



Geyik Dağı Üzerinde Yer Alan Glasiyal Sirkler ile Glasiyo-Karstik Dolinlerin Morfometrik Özellikleri ve Bunların Kuvaterner Kalıcı Kar Sınırı ile İlişkileri
Morphometric Characteristics of Glacial Cirques and Glacio-Karstic Dolines in Mount Geyik and Their Relation to Quaternary Equilibrium Line Altitudes

Muhammed Zeynel Öztürk^{1*} , Mesut Şimşek² , Mustafa Utlu³ 

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Niğde

² Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Hatay

³ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Burdur

• Geliş/Received: 01.05.2025 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 30.05.2025 • Kabul/Accepted: 02.06.2025
 • Çevrimiçi Yayın/Available online: 19.06.2025 • Baskı/Printed:

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Türkiye'deki dağlık alanların yüksek kesimleri Kuvaterner'in buzul dönemlerinde buzullaşmaya uğradığı için bu alanlarda buzul yer şekillerini yoğun olarak görmektedir ve bu yer şekilleri, dağlık alanlardaki eski buzullaşma koşullarını anlamamızı sağlar. Bu çalışmada, Orta Toroslar önemli karstik platolarından biri olan Geyik Dağı'ndaki sirklerin ve glasiyo-karstik dolinlerin özellikleri incelenmiş ve bu özellikler yardımıyla Kuvaterner buzullaşma dönemlerindeki eski kalıcı kar sınırının (pELA) dağılışı ortaya konmuştur. Haritalama çalışmalarına göre çalışma alanında 142 sirk ve 31 glasiyo-karstik dolin tespit edilmiştir. Bu yer şekillerinin taban yüksekliklerine göre çalışma alanındaki ortalama pELA 2185 m'dir. Ancak bu sınır tek bir seviyede olmayıp; kütlelinin uzanımı, yükseklik, denize göre konum ve toplam yağış gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. pELA yüksek karstik platonun kuzeye bakan kesimlerinde 2400 m'ye kadar çıkarken, batı ve güneybatıya doğru 2000 m ve altına düşmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Doğu Karadeniz ve Akdeniz kıyılarındaki dağlık alanların pELA sınırları arasında 630 m'lik bir yükseklik farkı bulunmaktadır. Sirk morfometrisi açısından ise, Doğu Karadeniz'deki sirkler Geyik Dağı'ndaki sirklerden iki kat daha geniş alana sahip olup ve derinlikleri 75 m daha fazladır. Bu sonuçlar ülkemiz kıyılarındaki dağlık alanların topografik ve iklimsel koşullarının pELA seviyeleri ve sirk morfometrilere üzerinde büyük bir etki yaptığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Buzul sirki, glasiyo-karstik dolin, pELA, Kuvaterner buzullaşması, Geyik Dağı.

Abstract: Since the high-altitude regions of Türkiye's mountainous areas were subjected to glaciation during the Quaternary glacial periods, glacial landforms are prominently developed and well-preserved in these landscapes. These landforms provide valuable insights into the paleoglacial conditions and environmental dynamics of past glaciation events in mountainous terrains. This study investigates the morphometric characteristics of cirques and glacio-karstic dolines on Mount Geyik, one of the key karstic plateaus within the Central Taurus Mountains. Based on the morphometric analyses, the spatial distribution of the paleo-Equilibrium Line Altitude (pELA) during the Quaternary glaciations was systematically reconstructed and interpreted. Mapping efforts identified 142 cirques and 31 glacio-karstic dolines within the study area. Using the floor altitudes of these landforms, the average pELA for the region was estimated at approximately 2185 m. However, this value does not represent a uniform level; rather, it varies as a function of several factors, including massif orientation, elevation, proximity to the sea, and total precipitation. Specifically, the pELA increases to ~2400 m in the north-facing sectors of the high karstic plateau, while it decreases to 2000 m or lower in the western and southwestern sections. These findings reveal a vertical

difference of up to 630 m between the pELA levels of mountainous regions along the Black Sea and Mediterranean Sea coasts. Regarding cirque morphometry, the cirques of the Eastern Black Sea Mountains exhibit surface areas approximately twice as large as those of Mount Geyik, and display depths exceeding Mount Geyik's cirques by an average of 75 m. Overall, the results underscore the significant influence of topographic and climatic variables on pELA variability and cirque morphometry across Türkiye's coastal mountain ranges.

Keywords: *Glacial cirque, glacio-karstic doline, pELA, Mount Geyik, Quaternary glaciation.*

GİRİŞ

Kuvaterner döneminde gerçekleşen buzullaşmalar, özellikle orta enlemlerdeki yüksek dağlık alanların şekillenmesinde belirleyici bir rol oynamıştır. Türkiye'nin dağlık alanlarında bu dönemlere ait buzullaşma izleri genellikle sirkler, moren sırtları ve buzul vadileri şeklinde gözlemlenir. Bu yer şekillerinin analizleriyle Kuvaterner'deki buzul süreçlerinin karakteristikleri belirlenebilmektedir (Sarıkaya vd., 2017; Şimşek vd., 2023; Çılğın vd., 2024). Bu şekiller arasında, çapı birkaç km'ye ulaşabilen ve yarım daire veya amfi tiyatro biçimli çanaklar biçiminde olan sirkler (Derbyshire ve Peterson, 1977; Şekil 1a), geçmiş buzullaşmaların en belirgin kanıtları arasındadır ve bu şekiller morfometrik özellikleriyle eski buzullaşma koşulları hakkında önemli veriler sunarlar (Evans, 1977; Evans vd., 2021; Mîndrescu vd., 2010; Şimşek vd., 2023; Çılğın vd., 2024; Soteris vd., 2025). Türkiye'nin güneyinde yaklaşık 1500 km boyunca kesintisiz bir dağ silsilesi oluşturan Toros Dağları üzerinde (Nazik vd., 2019) Kuvaterner buzul dönemlerine ait çok sayıda sirk bulunmaktadır (Çiner, 2003a; Çılğın, 2020; Öztürk vd. 2021; Evans vd., 2021). Ancak Toros Dağlarında buzullaşmaya uğramış alanların karstik kayalardan oluşmasıyla Anadolu'daki diğer buzullaşmış dağlık alanlardan ayrılmaktadır. Bu durum, bölgede buzullaşma alanlarında karstik ve buzul süreçlerin iç içe geçmesine neden olmuştur (Bayer Altın, 2003; Şimşek vd., 2019a). Bu alanların günümüzde periglasiyal koşullar altında olması da (Öztürk ve Taşoğlu, 2024), Toroslar'daki yüksek karstik platolardaki yer şekillerinin çok kökenli (polijenik) bir gelişim göstermesine neden olmuştur.

Karstlaşma ve buzullaşma süreçleri arasındaki bu etkileşim, literatürde “glasiyo-karst” “glasiyal karst” veya “buzullaşmış karst” olarak tanımlanmaktadır (Žebre vd., 2019; Žebre ve Stepišnik, 2016; Veress, 2023). Glasiyo-karstik alanlar hem karst jeomorfolojisi ve hidrolojisi hem de buzul aşınım ve birikim şekillerinin bir arada bulunduğu karmaşık morfodinamik sistemlerdir (Žebre ve Stepišnik, 2015; González-Gutiérrez vd., 2017). Glasiyo-karstik süreçler birçok polijenik yerşeklinin gelişmesini sağlar ve bunlardan bir tanesi de glasiyo-karstik dolinlerdir (Veress, 2017). Glasiyo-karstik dolinler ya da depresyonlar, günümüzde periglasiyal kuşak içindeki yüksek karstik platolarda bulunan, çapı birkaç km'ye ulaşabilen büyük ve derin çöküntülerdir (Smart, 1987; Žebre ve Stepišnik, 2015; Veress, 2023). Buzul dönemlerinde, kalıcı kar sınırı ya da denge hattı yüksekliği (equilibrium line altitude-ELA) üzerinde kalan bu dolinler, tıpkı bir sirk gibi işlev görerek içinde buzul gelişimini mümkün kılar. Vadilerdeki buzulların aksine, bu dolinler içindeki buzullar sınırlı hareket kabiliyetine sahiptir; ancak büyüme sürecinde anakayayı fiziksel olarak parçalayarak genişlemeye, erime evresinde ise kimyasal ayrışma yoluyla derinleşmeye neden olurlar (Veress ve Lóczy, 2019). Bu özellikleri sayesinde, çevresindeki diğer dolinlerden çok daha büyük boyutlara ulaşırlar ve “dev dolin” olarak adlandırılmaktadırlar (Veress, 2017).

Anadolu'da glasiyo-karstik süreçlerin en belirgin şekilde gözlemlendiği alanlardan biri Geyik Dağı'dır (Şimşek vd., 2019a; Altınay vd., 2020). Bu bölgede karstik ve buzul süreçler üzerine yapılan araştırmalar genellikle birbirinden bağımsız çalışmalar şeklinde gerçekleştirilmiştir

(Çiner vd., 2015; Sarıkaya vd., 2017; Şimşek vd., 2019b; Keserci vd., 2023; Çılğın vd., 2024). Ancak bu süreçleri kantitatif yöntemlerle bir arada değerlendiren kapsamlı ve bütüncül bir çalışma bugüne dek yapılmamıştır. Bu boşluğu doldurmayı amaçlayan bu çalışmada, Geyik Dağı'ndaki Kuvaterner buzullaşmalarına ait pELA yüksekliği, sirkler ve glasiyo-karstik dolinlerin özellikleri birlikte değerlendirilerek ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, buzullaşmaya uğramış karstik alanlarda glasiyo-karstik dolinlerin pELA sınırının belirlenmesinde önemli bilgiler sunduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca pELA'nın ülkemiz kıyılarındaki dağlık alanlarda nasıl bir farklılık gösterdiğini belirlemek için, sirklerin ve morfometrik özelliklerinin bu çalışmada kullanılan teknik ile belirlendiği tek dağ olan Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirk morfometrileri ile karşılaştırılmıştır. Bu

karşılaştırma daha yüksek, daha soğuk ve daha yağışlı bir kütlede neden pELA'nın daha yüksekte olduğu sorusunun cevabını ortaya koymaktadır.

ÇALIŞMA ALANI

Toros Dağları silsilesinin önemli bir bölümünü oluşturan ve en yüksek zirvesi 2.877 m'ye ulaşan Geyik Dağı üzerinde, Toros Dağları'nın en geniş karstik platolarından bir tanesi yer almaktadır. Litolojik açıdan büyük oranda çözünebilen karbonatlı birimlerden oluşan alanda, buzul sirkleri ve karstik şekiller, saflık derecesi %97 CaCO_3 ve üzeri olan, kalınlığı 800–1000 m arasında değişen otokton konumlu, orta kalın tabakalı Jura-Kretase neritik kireçtaşları üzerinde gelişmiştir (Monod, 1977; Şenel vd., 1998; Öztürk vd., 2018; Şimşek vd., 2019b).



Şekil 1. a) Çalışma alanından buzul sirkleri ve **(b)** glasiyo-karstik dolin örnekleri.

Figure 1. a) Glacial cirques and **(b)** glacio-karstic doline examples from the study area.

Çalışma alanı günümüzde periglasiyal morfo-klimatik bölge içerisinde konumlanmaktadır (Öztürk ve Taşoğlu, 2024; Şekil 2a). Toplam 1077 km²'lik bir alanı kapsayan çalışma sahasının %90,3'ü zayıf, %9,5'i orta, %0,2'si ise kuvvetli periglasiyal bölge sınırları içerisinde yer alır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan sirkler ve glasyo-karstik dolinler, günümüzde büyük oranda orta şiddetteki periglasiyal alanlar içerisinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 2b). Bununla birlikte periglasiyal kuşak içerisindeki çıplak kireçtaşları üzerinde, özellikle 1600-2400 m'leri arası yoğun şekilde çözünme dolinleriyle kaplıdır. Bu dolinler bölgedeki tektonik hatlara paralel olarak KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır (Şimşek vd., 2019b).

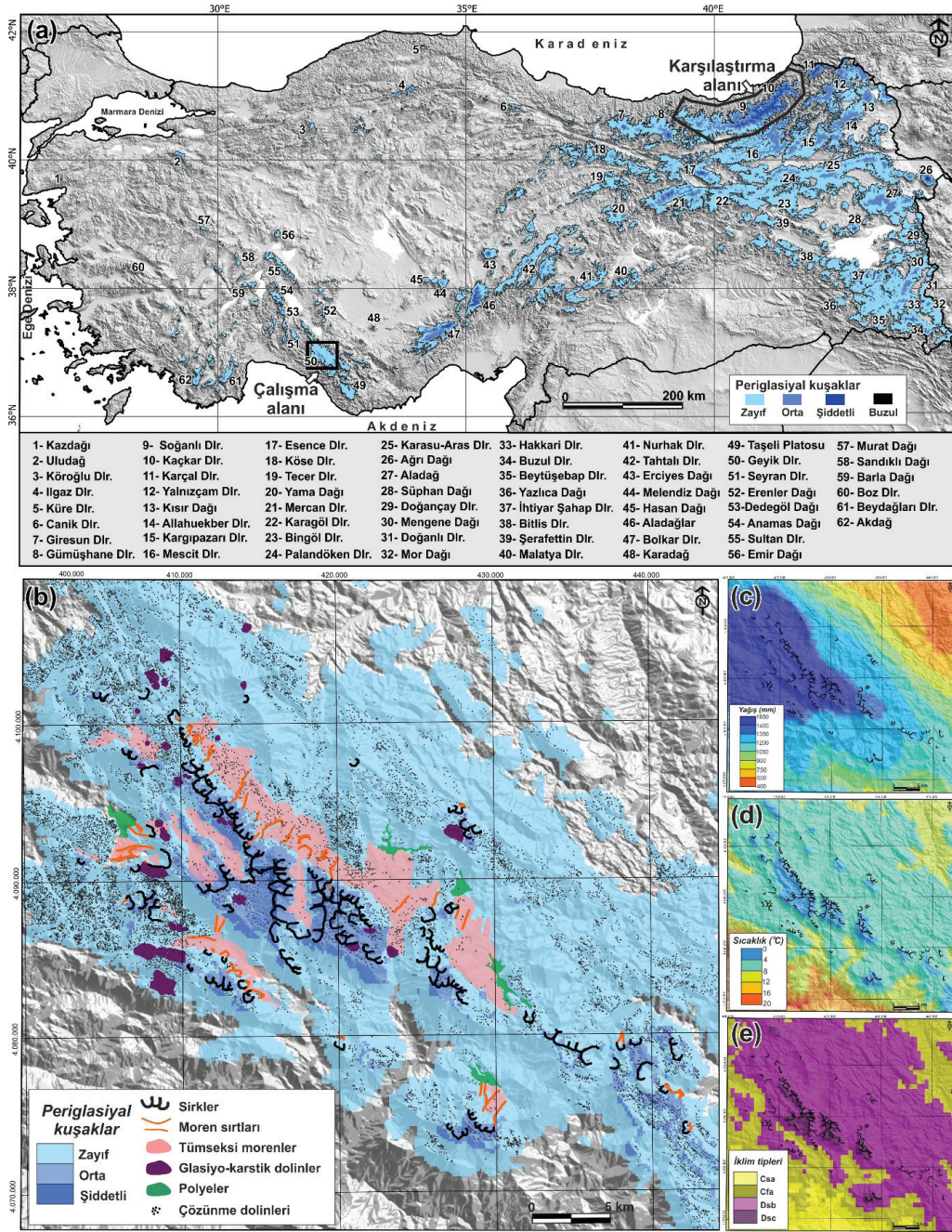
Orta Toroslar'daki en önemli buzullaşma alanlarından biri olan Geyik Dağı üzerinde buzul sirklerinin, moren sırtlarının, tümseksi morenlerin ve örtü buzullarının varlığını literatürde birçok çalışmayla ortaya koymuştur (Arpat ve Özgül, 1972; Çiner vd., 1999, 2003b; Çiner vd., 2015; Sarıkaya vd., 2017; Şimşek vd., 2019b; Keserci vd., 2023; Çılğın vd., 2024). Özellikle moren sırtları üzerinden yapılan analizler, Namaras, Susam, Çimi ve Güneycik buzul vadilerinde Geç Pleyistosen dönemi boyunca üç evreli bir buzul geri çekilmesinin yaşandığını ortaya koymuştur (Çiner vd., 2015). Buzul örtüsünün en fazla genişlediği dönem, yaklaşık 19,1 bin yıl ile 18 bin yıl önceye, yani Son Buzul Maksimumu'na tarihlenmektedir (Çiner vd., 2015; Sarıkaya vd., 2017). Tarihlendirme çalışmaları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli buzul rekonstrüksiyonları sayesinde, Geyik Dağı'ndaki en büyük buzul vadisi olan Namaras Vadisi'nde yaklaşık 75 km²'lik bir alanı kaplayan ve 400 m'ye ulaşan kalınlığa sahip bir piedmont buzulunun geliştiği tahmin edilmektedir (Çılğın vd., 2024).

Küresel iklim verilerinden CHELSA verilerinin (Karger vd., 2021) meteoroloji istasyonu verilerine göre düzenlenmiş değerlerine

göre (Taşoğlu vd., 2024) çalışma alanı içerisinde yıllık toplam yağış miktarı 600 mm ile 1.640 mm arasında değişmektedir. Sirklerin yoğunlaştığı kesimlerde ise bu değer 1.100 mm'nin üzerindedir (Şekil 2c). Yıllık ortalama sıcaklıklar 1 °C ile 9,1 °C arasında değişmekte olup, sirklerin yer aldığı alanlarda sıcaklık değerleri genellikle 5,5 °C'nin altındadır (Şekil 2d). Köppen-Geiger iklim sınıflamasına göre alanın büyük kısmı yaz mevsiminin sıcak ve kurak geçtiği Dsb tipi karasal iklim koşulları altında yer almakta, sirkler ise Dsb ile Dsc iklim tipleri arasındaki geçiş zonu boyunca sıralanmaktadır (Taşoğlu vd., 2024; Şekil 2e). Bu durum, sirklerin üst kesimleri ile tabanları arasında belirgin iklimsel farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.

VERİ VE YÖNTEM

Karst ve buzul jeomorfolojisine ait birimlerin yaygın olarak görüldüğü alanların jeomorfolojik gelişiminin yorumlanmasında yerşekillerine ait morfometrik hesaplamalar, analizler ve haritalamalar etkili birer araç olarak kullanılmaktadır (Evans ve Cox, 2015; Öztürk vd., 2018; Şimşek vd., 2023; Seven vd., 2025). Morfometrik analizler, karstlaşma ve buzullaşma özellikleri arasındaki bağlantıları bulmak için uygulanmakta ve jeomorfolojik gelişim hakkında hipotezlerin üretilmesini sağlamaktadır (Evans ve Cox, 1995; Şener ve Öztürk, 2019). Bu çalışmada da Geyik Dağı üzerindeki buzul sirkleri ve glasyo-karstik dolinlerin morfometrik özellikleri incelenmiş ve bu özelliklerden yola çıkarak dağlık alan üzerinde buzul dönemleri sırasındaki eski kalıcı kar sınırı (pELA) tespit edilmeye çalışılmıştır. Tespit edilen değerler Şimşek vd. (2023) tarafından aynı teknik ile belirlenen ve veri setinin açık erişim ile paylaşıldığı Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirk morfometrisi değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.a) Anadolu'daki periglasiyal alanların dağılışı (Öztürk ve Taşoğlu, 2024) ile çalışma alanı ve karşılaştırma alanının konumları. **b)** Çalışma alanı içerisindeki periglasiyal zonların, glasiyal ve karstik yer şekillerinin, **(c)** yıllık toplam yağışın, **(d)** yıllık ortalama sıcaklığın ve **(e)** Köppen-Geiger iklim tiplerinin dağılışı (yağış, sıcaklık ve iklim tipleri Taşoğlu vd., 2024'ten yeniden düzenlenmiştir).

Figure 2.a) Spatial distribution of periglacial zones in Anatolia (Öztürk and Taşoğlu, 2024), along with the locations of the study and comparison areas; **(b)** spatial distribution of periglacial zones, glacial, and karstic landforms within the study area; **(c)** total annual precipitation; **(d)** mean annual temperature; and **(e)** Köppen-Geiger climate classifications (precipitation, temperature, and climate data adapted from Taşoğlu et al., 2024).

Çalışmada Geyik Dağı'ndaki buzul sirkleri ve glasiyo-karstik dolinlerin tespiti ve morfometrik özelliklerinin belirlenmesinde 1/25.000 ölçekli topografya haritalarından üretilmiş 10 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) ve eğim haritası ile alana ait uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Haritalama çalışmalarının yanı sıra 2016-2018 döneminde alana birçok defa arazi çalışması gerçekleştirilmiştir.

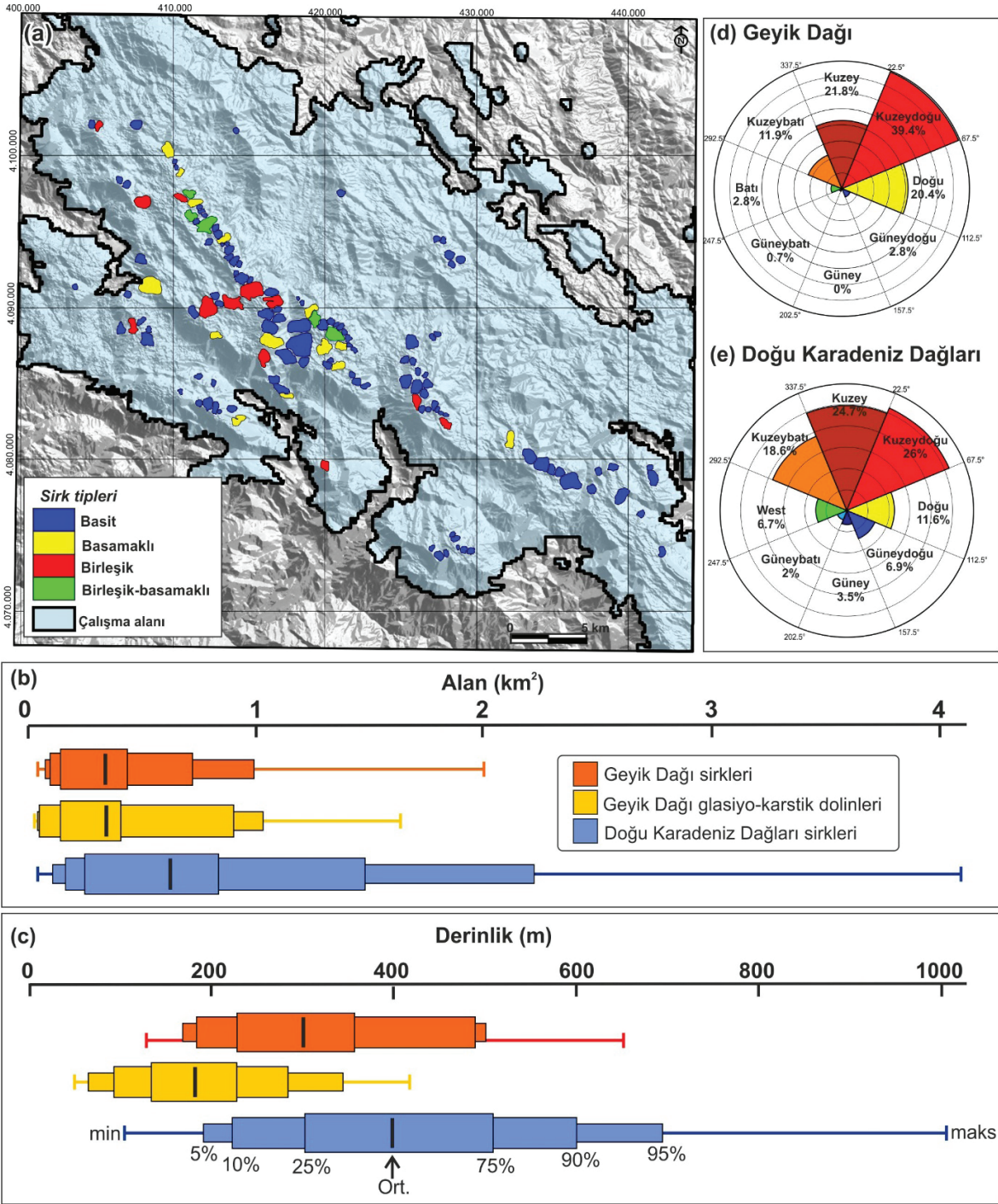
Sirk sınırı, sırtlar üstünde dış bükey gidişli izohipsler ile sirklerin içine doğru uzanan içbükey izohipslerin oluşturduğu sınır üzerinde eğimin 27° olduğu kesimler takip edilerek geçirilmiştir (Evans ve Cox 1995; Barr ve Spagnolo, 2015). Sirk eşiğinin belirgin olmadığı yerlerde, sirkin kavisli duvarlarının sonlandığı kesimden geçirilmek üzere sınır çizilmiştir. Tespit edilen sirkler morfolojik özelliklerine göre Evans (1977), Barr ve Spagnolo (2015) ile Şimşek vd. (2023) tarafından yapılan sınıflandırmaya uygun olarak tekil (basit), (b) basamaklı, (c) birleşik ve (d) birleşik-basamaklı sirkler olarak sınıflandırmıştır. Sirklerin tespit edilmesinin ardından her bir sirke ait yükseklik (m), derinlik (m), alan (km²) ve sirk yönelimi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu parametrelerin her biri buzullaşma koşulları hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Örneğin sirkin en yüksek noktası ile en alçak noktası arasındaki dikey mesafe olarak tanımlanan sirk derinliği buzulun erozyon kapasitesi yani buzulun dikey yönde ne kadar aşındırma yaptığı hakkında önemli bilgiler sunar (Křížek ve Mida, 2013). Buzul sirklerinin yönelimi (bakı), kar birikimi, güneş radyasyonu ve rüzgar gibi çevresel faktörlerle yakından ilişkilidir (Mindrescu vd., 2010; Evans, 1977). Kuzeye bakan sirkler, genellikle daha az güneş radyasyonu aldıkları için kar birikimi ve buzul oluşumu için daha uygun koşullara sahiptir (Şimşek vd., 2023). Sirklerin en alçak alanına karşılık gelen sirk taban yükseklikleri sirk morfometrisindeki en önemli parametredir ve pELA yüksekliklerinin

tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Meierding, 1982; Porter, 2000; Benn ve Lehmkuhl, 2000; Barr ve Spagnolo, 2015; Evans vd., 2021, Şimşek vd., 2023, Soteres vd., 2025; Telbisz vd., 2025). Bu çalışmada glasiyal sirlere ek olarak glasiyo-karstik dolinlerin de yükseklik, alan ve derinlik değerleri hesaplanarak sirkler ile karşılaştırılmıştır. Bu dolinlerin çiziminde genel olarak en üst kapalı kontur eğrisi ve eğim koşulları dikkate alınmıştır.

BULGULAR

Morfometrik özellikler

Haritalama çalışmaları sonucunda çalışma alanı içerisinde 142 adet sirk alanı 31 adet glasiyo-karstik dolin tespit edilmiştir. Sirklerin büyük bölümü (111 adedi, %78'i basit yani tekil sirk karakterindedir. Geriye kalan 31 adet sirk alanı ise birden fazla sirkin birleşmesiyle oluşan, birleşik, basamaklı ve birleşik-basamaklı sirk karakterindedir (Şekil 3a). Türkiye'nin en geniş buzullaşma alanı olan Doğu Karadeniz Dağları'nda ise sirklerin %68'i basit sirklerden oluşurken %32'si birden fazla sirkin birleşmesiyle oluşan sirk türlerindendir (Şimşek vd., 2023). Geyik Dağı'ndaki sirklerin ortalama alanı 0,34 km² olup, en geniş sirk 2 km² yüzey alanına ulaşmaktadır (Şekil 3b). Sirk tiplerine göre en küçük alan 0,27 km² ile basit sirlere ait iken, bileşik sirklerde 0,64 km²'ye, bileşik-basamaklı sirklerde ise 0,59 km²'ye çıkmaktadır. Çılğın vd. (2024) tarafından Geyik Dağı'ndaki 98 adet sirke göre ortalama sirk alanı 0,28 km² belirlenmiştir. Geyik Dağı'ndaki glasiyo-karstik dolinlerin ortalama alanı (0,36 km²) sirklerin ortalama alanına oldukça yakındır (Şekil 3b). Doğu Karadeniz Dağları'nda ise, ortalama sirk alanı 0,67 km² iken, basit sirkler ortalama 0,4 km², birleşik sirkler 0,9 km² ve bileşik-basamaklı sirklerde ise 1,77 km² alana çıkmaktadır (Şimşek vd., 2023).



Şekil 3.a) Çalışma alanında tespit edilen sirk türlerinin dağılışı. **b)** Geyik Dağı'ndaki sirk ve glasiyo-karstik dolinler ile Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirlere ait alan ve **(c)** derinlik değerlerine ait yüzdesel dağılımları ile **(d, e)** sirlere ait yönelimler.

Figure 3.a) Distribution of cirque types identified within the study area; **(b)** percentage distribution of surface areas; **(c)** depth measurements of cirques and glacio-karstic dolines; and **(d, e)** orientation patterns of cirques in Mount Geyik and the Eastern Black Sea Mountains.

Derinlik açısından Geyik Dağı sirkleri ortalama 302 m derinliğe sahiptir. Derinlik basit sirklerde 281 m iken basamaklı sirklerde 403 m'ye ulaşmaktadır. Çılğın vd. (2024) tarafından 98 adet sirke göre ise derinlik ortalama 319 m olarak belirlenmiştir. Glasiyo-karstik dolinlerin ortalama derinliği ise 184 m'dir (Şekil 3c). Doğu Karadeniz Dağları'nda ise ortalama derinlik 377 m'dir ve sirk türlerine göre ortalama derinlik 319 m ile 573 m arasında değişmektedir. Yukarıda kısaca özetlenen sonuçlara göre, buzullaşmaya uğramış alanlarda buzullaşma şiddeti arttıkça sirkler daha fazla birleşmekte ve bundan dolayı hem derinlikleri hem de alanları artmaktadır. Ayrıca aynı alanda incelenen eleman sayısı arttıkça morfometrik değerlerde önemli farklılaşmalar ortaya çıkmaktadır.

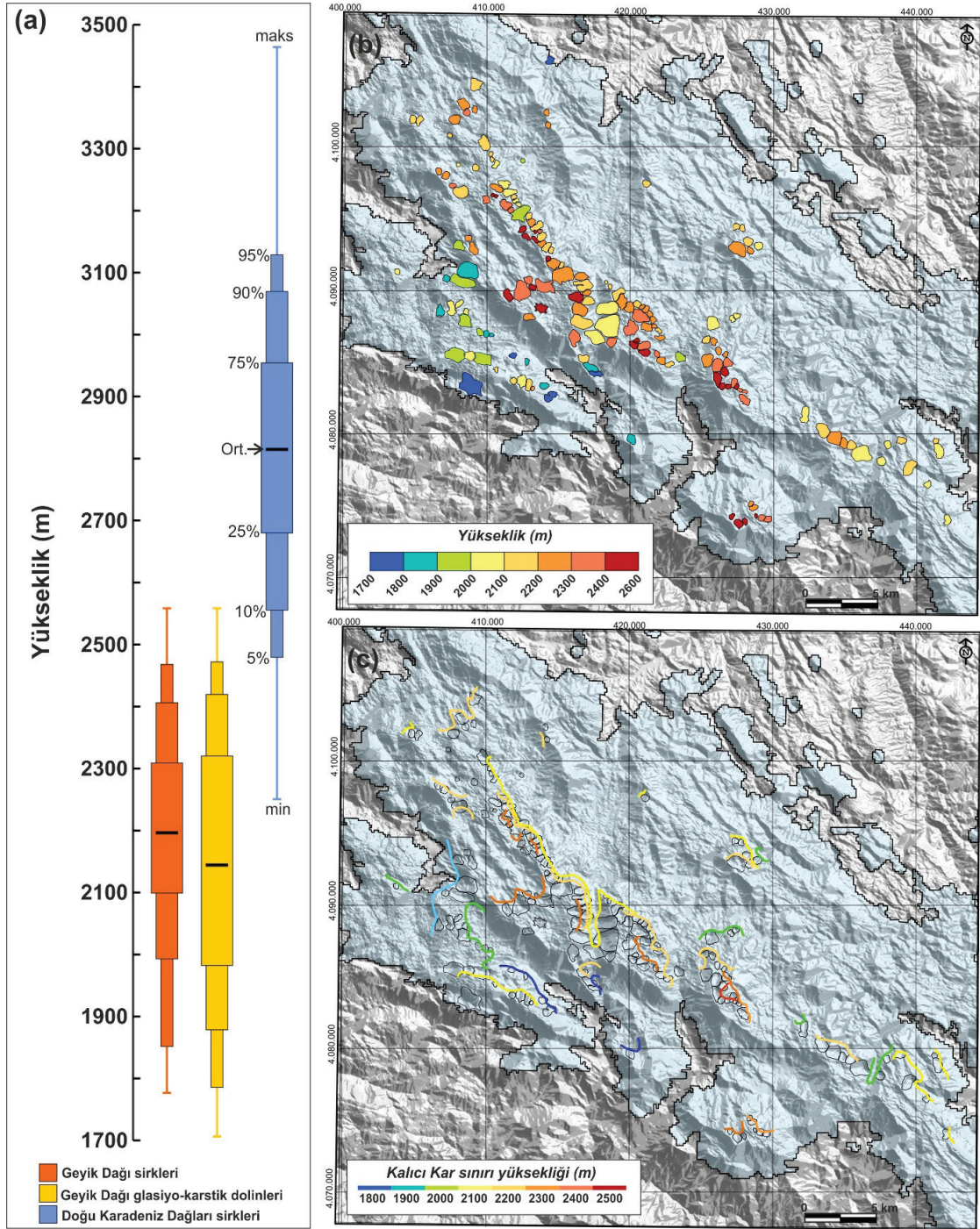
Orta enlemlerde buzullaşma koşulları üzerinde bakı önemli bir etkidir ve Anadolu'da buzullaşma genellikle gölgede kalan ve uzun süre kar örtüsünün korunduğu kuzeye bakan yamaçlarda yoğunlaşmaktadır. Geyik Dağı ve Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirklerin yöneliminde de kuzey sektörü baskındır (Şekil 3e). Ancak, dağlık kütlelerin uzanım yönüne ve yağış getiren hava kütlelerin hareket doğrultusuna bağlı olarak bu kuzey sektörlerde farklılıklar gözlemlenmektedir. Örneğin, KB-GD doğrultusunda uzanan Geyik Dağı'nda sirkler ağırlıklı olarak bu doğrultuya dik olacak şekilde KD yönüne uzanmakta (Şekil 3d), KD-GB doğrultulu Doğu Karadeniz Dağları'nda ise sirkler daha çok KD ve K yönelimli gelişmektedir (Şekil 3e).

pELA

Sirk morfometrisinde birçok yükseklik değerleri hesaplanabilmekle beraber en önemli yükseklik parametresi sirk tabanı yüksekliğidir. Bu seviye buzullaşma dönemlerindeki pELA sınırını göstermesi açısından oldukça önemlidir. Çünkü, pELA bir buz kütlelerinin yıllık kütle kazancı ile kütle kaybının dengelendiği yükseklik

düzeyini ifade etmektedir. Geyik Dağı'ndaki pELA sadece 142 adet sirk taban yüksekliğine göre ortalama 2.191 m olarak belirlenmiştir. 31 adet glasiyo-karstik dolinin ortalama taban yüksekliği ise 2.157 m'dir. Toplam 173 adet şeklin ortalaması dikkate alındığında ise pELA 2.185 m çıkmaktadır. Bu değerlere göre glasiyo-karstik dolinler ortalama taban yüksekliğini 6 m kadar daha aşağı seviyeye çekmiştir. Bu sonuçlara göre Geyik Dağı'nda sirkler ve glasiyo-karstik dolinlere göre belirlenen ortalama pELA yüksekliği ~2.190 m olup, Toros Dağları genel eğilimleriyle büyük ölçüde uyumludur (Şekil 4a). Ancak bu değer, Türkiye ve yakın çevresindeki farklı dağlık alanlarla karşılaştırıldığında belirgin farklılıklar göstermektedir. Türkiye'nin diğer buzul şekillerine sahip dağlık alanlarında pELA değerleri genellikle yükselti, karasallık derecesi, bakı koşulları ve nemlilik rejimi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, Doğu Karadeniz Dağları'nda, özellikle Kaçkar Dağları çevresinde pELA ortalama 2815 m'dir (Şimşek vd., 2023) ve iki dağlık alan arasında ortalama pELA değeri arasında 630 m'lik bir fark bulunmaktadır (Şekil 4a).

Birçok çalışmada bir kütle üzerindeki pELA sınırı tek bir değer olarak gösterilmekle birlikte kütle içerisindeki yerel farklılıklara bağlı olarak, aynı kütle üzerindeki pELA sınırında önemli değişimler görülmektedir. Çalışma alanında, uç değerleri dışarıda bıraktığımızda, tüm sirklerin ve glasiyo-karstik dolinlerin taban yüksekliklerinin yani %80'ni 1.950-2.400 m'leri arasında değişmektedir (Şekil 4a ve b). Taban yükseklikleri KD'ye bakan plato kenarlarında yaygın olarak 2.100-2.000 m'lerde bir dağılışı gösterirken, yüksek karstik plato üzerinde 2.400 m'lere çıkmaktadır. Dağın güney vadileri içerisinde ise pELA 2000 m ve altına düşmektedir (Şekil 4c). Kütle içerisinde B ve GB'ya doğru gidildikçe pELA sınırının düşmesi yağışlı hava kütlelerinin bu yönlerden gelmesiyle ilgilidir (Sarış vd., 2009).



Şekil 4.a) Geyik Dağı ve Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirklerin ve glasiyo-karstik dolinlerin taban yüksekliklerinin istatistiksel dağılımı. **b)** Geyik Dağı'ndaki sirk taban yüksekliklerinin alansal dağılışı ile **c)** pELA sınırlarının dağılışı.

Figure 4.a) Statistical distribution of the floor elevations of cirques and glacio-karstic dolines in Mount Geyik and the Eastern Black Sea Mountains; **(b)** spatial distribution of cirque floor elevations in Mount Geyik; and **(c)** spatial distribution of the paleo-Equilibrium Line Altitude (pELA) in Mount Geyik.

TARTIŞMA

Alpin tipi buzullaşmanın ilk başladığı yerleri işaret eden sirkler hem aktif buzulların bulunduğu alanların ortam yorumlaması için hem de aktif buzulların ortadan kalktığı alanlarda paleocoğrafya yorumu için kantitatif kanıtlar sağlamaktadır (Barr ve Spagnolo, 2015; Evans vd., 2021). Bu ortamsal yorumlarda kullanılan en önemli göstergelerden bir tanesi ELA sınırıdır. ELA buzulun birikim ve erimesi arasındaki dengenin sağlandığı teorik bir seviyedir ve buzul kütle dengesini anlamak için önemlidir (Benn ve Evans, 2014; Oien vd., 2022). pELA bilgisine ulaşmak için dünyanın farklı kesimlerinde sirklerin özellikleri, özellikle de sirklerin taban yükseklikleri yaygın olarak kullanılmıştır (Benn ve Lehmkuhl, 2000; Evans, 2006; Hughes vd., 2007; Bennet ve Glasser, 2009). Benzer çalışma yöntemleri Türkiye'deki dağlık alanlar için de uygulanmıştır ve bu sayede özellikle Batı Toros Dağları ve Doğu Karadeniz

Dağları'ndaki sirk temelli yapılan morfometrik hesaplamalar ile paleoiklim ve paleocoğrafya konularında önemli sonuçlar elde edilmiştir (Çılğın ve Bayrakdar, 2018; 2020; Şimşek vd., 2023).

Birçok çalışmada dağlardaki pELA tek bir yükselti seviyesi olarak ifade edilmektedir (Çizelge 1). Bu değer pELA'nın anlaşılmasını kolaylaştırmakla birlikte pELA'nın doğru bir şekilde açıklanması için yeterli değildir. Çünkü ELA statik bir seviye değildir. ELA küresel ve yerel koşullara, değişen iklim koşullarına bağlı olarak alansal ve zamansal ölçekte önemli değişiklik gösterir (Isbell vd., 2012). Geyik Dağı'nda ortalama ~2.190 m olarak hesaplanan pELA'nın, özellikle GB yamaçlarda 2000 m'nin altına düşmesi ve KD'da 2.400 m'ye kadar yükselmesi bakı, güneşlenme süresi, rüzgâr ve gölgelenme gibi yerel faktörlerin de ELA üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Çalışmalara göre Geyik Dağı üzerindeki pELA seviyeleri

Table 1. Levels of pELA on Mt. Geyik according to the studies.

Kaynak	Yöntem ya da referans gösterilen yayın	Ortalama pELA
Messerli, 1967	Sirk tabanı ve moren dağılışı	2.400-2.500 m
Çiner, 2004	Moren dağılışı ve sınırı	2.000 m
Sarıkaya vd., 2011	Messerli, 1967'den	2.000 m
Çiner vd., 2015	Messerli, 1967; Sarıkaya vd., 2011'den	2.000 m
Sarıkaya ve Çiner, 2015	Çiner vd., 2015'ten	2.500 m
Sarıkaya ve Çiner, 2017	Sirk tabanı ve sirk duvarı yüksekliği	2.000-2.400 m
Çiner vd., 2017	Moren dağılışı ve mutlak yaş	2.000-2.060 m
Sarıkaya vd., 2017	Sarıkaya ve Çiner, 2017'den	2.000-2.400 m
Hughes ve Woodward, 2017	Buzul çalışmalarına göre üretilen izoplet haritası	2.500 m
Hashemi vd., 2022	Sarıkaya vd., 2017'den	2.500 m
Keserci vd., 2023	Geyik Tepesi'nin kuzeyinde yer alan iki adet buzula ait modeli	2.619 m
Çılğın vd., 2024	98 adet sirk tabanı yüksekliği	2.293 m
Bu çalışma	142 adet sirk taban yüksekliğine göre	2.191 m
	142 adet sirk ve 31 adet glasiyo-karstik dolinin taban yüksekliğine göre	2.185 m

ELA konusundaki önemli sıkıntılardan bir tanesi de çalışmalarda incelenen parametreye göre ve analiz sayısına bağlı olarak ELA sınırının farklılaşmasıdır. Geyik Dağı Türkiye’de buzullaşma konusunda en fazla çalışılan dağlık alanlardan birisidir ve Geyik Dağı ile ilgili çalışmalar kullandıkları yöntemlerinden elde ettikleri sonuçlara göre bir pELA seviyesi ortaya çıkarmıştır (Çizelge 1). Literatürde yapılan çalışmalara göre özellikle sirk morfometrisi ve buzul modellemesi konusunda yapılan çalışmalar sayesinde bu sınır daha doğru şekilde ortaya çıkarılmaya başlanmıştır. Ayrıca analize dahil edilen ölçüm sayısı arttıkça bu sınır daha doğru belirlenebilmektedir.

pELA sınırı eski buzullaşma koşulları hakkında önemli bilgiler sağlamakla birlikte buzullaşmanın şiddeti hakkında doğrudan bir fikir vermez. Buzullaşma şiddetinin değerlendirilebilmesi için özellikle sirk alanı ve derinliği gibi bilgilere ihtiyaç vardır. Geyik Dağı’nda sirkler, Doğu Karadeniz Dağları’ndaki sirklerin yaklaşık olarak yarısı büyüklüğündedir ve ortalama derinliği 70 m daha azdır. Bu değerlere göre Doğu Karadeniz Dağları’nda daha şiddetli buzullaşmalar yaşanmıştır ve buzullaşma şiddeti arttıkça daha geniş ve daha derin sirkler oluşur. Doğu Karadeniz Dağları’nda sirklerin oluştuğu kuzey yamaçlarının Karadeniz’den gelen yağışa açık iken Geyik Dağı’ndaki sirkler alanları yağış gölgesinde kalması Doğu Karadeniz Dağları’nın buzullaşma için daha uygun koşullara sahip olmasını sağlamaktadır. Sirklerin bulunduğu alanlar Geyik Dağı’nda ortalama 5 ay kar örtüsü ile kaplı iken Doğu Karadeniz Dağları’nda ortalama 7 ay kar örtüsü ile kaplıdır (Öztürk ve Taşoğlu, 2024). Yıllık toplam yağış Geyik Dağı’nda 1.600 mm civarında iken Doğu Karadeniz Dağları’nda 2200 mm’nin üstüne çıkmaktadır. Sıcaklıklarda ise ortalama sıcaklık Geyik Dağı’nda 1-7°C arasında iken, Doğu Karadeniz Dağları’nda 0-3°C arasında değişmektedir (Taşoğlu vd., 2024). Ancak daha uygun iklimsel koşullara,

yani daha yağışlı ve daha soğuk olmasına rağmen ortalama pELA Doğu Karadeniz Dağları’nda 630 m daha yukarıdadır. pELA sınırının Doğu Karadeniz Dağları’nda daha yukarıda olması iklime bağlı olmayıp topografik koşulların bir sonucudur. Bilimsel çalışmalar yükseklik arttıkça ELA sınırının da arttığını göstermiştir (Oien vd., 2022; Şimşek vd., 2023; Soteres vd., 2025). Doğu Karadeniz Dağları’nın en yüksek noktası 3.932 m’dir ve 3.500 m’nin üstünde birçok zirve bulunmaktadır. Geyik Dağı’nın en yüksek noktası 2.877 m olup 2.500 m’nin üstünde birçok zirve bulunmaktadır. Dağlık alanlarda yükseklikle beraber eğimin artması (Öztürk ve Taşoğlu, 2024) sirklerdeki buzulların daha hızlı akışa geçmesine neden olmaktadır. Bu durum buzulun birikim bölgesinde yeterince kalamaması nedeniyle sirk tabanındaki buzul erozyonunun daha fazla artmasını engellemekte ve ELA sınırının daha yüksekte kalmasına neden olabilmektedir. Ancak aynı koşullar vadi buzullarının Doğu Karadeniz Dağları’nda daha aşağılara inmesini sağlamaktadır. Bilimsel çalışmalara göre moren sırtları Doğu Karadeniz Dağları’nda 1850 m’ye (Reber vd., 2022) Geyik Dağı’nda ise 1.743 m’ye kadar indiği tespit edilmiştir (Çılğın vd., 2024). Bu değerlere göre dağların en yüksek noktasıyla buzulların ilerlediği en alçak nokta arasında Doğu Karadeniz Dağları’nda 2.080 m, Geyik Dağı’nda ise 1.130 m’lik fark bulunmaktadır.

Sonuç olarak Türkiye’de yükseklik koşulları arttıkça pELA sınırı yukarıya doğru çıkmaktadır. Ancak Alpin kuşakta yükseklik artışı ile birlikte artan eğim koşulları (Öztürk ve Taşoğlu, 2024) buzulların sirkler içerisinden çıkarak vadiler boyunca daha aşağılara hareket etmesini ve çok uzun buzul vadilerinin gelişmesini sağlamaktadır. Bu durum buzullaşma daha şiddetli yaşansa bile pELA sınırının yükseklik ile birlikte artmasına neden olmaktadır.

Türkiye’deki buzul çalışmaları konusunda dikkat çekilen noktalardan bir tanesi de modern ELA’nın yani günümüzdeki kalıcı kar sınırının

kaç metreye denk geldiğinin bulunmasıdır. Bu sınır günümüzde buzulların olduğu dağlarda buzulların bulunduğu yükseklikler baz alınarak hesaplanabilmektedir (Messerli, 1967). Buzulların olmadığı alanlarda ise dikey lapse-rate yani yükseklik ile birlikte gerçekleşen sıcaklık değişimi oranları aracılığıyla hesaplanabilmektedir (Braithwaite ve Raper, 2009). Yıllık ortalama sıcaklık verilerine göre (Taşoğlu vd., 2024) çalışma alanında kıyı kesiminden ortalama pELA seviyesine (2.200 m) kadarki lapse-rate oranı yaklaşık olarak 0,7 °C/100 m'dir. Literatürde belirlenen değerlere göre Geyik Dağı'nda sirklerin oluşabilmesi için sıcaklıkların günümüzden 8°C daha düşük olması gerekmektedir (Çılğın vd., 2024). Buzul modellerinden elde edilen bu değer ve lapse-rate oranı dikkate alındığından modern ELA yüksekliği ~3.350 m yükseklikte yer almaktadır. Daha önceki çalışmalarda bu sınır 3200 m olarak belirlenmiştir (Messerli, 1967; Sarıkaya vd., 2017).

Geyik Dağları ülkemizde buzullaşma açısından dikkat çeken bir alan olduğundan dolayı buzul sirkleri konusunda benzer çalışmalar yapılmıştır. Sirkler konusunda elde edilen değerler karşılaştırıldığında çalışmalarda belirtilen morfometrik değerler arasında farklılıklar dikkat çekmektedir. Örneğin bu çalışmada 2.191 metre olarak belirlenen pELA, 0,34 km² olarak belirlenen sirk alanı ve 302 metre olarak belirlenen sirk derinliği, Çılğın vd. (2024) tarafından sırasıyla 2.293 m, 0,28 km² ve 319 m olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre bu çalışmada belirlenen sirklerin daha geniş alana sahip iken ortalama derinliği daha azdır ve pELA seviyesi ~100 metre daha aşağıdadır. Morfometrik değerlerdeki bu farklılıklar iki temel nedenden kaynaklanmaktadır. İlk olarak tespit edilen sirk sayısındaki farklılıktır. Çılğın vd. (2024) tarafından 98 adet sirk tespit edilmişken bu çalışmada 142 adet sirk tespit edilmiştir. İkinci neden ise sirklerin çizim tekniklerinin farklılığıdır. Sirklerin çizilmesi ve sınıflandırılmasına yönelik çok farklı teknikler bulunmaktadır ve

her iki çalışmada farklı teknikler kullanmıştır. Bu iki temel neden aynı kütlede aynı konuda gerçekleştirilmiş çalışmalarda morfometrik değerler arasında farklılıkların oluşmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak Geyik Dağı hakkında yapılan tüm çalışmalar göz önüne alındığında, pELA sınırının daha doğru belirlenebilmesi için olabildiğince fazla sayıda jeomorfolojik birimin ayrıntılı şekilde haritalanmasının daha doğru sonuç vereceğini ortaya koymuştur.

SONUÇ

Bu çalışma, Orta Toroslar'da bulunan Geyik Dağı'nın jeomorfolojik evriminde buzul ve karstik süreçlerin karmaşık ve iç içe geçmiş rolünü ortaya koymaktadır. Sirklerin ve özellikle ilk kez bu çalışmada pELA analizine dahil edilen glasiyo-karstik dolinlerin incelenmesi, buzul-karst etkileşiminin bölge morfolojisi üzerindeki belirleyici etkisini vurgulamaktadır. Tespit edilen 142 sirk ve 31 glasiyo-karstik dolinin morfometrik özelliklerine göre ortalama pELA değeri 2.185 m olarak hesaplanmış olsa da bu sınırın 2.000 m ile 2.400 m arasında değişkenlik göstermesi, bakı, güneşlenme, rüzgar ve topoğrafya gibi yerel faktörlerin ELA üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Geyik Dağı'ndaki sirklerin ve glasiyo-karstik dolinlerin alansal büyüklükleri açısından önemli bir farklılık bulunmazken, iki şekil arasında derinlik açısından önemli bir fark bulunmaktadır. Derinliğin buzul erozyonunun şiddeti hakkında bir gösterge olduğu kabul edilirse, glasiyo-karstik dolinlerin içerisinde gelişen buzulların sirkler kadar büyük kütlelere ulaşmadığını ya da karstik çanak yapısının buzulu yatay harekete uygun kılmadığını göstermektedir. Bu durum, çanağa sıkışmış buzulların sınırlı erozyon kapasitesine sahip olduklarına işaret edebilir. Bu bulgular, Geyik Dağı'nın, Türkiye'deki dağlık alanlar içinde buzul-karst etkileşimlerinin dinamik yapısını anlamak için önemli bir referans noktası olduğunu ve paleoiklim/paleocoğrafya

çalışmaları için değerli veriler sunduğunu teyit etmektedir.

Anadolu'daki en geniş buzullaşma alanı olan Doğu Karadeniz Dağları ile karşılaştırıldığında ise, şu temel sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Doğu Karadeniz Dağları, Geyik Dağı'na göre daha yüksekte olmasına, daha yağışlı ve daha soğuk bir havaya sahip olmasına rağmen pELA sınırı 630 m daha yukarıdadır. Bu değerlere göre pELA seviyesi üzerinde iklimatik koşullardan ziyade topografik koşulların daha belirleyici olduğu ortaya çıkmaktadır. Ancak buzullaşma daha şiddetli yaşandığından dolayı Doğu Karadeniz sirkleri Geyik Dağı sirklerine göre daha geniş ve derin karakterdedir. Bu sonuç ise pELA sınırı daha yukarı seviyelere çıksa bile buzullaşmanın daha şiddetli yaşandığını göstermektedir.

EXTENDED SUMMARY

Geomorphological investigations of Mount Geyik, one of the most prominent karstic plateaus in the Central Taurus, reveal that its landscape has been shaped by the combined influences of glacial and karstic processes (Fig. 1). Building on detailed morphometric analyses, this study examines the interactions between glacial cirques and glacio-karstic dolines (Fig. 2b), reconstructs the paleo-equilibrium line altitude (pELA) associated with Quaternary glaciations, and compares the statistical morphometric characteristics of cirques in Mount Geyik with those of the Eastern Black Sea Mountains.

As a result of the mapping analyses, 142 cirques were identified within the study area (Figure 3a). The majority of these cirques (78%) exhibit simple morphologies, suggesting that glacial development in Mount Geyik was relatively limited compared to more humid mountain ranges, such as the Eastern Black Sea Mountains. The mean cirque area is 0.34 km², approximately half the average area of cirques in the Eastern Black

Sea Mountains (0.67 km²), while the mean cirque depth is 302 m compared to 377 m, respectively (Figure 3b, c). Despite these general differences, certain cirques in Mount Geyik attain depths of up to 656 m, indicating zones of intense localized glacial erosion. In addition to cirques, 31 glacio-karstic dolines were identified, with an average area of 0.36 km² and an average depth of 184 m. Although similar in surface area to the cirques, these dolines are notably shallower, suggesting either a reduced ice volume during formation or limitations on glacier movement imposed by the underlying karstic morphology.

Similar to other mountainous regions in Türkiye, the cirques in Mount Geyik predominantly display a north-facing orientation. However, this dominant northern alignment varies according to the mountain's overall topographic configuration. In Mount Geyik, where the massif extends along a northwest-southeast axis, most cirques face northeast, perpendicular to the main ridge (Figure 3d & e). This pattern underscores the combined influence of topographic controls and the direction of moisture-bearing air masses on cirque development.

The study estimated the paleo equilibrium line altitude (pELA) using floor elevations from both cirques and glacio-karstic dolines, marking the first investigation to incorporate glacio-karstic dolines into pELA analysis for Mount Geyik. The mean pELA was calculated as 2185 m, aligning with previous estimates (Table 1) but offering higher resolution due to the inclusion of 173 landforms (Figure 4a–c). Depending on aspect, location, and elevation, the pELA varies regionally between 2,000 m and 2,400 m. The northeastern borders of the high plateau display the highest pELA values (~2,400 m), while the western and southwestern slopes exhibit lower pELA levels, often below 2,000 m.

Mount Geyik experienced less intense glaciation compared to the Eastern Black Sea

Mountains, as reflected in its lower mean pELA of 2,185 m versus 2,815 m in the Eastern Black Sea region. However, this 630 m difference cannot be attributed solely to meteorological conditions; it reflects significant differences in topographic parameters, particularly maximum elevation and slope gradient. The Eastern Black Sea Mountains, with peaks reaching up to 3,900 m and steeper relief, exert stronger control over glacier dynamics, leading to equilibrium line altitudes at much higher elevations. In contrast, the considerably lower summit elevations of Mount Geyik, peaking at 2,877 m, result in a lower pELA despite the region's generally drier and warmer climate. These findings align with previous research indicating that equilibrium line altitude increases with altitude and slope steepness due to enhanced glacier flow and reduced accumulation area efficiency (Evans et al., 2021; Oien et al., 2022; Soteres et al., 2025). The modern equilibrium line altitude for Mount Geyik, based on lapse rate analysis and modeled paleo temperatures (Çılğın et al., 2024), is estimated at approximately 3350 m, corroborating earlier estimates of ~3,200 m (Messerli, 1967; Sarıkaya et al., 2017).

This study makes a significant contribution to understanding glacier–karst interactions in the Taurus Mountains by elucidating the morphometric characteristics of glacial cirques and glacio-karstic dolines. Incorporating glacio-karstic dolines into pELA analysis represents a methodological advance, providing a more comprehensive framework for reconstructing paleoglacial conditions in Mediterranean-type alpine karst environments. As the number of analyzed landforms increases, the statistical reliability of pELA estimates improves, allowing for more accurate interpretations of Quaternary paleoclimate dynamics. Moreover, this approach enables more precise predictions of modern equilibrium line altitude thresholds in formerly glaciated regions by applying lapse rate values and paleo temperature models. Thus, the

methodology presented here not only enhances paleoenvironmental reconstructions but also offers a robust basis for estimating modern equilibrium line altitudes in glacio-karst mountain systems.

ORCID

Muhammed Zeynel Öztürk  <https://orcid.org/0000-0002-9834-7680>

Mesut Şimşek  <https://orcid.org/0000-0002-4678-4336>

Mustafa Utlı  <https://orcid.org/0000-0002-7508-4478>

KAYNAKÇA / REFERENCES

- Altınay, O., Sarıkaya, M. A. & Çiner, A. (2020). Late-glacial to Holocene glaciers in the Turkish mountains. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2, 119–133. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00024-7>
- Arpat, E. ve Özgül., N. (1972). Orta Toroslar'da Geyik Dağı yöresinde kaya buzulları. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 78, 30-35.
- 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>
- Bayer Altın, T. (2003). *Aladağlar üzerinde (Ecemiş Çayı Akları) buzul ve karst jeomorfolojisi* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- 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. & Evans, D. J. (2014). *Glaciers and glaciation*. Routledge.
- Bennet, M. & Glasser, N. (2009). *Glacial Geology, Ice Sheets and Landforms*. UK, Wiley-Blackwell.
- Braithwaite, R. J. & Raper, S. C. B. (2009). Estimating equilibrium-line altitude (ELA) from glacier inventory data. *Annals of Glaciology*, 50(53), 127-132. <https://doi.org/10.3189/172756410790595930>

- 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: 714-732. <https://doi.org/10.3906/yer-1905-18>
- Çılğın, Z. & Bayrakdar, C. (2018). Morphometric characteristics of the glacial cirques on Mount Dedegöl. *Journal of Geography* 36: 27-48. <https://doi.org/10.26650/JGEOG411356>
- Çılğın, Z. & Bayrakdar, C. (2020). Morphometric characteristics of the glacial cirques in the Teke Peninsula, Southwestern Anatolia. *Turkish Geographical Review*, 74, 107-121. <https://doi.org/10.17211/tcd.729978>
- 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, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109474>
- Çiner, A., Deynoux, M. & Çörekçioğlu, E. (1999). Hummocky moraines in the Namaras and Susam valleys, Central Taurids, SW Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 18, 4-5, 659-669.
- Çiner, A. (2003a). Türkiye'nin güncel buzulları ve geç Kuvaterner buzul çökelleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 55-78. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28630/590866>
- Çiner, A. (2003b). Geyikdağ'da (Orta Toroslar) Geç Kuaterner buzullaşmasına ait morenlerin sedimanter fasiyes analizi ve ortamsal yorumu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 35-54. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28630/590852>
- Çiner, A. (2004). Turkish glaciers and glacial deposits. In Ehlers, J. & Gibbard, P.L. (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*, Elsevier, Volume 2, Part 1, 419-429.
- Çiner, A., Sarıkaya, M. A. & Yıldırım, C. (2015). Late Pleistocene piedmont glaciations in the Eastern Mediterranean; insights from cosmogenic ³⁶Cl dating of hummocky moraines in southern Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 116, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.017>
- Çiner, A., Sarıkaya, M. A. & Yıldırım, C. (2017). Misleading old age on a young landform? The dilemma of cosmogenic inheritance in surface exposure dating: moraines vs. rock glaciers. *Quaternary Geochronology*, 42, 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.07.003>
- Derbyshire, E. & Peterson, J. A. (1977). Nivation cirque. *Australian Geographer*, 13(6), 416-419. <http://dx.doi.org/10.1080/00049187708702721>
- Evans, I. S. (1977). World-wide variations in the direction and concentration of cirque and glacier aspects. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 59(3-4), 151-175.
- Evans, I. S., Çılğın, Z., Bayrakdar, C. & Canpolat, E. (2021). The form, distribution and palaeoclimatic implications of cirques in southwest Turkey (Western Taurus). *Geomorphology*, 391, Article 107885. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2021.107885>
- Evans, I. S. (2006). Geomorphometry. In Goudie, A. S. (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology Volume-1*, 435-439.
- Evans, I. S. & Cox, N. J. (2015). Size and shape of glacial cirques: comparative data in specific geomorphometry. In Jasiewicz J., Zwoliński Zb., Mitsova H., Hengl T. (Eds.), *Geomorphometry for Geosciences*. Adam Mickiewicz University in Poznań.
- Evans, I. S. & Cox, N. J. (1995). The form of glacial cirques in the English Lake District, Cumbria. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 39(2), 175-202. <https://doi.org/10.1127/zfg/39/1995/175>
- González-Gutiérrez, R. B., Santos-González, J., Gómez-Villar, A., Alonso-Herrero, E., García-de Celis, A., Cano, M. & Redondo-Vega, J. M. (2017). Glaciokarst landforms in the Siera de los Grajos, Babia and Luna natural park (Cantabrian Mountains, NW Spain). *Acta Carsologica*, 46(2-3). <https://doi.org/10.3986/ac.v46i2-3.5001>
- Hashemi, A., Sarıkaya, M. A., Görüm, T., Wilcken, K. M., Çiner, A., Žebre, M., Stepšnik, U. & Yıldırım, C. (2022). The Namaras rock avalanche: Evidence of mid-to-late Holocene paraglacial activity in the Central Taurus Mountains, SW Turkey. *Geomorphology*, 408, Article 108261. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108261>

- Hughes, P. D. & Woodward, J. C. (2017). Quaternary Glaciation in the Mediterranean Mountains. *Geological Society, London, Special Publications*, 433, 1-23. <http://doi.org/10.1144/SP433.14>
- Hughes, P. D., Gibbard, P. L. & Woodward, J. C. (2007). Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. *Geomorphology*, 88(3), 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.11.008>
- Isbell, J. L., Henry, L. C., Gulbranson, E. L., Limarino, C. O., Fraiser, M. L., Koch, Z. J., ... & Dineen, A. A. (2012). Glacial paradoxes during the late Paleozoic ice age: Evaluating the equilibrium line altitude as a control on glaciation. *Gondwana Research*, 22(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.11.005>
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P. Kessler, M. (2021). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *EnviDat* <https://www.doi.org/10.16904/envidat.228>
- Keserci, F., Güngör, G., Bozdoğan, M., Canpolat, E., Çılğın, Z. ve Bayrakdar, C. (2023). Geyik Dağı güncel buzulları ve morfometrik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 84, 199-217. <https://doi.org/10.17211/tcd.1395806>
- Křížek, M. & Mida, P. (2013). The influence of aspect and altitude on the size, shape and spatial distribution of glacial cirques in the High Tatras (Slovakia, Poland). *Geomorphology*, 198, 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.012>
- 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.
- Messerli, B. (1967). Die Eiszeitliche und die Gegenwärtige Vergletscherung in Mittelmeerraum. *Geographica Helvetica*, 22, 105-228.
- Mîndrescu, M., Evans, I. S. & Cox, N. J. (2010). Climatic implications of cirque distribution in the Romanian Carpathians: palaeowind directions during glacial periods. *Journal of Quaternary Science*, 25(6), 875-888. <https://doi.org/10.1002/jqs.1363>
- Monod, O. (1977). *Recherches géologiques dans le Taurus occidental au sud de Beyşehir (Turquie)*. These Université Paris Sud, Orsay, 442 pp.
- Nazik, L., Poyraz, M. & Karabıyıkoglu, M. (2019). Karstic Landscapes and Landforms in Turkey. In Kuzucuoğlu, C., Çiner, A. & Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey*. Springer International Publishing, Switzerland.
- 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>
- Öztürk M. Z., Şimşek M., Şener M. F. & Utlu M. (2018). GIS based analysis of doline density on Taurus Mountains, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 77, Article 536. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7717-7>
- Öztürk, M. Z., Şimşek, M. ve Utlu, M. (2021). Anadolu'nun sirk gölleri. *Türk Coğrafya Dergisi* (78), 49-60. <https://doi.org/10.17211/tcd.998089>
- Öztürk, M. Z. & Taşoğlu, E. (2024). Alpine periglacial zones in Anatolia: spatial distribution and main characteristics. *Mediterranean Geoscience Reviews*, <https://doi.org/10.1007/s42990-024-00115-9>
- Porter, S. C. (2000). Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation. *Quaternary science reviews*, 20(10), 1067-1091. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00178-5](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00178-5)
- Reber, R., Akçar, N., Tikhomirov, D., Yesilyurt, S., Vockenhuber, C., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S. & Schlüchter, C. (2022). LGM Glaciations in the Northeastern Anatolian Mountains: New Insights. *Geosciences*, 12, 257. <https://doi.org/10.3390/geosciences12070257>
- Sarıkaya, M. A. & Çiner, A. (2017). The late quaternary glaciation in the Eastern Mediterranean. In Huges, P., Woodward, J. (Eds.), *Quaternary Glaciation in the Mediterranean Mountains, Geological Society of London Special Publication*, 433, 289-305. <http://doi.org/10.1144/SP433.4>

- Sarıkaya, M. A. ve Çiner, A. (2015). Türkiye Geç Pleyistosen buzullaşması ve paleoklimi. *MTA Dergisi*, 151, 111-132.
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A. & Yıldırım, C. (2017). Cosmogenic ^{36}Cl glacial chronologies of the Late Quaternary glaciers on Mount Geyikdağ in the Eastern Mediterranean. *Quaternary Geochronology*, 39, 189-204. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.03.003>
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A. & Zreda, M. (2011). Quaternary glaciations of Turkey. In Ehlers, J., Gibbard, P.L., Hughes, P. D. (Eds.), *Quaternary Glaciations e Extent and Chronology; a Closer Look* (p.: 393-403). Elsevier, Amsterdam,.
- Sariş, F., Hannah, D. M. & Eastwood, W. J. (2010). Spatial variability of precipitation regimes over Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 55(2), 234–249. <https://doi.org/10.1080/02626660903546142>
- Seven, M., Öztürk, Y., Gürgöze, S., Ege, İ. ve Tonbul, S. (2025). Engizek Dağı'nda karstik depresyonların jeomorfik özellikleri ve morfotektonik gelişimleri (Kahramanmaraş, Doğu Toroslar). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 68(2), 259-286. <https://doi.org/10.25288/tjb.1647807>
- Smart, P. L. (1987). Origin and development of glacio-karst closed depressions in the Picos de Europa, Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 30(4), 423-443.
- Soteres, R. L., Cabrera, D. A., Martini, M. A., Sagredo, E. A., Pedraza, J., Carrasco, R. M., ... & Araos, J. M. (2025). Paleoglacial and paleoclimate inferences from cirque morphometry and spatial distribution across northern Patagonia (40°–45° S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Article 112939. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2025.112939>
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Metin, S., Esentürk, K., Bölükbaşı, S. ve Özgül, N. (1998). Orta Toroslar'da Güzelsu Koridoru ve kuzeyinin jeolojisi. *MTA Dergisi*, 120, 171-197.
- Şener, M. F. & Öztürk, M. Z. (2019). Relict drainage effects on distribution and morphometry of karst depressions: A case study from Central Taurus (Turkey). *Journal of Cave and Karst Studies*, 81, 33-43. <https://dx.doi.org/10.4311/2018ES0111>
- Şimşek, M., Öztürk, M. Z., Yeşilyurt, S. & Utlu, M. (2023). Morphometric characteristics and paleogeographic implication of glacial cirques in Eastern Black Sea Mountains (Türkiye). *Geomorphology* 441, Article 108889. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108889>
- Şimşek, M., Utlu, M., Poyraz, M. ve Öztürk, M. Z. (2019a). Geyik Dağı kütesinin yüzey karstı jeomorfolojisi ve kütle üzerindeki karst-buzul jeomorfolojisi ilişkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29(2), 97–110.
- Şimşek, M., Öztürk, M. Z. ve Turoğlu, H. (2019b). Geyik Dağı üzerindeki dolin ve uvalaların morfotektonik önemi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 72, 13-20. <https://doi.org/10.17211/tcd.501724>
- Taşoğlu, E., Öztürk, M. Z. & Yazıcı, Ö. (2024). High Resolution Köppen-Geiger Climate Zones of Türkiye. *International Journal of Climatology*, 44(14), 5248-5265. <https://doi.org/10.1002/joc.8635>
- Telbisz, T., Krasznai, M., Gachev, E., Gikov, A. & Ruszkiczay-Rüdiger, Z. (2025). Cirque morphometry of Rila and Pirin Mountains (Bulgaria). *Geomorphology*, 483, Article 109819. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.109819>
- Veress, M. & Lóczy, D. (2019). General Description of Glaciokarsts. In *Glaciokarsts* (pp.: 23-69). Springer Geography. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97292-3_2
- Veress, M. (2017). Solution DOLINE development on GLACIOKARST in alpine and Dinaric areas. *Earth-Science Reviews*, 173, 31-48. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.08.006>
- Veress, M. (2023). Landscape Evolution in Glacier Valleys of Glaciokarsts. *Geosciences*, 13, 308. <https://doi.org/10.3390/geosciences13100308>
- Žebre, M. & Stepišnik, U. (2015). Glaciokarst landforms and processes of the southern Dinaric Alps. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(11), 1493–1505. <https://doi.org/10.1002/esp.3731>
- Žebre, M. & Stepišnik, U. (2016). Glaciokarst geomorphology of the Northern Dinaric Alps: Snežnik (Slovenia) and Gorski Kotar (Croatia). *Journal of Maps*, 12(5), 873–881. <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2015.1095133>

Žebre, M., Sarıkaya, M.A., Stepišnik, U., Yıldırım, C. & Çiner, A. (2019). First ^{36}Cl cosmogenic moraine geochronology of the Dinaric Mountain karst: Velež and Crvanj Mountains of Bosnia and Herzegovina. *Quaternary Science Reviews*, 208, 54-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.02.002>