



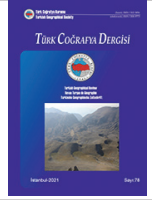
Basılı ISSN 1302-5856

Türk Coğrafya Dergisi

Turkish Geographical Review

www.tcd.org.tr

Elektronik ISSN 1308-9773



Anadolu'nun sirk gölleri

Cirque lakes of Anatolia

Muhammed Zeynel Öztürk ^{a*}  Mesut Şimşek ^b  Mustafa Utlu ^c 

^a Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Niğde, Türkiye.

^b Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Hatay, Türkiye.

^c Bingöl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Bingöl, Türkiye.

ORCID: M.Z.Ö. 0000-0002-9834-7680; M.Ş. 0000-0002-4678-4336; M.U. 0000-0002-7508-4478

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 20.09.2021

Kabul/Accepted: 27.10.2021

Anahtar Kelimeler:

Buzullaşma
Sirk gölleri
Morfometri
Alansal dağılış
Anadolu

Keywords:

Glaciation
Cirque lakes
Morphometry
Spatial distribution
Anatolia

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(M. Z. Öztürk)
muhammed.zeynel@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.998089



Atf/Citation:

Öztürk, M. Z., Şimşek, M., & Utlu, M. (2021). Anadolu'nun sirk gölleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (78), 49-60.

<https://doi.org/10.17211/tcd.998089>

ÖZ / ABSTRACT

Başta sirk gölleri olmak üzere, buzul gölleri Anadolu'daki yüksek dağlık alanların alpin kuşağında yer alan en önemli gölleri oluşturmaktadır. Anadolu'daki buzul jeomorfolojisi ve Kuvaterner buzullaşma koşulları hakkında birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen sirk gölleri yeterince incelenmemiştir. Bu eksiklikten dolayı bu çalışmada Anadolu'daki tüm sirk göllerinin dağılışı ve morfometrik özellikleri CBS tabanlı olarak incelenmiştir. Uydu görüntüleri ve topografya haritaları üzerinden yapılan haritalama çalışmalarında 28 farklı kütle üzerinde toplam 660 adet sirk gölü tespit edilmiştir. Alansal dağılış özelliklerine göre sirk göllerinin çok büyük bir bölümü (%77) Doğu Karadeniz Dağları üzerinde bulunmaktadır ve bu dağlık alanlarda sirk gölü/sirk sayısı oranı (G/S oranı) %30'a ulaşmaktadır. Batı ve Orta Toroslar'da buzullaşmaya uğramış birçok kütle ve yüzlerce sirk bulunmasına rağmen sirk gölü sayısı çok azdır ve birçok kütle üzerinde hiç sirk gölü yer almamaktadır (G/S oranı 0'dır). Bu durumun oluşmasında litolojik koşullar büyük etkiye sahiptir. Batı ve Orta Toroslar'da buzullaşmaya uğramış kütleler karstik birimlerden oluşurken, Doğu Karadeniz Dağları karstik olmayan volkanik ve intrusif birimlerden oluşmaktadır. Morfometrik hesaplamalara göre Anadolu'daki tüm sirk göllerinin ortalama yükseklikleri 2882 metredir ve bu değer Kuvaterner buzul dönemleri kalıcı kar sınırı ölçümleri ile örtüşmektedir. Göl büyüklükleri açısından göllerin ortalama alanları 13.346 m² (0,0133 km²)'dir ve alan sınıflandırmasına göre göllerin neredeyse tamamına yakını küçük göl sınıfı içerisinde (99,5). Küresel grid tabanlı iklim verilerine göre sirk gölü alanlarının yıllık ortalama sıcaklığı -0,11°C, yıllık toplam yağış değeri ise 825 mm'dir.

Glacial lakes, especially cirque lakes, constitute the most important lakes in the alpine belt of high mountain areas in Anatolia. Although there are many studies have been performed on the glacial geomorphology and Quaternary glaciation conditions in Anatolia, the cirque lakes have not been investigated in detail. In this study, the distribution characteristics and morphometric properties of all cirque lakes in Anatolia were investigated based on GIS. As a result of the mapping studies based on satellite images and topography maps, 660 cirque lakes were determined on 28 different mountains. In terms of spatial distribution, most of the cirque lakes (77%) are located on the Eastern Black Sea Mountains, and the ratio of cirque lakes/cirques (L/C ratio) reaches 30% on these mountains. Although there are many glaciated mountains and hundreds of cirques in the Western and Central Taurus Mountains, the cirque lakes are very few and there are no cirque lakes on many mountains (L/C ratio is 0). Lithological conditions have a great influence on this result. While the glaciated mountains in the Western and Central Taurus are composed of karst units, the Eastern Black Sea Mountains are composed of non-karst volcanic and intrusive units. The average altitude of all cirque lakes in Anatolia is 2882 meters and this altitude conforms to permanent snow altitudes in glacial periods of the Quaternary. The average cirque lake area is 13,346 m² (0.0133 km²) and almost all of the cirque lakes are in the small lake class (99.5%). According to the global gridded climate data, the annual average temperature and the total annual precipitation amount of the around cirque lakes are 0.11°C and 825 mm, respectively.

Extended Abstract

Introduction

Cirques are semicircular erosional landforms resembling an amphitheater surrounded by steep walls. They are formed as a result of valley and cirque glaciation and are generally found in high parts of the mountains (Stroeven et al., 2013). Since the formation of cirques is related to the Quaternary glaciations, they are provided important clues about the Quaternary climates and climate changes (Evans et al., 2021). After the glaciation periods, the cirque lakes are formed when the deepest parts of the cirques are filled by meltwater or rainwater (Munro-Stasiuk et al., 2013; Fig. 1). These lakes are important freshwater storages in the alpine zone of mountainous and keep records of the Quaternary and Holocene climate changes via the lake sediments (Akçer Ön, 2011; Fey et al., 2009).

The high mountains of Anatolia were exposed to the intense valley and cirque glaciations during the glacial periods of the Quaternary (Sarıkaya et al., 2011; Fig. 2). As a result of these glaciations, many glacial landforms such as cirques, moraines, and U-shaped valleys have developed on the mountains of Anatolia, and these landforms have been investigated by many studies. In these studies, Quaternary glaciation conditions, glacial geomorphology, moraine deposits, and cirque morphometrics were investigated (Evans et al., 2021, and references therein). However, cirque lakes, which are a result of glaciation processes and have a widespread distribution on the mountains of Anatolia, have not been adequately studied. Therefore, the number, distribution, and general morphometric characteristics of cirque lakes in Anatolia are not known. Due to this deficiency, the distribution and morphometric characteristics of all cirque lakes in Anatolia were investigated in this study.

Data and Method

In the study, cirque lakes were digitized in a GIS using both satellite images (Google Earth Landsat images) and 1/25,000 scaled topographic maps. Then, a data set including altitude, long axis (length), short axis (width), elongation ratio, area, perimeter, circularity index, annual average temperature, and annual total precipitation of each lake was calculated. The elongation ratio is the ratio between the long and short axes of lakes (Bondesan et al., 1992; Basso et al., 2013; Table 1). The circularity index is the ratio between the lake area and the area of a circle with the same perimeter (Denizman, 2003; Öztürk, 2018; Formula 1). Using these two values, the shape features of the lakes were examined. The lake sizes were classified according to international classification (Chen et al., 2017; Table 2). The altitude statistics of the lakes were compared with the equilibrium line altitude (ELA) of mountains in glacial period of the Quaternary. Global gridded climate data were used to determine the annual average temperature and annual total precipitation of the lake locations (Fick & Hijmans, 2017).

Results and Discussion

According to spatial distribution, most of the cirque lakes are located on the Eastern Black Sea Mountains, the high mountains of Eastern Anatolia, and the Southeastern Taurus Mountains. While 77.4% (511 lakes) of all lakes are located in the Eastern Black Sea Mountains, 8.9% (59 lakes) are located in the Eastern Anatolian Mountains, 9.2% (61 lakes) are located in the Southeastern Taurus Mountains, and 3.5% (23 lakes) are located in the Central Taurus Mountains. Only 0.9% of the lakes are located in the Western Taurus Mountains (1 lake) and the Marmara Region (5 lakes; Fig. 3).

Lakes with an average elevation of 2882 meters can be found from 2207 meters (Saklıgöl-Mt. Uludağ) to 3817 meters (Hızır Lake- Mt. Süphan; Fig. 4). However, 90% of the lakes are located in the altitude range of 656 meters between 2520-3176 meters. The average altitude of the cirque lakes is 3060 meters in the Southeast Taurus Mountains, 2880 meters in the Central Taurus Mountains, 2873 meters in the Eastern Black Sea Mountains, and 2826 meters in Eastern Anatolia Mountains. These values conform to ELA in glacial periods of the Quaternary.

According to morphometric measurements, the average length of all cirque lakes is 150 meters and the average width is 92 meters. The length of the lakes changes between 16 meters and 1298 meters (Figure 5a). However, there is no lake with a length exceeding 1 km, except for Kırmızıtaş Lake (Mt. İkiyaka). According to the elongation ratio, 18.5% of the lakes have circular, 38% semi-elliptical, 10% elliptical, and 33.5% elongated forms. The average area of the cirque lakes is 13,346 m² (0.0133 km²) (Figure 5b). Almost all (99.5%) of the cirque lakes in Anatolia are small lakes. Only 3 lakes are in the class of medium-sized lakes. The annual average temperature of the lake areas is -0.11°C and the total annual precipitation value is 825 mm. According to the maximum and minimum values, the cirque lakes have a temperature varying of 5°C to -4.75°C, and annual total precipitation varying between 587 mm and 1116 mm (Figure 5d). The highest number of cirques lakes in Anatolia is seen on the Eastern Black Sea Mountains where the annual average temperature is the lowest and the annual total precipitation is highest.

The ratio of the number of cirque lakes (L) to the number of cirques (C) on the same mountain (L/C ratio) in Anatolia shows significant changes on mountains. The L/C ratio is 33% in Mount Uludağ, 30% in the Eastern Black Sea Mountains. However, this ratio is 3% in the Munzur Mountains, 3% in the Dedegöl Mountains, 3% in the Geyik Mountains, and 0% in almost all glaciated mountains in the Western Taurus Mountains. This difference between L/C ratios is largely related to lithological features. The Western and Central Taurus Mountains are generally composed of limestone suitable for karstification (Nazik et al., 2019; Öztürk et al., 2018) and the cirques are generally within limestones (Şimşek et al., 2019). However, cirques are found in non-karst units such as volcanic and intrusive rocks in the Eastern Black Sea Mountains (Geçen et al., 2018) and Mount Uludağ (Öztürk, 2012), and these lithology increase the L/C ratio.

1. Giriş

Alpin ya da vadi tipi buzullaşmasının bir sonucu olarak oluşan ve genelde dağların yüksek kesimlerinde bulunan sirkler amfiteatra benzeyen yarım daire biçimli, gerisinde dik duvarların bulunduğu buzul aşındırması şekilleridir (Erinç, 2001; Stroeven vd., 2013). Oluşumları buzullaşma koşullarıyla ilişkili olmasından dolayı sirkler eski iklimler hakkında ipucu sağlayan önemli yer şekillerindedirler (Evans vd., 2021). Sirk tabanının yüksekliği ve konumu buzullaşma sırasındaki sıcaklık ve yağış koşulları ile litoloji, yapı ve topografik koşullara göre değişim gösterir. Tartışmalı bir konu olmakla birlikte sirk tabanı buzullaşma sırasında buzulun birikme ve erime bölgeleri arasındaki denge sınırına ya da sirk tabanlarının Kuvaterner'in buzul dönemlerindeki kalıcı kar sınırı seviyesine karşılık geldiği bazı yazarlar tarafından kabul edilmektedir (Bakke & Nesje, 2011; Barr & Spagnolo, 2015; Benn & Lehmkuhl, 2000).

Sirkler buzulun büyüme odak noktası olup iç kesimi buzul erozyonu nedeniyle sürekli olarak aşındırılarak derinleştirilir ve buzulun ortadan kalkması ve sirk in en derin alanlarında suların birikmesiyle "tarn" ya da sirk gölleri olarak adlandırılan göller oluşur (Turoğlu, 2011; Munro-Stasiuk vd., 2013; Şekil 1). Kuvaterner'in buzul dönemlerinde buzullaşmanın günümüzden daha geniş alanları kapladığı Güney Amerika'daki And Dağları'nın, Yeni Zelanda'nın Güney Alpleri'nin, Asya'daki Himalayalar'ın, Avrupa'daki Alp Dağları'nın, Kuzey Amerika'daki Kayalık Dağları'nın yüksek kesimlerinde ve İskandinavya Yarımadası, Sibirya ve Alaska'daki dağlık alanlarda sirk gölleri yaygın olarak bulunmaktadır (Chinn vd., 2014; Otto, 2019; Shugar vd., 2020). Anadolu'nun da yüksek dağlık alanları Kuvaterner boyunca gerçekleşen buzul dönemleri sırasında yoğun şekilde buzullaşmaya uğramıştır. Bu buzullaşma süreçleri sonucunda dağlık alanlarımızda özellikle orman üst sınırındaki alpin kuşakta sirkler, morenler ve U-şekilli buzul vadileri gibi birçok buzul yerleşli gelişmiştir ve bu şekiller birçok araştırmacının ilgisini çekmiş (Akçar vd., 2007; Akkan & Tunçel, 1993; Altın, 2003; Altınay vd., 2020; Atalay, 1984; Bayrakdar, vd., 2017a; Bilgin, 1972; Birman, 1968; Çalışkan vd., 2012; Candaş vd., 2020; Çiner, 2003; Çiner & Sarıkaya, 2017; Çilgin, 2020; Dede vd., 2017; Doğu vd., 1993; Erinç, 1949, 1955; Evans vd., 2021; Gürgen & Yeşilyurt, 2012; Gürgen vd., 2010; Köse vd., 2019; Kurter, 1991; Louis, 1944; Messerli, 1967; Planhol & Bilgin, 1964; Tonbul, 1997; Yalçınlar, 1951; Zahno vd., 2010). Anadolu'da gerçekleştirilen bu çalışmalarda yaygın olarak alanların genel buzullaşma koşulları, buzul jeomorfoloji, moren depolarının özellikleri ve sirk morfolojileri incelenmiştir. Ancak Anadolu'daki buzullaşma süreçleri sonucunda oluşan ve yaygın bir dağılışa sahip olan sirk gölleri yeterince incelenmemiştir. Buzul göllerinin morfolojik özellikleri ile ilgili olarak bugüne kadar yapılmış üç adet çalışma bulunmaktadır (Geçen vd., 2018; Perinçek, 1979; Sarı vd., 2015) ve bu çalışmalarda Cilo Dağı, Kaçkar Dağları ile Soğanlı Dağları'ndaki buzul gölleri incelenmiştir. Morfolojik çalışmaların yanı sıra son yıllarda buzul göllerinin ekolojik özellikleri ile ilgili çalışmalarda yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalarda Uludağ'daki (Ustaoğlu vd., 2008), Mescit Dağları (Fakioğlu vd., 2019) ve Karagöl Dağı'ndaki (Taş & Hamzaçebi, 2020) buzul göllerinde ekolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sirk gölleri içerisinde biriktirdiği sedimentler sayesinde eski iklimler hakkında da bilgiler sağlamaktadır. Ancak Anadolu'da sirk gölü sedimentlerinin plaeoklimsel açıdan incelendiği sa-

dece bir çalışma bulunmaktadır (Akçer Ön, 2011). Tüm bu çalışmalara rağmen tüm Türkiye'de sirk göllerinin sayısı, nasıl bir dağılış gösterdiği ve bunların genel morfolojik özelliklerinin neler olduğu bilinmemektedir. Bu eksiklikten dolayı bu çalışmada Anadolu'daki tüm sirk göllerinin dağılış özellikleri ve genel morfolojik özellikleri incelenmiştir.

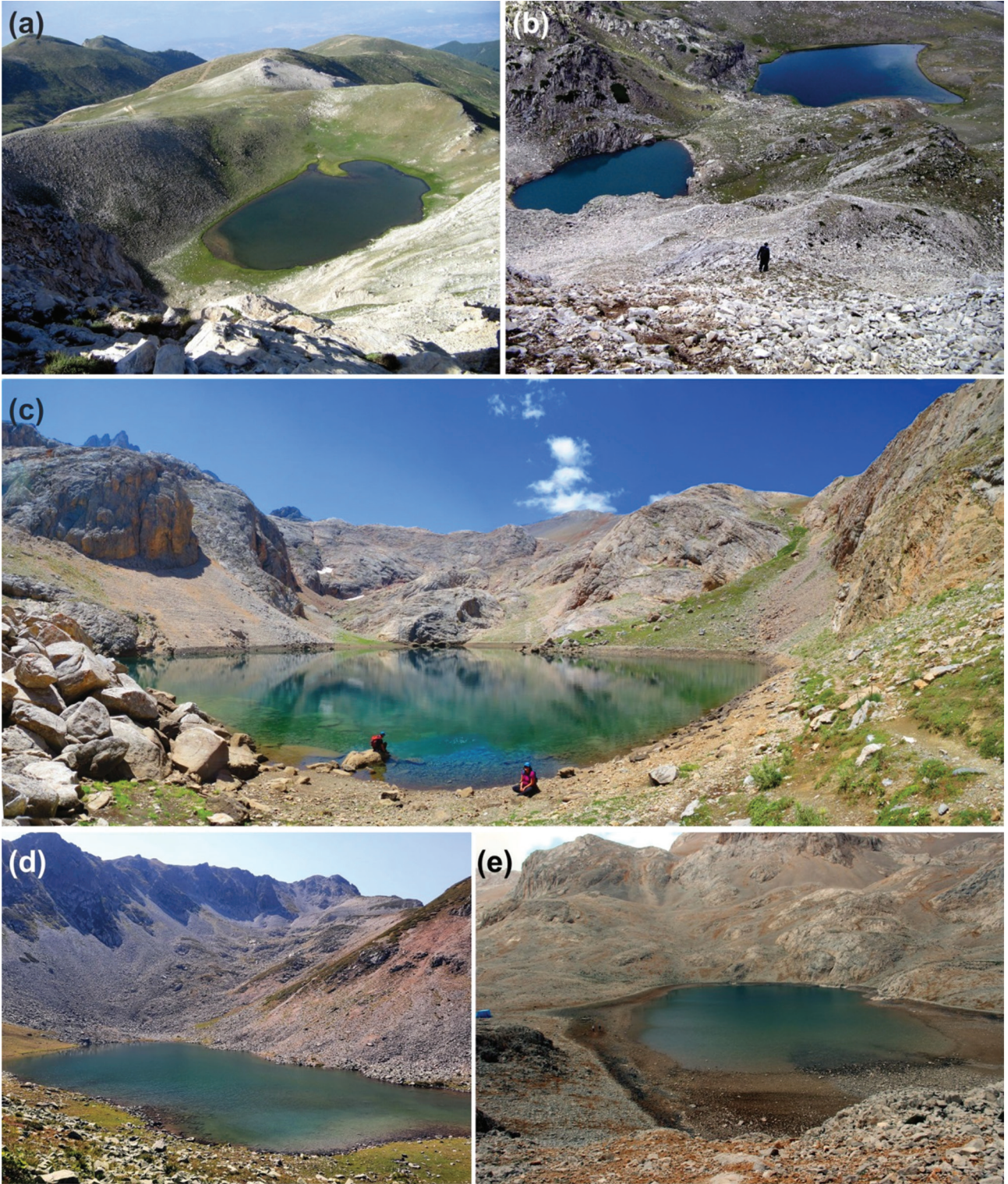
2. Çalışma alanı

Anadolu sahip olduğu iklimsel, topografik, litolojik koşullardan ve jeolojik gelişim özelliklerinden dolayı zengin bir jeomorfolojik çeşitliliğe sahiptir. Özellikle Anadolu'nun yüksek dağlık alanlarında Kuvaterner'in buzul dönemlerinde meydana gelen vadi ve sirk buzullaşması sonucunda oluşmuş başta sirkler ve morenler olmak üzere birçok buzul şekli yer almaktadır. Buzul şekilleri özellikle sıcaklık koşullarından dolayı Anadolu'da genel olarak kuzeye bakan yamaçlarda oluşmuştur (Bayrakdar & Özdemir, 2014; Geçen vd., 2018). Anadolu'daki buzullaşmalar küresel denizel izotop dönemleriyle iyi uyum göstermektedir ve moren depoları üzerinden yapılan kozmojenik ile yapılan tarihlendirme çalışmalarına göre Anadolu yaygın olarak ~25-10 bin yılları arasında özellikle Son Buzul Maksimumu ve Genç Dryas'da yaygın bir buzullaşmaya uğramıştır (Sarıkaya & Çiner, 2015, 2019). Kuvaterner buzullaşmalarının yanı sıra günümüzde de Anadolu'da buzullar, küçük alanlara sahip olmakla birlikte, bazı dağlık alanlarda halen varlığını sürdürmektedir (Bayrakdar vd., 2015; Çiner, 2003; Gürgen & Yeşilyurt, 2012; Kurter, 1991). Ancak uydu görüntülerinden yapılan analizler bu buzulların hızla eridiğini göstermektedir (Sarıkaya, 2012; Yavaşlı vd., 2015).

Anadolu'da birçok dağlık alanda, özellikle Batı ve Orta Toroslar, Güneydoğu Toroslar'ın doğu kesimi, Doğu Anadolu'nun yüksek dağlık alanları ile Doğu Karadeniz Dağları'nda, buzul şekilleri yaygın olarak bulunmaktadır. Kuvaterner buzullaşmasının gerçekleştiği tüm dağlık alanlarımızda sirkler belirleyici yer şekilleri olmakla birlikte tüm buzullaşmaya uğramış dağlık alanlarda sirk gölleri bulunmamaktadır. Bu çalışmada 28 farklı dağlık alanda bulunan toplam 660 adet sirk gölü incelenmiştir (Şekil 1).

3. Veri ve yöntem

Çalışmada Anadolu'da buzullaşmaya uğramış dağlık alanlarındaki sirk gölleri hem uydu görüntüleri hem de topografya haritaları kullanılarak incelenmiştir. Uydu görüntüleri olarak Google Earth Pro içerisinde yer alan Landsat uydu görüntüleri ve topografya haritası olarak ise Harita Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli topografya haritaları kullanılmıştır. Her iki veri setinde tespit edilen sirk gölleri coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında sayısallaştırılmış ve bunlara ait morfolojik özellikler incelenmiştir. Çalışmada birçok jeomorfolojik birimlerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan temel morfolojik indisler uygulanmıştır (Öztürk, 2018). Her bir göle ait yükseklik, uzun eksen (uzunluk), kısa eksen (genişlik), uzama oranı, alan, çevre uzunluğu, dairesellik indeksi, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış değerlerini içeren veri seti oluşturulmuştur. Veri setindeki her bir parametrenin istatistiksel dağılışları çeyrekler yöntemine göre incelenmiş ve grafiksel gösterim yöntemleri ile görselleştirilmiştir. Sınırlı sayıda olmakla birlikte bazı sirk göllerine arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



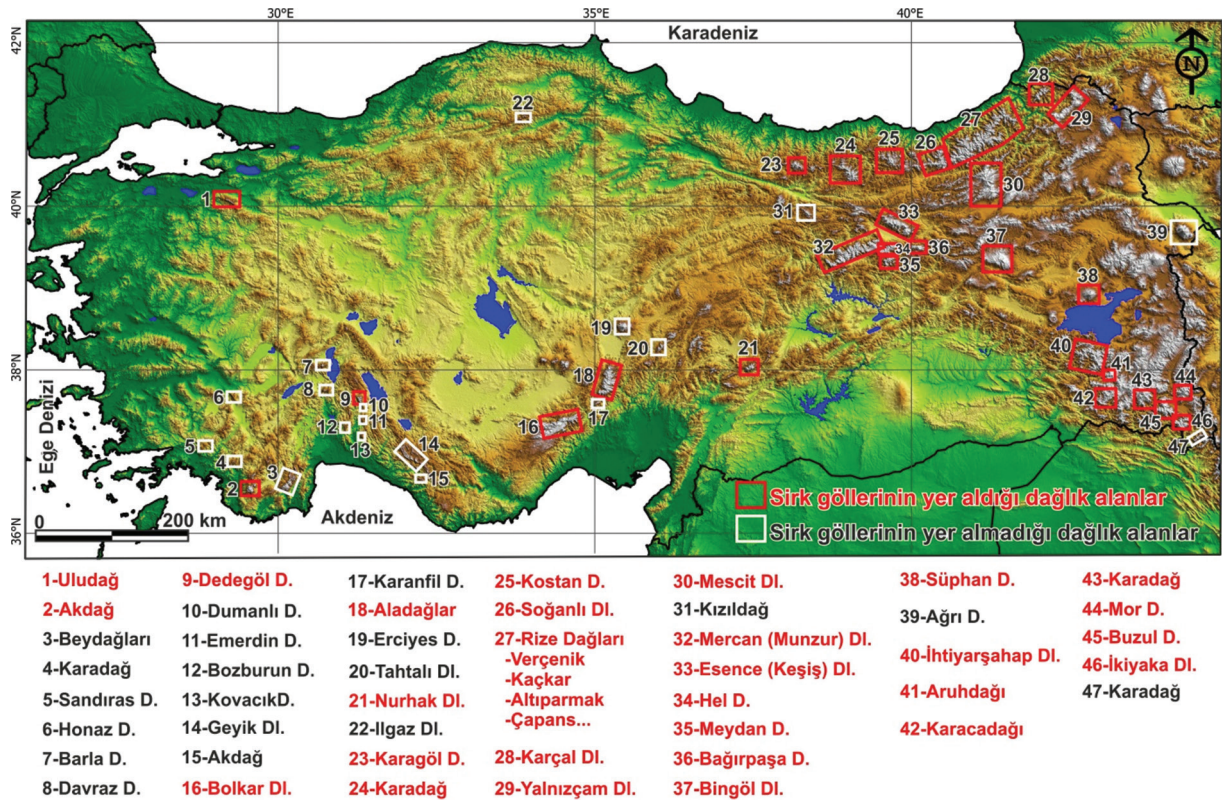
Şekil 1. Anadolu'dan bazı sirk gölü örnekleri (a) Aynalı Göl (Uludağ), (b) Buzlu Göl ile Kilimli Göl (Uludağ), (c) Çinili Göl (Bolkar Dağları), (d) Kötü Göl (Karçal Dağları), (e) Dipsiz Göl (Aladağlar).

Figure 1. A few examples of cirque lakes from Anatolia. (a) Aynalı Lake (Mt. Uludağ), (b) Buzlu and Kilimli lakes (Mt. Uludağ), (c) Çinili Lake (Bolkar Mts.), (d) Kötü Lake (Karçal Mts.), and (e) Dipsiz Lake (Aladağlar Mts.)

Uzun eksen CBS ortamında çizilmiş göl poligonları içerisinde birbirine en uzak iki nokta arasındaki yatay mesafeyi, kısa eksen (genişlik) ise uzun eksene dik (90°) bir şekilde birbirine en uzak iki nokta arasındaki yatay mesafeyi temsil eder. Uzun eksenin kısa eksen değerine bölünmesiyle uzama oranı değerleri hesaplanır ve böylece eliptik özelliklere sahip şekillerin nasıl bir dağılım gösterdiği bulunur (Basso vd., 2013; Öztürk, 2018; Tablo 1).

Tablo 1. Uzama oranı değerine göre yapılan sınıflandırması (Basso vd., 2013).
Table 1. Landform classification according to elongation ratio (Basso vd., 2013).

Uzama oranı değeri (R_E)	Şeklin tanımı
1,21'den küçük ($R_E < 1,21$)	Dairesel, yarı dairesel
1,21 ile 1,65 arası ($1,21 < R_E < 1,65$)	Yarı eliptik
1,65 ile 1,8 arası ($1,65 < R_E < 1,8$)	Eliptik
1,8'den büyük ($R_E > 1,8$)	Uzamsı



Şekil 2. Anadolu'da buzullaşma uğramış dağlık alanlar (Çiner, 2003; Evans vd., 2021'den güncellenerek).
Figure 2. The glaciated mountains in Anatolia (rearranged from Çiner, 2003; Evans vd., 2021).

Göllere ait poligon verilerine göre belirlenen alan (A) ve çevre uzunluk değerleri (P) ve bu değerler aracılığıyla hesaplanan dairesellik indisi değerleri (I_c , Formül 1) göllerin geometrik şekilleri hakkında fikir veren diğer bir parametredir ve dairesellik indisi planimetrik şekil indisi (planimetric shape) olarak da isimlendirilir (Denizman, 2003). Yöntemde değerin 1 olması şeklin daire biçiminde olduğunu gösterirken, 1'den uzaklaşması şekilde biçimsel bozulmanın arttığını yani daha düzensiz bir biçim aldığını göstermektedir (Öztürk, 2018).

$$I_c = \frac{A}{\pi \left(\frac{2A}{P} \right)^2} \quad (1)$$

Göllerin büyüklükleri Chen vd., (2017) tarafından yapılan alansal sınıflandırmaya göre gruplandırılmıştır. Bu sınıflandırmada göller alansal büyüklüklerine göre küçük göller, orta büyüklükteki göller, büyük göller ve çok büyük göller olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Alansal özelliklerine göre göllerin sınıflandırılması (Chen vd., 2017).
Table 2. Classification of the lakes according to area (Chen vd., 2017).

Gölün büyüklüğü (km ²)	Gölün tanımı
0.1'den küçük ($A < 0.1$)	Küçük göller
0.1 ile 1 arası ($0.1 < A < 1$)	Orta büyüklükteki göller
1 ile 3 arası ($1 < A < 3$)	Büyük göller
3'den büyük ($A > 3$)	Çok büyük göller

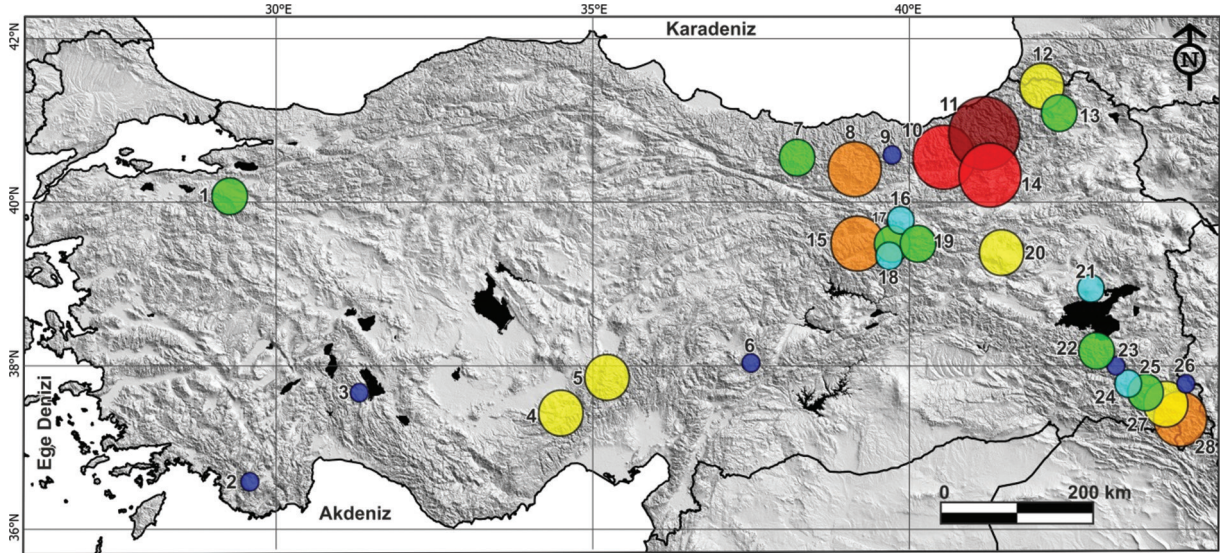
Göllere ait ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış değerlerinin belirlenmesin küresel gridli iklim verileri kullanılmıştır (Fick & Hijmans, 2017). Göl alanları çok küçük olduğu için göllerin çevresinde 1 km'lik tampon bölgeler oluşturularak iklim özellikleri belirlenmiştir.

4. Bulgular

Bu çalışmada göller genel olarak uydu görüntüleri ve topografya haritaları üzerinden belirlenmiştir. Yapılan haritalama çalışmalarına göre 28 farklı dağlık alan üzerinde toplam 660 adet sirk gölü tespit edilmiştir. Ancak bazı göllerin çok küçük olması, bazılarının mevsimlik özellikte olması, yamaç molozları ya da kaya buzulları ile örtülmüş olmaları ve bu molozlar nedeniyle göl morfolojilerinin değişime uğraması ya da göllerin sedimentlerle dolmuş olması göllerin haritalanmasında, göl sayılarının ve alansal değerlerin hesaplanmasında önemli bir sıkıntı doğurmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde bu göllerin dağılışı ve morfometrik özellikleri alt başlıklar şeklinde açıklanmıştır.

4.1. Göllerin Dağılışı

28 farklı dağlık alan üzerinde tespit edilen sirk göllerinin alansal dağılışı incelediğimizde şu sonuçlara ulaşılmaktadır. Sirk göllerinin büyük bölümü Doğu Karadeniz Dağları, Doğu Anadolu'nun ve Güneydoğu Toroslar'ın yüksek dağlık alanları üzerinde yer alır. Tüm göllerin %77,4'ü (511 adet) Doğu Karadeniz Dağları üzerinde, %8,9 (59 adet) Doğu Anadolu Dağları'nda, %9,2'si (61 adet) Güneydoğu Toroslar'da, %3,5'i (23 adet) Orta Toroslar'da ve sadece %0,9'u Batı Toroslar (1 adet) ve Marmara Bölgesi'nde (5 adet) yer almaktadır. Marmara Bölgesi'nde sirk gölleri sadece Uludağ'da (5 adet); Batı Toroslar üzerinde sadece Akdağ'da (1 adet); Orta Toroslar'da Dedegöl Dağları (1 adet), Bolkar Dağları (11 adet) ve Aladağlar'da (11 adet); Güneydoğu Toroslar'da Nurhak Dağları (1 adet), İhtiyarşahap Dağları (7 adet), Aruh Dağı (1 adet), Karacadağı (2 adet), Karadağ (6 adet), Mor Dağı (1 adet), Buzul (14 adet) ve İkiyaka (29 adet) dağlarında; Doğu Karadeniz Dağları'nda Karagöl Dağı (5 adet), Karadağ (26 adet), Kostan Dağı (1 adet), Soğanlı Dağları (41 adet), Rize Dağları (360 adet), Karçal Dağları (16),



1-Uludağ	8-Karadağ	12-Karçal Dİ.	19-Bağırpaşa D.
2-Akdağ	9-Kostan D.	13-Yalnızçam Dİ.	20-Bingöl Dİ.
3-Dedegöl D.	10-Soğanlı Dİ.	14-Mescit Dİ.	21-Süphan D.
4-Bolkar Dİ.	11-Rize Dağları	15-Mercan (Munzur) Dİ.	22-İhtiyarşahap Dİ.
5-Aladağlar	-Verçenik	16-Esence (Keşiş) Dİ.	22-Aruhdağı
6-Nurhak Dİ.	-Kaçkar	17-Heldağı	24-Karacadağı
7-Karagöl D.	-Altıparmak	18-Meydan D.	25-Karadağ
	-Çapans...		26-Mor D.
			27-Buzul D.
			28-İkiyaka Dİ.

Şekil 3. Sirk gölü sayılarının alansal dağılışı.

Figure 3. The spatial distribution of cirque lake numbers.

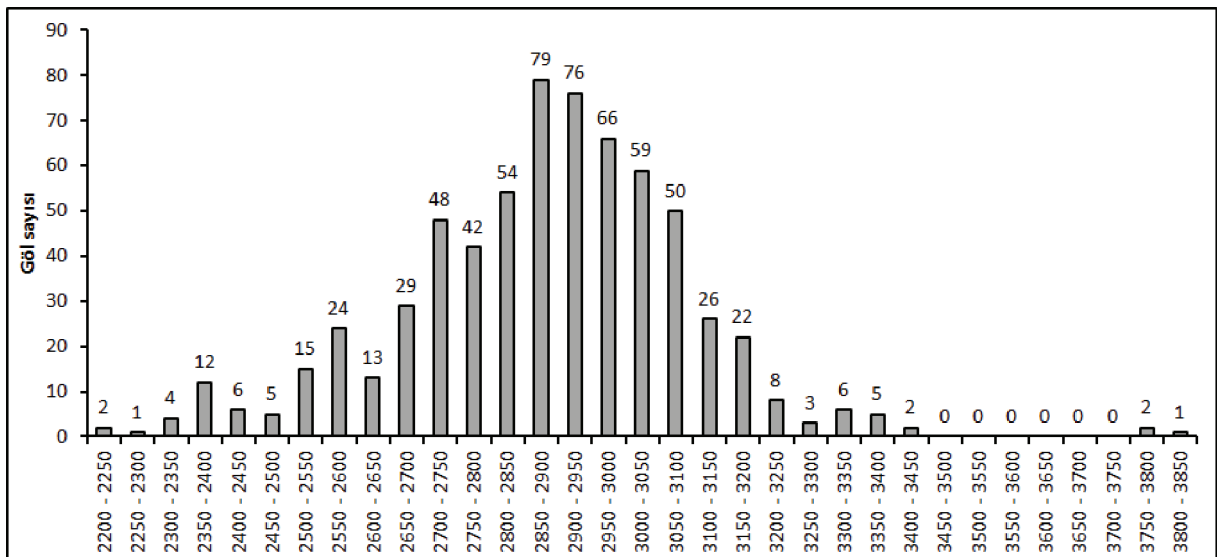
Yalnızçam Dağları (8) ve Mescit Dağları'nda (54); Doğu Anadolu'da ise Mercan (Munzur) Dağları (22 adet), Esence (Keşiş) Dağları (3 adet), Heldağı (6 adet), Meydan Dağı (2 adet), Bağırpaşa Dağı (6 adet), Bingöl Dağı (17 adet) ve Süphan Dağı'nda (3 adet) sirk gölleri yer almaktadır (Şekil 3).

Ortalama yükseltisi 2882 metre olan göller, 2207 metreden başlayarak (Saklıgöl-Uludağ) 3817 metre (Hızır Gölü- Süphan Dağı) yükseltiye kadar bulunabilmektedir. Bu değerlere göre sirk gölleri 1610 metrelik yükselti aralığı içerisinde dağılışı göstermektedirler. Ancak yüzdesel dağılım özelliklerine baktığımızda göllerin %90'nı 2520-3176 metreleri arasındaki 656 metrelik yükselti aralığında bulunmaktadır (Şekil 4). Yüzdesel değerleri biraz daha daraltığımızda göllerin %50'si 2760-3016

metreleri arasındaki 256 metrelik yükselti aralığında yer aldıkları görülür (Tablo 3).

Göl sayısının en fazla olduğu Doğu Karadeniz Dağları'nda sirk göllerinin ortalama yüksekliği 2873 metredir. Ortalama yükselti Rize Dağları'nda 2895 m, Karadağ'da 2857 m, Soğanlı Dağları'nda 2855 m, Mescit Dağları'nda 2844 metre, Karçal Dağları'nda 2734 m'dir.

Güneydoğu Toroslar'daki 61 adet sirk gölünün ortalama yüksekliği 3060 metredir. Ortalama yükseklik Karadağ'da 3182 m, Buzul Dağı'nda 3090 m, İkiyaka Dağı'nda 3047, İhtiyarşahap Dağları'nda ise 2979 metredir.



Şekil 4. Sirk göllerinin yükselti basamaklarına göre dağılışı

Figure 4. Altitude frequency distribution of cirque lakes.

Doğu Anadolu'daki 59 adet sirk gölünün ortalama yüksekliği 2826 metredir. Ortalama yükseklik Mercan Dağları'nda 2550 metreye kadar düşerken, Bingöl Dağı'nda 2931 m, Esence Dağları'nda 3132 m ve Süphan Dağı'nda 3800 metreye kadar çıkmaktadır. Sirk gölü sayısı az olmakla birlikte stratovolkan özelliğindeki Süphan Dağı Anadolu'daki en yüksek sirk göllerinin bulunduğu alanı oluşturmaktadır.

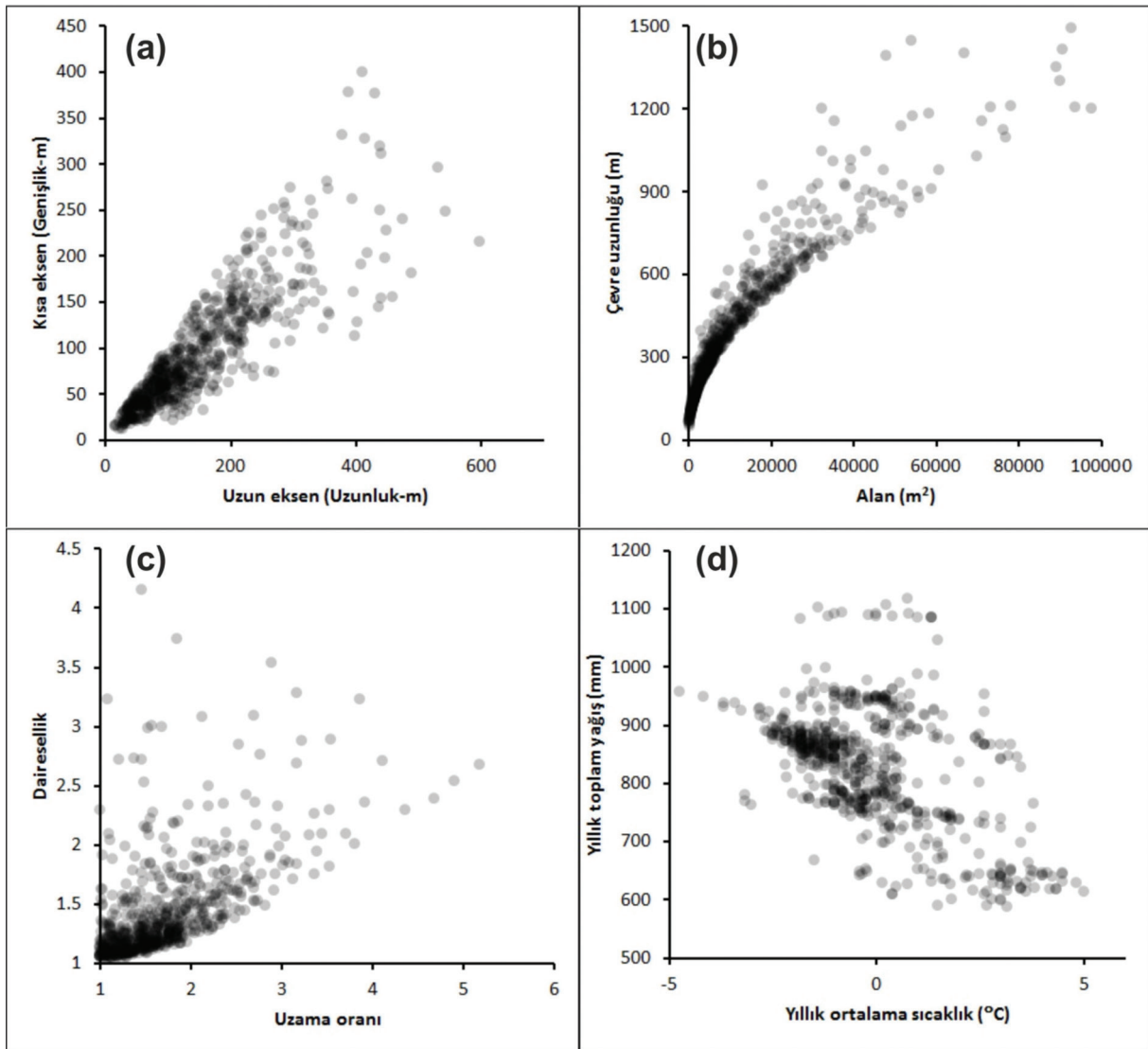
Orta Toroslar'daki ortalama sirk gölü yüksekliği 2880 metredir. Ortalama değer Bolkar Dağları'nda 2741 metre iken Aladağlar'da 3066 metredir.

4.2. Morfometrik Özellikler

Morfometrik değerlere göre tüm sirk göllerinin ortalama uzunlukları 150 metre, genişlikleri ise 92 metredir. Göllerin minimum ve maksimum uzunlukları 16 metre ile 1298 metreleri arasında değişmektedir (Şekil 5a). Türkiye'nin en uzun ve en geniş alana sahip gölü İkiyaka Dağı'nda bulunan Kırmızıtaş Gölü'dür. Ancak Kırmızıtaş Gölü haricinde uzunluğu 1 km'yi geçen başka bir göl bulunmamaktadır. Göllerin %90'ı 39-335 metre, %50'si ise 78-202 metreleri arasında değişen uzunluklara sahiptir. Uzama oranı değerlerine göre göllerin %18,5'i dairesel,

%38 yarieleptik, %10'u eliptik ve %33,5'i ise uzamış formlara sahiptir. Uzamış formların bu kadar yüksek olması sirk göllerinin oluşumunda sirk buzullaşmasından daha çok vadi buzullaşmasının etkili olmasıyla ilgilidir.

Alan büyüklüklerine göre sirk göllerinin ortalama alanı 13.346 m² (0,0133 km²)'dir (Şekil 5b). Anadolu'daki sirk gölleri dünyanın buzullaşmaya uğrayan diğer kesimlerine göre oldukça küçüktür. Anadolu'daki en büyük göl olan Kırmızıtaş Gölü 305 bin m² (0,3 km²) alan kaplamaktadır. Uluslararası sınıflandırmaya göre (Chen vd., 2017) sirk göllerinin neredeyse tamamı (%99,5'i) küçük göldür. Sadece 3 göl orta büyüklükteki göl sınıfı içerisine girmektedir. Alan ve çevre uzunluğuna göre hesaplanan dairesellik değerlerine göre sirk gölleri karmaşık şekillere sahip değildir. Göllerin %71,2'sinde dairesellik indisi değer 1-1,5 arasında değişmektedir (Şekil 5c). Bu değerler uzama oranına da paralel olarak göllerin dairesel, yarı eliptik formlarda olduğu ve çok fazla girinti çıkıntılarının olmadığını göstermektedir. Değeri 2'den büyük olan göller oranı ise %8,8'dir. Uydu görüntüleri üzerinden yapılan incelemelere göre dairesellik indisi yüksek olan bu göllerin kaya buzulları ya da yamaç döküntülerinden dolayı ilksel biçimlerinin bozulduğu sirk gölleri oldukları görülmektedir.



Şekil 5. Göllere ait (a) kısa ve uzun eksen değerleri, (b) alan ve çevre uzunlukları, (c) uzama oranı ve dairesellik değerleri ile (d) yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış değerleri.

Figure 5. Main properties of lakes: (a) short and long axis, (b) area and perimeter, (c) elongation rate and circularity index, and (d) annual average temperature and annual total precipitation.

Tablo 3. Morfometrik parametre ait yüzdesel dağılımlar (çeyreklikler).
Table 3. Percentage distributions (quartiles) of the morphometric parameters.

	Yükseklik (m)	Uzun eksen (m)	Kısa eksen (m)	Uzama	Alan-(m ²)	Çevre (m)	Dairesellik	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)
Min.	2207	16	11	1,00	120	49	1,03	-4,75	587
%5	2520	39	23	1,04	749	108	1,07	-2,20	629
%25	2760	78	46	1,29	2.627	211	1,15	-1,25	764
Ort.	2882	150	92	1,71	13.346	411	1,43	-0,11	825
%75	3016	202	128	1,94	16.968	552	1,55	0,60	885
%95	3,176	335	219	2.88	47,211	928	2.29	3.20	956
Mak.	3,817	1,298	399	5.19	305,960	3,223	4.15	5.00	1,116

4.3. İklimsel Özellikler

Anadolu'da sirk göllerinin buldukları alanları temsil edebilecek çok az istasyon bulunmaktadır. Bu nedenle küresel gridli iklim verilerine göre sirk gölü alanlarının yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere göre sirk gölü alanlarının yıllık ortalama sıcaklığı -0,11°C, yıllık toplam yağış değeri ise 825 mm'dir. Maksimum ve minimum değerlere göre sirk gölleri 5°C (ikiyaka Dağları) ile -4,75°C (Rize Dağları) sıcaklık aralığında bulunmaktadır. Yağış değerlerine göre sirk gölleri 587 mm (Bolkar Dağları) ile 1116 mm (Karçal Dağları) değerleri arasında değişen yıllık toplam yağışa sahiptir (Şekil 5d).

Göl sayısının en fazla olduğu Doğu Karadeniz Dağları yıllık toplam yağışın en fazla olduğu bölgedir (830 mm). Doğu Anadolu'da 767 mm olan ortalama yağış, Güneydoğu Toroslar'da 660 mm'ye ve Orta Toroslar'da 650 mm'ye düşer. Yıllık ortalama sıcaklık değerlerine göre en sıcak bölge 2,3°C ile Güneydoğu Toroslar iken, en soğuk bölge -0,11°C ile Doğu Karadeniz Dağları'dır. Yıllık ortalama sıcaklık Orta Toroslar'da 1.9°C ve Doğu Anadolu'da 0.2°C'dir. Ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış değerlerine göre Anadolu'daki en yüksek sirk gölü yıllık ortalama sıcaklığın en düşük ve yıllık toplam yağışın en fazla olduğu Doğu Karadeniz Dağları'nda görülmektedir.

5. Tartışma

Buzul gölleri, özellikle kuzey yarımkürede, son buzul maksimumu sırasında buzullaşmanın gerçekleştiği dağlık alanlarda maksimum sayıya ulaşmaktadır. Bu göllerinin büyük bölümü son buzul maksimumundan sonra buzulların eriyerek geri çekilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Buzul göllerinin dağlık alanlardaki en önemli tatlı su kaynakları olmaları, sayılarının küresel ısınmayla birlikte sürekli olarak değişmesi, Anadolu'da görülmemekle birlikte buzul göllerinde zaman zaman yaşanan patlamaların şiddetli taşkınlarla ve moloz akıntılara ve afetlere neden olması nedeniyle buzul gölü haritalamaları son yıllarda önem kazanmıştır (ICIMOD, 2011; Jain vd., 2012). Yaşanan bu afetler iklim değişikliğine bağlı olarak da tetiklendiği için buzul göllerinin zaman içerisindeki değişimleri yakından takip edilmektedir. Bu çalışmalara göre küresel iklim değişikliği ve sıcaklık artışlarına bağlı olarak dünyanın bazı alanlarda buzul göl sayısı ve mevcut göllerin alansal büyüklükleri artar-

ken (Khadka vd., 2018; Rai Praveen & Narayan, 2017; Wilson vd., 2018), bazı alanlarda buzul gölü sayılarında azalma yaşanmaktadır (ICIMOD, 2011). Ancak dünya genelinde yapılan bir değerlendirmede buzullardaki erime ve geri çekilmeye bağlı olarak 1990-2018 yılları arasında tüm dünyadaki toplam buzul göl alanında %48'lik bir artış yaşanmıştır (Shugar vd., 2020)

Dünyanın farklı kesimlerindeki buzul gölleri ile ilgili farklı değerlendirme kriterlerine göre birçok çalışma yapılmıştır. Kriterlerin farklılık göstermesi göl sayılarında da bir belirsizliğe neden olmaktadır. Örneğin (Zhang vd., 2015) çalışmasında Himalayalar ve Tibet platosunda buzuldan en fazla 10 km uzaklıkta olan 0,003 km²'den büyük 5700 göl tespit etmiştir. Chen vd. (2017) ise Tibet platosunda 3400-6400 metreleri arasında dağılışı gösteren 8215 buzul gölü tespit etmiştir. Alansal büyüklüğe göre ise bu göllerin %66'sı küçük göllerden oluşmaktadır. Vilimek vd., (2015) Peru'daki Cordillera Blanca Dağı'nda 2300'den fazla göl tespit ederken, Emmer ve Vilimek (2014) aynı alanda 2000 m²'den fazla alana sahip 880 göl tespit etmiştir. Benzer durum Anadolu içinde geçerlidir. Doğu Karadeniz Dağları'nda (bu çalışmada Rize Dağları'na karşılık gelen bölgede) 685 adet buzul gölü tespit etmiştir (Geçen vd., 2018). Ancak bu çalışmada göllerin kökeni üzerine herhangi bir sınıflandırma yapılmadan alpin kuşaktaki tüm göller buzul gölü olarak ele alınmıştır. Bu eksiklik göllerden elde edilecek bilgilerin yorumlanmasında önemli bir sıkıntıya neden olmaktadır. Çünkü buzul gölleri birçok farklı şekilde oluşabilir ve son yapılan çalışmalara göre buzul gölleri (1) sirk gölleri ve buzul vadisi gölleri gibi aşındırma sonucu oluşan göller, (2) moren set gölleri, (3) buzul set gölleri, (4) buzul üstü gölleri, (5) buzulaltı gölleri ve (6) buzul hareketleri nedeniyle meydana gelen kütle hareketleri sonucunda oluşan diğer buzul gölleri şeklinde 6 grup içerisinde sınıflandırılmıştır (Raj & Kumar, 2016; Yao vd., 2018). Anadolu'da yapılan çalışmalarda da bu buzul gölü çeşitliliği ortaya konulmuştur. Literatür bilgisine göre Anadolu'daki buzul gölleri örtü buzullarındaki erimeler sonucunda oluşan buzul üstü gölleri (Çalışkan vd., 2012; Gürgen vd., 2010), moren set gölleri (Doğan, 2011; Tonbul, 1997) ya da tümseksi moren depoları arasındaki çukur alanlarda göl oluşumları gerçekleşmektedir (Çiner vd., 2015). Buzul gölleri haricinde alpin kuşakta kütle hareketlerine bağlı olarak ta göl oluşumları gerçekleşmektedir (Bayrakdar vd., 2017). Yaptığımız bu çalışmada Geçen vd., 2018 ile aynı inceleme alanında alanda sadece 360 adet sirk gölü olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlere göre Rize Dağları'n-

da bulunan 685 gölün yaklaşık yarısı farklı oluşum kökenine sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Benzer durum Anadolu'daki diğer kütleler içinde geçerlidir. Örneğin Bingöl Dağları'nın alpin kuşağında 70'den fazla göl olmasına rağmen (Tonbul, 1997) bu göllerin sadece 17 tanesi sirk gölü özelliğindedir. Bu açıdan Anadolu'da alpin kuşakta yer alan göllerin daha ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir.

Sirklerin ve sirk göllerinin Kuvaterner buzullaşmaları konusunda sağladığı diğer bir bilgi ise buzullaşma dönemlerindeki kalıcı kar sınırı hakkında yaklaşık bir bilgi sağlamasıdır. Çünkü sirkler buzulların ilerlediği dönemlerdeki kalıcı kar sınırı ya da buzul denge sınırına (Equelabilirum line altitude-ELA) yakın bir alanda oluşmaktadır. Son buzul maksimumunda bu sınır kıyı kesimlerinde 2300-2600 metreleri, İç Anadolu ve Doğu Anadolu'da 2800-3000 metreleri arasına inmiştir (Messerli, 1967). Bu genel değerlendirmelerin yanı sıra bazı kütleler için daha net değerler ortaya konulmuştur. Örneğin Narlıca Vadisi'nde (İhtiyarşahap Dağları) farklı tekniklere göre yapılan hesaplamalarda ise kalıcı kar sınırı 2670 metre ile 3037 metreleri arasında olduğu tespit edilmiştir (Yeşilyurt vd., 2018). Benzer yöntemlerle yapılan hesaplamalara göre Akdağ'da (Orta Toroslar) ELA sınırı 2030-2150 metreleri olarak tespit edilmiştir (Bayraktar vd., 2020). Birçok çalışmanın yapıldığı Munzur (Mercan) Dağları'nda buzul döneminde ELA sınırını ~2750 metre olarak belirtmiştir (Bilgin, 1972). Aynı alanda sirk tabanı yüksekliklerine göre 2790 metre (Yeşilyurt, 2012), modern tekniklerle yapılan çalışmalarda ise 2600±60 metre olarak tespit edilmiştir (Çilgin, 2020). Örneklem sayısı az olmakla birlikte, bu çalışmada Mercan Dağları'nda tespit edilen 22 sirk gölünün ortalama yükseklik değerine göre ELA sınırı 2550±200 metre olarak karışımıza çıkmaktadır.

Anadolu'da sirk gölü sayısının aynı dağdaki sirk sayısına oranı (G/S oranı) dağlık alanlara göre önemli değişiklikler göstermektedir. Munzurlar (Mercan) Dağları'nda 680-700 (Çilgin, 2020; Yeşilyurt, 2012) buzul sirki bulunurken sadece 22 adet sirk gölü (G/S oranı %3), Uludağ'da 15 buzul sirki bulunurken (Öztürk, 2012) 5 adet sirk gölü bulunmaktadır (G/S oranı %33). Geyik Dağları'nda 26 adet buzul sirki bulunurken (Şimşek vd., 2019) hiç adet sirk gölü bulunmamaktadır. Dedegöl Dağları'nda 30 adet sirk bulunurken (Çilgin, 2015) sadece 1 adet sirk gölü bulunmaktadır (G/S oranı %3). Doğu Karadeniz Dağları'nda ise 1222 sirk (Geçen vd., 2018) bulunurken sadece 360 sirk gölü bulunmaktadır (G/S oranı %30). Ayrıca Batı Toroslar'da buzullaşmaya uğramış çok fazla dağlık olmakla birlikte sadece bir tanesinde sirk gölü bulunurken, Doğu Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Toroslar üzerinde buzullaşma uğramış tüm dağlık alanlarda sirk gölü bulunmaktadır. G/S oranları arasındaki bu farklılık ya da sirk göllerinin varlığı büyük oranda litolojik özellikler ile ilişkilidir. Batı ve Orta Toros Dağları'nın genel olarak karstlaşmaya uygun kireçtaşlarından oluşmuş olması (Nazik vd., 2019; Öztürk vd., 2018) ve sirk alanlarının genel olarak yoğun karstlaşmanın olduğu kireçtaşları içerisinde bulunması (Şimşek vd., 2019) suyun yüzeyde tutulmasını engellemektedir. Ancak Doğu Karadeniz Dağları gibi karstik olmayan birimlere geçtikçe G/S oranı artmaktadır. Örneğin Doğu Karadeniz Dağları'ndaki göllerin %96'sının volkanik ve intrusif kökenli kayaçlar üzerinde yer almaktadır (Geçen vd., 2018). Bu açıdan Uludağ güzel bir örnek teşkil etmektedir. Uludağ'da sirkler karstik birimler içerisinde gelişmiştir ancak sirk taban-

ları intrusif birimler (granitler) üzerinde yer almasından dolayı (Erinç, 1949; Öztürk, 2012) fazla sayıda sirk gölü oluşmuştur ve kütle üzerindeki G/S oranı %33'tür.

Sirk ve alpin göller açısından en önemli eksikliklerden bir tanesi de göl derinlikleri hakkında bilgilerimizin çok az olmasıdır. Bu açıdan en önemli çalışma Sarı vd., (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Kaçkar ve Soğanlı Dağları'nda arazi çalışmalarına ve haritalama çalışmalarına göre 58'inin sirk gölü incelenmiştir. Çalışmada göl derinliklerinin ortalama 7 metre olduğu ve maksimum 49 metreye kadar ulaşabildiği göl uzunluklarının ise ortalama 216 metre, maksimum ise 497 metre olduğu belirtilmiştir.

6. Sonuç

Anadolu'nun dağlık alanlarının alpin kuşaklarında birçok göl bulunmaktadır ve bu göllerin en önemli oluşum nedenlerinden bir tanesi Kuvaterner buzullaşmaları sonucunda oluşan sirklerdir. Anadolu'da birçok buzul çalışması gerçekleştirilmiş olmakla birlikte sirk gölleri bugüne kadar ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Bu eksiklikten dolayı bu çalışmada Anadolu'daki tüm sirk göllerinin dağılışı ve morfometrik özellikleri incelenmiştir. Haritalama çalışmaları sonucunda 28 dağlık alan üzerinde toplam 660 adet sirk gölü tespit edilmiştir. Göllerinin çok büyük bir bölümü Doğu Karadeniz Dağları üzerinde bulunmaktadır (%77). Doğu Karadeniz Dağları'nın ardından en fazla sirk gölü Güneydoğu Toroslar, Doğu Anadolu ve Orta Toroslar üzerinde yer alır. Batı Toroslar'da buzullaşmaya uğramış birçok kütle bulunmasına rağmen sadece 1 adet sirk gölü bulunmaktadır.

2207 metreden itibaren görülmeye başlanan sirk göllerinin ortalama yüksekliği 2882 metredir. Toplam göl sayısı fazla olmakla birlikte göller çok küçük alanlara sahiptir ve uluslararası sınıflandırmaya göre neredeyse tamamı (%99,5) küçük göl sınıfı içerisinde yer almaktadır. Sirk alanlarının bulunduğu yükseklikleri karakterize edecek iklim istasyonlarının çok sınırlı olmasından dolayı iklim özelliklerinin belirlenmesinde küresel gridli iklim verileri kullanılmıştır ve bu verilere göre sirk gölü alanlarının yıllık ortalama sıcaklığı -0,11°C, yıllık toplam yağış değeri ise 825 mm'dir. Ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış değerlerine göre Anadolu'daki en yüksek sirk gölü sayısı, yıllık ortalama sıcaklığın en düşük ve yıllık toplam yağışın en fazla olduğu Doğu Karadeniz Dağları'nda görülmektedir.

Anadolu'nun dağlık alanlarında farklı gelişim özelliklerine sahip birçok göl bulunmaktadır ve bu çalışmada sadece sirk gölleri incelenmiştir. Ancak Anadolu'nun alpin kuşağında ne kadar göl olduğu, bu göllerin genel gelişim özelliklerinin neler olduğu ve küresel iklim değişikliğine bağlı olarak zaman içerisinde ne tür değişimler gösterdikleri hakkında bir bilimiz bulunmamaktadır. Bu eksikliklerden dolayı hem sirk gölleri hem de diğer göller üzerine daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynakça

- Akçar, N., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Kubik, P. W., Vardar, M., & Schlüchter, C. (2007). Paleoglacial records from Kavron Valley, NE Turkey: Field and cosmogenic exposure dating evidence. *Quaternary International*, 164–165, 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.12.020>.
- Akçer Ön, S. (2011). *Küçükçekmece Lagünü, Yeniçağa, Uludağ Buzul ve Bafa Gölleri'nin (Batı Türkiye) Geç Holosen'deki İklim Kayıtları: Avrupa ve Orta Doğu İklim Kayıtları ile Karşılaştırılması*. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.
- Akkan, E., & Tunçel, M. (1993). Esence (Keşiş) dağlarında buzul şekilleri. Ankara Üniversitesi, *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 2, 225–240.
- Altın, T. B. (2003). *Aladağlar (Ecemiş Çayı Akları) üzerinde buzul ve karst jeomorfolojisi*. İstanbul Üniversitesi.
- Altınay, O., Sarıkaya, M. A., & Çiner, A. (2020). Late-glacial to Holocene glaciers in the Turkish mountains. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(1), 119–133. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00024-7>
- Atalay, İ. (1984). Glacial morphology of the Mescit Mountain (NE Anatolia). *Ege Coğrafya Dergisi*, 2(1). <https://dergipark.org.tr/en/pub/ecd/67072>
- Bakke, J., & Nesje, A. (2011). Equilibrium-Line Altitude (ELA). *Encyclopedia of Earth Sciences Series, Part 3*(1), 268–277. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2_140
- 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>
- Basso, A., Bruno, E., Parise, M., & Pepe, M. (2013). Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environmental Earth Sciences*, 70(6), 2545–2559. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2297-z>
- Bayrakdar, C., Çilgin, Z., Döker, M. F., & Canpolat, E. (2015). Evidence of an active glacier in the Munzur Mountains, eastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, 56–71. <https://doi.org/10.3906/yer-1403-7>
- Bayrakdar, C., Çilgin, Z., & Keserci, F. (2020). Traces of late quaternary glaciations and paleoclimatic interpretation of Mount Akdağ (Alanya, 2451 m), Southwest Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(1), 135–151. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00026-5>
- Bayrakdar, C., Çilgin, Z., & Sarış, F. (2017a). Karadağ'da Pleyistosen Buzullaşmaları, Batı Toroslar, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni / Geological Bulletin of Turkey*, 60(4), 451–469. <https://doi.org/10.25288/tjb.360610>
- Bayrakdar, C., Güneç Kıyak, N., Turoğlu, H., Öztürk, T. & Canel, T. (2017b). Akdağ Kütlesi'nde Peistosen 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., & Özdemir, H. (2014). Kaçkar Dağı'nda bakı faktörünün glasiyal ve periglasiyal topografya gelişimi üzerindeki etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 54, 1–13. <https://doi.org/10.17211/TCD.95116>
- Benn, D. I., & Lehmkuhl, F. (2000). Mass balance and equilibrium-line altitudes of glaciers in high-mountain environments. *Quaternary International*, 65–66, 15–29. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(99\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(99)00034-8)
- Bilgin, T. (1972). *Munzur Dağları Doğu kısmının glasiyal ve periglasiyal morfolojisi*. İstanbul Üniversitesi Yayınları. <https://www.nadirkitap.com/munzur-daglari-dogu-kisminin-glasiyal-ve-periglasiyal-morfolojisi-bilgin-turgut-kitap15186763.html>
- Birman, J. H. (1968). Glacial Reconnaissance in Turkey. *GSA Bulletin*, 79(8), 1009–1026. <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article/79/8/1009/6355/Glacial-Reconnaissance-in-Turkey>
- Bondesan, A., Meneghel, M. & Sauro, U. (1992). Morphometric analysis of dolines. *International Journal of Speleology*, 21(1), 1–55.
- Çalışkan, O., Gürgen, G., Yılmaz, E., & Yeşilyurt, S. (2012). Bolkar Dağları kuzeydoğusunun glasiyal morfolojisi ve döküntüyle örtülü buzulları. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 9(1), 890–911.
- Candaş, A., Sarıkaya, M. A., KÖSE, O., Şen, Ö. L. & Çiner, A. (2020). Modelling Last Glacial Maximum ice cap with the Parallel Ice Sheet Model to infer palaeoclimate in south-west Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 35(7), 935–950. <https://doi.org/10.1002/jqs.3239>
- Chen, F., Zhang, M., Tian, B., & Li, Z. (2017). Extraction of Glacial Lake Outlines in Tibet Plateau Using Landsat 8 Imagery and Google Earth Engine. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(9), 4002–4009. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2705718>
- Chinn, T. J., Kargel, J. S., Leonard, G. J., Haritashya, U. K., & Pleasants, M. (2014). New Zealand's Glaciers. In *Global Land Ice Measurements from Space* (pp. 675–715). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-79818-7_29
- Çiner, A. (2003). Türkiye'nin Güncel Buzulları ve Geç Kuvaterner Buzul Çökelleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 55–78. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/590866>
- Çiner, A., & Sarıkaya, M. A. (2017). Cosmogenic ³⁶Cl geochronology of late Quaternary glaciers in the Bolkar Mountains, south central Turkey. In P. Hughes & J. Woodward (Eds.), *Quaternary glaciation in the Mediterranean mountains* (Vol. 433, Issue 1, pp. 271–287). Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP433.3>
- Çiner, A., Sarıkaya, M. A., & Yıldırım, C. (2015). Geyik Dağı (Orta Toroslar) Geç Kuvaterner Buzullaşması ve Paleoklim Yorumu.
- Çilgin, Z. (2015). Dedegöl Dağı Kuvaterner buzullaşmaları. *Türk Coğrafya Dergisi*, 64, 19–38. <https://doi.org/10.17211/tcd.55740>
- Çilgin, Z. (2020). 3D Surface Modeling of Late Pleistocene Glaciers in the Munzur Mountains (Eastern Turkey) and its paleoclimatic implications. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(5), 714–732. <https://doi.org/10.3906/yer-1905-18>
- Dede, V., Çiçek, İ., Sarıkaya, M. A., Çiner, A., & Uncu, L. (2017). First cosmogenic geochronology from the Lesser Caucasus: Late Pleistocene glaciation and rock glacier development in the Karçal Valley, NE Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 164, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.03.025>
- Denizman, C. (2003). Morphometric and spatial distribution parameters of karstic depressions, Lower Suwannee River Basin, Florida. *Journal of Cave and Karst Studies*, 65(1), 29–35.
- Doğan, M. (2011). Sandıras Dağı'nda (Muğla) buzullaşma ve buzul şekilleri. *Ege Coğrafya Dergisi*, 20(1), 29–52.
- Doğu, A. F., Somuncu, M., Çiçek, İ., Tunçel, H., & Gürgen, G. (2018). Kaçkar Dağında Buzul Şekilleri, Yaylalar ve Turizm. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 36(1–2). <http://www.dtcfdergisi.ankara.edu.tr/index.php/dtcf/article/view/4795>

- Emmer, A., & Vilímek, V. (2014). New method for assessing the susceptibility of glacial lakes to outburst floods in the Cordillera Blanca, Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(9), 3461–3479. <https://doi.org/10.5194/HESS-18-3461-2014>
- Erinç, S. (1949). Uludağ üzerinde glasyal morfoloji araştırmaları. *Türk Coğrafya Dergisi*, 11–12, 79–94.
- Erinç, S. (1955). Glasiyal ve Periglasiyal morfoloji bakımından Honaz ve Bozdağ. *Türk Coğrafya Dergisi*, 13–14, 25–43.
- Erinç, S. (2001). *Jeomorfoloji II Güncelleştirenler Ertek, A., Güneysu, C., Der Yayınları*.
- Evans, I. S., Çilgin, Z., Bayrakdar, C., & Canpolat, E. (2021). The form, distribution and palaeoclimatic implications of cirques in southwest Turkey (Western Taurus). *Geomorphology*, 391, 107885. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107885>
- Fakioğlu, Ö., Arslan, H., & Köktürk, M. (2019). Qualitative Investigation of Phytoplankton of Glacial Lakes (Tortum/Erzurum). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1704–1709. <https://doi.org/10.21597/jist.461249>
- Fey, M., Korr, C., Maidana, N. I., Carvedo, M. L., Corbella, H., Dietrich, S., Haberzettl, T., Kuhn, G., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Paez, M. M., Quintana, F. A., Schäbitz, F. & Zolitschka, B. (2009). Palaeoenvironmental changes during the last 1600 years inferred from the sediment record of a cirque lake in southern Patagonia (Laguna Las Vizcachas, Argentina). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3–4), 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.01.012>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Geçen, R., Toprak, V., & Tonbul, S. (2018). The Effect of Aspect On Glaciation: A case Study of Eastern Black Sea Mountains (Turkey). *Ege Coğrafya Dergisi*, 27, 35–54.
- Gürgen, G. & Yeşilyurt, S. (2012). Karçal Dağı Buzulları (Artvin). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 10, 91–104.
- Gürgen, Gürcan, Çalışkan, O., Yılmaz, E., & Yeşilyurt, S. (2010). Yedigöller Platosu ve Emlî Vadisinde (Aladağlar) döküntü örtülü buzullar. *E-Journal of New World Sciences Academy, NEWSSA*, 5(2), 98–116.
- ICIMOD. (2011). *Glacial lakes and glacial lake outburst floods in Nepal*.
- Jain, S. K., Lohani, A. K., Singh, R. D., Chaudhary, A., & Thakural, L. N. (2012). Glacial lakes and glacial lake outburst flood in a Himalayan basin using remote sensing and GIS. *Natural Hazards* 2012 62:3, 62(3), 887–899. <https://doi.org/10.1007/S11069-012-0120-X>
- Khadka, N., Zhang, G., & Thakuri, S. (2018). Glacial Lakes in the Nepal Himalaya: Inventory and Decadal Dynamics (1977–2017). *Remote Sensing*, 10(12), 1913. <https://doi.org/10.3390/rs10121913>
- Köse, O., Sarıkaya, M. A., Çiner, A., & Candaş, A. (2019). Late Quaternary glaciations and cosmogenic ³⁶Cl geochronology of Mount Dedegöl, south-west Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 34(1), 51–63. <https://doi.org/10.1002/jqs.3080>
- Kurter, A. (1991). Glaciers of Middle East and Africa glaciers of Turkey. In R. S. Williams & J. G. Ferrigno (Eds.), *Satellite Image Atlas of the World* (pp. 1–30).
- Louis, H. L. (1944). Evidence for Pleistocene glaciation in Anatolia. *Geologische Rundschau*, 34(7–8), 447–481.
- Messeri, B. (1967). Die eiszeitliche und die gegenwärtige Vergletscherung im Mittelmeerraum. *Geographica Helvetica*, 22(3), 105–228. <https://doi.org/10.5194/gh-22-105-1967>
- Munro-Stasiuk, M. J., Heyman, J., & Harbor, J. (2013). Erosional Features. In J. Shroder (Ed.), *Treatise on Geomorphology, vol.8, Glacial and Periglacial Geomorphology* (pp. 83–99).
- Nazik, L., Poyraz, M., & Karabıyıkoglu, M. (2019). Karstic Landscapes and Landforms in Turkey. In Catherine Kuzucuoğlu, A. Çiner & N. Kazancı (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (pp. 181–196). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_5
- Otto, J.-C. (2019). Proglacial Lakes in High Mountain Environments. In Heckmann T. & Morche D. (Eds.), *Geomorphology of Proglacial Systems* (pp. 231–247). https://doi.org/10.1007/978-3-319-94184-4_14
- Öztürk, M. Z. (2012). *Uludağ'daki periglasiyal süreçlerin, periglasiyal yerçekillerinin ve bunları denetleyen etmenlerin incelenmesi*.
- Öztürk, M. Z. (2018). Karstik Kapalı Depresyonların (Dolinlerin) Morfometrik Analizleri. *COĞRAFYA DERGİSİ JOURNAL OF GEOGRAPHY Coğrafya Dergisi Coğrafya Dergisi – Journal of Geography*, 36(36), 1–13. <https://doi.org/10.26650/JGEOG371149>
- 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(536), 536. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7717-7>
- Perinçek, D. (1979). Cilo Dağı, Sat Gölleri. *Yeryuvarı ve İnsan*, 4(3), 25–33.
- Planhol, X. de., & Bilgin, T. (1964). Glaciaire et périglaciaire quaternaires et actuels dans le massif du Karagöl (Chaînes pontiques, Turquie). *Revue de Géographie Alpine*, 52(3), 497–512. <https://doi.org/10.3406/RGA.1964.3181>
- Rai Praveen, K., & Narayan, M. V. (2017). Changes of glacier lakes using multi-temporal remote sensing data: A case study from India. *Geographica Pannonica*, 21(3), 132–141. <https://doi.org/10.5937/GEOPAN1703132K>
- Raj, K. B. G., & Kumar, K. V. (2016). Inventory of Glacial Lakes and its Evolution in Uttarakhand Himalaya Using Time Series Satellite Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44(6), 959–976. <https://doi.org/10.1007/s12524-016-0560-y>
- Sarı, H. M., Ustaoglu, M. R., İlhan, A., & Özbek, M. (2015). Kaçkar ve Soğanlı Dağları Göllerinin morfometrik özellikleri (Türkiye). *Su Ürünleri Dergisi*, 32, 31–36. <https://avesis.ege.edu.tr/yayin/5e6e4b38-ac0e-4f1a-a777-f2175a868f98/kackar-ve-soganli-daglari-gollerinin-morfometrik-ozellikleri-turkiye>
- Sarıkaya, M. A. (2012). Recession of the ice cap on Mount Ağrı (Ara-rat), 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, 107–127. <https://doi.org/10.19111/bmre.35245>
- Sarıkaya, M. A., & Çiner, A. (2019). Ice in Paradise: Glacial Heritage Landscapes of Anatolia. In C. Kuzucuoğlu, A. Çiner & N. Kazancı (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (pp. 397–411). https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_20
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A. & Zreda, M. (2011). Quaternary Glaciations of Turkey. *Developments in Quaternary Sciences*, 15, 393–403. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00030-1>

- Shugar, D. H., Burr, A., Haritashya, U. K., Kargel, J. S., Watson, C. S., Kennedy, M. C., Bevington, A. R., Betts, R. A., Harrison, S. & Stratman, K. (2020). Rapid worldwide growth of glacial lakes since 1990. *Nature Climate Change* 2020 10:10, 10(10), 939–945. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0855-4>
- Şimşek, M., Utlu, M., Poyraz, M., & Öztürk, M. Z. (2019). Geyik Dağı kütlesinin yüzey karstı jeomorfolojisi ve kütle üzerindeki karst-buzul jeomorfolojisi ilişkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29(2), 97–110.
- Stroeven, A. P., Harbor, J., & Heyman, J. (2013). Erosional Landscapes. In J. Shroder (Ed.), *Treatise on Geomorphology vol.8, Glacial and Periglacial Geomorphology* (Vol. 8, pp. 100–112). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00198-6>
- Taş, B. & Hamzaçebi, E. Ş. (2020). Assessment of algal diversity and hydrobiological preliminary results in a high-mountain lake (Karağöl Lake, Giresun Mountains, Turkey). *11 Review of Hydrobiology*, 13(1–2), 11–38.
- Tonbul, S. (1997). Bingöl Dağında Buzul Şekilleri. *Türkiye Coğrafyası Dergisi*, 6, 347–374.
- Turoğlu, H. (2011). *Buzullar ve Buzul Jeomorfolojisi*. Çantay Kitapevi.
- Ustaoğlu, M. R., Balık, S., Sarı, H. M., Mis, D. Ö., Aygen, C., Özbek, M., İlhan, A., Taşdemir, A., Yıldız, S. & Topkara, E. T. (2008). Uludağ (Bursa)'daki buzul gölleri ve akarsularında faunal bir çalışma. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 25(4), 295–299.
- Vilímek, V., Klimeš, J. & Červená, L. (2015). Glacier-related landforms and glacial lakes in Huascarán National Park, Peru. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.1000985>, 12(1), 193–202. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.1000985>
- Wilson, R., Glasser, N. F., Reynolds, J. M., Harrison, S., Anaconda, P. I., Schaefer, M. & Shannon, S. (2018). Glacial lakes of the Central and Patagonian Andes. *Global and Planetary Change*, 162, 275–291. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2018.01.004>
- Yalçınlar, İ. (1951). Soğanlı-Kaçkar ve Mescit dağı silsilelerinin glasiyasyon şekilleri. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 82–88.
- Yao, X., Liu, S., Han, L., Sun, M. & Zhao, L. (2018). Definition and classification system of glacial lake for inventory and hazards study. *Journal of Geographical Sciences* 2018 28:2, 28(2), 193–205. <https://doi.org/10.1007/S11442-018-1467-Z>
- 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>
- Yesilyurt, S. (2012). Late Quaternary glaciations of the Munzur Mountains, Eastern Anatolia, Turkey: an assessment using remote sensing and GIS techniques. *XVIII INQUA Congress*, 279–280. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.08.1929>
- Yeşilyurt, S., Doğan, U. & Akçar, N. (2018). Narlıca Vadisi'nde Geç Kuaterner Buzullaşma İzleri, Kavuşşahap Dağları. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 99–108. <https://doi.org/10.17211/tcd.415232>
- Zahno, C., Akçar, N., Yavuz, V., Kubik, P. W. & Schlüchter, C. (2010). Chronology of Late Pleistocene glacier variations at the Uludağ Mountain, NW Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 29(9–10), 1173–1187. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.01.012>
- Zhang, G., Yao, T., Xie, H., Wang, W. & Yang, W. (2015). An inventory of glacial lakes in the Third Pole region and their changes in response to global warming. *Global and Planetary Change*, 131, 148–157. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2015.05.013>