Türk Coğrafya Dergisi 87 (2025) 23-38



Türk Coğrafya Dergisi Turkish Geographical Review

www.tcd.org.tr



Elektronik ISSN 1308-9773

Büyük Ağrı Dağı buzulları ve buzul jeomorfolojisi¹

Glaciers and glacial geomorphology of Mount Büyük Ağrı¹

Coşkun Kayaª 回

Atilla Karataş^{b*} 💿

° Iğdır Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Iğdır, Türkiye. ^b Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

ORCID: C.K. 0000-0003-2399-6181; A. K. 0000-0001-9159-6804

BILGI/INFO

Geliş/Received: 14.11.2024 Kabul/Accepted: 24.01.2025

Anahtar Kelimeler: Büyük Ağrı Dağı Buzul jeomorfolojisi Uzaktan algılama Buzullar

Keywords: Mount Büyük Ağrı Glacial geomorphology Remote sensing Glaciers

*Sorumlu yazar/Corresponding author: (A. Karataş) atilla.karatas@marmara.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1585308



Atif/Citation:

Kaya, C., & Karataş, A.(2025). Büyük Ağrı Dağı buzulları ve buzul jeomorfolojisi. *Türk Coğrafya Dergisi (87)*, 23-38. https://doi.org/10.17211/tcd.1585308

ÖZ/ABSTRACT

Türkiye'deki buzulların %60'ını ve tek takke buzulunu barındıran Büyük Ağrı Dağı özelinde henüz derinlikli bir buzul ve buzul jeomorfolojisi literatürü oluşmamıştır. Bu durum 5137 m yükseltiye sahip dağın zorlayıcı topografik ve meteorolojik koşulları ile güvenlik riski, ulaşım kısıtlılığı ve girişin izne tabi olduğu bölgeler içermesi gibi konjonktürel sebeplerden kaynaklanmıştır. İyileşen teknik imkânlar ve azalan güvenlik riskleri günümüzde sahada daha etkin ve kapsamlı bilimsel çalışmaların yapılabilmesine elverişli koşullar oluşturmuştur. Çalışma bu doğrultuda dağdaki buzul ve buzul jeomorfolojisine dair mevcut bilgilerin teyidi ve henüz açıklığa kavuşturulamamış lokal, olgusal meselelerin aydınlatılmasını hedeflemektedir. Literatürdeki bilgi ve bulgular saha çalışmaları, uydu görüntülerinin analizleri, paleo-ELA hesaplamaları ve morfometrik analizler ile ilintilendirilerek değerlendirilmiştir. Buna göre, Büyük Ağrı Dağı'nda paleo-kalıcı kar sınırı 3569 m, 2700 m seviyelerine kadar inen moren depoları gibi glasiyo-jeomorfolojik belirteçlere göre çizilen paleobuzul alanı ise 70 km²'dir. Uydu görüntülerine dayalı analizlerde 1977'de 9,3 km² olan buzul alanının son 46 yılda 0,095 km²/yıl küçülme hızıyla %47 oranında daralarak 4,9 km²'ye düştüğü ve sahadaki buzulların 2070'te ortadan kalkacağı öngörülmektedir. Ancak yürütülen çalışmalarda sahada dört yeni döküntü örtülü buzul tespit edilmiştir. Çıplak buzullara oranla erime/çekilme direnci daha fazla olan döküntü örtülü buzullarla birlikte dağın güncel buzul alanı 8,11 km² olarak düzenlenmiştir. Dolayısıyla 20. yüzyıl başında ~15 km² olan buzul alanı dikkate alındığında küçülme hızı yıllık 0,055 km²'ye karşılık gelen buzulların %46'sının eridiği, %38'inin ise döküntü örtülü buzula evrildiği anlaşılmaktadır.

There is no comprehensive glacier and glacial geomorphology literature yet, about Mount Büyük Ağrı (Greater Ararat), which hosts 60% of the glaciers in Turkey and is the only ice cap glacier. This situation is due to the mount's, with an altitude of 5137 m, challenging topographic and meteorological conditions and conjunctural reasons such as security risks, transportation problems and areas where entry is subject to permission. Improved technical possibilities and reduced security risks have created favorable conditions for more effective and comprehensive scientific studies in the area. This study was conducted to confirm the existing information on the glacier and glacial geomorphology of the mount and to clarify the local and phenomenological issues that have not yet been explained. The information and findings in the literature were evaluated by correlating with field studies, satellite image analyses, paleo-ELA calculations and morphometric analyses. Accordingly, the equilibrium line altitude on Mount Büyük Ağrı is 3569 m, and the paleoglacial area drawn according to glacio-geomorphological indicators, like old moraines reaching until 2700 m, is 70 km². Analyses based on satellite images show that the glacier area, which was 9.3 km² in 1977, has shrunk by 47% in the last 46 years, decreasing to 4.9 km² with a shrinkage rate of 0.095 km^2 /year, and that the glaciers in the area expected will disappear by the end of this century. However, four new debris-covered glaciers have been identified in the field studies. The current glacier area of the mount has been revised to 8.11 km², together with debris-covered glaciers, which have a higher ablation resistance than bare glaciers. Considering the glacier area of ~15 km² at the beginning of the 20th century, the shrinkage rate corresponds to 0.055 km² per year. Therefore, it is understood that 46% of the glaciers, has 0.055 km² shrinkage rate per year, have melted and 38% have evolved into debris-covered glaciers.

¹Bu makale 1. yazarın 2. yazar danışmanlığında sürdürmekte olduğu doktora tez çalışmasına dayanmaktadır. ¹This article is derived from the doctoral dissertation research conducted by the first author under the supervision of the second author.

Extended Abstract Introduction

Despite the fact that Mount Büyük Ağrı has the most favorable conditions in terms of elevation values among the mountainous areas subjected to glaciation in Turkey, the development and distribution area of glaciers in the cold periods of the Quaternary were limited to very high altitudes. While severe continental climate conditions and dominant topographic factors are the main factors limiting the development of the ice cap glacier, the lithological structure of the mass, volcanic eruptions and mass movements are other parameters controlling glacial processes. Despite these factors and processes, the altitudes of Mount Büyük Ağrı higher than 3000 m have been significantly shaped by glacial processes and glacial erosion and accumulation patterns have emerged in the field. This study aims to provide detailed information on the glacial geomorphology of Büyük Ağrı Mount, which has 60% of the current glaciers in Turkey, and to reveal the glaciers and glacial geomorphology of the mass with comprehensive evaluations supported by new findings.

Data and Method

The distribution, levels, morphometric and dynamic properties of morphological units belonging to glacial geomorphology also define the distribution areas of ice cap glaciers in the cold periods of the Quaternary. For this reason, satellite images (Google EarthTM, Landsat), 10 m resolution Digital Elevation Model (DEM) produced from contour lines and data obtained from field studies carried out between 2022-2024 were compared with Landsat satellite images (1977-2023) in addition to information and visuals in historical sources, to establish the framework of areal change of glaciers in the last 125 years. The WorldClim climate data set (between 1970-2000), which produces more consistent and realistic results according to classical analytical methods, was used for annual temperature and precipitation maps of the study area, which does not have a meteorological station. In addition, to understand the longterm course of temperature and precipitation conditions in the region, trend analyses were conducted on meteorological data from the nearest observation points, Igdir and Dogubayazit meteorological stations (1975-2022). In addition, the equilibrium line altitude of the mass was calculated within the scope of the study using the Paleo-ELA calculation tool.

Results and Discussion

Well-developed moraine deposits up to 2700 m in the north, 2900 m in the west, 3000 m in the south and 3200 m in the east have been identified in the Mount Büyük Ağrı. It has been understood that the ridges previously defined as mounded moraine at the bottom of the Ahura Valley are lahar deposits extending up to 1650 m and gradually evolving into alluvial fan plains at lower levels. Except for the local lava flows covering the Ahura Valley and old moraines in some places, no widespread effect of volcanic activities on glacial processes has been observed in the field. The equilibrium line altitude of the mass obtained by using the Paleo-ELA calculation tool are calculated as AAR (according to the ratio of 0.58) 3547 m, AAR (according to the ratio of 0.58) 3647 m, MEG (according to the ratio of 0.65) 3647 m and

the average paleo-permanent snow limit is 3569 m. The paleo glacier area drawn according to the glacio-geomorphological indicators obtained from the field studies is 70 km². According to historical glacier photographs and current field data, ice cap glacier of Mount Büyük Ağrı has an area of approximately 30 km² in LIA. During this period, the outlet glacier tongues descend to 3400 m by the north and west of the mountain, 3600 m in the south, and 3800 m in the east. The outlet glaciers evolved into debris-covered glaciers due to changing morphogenetic conditions beyond the process after the LIA. In addition to the Cehennemdere, Parrot, and Paraşüt debris-covered glaciers known in the literature, four new debris-covered glaciers were identified in the field within the scope of this study, namely Mihtepe, Blumenthal, Kozaklidere 1, and Kozaklidere 2. These seven debris-covered glaciers in the study area cover 3.13 km². However, the areas of ice cap and outlet glaciers not covered with debris materials have decreased from 9.3 km² to 4.98 km² according to the 1977–2023 Landsat satellite images. In the 46 years, the glaciers in question have shrunk by 46% with a retreat of 4.32 km². This rate shows that the glacier area on Büyük Ağrı Mount has shrunk by 0.093 km² per year. If the climatic warming trend continues, it is believed that the ice cap and outlet glaciers will completely melt and disappear before the end of this century, depending on the current melting rate. On the other hand, the current glacier presence on Mount Büyük Ağrı corresponds to an area of approximately 8.11 km², including debris-covered glaciers. The fact that a significant portion of the outlet glaciers have continued their existence by being covered with debris materials, especially in the last hundred years, reveals that remote sensing studies are inadequate and can be misleading in calculations regarding the glacier area. It is observed that approximately 46% of the glaciers have melted from the beginning of the 20th century (~15 km²) to the present, together with the glacier area presence in historical sources and the debris-covered glaciers identified within the scope of field studies. During this period (1898–2023), glaciers have experienced a shrinkage of 0.055 km² per year. According to the latest findings and annual melting rates, it is understood that 46% of the glaciers, whose shrinkage rate corresponds to 0.055 km² per year, have melted and 38% have evolved into debris-covered glaciers.

1.Giriş

Buzullar, sıcaklık ve kar yağışı başta olmak üzere klimatik koşullardaki değişikliklere yanıt olarak sürekli büyüyen ve küçülen yapılarıyla iklim değişikliğinin en belirgin göstergelerindendir. Son yıllarda küresel buz hacminde izlenen küçülme, su kaynaklarının azalması, ani sel ve çığlardan kaynaklanan tehlikeler ve deniz seviyesindeki değişiklikler konusunda endişelere yol açmıştır (Benn ve Evans, 2014). Bu kapsamda Akdeniz Havzası, coğrafi konumu ve topografik yapısı nedeniyle Kuvaterner boyunca meydana gelen buzul ilerlemeleri ve gerilemelerinin en iyi gözlemlendiği yerlerden biridir (Hughes ve Woodward, 2016: Azzoni vd., 2024). Doğu Akdeniz Havzası'nda konumlanan Türkiye ise çeşitli iklimsel ve orografik etkiler nedeniyle Kuvaterner süresince önemli ölçüde buzullaşmaya uğramıştır. Küresel sıcaklık ortalamalarındaki artışlar (IPCC, 2023) güncel koşullara yaklaşıldıkça buzulların erimesine ve yüksek dağların korunaklı alanlarına çekilmesine neden olmuştur (Çiner, 2003; Bayrakdar vd., 2017).

Türkiye'deki buzullara yönelik öncü bilgilere 19. yüzyılın ilk yarısından itibaren Avrupalı gezginlerin seyahat notlarından erişilmektedir (Parrot, 1834; Ainsworth, 1842; Palgrave, 1872; Brcye, 1878; Lynch, 1901). Bununla birlikte bilimsel nitelikteki çalışmalar 20. yüzyılla birlikte başlamıştır (Penther, 1905; İzbirak, 1951; Erinç, 1952; Imhof, 1956; Blumenthal, 1959). Son yıllarda yapılan kozmojenik nüklid analizleri ve OSL gibi nicel yaş tayinlerinin literatüre eklenmesi ile de ülke genelindeki buzulların jeokronolojisi büyük oranda tamamlanmıştır. Bütün bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar 21 bin yıl önce yaşanan Son Buzul Maksimumu (LGM) evresine odaklanmakta (Sarıkaya vd., 2011; Bayrakdar vd., 2017; Altınay vd., 2020) ve Türkiye'deki Kuvaterner buzullaşmalarının Toros Dağları, Doğu Karadeniz Dağları, iç kesimlerdeki bağımsız kütleler ile 2500 m'nin üzerindeki volkanik yükselimlerde meydana geldiğini göstermektedir (Kurter ve Sungur, 1980; Çiner, 2003; Sarıkaya vd., 2011; Çılğın, 2015; Akçar vd., 2017; Bayrakdar vd., 2015; Bayrakdar vd., 2017a; Seven ve Tonbul, 2024; Öztürk ve Zorer 2025). Öte yandan, Türkiye'deki aktüel buzul alanlarının %60'ını söz konusu volkanik kütlelerin en yükseği olan Büyük Ağrı Dağı barındırmaktadır. (Azzoni vd., 2024). Ancak, Türkiye'nin en büyük buzul kütlesine ve tek takke buzuluna sahip olmasına rağmen Büyük Ağrı Dağı buzulları ve buzul jeomorfolojisine ait literatür henüz istenilen derinliğe ulaşmamıştır.

Dağın zirve kesimini kaplayan takke buzuluna dair ilk bilgiler 19. yüzyılda Avrupalı gezginler ve bilim insanlarınca yayına dönüştürülen gözlem notlarından oluşmaktadır (Parrot, 1834; Wagner, 1848; Brcye; 1878; Ebeling, 1899; Lynch, 1901). Bununla birlikte 20. yüzyıl ortalarından itibaren başlayan yerel jeolojik çalışmalar (Imhof, 1956; Blumenthal, 1959; Klaer, 1965; Birman, 1968) sahadaki buzullar ve buzullaşma ile ilgili yer şekilleri hakkında genel bilgiler sağlamaktadır. Sonraki yıllarda yapılan uzaktan algılama çalışmaları ile dağın buzul alanı değişimi incelenmiş olup (Kurter ve Sungur, 1980; Sarıkaya, 2012; Yavaşlı vd., 2015; Yalçın, 2017; Baldasso, vd., 2018), kütlenin genel jeomorfolojisine yönelik yapılan çalışmalarda da (Azzoni vd., 2017; 2019) buzul jeomorfolojisi ana hatlarıyla ortaya konulmuştur. Bu çalışma, Büyük Ağrı Dağı'nın buzul jeomorfolojisine yönelik bilgileri detaylandırarak kütlenin buzullarını ve buzul jeomorfolojisini yeni bulgularla desteklenmiş kapsamlı glasyo-jeomorfolojik değerlendirmelerle ortaya koymayı hedeflemektedir. Buzul jeomorfolojisine ait morfolojik birimlerin dağılışı, seviyeleri, morfometrik ve dinamik özellikleri aynı zamanda takke buzulunun Kuvaterner'in soğuk dönemlerindeki yayılım alanlarını tanımlamaktadır. Bu sebeple çalışmada tarihi kaynaklar, uydu görüntüleri ve güncel saha çalışmaları ile elde edilen verilerle buzulların alansal değişiminin çerçevesi oluşturulmaya çalışılmıştır.

Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi Türkiye'nin Ermenistan, Nahçıvan ve İran ile olan sınırına yakın bir bölgede, 39°28–39°59 kuzey enlemleri ile 44°04–44°48 doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. Stratovolkan karakterine sahip (Yılmaz vd., 1998) iki ana volkan konisinden oluşan kütle, yaklaşık 1800 km² alana yayılmış durumdadır. Volkanik kompleksin batısında Büyük Ağrı Dağı (5137 m), güneydoğusunda ise Küçük Ağrı Dağı (3896 m) yer alır. Çalışma alanı Kuvaterner buzullaşmaların meydana geldiği Büyük Ağrı Dağı'nın ortalama 3000 metreden daha yüksek kesimlerini kapsamaktadır (Şekil 1).

2. Metodoloji

Çalışmanın veri kaynaklarını jeoloji ve topografya paftaları ile meteorolojik veriler, uydu görüntüleri (Google Earth, Landsat), eş yükselti eğrilerinden üretilen 10 m çözünürlükteki Sayısal Yükselti Modeli (SYM), tarihi kaynaklar ve 2022–2024 yılları arasında gerçekleştirilen saha çalışmaları oluşturmaktadır. Büyük Ağrı Dağı'nda buzul süreçlerini ve buzul jeomorfolojisini etkileyen litolojik faktörlerin analizi için 1/100.000 ölçekli MTA I 52 jeoloji paftası ile (Sümengen, 2013) yapılan jeolojik çalışmalardan (Blumenthal, 1959; Yılmaz vd., 1998) faydalanılmıştır. Buzul çalışmaları açısından kritik öneme sahip klimatik veriler bakımından, sahadaki kaynaklar en önemli sınırlılıklardan birini oluşturmaktadır. Çalışma alanının yakın çevresindeki Iğdır (858 m) ve Doğubayazıt (1640 m) istasyonlarının 1975-2022 döneminde sırasıyla 12,9 °C ve 9,3 °C olan yıllık sıcaklık ortalamaları ile 262 mm ve 328 mm olan yağış değerleri kaydedilmiştir (MGM, 2023). Bununla birlikte içerisinde meteoroloji istasyonu bulunmayan çalışma alanının yıllık sıcaklık ve yağış haritaları için, zirve kesiminde 1000 mm'nin üzerine çıkan sahayı yansıtmayan yağış değerleri sunan klasik analitik yöntemler yerine (Demircan, 2022; Kaya vd., 2025), bazı çalışmalarda da kabul görüldüğü üzere (Yılmaz ve Çiçek, 2018; Çiner ve Sarıkaya, 2023) sahada daha tutarlı ve özellikle 3000–3500 m civarından itibaren yağışın aynı hızla artmaya devam etmediği daha yüksek kesimleri gerçek koşullara uygun yansıtan sonuçlar üreten WorldClim sürüm 2.1 iklim verileri kullanılmıştır. Çevre meteoroloji istasyonlarından gelen 1970–2000 dönemi sıcaklık, yağış, güneş radyasyonu, buhar basıncı ve rüzgâr hızına ait aylık ortalama veriler, 30 saniye (~1 km²) mekânsal çözünürlükteki SRTM yükseklik verileriyle birlikte kullanılarak ince levha eğrileri (spline) yöntemi ile enterpole edilerek sunulmuştur (Fick ve Hijmans, 2017). Söz konusu veriler ArcMap programında düzenlenerek yıllık yağış ve sıcaklık haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca bölgede sıcaklık ve yağış koşullarının uzun dönemli seyrini anlamak için en yakın gözlem noktaları olan Iğdır ve Doğubayazıt meteoroloji istasyonlarına ait (1975–2022) meteorolojik veriler üzerinden sıcaklık ve yağış eğilim analizleri yapılmıştır.

Büyük Ağrı Dağı'nda klimatik koşullara bağlı olarak arazi çalışması imkanlarının kısıtlı olduğu dönemlerde kar ve buzul ayrımı ile buzul yer şekillerinin tespitinde Google EarthTM uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. Arazi çalışmalarının gerçekleştirilebildiği Ağustos-Eylül aylarında ise buzullara ve buzul yer şekillerine dair yerinde gözlemler ve dijital görüntülemeler yapılmıştır. Bununla beraber buzulların yaklaşık son 125 yıllık seyrini ve alansal değişimini ortaya koymak için literatürdeki (Ebeling, 1899; Lynch 1901; Blumenthal 1959; Berlitz, 1987; Corbin, 1999) bilgi ve görsellere başvurularak sahadan elde edilen güncel verilerle karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmıştır. Geçmiş dönem buzul dillerinin seviyeleri +- 30 m yanılma payı olmakla birlikte kütledeki topografik belirteçlerine göre (örneğin Çal Tepe 4250 m) belirlenmiştir.

2.1. Uzaktan Algılama

Büyük Ağrı Dağındaki buzul değişimi, 1977-2023 yılları arasında alınmış dört adet çok zamanlı ve multispektral Landsat uydu görüntüleri kullanılarak değerlendirilmiştir. 30 m çözünürlüklü 0.4-0.7 mikrometre dalga boyu aralığındaki ve RGB bantları içeren Landsat 2, 5 ve 8 uydularına ait görüntüler, Amerikan Jeoloji



Şekil 1. Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nin topografya ve lokasyon haritası. Figure 1. Topography and location map of Mount Ağrı Volcanic Massif.

Birliği (USGS) sitesinden (https://earthexplorer.usgs.gov/) indirilmiştir. Uzaktan algılama analizleri kapsamında bölgede minimum kar örtüsünün ve bulutsuz hava koşullarının, dolaysıyla da atmosferik etkinin en düşük olduğu Ağustos ve Eylül aylarına ait uydu görüntüleri seçilerek CBS ortamında manuel olarak sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma işlemi sonucunda buzul alanların sınırı belirlenip haritalandırılmıştır.

2.2. Paleo-ELA Hesaplaması

Büyük Ağrı Dağı'nda sirkler ve buzullara dair eski hipsometrik veriler bulunmadığı icin paleo ELA ve paleo buzul alanı hesaplamalarındaki en önemli bileşenlerden olan yan ve cephe morenlerinin sahada koordinatlandırılan nihai seviyelerine göre belirlenmiştir (Meierding, 1982; Torsnes vd., 1993; Benn ve Lehmkuhl, 2000). Rekonstrüksiyonu yapılan paleo-buzul alanına ait 10 m çözünürlüklü SYM verisinin ArcGIS'e eklenen ELA (Equilibrium-Line Altitude – Denge Hatti Yükseltisi) hesaplama aracı ile analizi sayesinde de paleo kalıcı kar sınırı hesaplanmıştır. Hesaplama aracı kullanılırken güncel buzulları da içerecek şekilde paleo-buzul alanın sınırlarını kapsayan tek bir buzullaşma alanı referans alınmıştır. Batı Himalayalar gibi yüksek sahalar icin sıfır net dengenin 0,44 AAR değerinin verildiği çalışmalar bulunmakla birlikte (Kulkarni, 1992), Clark vd. (1994) kar yağışı, çığlar, enkaz örtüsü gibi değişkenleri hesap etmenin zorluğuna bağlı olarak sıfır net denge değerinin tam olarak tespitinin zor olduğunu ileri sürülmüştür. Bu kapsamda AAR (Accumulation Area Ratio/Birikim Alanı Oranı) ve MEG (Median Elevation of a Glacier/Buzulun Ortalama Yükseltisi) metotları için yüksek dağlık alanlarda sıklıkla kullanıldığı üzere (Rea, 2009; Pellitero vd., 2015; Oien vd., 2022; Bayrakdar vd., 2024; Öztürk ve Zorer, 2025), 0.58 ve 0.65 oranları dikkate alınmıştır. Söz konusu kullanılan metotların ortalaması alınarak Büyük Ağrı

Dağı'nın ortalama paleo-kalıcı kar sınırı tespit edilmiştir.

3. Büyük Ağrı Dağı'nın Genel Fiziki Özellikleri

3.1. Jeolojik Özellikler

Büyük Ağrı Dağı'nın litolojik yapısı, Kuvaterner'de meydana gelen bir dizi volkanik faaliyetin ürünüdür (Yılmaz vd.,1998). Kütlenin buzullaşmaya maruz kalan kısımları bazaltik, andezitik lavlar ile aglomeralar ve piroklastiklerden meydana gelmektedir (Sümengen, 2013). Söz konusu en genç lav çıkışlarının gerçekleştiği yan volkanik faaliyetler yaklaşık 20 bin yıl öncesine tarihlense de (Notsu vd., 1995) volkanın freatik-freatomagmatik volkanik aktivitesi 1840 yılına kadar sürmüştür (Karakhanian vd., 2002).

3.2. Topografik Özellikler

Büyük Ağrı Dağı'nın yaklaşık 3000 m'den daha yüksek kesimi %35'i aşan eğim değerleri ile 5137 m yüksekliğindeki zirve konisini oluşturmaktadır. Muhtemelen volkanik dom veya tıkaç karakterine sahip bu koninin nahiyesi, her ne kadar büyük bir kısmı takke buzulu ile kaplı olsa da zirvenin doğu kesimindeki eriyen buzul alanlarının varlığı ve çanak morfolojisinin belirsizliği gibi belirteçler koninin kraterden yoksun olduğu göstermektedir. Buna karşılık koninin yaklaşık 3 km²'lik zirve nahiyesi, kuzeye doğru düşük meyilli plato ve sırt morfolojisi karakterindedir.

3.3. Klimatik Özellikler

Türkiye'de sert karasal iklim koşullarının en şiddetli yaşandığı dağlık alanlardan birisi olan Büyük Ağrı Dağı (Öztürk ve Taşoğlu, 2024), 5137 m yükseltisi nedeniyle eteklerindeki sıcak ve kurak iklim tiplerinden zirve nahiyesindeki soğuk ve nemli iklim tiplerine kadar değişen iklim çeşitliğine sahiptir (Yılmaz ve Çiçek, 2016; 2018). Çalışma alanın olduğu kütlenin 3000 m'den yüksek kesimleri ise nemli-soğuk karasal ve polar iklim tipinin etkisi altındadır (Yılmaz ve Çiçek, 2018; Taşoğlu vd., 2024) ve yıllık ortalama sıcaklıklar 0 °C ile -7,6 °C arasında değişmektedir (Şekil 2a). Kütlenin bu bölümünde kış ayları sıcaklık ortalamaları 0 °C'nin altında olup Ocak ayı -11,3- -16,6 °C sıcaklık değerleri ile en soğuk ay durumundadır. Yaz aylarında sıcaklık ortalamaları 0°C'nin üzerinde seyretmektedir (Sarıkaya, 2012). Maksimum aylık ortalama sıcaklıklar 10,3-3,2 °C değerleri ile Temmuz ayında gerçekleşmektedir. Kütlede yıllık ortalama yağışlar ise maksimum 862 mm (Şekil 2b) düzeyindedir ve yağışların %38'i ilkbahar, %21,1'i yaz, %20,3'ü sonbahar %20,6'sı kış mevsiminde düşmektedir. Ağrı Dağı'nın yakın çevresindeki Iğdır ve Doğubayazıt istasyonlarının 1975-2022 dönemindeki iklim eğilimlerinin değerlendirilmesi, yıllık sıcaklık ortalamalarında 1,3°C'lik artış, yağış miktarlarında ise yıllara göre dalgalanmalar görülse de ortalamalarında değişiklik yaşanmadığını göstermektedir (Şekil 2 c-d).

4. Bulgular

4.1. Literatür ve Uydu Görüntülerine Göre Son Dönem Buzul Aktivitesi

Büyük Ağrı Dağı tarihi buzul fotoğrafına yönelik, nirengi noktaları ile saha tespit ve koordinatlandırmalarına dayanan konumlandırmalar, buzulların 20. yüzyılın başında 15 km²'den fazla¹ alana sahip olduğunu göstermektedir (Fotoğraf 1). Takke buzulunun kapladığı alan 20. yüzyıl ortalarında 10–12 km² iken (Blumenthal, 1959), 21. yüzyılın ilk çeyreğinde 4,9 km²'ye kadar gerilemiştir (Şekil 3). Yapılan bu hesaplamalarda Büyük Ağrı Dağı'nın döküntü örtülü buzulları dikkate alınmamıştır. Bir fikir oluşturması açısından 2010 yılı uydu görüntülerinde takke buzulu; Parrot, Cehennemdere ve Paraşüt olmak üzere üç döküntü örtü buzul ile birlikte değerlendirme yapıldığı ve toplam 7,28 km² alan kapladığı hesaplanmıştır (Azzoni vd., 2017). Bu çalışma kapsamında uydu görüntüleri üzerinden yapılan son (Landsat 8, 2023) incelemeler ise buzul alanının tespit edilen Blumenthal, Mıhtepe ve Kozaklıdere döküntü örtü buzulları ile birlikte 8,11 km² alana sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 3f).



Şekil 2. Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nin WorldClim 2.1 tabanlı yıllık ortalama sıcaklık ve yağış dağılış haritaları ile Iğdır ve Doğubayazıt istasyonlarına göre bölgede son 47 yıldaki sıcaklık ve yağış değerlerinin trendi.

Figure 2. Distribution of WorldClim 2.1 based mean annual temperature and precipitation maps on Mount Ağrı Volcanic Mass and temperature and precipitation trend in the area according to Iğdır and Doğubayazıt stations.

¹Volkanın güney yamaçlarına ait buzul dillerinin alt sınırı Blumenthal'in (1959) belirttiği 4200 m seviyesinden 100 m daha aşağıdan geçirilmiştir. Nitekim Lynch'in (1901) volkanın doğu, batı ve kuzey yamaçlarına ait tarihi buzul fotoğrafları ile Blumenthal'in (1959) bu yamaçlarda çektiği buzul fotoğraflarında 100-200 m'lik yükselti farkı mevcuttur.



Şekil 3. Büyük Ağrı Dağı takke buzulunun 1977-2023 yılları arasındaki alansal değişimleri ve güncel buzul alanı haritaları (Landsat). Figure 3. Spatial change map of the ice cap glacier of Mount Büyük Ağrı between 1977-2023 and the current glacier map (Landsat)

4.2 Güncel Buzullar ve Buzul Jeomorfolojisi

Büyük Ağrı Dağı'nda üç ayrı tipte buzula rastlanmaktadır. Bunlar zirve nahiyesini kaplayan takke buzulu, eğimli yamaçlarda alt kotlara uzanan saçak buzulları ve saçak buzullarının erime/çekilme bölgesinde gelişen döküntü örtülü buzullardır. Kütlede; saçak buzullarının oluşturduğu buzul vadileri ile buzul süreçlerine bağlı ortaya çıkan; cilalı-çentikli-törpülenmiş yüzeyler, hörgüç kayalar, termokarstik çanaklar, morenler ve sandurlar başlıca jeomorfolojik ünitelerdir (Şekil 4).

4.2.1. Takke Buzulu

Büyük Ağrı Dağı, yüksek rakımı, uygun zirve geometrisi ve elverişli iklim koşulları nedeniyle Orta Doğu'nun tek buz örtüsünü barındırır (Blumenthal 1959; Sarıkaya, 2012). Takke buzulunun kalınlığı topo-klimatik etkenlere bağlı olarak KB, B, GB kesimlerde fazladır. Buzul kalınlığı Ahura Vadisi sarp yamaçlarında yaklaşık 10 m'lik buz falezi ile başlamakta ve zirvenin GB kesimine doğru 50 m'ye kadar artmaktadır (Fotoğraf 4c). Buzul kalınlığına yönelik veriler yapılan çalışmalarda farklı değerler sunar. Örneğin 1989 yılında yersel radar kullanımı sonuçlarına göre buzul kalınlığı 76 m olarak ölçülmüştür (Corbin, 1999). Buzul kalınlığı diğer çalışmalarda ise 40 m (Blumenthal, 1959) ve 60 m (Berlitz, 1987) olarak rapor edilmektedir. Bununla birlikte uzaktan algılama temelli modellemelere göre buzulun kalınlığı ortalama 40 m olarak hesaplanmıştır (Baldasso, vd., 2018). Kalıcı kar kalınlığı ise batı kesimde 100 cm iken doğu kesimde 5-10 cm arasında değişiklik göstermektedir (Azzoni vd., 2017).



Fotoğraf 1. a. Büyük Ağrı Dağı'nın KD-K-KB yönündeki buzullarını gösteren tarihi fotoğraf (Lynch, 1901'den düzenlenerek), b. çalışma kapsamında sahanın yaklaşık aynı açıdan çekilen güncel fotoğrafi c. Kütlenin D-GD yamaçlarını gösteren tarihi fotoğraf (Lynch, 1901), d. aynı yamaçların 2019 tarihli uydu görüntüsü (Google Earth).

Photo 1. a. Historical photograph showing NE-N-NW slopes glaciers of Mount Büyük Ağrı (edited from Lynch, 1901), **b.** current photograph of the area, taken from approximately the same angle within the scope of the study, **c.** historical photograph showing E-SE slopes of the mass (Lynch, 1901), **d.** satellite view (Google Earth) showing E-SE the same slopes of the mass.

4.2.2. Saçak Buzulları

Saçak buzulları genellikle yüksek bir platoda ya da dom ve kubbe morfolojisine sahip dağlık kütleler üzerinde gelişen örtü buzullarının kenarından çıkan buzul uzantıları olarak tanımlanmaktadır (Turoğlu 2011; Monkhouse, 2017). Ağrı Dağı'ndaki saçak buzulları son yıllarda hızla eriyerek ortadan kalkarken geriye sadece 8 tanesi kalmıştır ve bunlardan 6'sı (Şekil 4 (No: 4,8,9,10,16,18)) daha aşağı kotlarda döküntü örtülü buzula evrilmiştir. Volkanın KD yamacındaki Abich I- II saçak buzulları 4076 m'ye, KB yamacındaki Parrot Saçak Buzulu 3900 m'ye (Fotoğraf 3d), güney ve doğu yamaçlardaki saçak buzulları ise 4800 m'ye kadar gerilemiştir. Bu sonuçlar saçak buzullarının 1950'li yıllardan beri (Blumenthal, 1959; Türkünal, 1980; Şekil 3a-d) kuzey yamaçlarda 200 m güney yamaçlarda ise 600 m geri çekildiğini göstermektedir.

4.2.3. Buzul Yarıkları (Krevas)

Büyük Ağrı Dağı buzullarında, enine ve boyuna olmak üzere iki krevas türü gelişmiştir. Enine krevaslar saçak buzulları üzerinde ve bunların takke buzulu ile kesiştiği alanlarda, boyuna krevaslar ise volkanın kuzey kesimindeki buzulların platoya yelpaze gibi yayıldıkları alanda görülmektedir. Krevaslar ortalama 1–2 m genişliğe (Türkünal, 1980) ve 10 m derinliğe sahiptir (Berlitz, 1987). Büyük Ağrı Dağı takke buzulu geri çekilme safhasında olmasına rağmen (Sarıkaya, 2012) Abich I-II ve Parrot saçak buzullarının üzerinde görüldüğü gibi çok sayıda krevas gelişmiştir (Azzoni vd, 2017; Fotoğraf 3). Bu durum buzulların birikim bölgesindeki gelişimini ve Kuvaterner buzul dönemlerinden kalan ölü buz kütlesi karakterine sahip olmadığını göstermektedir.

4.2.4 Döküntü Örtülü Buzullar

Genellikle buzulların erime bölgesine yakın kesimlerinde moloz ve değişik türdeki enkaz örtüsü ile kaplı bölümlere karşılık gelen döküntü örtülü buzullar, birkaç santimetreden fazla enkaz örtüsüne sahip buzul dillerinde klimatik koşullardan çok fazla etkilenmeden uzun süreli stabilite gözlenebilen glasiyal birimlerdir (Mayr and Hagg, 2019; Keserci vd., 2023). Normal buzullardan farklı olarak yağış, çığlar ve enkazla hacim kazanma gibi süreçlerin kütle dengesinde rol oynadığı döküntü örtülü buzulların, alanlarında bir değişiklik olmadan da eğim yönünde ilerleme sergileyebildikleri bilinmektedir (Gürgen vd., 2010). Bu haliyle pasif glasiyal yapılar olarak tanımlanmalarının hatalı yorumlara sebep olabileceği anlaşılan döküntü örtülü buzulların Büyük Ağrı Dağı'ndaki bazı örneklerinde de progresif hareketler tespit edilmiştir.

4.2.4.1. Cehennemdere döküntü örtülü buzulu

Cehennemdere döküntü örtülü buzulu, Büyük Ağrı Dağı'nın kuzeydoğu yamacındaki Ahura Vadisi içerisinde yaklaşık 4000 m'den, 2200 m'ye kadar uzanmaktadır (Fotoğraf 2a). Buzul yaklaşık 6 km uzunluğa, ortalama 230 m genişliğe ve 1,3 km² alana sahiptir. Cehennemdere döküntü örtü buzulunun dil kısmında,



16- Blumenthal saçak buzulu,Blumenthal döküntü örtü buzulu, Blumenthal buzul vadisi,17-İncedere buzul vadisi, 18-Abich saçak buzulu,19-Cehennemdere dökütü örtü buzulu, TM: Taban Moreni, CM: Cephe Moreni

Şekil 4. Büyük Ağrı Dağı buzul ve buzul jeomorfolojisi haritası. Figure 4. Glaciers and glacial geomorphology map of Mount Büyük Ağrı.

60 m yüksekliğine sahip buzul üzerinde kalınlığı yer yer 2 m'yi bulan enkazla örtülüyken, üst kesimlerde 7 m yüksekliğe sahip buzul duvarı üzerinde 1,5 m enkaz örtüsü bulunmaktadır (Fotoğraf 2b). Bu nedenle buzul erimeleri üst kesimlerde daha fazla gerçekleşmektedir. Buzul erimeleri, alanları 1000 m²'ye kadar çıkabilen termokarstik çanakların oluşumuna neden olmaktadır. Söz konusu termokarstik çanaklarda, yağışlı geçen yıllarda sayıları 10'u bulan geçici buzul üstü göller oluşmaktadır (Fotoğraf 2e).

Cehennemdere dökütü örtülü buzulu, 1840 yılında meydana gelen Ahura felaketi sonrasında yeniden şekillenen Ahura Vadisi içerisine yerleşmiştir (Azzoni vd., 2019). Ahura felaketi sonrasında kütlenin kuzeydoğu yamacındaki buzulu besleyen Abich I-II saçak buzullarının aktif olması, Ahura Vadisi'nin derinleşen topografik yapısı ve LIA döneminin devam etmesi, Cehennemdere buzul dilinin 2200 m'ye kadar ilerlemesine ortam sağlayan faktörlerdir. Ancak LIA döneminin sona erdiği 19. yüzyıl ortalarından itibaren küresel sıcaklık ortalamalarında yaşanan artışlar (IPCC, 2023), buzulu besleyen saçaklarda kopmalara (Abich II) neden olmuştur. Bu durum Cehennemdere buzul dilinin durağanlaşmasına ve enkaz materyallerinin kalınlığı sebebiyle günümüze kadar aynı konumda duran ölü buz kütlesi formuna kavuşmasına neden olmuştur.

4.2.4.2. Parrot döküntü örtülü buzulu

Büyük Ağrı Dağı'nın KB yamacında gelişim gösteren Parrot saçak buzulu (Fotoğraf 3d), 3900–3475 m yükseltileri arasında enkaz örtüsü ile kaplanarak döküntü örtülü buzula evrilmiştir (Fotoğraf 3e). Yaklaşık 150 m derinliğe sahip buzul vadisi içerisinde gelişim gösteren döküntü örtülü buzulun dil kesimindeki yüksekliği enkaz materyalleri ile birlikte 60 m'yi bulmaktadır. Buzulun alanı 0,5 km², uzunluğu ise 2 km olup maksimumum buzul genişliğine 250 m ile orta kesimde ulaşılmaktadır. Parrot saçak buzulunun 1898 yılına ait fotoğrafında (Fotoğraf 1a) çıplak formdaki buzulun 3500 m'ye kadar indiği görülmektedir. Bu durum, günümüzde en az 3/4'ü döküntüyle kaplı olan buzulun, 20. yüzyıl başlarından itibaren enkaz materyalleri ile örtüldüğünü göstermektedir. Kalın bir enkaz örtüsünün varlığı (1 m) buzulun erimesini engelleyerek/yavaşlatarak durağanlaşmasına neden olmuştur.

4.2.4.3. Blumenthal döküntü örtülü buzulu

Blumenthal döküntü örtülü buzulu, günümüzde 4500–3400 m yükselti değerleri arasında yer almakta olup yaklaşık 2 km uzunluğa sahiptir. Blumenthal saçak buzulu, muhtemelen LIA döneminde enkaz örtüsünden yoksun bir şekilde 3400 m'ye kadar uzanıyordu. LIA döneminden sonraki süreçte çevredeki buzul-



Fotoğraf 2. a. Cehennemdere döküntü örtülü buzulunun genel görünümü, **b.** Buzulun üst kesimlerinde 7 m yüksekliğindeki buz falezi ve üzerinde 1,5 m kalınlıktaki enkaz örtüsü, **c.** Buzula ait yaklaşık 10 m yüksekliğindeki yan morenler ve buzul akış kanalı, **d.** Enkaz örtüsünün az olduğu üst kesimlerde gözlemlenen buz falezi, **e.** Cehennemdere buzulu üzerinde gelişmiş buzul üstü göl örneği.

Photo 2. a. General view of the debris-covered glacier of the Cehennemdere, **b**. 7 m high ice cliff and 1,5 m debris cover in the upper parts of the glacier, **c**. The approximately 10 m high lateral moraines of the glacier and the glacier flow channel, **d**. The ice cliff observed in the upper parts where the debris cover is less, **e**. an example of a supraglacial lake developed on the Cehennemdere glacier.

ların erimeye başlamasıyla derinliği 100-200 m arasında değişen yatağı içerisinde akış sergileyen buzulun üzerine enkaz akışları başlamıştır. Buzulun 20. yüzyıl başlarına ait fotoğrafında (Fotoğraf 1a) çıplak formdaki buzul dili 3700 m'ye kadar takip edilebilmektedir. Buradan aşağı seviyelerde (3400 m'ye kadar) ise buzulun döküntü ile kaplı olduğu düşünülmektedir. Buzulun 1983 yılı fotoğrafında (Corbin, 1999; Fotoğraf 3b) 4300 m'ye kadar enkaz örtüsünün olmadığı gözlemlenirken daha aşağı seviyelerde döküntü örtülü buzula dönüştüğü görülebilmektedir. Bu dönemde buzulun takke buzulu ile bağlantısının bulunması ve buzul üzerinde krevasların gelişmesi, buzulun hareketini göstermektedir. Ancak günümüzde takke buzulu ile bağlantının kopmuş olması ve buzulun dil kısmındaki erime kaynaklı çökmelerin meydana gelmesi buzulun gerileme aşamasındaki ölü buz kütlesi formunda olduğunu göstermektedir (Fotoğraf 3ac).

4.2.4.4. Paraşüt döküntü örtülü buzulu

Büyük Ağrı Dağı'nın güney yamacında 4800–3815 m arasında konumlanan Paraşüt döküntü örtülü buzulu, 1700 m uzunluğa, 200 m genişliğe ve 0,28 km² alana sahiptir. Buzul 1 m civarında (Azzoni vd.2017) enkaz örtüsü ile kaplıdır. 2005-2015 yılları arasındaki Google EarthTM uydu görüntülerinden elde edilen veriler ve buzul üzerinde yaygın krevas gelişimi, buzulun son birkaç yıla kadar aktif ve progresif bir buzul diline sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 5). Ancak Paraşüt döküntü örtülü buzulu günümüzde takke buzulu ile bağlantısı kopmuş bir ölü buz kütlesi karakterine bürünmüştür.

4.2.4.5. Mıhtepe döküntü örtülü buzulu

Büyük Ağrı Dağı'nın GD yamacında yaklaşık 4700–4000 m'ler arasında uzanan Mıhtepe döküntü örtülü buzulu, 20. yüzyıl ortalarına kadar çıplak saçak buzulu formunda olduğu görülmektedir (Lynch, 1901; Blumenthal, 1959; Fotoğraf 1c). Bu dönemden sonraki süreçte yamaç buzullarının hızla erimesi, buzulun döküntüyle kaplanmasına neden olmuştur. Nitekim buzulun 1980'li yıllara ait fotoğraflarında (Berlitz, 1987; Corbin, 1999) takke buzulu ile ince bir bağlantısı olduğu ve buzul dilinin enkazla kaplı olduğu görülmektedir (Fotoğraf 4b). Buzulun günümüzde takke buzulu ile bağlantısı kopmuştur (Fotoğraf 4b). Bu nedenle buzul, gerileme sürecindedir.

4.2.4.6. Kozaklıdere döküntü örtülü buzulları

Büyük Ağrı Dağı'nın GB yamacında Kozaklıdere buzul vadileri (Şekil 4 (No: 8-9)) içerisinde iki döküntü örtülü buzul tespit edilmiştir (Fotoğraf 4c–g). Kozaklıdere 1 ve Kozaklıdere 2 döküntü örtülü buzulu olarak ayırt edilen buzullardan daha büyük olanı (1) vadinin batısında, küçük olanı (2) ise doğusunda bulunmaktadır. Kozaklıdere 1 döküntü örtülü buzulu; 1300 m uzunluğa, 200 m genişliğe ve 0,24 km² alana sahiptir. Kozaklıdere 2 döküntü örtülü buzulu ise 1230 m uzunluğa, 120 m genişliğe ve 0,16 km² alana sahiptir. Söz konusu döküntü örtülü buzullar takke buzulu ile bağlantıları koptuğundan ölü buz kütlesi for-



Fotoğraf 3. a. Blumenthal döküntü örtülü buzulun genel görünümü ve buzul dilindeki erime izleri, **b.** 1983 yılı fotoğrafi (Corbin, 1999) ve **c.** uydu görüntüsü (Google Earth) **d.** Parrot döküntü örtülü buzulun üst kesimi ve **e.** dil kesiminin görünümü *Photo 3. a. General view and thaw marks in the glacier tongue, b.* 1983 photo (Corbin, 1999) and **c.** satellite image (Google Earth) of the Blumenthal debris-covered glacier, **d.** upper section and **e.** tongue section of the Parrot debris-covered glacier



Şekil 5. Paraşüt döküntü örtülü buzulunun 2005–2015 yılları arasındaki gelişimi ve güncel görünümü. *Figure 5.* Development of the Paraşüt debris-covered glacier between 2005–2015 and current appearance.

mundadır. Enkaz örtüsünün oldukça az olduğu üst kesimlerdeki buzul erimeleri ve dil kesimindeki kısmi erimeler döküntü örtülü buzulların parçalanmasına neden olmuştur. Her iki döküntü örtülü buzulun ulaştığı nihai seviyenin 3800 m'nin üzerinde bulunması bunların kütledeki diğer döküntü örtülü buzullar gibi LIA dönemi sonrası, 20. yüzyılın yarısından itibaren geliştiklerini göstermektedir.

4.2.5. Buzul Vadileri

Büyük Ağrı Dağı'nda 4860–2800 m arasında küçük ölçekli 17 adet buzul vadisi tanımlanmıştır (Şekil 4). Buzul vadilerinin derinlikleri 50–200 m, uzunlukları ise 1,5–4,7 km arasında değişmektedir (Tablo 1). Söz konusu vadilerin uzanım doğrultularını genellikle genç lav akıntıları ve çıkışları denetlemektedir. Örneğin Parrot Saçak Buzulu kuzeybatı ekseninden, genç lav domlarının etkisiyle kuzeye doğru yönelmiştir (Şekil 4; Fotoğraf 5). Volkanın, doğu yamacındaki genç bazaltik lav akıntıları ise buzulların ilerlemesi için uygun morfoloji sunmaktadır (Fotoğraf 1 c-d). Bu kesimdeki yamaçtan 4350 m'ye kadar uzanan takke buzulu, genç lav akıntıları arasında kalan sahalarda kollara ayrılarak 2900 m'ye kadar uzanan buzul vadileri/yatakları oluşturmuştur.

4.2.6. Moren

Büyük Ağrı Dağı'nda uzun süreli erozyonal süreçlerle altere olan litolojik özellikteki günlemiş morenler ile buzulların yakın geçmişte çekilmesi ile ortaya çıkan genç morenler olmak üzere iki moren tipi ayırt edilmiştir (Fotoğraf 6). Döküntü örtülü buzullar tarafından taşınan genç morenler, Ahura Vadisin'de 2200 m, Blumenthal buzul vadisinde 3400 m seviyelere kadar gözlemlenirken, takke ve saçak buzullarının gerilemesine bağlı olarak depolanan genç morenler ise volkanın 3500–3900 m seviyelerinde yoğunlaşmaktadır. Genç moren depolarının altında kalan (3500–2700 m) günlenmiş morenler ise dağın kütle hareketlerini artıran yüksek eğim değerleri, glasiyo-flüviyal erozyon, periglasiyal süreçler ve soğuk lahar akıntıları nedeniyle büyük oranda deforme olmuştur. Ancak eğim şartlarının azaldığı kesimlerde 30 m yüksekliğe kadar çıkabilen günlenmiş moren depoları belirgin bir morfoloji sergilemektedir (Fotoğraf 6a-c). Söz konusu morenler; volkanın kuzeyinde 2700 m, batısında 2900, güneyinde 3000 m, doğusunda ise 3200 m'ye kadar inmektedir.

Tablo 1. Büyük Ağrı Dağı'ndaki buzul vadilerinin morfometrik özellikleri.

Table	1.	Morph	nometric	chara	cteristics	of	glacial	valleys	in	Mount
Büyük	Αğ	írı.								

No	Buzul vadileri	Uzunluk (m)	Baş. yüks. (m)	Bit. yüks.	Eğim (%) Bakı
1	Dikilitaş 1	1825	4136	3290	20–40 Kuzey
2	Dikilitaş 2	2320	4230	3140	20–40 Kuzey
3	Yusufbey	2570	4150	3060	17–40 Kuzey
4	Parrot	4750	4200	2800	10–40 Kuzeybatı
5	İskender	1750	4300	3505	17–40 Kuzeybatı
6	Kozluk	1520	4150	3450	17–40 Kuzeybatı
7	Kızılbayır	4440	4500	3000	5-40 Batı
8-Eyl	Kozaklıdere	2810	4550	3350	17–40 Güneybatı
10	Paraşüt	3150	4850	3300	17–40 Güney
11	Mazırgan	2300	4300	3200	17–40 Güney
12	Mıhtepe	1540	4850	3950	17–40 Güneydoğu
13	Çaltepe 1	1660	4150	3420	10–25 Doğu
14	Çaltepe 2	3500	4350	2850	10–25 Doğu
15	Acıdere	3310	4300	2916	10–25 Kuzeydoğu
16	Blumenthal	2660	4860	3375	10–40 Kuzeydoğu
17	İncedere	2450	4200	3175	10–25 Kuzeydoğu



Fotoğraf 4. Mihtepe döküntü örtülü buzulunun **a.** güncel ve **b.** 1983 yılındaki görünümü (Corbin, 1999). **c.** Kozaklıdere 1 (arka planda yaklaşık 50 m'yi bulan kalınlığı ile takke buzulunun kenar kesiti izlenebilmektedir), ve **d.** Kozaklıdere 2. döküntü örtülü buzullarının güncel görünümü. Kozaklıdere döküntü örtülü buzullarının **e.** buzul dilleri ve takke buzulu ile ilişkisinin görüldüğü Ekim 2019, **f.** döküntü örtülü buzulların morfolojik sınırlarının belirginleştiği Aralık 2013, ve **g.** eriyen buzul kaynaklı akışların izlendiği Ağustos 2009 uydu görüntüleri (Google Earth). **Photo 4.** Mihtepe debris-covered glacier **a.** current and **b.** 1983 appearance (Corbin, 1999). **c.** Kozaklıdere 1 (marginal section of the ice cap glacier with a thickness of about 50 m can be seen in the background), and **d.** current appearance of Kozaklıdere 2 debris-covered glaciers. Satellite images (Google Earth) of the Kozaklıdere debris-covered glaciers. Whiches: **e.** October 2019, when the glacier tongues and their relationship with the ice cap glacier are seen, **f.** December 2013, when the morphological boundaries of the debris-covered glaciers became clear, and **g.** August 2009 showing flows originating from melting glaciers.



Fotoğraf 5. Büyük Ağrı Dağı'nın kuzeybatısındaki Parrot saçak buzulu, krevaslar ve buzul vadisi.

Photo 5. Parrot outlet glacier, crevasses and glacial valley in the northwest of Mount Büyük Ağrı.

4.2.7. Sandur

Büyük Ağrı Dağı'nın 1900–3800 m yükselti kuşağında alanları 0,1–2 km² arasında değişen sandurlar gelişmiştir. Sahada özellikle LIA dönemi sonrasında buzullarda meydana gelen kütlesel kayıplar, sandurların gelişimine neden olmuştur. Bununla birlikte yaz aylarında meydana gelen sağanak yağışlar, buzul üstü göllerin taşması ve buzulların erimesine bağlı olarak meydana gelen soğuk lahar akıntıları (Kaya vd., 2025), sandurların karakteristik litolojik özelliklerinin bozulmasına neden olmaktadır. Örneğin volkanın 800-2000 m eteklerindeki paleo sandur düzlükleri (Yılmaz vd., 1998), sonraki süreçte akarsu, rüzgâr ve lahar depoları ile litolojik-morfolojik yapısı bozularak sandur özelliğini yitirmiş ve alüvyal yelpazelere dönüşmüştür.



Fotoğraf 6. Büyük Ağrı Daği'ndaki günlenmiş ve genç morenler **a.** Büyük Ağrı Dağı batısında 3300 m'de günlenmiş cephe morenleri **b.** İncedere buzul vadisinin 3000 m civarındaki günlenmiş yan ve taban morenleri **c.** Büyük Ağrı Dağı'nın güneyinde 3100 m de günlenmiş taban (sağda) ve lav akıntısına yamanmış yan morenleri (solda) **d.** Kütlenin güneyinde 3600 m'de genç erime/çekilme morenleri **e.** Kütlenin GB kesiminde 3650 m de genç cephe morenleri **f.** Parrot döküntü örtülü buzulu genç sol yan moreni (20 m).

Photo 4. Representation of weathered old and young moraines in the massif of Mount Ağrı Volcanic Mass **a**. Old frontal moraines at 3300 m in the west of Mount Büyük Ağrı **b**. Old lateral and ground moraines around 3000 m in the İncedere glacier valley **c**. Old ground and lateral moraines at 3100 m in the south of Mount Büyük Ağrı **d**. Young ground moraines at 3600 m in the south of the massif **e**. Young frontal moraines at 3650 m in the SW part of the massif **f**. Left lateral morain of the Parrot debris-covered glacier.

4.2.8. Küçük Aşınım Şekilleri

Büyük Ağrı Dağı'nın buzullaşmaya uğramış arazilerinin tümünde küçük buzul aşınım şekilleri gözlemlenmektedir. Özellikle dağın kuzeydoğu yamacında 2800–3000 m seviyelerine kadar anakaya mostraları ve taşınmış iri bloklar üzerinde görülebilen cilalı, çentikli, çizikli yüzeyler tek bir buzullaşma safhasının izlerini taşımaktadır. Söz konusu bu seviyelerdeki buzul aşınım izleri, takke buzulunun Kuvaterner soğuk dönemlerdeki maksimum yayılım alanını belirleyen diğer önemli jeomorfolojik belirteçlerdendir.

4.3. Paleo Buzul Alanı ve Kalıcı Kar Sınırı

Büyük Ağrı Dağı'nın paleo-kalıcı kar sınırı; AAR (0,58 oranına göre) 3547 m, AAR (0,65 oranına göre) 3437 m, MEG (0,58 oranına göre) 3647 m, MEG (0,65 oranına göre) 3647 m ve ortalama paleo-kalıcı kar sınırı da 3569 m olarak hesaplanmıştır. Yapılan arazi çalışmalarından elde edilen glasiyo-jeomorfolojik belirteçlere göre çizilen paleo buzul alanı ise 70 km²'dir. Büyük Ağrı Dağı'nda 1840 yılında meydana gelen volkanik aktivite (Karakanian vd., 2002) sonucunda buzullaşma izlerinin ortadan kalktığı, Ahura Vadisi'nin 3500 metreden alt kotlarında yer alan yaklaşık 10 km²'lik kesimi, bu hesaplamaya dahil edilmemiştir. Öte yandan, tarihi kaynaklardaki bilgi ve tasvirler (Parrot, 1834, Wagner, 1848) ile saha çalışmaları kapsamında elde edinilen glasiyo-jeomorfolojik veriler LIA'da Büyük Ağrı Dağı takke buzulunun yaklaşık 30 km²'lik alana sahip olduğunu göstermektedir.

4.4. Güncel Kalıcı Kar Sınırı

Literatürde Ağrı Dağı'nın güncel kalıcı kar sınırı, 4200-4300 m olarak ifade edilmektedir (Kurter ve Sungur 1980; Çiner, 2003; Sarıkaya, 2011; Azzoni vd.,2017). Söz konusu değer dağın K-KB yamaçları için topo-klimatik etkenlere bağlı olarak uyumludur. Ancak sahada yapılan ölçüm, gözlem ve çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında güncel kalıcı kar sınırının dağın batısında 4750 m, güneyinde 4950 m ve doğusunda 5050 m seviyelerinden geçtiği belirlenmiştir. Bu nedenle ortalama güncel kalıcı kar sınırı 4750 m olarak hesaplanmaktadır.

5.Tartışma ve Sonuç

Büyük Ağrı Dağı, Türkiye'de buzullaşmaya maruz kalmış dağlık alanlar arasında yükselti değerleri açısından en elverişli koşullara sahip olmasına rağmen, dağda Kuvaterner'in soğuk dönemlerinde buzulların gelişimi ve yayılım alanı oldukça yüksek seviyelerle sınırlı kalmıştır. Şiddetli karasal iklim koşulları ve volkanın Sürmeli Çukuru olarak tanımlanan (Saraçoğlu, 1956) sıcak ve kurak bir depresyonun kenarında tekil bir yükselime sahip olması, yüksek eğim koşulları, genç bazaltik-andezitik kayaçların buzul abrazyonuna dirençli yapıları, düşük albedoları, yüksek hidrolojik geçirgenlikleri (Karataş, 2022) ve buzullaşma öncesinde paleovadi sistemlerinin gelişmemiş olması gibi parametreler sahada buzul gelişimini sınırlamaktadır. Bu etken ve süreçlere rağmen Büyük Ağrı Dağı'nın ortalama 3000 m'den daha yüksek seviyeleri önemli ölçüde buzul süreçleri tarafından şekillenmiş ve sahada buzul aşınım ve birikim şekilleri ortaya çıkmıştır. Sahada buzul aşınım şekilleri kapsamında derinlikleri 50–200 m arasında değişen 17 adet buzul vadisi/yatağı tanımlanmıştır. Buzul vadilerinin yönelimleri ve derinlikleri volkanın litolojik yapısı, eğim/engebe koşulları, lav akıntıları ve lav çıkış merkezleri tarafından denetlenmiştir.

Ağrı Dağı'nın jeolojisine yönelik yapılan çalışmalarda (Blumenthal, 1959; Yılmaz vd., 1998) morenlerin iyi gelişmediği, gelişen morenlerin korunmadığı ve volkanik patlamaların etkisi ile morenlerin lavlar altında kaldığı belirtilmektedir. Ancak saha çalışmalarından elde edilen verilere göre volkanın kuzeyinde 2700 m, batısında 2900 m, güneyinde 3000 m, doğusunda 3200 m seviyelere kadar iyi gelişmiş moren depolarının varlığı tespit edilmiş, buna karşılık Ahura Vadisi ve yer yer günlenmiş morenleri örten lokal lav akıntıları dışında volkanik faaliyetlerin buzul süreçleri ve morfolojisi üzerinde yaygın bir etkisi gözlenmemiştir.

Büyük Ağrı Dağı'ndaki morenler, günlenmiş ve genç olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Her ne kadar morenlere nicel yaş tayini yapılmamış olsa da günlenmiş morenlerin üzerinde gelişen toprak örtüsü ve morenlerin konumlandıkları yükseltiler nedeniyle Geç Pleyistosen özellikle de SBM ve Geç Buzul evresine ait oldukları düşünülmektedir. Tarihi kaynaklardan elde edilen buzul fotoğrafları, morenlerin yükselti değerleri ve literatürdeki uyumluluk (Sarıkaya ve Çiner, 2015; Azzoni vd., 2017; 2019) genç morenlerin ise Küçük Buzul Çağı'nda (LIA) depolandığını göstermektedir. Büyük Ağrı Dağı takke buzulundan sarkan bazı saçak buzulları LIA'dan sonraki süreçte değişen morfojenetik koşullara bağlı olarak döküntü örtülü buzula evrilmiştir. Literatürde varlığı bilinen Cehennemdere (Eisbacher and Clague, 1984) Parrot, Paraşüt (Azzoni vd., 2017) döküntü örtülü buzullarına ek olarak bu çalışma kapsamında Mıhtepe, Blumenthal, Kozaklıdere 1 ve Kozaklıdere 2 olmak üzere sahada dört yeni döküntü örtülü buzul daha tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki toplam yedi adet döküntü örtülü buzul 3,13 km² alan kaplamaktadır. Bununla birlikte takke ve saçak buzullarının alanları, 1977–2023 Landsat uydu görüntülerine göre 9,3 km²'den 4,9 km²'ye kadar gerilemiştir. 46 yıllık periyotta buzullar 4,4 km²'lik bir geri çekilme ile %47 oranında küçülmüştür. Bu oran Büyük Ağrı Dağı'ndaki buzul alanının yıllık 0,095 km² daraldığını göstermektedir. Literatürdeki öngörüler (Yalçın, 2020), uydu görüntülerinin analizi ve klimatik açıdan ısınma eğiliminin değerlendirilmesi, takke ve saçak buzullarının bu yüzyılın son çeyreğine varmadan (2070) tamamen ortadan kalkacağı yönündedir. Öte yandan, Büyük Ağrı Dağı'ndaki güncel buzul varlığı döküntü örtülü buzullar ile birlikte yaklaşık 8,11 km² alana karşılık gelmektedir. Gelecek projeksiyonlarına uygun olmayan bir şekilde özellikle son yüz yıllık süreçte saçak buzullarının %38'inin enkaz materyalleri ile kaplanarak varlığını sürdürdüğü anlaşılmaktadır. Bu durum buzul alanı ve erimelerine dair yapılan hesaplamalarda uzaktan algılama çalışmalarının yanı sıra gelecek iklim senaryoları değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

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

Yazar Katkısı/Author contribution: C.K. Makalenin tasarımı, verilerin elde edilmesi, analizi ve taslak makaleyi yazdı. A.K. makalenin konsepti, yazma, düzenleme ve analiz sonuçlarını kontrol etti. C.K. designed the article, acquired data, analyzed the data, and drafted the article. A.K conceptualized the article, edited the article, and checked the results of the analysis.

Etik Kurulu Onayı/*Ethics Committee Approval:* Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

Katkı Belirtme ve Teşekkür/Acknowledgements: Yazarlar görüş ve önerileriyle çalışmanın daha iyi bir noktaya erişmesine katkı veren hakemlere ve arazi çalışmalarındaki destekleri için Yahya ÖZTÜRK'e teşekkür ederler. The authors would like to thank the referees who contributed to the study reaching a better point with their opinions and suggestions, and Yahya ÖZTÜRK for his support during the field work.

Kaynakça

- Ainsworth, W.F., 1842. Travels and Researches in Asia Minor, Mesopotamia, Chaldea and Armenia. J.W. Parker, London
- Akçar, N., Yavuz, V., Yeşilyurt, S., Ivy-Ochs, S., Reber, R., Bayrakdar, C., ... & Schlüchter, C. (2017). Synchronous last glacial maximum across the Anatolian peninsula. *Geological Society, London, Special Publications, 433*(1), 251-269. https://doi.org/10.1144/SP433.7
- Altınay O, Sarıkaya MA, Çiner A (2020) Late-glacial to Holocene glaciers in the Turkish Mountains. *Mediterr Geosci Rev* 2(1):119–133. https://doi.org/10.1007/s42990-020-00024-7
- Azzoni, R. S., Zerboni, A., Pelfini, M., Garzonio, C. A., Cioni, R., Meraldi, E., ... & Diolaiuti, G. A. (2017). Geomorphology of Mount Ararat/Ağri Daği (Ağri Daği Milli Parki, Eastern Anatolia, Turkey). *Journal of Maps*, 13(2), 182-190. https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1279084
- Azzoni, R. S., Fugazza, D., Garzonio, C. A., Nicoll, K., Diolaiuti, G. A., Pelfini, M., & Zerboni, A. (2019). Geomorphological effects of the 1840 Ahora Gorge catastrophe on Mount Ararat (Eastern Turkey). *Geomorphology*, 332, 10-21. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.001
- Azzoni, R.S., Sarıkaya, M. A., Pelfini, M., Pezzotta, A., vd. 2024. Glacial and periglacial landscape in Turkey: from the flood to anthropic geomorphology M. Bonasera, C. Caporizzo, C. Cerrone, C. Martinello, G. Innamorati, F.M. Petti Ed: içinde Climate change and the role of early-career geomorphologists - Società Geologica Italiana, - sayfa 15. https://air.unimi.it/handle/2434/1055368
- Baldasso, V., Soncini, A., Azzoni, R. S., Diolaiuti, G., Smiraglia, C., & Bocchiola, D. (2019). Recent evolution of glaciers in Western Asia in response to global warming: the case study of Mount Ararat, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 45-59. https://doi.org/10.1007/s00704-018-2581-7
- Bayrakdar, C., Çılğın, Z., Döker, M. F., & Canpolat, E. (2015). Evidence of an active glacier in the Munzur Mountains, eastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *24*(1), 56-71. https://doi.org/10.3906/yer-1403-7
- Bayrakdar, C., Kıyak, N. G., Turoğlu, H., Öztürk, T., & Canel, T. (2017). Akdağ Kütlesi'nde (Batı Toroslar) Pleistosen buzullaşmalarının jeomorfolojik özellikleri ve optik uyarmalı lüminesans (OSL) ile yaşlandırılması. *Türk Coğrafya Dergisi*, (69), 27-37. https://doi.org/10.17211/tcd.318170
- Bayrakdar, C., Çılgın, Z., & Sarış, F. (2017a) Karadağ'da Pleyistosen Buzullaşmaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 60*(4), 451-469. https://doi.org/10.25288/tjb.360610
- Bayrakdar, C., Çılğın, Z., Sarış, F., Yeşilyurt, S., Keserci, F., Büyükdeniz, Y., Halis, O., Vockenhuber, C., Ivy-Ochs, S. & Akçar, N. (2024). Late pleistocene glacial history of Mount Karadağ, SW Türkiye. *Geomorphology*, 467, 109467, ISSN 0169-555X, https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109467.
- Benn, D. I. & Evans, D. J. (2014). *Glaciers and glaciation*. Routledge.
- Benn, D. I. & Lehmkuhl, F. (2000). Mass balance and equilibrium-line altitudes of glaciers in high-mountain environments. *Quaternary International*, 65/66, 15-29.
- Berlitz, C. (1987). The lost ship of Noah: In search of the Ark at Ararat
- Birman, J. H. (1968). Glacial reconnaissance in Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 79(8), 1009-1026.

- h tt p s : / / d o i . o r g / 1 0 . 1 1 3 0 / 0 0 1 6 -7606(1968)79[1009:GRIT]2.0.CO;2
- Blumenthal, M. (1959). Ağrı Volkanı ve sedimanter çevresinin dağları. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, XXIII/3-4.
- Bryce, J. B. (1878). *Transcaucasia and Ararat: being notes of a vacation tour in the autumn of 1876*. Macmillan.
- Clark, D. H., Clark, M. M. & Gillespie, A. R. (1994). Debris-covered glaciers in the Sierra Nevada, California, and their implications for snowline reconstructions. *Quaternary Research*, 41, 139-153.
- Corbin, B. J. (1999). The Explorers of Ararat and the Search for Noah's Ark. Great Commission Illustrated Books.
- Çılğın, Z. (2015). Dedegöl Dağı kuvaterner buzullaşmaları. Türk Coğrafya Dergisi, (64), 19-38. https://doi.org/10.17211/tcd.55740
- Çiner, A. (2003). Türkiye'nin Güncel Buzulları ve Geç Kuvaterner Buzul Çökelleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 46(1), 55-78.
- Çiner, A., & Sarıkaya, M. A. (2023). The Anatolian Peninsula. In *Periglacial landscapes of Europe* (pp. 115-134). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14895-8
- Demircan, M., (2022). Iğdır'ın İklimi ve İklim Değişikliği, T. Aydın (Ed.) içinde Doğal ve Beşeri Bilimler Açısından Iğdır-I (s.77-112). Astana Yayınları.
- Ebeling, M., 1899. Der Ararat. Zeltschriftz des Deutschen und Österreichischen Alpenvereinns içinde, sf. 144-163.
- Eisbacher, G.H. & Clague, J.J. (1984). Destructive mass movements in high mountains: hazard and management. In: Mogan, W.C. (Ed.), Geological Survey
- Erinç S (1952) Glacial evidences of the climatic variations in Turkey. Geogr Ann 34(1–2):89–98
- Fick, SE ve RJ Hijmans, 2017. WorldClim 2: küresel kara alanları için yeni 1 km mekansal çözünürlüklü iklim yüzeyleri. Uluslararası İklim Bilimi Dergisi 37 (12): 4302-4315.
- Gürgen, G., Yeşilyurt, S., Çalışkan, O., Yılmaz, E. (2010). Döküntü Örtülü Buzullar ve Kaya Buzulları. Nature Sciences, 5(2), 98– 116. https://doi.org/10.1144/SP433.14
- Hughes, P. D., & Woodward, J. C. (2016). Quaternary glaciation in the Mediterranean mountains: a new synthesis. *Geological Society, London, Special Publications*, 433(1), 1-23.
- Imhof, E., 1956, Der Ararat [Ararat]: Die Alpen, v. 32, no. 1, s. 1-14
- IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115,
- İzbırak R (1951) Cilo Dağı ve Hakkâri ile Van Gölü çevrelerinde coğrafya araştırmaları Ankara. Üniversitesi Dil Tarih Coğrafya Fakültesi Yayınları 67(4):149 s.
- Karakhanian, A., Djrbashian, R., Trifonov, V., Philip, H., Arakelian, S., & Avagian, A. (2002). Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113(1-2), 319-344. .https://doi.org/10.1016/S03770273(01)00264-5_
- Karataş, A. (2022). Erken Demir Çağı'nda coğrafi bilginin mekânsal organizasyonda kullanımı: Orta Aras Havzası örneği, Amisos, 1 (Özel Sayı-The Special Issue (Orta Aras Havzası/The Middle Aras Basin)), 37-55.

https://doi.org/10.48122/amisos.1051755

- Kaya, C., Öztürk, Y., Karataş, A., Sayın, H., Balcıoğlu Y. E. (2025).
 Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde Lahar Oluşumları ve Lahar Duyarlılığının Cbs Tabanlı Analizi (Doğu Anadolu-Kuzeybatı İran).
 Geomatik, 10 (1),29-46.
 https://doi.org/10.29128/geomatik.1508315
- Keserci, F., Güngör, G., Bozdoğan, M., Canpolat, E., Çılğın, Z., & Bayrakdar, C. (2023). Geyik Dağı güncel buzulları ve morfometrik özeliklleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (84),199-217. https://doi.org/10.17211/tcd.1395806_
- Kulkarni, A.V. (1992). Mass balance of Himalayan glaciers using AAR and ELA methods. *Journal of Glaciology*, 38, 101-104.
- Kurter, A., & Sungur, K. (1980). Present glaciation in Turkey. In World Glacier Inventory Workshop: Proceedings of the Workshop at Riederalp, Switzerland September 1978. IAHS-AISH Publication (No. 126).
- Lynch, H. F. B. (1901). *Armenia, travels and studies* (Vol. 1). Longmans, Green, and Company.
- Mayr, E., Hagg, W. (2019). Debris-Covered Glaciers. In: Heckmann, T., Morche, D. (eds) Geomorphology of Proglacial Systems. Geography of the Physical Environment. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94184-4_4
- Meierding, T. C. (1982). Late Pleistocene glacial equilibriumline in the Colorado Front Range: a comparison of methods. *Quaternary Research*, 18, 289-310.
- MGM (2023). Iğdır, Aralık, Doğubayazıt Meteoroloji İstasyonları rasat verileri, Iğdır Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Monkhouse, F. J. (2017). A Dictionary of Geography, 2nd edition. Routledge, New York, USA.
- Notsu, K., Fujitani, T., Ui, T., Matsuda, J., & Ercan, T. (1995). Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia, Turkey. *Journal of volcanology and geothermal research*, *64*(3-4), 171-191. https://doi.org/10.1016/0377-0273(94)00077-T
- Palgrave, W.G. (1872). Vestiges of the glacial period in northeastern Anatolia. *Nature*, *5*(127), 444-445.
- Oien, R., Rea, B., Spagnolo, M., Barr, I. & Bingham, R. (2022). Testing the area–altitude balance ratio (AABR) and accumulation–area ratio (AAR) methods of calculating glacier equilibrium-line altitudes. J. Glaciol. 68(268), 357-368. https://doi.org/10.1017/jog.2021.100
- Öztürk, M. Z., & Taşoğlu, E. (2024). Alpine periglacial zones in Anatolia: spatial distribution and main characteristics. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 1-19.https://doi.org/10.1007/s42990-024-00115-9
- Öztürk, Y., & Zorer, H. (2025). Aras Dağları'nın Buzul Jeomorfolojisi: Yeni Bir Buzullaşma Alanı Zor Dağı'ndan Jeomorfik Bulgular (Doğu Anadolu, Iğdır-Ağrı). *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (14), 1-30. https://doi.org/10.46453/jader.1572885
- Parrot, F. (1834). Reise zum Ararat (Vol. 1). Haude & Spener.
- Pellitero, R., Rea, B. R., Spagnolo, M., Bakke, J., Ivy-Ochs, S., Frew, C. R., ... & Renssen, H. (2015). 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
- Rea, B. R. (2009). Defining modern day Area-Altitude Balance Ratios (AABRs) and their use in glacier-climate reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, 28, 237–248. doi: 10.1016/j.quascirev.2008.10.011. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.10.011

Saraçoğlu, H. (1956). Türkiye Coğrafyası Üzerine Etüdler Doğu

Anadolu, 1, Maarif Basımevi, İstanbul.

- Sarıkaya, M.A. (2011). Türkiye'nin güncel buzulları. *Türkiye Coğ*rafya Kurumu Yayınlar, 527-544.
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A., & Zreda, M. (2011). Quaternary glaciations of Turkey. In *Developments in Quaternary Sciences* (Vol. 15, pp. 393-403). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00030-1
- Sarıkaya, M. A. (2012). Recession of the ice cap on Mount Ağrı (Ararat), Turkey, from 1976 to 2011 and its climatic significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, *46*, 190-194. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.12.009
- Sarıkaya, M. A., & Çiner, A. (2015). Late Pleistocene glaciations and paleoclimate of Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 151(151), 107-127. https://doi.org/10.19111/bmre.35245
- Seven, M. ve Tobul, S. (2024). Esence (Keşiş) Dağları'ndaki Buzul Göllerinin Morfolojik ve Morfometrik Özellikleri (Erzincan/Doğu Anadolu). *Kesit Akademi Dergisi*, 10 (41), 633-672. http://dx.doi.org/10.29228/kesit.79365
- Sümengen, M. (2013). 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi; Doğubayazıt -İ52 Paftası, MTA Jeoloji Etütler Dairesi, Ankara, 36 s.
- 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
- Torsnes, I., Rye, N. & Nesje, A. (1993). Modern and Little Ice Age equilibrium-line altitudes on outlet valley glaciers from Jostedalsbreen, western Norway: an evaluation of dilerent approaches to their calculation. *Arctic and Alpine Research*, 25, 106-116.

https://doi.org/10.1080/00040851.1993.12002990

- Turoğlu, H. (2011). Buzullar ve buzul jeomorfolojisi, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Türkünal, S. (1980). Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Yayınları.
- Wagner, M., 1848. Reise nach dem Ararat und dem Hochland Armenien. Reisen und Landesbeschreibungen. 35. Widermanna und Hauia, Stuttgart.
- Yalçın, M. (2017). Ağrı Dağı Buzul Değişimlerinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(4), 166-170.
- Yalçın, M. (2020). A GIS-based multi-criteria decision analysis model for determining glacier vulnerability. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(3), 180. https://doi.org/10.3390/ijgi9030180
- Yavaşlı, D. D., Tucker, C. J., & Melocik, K. A. (2015). Change in the glacier extent in Turkey during the Landsat Era. *Remote Sensing of Environment*, 163, 32-41. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.002
- Yılmaz, Y., Güner, Y., & Şaroğlu, F. (1998). Geology of the Quaternary volcanic centres of the East Anatolia. *Journal of volcanology and geothermal research*, 85(1-4), 173-210. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00055-9
- Yılmaz, E., & Çiçek, İ. (2016). Türkiye Thornthwaite iklim sınıflandırması. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 3973-3994. doi:10.14687/jhs.v13i3.3994
- Yılmaz, E., & Çiçek, İ. (2018). Türkiye'nin detaylandırılmış Köppen-Geiger iklim bölgeleri. Journal of Human Sciences, 15(1), 225-242. https://doi.org/10.14687/jhs.v15i1.5040