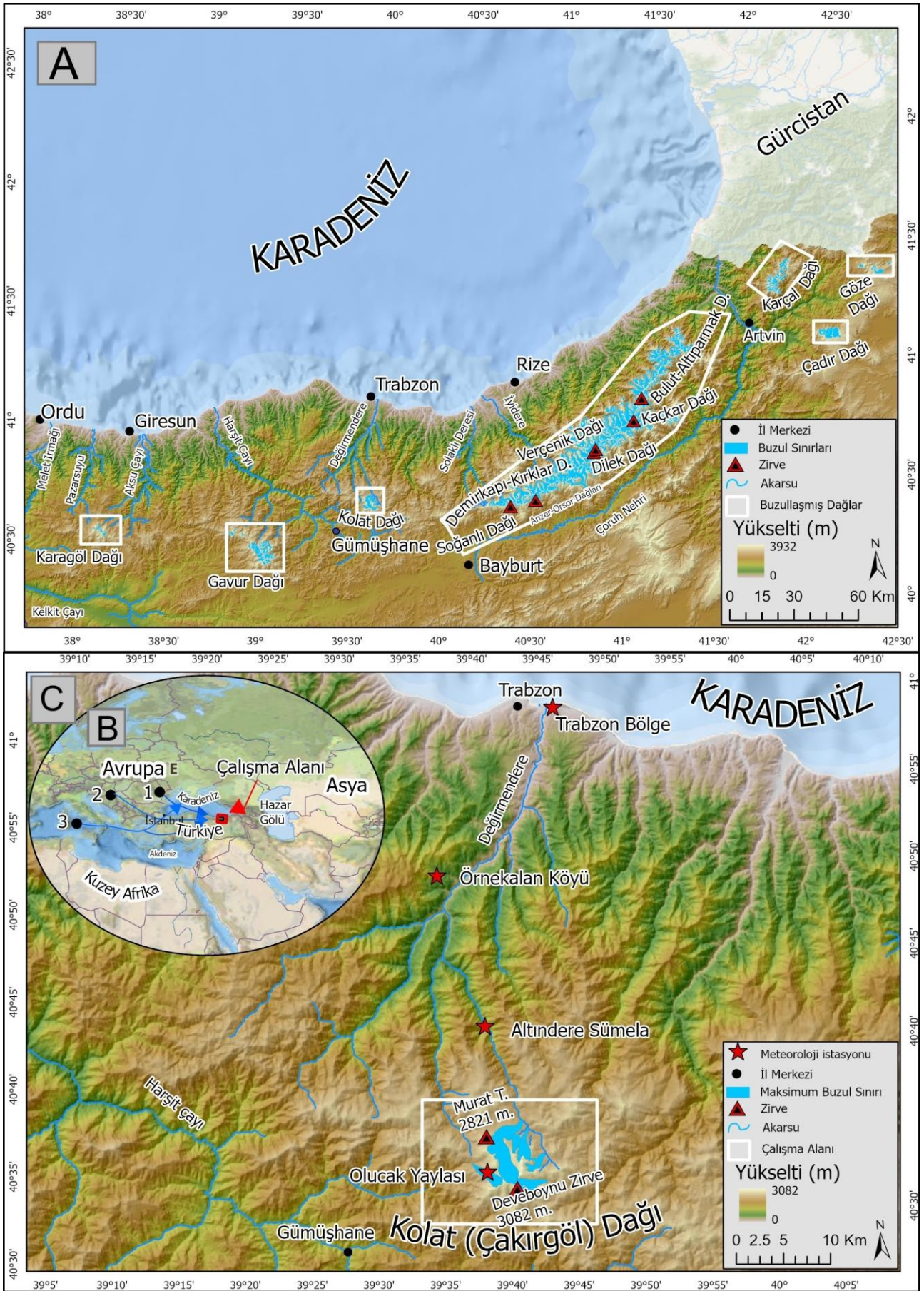
Bu çalışmada, Beret (1956)'nın nitel gözlemlerinin ötesine geçilerek, Kolat (Çakırğöl) Dağı'nda gerçekleştirilen ayrıntılı morfometrik analizler sonucunda altı buzul vadisi ve on bir sirk tanımlanmıştır. Arazi gözlemleri ile Harita Genel Müdürlüğü'ne (HGM) ait stereoskopik hava fotoğraflarına dayalı veriler kullanılarak yan moren sınırları, sirkler ve buzullaşma sınırları ayrıntılı biçimde haritalanmış; bu veriler doğrultusunda geçmiş buzullaşmanın mekânsal boyutları belirlenmiştir. Haritalanan jeomorfolojik birimler rekonstrüksiyon aşamasında kullanılmış ve her bir buzul vadisi için buzul kalınlığı, hacmi, alanı ve pELA'sı hesaplanmıştır. Sirkler için ise sirk sınırları belirlenerek uzunluk, genişlik, derinlik ve bakı (yön) özelliklerine yönelik nicel morfometrik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, Kolat (Çakırğöl) Dağı'nın buzul morfometrik özellikleri ortaya konulmuş; elde edilen veriler kullanılarak paleosıcaklık ve paleoyağış rekonstrüksiyonları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, buzul morfometrisine dayalı nicel veriler aracılığıyla Türkiye'deki paleobuzul araştırmalarına özgün bir katkı sunmak ve Doğu Karadeniz Dağları için yeni paleoklim göstergeleri üretmektir. Bu

doğrultuda elde edilen paleosıcaklık ve paleoyağış sonuçlarının, bölgesel ölçekte Geç Kuvaterner iklim dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

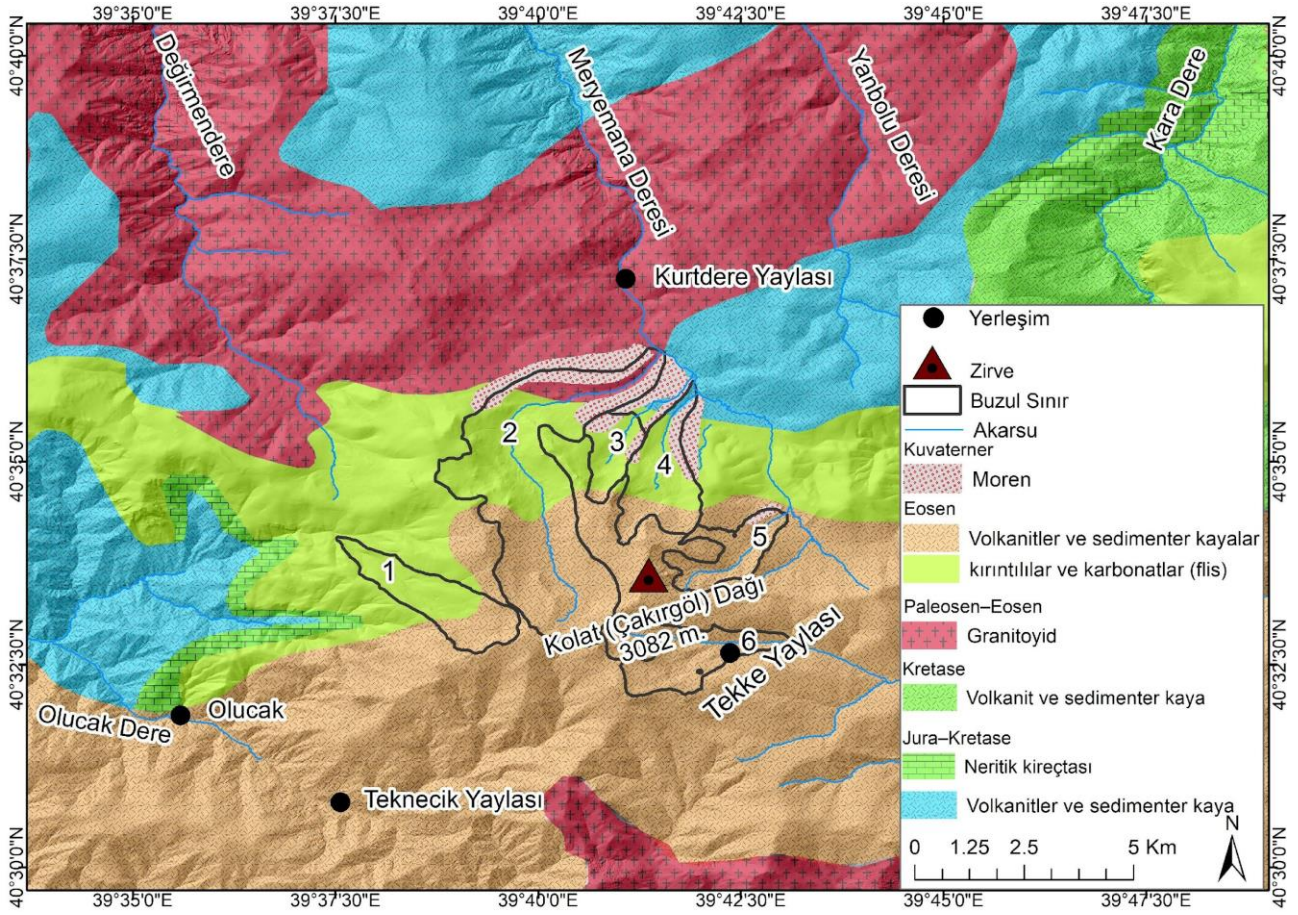
### 1.1. Çalışma Alanının Coğrafi Özellikleri

Kolat (Çakırğöl) Dağı (40°30'–40°35'K; 39°35'–39°45'D), Doğu Karadeniz Dağları'nın batı kesiminde, kıyından yaklaşık 45 km içeride ve Trabzon il sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma sahası ve yakın çevresi Paleosen–Eosen granitler ile Eosen volkanik, sedimanter, kırıntılı ve karbonatlı birimlerden oluşmaktadır (Şekil 2). Genel olarak Karadeniz Dağ Kuşağı boyunca Kretase volkanitleri ile Tersiyer granitik intrüzifler baskındır (Okay & Şahintürk, 1997). Buzul vadileri, bu litolojik birimlerin dokanakları boyunca gelişmiş olup, özellikle 2–4 numaralı vadilerde morenler belirgin olarak izlenmektedir. Kolat Dağı, 3082 m'ye ulaşan zirvesiyle Doğu Karadeniz Dağları'nın görece düşük yükseltilerinden birini temsil etmektedir. Buna karşın, derin buzul vadilerinin varlığı ve özellikle tazeliğini koruyan morenler sayesinde, Doğu Karadeniz Dağları'nın batı kesiminde buzul jeomorfolojisi açısından dikkat çekici bir konumda yer almaktadır (Şekil 2).

Türkiye, kuzeyde Batı rüzgârları sisteminin etkisi altında bulunan Orta ve Batı Avrupa'nın her mevsim yağışlı ılıman iklimi ile Doğu Avrupa'nın karasal iklimi, güneyde ise subtropikal yüksek basınç rejiminin etkisindeki her mevsimi kurak tropikal kuşak arasındaki bir geçiş alanında yer almaktadır (Koçman, 1993). Kış aylarında, Doğu Avrupa'dan kaynaklanan soğuk hava kütleleri ile Doğu Akdeniz üzerinden taşınan sıcak ve nemli hava kütleleri arasında cephe sistemleri gelişmekte; bu durum Türkiye üzerinde batıdan doğuya doğru ilerleyen alçak basınç sistemlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Erinç, 1984; Koçman, 1993). Bu dolaşım tipi, özellikle ülkenin batı kesimleri ve kıyı bölgelerinde etkili olarak önemli miktarda yağış getirmektedir. Dolayısıyla çalışma sahasında batı ve kuzeybatı yönlerinden gelen nemli hava kütleleri yağışın temel kaynağını oluşturmaktadır.



**Şekil 1:** (a) Doğu Karadeniz Dağları'ndaki buzullaşma alanları, (b) 1-3 numaraları ile gösterilen çalışma sahasını etkileyen siklon yolları, (c) Çalışma sahasının konumu / **Figure 1:** (a) Glaciated areas in the Eastern Black Sea Mountains, (b) Cyclone tracks influencing the study area (indicated by numbers 1–3), and (c) Location of the study area.



**Şekil 2:** Kolat (Çakırgöl) Dağı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Akbaş vd., 2011; MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici kullanılarak oluşturulmuştur) / **Figure 2:** Geological map of Kolat (Çakırgöl) Mountain and the surrounding area (Akbaş et al., 2011; generated using the MTA Geosciences Map Viewer).

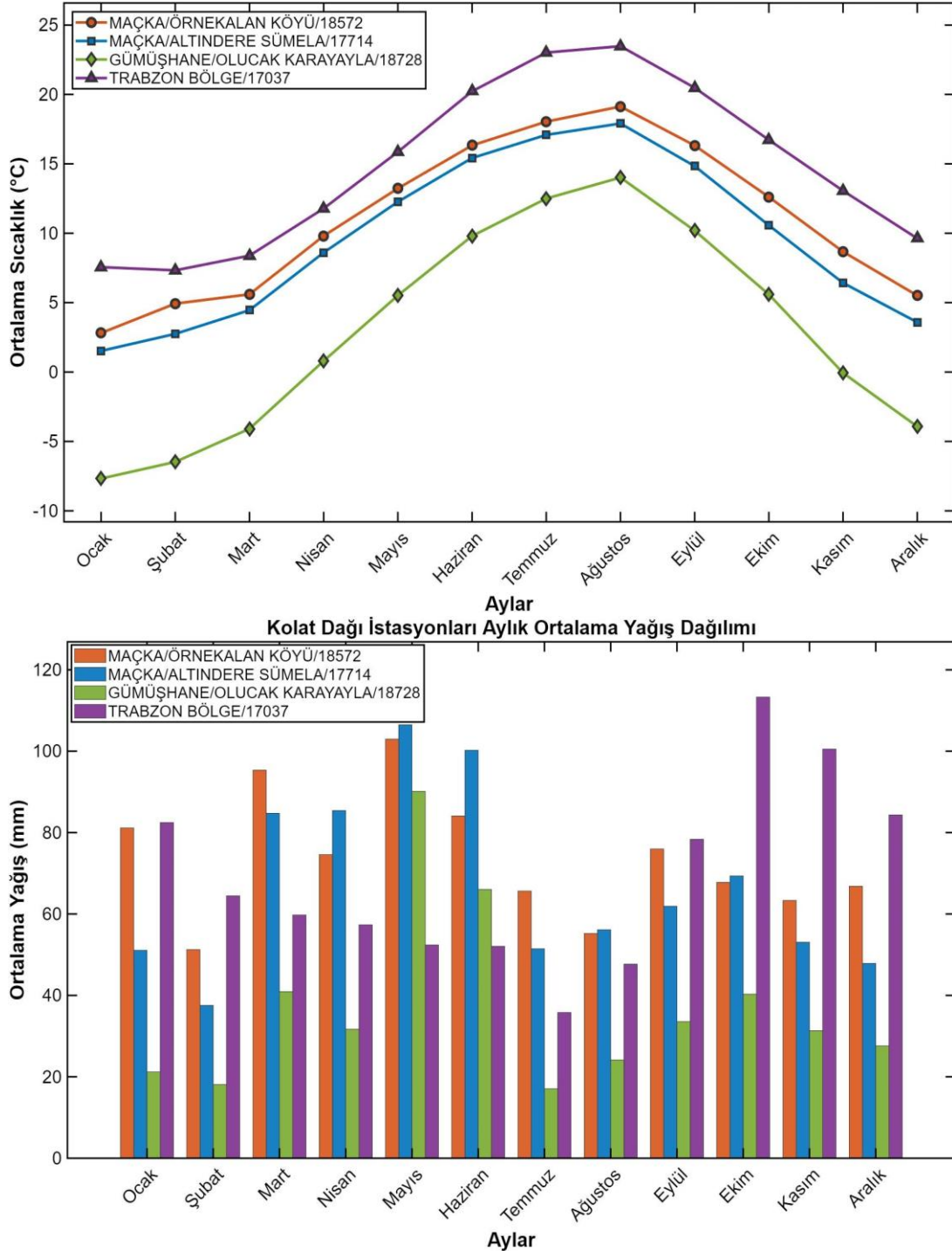
Karaca vd. (2000) tarafından gerçekleştirilen 15 yıllık sinoptik analizler, Türkiye'yi etkileyen siklonların çoğunlukla batı ve kuzeybatı kökenli nemli hava kütleleriyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye'yi etkileyen siklonlar dört ana rota altında sınıflandırılmış olup, çalışma sahasını etkileyen başlıca üç rota; Rusya'nın güneybatısından Karadeniz üzerinden ilerleyen kuzey rotası, Balkanlar üzerinden gelen batı rotası ve Cenova Körfezi'nden doğuya doğru uzanarak Doğu Karadeniz'e ulaşan rotalar olarak belirlenmiştir. Bu sistemler, zaman zaman soğuk havanın düşük enlemlere kadar ilerlemesine de olanak tanımaktadır (Şekil 1B). Çalışma sahasını etkileyen rotalardan 1 ve 2 numaralı rotalar, yaz mevsiminde Türkiye'nin kuzey kesimlerine ulaşan siklonların izlediği tipik yaz rotaları olup, yaz fırtınaları ve yoğun yağışların oluşumunda etkili olmaktadır. Buna karşılık 3 numaralı batı rotası, yılın diğer dönemlerine kıyasla özellikle kış aylarında yağış getiren rotadır (Karaca vd., 2000). Bunlara ek olarak, Sibiryaya kaynaklı soğuk ve kuru hava kütleleri Karadeniz üzerinden geçişleri sırasında alttan ısınarak nem kazanmakta ve bölgesel

yağışlara katkı sağlamaktadır (Akçar vd., 2007; Sarış vd., 2010). Bu klimatolojik ve sinoptik koşullar, Doğu Karadeniz Dağları'nın belirgin orografik etkisiyle birleşerek Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgesinin oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Yaz mevsiminde ise kış aylarında etkili olan bu dolaşım sistemi kuzeye çekilmekte; Azor Yüksek Basıncı Atlantik üzerinde kuzeye doğru yer değiştirirken, Türkiye Akdeniz Havzası üzerinden gelen tropikal hava kütlelerinin etkisi altına girmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre, çalışma alanının yakın çevresindeki uzun ve kısa dönemli ölçüm yapan istasyonlardan elde edilen veriler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tüm istasyonlarda yağışlar genel olarak ilkbahar ve sonbahar aylarında yüksek değerlere ulaşırken, Temmuz-Ağustos döneminde nispeten düşmektedir (Şekil 3). Toplam yağış miktarları, kıyı kesiminde ve daha düşük yükseltilerde yer alan istasyonlarda (Trabzon, Örnekalın Köyü ve Altındere-Sümela) daha yüksek olup, iç kesimde ve daha yüksek rakımlarda bulunan istasyona

(Gümüşhane, Olucak-Karayayla) kıyasla belirgin biçimde fazladır (Tablo 1). Sıcaklıklar ise ocak-şubat aylarında en düşük, temmuz-ağustos aylarında en yüksek değerlere ulaşarak tek tepe noktalı tipik bir yıllık döngü sergilemektedir (Şekil 3). Kıyı istasyonları ılıman kışlar ve nispeten sıcak yazlarla karakterize edilirken, iç kesimde ve yüksek rakımlarda yer alan istasyonlarda sıfırın altında ortalamaların görüldüğü soğuk kışlar ve daha serin yazlar

hâkimdir. Bu grafikler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanında belirgin bir yükselti ve orografik gradyanın varlığı ortaya çıkmaktadır; yağış miktarı ve sıcaklık değerleri kıydan iç kesimlere doğru gidildikçe ve yükselti arttıkça azalmaktadır. Bununla birlikte, Olucak Yaylası örneğinde görüldüğü üzere, belirli bir yükselti eşiğinin aşılmasının ardından yağış miktarlarında azalma eğilimi belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 3 ve Tablo 1).



**Şekil 3:** Kolat (Çakırgöl) Dağı ve yakın çevresindeki istasyonların aylık sıcaklık ve yağış özellikleri / **Figure 3:** Monthly temperature and precipitation characteristics of meteorological stations in and around Kolat (Çakırgöl) Mountain.

**Tablo 1:** alışma alanı ve yakın çevresinde yer alan, uzun ve kısa dönemli ölüm yapan MGM istasyonları.**Table 1:** Long- and short-term meteorological stations in and around the study area according to MGM data.

İstasyon Adı	Yükseltisi (m)	Süresi (yıl)	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)
Trabzon Bölge	36	86	14.7	828
Maçka, Örnekalan Köyü	964	10	11.1	875
Maçka, Altındere Sümela	1023	14	9.6	805
Gümüşhane, Olucak Yayla	2544	8	3	442

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, buzul yer Őekillerinin haritalandırılmasında kullanılan veriler; arazi gözlemleri, saha çalışmaları sırasında insansız hava aracı (İHA) ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine dayanmaktadır. Uydu görüntüleri, Google Earth platformu üzerinden temin edilmiştir. Daha geniş alanların değerlendirilmesi amacıyla, HGM tarafından sağlanan stereoskopik hava fotoğraflarından da yararlanılmıştır. Buzul ve pELA rekonstrüksiyonları, topografik haritalardan elde edilen eş yükselti eğrilerinin sayısallaştırılmasıyla üretilen 10 m mekansal çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modelleri (SYM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arşiv hava fotoğraflarının erişilebilir olduğu alanlarda ise fotogrametrik yöntemler kullanılarak 1 m'den daha yüksek çözünürlüğe sahip SYM'ler üretilmiştir. Bölgesel sıcaklık ve yağış verileri, 1970–2000 klimatolojik normal dönemini temsil eden ve 1 km mekansal çözünürlüğe sahip WorldClim veri setinden elde edilmiştir (Fick & Hijmans, 2017).

### 2.1. Jeomorfolojik Haritalama

Jeomorfolojik haritalama, paleobuzul rekonstrüksiyonları için kritik öneme sahiptir (Li, 2023). Paleobuzulların yayılım alanını belirlemek amacıyla yanal morenler, sirkler ile maksimum buzullaşma sınırlarını temsil edebilecek birikimsel ve aşındırıcı jeomorfolojik unsurlar esas alınarak buzul yer Şekilleri haritalandırılmıştır. Bu kapsamda, 2023 yılı yaz döneminde Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda arazi çalışması gerçekleştirilmiş ve buzul rekonstrüksiyonu için temel verileri oluşturan jeomorfolojik gözlemler kaydedilmiştir.

Morenlerin iyi korunduğu alanlarda, buzullaşma yayılımını temsil eden birimler sahada doğrudan dijitalleştirilmiştir. Morenlerin bozulduğu ya da net olarak tanımlanamadığı durumlarda ise buzul sınırları, vadilerin genel morfolojisi dikkate alınarak belirlenmiştir. Buzul sınırlarını temsil eden yanal morenler ile U Őeklindeki buzul vadilerinin enine kesitlerinden elde edilen morfolojik kanıtlar, rekonstrüksiyon sürecinde girdi verisi olarak kullanılmıştır. Vadi morfolojisine dayalı veriler rekonstrüksiyonlarda cephe moreni verileri olarak değerlendirilmiş; tanımlanabildiği durumlarda yanal moren setleri, buzulların dikey sınırlarını sınırlandırmak amacıyla kullanılmıştır. 60 cm mekansal çözünürlüğe sahip yüksek çözünürlüklü SYM verilerinin entegrasyonu sayesinde bu birimler daha yüksek doğrulukla belirlenebilmiştir. Bu yaklaşım, buzulların maksimum yayılım evrelerinin araziye dayalı morfolojik kanıtlarla güçlü biçimde desteklenen rekonstrüksiyonlarını mümkün kılmıştır.

### 2.2. Palaeolce model ve modelleme stratejisi

Dağlık bölgelerdeki paleobuzulların rekonstrüksiyonu; bakı, eğim, topografya ve yüksek mekansal değişkenlik gösteren yağış koşullarının etkisi nedeniyle özellikle karmaşıktır. Bu karmaşıklık, birden fazla buzul kolunun ana vadiyle birleştiği karmaşık Alp tipi buzul sistemlerinde daha da belirgindir. Özellikle bu tür sahalarda, önceki çalışmalarda buzul akış çizgileri çoğunlukla manuel olarak sayısallaştırılmış; bu yaklaşım ise yoğun emek gerektiren, zaman alıcı ve doğası gereği öznel bir yöntem olarak öne çıkmıştır.

Li (2023), jeomorfolojik kanıtlara dayanarak eski buzul yüzeylerini ve buz kalınlıklarını yeniden yapılandırmak amacıyla Palaeolce adlı otomatik

bir model geliştirmiştir. Pellitero vd. (2016) tarafından geliştirilen GlaRe (Glacier Reconstructions) gibi diğer modellerle karşılaştırıldığında, Palaeolce; çok dallı ve karmaşık vadi sistemleriyle karakterize edilen dağlık alanlarda eski buzul akış çizgilerini otomatik olarak belirleyebilmekte ve bu sayede rekonstruksiyon sürecinin daha objektif, hızlı ve ölçeklenebilir bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Ayrıca model, şekil faktörlerinin türetilmesi ve taban kayma geriliminin optimize edilmesi açısından da önemli avantajlar sunmaktadır.

Doğu Tian Shan'da, Urumqi Nehri'nin kaynak kesimindeki 1 numaralı buzul için Palaeolce ile yeniden yapılandırılan buz kalınlıklarının radar ölçümleriyle karşılaştırılması sonucunda, iki yöntem arasında yalnızca yaklaşık %5 oranında bir fark tespit edilmiştir (Li, 2023). Benzer şekilde, Nyainqentanglha Dağları'ndaki Zhadang Buzulu üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada Zhao vd. (2022), farklı SYM'ler kullanarak Palaeolce ile yeniden yapılandırılan buz kalınlıkları ile radar ölçümleri arasında %8,7–%10,3 arasında değişen sapmalar rapor etmiştir. Bu sonuçlar, Palaeolce modelinin paleobuzul kalınlığı ve yüzey topografyasının yeniden yapılandırılmasında yüksek doğruluk sunduğunu göstermektedir. Bu nedenele, bu çalışmada eski buzulların yüzey topografyasını ve buz kalınlığını yeniden yapılandırmak amacıyla Palaeolce modeli kullanılmıştır.

### 2.3. pELA Hesaplaması

ELA, yıllık birikimin erimeye eşit olduğu ve yıl boyunca net ktl dengesinin sıfırlandığı ortalama yükseltiyi temsil eder (Cogley vd., 2010). Hem güncel hem de geçmiş iklim koşullarının belirlenmesinde önemli bir gösterge niteliğindedir (Yeşilyurt, 2025c). pELA'nın hesaplanması için literatürde çeşitli yöntemler bulunmaktadır; bunlar arasında sirk tabanı yükseltisi, buzul dili–sirk arka duvarı yükseklik oranı (THAR), alan–yükselti (AA), medyan buzul yükseltisi (MGE), birikim alanı oranı (AAR) ve birikim alanı denge oranı (AABR) yer almaktadır (Kerschner vd., 1999; Benn & Ballantyne, 2005; Lukas, 2007; Stansell vd., 2007; Pellitero, 2013; Barr & Spagnolo, 2015; Evans, 2021; Evans vd., 2021; Li vd., 2023; Çılđın vd., 2024). Her ne kadar çok sayıda yöntem mevcut olsa da, pELA'nın daha güvenilir

şekilde tahmin edilebilmesi genellikle paleobuzul geometrisinin kısmi ya da tam olarak yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, pELA tahminleri için Palaeolce modeli tarafından yeniden yapılandırılan üç boyutlu buzul yüzeyleri kullanılmıştır. Birincil pELA tahminleri AAR ve AABR yöntemleri ile gerçekleştirilmiş; diğer yöntemlerden elde edilen değerler ise karşılaştırma amacıyla sunulmuştur. ELA hesaplamaları, Pellitero vd. (2015) tarafından geliştirilen ve otomatik analiz için Palaeolce 2.0 yazılımına entegre edilen Python tabanlı araç kutusu kullanılarak yapılmıştır (<https://github.com/yingkui2003/Palaeolce>).

Denge halindeki buzullar için AAR değerleri genellikle 0,5–0,8 aralığında değişmektedir (Cañadas & González-Trueba, 2004) ve 0,67 değer uzun süre dağ buzulları için temsili bir değer olarak kabul edilmiştir (Kern & Laszlo, 2010). Bununla birlikte, Oien vd. (2022) tarafından yapılan güncel bir alışma, 0,58 AAR değerinin pELA tahminlerinde daha tutarlı ve gerçekçi sonuçlar verdiğini göstermiştir. AABR yöntemi ise, hem buzul hipsometrisini (Osmaston, 2005) hem de ktl dengesini gradyanlarını (Benn & Lehmkuhl, 2000; Pellitero vd., 2015) dikkate aldığı için genellikle AAR ve MGE yöntemlerine kıyasla daha sağlam bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Paleobuzul rekonstruksiyonlarında kullanılan AABR oranları çoğunlukla 1,67–2,2 aralığında değişmektedir (Benn & Lehmkuhl, 2000; Ballantyne, 2007). Rea (2009), 1,75 değerinin farklı buzul tipleri için en düşük ampirik hatayı sağladığını belirtmiştir. Daha yakın tarihli bir çalışmada Oien vd. (2022), 1,56 AABR oranının daha gerçekçi ve güvenilir pELA tahminleri sunduğunu göstermiştir. Bu alışmada, Kolat (Çakırgöl) Dağı için pELA tahminlerinde birincil yöntem olarak 1,56 AABR oranı kullanılmıştır. Bu değer, Avrupa Alpleri'ndeki modern buzullardan elde edilen 1,69'luk ampirik oranla da uyumludur. Ayrıca, tamamlayıcı bir yaklaşım olarak 0,58 AAR oranı da uygulanmıştır.

Kuzeydoğu Anadolu'da gerçekleştirilen önceki çalışmalarda, sınırlı sayıda vadi olan Verçenik, Başayla, Kavron ve Barhal Vadilerinde farklı AAR oranları (0,5; 0,6; 0,67 ve 0,8) kullanılarak pELA değerleri hesaplanmıştır (Akçar vd., 2017; Reber vd., 2022). Ancak Batı Toroslar'da, bu

çalışmadaki oranlarla uyumlu olan 0,58 AAR ve 1,56 AABR oranları benimseyen çalışmalar bulunmaktadır (Keserci vd., 2023; Bayrakdar, 2023; Bayrakdar vd., 2024).

#### 2.4. Paleoklim Rekonstrüksiyonu

Günümüz iklim verileri, paleobuzul çalışmalarında güncel ve geçmiş iklim koşullarının karşılaştırılabilmesi ve bu koşulların vekil veriler aracılığıyla yorumlanabilmesi açısından önemli bir referans oluşturmaktadır. Bu bağlamda, özellikle pELA'ya karşılık gelen yükseltelerde günümüz yaz sıcaklıkları ile yıllık yağış koşullarının bilinmesi, paleoklimsel yorumların yapılabilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Ohmura vd., 1992; Ohmura ve Boettcher, 2018). Çalışma sahası çevresinde yer alan meteoroloji istasyonları arasında pELA'yı temsil edebilecek tek istasyon, 2544 m yükseltide bulunan Gümüşhane Olucak Yaylası istasyonudur. Ancak bu istasyonun ölçüm süresinin kısa olması, verilerin doğrudan kullanımını sınırlandırmaktadır (Tablo 1). Bu veri eksikliğini daha sağlıklı biçimde değerlendirebilmek amacıyla, 1970–2000 klimatolojik normal dönemine ait WorldClim veri setinden yararlanılmıştır. WorldClim verilerine göre Kolat (Çakırgöl) Dağı pELA'sında yaz ayları ortalama sıcaklığı 11,3 °C olarak hesaplanmıştır. Dört meteoroloji istasyonunun yükselti–sıcaklık ilişkisine dayalı lapse rate (düşüş oranı) uygulamasıyla elde edilen sıcaklık değerleri ile WorldClim verisi arasındaki fark 1,8 °C'dir. Yıllık yağış miktarı, regresyon analizlerine bağlı olarak dört istasyon verisi kullanılarak pELA için 514 mm olarak hesaplanırken, WorldClim verisi aynı yükselti için 737 mm yıllık yağış öngörmektedir. WorldClim verisi, istasyon verisine göre yaklaşık %30 daha yüksek yıllık yağış öngörmektedir.

Kolat Dağı'ndaki pELA'yı yansıtabilecek meteoroloji istasyonlarının farklı yükseltelerde yer alması, ölçüm sürelerinin yetersiz olması ve vadi yönelimi, eğim yönü ile kısa mesafelerdeki keskin yükseklik farklarının etkileri nedeniyle, bu ölçümlerin tüm buzul vadilerindeki pELA'yı tam olarak temsil etmeyebileceği düşünülerek, WorldClim verisi kullanılmıştır. Bu veri setinin, küresel olarak çapraz doğrulama sonuçları yüksek olup, sıcaklık için  $\geq 0,99$  ve yağış için 0,86 güvenilir veri aralığı hesaplanmıştır (Fick &

Hijmans, 2017). Örneğin, çalışma sahasındaki durumla benzer bir şekilde, istasyon ölçümlerinin yetersiz olduğu Tibet Platosu'nun güneybatısında yer alan Gurla Mandhata Dağı'ndaki buzulların modellenmesinde WorldClim verisi kullanılmıştır (Cui et al., 2022). Benzer şekilde, Heyman vd. (2013), Fransa, Almanya ve Çek Cumhuriyeti'ndeki dağlık alanlarda Coupled Flowline modelini kullanarak, SBM'deki yağış değişim oranlarını WorldClim verisi üzerinden tespit etmişlerdir. Ayrıca, Candaş vd. (2020) tarafından Türkiye'nin güneybatısında gerçekleştirilen buzul modellemesine ait çalışmada, meteoroloji istasyonu verileri ile WorldClim verileri karşılaştırılmış ve yıllık ortalama sıcaklıklarda anlamlı bir fark bulunmazken, yıllık toplam yağış miktarları arasında iyi bir uyum ( $r = 0,95$ ) tespit edilmiştir. Her iki veri setinden elde edilen sıcaklık ve yağış düşüş oranları arasında da anlamlı bir fark bulunmamıştır (sırasıyla  $r = 0,991$  ve  $0,997$ ). Bu sonuçlar, WorldClim verilerinin yüksek rakımlara yönelik tahminlerinin gerçekçi olduğunu ve buzul modellemesi çalışmalarında kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Ek olarak bu veri seti, geniş alanları kesintisiz şekilde kapsayacak özellikte olmasından dolayı pELA'lardaki sıcaklık ve yağışın belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır.

WorldClim verileri ile meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış verileri birlikte değerlendirilerek ağırlıklı ortalamalar üzerinden yıllık yağış değeri 578 mm hesaplanmıştır. Bu değere bağlı olarak paleoklim yağış rekonstrüksiyonu yeniden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, doğrudan WorldClim verisine dayalı pELA analizlerinde belirlenen  $-2,3$  °C ve  $-1,1$  °C sıcaklık eşiklerine benzer şekilde, ağırlıklı ortalama veri setinde de yaklaşık  $-3$  °C ile  $-1,1$  °C sıcaklık aralığında yağış azalmasının başladığını göstermiştir. Bu sıcaklık aralığında, WorldClim verilerinden elde edilen günümüze göre yağış düşüş oranları ile bu verinin sonuçları arasında yaklaşık %10 düzeyinde sınırlı bir fark tespit edilmiştir. Sonuçlar arasında belirgin bir farklılık bulunmaması ve tartışılan veri sınırlılıkları dikkate alınarak güncel iklim koşullarına ait ortalama yaz sıcaklığı verileri, 1970–2000 klimatolojik

normal dönemine dayanan WorldClim veri setinden elde edilmiştir. Daha sonra, bölgesel paleoklimatoloji çalışmalarıyla sınırlandırılan SBM sırasındaki sıcaklık düşüşü ( $\Delta T$ ) aralığı, olası SBM sıcaklık senaryolarını temsil edecek şekilde Ohmura ve Boettcher (2018) tarafından önerilen denklemlere uygulanmıştır.

Ohmura ve Boettcher (2018), küresel ölçekte 104 dağ buzunun iklimsel özelliklerini analiz ederek, ELA ile ilişkili iklim değişkenlerini ampirik olarak modellemiştir. Yaz erime mevsiminde ELA seviyesindeki ortalama hava sıcaklığı ile yıllık yağış miktarı arasında güçlü korelasyonlar belirleyen yazarlar, bu ilişkileri doğrusal ve ikinci dereceden regresyon modelleriyle ifade etmiştir. Erime mevsimi boyunca güneş radyasyonunun yüzey enerji dengesinde belirleyici bir rol oynaması nedeniyle, analizler farklı radyasyon seviyelerine göre dört ayrı sınıfta gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, çalışma alanına ait güneş radyasyonu verileri NASA'nın Dünya Çapında Enerji Kaynaklarının Tahmini (POWER) veri tabanından elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, 2000–2023 yılları arasında haziran, temmuz ve ağustos aylarını kapsayan yaz erime mevsiminde ortalama güneş radyasyonunun yaklaşık  $250 \text{ W m}^{-2}$  olduğunu göstermektedir. Bu değer dikkate alınarak, Ohmura ve Boettcher (2018) tarafından önerilen ikinci dereceden (quadratic) (Denklem 1) ve doğrusal (Denklem 2) regresyon denklemleri çalışma alanı için uygulanmıştır.

$$P = 5.87 \cdot T^2 + 230 \cdot T + 966 \quad (\text{standard error} = \pm 648 \text{ mm}) \quad (1)$$

$$P = 343 \cdot T + 835 \quad (\text{standard error} = \pm 490 \text{ mm}) \quad (2)$$

Bu denklemlerde P, ELA seviyesindeki ortalama yıllık yağış miktarını (mm), T ise yaz erime mevsimi boyunca serbest atmosferde ölçülen ortalama hava sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ) temsil etmektedir. T değeri, haziran, temmuz ve ağustos aylarının ortalaması olarak tanımlanmıştır.

## 2.5. Sirk Morfometrisi

Sirklerin sınırlarının belirlenmesinde, ilk olarak Evans ve Cox (1974) tarafından tanımlanan ve daha sonra Barr ve Spagnolo (2015) ile Evans ve Cox (2017) tarafından revize edilen adımlar takip edilmiştir. Sirk tabanları nispeten düztabanlı ( $<20^{\circ}$  eğim) alanları kapsayacak şekilde tanımlanmış; çevreleyen sirk duvarları

ise sırtlar üzerinde dış bükey izohipsler ile sirk içine doğru uzanan içbükey izohipsler tarafından oluşturulan sınır boyunca, eğimin  $27^{\circ}$  olduğu kesitler dikkate alınarak belirlenmiştir. Ek olarak, yüksek çözünürlüklü SYM verisinden üretilen hillshade katmanı kullanılmış ve Google Earth üzerinden sirk sınırlarının doğrulanması sağlanmıştır.

Spagnolo vd. (2017) tarafından ArcGIS araç kutusu olarak geliştirilen ACME (Automated Cirque Metric Extraction), sirk metriklerinin çıkarılması amacıyla tasarlanmıştır. Bu araç kutusu, sirk ana hatları, eşik orta noktaları ve SYM kullanılarak 16 farklı sirk metriği üretmektedir. Daha sonra Li vd. (2024) tarafından genişletilen ve revize edilen araç kutusu ACME2 olarak yayınlanmıştır. ACME2, sirk eşik orta noktalarını otomatik olarak çıkarma yeteneğine sahiptir ve sirk konumu, boyutu, şekli, yüksekliği, eğimi, yönü ve eksenle ilgili değişkenler dahil olmak üzere toplam 49 metriği hesaplamaktadır. Ayrıca üç girdi meta veri değişkenini kaydeder ve hipsometrik maksimum ile integral hesaplama yöntemlerini geliştirerek, manuel hesaplamalarla daha tutarlı sonuçlar sağlayan yeni bir plan-kapanma hesaplama yaklaşımı sunar. ACME2 kullanımı için iki veri kümesi gereklidir: SYM ve sirk ana hattı (çokgen) dosyası. Bu çalışmada, analizler sirk sınırları belirlenen 11 sirkli çokgen dosyası ile 10 m çözünürlüğe sahip SYM verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 3. BULGULAR

### 3.1. Buzul Jeomorfolojisi

Stereoskopik hava fotoğraflarının sağladığı üç boyutlu algı ve yüksek çözünürlük sayesinde, buzul jeomorfolojisine ait morfolojik unsurlar yüksek doğrulukla tanımlanabilmiş; gerçekleştirilen analizler ve özellikle arazi çalışmaları ile bu unsurlar yerinde doğrulanmıştır (Şekil 4, 5 ve 6). Bu kapsamda, kuzey yamaçlarda gelişmiş altı buzul vadisi ve on bir sirk tespit edilmiştir. Buna karşılık, güney yamaçlarda herhangi bir sirk veya buzul vadisine rastlanmamıştır. Tanımlanan buzul vadileri arasında 2 numaralı vadi, gerek uzunluğu gerekse morfolojik gelişmişliği bakımından en çok gelişmiş vadedir (Şekil 5A). Bu vadinin ön kesiminde oldukça iyi gelişmiş

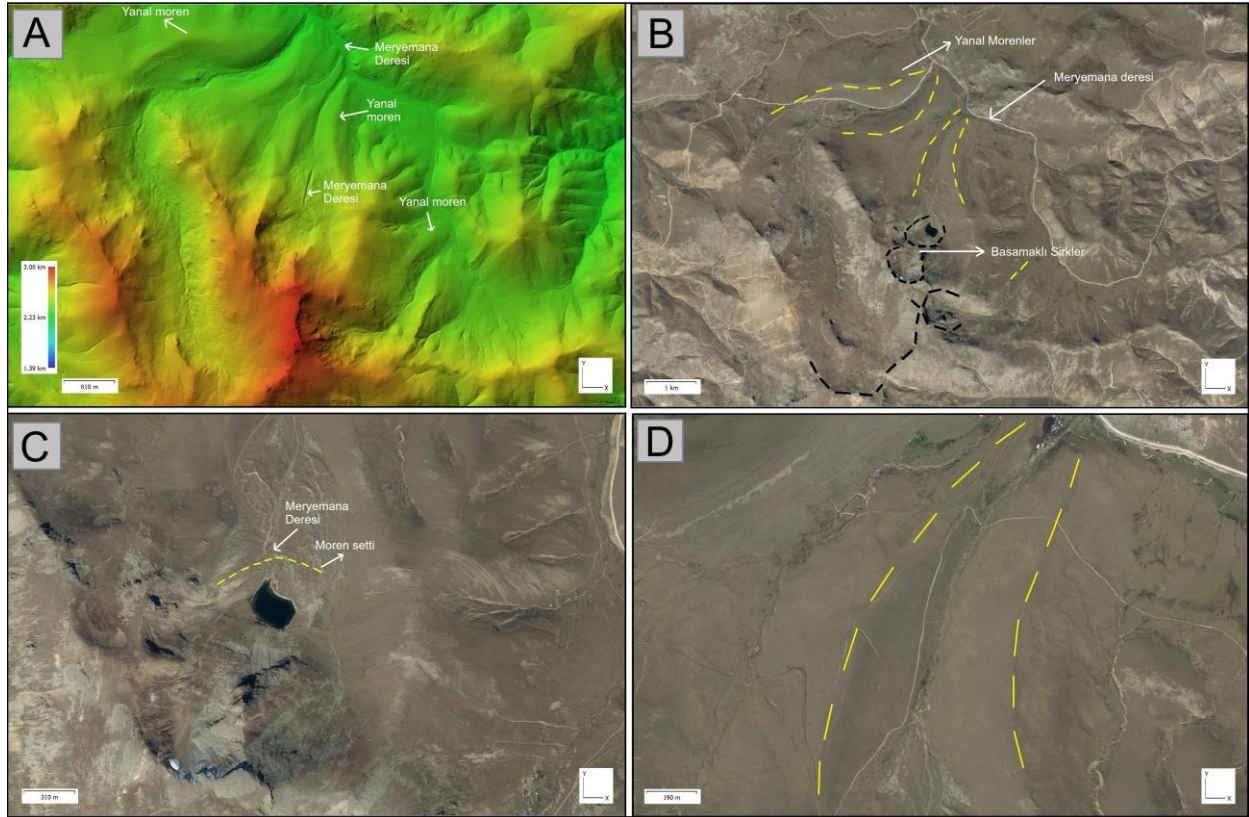
yanal morenler bulunmaktadır (Şekil 4B, 5B ve Şekil 6). İyi korunmuş yanal morenlerin gözlemlendiği bir diğer vadi ise 4 numaralı vadidir (Şekil 4B, D, 5B ve Şekil 6). Bu vadide, yanal morenlerin maksimum yükseltisi (Maximum Elevation of Lateral Moraines – MELM) 2620 m olarak hesaplanmıştır. 4 numaralı vadide, basamaklı (stepped) bir morfoloji sunan sirkler yer almakta olup, bunlardan daha büyük olanının tabanında geniş bir sirk gölü bulunmaktadır. Söz konusu gölün önünde yer alan moren seti, günümüzde Meryemana Deresi tarafından yarılarak açılmıştır (Şekil 4B-D; Şekil 5C ve D).

Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda buzullaşma sınırlarını temsil edecek cephe (terminal) morenlerinin belirgin olarak gözlenememesi ve buna karşın iyi korunmuş yanal morenlerin varlığı, buzullaşma sonrası dönemde paraglasiyal süreçlerin özellikle vadi önlerinde etkili olduğunu düşündürmektedir. Kuzeye doğru akan Meryemana Deresi, buzul vadilerinin önünü dikine keserek güçlü bir flüvyal aşındırma etkinliği ortaya koymaktadır. Bu

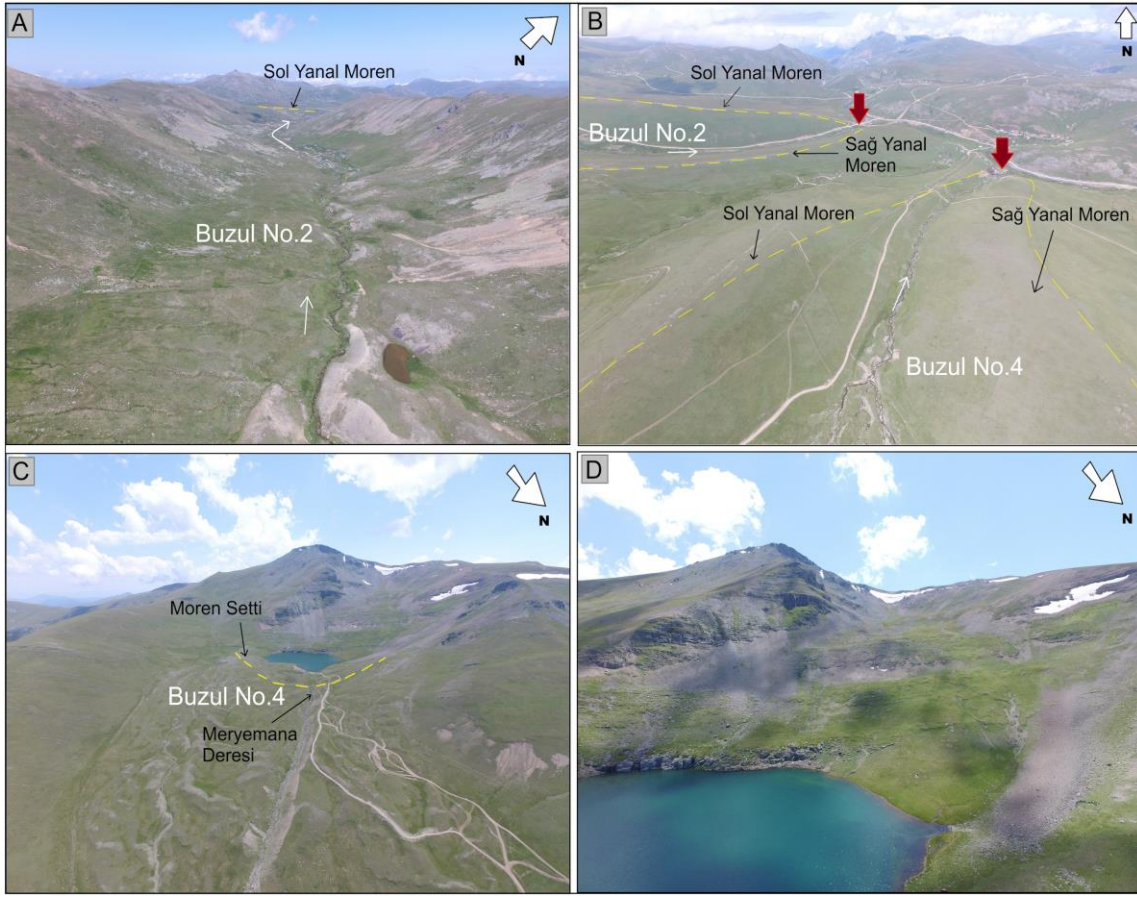
durum morenlerin bozulmasına neden olmuş olmalıdır. Çalışma alanında tanımlanabilen maksimum buzullaşma sınırı, yanal morenlerin sonlandığı ve flüvyal süreçlerin baskın hale geçtiği kesimler olarak yorumlanmıştır (Şekil 4A; B; Şekil 5B ve Şekil 6).

### 3.2. Buzul Rekonstrüksiyonu

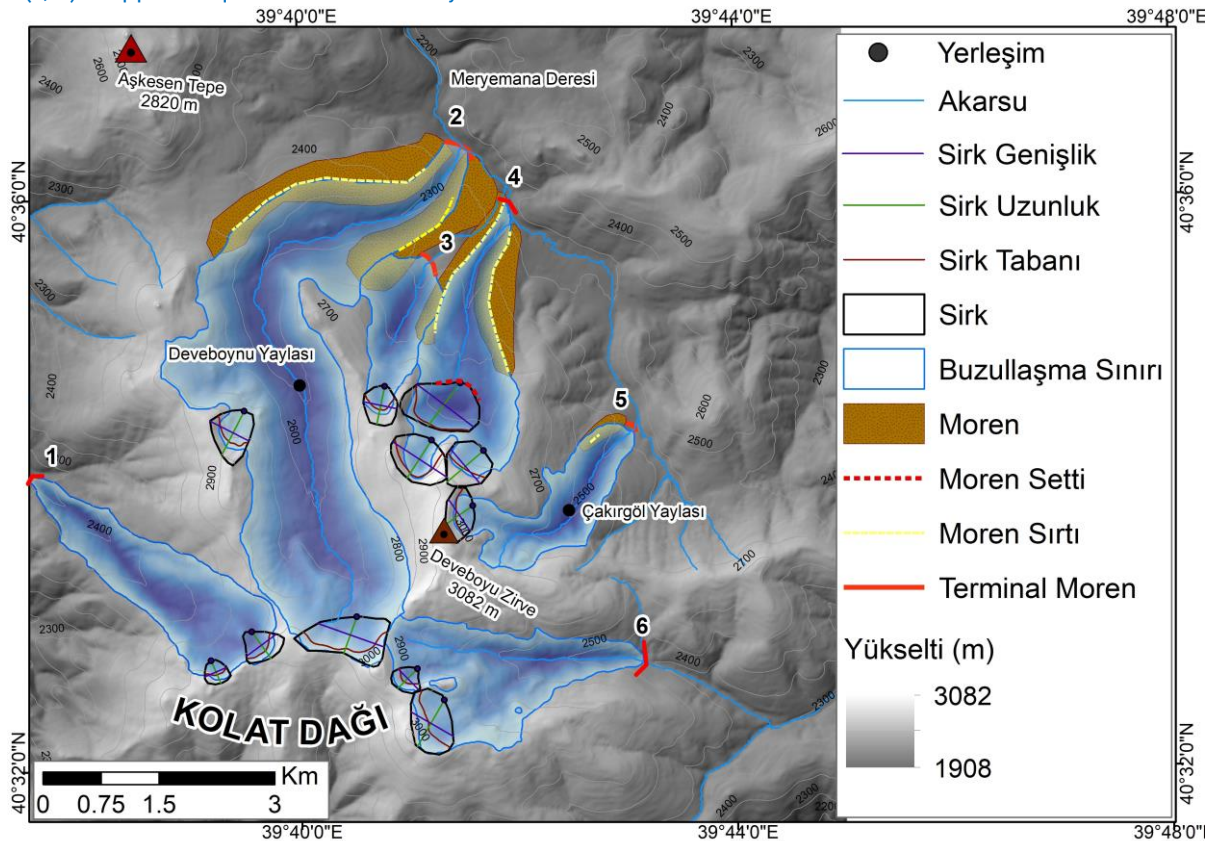
Belirlenen jeomorfolojik birimlere bağlı olarak, Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda yer alan vadiler için buzul rekonstrüksiyonları gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Rekonstrüksiyon sonuçlarına göre, ortalama buz kalınlığının en fazla olduğu vadi 2 numaralı vadi olarak belirlenmiştir. Bu vadi, buzulların en yüksek seviyeden başlayıp en alçak yükseltilere kadar indiği vadidir ve uzunluğu 8,5 km, buzullaşma alanı ise 11,6 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Ortalama kalınlık ve paleobuzul uzunluğu açısından bu vadiyi 4 numaralı vadi takip etmektedir (Tablo 2). Özellikle 2 ve 4 numaralı vadilerde, pELA seviyelerinin altında büyük ölçüde bozulmamış moren depolarının varlığı, bu vadilerin geniş buzullaşma koşullarıyla yakından ilişkilidir (Şekil 7).



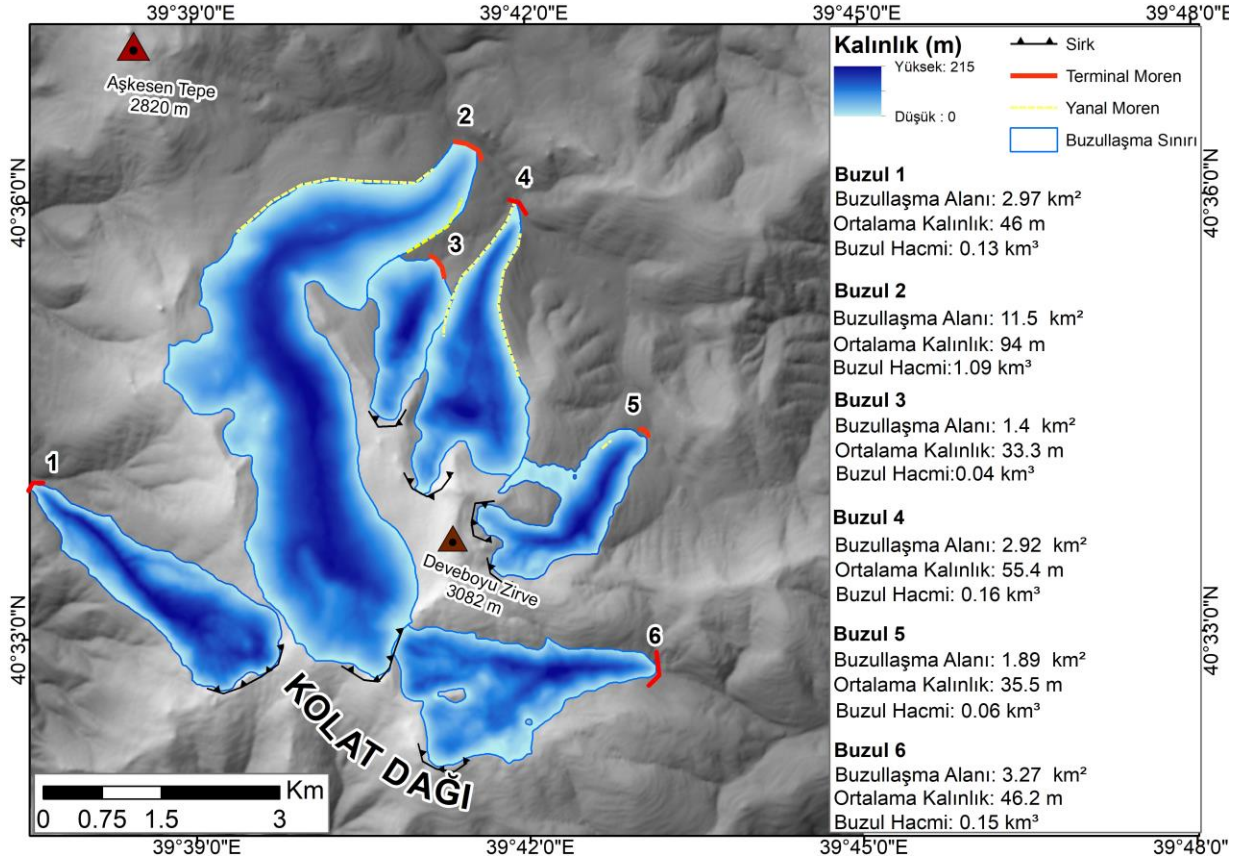
**Şekil 4:** (a) Kolat (Çakırgöl) Dağı'na ait 60 cm'lik SYM verisi; (b) 1 m çözünürlüğündeki ortomozaik görüntüsünde tanımlanabilen yanal morenler ve sirkler; (c) Basamaklı sirkler ve Çakırgölü ve (d) Daha büyük ölçekte 4 numaralı vadideki yanal moren / **Figure 4:** (a) 60-cm-resolution DEM of Kolat (Çakırgöl) Mountain; (b) Lateral moraines and cirques identified on the 1-m-resolution orthomosaic image; (c) Stepped cirques and Çakırgöl Lake; and (d) Lateral moraine in Valley No. 4 shown at a larger scale.



**Şekil 5:** (a) 2 numaralı buzul vadisi, (b) 2 ve 4 numaralı buzul vadilerine ait yanal morenler ile belirlenebilen buzul sınırları (kırmızı oklar), (c ve d) 4 numaralı buzul vadisindeki basamaklı sirkler / **Figure 5:** (a) Glacier Valley No. 2; (b) Maximum glacier extents (arrows filled in red) and associated lateral moraines in Glacier Valleys No. 2 and 4; and (c, d) Stepped cirques in Glacier Valley No. 4.



**Şekil 6:** Buzul jeomorfolojisine ait tanımlanmış şekiller ve maksimum buzullaşma sınırları / **Figure 6:** Mapped glacial landforms and maximum glacier extents.



**Şekil 7:** Kolat (Çakırgöl) Dağı'ndaki buzul rekonstrüksiyonu / **Figure 7:** Glacier reconstruction of Kolat (Çakırgöl) Mountain.

**Tablo 2:** Kolat (Çakırgöl) Dağı'na ait buzul rekonstrüksiyonu sonuçları / **Table 2:** Results of glacier reconstruction for Kolat (Çakırgöl) Mountain.

Buzul No	Alan (Km <sup>2</sup> )	Maksimum Kalınlık (m)	Ortalama Kalınlık(m)	Hacim (Km <sup>3</sup> )	AA	AABR (1,56)	AAR (0,58)	MGE	Maksimum Yükselti (m)	Minimum Yükselti (m)	Uzunluk (km)
1	2.97	98.7	46	0.13673	2634	2603	2613	2653	2887	2238	3.8
2	11.60	214.9	94	1.09028	2696	2664	2704	2734	3000	2229	8.5
3	1.40	102.3	33.3	0.04661	2551	2534	2524	2544	2780	2369	2.1
4	2.92	135.1	55.4	0.16198	2615	2593	2613	2643	2928	2258	3.9
5	1.89	106.9	35.5	0.06719	2627	2601	2601	2621	2895	2366	2.8
6	3.27	120.8	46.2	0.15114	2769	2749	2759	2789	2993	2414	3.3

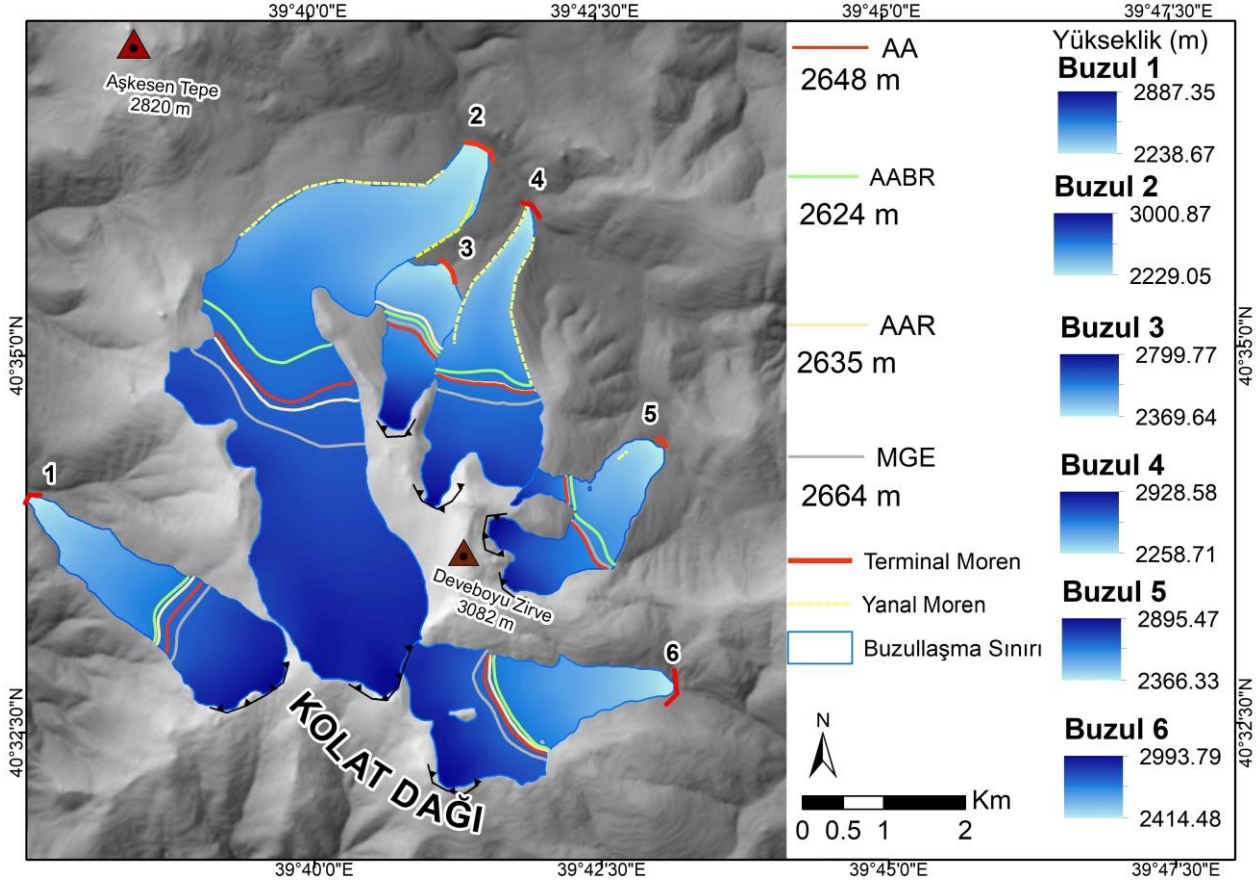
### 3.3. Kolat (Çakırgöl) Dağı pELA'ları

Kolat (Çakırgöl) Dağı'ndaki 1–5 numaralı buzul vadilerinde pELA değerleri yaklaşık 2600 m olarak hesaplanmıştır. Ancak 6 numaralı vadiye gelindiğinde, pELA yükselerek 2750 m'ye ulaşmaktadır. Vadilerin çoğunluğu kuzey sektörlü iken, 6 numaralı vadi çoğunlukla doğu sektöründe kalmaktadır; bu durum, daha yüksek solar radyasyon değerleri nedeniyle pELA'nın

yükselmesine neden olmuş olmalıdır. En düşük pELA değeri 3 numaralı vadide gözlenmiş olup, bunu sırasıyla 4 ve 5 numaralı vadiler takip etmektedir (Tablo 2). Tüm vadiler dikkate alındığında, AABR ile hesaplanan ortalama pELA 2624 m, AAR ile hesaplanan ortalama pELA 2635 m olarak belirlenmiştir (Şekil 8). AAR ve AABR yöntemlerinden elde edilen pELA değerlerinin tutarlılığını değerlendirmek

amacıyla, saha çalışmalarıyla tespit edilen ve kırmızı rölyef haritası kullanılarak sınırları belirlenen yanal morenler bağımsız bir jeomorfolojik referans olarak alınmıştır. Bu yaklaşım, yanal moren tepelerinin maksimum yüksekliklerinin pELA'ya yakın olduğu varsayımına (Meierding, 1982; Turoğlu, 2011) dayanmaktadır. Bununla birlikte, erozyon

süreçleri nedeniyle morenler önemli ölçüde değişime uğramış, yer yer srekliği bozulmuştur. Paraglasial ve postglasial süreçlerden kaynaklanan hata payına rağmen, ölçümler büyük ölçüde tutarlıdır; en yüksek moren tepesi 4 numaralı vadide 2620 m olup, AAR'dan türetilen pELA'dan yalnızca 7 m daha yüksektir (Tablo 2).



**şekil 8:** Kolat (Çakırgöl) Dağı'na ait pELA rekonstrüksiyonu ile buzulların minimum ve maksimum yükselti değerleri  
**Figure 8:** Reconstructed pELA values for Kolat (Çakırgöl) Mountain and the minimum and maximum elevations of the glaciers.

### 3.4. Paleoklimatik koşullar

Paleoiklim Rekonstrüksiyonu bölümünde Ohmura ve Boettcher, (2018) tarafından sunulan her iki denkleme, SBM dönemine ait  $\Delta T$  aralığında yer alan 5–11  $^{\circ}C$ 'lik sıcaklık düşüşleri uygulandığında, günümüz koşullarına kıyasla daha yüksek yeniden oluşturulmuş yağış değerleri elde edilmektedir. Yaklaşık 12  $^{\circ}C$ 'lik bir düşüş ise modern yağış seviyelerine yakın tahminler üretmektedir. Bu durum, günümüzden daha az yağış koşulları gösteren Sofular Mağarası'ndan elde edilen  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^{13}C$  izotoplarının SBM vekil kayıtlarıyla tutarsız olan, nispeten daha nemli senaryolara karşılığ gelmektedir (Fleitmann vd., 2009; Held vd., 2025). Öte yandan, sıcaklık düşüşleri 12 $^{\circ}C$ 'yi aştığında, yeniden oluşturulan yağış değerleri

günümüz koşullarına göre azalmaya başlamaktadır.

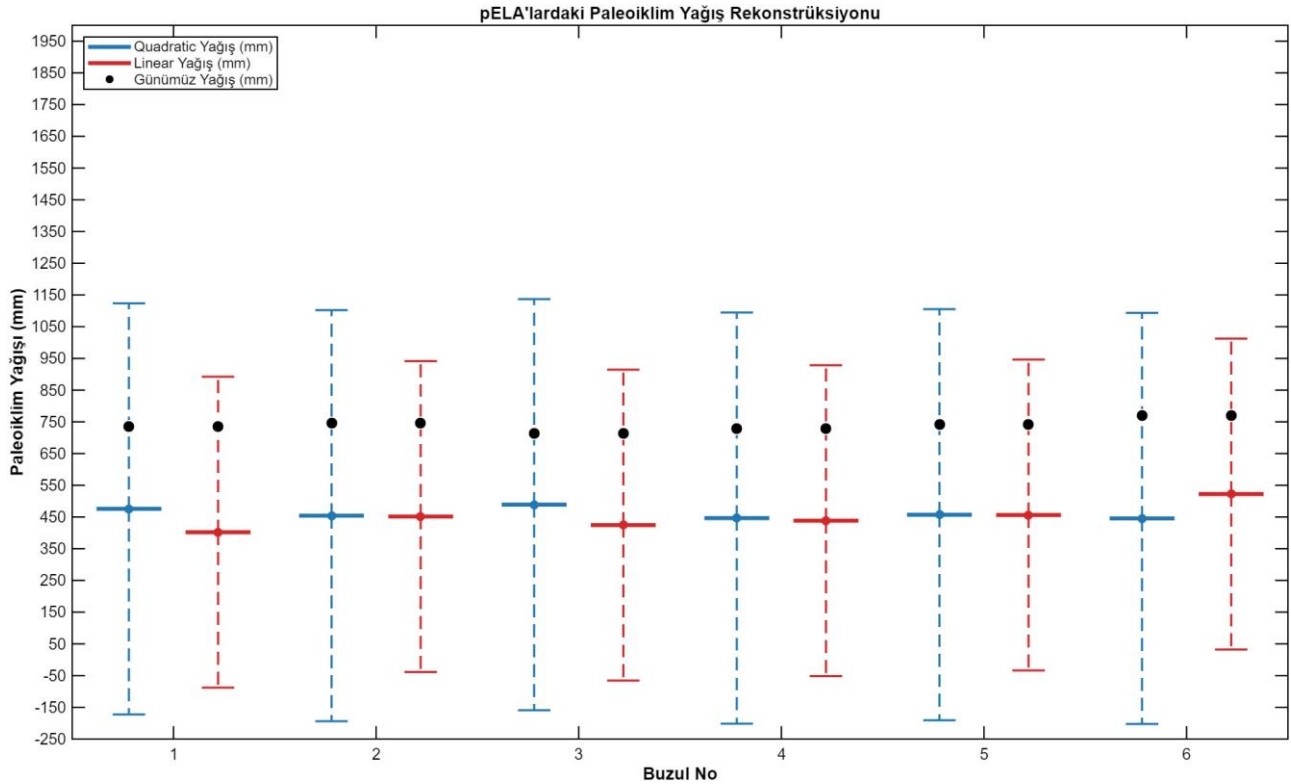
$\Delta T_{min}$  ve  $\Delta T_{max}$  değerleri, her modelde yağışın günümüz koşullarına göre ilk kez azalmaya başladığı eşikleri temsil etmektedir. Doğrusal denklemde bu eşik  $\Delta T \approx 14,5$   $^{\circ}C$ , ikinci dereceden denklemde ise  $\Delta T \approx 12,7$   $^{\circ}C$  olarak belirlenmiştir. Bu değerler, pELA'da -2,3  $^{\circ}C$  ve -1,1  $^{\circ}C$ 'lik paleosıcaklıklara ve sırasıyla yaklaşık %37 ve %39'luk yağış azalmalarına karşılığ gelmektedir. Söz konusu eşikler, bölge için olası SBM soğumasının bağımsız olarak belirlenmiş aralığı içinde yer almakta ve ayrıca bölgesel SBM vekil kanıtlarıyla tutarlı yağış azalmaları üretmektedir. Bu eşiklerin belirlenmesinde, sıfır mm yağış koşullarından daha yüksek, ancak günümüz yağış değerlerinden daha düşük

yağışlar oluşturabilecek sıcaklıklar dikkate alınmıştır (Tablo 3). Belirlenen değer aralıkları

elde edilinceye kadar model yinelemeli olarak çalıştırılmıştır.

**Tablo 3:** pELA'lardaki paleoiklim rekonstrüksiyonu / **Table 3:** Palaeoclimate Reconstruction at pELAs.

Buzul No	pELA	$\Delta T_{min}$	$\Delta T_{max}$	PaleoT_min	PaleoT_max	Quadratic Formül	Linear Formül	Günümüz sıcaklık °C	Günümüz yağış (mm)
1	2613	-14.75	-13.75	-2.26205	-1.26205	475.7	402.1	12.4	734.7
2	2704	-14.5	-13.25	-2.36793	-1.11793	454.2	451.5	12.1	746.0
3	2524	-14.75	-13.75	-2.19693	-1.19693	489.0	424.4	12.5	713.3
4	2613	-14.75	-13.5	-2.40612	-1.15612	446.5	438.4	12.3	728.7
5	2601	-14.75	-13.5	-2.35384	-1.10384	457.1	456.3	12.3	741.0
6	2759	-14.25	-12.75	-2.41143	-0.91143	445.5	522.3	11.8	769.5



**Şekil 9:** Kolat (Çakırgöl) Dağı'ndaki pELA seviyeleri için gerçekleştirilen paleoiklim yağış rekonstrüksiyonu. Mavi ve kırmızı yatay çubuklar, rekonstrüksiyonlardan elde edilen yağış değerlerini; minimum ve maksimum çubuklar, hata paylarını; siyah noktalar ise günümüz yağış değerlerini göstermektedir / **Figure 9:** Paleoclimatic precipitation reconstruction at the pELAs of Mount Kolat (Çakırgöl). The blue and red horizontal bars represent the reconstructed precipitation values, the error bars indicate the uncertainties, and the black dots show present-day precipitation values.

Ohmura ve Boettcher (2018) tarafından önerilen ikinci dereceden (quadratic) ve doğrusal (Denklem 2) regresyon denklemleri sırasıyla  $\pm 648$  mm ve  $\pm 490$  mm standart hata içermektedir.

Gerçekleştirdiğimiz rekonstrüksiyonlar kapsamında, SBM vekil veri kayıtlarıyla en tutarlı aralığı temsil eden yağış rekonstrüksiyonlarına söz konusu formüllerden gelen standart hatalar uygulandığında, pozitif

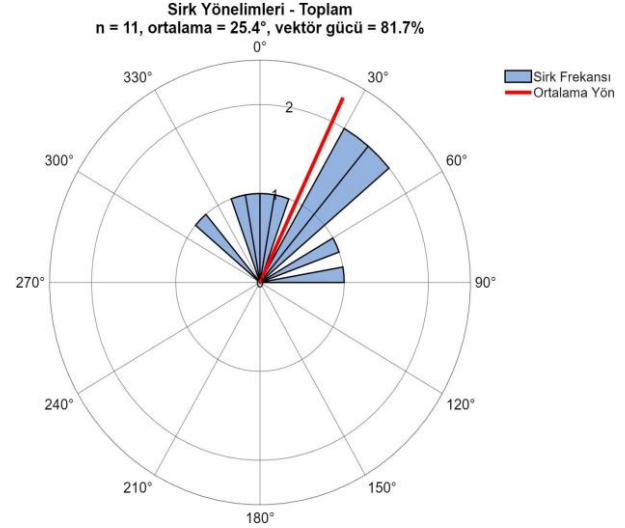
yöndeki sapmalar günümüz koşullarına kıyasla daha yüksek yağış değerlerinin üretilmesine neden olurken, negatif yöndeki sapmalar ise buzullaşmanın gerçekleşmesini mümkün kılmayacak düzeyde, 0 mm veya 0 mm'ye yakın yağış değerlerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu durum, hesaplanan ortalama yağış değerlerinin en olası paleoyağış

koşullarını temsil eden aralık içerisinde yer aldığını göstermektedir (Şekil 9).

### 3.5. Sirk Morfometrisi

Sirklerin boyutsal özellikleri incelendiğinde, uzunluk (L) değerlerinin 313–699 m arasında değiştiği ve ortalama 522 m olduğu görülmektedir. Genişlik (W) 304–917 m arasında olup, ortalama 594 m'dir. Dikey yükseklik farkını temsil eden H ise 137–334 m aralığında değişmekte ve ortalama 214 m olarak hesaplanmıştır. Sirklerin taban yükseklik ortalaması 2742 m'dir. 11 sirk için ortalama L/W oranı 0,922'dir; bu değer, sirklerin ortalama olarak neredeyse dairesel olduğunu ve uzunluğun genişliği fazla aşmadığını göstermektedir. Dairesellik tüm sirkler için ortalama 1,07 olup, neredeyse mkemmek dairesel bir forma işaret etmektedir. Ortalama eğim ise 16–26,86° aralığında değişmekte ve ortalama 22,2° olarak belirlenmiştir. Sirk alanlarının minimum yükseltisi (Zmin; sirk poligonu içerisinde belirlenen en düşük yükselti değeri) 2539 m, maksimum yükseltisi (Zmax; sirk poligonu içerisinde belirlenen maksimum yükselti değeri) ise 3081 m olarak belirlenmiştir. Sirkler ağırlıklı olarak kuzey

sektörde (K–KD–KB) yoğunlaşmakta olup, yönelimin istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde 25,4°'lik ortalama vektör ile KKD yönünde toplanmaktadır. Bu yönelimsellik, rüzgar akımları ve düşük radyasyonlu yamaçlarla uyumludur; sirk gelişiminde güneşlenme karşıtlıkları, sektörel yağış ve nem etkisinin de azimut kontrolü sağladığını göstermektedir (Tablo 4 ve Şekil 10).



Şekil 10: Kolat (Çakırgöl) Dağı'ndaki sirklerin baki dağılımları / Figure 10: Aspect distribution of cirques in Kolat (Çakırgöl) Mountain.

Tablo 4: Sirklerin morfometrik zellikleri / Table 4: Morphometric characteristics of cirques.

Sirk	Min. Sirk Yks.	Max. Sirk Yks.	Ort Sirk Yks.	L	W	H	Perimetre	Alan	L/W	Dairesel	Ort. eğim	Yn	Relatif Yn
1	2717	3021	2842	583	824	304	2209	358722	0.708	1.041	26.18	19.8	K
2	2539	2809	2611	699	917	270	2747	517103	0.762	1.078	19.18	41.2	KD
3	2689	2860	2778	501	442	171	1536	176697	1.133	1.031	20.35	6.4	K
4	2720	2925	2812	632	563	205	2003	275156	1.123	1.077	18.7	39.2	KD
5	2745	2930	2828	422	480	185	1564	164008	0.879	1.09	23.38	310.5	KB
6	2819	2964	2895	356	377	145	1169	98555	0.944	1.051	25.47	44	KD
7	2700	3034	2844	620	589	334	1943	277344	1.053	1.041	26.62	35.2	KD
8	2858	3081	2964	429	496	223	1790	207952	0.865	1.107	26.86	84.9	D
9	2751	2888	2819	313	304	137	1022	77816	1.03	1.033	23.84	346.3	K
10	2784	3012	2870	501	912	228	3104	511740	0.922	1.224	17.82	356.3	K
11	2841	3003	2921	695	631	162	2313	374757	1.101	1.066	16	65.4	KD
<b>Ort</b>	2742	2957	2834	522	594	214	1945	276350	0.922	1.07	22.2		

#### 4. TARTIşMA

Kolat (Çakırgöl) Dağı'na ilişkin tek ayrıntılı çalışma Beret (1956) tarafından gerçekteştirilmiş olup, söz konusu çalışmada tek vadiye dayalı buzul kaynaklı yer Şekilleri tanımlanmış; ancak bu çalışmadan sonra buzul rekonstrüksiyonuna yönelik herhangi bir nicel analiz sunan çalışma gerçekteştirilmemiştir. Beret (1956), iki sirk in beslediği bir buzulun 2350 m'ye kadar indiğini ve yalnızca tek bir vadi üzerinden yaptığı değerlendirmede pELA değerlerinin 2600–2700 m aralığında olduğunu belirtmiştir. Messerli (1967) ise Doğu Karadeniz Dağları genelinde pELA değerlerini 2500–2600 m arasında değiştiğini tahmin etmiştir. Doğu Karadeniz Dağları'ndaki mevcut çalışmalar, paleoklimatik koşulların yorumlanmasında kritik bir parametre olan pELA'nın tahmini için ağırlıklı olarak THAR yönteminin kullanıldığını göstermektedir (Doğu vd., 1994; Doğu vd., 1996; Dede, 2009; Dede, 2016). Ancak THAR, güncel topoğrafyayı paleobuzul tabanının bir temsilcisi olarak kabul eden, topoğrafyaya bağımlı ve basitleştirilmiş bir yaklaşım olup; ayrıntılı kütle dengesi modellemesinin mümkün olmadığı durumlarda özellikle bölgesel karşılaştırmalar için uygun, birinci mertebeden bir kestirim sağlamaktadır. Nitekim Yang vd. (2021), yeniden yapılandırılmış paleobuzul yüzeylerinden türetilen ELA değerleri ile yalnızca buzul taban topoğrafyasına dayalı olarak hesaplanan ELA'lar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunduğunu ortaya koymuş ve daha güvenilir ELA tahminleri için paleobuzul yüzeyinin yeniden yapılandırılmasının gerekliliğini vurgulamıştır. Bu çalışmada ise AABR ve AAR yöntemlerine dayalı kapsamlı analizler sonucunda, Kolat (Çakırgöl) Dağı genelinde pELA değerlerinin 2624–2635 m aralığında olduğu hesaplanmıştır.

Kolat (Çakırgöl) Dağı'ndaki yanal morenlerin maksimum yükselteleri dikkate alınarak pELA 2620 m olarak hesaplanmıştır. Bu dağın, bölgedeki diğer dağlardan ayrılan en önemli özelliklerinden biri, morenlerin günümüzde hâlâ büyük ölçüde tazeliğini koruyor olmasıdır. Bu durum, jeomorfoloji tabanlı rekonstrüksiyonların güvenilirliğini artırmakta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bu dağın

ayrıntılı ve yüksek doğrulukta incelenmesine olanak sağlamaktadır. Vadi önlerinden kuzey yönünde akış gösteren Meryemana Deresi, vadi tabanlarında ve vadi önlerinde yer alan morenleri kısmen tahrip etmiş olsa da, yanal morenlerin büyük ölçüde korunmuş olduğu gözlenmektedir. Nitekim, bu dağın hemen batısında yer alan Karagöl Dağı'nda, Turoğu (2009) tarafından kütle hareketlerinin mevcut glasiyal Şekilleri büyük ölçüde tahrip ettiği belirtilirken, Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda bu tür süreçlerin morenler üzerindeki etkisinin sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. Özellikle yanal morenlerin günümüze kadar tazeliğini korumasının başlıca nedenleri; flüvyal aşındırmanın bu alanlara sınırlı ölçüde etki etmesi ve bölgedeki kütle hareketlerinin görelilik olarak zayıf olması olarak yorumlanabilir. Morenlerin günümüze kadar tazeliğini korumuş olması, bu morfolojik birimlerin SBM ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Özellikle moren sırtlarının belirgin ve keskin morfoloji sergilediği çalışma alanındaki örneklerin SBM buzullaşma evresinden etkilenmiş oldukları anlaşılmaktadır. Ayrıca, Doğu Karadeniz Dağları'nda buzulların ulaştığı minimum yükselteler incelendiğinde, Verçenik Dağı ve Kavron Vadisi'nde buzulların SBM döneminde yaklaşık 2300 m'nin altına indiği bilinmektedir (Akçar vd., 2007; 2008). Verçenik ve Kavron Vadilerine benzer uzunluktaki Kolat (Çakırgöl) Dağı buzullarının (özellikle 2 nolu buzul) 2250 m'lere inen buzullaşma sınırları, buzulun SBM döneminde etkili olduğunu düşündürmektedir. Ancak morenlerin oluşum zamanlarının ve buzul koşullarıyla olan ilişkilerinin ayrıntılı biçimde ortaya konulabilmesi için, kozmojenik yüzey yaş tayini gibi mutlak tarihlendirme yöntemlerine dayalı çalışmalara da ihtiyaç duyulduğu belirtilmelidir.

pELA'nın tahmin edilmesinde kullanılan bir diğer yaklaşım, sirk taban yükseltisinin değerlendirilmesine dayalıdır. Bu değerlendirme, maksimum buzul yayılımlarından türetilen AAR ve AABR hesaplamalarından bağımsız olarak, sirk sınırlarına göre gerçekteştirilir. Böylece, buzul vadilerini tam olarak yansıtmayan sirk buzullarının pELA değerleri belirlenebilir. Şimşek vd. (2023), Kolat (Çakırgöl) Dağı'nı kapsam dışı bıraktıkları Doğu Karadeniz

Dağları'na yönelik çalışmalarında, sirk tabanı yükseltilerine dayanarak kuzey sektörde ortalama sirk tabanı yükseltisini 2760 m, güney sektörde ise 3004 m olarak belirlemişlerdir. Kolat (Çakırgöl) Dağı'ndaki sirklerin ortalama taban yükseltisinden türetilen pELA değeri 2742 m olarak hesaplanmıştır.

Kolat (Çakırgöl) Dağı'ndaki sirkler Türkiye'nin diğer bölgelerinde yer alan sirkler ile kıyaslandığında, sirk yükseltilerinin daha yüksek olduğu boyutlarının ise daha küçük olduğu görülür. Örneğin Evans vd. (2021), Türkiye'nin güneybatısında yer alan 85 sirki analiz etmiş ve kıyı kuşağındaki dağlarda sirklerin minimum yükselti değerlerini Sandıras Dağı için 1946 m, Karadağ için 2032 m, Akdağ için 2618 m ve Beydağları için 2435 m olarak belirlemiştir. Daha iç kesimlerde yer alan dağlarda (Emerdin Dağı ve Barla Dağı) ise sirk taban yükseltilerinin 1975–2503 m arasında değiştiği rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, söz konusu 85 sirkin boyutsal özelliklerinin ortalama olarak  $L = 672$  m,  $W = 542$  m ve  $H = 297$  m değerleri etrafında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çılgın (2025), çalışma sahasına yakın konumda bulunan Karasakal Dağları'ndaki sirklerin  $L = 962$  m,  $W = 624$  m ve  $H = 393$  m boyutlarına sahip olduğunu belirlemiş ve minimum sirk taban yükseltisini 2506 m olarak raporlamıştır. Çılgın (2020), farklı bir çalışmada ise bu bölge için 8-10 °C sıcaklık düşüşlerinde yağışların günümüze kıyasla daha yüksek olduğunu hesaplamıştır. Buna ek olarak, Türkiye'nin güneyinde yer alan Geyik Dağları'ndaki sirklerin boyutlarının nispeten daha yüksek olduğu ( $L = 625$  m,  $W = 480$  m,  $H = 266$  m) ve sirk minimum yükseltilerinin ortalama 2234 m olduğu belirlenmiştir (Çılgın vd., 2024).

Sirk taban yükseltilerinin karşılaştırılmasının yanı sıra, Türkiye'nin diğer bölgelerinden elde edilen pELA değerleriyle Kolat (Çakırgöl) Dağı'nın pELA değerlerinin karşılaştırması yapıldığında, SBM sırasında Türkiye'nin güneybatısında pELA değerleri 2000–2400 m gibi düşük seviyelere inerken, Doğu Karadeniz Dağları'nda bu değerlerin Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda 2624–2635 m aralığında değiştiği görülmektedir (Sarıkaya vd., 2008; Allen vd., 2008; Bayrakdar vd., 2017; Keserci vd., 2023; Bayrakdar vd., 2024). Ayrıca, bu çalışmada kullanılan 0,58 değerine en yakın oran olan 0,6

AAR'a göre tahmin edilen pELA değerleri Verçenik için 2850 m, Başyayla için 2910 m ve Kavron için 2780 m olarak belirlenmiştir (Akçar vd., 2017). Reber vd. (2022) Barhal paleobuzulunun SBM pELA değerini AAR yöntemini kullanarak (0,67 AAR oranı) 2900 m olarak hesaplamışlardır. Düşük pELA'ların artan nem koşullarına işaret ettiği ve yüksek nem kanıtlarıyla desteklendiği bu dağ kuşaklarının aksine, bu çalışmanın sonuçları farklı bir nem ortamına işaret etmektedir. Doğu Karadeniz Dağları'ndaki görece yüksek pELA'lar, bu bölgede buzullaşmanın esas olarak sıcaklık kontrollü olduğunu ve yağışın büyük olasılıkla günümüz değerlerinden daha düşük olduğuna dair bir işaret olarak yorumlanabilir.

Bu bulgu, önceki sınırlı ve tekil değerlendirmelere kıyasla, bölgesel buzullaşma koşullarının daha bütüncül ve temsil edici biçimde yorumlanmasına olanak sağlamaktadır. Buna bağlı olarak, hesaplanan pELA değerleri kullanılarak gerçekleştirilen paleoiklimsel değerlendirmeler, günümüze göre daha düşük sıcaklıkları ve daha az yağışları ön görmektedir. Denizel kayıtlar, oksijen ( $\delta^{18}O$ ) ve karbon ( $\delta^{13}C$ ) izotop verileri ile bölgesel iklim modeli simülasyonları, SBM sırasında Karadeniz Bölgesi'nde hem sıcaklıkların hem de yağışların günümüz koşullarına kıyasla daha düşük olduğunu tutarlı bir şekilde ortaya koymaktadır. Literatürde, SBM döneminde Doğu Karadeniz Bölgesi için bildirilen sıcaklık düşüşleri genellikle yaklaşık -8,5 °C ile -13,5 °C arasında değişmektedir. Polen temelli rekonstrüksiyonlar bu bölge için yaklaşık -8,5 °C'lik bir sıcaklık düşüşü öne sürerken, HadCM3 bölgesel iklim modeli yaklaşık -11 °C'lik bir azalmaya işaret etmektedir (Peyron vd., 1998; Tarasov vd., 1999; Allen vd., 2007; Allen vd., 2008). Buzul-jeolojik kanıtlarla desteklenen rekonstrüksiyonlar ise daha büyük sıcaklık düşüşlerini göstermektedir; HadCM3 tabanlı buzul-jeolojik yaklaşımlar yaklaşık -11 °C'lik bir azalma önerirken, polenle desteklenen buzul-jeolojik rekonstrüksiyonlar -13,5 °C'ye kadar ulaşan düşüşler bildirmektedir (Peyron vd., 1998; Tarasov vd., 1999; Allen vd., 2007; Allen vd., 2008). Buna ek olarak, Allen vd. (2007), Doğu Karadeniz Bölgesinde SBM koşulları altında buzul oluşumunun sağlanabilmesi için HadCM3 modeline kütle dengesi temelli sıcaklık anomali

düzeltilmeleri uygulamış ve gerekli ortalama sıcaklık düşüşlerinin  $-12,0$  °C ile  $-14,5$  °C arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Bölgesel iklim değişimine ilişkin bu sonuçlar, SBM sırasında ortalama sıcaklıkların günümüz değerlerinden yaklaşık  $6-10$  °C daha düşük olduğunu bildiren Sanchi vd. (2014) tarafından da desteklenmektedir.

Hidroklimatik koşullara ilişkin bağımsız kanıtlar da SBM döneminde daha soğuk ve daha kurak bir iklim rejimini işaret etmektedir. Fleitmann vd. (2009), Karadeniz bölgesindeki Zonguldak ilinde yer alan Sofular Mağarası'ndan elde edilen  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^{13}C$  izotop kayıtlarını çok sayıda bölgesel ve küresel mağara oluşumu ile polen kaydıyla karşılaştırmış ve Karadeniz'in SBM sırasında nem kaynağı olmayı sürdürmesine rağmen, yağışların günümüze kıyasla daha düşük olduğunu göstermiştir. SBM sırasında, buz tabakalarının genişlemesi ve buna bağlı olarak Sibirya Yüksek Basınç Sistemi'nin güçlenmesi, atmosferik dolaşımı önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu değişim, Atlantik ve Akdeniz kaynaklı nem taşıyan sistemlerin Karadeniz Bölgesi'ne erişimini sınırlandırmış, bunun yerine bölgenin daha kuru ve daha soğuk hava kütlelerinin etkisi altına girmesine neden olmuştur (Ünal-İmer vd., 2015; Matthews vd., 2021; Held vd., 2025). Bu durum sonucunda SBM sırasında Karadeniz, günümüzde olduğu gibi önemli bir nem kaynağı olmaktan çıkmış; kuzeyden gelen soğuk hava istilaları deniz yüzeyinde buzlanmayı artırarak buharlaşmayı sınırlandırmıştır. Bu durum, Karadeniz kaynaklı orografik yağışları büyük ölçüde azaltmış ve Doğu Karadeniz Dağları'nda soğuk ancak kuru koşulların hâkim olmasına neden olmuştur (Sarıkaya, 2009). Ek olarak, Sofular Mağarası'ndaki akışkan kapanımlarında (fluid inclusions) kaydedilen son derece düşük  $\delta^{18}O$  değerleri, yağışın kaynak bölgesinin yalnızca çok soğuk olduğunu değil, aynı zamanda bölgeye ulaşan toplam yağış miktarında da olası bir azalmaya işaret etmektedir. Buzul dönemine ait yüksek döteryum fazlası (d-excess) değerleri Karadeniz yüzeyi üzerindeki bağıl nemin daha düşük olduğunu desteklemekte ve bu koşullar altında daha kurak şartların hâkim olduğunu doğrulamaktadır (Held vd., 2025). Bu çalışmada, bu vekil verilere bağlı pELA temelli paleoiklim senaryolarına  $5$  ile  $15$  °C sıcaklık düşüşleri

uygulandığında, günümüze göre  $-12,7$  °C ile  $-14,7$  °C arasındaki sıcaklık düşüşlerinin, SBM için bağımsız olarak sınırlandırılmış sıcaklık aralığıyla uyumlu olduğu ve aynı zamanda yağışlardaki beklenen azalmaları en gerçekçi biçimde yansıttığı sonucuna varılmıştır. Sibirya Yüksek Basınç Sistemi'nin güçlenmesi ve Atlantik ile Akdeniz kaynaklı nem taşıyan sistemlerin zayıflaması gibi SBM koşulları, bölgedeki ani yükselti artışı ile yamaç eğimi ve yönü gibi topoğrafik faktörlerle birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye'nin diğer bölgelerine kıyasla bölgenin SBM sırasında daha düşük sıcaklıklara maruz kalmış olabileceği öngörülmektedir. Bu durum, Doğu Karadeniz Dağları'nda SBM'de günümüz koşullarına kıyasla daha soğuk ve daha kurak bir iklimin egemen olduğunu ve bu bölgenin kendine özgü nem rejimini yansıttığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmadaki P-T rekonstrüksiyonları, bölgesel vekil kayıtlarla tutarlı olup, Doğu Karadeniz Dağları'nda günümüz koşullarına kıyasla yaklaşık %37 ve %39'luk yağış azalmalarına karşılık gelen yağış değerleri öngörmektedir.

## 5. SONUÇ

Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda buzullaşmanın jeomorfolojik izleri ayrıntılı olarak haritalandırılmış ve literatürün aksine, kütlelerin kuzey yamaçlarında gelişmiş on bir sirk ve altı buzul vadisi tespit edilmiştir. Buna karşılık, güney yamaçlarda herhangi bir sirk veya buzul vadisi belirlenememiştir. Bu dağılım, buzullaşmanın kuzey yamaçlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Rekonstrüksiyonlara dayalı olarak buzulların ortalama kalınlıklarının  $94$  m'ye eriştiği ve pELA değerlerinin ise  $2624-2635$  m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Türkiye'nin diğer bölgeleriyle yapılan karşılaştırmalar, Doğu Karadeniz Dağları'ndaki görece yüksek pELA değerlerinin, bu bölgede buzullaşmanın nemden ziyade sıcaklık tarafından kontrol edildiğini ve buzullaşma sırasında yağışların günümüz değerlerinden daha düşük olduğunu düşündürmektedir. Bu bağlamda pELA temelli paleoiklim senaryoları, denizel ve karasal vekil kayıtlar ile bölgesel iklim modeli sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde, Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda günümüze kıyasla yaklaşık  $-12,7$  °C ile  $-14,7$  °C

arasında değişen sıcaklık düşüşlerinin ve buna eşlik eden %37-%39'luk yağış azalmasının en olası koşullar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, Doğu Karadeniz Dağları'nın SBM sırasında soğuk fakat göreceli olarak kurak bir iklim rejimi altında buzullaştığını ve bölgenin kendine özgü hidroklimatik karakterinin bu dönemde de belirleyici olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma Kolat (Çakırgöl) Dağı için ilk ayrıntılı buzul rekonstrüksiyonlarını ve buna dayalı paleoiklim yorumlarını sunarak, Doğu Karadeniz Dağları'ndaki Geç Kuvaterner buzullaşmalarının mekânsal farklılıklarının ve iklimsel denetimlerinin anlaşılmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulguların, gelecekte bölgesel ölçekte yapılacak karşılaştırmalı paleobuzul ve paleoklimatoloji çalışmalarına sağlam bir referans çerçevesi oluşturması beklenmektedir.

Kolat (Çakırgöl) Dağı'nda morenlerin morfolojik olarak iyi korunmuş olması ve morfolojik şekli, söz konusu buzullaşmanın SBM ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Ancak morenlerin oluşum zamanlarının kesin olarak belirlenebilmesi ve buzullaşma evrelerinin güvenilir biçimde ayrıştırılabilmesi için kozmojenik yüzey yaşlandırması gibi mutlak tarihlendirme yöntemlerine dayalı ileri çalışmalara ihtiyaç vardır. Gelecekte gerçekleştirilecek jeokronolojik çalışmalar, bu alandaki buzullaşmanın zamanlamasını netleştirerek pELA temelli paleoiklim rekonstrüksiyonlarının kronolojik bağlamını güçlendirecek ve bölgesel buzullaşma senaryolarının daha sağlam bir şekilde test edilmesine olanak sağlayacaktır.

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, birinci yazarın hazırlamakta olduğu doktora tez çalışmasından üretilmiştir. Çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 1001 Programı (Proje No. 122Y360) ve 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı ile İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No. 40901) tarafından desteklenmiştir. İlk yazar, doktora çalışmaları sırasında sağladığı destek için TÜBİTAK 2214-A Doktora Sırası Araştırma Burs

Programına teşekkür eder. Ayrıca yazarlar, stereoskopik hava fotoğraflarının işlenmesi sırasında verdiği katkılardan dolayı Furkan KARABACAK'a ve makalenin geliştirilmesinde sağladıkları katkılardan dolayı hakemlere teşekkür eder.

## KAYNAKÇA

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ. E., Balcı, V., Bilginer, E., ... & Yurtsever, A. (2011). 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye. <https://yerbilimleri.mta.gov.tr/referans.asp>
- Akçar, N., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Kubik, P. W., Vardar, M., & Schlüchter, C. (2007). Paleoglacial records from Kavron Valley, NE Turkey: field and cosmogenic exposure dating evidence. *Quaternary International*, 164, 170-183. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.12.020>
- Akçar, N., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Kubik, P. W., Vardar, M., & Schluchter, C. (2008). A Case for a down wasting mountain glacier during the Termination-I, Verçenik Valley, NE Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 23, 273-285. <https://doi.org/10.1002/jqs.1144>
- Akçar, N., Yavuz, V., Yeşilyurt, S., Ivy-Ochs, S., Reber, R., Bayrakdar, C., ... & Schlüchter, C. (2017). Synchronous last glacial maximum across the Anatolian peninsula. *Quaternary Glaciation in the Mediterranean Mountains*, 433, 251-269. <https://doi.org/10.1144/sp433.7>
- Allen, R. J., Siegert M. J., & Payne, T. (2007). Reconstructing glacier based climates of LGM Europe and Russia II: A dataset of LGM precipitation/temperature relations derived from degreeday modelling of palaeo glaciers, *Clim. Past Discuss.*, 3, 1167-1198. <https://doi.org/10.5194/cp-4-249-2008, 2008>
- Allen, R., Siegert, M. J., & Payne, A. J. (2008). Reconstructing glacier-based climates of LGM Europe and Russia-Part 3: Comparison with previous climate reconstructions. *Climate of the Past*, 4(4), 265-280. <https://doi.org/10.5194/cp-4-265-2008>
- Ballantyne, C. K. (2007). The Loch Lomond Readvance on north Arran, Scotland: glacier reconstruction and palaeoclimatic implications. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 22(4), 343-359. <https://doi.org/10.1002/jqs.1059>
- 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., & Özdemir, H. (2010). Kaçkar Dağı'nda bakı faktörünün glasiyal ve periglasiyal topografya gelişimi üzerindeki etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (54), 1-13.  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/article/227801>
- Bayrakdar, C., Çılğın, Z., & Sarış, F. (2017). Karadağ'da Pleyistosen Buzullaşmaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60(4), 451-469.  
<https://doi.org/10.25288/tjb.360610>
- Bayrakdar, C. (2023). Kuşak Dağı'nda (Batı Toroslar) Kuvaterner buzullaşmaları ve eski buzulların morfometrisi. Istanbul University Press.
- Bayrakdar, C., Çılğın, Z., Sarış, F., Yeşilyurt, S., Keserci, F., Büyükdeniz, Y., Halis, O., .... & Akçar, N. (2024). Late pleistocene glacial history of Mount Karadağ, SW Türkiye. *Geomorphology*, 467, 109467.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109467>
- Benn, D. I., & Lehmkuhl, F. (2000). Mass balance and equilibrium-line altitudes of glaciers in high-mountain environments. *Quaternary International*, 65, 15-29.  
[https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(99\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(99)00034-8)
- Benn, D. I., & Ballantyne, C. K. (2005). Palaeoclimatic reconstruction from Loch Lomond readvance glaciers in the west Drumochter Hills, Scotland. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 20(6), 577-592.  
<https://doi.org/10.1002/jqs.925>
- Beret, B. (1956). Çakırğöl Dağında glasiyal izler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (15-16), 115-125.
- Bilgin, T. (1969). Gavur Dağı Kütlesinde Glasiyal ve Periglasiyal Topografya Şekilleri. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Cañadas, E. S., & Trueba, J. G. (2004). El método AAR para la determinación de paleo-ELAs: Análisis metodológico y aplicación en el Macizo de Valdecebollas (Cordillera Cantábrica). *Cuadernos de investigación geográfica*, 30, 7-34.  
<https://doi.org/10.18172/cig.1133>
- Candaş, A., Sarıkaya, M. A., Köse, O., Şen, Ö. L., & Çiner, A. (2020). Modelling Last Glacial Maximum ice cap with the Parallel Ice Sheet Model to infer palaeoclimate in south-west Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 35(7), 935-950.  
<https://doi.org/10.1002/jqs.3239>
- Cogley, J. G., Arendt, A. A., Bauder, A., Braithwaite, R. J., Hock, R., Jansson, P., Kaser, G., Moller, M., Nicholson, L., Rasmussen, L. A., & Zemp, M. (2010). Glossary of glacier mass balance and related terms. (IHP-VII Technical Documents in Hydrology). International Hydrological Programme.
- Çılğın, Z. (2020). 3D surface modeling of Late Pleistocene Glaciers in the Munzur Mountains (Eastern Turkey) and its paleoclimatic implications. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(5), 714-732.  
<https://doi.org/10.3906/yer-1905-18>
- Çılğın, Z., Evans, I. S., Keserci, F., Canpolat, E., & Bayrakdar, C. (2024). Morphometric characteristics of glacial cirques and former glaciers in the Geyik Mountains, Western Taurus, Türkiye. *Geomorphology*, 467, 109474.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109474>
- Çılğın, Z. (2025). Karasakal Dağları'nda Pleyistosen buzullaşmaları: 3B buzul modellemesi, sirk morfometrisi ve paleo-iklimsel çıkarımlar. *Türk Coğrafya Dergisi*, (88), 121-136.  
<https://doi.org/10.17211/tcd.1800844>
- Cui, H., Badingquiyang & Mou, H. (2022). Little Ice Age climate inferred from glacier-climate modeling: A case study of Gurla Mandhata, southwestern Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 598, 111034.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111034>
- Dede, V. (2009). Çadır Dağı'nın Buzul Jeomorfolojisi (Yalnızçam Dağları-Artvin) (Tez no: 257319), [Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi]. Yök Tez Merkezi.
- Dede, V. (2016). Karçal Dağları'nın Buzul Jeomorfolojisi ve <sup>36</sup>Cl Kozmojenik Jeokronolojisi (Tez no: 445831), [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi]. Yök Tez Merkezi.
- Dede, V., Çiçek, I., Sarıkaya, M. A., Çiner, A., & Uncu, L. (2017). First cosmogenic geochronology from the Lesser Caucasus: Late Pleistocene glaciation and rock glacier development in the Karçal Valley, NE Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 164, 54-67.  
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.03.025>
- Doğru, A. F., Somuncu, M., Çiçek, I., Tunçel, H., & Gürgen, G. (1993). Kaçkar dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 36(1-2), 53-78.  
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2153048>
- Doğru, A. F., Çiçek, İ., Gürgen, G., Tunçel, H., & Somuncu, M. (1994). Göller (Hunut) Dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 3, 192-218.
- Doğru, A. F., Çiçek, I., Gürgen, G., & Tunçel, H. (1996). Üçdoruk (Verçenik) Dağı'nda buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi, Türkiye*

- Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi,5, 29-51.
- Doğu, A. F., Gürgen, G., Tunçel, H., & Çiçek, I. (1997). "Bulut-Altıparmak dağlarında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm", Ankara Üniversitesi, Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, 6,63-91.
- Doğu, A. F., Çiçek, İ., & Gürgen, G. (2000). Demirkapı Dağı ve Uzungöl çevresinin jeomorfolojisi. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı I, (pp.387-399). Ankara.
- Erinç, S. (1944). Doğu Karadeniz Dağlar'ında Glasyal Morfoloji Araştırmaları. İ.Ü Coğrafya Enstitüsü Doktora Tezleri Serisi, 1, İstanbul.
- Erinç, S. (1949). Kaçkar Dağı Grubunda Diluvial ve Bugünkü Glasiyasyon. İÜ Fen Fakültesi Mecmuası B, 14/3, 243-245, İstanbul.
- Erinç, S. (1984). Klimatoloji ve metotları, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Yayınları, İstanbul.
- Evans, I. S., & Cox, N. (1974). Geomorphometry and the operational definition of cirques. *Area*, 150-153. <https://www.jstor.org/stable/20000855>
- Evans, I. S., & Cox, N. J. (2017). Comparability of cirque size and shape measures between regions and between researchers. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 61(Suppl 2), 81-103.
- Evans, I. S. (2021). Glaciers, rock avalanches and the 'buzzsaw'in cirque development: Why mountain cirques are of mainly glacial origin. *Earth Surface Processes and Landforms*, 46(1), 24-46. <https://doi.org/10.1002/esp.4810>
- Evans, I. S., Çilğın, Z., Bayrakdar, C., & Canpolat, E. (2021). The form, distribution and palaeoclimatic implications of cirques in southwest Turkey (Western Taurus). *Geomorphology*, 391, 107885. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107885>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Gürgen, G. (2001). Karadağ (Gümüşhane) çevresinin glasyal morfolojisi ve turizm potansiyeli. AÜ Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, 8, 109-131.
- Gürgen, G. (2003). Çapans Dağları Kuzeyinin Rize Glasyal Morfolojisi. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23(3), 159-175. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gefad/article/90954>
- Gürgen, G. (2006). Üçdoruk-Dilek Dağları Güneyinin Glasyal Morfolojisi. Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(2), 67-82. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000069](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000069)
- Gürgen, G. (2009a). Anzer-Kemer-Orsor Dağları kuzeyinin (Rize) glasyal morfolojisi. *Nature Sciences*, 4(4), 175-190. <https://dergipark.org.tr/en/pub/nwsanature/article/130557>
- Gürgen, G. (2014). Verçenik Dağı Buzulları (Rize), Ankara Üniversitesi, VIII. Ulusal Coğrafya Sempozyumu (TÜCAUM), Bildiriler Kitabı, 73-86, Ankara.
- Gürgen, G. (2009b). Altıparmak Dağları kuzeydoğusunun glasyal morfolojisi. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 29(2), 311-331. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gefad/article/90673>
- Gürgen, G., & Yeşilyurt, S. (2012). Karçal Dağı Buzulları, Artvin (Karçal Mountain Glaciers, Artvin-Turkey). *Coğrafi Bilimler Dergisi/Turkish Journal of Geographical Sciences*, 10(1), 91-104. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3394211>
- Held, F., Cheng, H., Edwards, R. L., Kipfer, T., Tüysüz, O., Koç, & K. Fleitmann, D. (2025). Hydrological variability in the Black Sea region during the last 670,000 years recorded in multi-proxy speleothem records from northern Türkiye. *Quaternary Science Reviews*, 367, 109534. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2025.109534>
- Heyman, B. M., Heyman, J., Fickert, T., & Harbor, J. M. (2013). Paleo-climate of the central European uplands during the last glacial maximum based on glacier mass-balance modeling. *Quaternary Research*, 79(1), 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2012.09.005>
- Kaldırım, B. (2023). Ovit Vadisi'nin glasyal ve periglasyal jeomorfolojisi; güncel veri ve yöntemler ışığında bir değerlendirme (Tez no: 918066), [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi] Yök Tez Merkezi.
- Karaca, M., Deniz, A., & Tayanç, M. (2000). Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(10), 1225-1236. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(200008\)20:10<1225::AID-JOC535>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1097-0088(200008)20:10<1225::AID-JOC535>3.0.CO;2-1)
- Kern, Z., & László, P. (2010). Size specific steady-state accumulation-area ratio: an improvement for equilibrium-line estimation of small palaeoglaciers. *Quaternary Science Reviews*, 29(19-20), 2781-2787. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.06.033>
- Kerschner, H., Ivy-Ochs, S., & Schlüchter, C. (1999). Paleoclimatic interpretation of the early late-

- glacial glacier in the Gschnitz valley, Central Alps, Austria. *Annals of Glaciology*, 28, 135-140. <https://doi.org/10.3189/172756499781821661>
- Keserci, F., Bayraktar, C., ılğın, Z., & Evans, I. S. (2023). Modeling the form, distribution and paleoclimatic implications of former glaciers in the Teke Peninsula (Eastern Mediterranean, Turkey). *Geomorphology*, 431, 108683. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108683>
- Koçman, A. (1993). *Türkiye İklimi*, Ege niv. Edebiyat Fak. Yayın no 72.
- Krenek, L. (1932). "Gletscher im Pontischen Gebirge", *Zeitschrift fr Gletscherkunde* 20 (1-3): 129-131.
- Kurter, A., & Sungur, K. (1991). *Glaciers of Middle East and Africa-Glaciers of Turkey*. Satellite image atlas of the World. USGS Professional Paper, 1386.
- Li, Y. (2023). Palaeolce: An automated method to reconstruct palaeoglaciers using geomorphic evidence and digital elevation models. *Geomorphology*, 421, 108523. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108523>
- Li, Y., Evans, I. S., Spagnolo, M., Pellitero, R., Barr, I. D., & Ely, J. C. (2024). ACME2: an extended toolbox for automated cirque metrics extraction. *Geomorphology*, 445, 108982. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108982>
- Li, Y., Zhao, Z., & Evans, I. S. (2023). Cirque morphology and palaeo-climate indications along a south-north transect in High Mountain Asia. *Geomorphology*, 431, 108688. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108688>
- Lukas, S. (2007). Early-Holocene glacier fluctuations in Krundalen, south central Norway: palaeoglacier dynamics and palaeoclimate. *The Holocene*, 17(5), 585-598. <https://doi.org/10.1177/0959683607078983>
- Matthews, A., Affek, H. P., Ayalon, A., Vonhof, H. B., & Bar-Matthews, M. (2021). Eastern Mediterranean climate change deduced from the Soreq Cave fluid inclusion stable isotopes and carbonate clumped isotopes record of the last 160 ka. *Quaternary Science Reviews*, 272, 107223. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107223>
- Messerli, B. (1967). Die eiszeitliche und die gegenwrtige Vergletscherung im Mittelmeerraum. *Geographica Helvetica*, 22(3), 105-228.
- Meierding, T. C. (1982). Late Pleistocene glacial equilibrium-line altitudes in the Colorado Front Range: a comparison of methods. *Quaternary research*, 18(3), 289-310. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(82\)90076-X](https://doi.org/10.1016/0033-5894(82)90076-X)
- Ocak, A. (2017). *Demirkapı Dağı'nda (Trabzon) Buzul Jeomorfolojisi Araştırmaları* (Tez no: 466062), [Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Őeyh Edebalı Üniversitesi] Yk Tez Merkezi.
- Ohmura, A., Kasser, P., & Funk, M. (1992). Climate at the equilibrium line of glaciers. *Journal of Glaciology*, 38(130), 397-411. <https://doi.org/10.3189/S002214300002276>
- Ohmura, A., & Boettcher, M. (2018). Climate on the equilibrium line altitudes of glaciers: theoretical background behind Ahlmann's P/T diagram. *Journal of Glaciology*, 64(245), 489-505. <https://doi.org/10.1017/jog.2018.41>
- Oien, R. P., Rea, B. R., Spagnolo, M., Barr, I. D., & Bingham, R. G. (2022). Testing the area–altitude balance ratio (AABR) and accumulation–area ratio (AAR) methods of calculating glacier equilibrium-line altitudes. *Journal of Glaciology*, 68(268), 357-368. <https://doi.org/10.1017/jog.2021.100>
- Okay, A.I., & Őahintrk, O. (1997). Geology of the eastern Pontides. In: Robinson, A.G. (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*, AAPG Memoir. 68, 291–311. <https://doi.org/10.1306/M68612C15>
- Osmaston, H. (2005). Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area× Altitude, the Area× Altitude Balance Ratio and the Area× Altitude Balance Index methods and their validation. *Quaternary International*, 138, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.02.004>
- Pellitero, R. (2013). Lateglacial evolution of Fuentes Carrionas massif (Cantabrian Range), palaeoenvironmental and chronological estimations. *Cuatern. Geomorfol*, 27(1-2), 71-90.
- Pellitero, R., Rea, B. R., Spagnolo, M., Bakke, J., Hughes, P., Ivy-Ochs, S., & Ribolini, A. (2015). A GIS tool for automatic calculation of glacier equilibrium-line altitudes. *Computers & 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., & Renssen, H. (2016). GlaRe, a GIS tool to reconstruct the 3D surface of palaeoglaciers. *Computers & Geosciences*, 94, 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.06.008>
- Peyron, O., Guiot, J., Cheddadi, R., Tarasov, P., Reille, M., de Beaulieu, J. L., & Andrieu, V. (1998). Climatic reconstruction in Europe for 18,000 yr BP from pollen data. *Quaternary research*, 49(2), 183-196. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1961>

- Planhol, X. D., & Bilgin, T. (1961). Karagöl kütlesi üzerinde Pleistosen ve aktüel glasyasyon ile periglasyal topoğrafya şekilleri. *İst. Üniv. Coğ. Enst. Der.*, 6(12), 127-146.
- Rea, B. R. (2009). Defining modern day Area-Altitude Balance Ratios (AABRs) and their use in glacier climate reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, 28(3-4), 237-248. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.10.011>
- Reber, R., Akçar, N., Yesilyurt, S., Yavuz, V., Tikhomirov, D., Kubik, P. W., & Schlüchter, C. (2014). Glacier advances in northeastern Turkey before and during the global Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 101, 177-192. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.07.014>
- Reber, R., Akçar, N., Tikhomirov, D., Yesilyurt, S., Vockenhuber, C., Yavuz, V., & Schlüchter, C. (2022). LGM glaciations in the northeastern anatolian mountains: new insights. *Geosciences*, 12(7), 257. <https://doi.org/10.3390/geosciences12070257>
- Sanchi, L., Ménot, G., & Bard, E. (2014). Insights into continental temperatures in the northwestern Black Sea area during the Last Glacial period using branched tetraether lipids. *Quaternary Science Reviews*, 84, 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.11.013>
- Sarikaya, M. A., Zreda, M., Çiner, A., & Zweck, C. (2008). Cold and wet Last Glacial Maximum on Mount Sandıras, SW Turkey, inferred from cosmogenic dating and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, 27(7-8), 769-780. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.01.002>
- Sarikaya, M. A., Candaş, A., Ege, İ., & Wilcken, K. M. (2025). Geochronology and ice-flow modelling of the Late Quaternary glaciers on Mt. Soğanlı, Türkiye. *Journal of Quaternary Science*, 40(1), 71-85. <https://doi.org/10.1002/jqs.3660>
- Sarikaya, M. A. (2009). Late Quaternary glaciation and paleoclimate of Turkey inferred from cosmogenic <sup>36</sup>Cl dating of moraines and glacier modeling. [PhD thesis] The University of Arizona.
- Sarış, F., Hannah, D. M., & Eastwood, W. J. (2010). Spatial variability of precipitation regimes over Turkey. *Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques*, 55(2), 234-249. <https://doi.org/10.1080/02626660903546142>
- 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.
- Stansell, N. D., Polissar, P. J., Abbott, M. B. (2007). Last glacial maximum equilibrium-line altitude and paleo-temperature reconstructions for the Cordillera de Mérida, Venezuelan Andes. *Quaternary Research*, 67(1), 115-127. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.07.005>
- Şimşek, M., Öztürk, M. Z., Yeşilyurt, S., & Utlı, M. (2023). Morphometric characteristics and paleogeographic implication of glacial cirques in Eastern Black Sea Mountains (Türkiye). *Geomorphology*, 441, 108889. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108889>
- Tarasov, P. E., Peyron, O., Guiot, J., Brewer, S., Volkova, V. S., Bezusko, L. G., & Panova, N. K. (1999). Last Glacial Maximum climate of the former Soviet Union and Mongolia reconstructed from pollen and plant macrofossil data. *Climate Dynamics*, 15(3), 227-240.
- Turoğlu, H. (2009). Aksu Deresi havzası (Giresun) periglasyal sahasında kütle hareketleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (52), 41-54. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tcd/article/227823>
- Turoğlu, H. (2011). Buzullar ve Buzul Jeomorfolojisi. Çantay, İstanbul.
- Ünal-İmer, E., Shulmeister, J., Zhao, J. X., Tonguç Uysal, İ., Feng, Y. X., Duc Nguyen, A., & Yüce, G. (2015). An 80 kyr-long continuous speleothem record from Dim Cave, SW Turkey with paleoclimatic implications for the Eastern Mediterranean. *Scientific reports*, 5(1), 13560. <https://doi.org/10.1038/srep13560>
- Yağınlar, İ. (1951). Soğanlı-Kaçkar ve Mescit Dağı Silsilelerinin Glasyasyon Şekilleri. *İst. Üniv. Coğ. Ens. Der.* 2, 82-88.
- Yang, W. L., Han, Y. S., Peng, X., Ran, Z. Z., Liu, Q., & Liu, G. N. (2021). Paleoglacial and paleoclimate reconstructions during the global Last Glacial Maximum in the Longriba area, eastern Tibetan Plateau. *Journal of Mountain Science*, 18(2), 307-322. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6238-5>
- Yeşilyurt, S. (2025a). Derebaşı (Kaçkar Dağı) Kaya Buzulunun Jeomorfolojisi ve Kinematik Özellikleri. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 14, 74-96. <https://doi.org/10.46453/jader.1633480>
- Yeşilyurt, S. (2025b). The role of Little Ice Age glaciation in shaping the rock glacier morphology of Mount Kaçkar, Türkiye. *Med. Geosc. Rev.* 7, 485-506. <https://doi.org/10.1007/s42990-025-00160-y>
- Yeşilyurt, S. (2025c). Mescit-Dumlu Dağlarında Glasyal ve Periglasyal Yerşekillerinin Dağılışı ve Jeomorfolojik Özellikleri. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (15), 100-125. <https://doi.org/10.46453/jader.1768588>
- Zhang, H., Xu, X., Sun, Y., Li, J., & Xu, B. (2024). Reconstructions of Little Ice Age glaciers and climate in the Tanggula Mountains, central Tibet

Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 637, 112008.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.112008>

Zhao, X., Zhao, Z., Liu, J., Liu, Q., & Li, Y. (2022). Influences of multi-source and multi-resolution DEMs on glacier simulation in Mt. Noijin Kangsang. *Quaternary Sciences*, 42(4), 1181-1192.