



Otlukbeli (Erzincan) Travertenlerinin Jeolojik-Kültürel Miras Açısından Önemi (Doğu Anadolu)

*The Importance of the Otlukbeli (Erzincan) Travertines in Terms of Geological and Cultural Heritage
(Eastern Anatolia)*

Yakup Çelik¹, Ezher Tagliasacchi^{2,3,*}, Mehmet Akif Taş⁴, Pınar Polat⁴

¹ *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Büyükçekmece Kampüsü, 34500 Büyükçekmece/İstanbul, Türkiye*

² *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü, Denizli, Türkiye*

³ *Cenova Üniversitesi, Yer, Çevre ve Yaşam Bilimleri Bölümü (DISTAV), Cenova, İtalya*

⁴ *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Erzincan, Türkiye*

• Geliş/Received: 09.10.2025 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 07.12.2025 • Kabul/Accepted: 08.12.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.05.2026 • Baskı/Printed: 22.05.2026

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Erzincan ilinin (Doğu Anadolu) Otlukbeli ilçesi sınırlarında yer alan Otlukbeli Travertenleri, Türkiye'nin jeolojik açıdan en özgün ve nadir traverten oluşumlarından biridir. Bu travertenler, bölgedeki aktif bir tektonizmanın etkisinde kırık ve çatlaklar boyunca yüze çıkan Fe-oksitçe zengin minerali sular tarafından oluşturulmuş, farklı jeomorfolojik özelliklere sahip karasal karbonatlardır. Bu karbonat oluşumları, traverten konileri, sırt tipi ve yamaç travertenleri şeklinde çalışma alanında gözlenmektedirler. Günümüzde aktif olmayan traverten sırt ve konileri çalışma alanında yaygın olarak gözlemlendiği gibi hala aktivasyonuna devam eden güncel karbonat çökelimi de mevcuttur.

Bu araştırma kapsamında 60 civarı traverten konisi ve 15 adet traverten sırtı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ölçülen bu traverten koni ve sırtları, coğrafi bilgi sistemi içinde değerlendirilmiş, travertenlerin jeomorfolojik ve jeolojik özellikleri yüksek çözünürlükte haritalanmıştır. Sedimantolojik açıdan bu karasal karbonatların depolanma sistemleri ve litotipleri ilk kez bu çalışmada ortaya konmuştur. Bu çalışmada, laminalı, kristalin kabuk, gaz kabarcıklı ve ince zarflar, bu üç farklı traverten sistemleri içinde gözlenen belirgin litotiplerdir. Küçük ve orta ölçekteki traverten havuz/havuzcukları, yamaç boyunca gelişen travertenlerin teraslarında yaygındır. Yapılan petrografik analizlerde bu travertenlerde eser miktarda Fe-oksit/oksihidroksit minerallerine rastlanmıştır.

Otlukbeli Travertenleri, jeolojik-kültürel miras kriterleri açısından oldukça önemli bir değere sahip jeolojik oluşumlardır. Sahip olduğu nadirlik, bilimsel araştırma potansiyeli, eğitim ve jeoturizm açısından taşıdığı değerler, Otlukbeli Travertenlerini korunması gereken önemli bir jeosit konumuna getirmektedir. Bu benzersiz oluşumların korunması, bilimsel araştırmalara teşvik edilmesi ve sürdürülebilir jeoturizm kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu, Erzincan, jeolojik ve kültürel miras, jeoturizm, Otlukbeli Travertenleri.

Abstract: *The Otlukbeli Travertines, located in the Otlukbeli district of Erzincan Province in Eastern Anatolia, constitute one of the most distinctive and geologically rare travertine formations in Türkiye. These travertines are terrestrial carbonates with distinct geomorphological features, formed by Fe-oxide-rich mineralized waters emerging along fractures and faults under the influence of active tectonics in the region. In the study area, these terrestrial carbonate deposits are observed as travertine cones, ridge-type travertines, and slope travertines. While*

inactive travertine ridges and cones are widely observed in the field, there are also ongoing deposits of active carbonate precipitates.

In this study, approximately 60 travertine cones and 15 travertine ridges were described in detail. The measured travertine cones and ridges were evaluated within a geographic information system, and the geomorphological and geological characteristics of the travertines were mapped at high resolution. From a sedimentological perspective, this study presents, for the first time, the depositional systems and lithotypes of these terrestrial carbonates. Accordingly, laminated, crystalline crust, gas bubbles and paper-thin rafts are the mainly lithotypes observed within these three different travertine systems. Travertine pools and terraces are commonly observed on the slope travertine. Petrographic analyses also revealed trace amounts of Fe-oxide/oxyhydroxide minerals in these travertines.

The Otlukbeli Travertines are geological formations of considerable importance in terms of geological and cultural heritage criteria. Their rarity, scientific research potential, and value for education and geotourism make the Otlukbeli Travertines an important geosite that requires protection. The preservation of these unique occurrences, the promotion of scientific studies, and their evaluation within the scope of sustainable geotourism are essential.

Keywords: Eastern Anatolia, Erzincan, geological and cultural heritage, geotourism, Otlukbeli Travertines.

GİRİŞ

Traverten ve tufa çökelleri hem inorganik hem de organik süreçler sonucunda oluşan karasal karbonat birikimleridir (Chafetz ve Folk, 1984; Pentecost ve Viles, 1994; Ford ve Pedley, 1996). Genellikle karstik, hidrotermal kaynaklar, küçük nehirler ve bataklıklar gibi ortamlarda bulunurlar (Julia, 1983; Pedley, 1990; Pentecost ve Viles, 1994; Pentecost, 1995; Guo ve Riding, 1998). Bu karasal karbonatlar (traverten ve tufa) kimyasal olarak aynı bileşime sahip olsalar da çökeltme ortamları ve süreçleri birbirinden farklıdır. Travertenler, kompakt, sıkı dokulu, laminalı, çalı şeklinde bakteri büyümelerine sahip, sert ve yoğun kristalli CaCO₃ birikimleridir ve karstik kaynaklardan kalsiyum bikarbonatça zengin suların kırık, çatlaklar boyunca yüzeye çıkmasıyla değişen sıcaklık, basınç ve CO₂ derişimine bağlı olarak çökeltim gerçekleştirirler (Julia, 1983).

Diğer taraftan tufa çökelleri, kalsiyum bikarbonatça zengin, ortam sıcaklığındaki (soğuk veya ılıman) sular tarafından (genellikle kaynak, akarsu, göl) çökeltilen karasal karbonat birikimleridir (Ford ve Pedley, 1996; Pedley, 2009; Arenas-Abad vd., 2010). Bu birikimler; düşük çökeltim hızlarıyla karakterize edilen, yumuşak dokulu, biyolojik etkilerin daha fazla olduğu, gözenekli bir yapıya sahiptirler (Ford ve Pedley, 1996; Arenas-Abad vd., 2010; Capezzuoli vd., 2014). Tufaların gelişimi; çökeltme

yerinin konumu, topoğrafya, bitki örtüsünün bolluğu, mavi-yeşil alglerin (siyanobakteriler) kolonizasyonu ve su akış rejimiyle yakından ilişkilidir (Viles ve Goudie, 1990).

Bu karasal karbonatlar (traverten ve tufa), tektonizma, iklim ve kaynak suyunun kimyasal özelliği (sıcaklık, Eh, pH gibi) gibi dış faktörler ile kaynak suyunun akış biçimleri ve biota (flora ve fauna) gibi iç faktörler tarafından kontrol edilmektedirler (Arenas-Abad vd., 2010; Özkul vd., 2013). Traverten ve tufa çökellerindeki morfolojik yapılar, karasal karbonat oluşumlarını kontrol eden bu dış ve iç faktörlerin etkileşimleri sonucunda gelişirler (Chafetz ve Folk, 1984; Guo ve Riding, 1998; Pedley, 2009; Arenas-Abad vd., 2010; Özkul vd., 2013; Capezzuoli vd., 2014; Toker vd., 2015; Toker, 2017; Toker-Tagliasacchi, 2018; Kandemir vd., 2021; Capezzuoli vd., 2022; Tagliasacchi vd., 2024; Çelik ve Tagliasacchi, 2025). Bu morfolojik yapılar, travertenlerde göl (lacustrine) tipi, teraslı (terrace), çatlak sırtı (fissure ridge) ve koniler (cones) şeklinde gözlenirken tufa çökellerinde şelale (cascade) tipi, akarsu (fluvial) ve paludal (palustrine) tufa çökelleri olarak görülmektedir.

Farklı çökeltme süreçlerine sahip, morfolojik olarak çeşitli görünümüne sunan bu doğal oluşuklar, aynı zamanda estetik, kültürel ve turistik değerleri bünyesinde barındıran jeolojik miras unsurları olarak kabul edilirler (Altunel ve

D'Andria, 2019). Ayrıca, küresel doğa koruma sembollerinin ve endemik türlerin yanı sıra, doğal ve estetik peyzajların oluşturduğu (teraslar, havuzlar ve şelaleler) görsel güzelliğin seçkin bir örneğini temsil ederler ve bu özellikleriyle bir Dünya Doğal Mirası alanı olarak olağanüstü değerlerini ortaya koyarlar (Ford ve Pedley, 1996; Zhang vd., 2012). Bu yapılar, doğal güzellikleri nedeniyle jeoturizm açısından büyük çekicilik oluşturmaktadırlar. Jeolojik Miras kapsamı içinde değerlendirilen bu eşsiz güzelliğe sahip oluşumlar, ülkemizde ve dünyada oldukça dikkat çekici bir konuma sahiptir. Ülkemizde IUGS2022 yılında ilk 100 Jeolojik Miras alanlarından biri olarak seçilen, 1988 yılından bu yana UNESCO Dünya Miras Listesi doğal ve kültürel miras olarak yer alan dünyaca ünlü Denizli Pamukkale travertenleri (Özkul vd., 2024), Balıkesir'de Sındırgı-Hisaralan traverten bacaları (Polat, 2011); Sivas'ın batısında bulunan Sıcak Çermik (Mesci vd., 2008; Mesci, 2013); Kırşehir Terme (Atabey, 2002; Temiz vd., 2009); Ağrı Diyadin travertenleri (Zaman vd., 2000; Polat, 2011) ve Van Başkale Dereiçi travertenleri (Yeşilova, 2021) belli başlı traverten/tufa oluşumlarıdır. Ayrıca UNESCO Dünya Mirası listesinde yer alan orta İtalya'daki Urbino tarihi tufa şehri (Santi vd., 2023), Çin'deki "Sarı Ejderha" anlamına gelen Huanglong vadisindeki kaplıcalar (Zhang vd., 2012; Gao vd., 2025) ve Jiuzhaigou (Li vd., 2014; Liu, 2017), ABD'deki Yellowstone Milli Parkı'ndaki Mammoth Kaplıcaları (Fouke, 2011) ve Hırvatistan'daki Plitvice Gölleri (Golubić vd., 2008; Sironic vd., 2017; Ivković vd., 2020) dünyadaki önemli traverten/tufa alanlarıdır.

Bu çalışmaya konu olan Otlukbeli Travertenleri de (Erzincan) belirgin traverten sırtları, traverten konileri ve traverten set gölü ile sadece jeolojik açıdan değil aynı zamanda eşsiz görseelliği ile önemli bir jeolojik miras potansiyeli taşımaktadır. Çalışma alanında yapılmış önceki çalışmalarda, traverten sırt ve konileri belirlenmiş, jeomorfolojik olarak özellikleri incelenmiştir. Polat (2018) yaptığı çalışmada, Otlukbeli sırt ve koni tipi travertenlerinden bahsederek jeomorfolojik olarak

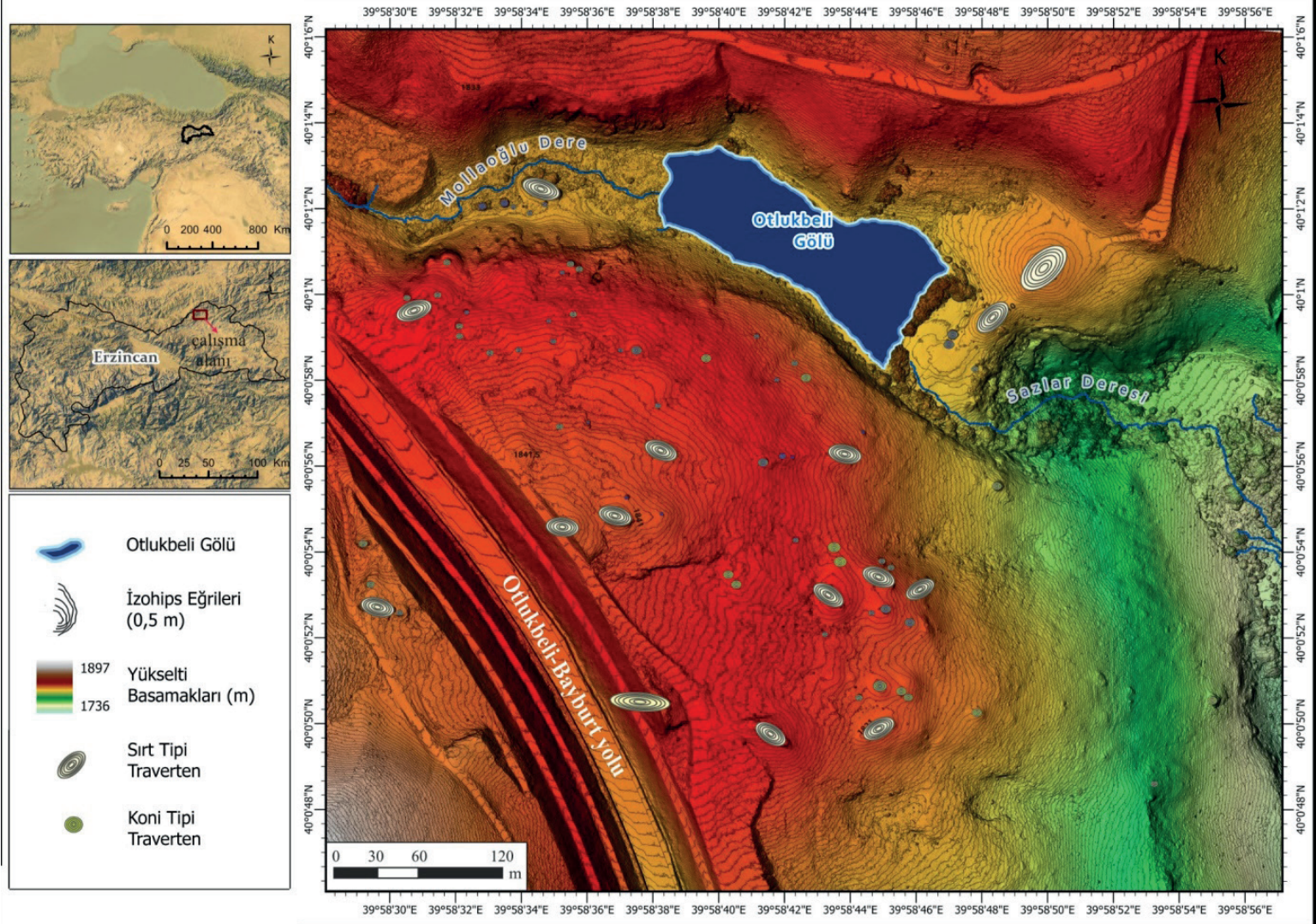
özelliklerini incelemiştir. Ayrıca, bu travertenlerin jeomorfolojik miras niteliği taşıdığı belirtilmiştir. Bölgede yapılan ilk çalışmalarda, traverten set gölünün eşsiz güzelliğinden ve gölün "Doğal Anıt" olarak kabul edilmesi gerektiğinden bahsedilmiş (Akkan ve Tuncel, 1990), ayrıca gölün rekreasyon potansiyeli üzerinde durulmuştur (Akpınar, 2016). Otlukbeli ve çevresindeki çalışmalar, sadece jeomorfolojik açıdan değil aynı zamanda bölgenin tarihi ve arkeolojisi üzerine de yapılmıştır (Üngör ve Özgül, 2016).

Otlukbeli Travertenleri, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından koruma altına alınmış, 1994 yılında 1. derece doğal sit alanı ilan edilerek Türkiye'de "Doğal Anıt" olarak tescillenmiş ilk traverten unvanını almıştır (Akkan ve Tuncel, 1990). T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Erzurum Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun 15.01.2025-6922 no'lu Resmî Gazetede yayınlamış olduğu karar ile Otlukbeli Gölü ve çevresinin, I. Derece Arkeolojik Sit Alanı olarak, korumaya yönelik bilimsel çalışmalar dışında aynen korunmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmada, Otlukbeli Travertenlerinin jeolojik, sedimantolojik, jeomorfolojik özellikleri incelenmiş, bu özgün oluşumun jeolojik ve kültürel miras açısından önemi ortaya konmuştur.

İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanı, Erzincan il merkezinin 142 km kuzeydoğusunda bulunan Otlukbeli ilçesinin 6 km kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı içerisinde bulunan Otlukbeli Gölü, farklı havzaları drene eden Kelkit Çayı, Çoruh ve Karasu (Fırat) ırmaklarının su toplama havzalarını ayıran Otlukbeli Dağları sahasında yer alan küçük bir traverten set gölüdür. Uzunluğu yaklaşık 180-190 m ve genişliği 50-90 m'dir. Deniz yüzeyinden ortalama 1.890 m yükseklikte olup, azami derinliği 15-18 m'dir ve ortalama 1,5 hektar alan kaplamaktadır.



Şekil 1. İnsansız Hava Aracı (İHA) ile elde edilen 1,72 cm/piksel çözünürlüklü Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılarak hazırlanan Otlukbeli Gölü ve çevresinin lokasyon haritası.

Figure 1. Location map of Otlukbeli Lake and its surroundings, prepared using a 1.72 cm/pixel resolution Digital Terrain Model (DTM) obtained from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV).

Bölgenin jeolojik yapısına bakıldığında, inceleme alanı, Pulur kompleksi-Sakarya Zonu, Erzincan Kenedi (İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonu) ve Torid-Anatolid zonunda bulunmaktadır (Ağar, 1977; Yılmaz, 1985; Aktimur vd., 1995; Akdeniz vd., 1997; Okay ve Şahintürk 1997; Aslan, 1998; Okay ve Tüysüz, 1999 ve Gedik, 2008; Akpınar vd., 2016). Geç Miyosen sonundan itibaren bölgede, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) etkisine bağlı olarak, KB-GD, KD-GB gidişli sağ ve sol atımlı doğrultu fayları ve çatlakları gelişmiştir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Koçyiğit, 1991; Bozkuş ve Yılmaz, 1993).

Bölgedeki temel kayaçlar, fillit, klorit, şist, mikaşist ve mermerlerden oluşan metamorfik kayaçlar olup, Berdiga Formasyonu bu metamorfik kayaçların üzerinde yer almaktadır. Berdiga Formasyonu'nun üzerine tektonik olarak yerleşen, çalışma alanı ve çevresinde yaygın olarak gözlenen Kretase yaşlı ofiyolitik karışık bulunur (Gedik, 2008). İnceleme alanının doğu kesiminde Berdiga Formasyonu ve Otlukbeli Melanjı'nı kesen granitik kayaçlardan oluşan Sarıhan Granitoyidi bulunmaktadır. Bu birimler Paleojen-Neojen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı çökeller tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Gülandere Formasyonu). Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar tüm bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 2a).

Berdiga Formasyonu

Karadeniz Bölgesi ve Çayırılı-Otlukbeli kuzey kesimlerinde geniş alanlarda yüzeyleyen kireçtaşı ve kırıntılı seviyeler içeren birim, Pelin (1977) tarafından tanımlanmıştır. İnceleme alanının kuzey kesimlerinde geniş alanlar kaplayan (Şekil 2a) birim, Küçükotlukbeli yöresinde Ağnene'de maden suyu çıkan zonu beslemekte olup; kalınlıkları 400 m' ye varan yüzeylemeleri bulunmaktadır. Berdiga Formasyonu, grimsi siyah, bej ve sarımsı renklerde, orta-kalın tabakalı ve mikritik karakterde kireçtaşları ile

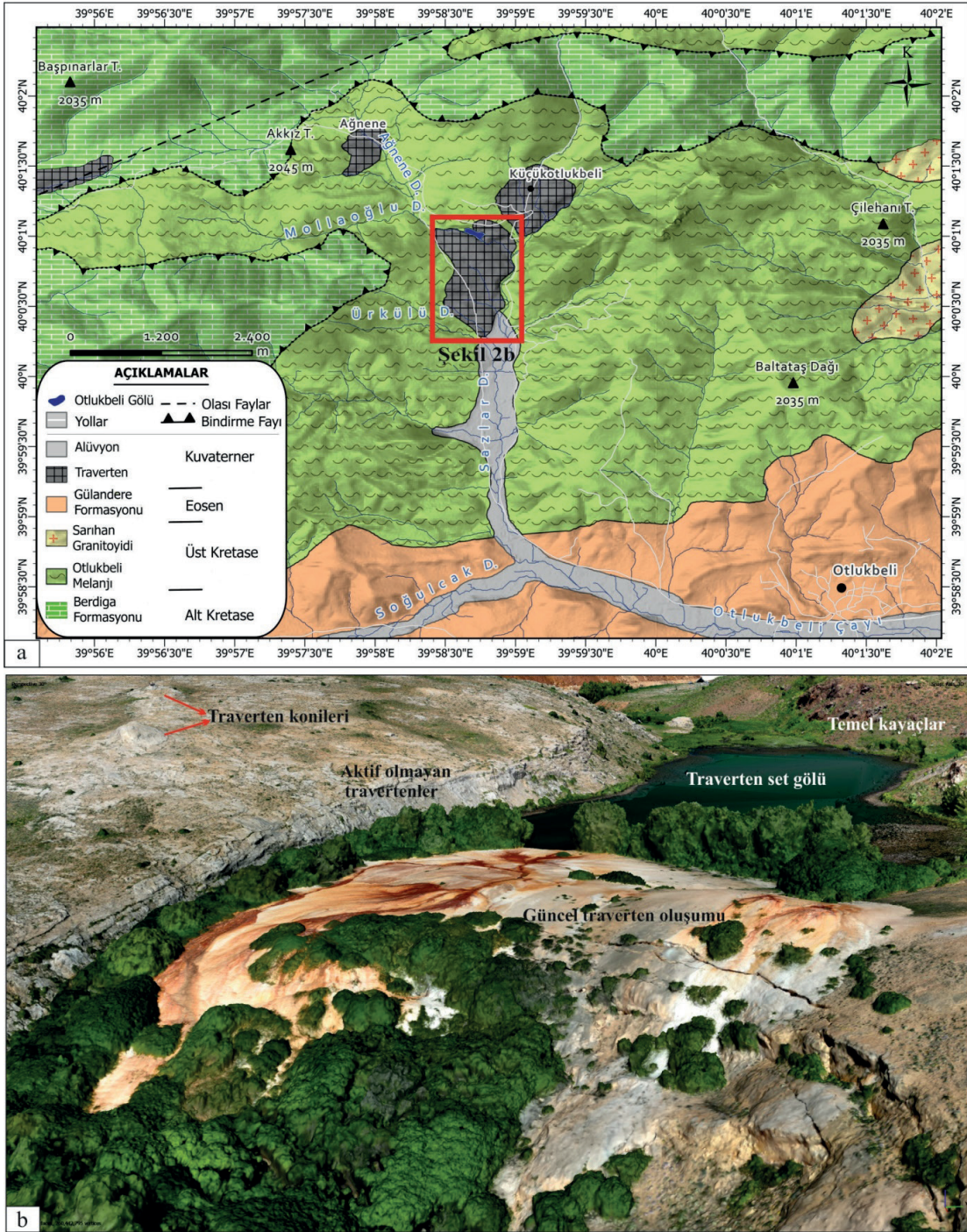
yer yer çört bantlarından oluşmaktadır. Bu birim içerisinde killi, kumlu ve dolomitik seviyeler de gözlenmektedir.

Otlukbeli Melanjı

Bölgesel olarak yayılım sunan ofiyolitik karışığa ait kayaçlar, Otlukbeli Gölü çevresinde ve Ağnene ve Ürkülü Komu yörelerinde yüzeylenmektedir (Şekil 2). Korkmaz ve Baki (1984) tarafından adlandırılan birim, kırmızımsı ve koyu kahverengimsi renkli radyolarit, çört, kireçtaşı, serpantin, silttaşı, spilitleşmiş bazalt ve andezit bloklarından oluşmaktadır. Radyolaritlerle birlikte bulunan Mn cevherleşmesi bölgede yaygın olarak gözlenmektedir (Van ve Yalçınalp, 2010). Melanj içinde yer yer ince tabakalı kırmızı renkli kireçtaşı mercikleri gözlenmektedir. Otlukbeli Melanjı, tektonik olarak bindirme fayıyla Berdiga Formasyonu üzerinde yer almaktadır (Şekil 2). Ayrıca birim içerisinde yer yer killi kireçtaşı, bazaltik ve andezitik tuf ve aglomera seviyeleri de gözlenmektedir.

Sarıhan Granitoyidi

İnceleme alanının doğu kenarında Berdiga Formasyonu ve Otlukbeli Melanjı'nı keserek mostra veren granitik kayaçlar Aslan (1998) tarafından Sarıhan Granitoyidi olarak adlandırılmıştır (Şekil 2a). Granodiyorit ve kuvarslı monzodiyorit ve kuvarslı mikrodiorit bileşimli kayaçlardan oluşan granitoyit içerisinde yer yer yoğun bozunmuş arenalar gözlenmektedir. Aslan (1998) tarafından yapılan jeokronolojik yaş tayininde granitoyidin yerleşim yaşının Kampaniyen (Kretase) olduğu belirlenmiştir. Birim içerisinde apolit damarı ve mafik anklavlar ve kontak zonunda mermer gibi kayaçlar ile manyetit, pirit ve kalkopirit gibi cevherleşmeler olduğu görülmektedir (Aslan, 1998).



Şekil 2. a) Erzincan ve çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Akdeniz vd., 1997; Okay ve Şahintürk, 1997'den değiştirilerek) ve **b)** İnceleme alanı ve çevresinin Yapıdan Hareket (Structure from Motion – SfM) algoritması ile oluşturulan 3 Boyutlu görünümü (KD'dan GB'ya bakış).

Figure 2. a) Simplified geological map of Erzincan and its surroundings (modified from Akdeniz et al., 1997; Okay and Şahintürk., 1997) and **b)** 3D view of the study area and its vicinity generated by the Structure from Motion (SfM) algorithm (from NE to SW).

Gülandere Formasyonu

İnceleme alanında, Otlukbeli ilçesinin güney kesimlerinden itibaren yüzeyleyen birim, Aktimur vd. (1995) tarafından tanımlanmıştır. Sığ ve yüksek enerjili denizel bir ortamın ürünü olan Gülandere Formasyonu, Alt-Orta Eosen (Lütesiyen) yaş aralığındadır (Gedik, 2008). Kumtaşı, çakıltası, şeyl, tüf ve aglomera ardalanmasından oluşan birim andezitik ve bazaltik lavlar ile olistostromal düzeyler de içermektedir (Aktimur vd., 1995).

Bu çalışmanın ana konusunu oluşturan travertenler, Otlukbeli Melanji'nin üzerinde uyumsuz olarak görülmekte olup, bölgede Geç Miyosen sonrasındaki Neotektonik rejimin etkisine bağlı olarak gelişen (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Koçyiğit, 2013), kırık ve çatlak zonlarından çıkan kalsiyum bikarbonatça zengin mineralli suların depolanmasıyla oluşmuşlardır. Bölgede traverten çökeli mi yer yer güncel olarak devam etmektedir. İnceleme alanında yer alan traverten set gölünün batı ve güneybatısındaki alanda traverten sırtları ve konileri belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 2b).

MATERYAL ve YÖNTEM

Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları, traverten oluşumlarının genel özelliklerinin incelendiği ve örnekleme yapıldığı ilk bölüm ile Otlukbeli Traverten Set Gölü'nü de kapsayan yaklaşık 5 hektarlık bir alanın İnsansız Hava Aracı (İHA) ile taranmasını içeren ikinci bölümü kapsamaktadır.

İncelenen bölgede yapılan çalışmada traverten konileri ve sırtları sırasıyla ölçülmüş ve haritalanmıştır. Toplam 60 civarı traverten konisi ve 15 adet traverten sırtı ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Ölçülen tüm traverten koni ve sırtları, coğrafi bilgi sistemi içinde değerlendirilmiş, travertenlerin jeomorfolojik ve jeolojik özellikleri yüksek çözünürlükte haritalanmış ve yapılan analizler, arazi ve laboratuvar çalışmaları birlikte

yürütülmüştür. Örnekleme, sırt tipi travertenlerin farklı litotiplere sahip seviyelerinden üç örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Hava fotoğrafı alımı için DJI Mini 3 Pro modeli bir İHA kullanılmıştır. Uçuş, DJI Pilot yazılımı kullanılarak %80 ön (forward) ve %70 yan (side) bindirme oranları ile otonom olarak gerçekleştirilmiştir. Alanın detaylı bir topoğrafik modelini oluşturmak amacıyla yer seviyesinden yaklaşık 80 metre yükseklikte gerçekleştirilen uçuşta toplam 1850 adet yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafı elde edilmiştir.

Fotogrametrik modelin geometrik doğruluğunu ve coğrafi hassasiyetini artırmak amacıyla, çalışma alanına homojen bir şekilde dağıtılmış 10 adet Yer Kontrol Noktası (YKN) tesis edilmiştir. Bu noktaların santimetre altı hassasiyetteki coğrafi koordinatları, RTK (Real-Time Kinematic) GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcısı kullanılarak ölçülmüştür. Bu noktaların koordinatları, laboratuvar aşamasında modelin hassas bir şekilde referanslandırılması için kullanılmıştır.

Laboratuvar Çalışmaları

Örneklerin hazırlanması ve ince kesit

Temsili traverten örneklerinden (OT-1, OT-2 ve OT-3) ve ilişkili kayaçlardan ince kesitler, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanmıştır. İnce kesitler İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'da Amscope MU 300 kamera ile donatılmış bir Leica DM2500 mikroskopu kullanılarak incelenmiştir.

Toz X-ışını kırınımı (XRD) analizi

Üç temsili traverten numunesi (OT-1, OT-2 ve OT-3) toz haline getirildikten sonra; numunelerin XRD kırınım desenleri, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde 40 kV ve 40 mA'da çalışan bir Bruker™ AXS D8 Advance X-ışını difraktometresinde (XRD) Cu

$K\alpha$ radyasyonu ($\lambda = 1,540506 \text{ \AA}$) kullanılarak ölçülmüştür. XRD cihazı, yüksek hızlı bir LynxEye silikon şerit dedektörü ile donatılmıştır. Numuneler, 2° ile 70° arasındaki 2θ aralığında, $0,02^\circ$ adım boyutu, $0,35$ saniye bekleme süresi ve $0,300^\circ$ diverjans aralığı ile ölçülmüştür. Ham XRD verileri, mineral tanımlama ve miktar tayini için X'Pert HighScore Plus yazılımı kullanılarak işlenmiştir.

CBS Uygulamaları

CBS uygulamaları, fotogrametrik veri işleme ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı analizler olmak üzere iki ana aşamadan oluşmaktadır.

Fotogrametrik değerlendirme ve modelleme

Arazi çalışmaları sırasında elde edilen 1850 adet hava fotoğrafı, Agisoft Metashape (versiyon 2.2.2) profesyonel fotogrametri yazılımı kullanılarak işlenmiştir. “Yapıdan Hareket” (*Structure from Motion - SfM*) algoritmasıyla işlenen görüntüler ve YKN koordinatları kullanılarak, sahanın yüksek yoğunluklu ve hassas bir üç boyutlu (3B) nokta bulutu (*dense point cloud*) oluşturulmuştur. Bu nokta bulutundan faydalanılarak sırasıyla 3B poligon ağ (*mesh model*), santimetre çözünürlükte ortofoto ve alansal topografik modeller üretilmiştir.

Bu süreçte iki temel sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir:

Sayısal Yüzey Modeli (*Digital Surface Model - DSM*): Arazideki bitki örtüsü ve kaya oluşumları gibi tüm yüzey unsurlarını içeren bir modeldir (Hirt, 2015; Guth vd., 2021).

Sayısal Arazi Modeli (*Digital Terrain Model - DTM*): Yüzey unsurlarının filtrelenmesiyle elde edilen, yalnızca “çıplak yeryüzünü” temsil eden modeldir. Bu model, arazinin gerçek topografyasını analiz etmek için temel veri olarak kullanılmıştır (Hirt, 2015; Guth vd., 2021).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri

Fotogrametrik süreç sonunda üretilen DTM, DSM ve ortofoto haritası, ESRI ArcGIS Pro (versiyon 3.5.3) yazılımına aktarılarak mekânsal analizler için temel altlık verileri olarak kullanılmıştır. Bu veriler üzerinden aşağıdaki analizler ve haritalamalar gerçekleştirilmiştir:

Üretilen ortofoto haritası, Sayısal Arazi Modeli ve literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak, çalışma alanının jeolojisi sayısallaştırılmış ve haritası hazırlanmıştır.

Traverten konilerinin, sırtlarının ve diğer jeomorfolojik birimlerin konumları, ortofoto üzerinden hassas bir şekilde sayısallaştırılarak bir lokasyon haritası oluşturulmuştur.

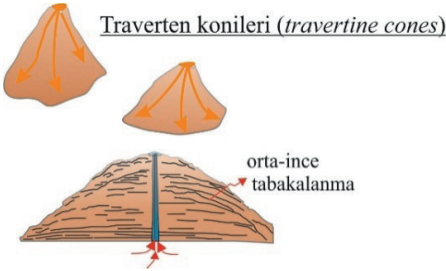
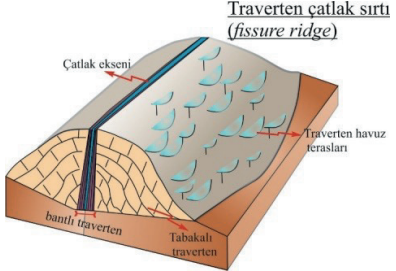
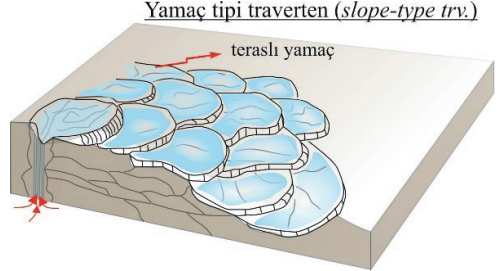
DTM verisi kullanılarak yüzey akış modellemesi yapılmıştır. Bu analiz ile suyun potansiyel akış yönleri (*flow direction*) ve birikim alanları (*flow accumulation*) modellenmiş, böylece bölgedeki drenaj ağı ve yüzey sularının traverten oluşumları üzerindeki hareket rotaları bulunmuştur.

BULGULAR

Otlukbeli Travertenleri

Otlukbeli Travertenleri, Erzincan ili Otlukbeli ilçesi kuzeybatısında Karasu Irmağı (Fırat) havzasında yaygın olarak yüzlekler vermektedir (Şekil 2). Bölgede aktif olmayan traverten oluşumları bir plato üzerinde geniş bir alanda farklı morfolojik tiplerde (koni, sırt ve yamaç tipi) görülürken (Çizelge 1), güncel traverten çökeli de aktif bir şekilde yamaçlarda oluşmaya devam etmektedir (Şekil 3).

Çizelge 1. Çalışma alanında gözlenen traverten morfotipleri ve özellikleri.**Table 1.** Travertine morphotypes and properties observed in the study area.

	Koni tipi travertenler	Sırt tipi travertenler	Yamaç tipi travertenleri
Boyut	Genellikle birkaç santimetreden birkaç metreye kadar değişebilir	Genellikle birkaç yüz metreden 1-2 km'ye kadar dar ve uzun bir alanda görülür	Yüzlerce metre ile birkaç km arasında olabilir
Mineraloji	Kalsit (kalsiyum karbonat) ana bileşendir; bazı durumlarda demir oksit, sülfat ve manganez gibi minerallerle de zenginleşebilir.	Kalsit, aragonit (ikincil mineral olarak)	Kalsit, aragonit (ikincil mineral olarak), mikrobiyal katkı
Morfoloji	Tipik bir koni formu ancak üstten bakıldığında dairesel, simetrik veya asimetrik koni yapısı Tepe kısmında genellikle bir kaynak gözü (suyun çıktığı nokta)	Dar, uzun ve genellikle yükselti oluşturan sırtlar, çatlak boyunca bantlı yapı	Eğime paralel teras, küçük terascıklar, çağlayanlaşan havuzlar
Renk	Saf traverten beyazdır ancak içeriğindeki demir oksitler nedeniyle sarı, turuncu, kırmızımsı renkler alabilir.	İçeriğindeki demir ve diğer elementlere bağlı olarak krem, sarımsı ve kiremit renginde olabilir.	Beyaz, krem, açık sarı
Tektonizma	Tektonizma ile doğrudan ilişkilidir. Genellikle fay hatlarına yakın, aktif jeotermal alanlarda görülür	Tektonizma ile doğrudan ilişkilidir. Çatlak ve fay zonları boyunca çıkan sular	Tektonizma ile dolaylı bir ilişkisi vardır
İklim	İklim hassasiyeti sınırlıdır	İklim hassasiyeti düşüktür	Sıcaklık ve buharlaşmaya oldukça duyarlıdır; mevsimsel farklılık çökme hızını etkiler
Mikrobiyal içerik	Ekstrem ortamlara uyum sağlayabilen karbonat oluşumunda etkili olan siyanobakteriler, diatomlar yaygındır.	Genellikle inorganik çökme; biyolojik etki ikincildir	Alg, bakteri etkisiyle mikrobiyal çökme yaygındır
Örnekler	Türkiye; Erzincan Otlukbeli, Ağrı (Diyadin) Amerika; Yellowstone, Mammoth termal kaphicaları	Türkiye; Denizli-Pamukkale, Erzincan-Otlukbeli, Kırşehir, Van-Başkale; İtalya; Bagni San Filippo, Rapolano Terme; Çin Xiagei	Türkiye; Denizli-Pamukkale, Erzincan-Otlukbeli, İtalya; Rapolano Terme; Çin Huanlong, Jiuzhaigou
Arazideki Görünümü (Şematik çizim)			



Şekil. 3. a) Güncel olan ve aktif olmayan travertenlerin arazideki görünüşleri (KB'dan GD'ya bakış); **b)** Traverten set gölünün görünüşü (KB'dan GD'ya bakış); **c)** Demir ve sülfatça zengin yer altı sularının yüzeyden akarken oluşturduğu kırmızı rengin baskın olarak görünüşü; **d ve e)** Kaynak çıkış yerlerinde gelişen küçük havuzcularda mikrobiyal aktiviteler sonucu oluşan kalın mikrofilm tabakaları ve kaynak ağızlarında suların bol kükürt içermesinden dolayı oluşan sarı renk; **f)** Yeni bir traverten sırtı oluşumu, aktif kaynak çıkış noktaları

Figure 3. a) Field observations of active and fossil travertines (from NW to SE); **b)** View of the travertine lake (from NW to SE); **c)** The dominant red color of iron- and sulfate-rich groundwater flowing from the surface; **d and e)** Thick microfilm layers formed as a result of microbial activity in small ponds developing at the spring orifices and the yellow color resulting from the abundant sulfur content of the water at the spring mouths; **f)** Formation of a recent travertine ridge and active spring outlet points.

Bölgede yapılmış su analizleri (Akkan ve Tuncel, 1990) ve travertenlerden elde edilen ince kesit örneklerinde gözlenen Fe-oksit/oksidhidroksit birikimleri, aktif traverten sırtlarında belirgin olarak izlenen kırmızı-kahverengimsi tonların temel olarak demir (Fe) çökelişi ile ilişkili olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 3a ve c). Ayrıca mikrobiyal aktiviteler kaynak çıkış ağzlarında yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 3d ve e). Aktif olarak yüzeye çıkan suların sıcaklığı ortalama 17 °C ve pH'ı 6 civarındadır (Şekil 3f).

Bölgede oldukça dikkat çekici en eski traverten çökelleri, Sazlar Deresi'nin batı kesiminde gözlenmektedir. Otlukbeli Melanjı'nı üzerleyen bu traverten çökellerinin kalınlığı yaklaşık 40 metre civarındadır (Polat, 2018).

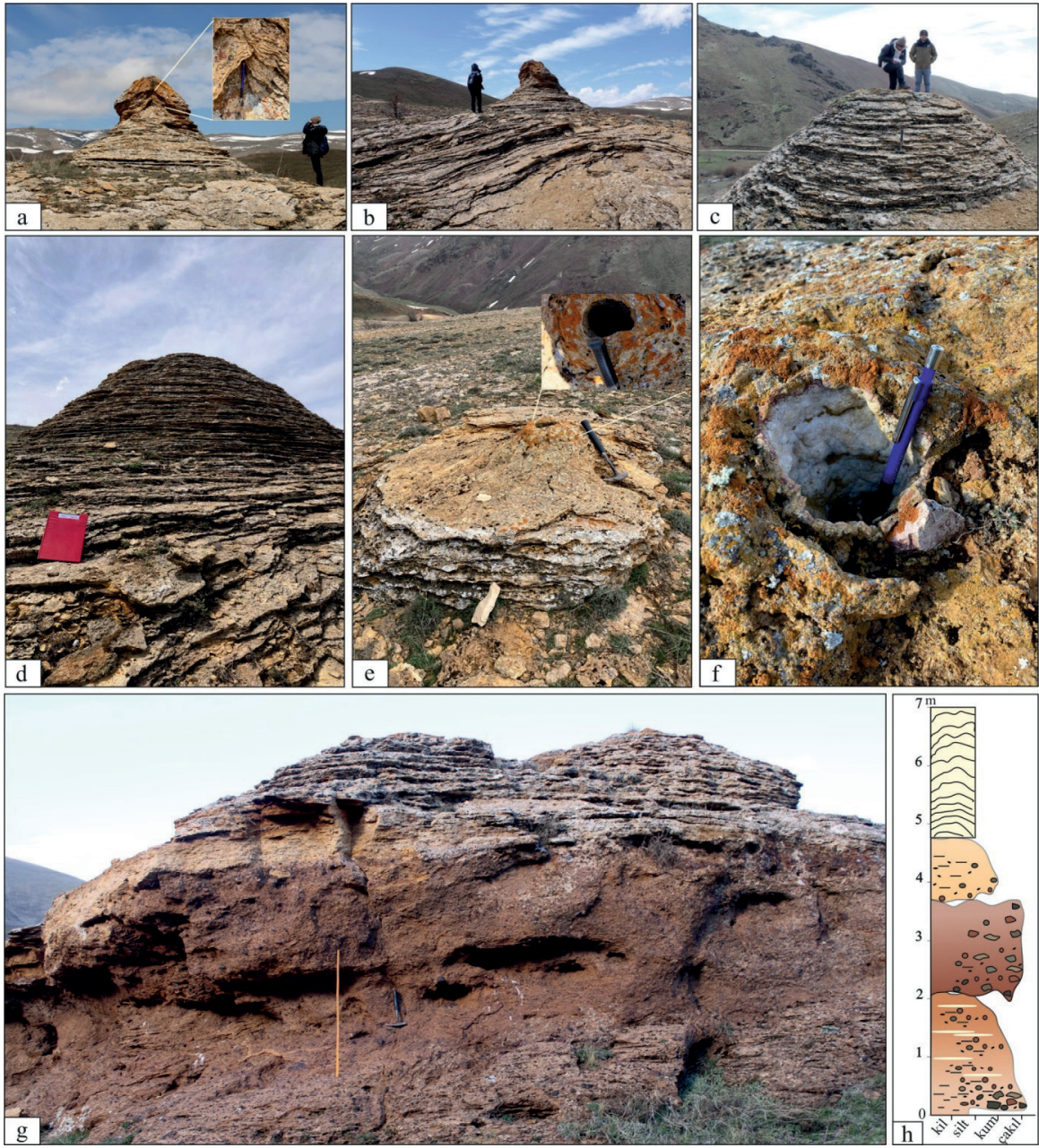
Bölgede dikkat çeken bir diğer morfolojik yapı, Otlukbeli Traverten Set Gölü'dür (Şekil 1, 2 ve 3b). Akkan ve Tuncel (1990) tarafından bu göl ilk kez *traverten set gölü* olarak tanımlanmıştır. Göl, oluşum bakımından, dünyada ender rastlanan traverten set göllerinden biridir.

Göl, KD-GB yönünde 150 metre uzunluğundaki traverten sırtının Ağnene Deresi vadisini kapatması sonucunda oluşmuştur (Polat, 2018). Bu traverten set gölünün kuzeydoğu tarafı temel kayalardan (Otlukbeli Melanjı) oluşurken batı tarafı ise traverten çökelleriyle sınırlanmıştır (Şekil 2). Otlukbeli traverten set gölü, 1890 metre yükseklikte olup, yüzölçümü yaklaşık olarak 1,5 hektardır. Derinliği 20 metreye yakın olan gölün uzunluğu mevsimine göre 180-190 metre, genişliği ise 50 ila 90 metre arasında değişmektedir. Traverten set gölünün oluşumunda, vadiyi enine kesen kırıklar boyunca yüzeye çıkan sular ve vadiye dolan eriyik suların biriktirmesiyle günümüzdeki şeklini aldığı önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Akkan ve Tuncel, 1990). Göl alanını besleyen akarsuların getirdiği alüvyonlar ve kaynak sularının bıraktığı tortullar gün geçtikçe akarsuyun akışını yavaşlatmakta ve yatağını daraltmaktadır.

Koni tipi travertenler

Traverten konileri, yer altından yüzeye çıkan hidrotermal (sıcak) suların taşıdığı minerallerin (özellikle kalsiyum karbonat – CaCO₃) çökmesi sonucu oluşan, birbirinden bağımsız küçük kubbeler şeklinde oluşturdukları yapılardır. Bu kubbeler, çatlak/kırık gibi tektonizmanın aktif olduğu bölgelerde, iyi tutturulmamış tortularda fayın etkisinin lokalize olup, yeraltından çıkan hidrotermal suların yalnızca fay izi boyunca hizalanmış izole noktalarda ortaya çıkmasıyla oluşurlar (Brogi vd., 2021; Luo vd., 2022; Shiraishi vd., 2023). Koni, tepe ve kule gibi morfolojik şekillerde oluşabilen bu traverten kubbelerinin çapları genellikle birkaç desimetreden birkaç metreye kadar değişiklik gösterirken, yükseklikleri 14 m'ye kadar ulaşabilmektedir (örneğin; Amerika Yellowstone Milli Parkı'ndaki "*Liberty Cap*" (Chafetz ve Guidry, 2003). Ülkemizde Balıkesir Sındırgı Hisaralan'daki traverten kuleleri (Polat, 2011; Özkul vd., 2019) ve Ağrı Diyardin traverten konileri (Polat ve Ege, 2024) belli başlı traverten koni ve bacalarına örnek olarak gösterilebilir. Dünyada Çin Tibet kuzeyinde yer alan Rongma'daki traverten koni ve kuleleri (Gao vd., 2012), Amerika'daki Mono Lake tufa kuleleri (Capezzuoli vd., 2022) örnek olarak verilebilir.

Otlukbeli'nde geniş bir alana yayılmış olan traverten konileri, sarımsı, kahverengi renkte, yüzlerce lamine yapıların üst üste dizilmesi şeklinde arazide görülmektedir (Şekil 4a ve b). Konilerin büyük bir bölümü, yaklaşık K70°D uzanımlı hat boyunca gelişmiş olup, küçük ve büyük çapta konilerden oluşmaktadır. Küçük koniler, 30 cm yükseklikte 120 cm çapında olurken daha büyük traverten konileri, yaklaşık 3 metre yükseklikte, 7 metre çapında boyutlara sahiptir (Şekil 4c ve d).



Şekil 4. a-e) Farklı boyut ve morfolojilerde gelişmiş traverten konilerinin arazideki görünümleri. **a)** GD'dan KB'ya bakış, **b)** KD'dan GB'ya bakış, **c)** KB'dan GD'ya bakış, **d)** GD'dan KB'ya bakış, **e)** GB'dan KD'ya bakış; **f)** Traverten koni ağız kısmında karnabaharimsi kalsit çökelişi; **g)** Yan yana gelişmiş iki traverten konisi ve altında yer alan kırıntılı akarsu çökelleri (GB'dan KD'ya bakış); **h)** ise (g)'deki traverten ve kırıntılı istiften alınan ölçülü sedimentolojik düşey kesit.

Figure 4. a-e) Field views of travertine cones of different sizes and morphologies. **a)** view from SE to NW, **b)** view from NE to SW, **c)** view from NW to SE, **d)** view from SE to NW, **e)** view from SW to NE); **f)** Cauliflower-like calcite deposit at the mouth of the travertine cone (view from SW to NE); **g)** Two travertine cones developed side by side and clastic fluvial deposits beneath them; **h)** Measured sedimentological vertical section taken from the travertine and clastic sequence in (g).

Koninin üst kesimlerinde aktif olmayan gaz kabarcıkları (*coated gas bubbles*) ve ince zarflar (*paper thin rafts*) net bir şekilde gözlenmektedir. Gaz kabarcıkları, hızlı bir gaz kaçıışı ve fotosentez sonucu oluşmakta ve litotipin gelişiminde siyanobakteriler ve algler aktif rol oynamaktadırlar (Pentecost, 2005; Luo vd., 2022; Shiraishi vd., 2023).

Güncel, aktif traverten konilerinin ağız kısımlarında sular, sarı renkli (Şekil 4e) olup, olası SO₃ varlığına işaret eden çürük yumurta kokusu belirgin olarak hissedilmektedir. Bazı konilerin ağız kısımlarında karnabaharimsi bir yapı sunan kalsit çökelimleri dikkat çekmektedir (Şekil 4f).

Arazide özellikle nehir kenarına yakın traverten konilerinin alt kesimlerinde kahverengimsi kıvılcı, koyu şarabi bordo renkli, kötü boylanmış, yer yer iri çakıllı (mak. çakıl boyu 10 cm), akarsu çökelleri gözlenmektedir (Şekil 4g). Genellikle ofiyolitik melanjdan türemiş çakıllardan oluşan bu kırıntılı istif, yaklaşık 5 metre kalınlığa sahiptir (Şekil 4h).

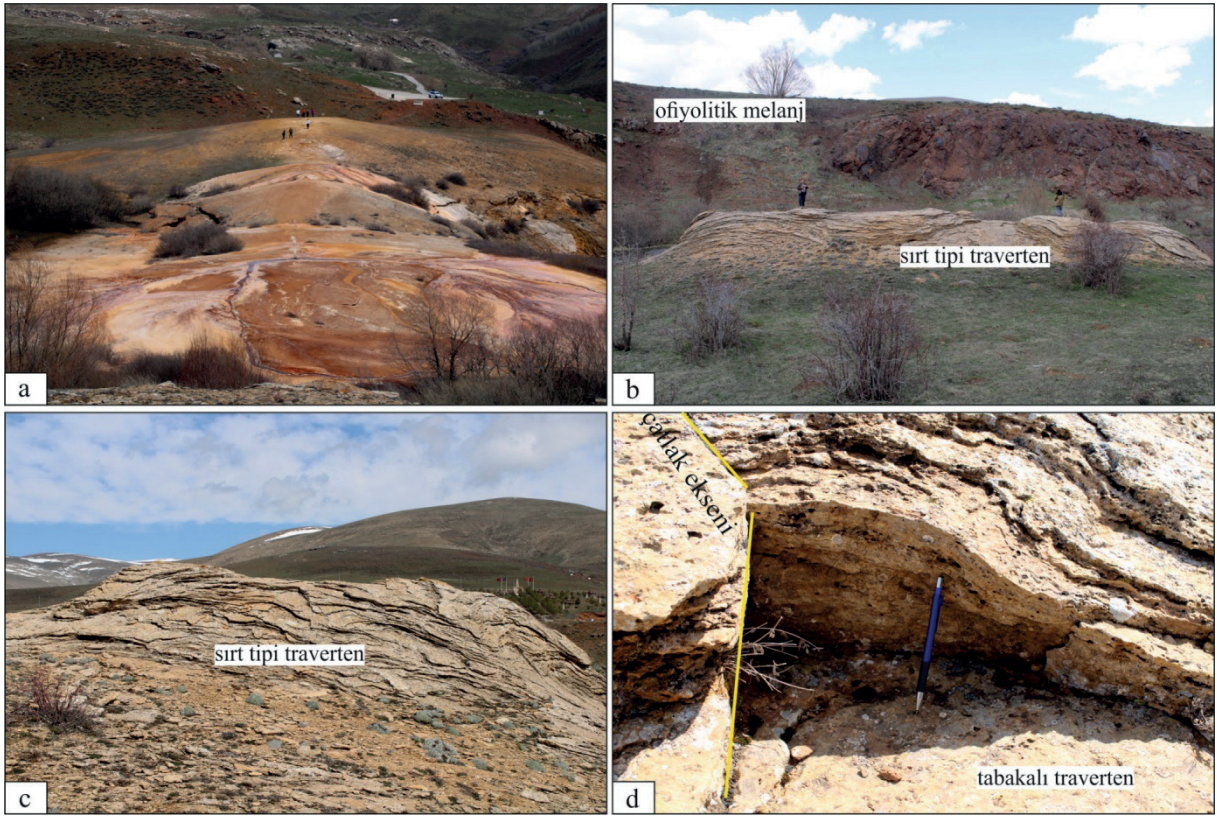
Sırt tipi travertenler

Sırt tipi travertenler, yeraltı sularının fay, çatlak gibi süreksizlikler boyunca yüzeye çıkmasıyla çökelen kalsiyum karbonatın (CaCO₃) zamanla birikerek, sırt şeklinde oluşturdukları bir depolanma morfolojisidir (Altunel ve Karabacak, 2005). Çatlak sırtlarının (*fissure ridges*), uzun eksenli boyunca uzanan ve tepe kısmında bir çatlağın (*fissure*) yer aldığı, elipsoid bu traverten kütleleri, tektonizma ile yakından bir ilişki içindedir (Atabey, 2002; Altunel ve Karabacak, 2005; Brogi ve Capezzuoli, 2009; Brogi vd., 2010, Mesci, 2013; Brogi vd., 2017; Sağlam Selçuk vd., 2017; Brogi vd., 2021, 2023; Ekizoğlu ve Mesci, 2025). Tektonizmanın aktif olduğu yerlerde, çatlaklardan yüzeye ulaşan sular ana çatlak ekseninin iki yanında daha fazla birikime

neden olurlar. Bazı araştırmacılara göre, iklim, yerçekimi ve morfolojik süreçler, bu çatlak sırtlarının oluşumunda birincil faktörler olarak kabul edilmişlerdir (De Filippis vd., 2012, 2013).

Bu yapılar genellikle, merkezdeki çatlağın iki yanında yer alan simetrik ya da asimetrik, tabakalı travertenlerden (*bedded travertine*) oluşmuş duvarlarla karakterizedir (Altunel ve Hancock, 1993a; Brogi vd., 2021). Çatlağın iç kısmı, sıklıkla sırtın uzun eksenine neredeyse paralel doğrultuda gelişmiş, kalsiyum karbonat (örneğin kalsit ve/veya aragonit) ile doldurulmuştur. Uzunlamasına gelişen bu düşey bantlı karbonat istifi 'bantlı traverten (*banded travertine*)' olarak adlandırılmıştır (Altunel ve Hancock, 1993b). Ülkemizde, Denizli Pamukkale, Kocabaş, Gölemezli ve Yenicekent (Altunel ve Karabacak, 2005; De Filippis vd., 2012; Özkul vd., 2013, Ekizoğlu ve Mesci, 2025), Manisa Cambazlı (Selim ve Yanık, 2009; Temiz ve Eikenberg, 2011), Kırşehir (Atabey, 2002; Temiz vd., 2009), Van Başkale (Sağlam Selçuk ve Zorer, 2017); Sivas Sıcak Çermik (Mesci, 2013) traverten çatlak sırtları belli başlı örneklerdir. Bunun yanı sıra dünyada İtalya Rapolano Terme (Brogi ve Capezzuoli, 2009) ve Bagni San Filippo (Brogi vd., 2023), Amerika Yellowstone Milli Parkı Mammoth Kaplıcaları (Chafetz ve Guidry, 2003), Çin'deki Xiagei (Shangri-La) (You vd., 2023) traverten çatlak sırtları en göze çarpan örneklerdir.

Çalışma alanında toplam 15 adet traverten sırtı ölçülmüştür. Bu traverten sırtlarından en büyüğü, K70°D uzanımlı, yaklaşık 30 metre uzunluğa, 15 metre genişliğe ve 3 metre yüksekliğe sahip olup, çatlak sırtının tepe kısmındaki açıklık yaklaşık 1-1,5 cm arasında değişmektedir (Şekil 5a). Traverten sırtlarının doğrultuları, genel olarak KD-GB, KB-GD ve D-B gidişlidir. Bu sırtların kanat kısımları, kalınlıkları 3-5 cm arasında değişen yüzden fazla ince-orta tabakalı yatay traverten katmanlarından oluşmaktadır (Şekil 5b ve c).



Şekil 5. Çalışma alanında gözlenen traverten sırtlarının arazideki görünüşleri. **a)** Aktif (güncel) bir traverten sırtı, Fe içeriğinden dolayı arazide kırmızımsı kiremit rengi hakimdir (GB'dan KD'ya bakış); **b** ve **c)** aktif olmayan traverten sırtları (GB'dan KD'ya bakış); **d)** Çatlak ekseninin ve tabakalı traverten seviyelerinin yakından görünüşleri (GB'dan KD'ya bakış)

Figure 5. Field views of travertine ridges observed in the study area. **a)** An active (recent) travertine ridge, with a reddish brick color due to its Fe content (view from SW to NE); **b** and **c)** Inactive travertine ridges (view from SW to NE); **d)** Close-up views of the fracture axis and bedded travertine levels (view from SW to NE).

Traverten sırtlarındaki tabakalı travertenlerde, kristalin kabuk (*crystalline crust*) ve ince zarflar (*paper-thin rafts*) yaygın olarak görülmektedir (Şekil 5d). Mikro ve orta ölçekte teras yapıları belirgin olarak gözlenmektedir. Çatlak sırtının kanatlarında depolanma yüzeyinde eğim yönünde küçük traverten havuzcukları (mikro teraslar) oldukça belirgindir.

Yamaç tipi travertenleri

Yamaç tipi travertenler, eğimli arazi üzerinde gelişen, tabakalı ve teraslı yapılar sergileyen traverten çökelleridir (Guo ve Riding, 1998;

Pentecost, 2005; Fouke, 2011; Kele vd., 2011). Genellikle bir eğim boyunca aşağıya doğru akan karbonatça zengin sıcak suların çökmesiyle oluşurlar. Teraslar, küçük havuzlar ve çağlayanlar gibidir. Daha küçük ölçekte traverten havuzcukları (*terraces*) gözlenmektedir. Ülkemizde, Denizli Pamukkale'deki yamaç travertenlerinde gelişen teraslar ve havuzlar (Kele vd., 2011; Özkul vd., 2013; 2025), Antalya tufa terasları (Dipova ve Yıldırım, 2005; Koşun vd., 2005), Van Başkale Akçalı ve Dereiçi traverten teras ve havuzları (Polat, 2011; Sağlam Selçuk ve Zorer, 2017; Yeşilova, 2021) oldukça dikkat çekici bir güzelliğe

sahiptirler. Dünyada özellikle Macaristan'daki Egerszalók traverten terasları ve havuzları (Kele vd., 2008); Amerika Yellowstone Milli Parkı Mammoth Kaplıcalarındaki traverten havuzları (Chafetz ve Guidry, 2003), Hırvatistan'daki Plitvice tufa terasları ve şelaleleri (Golubić vd., 2008; Sironic vd., 2017; Ivković vd., 2020); İtalya'da Saturnia traverten havuzları (Ronchi ve Cruciani, 2015; Della Porta vd., 2022), Rapolano Terme (Guo ve Riding, 1998), Çin'deki Huanglong rengarenk traverten teras ve havuzları (Zhang vd., 2012; Gao vd., 2025) ve Jiuzhaigou (Li vd., 2014; Liu, 2017; Dong vd., 2023 Gao vd., 2025) başlıca yamaç tipi travertenlerdeki teras havuzlarına dikkat çekici örneklerdir.

Çalışma alanı içinde görülen yamaç travertenleri, aktif olmayan ve güncel oluşumlar olarak yüzlek vermektedirler (Şekil 6a, b ve 7). Bu tip travertenler, yakınsak (*proximal*) ve ıraksak (*distal*) yamaç fasiyesleri olarak arazide gözlenmektedir. Yakınsak traverten fasiyesinde yamaç eğiminin yüksek olmasından dolayı, birkaç cm boyutlarında traverten havuzcukları gelişmiştir (Şekil 6c ve e). Bu teras havuzcuklarının kenar (*rim*) kesimlerinde kristalin kabuk (*crystalline crust*) litotipi belirgin olarak gözlenirken havuzcuklarda pizolitik traverten, gaz kabarcıkları (*coated gas bubbles*), sal tipi (*paper-thin rafts*) traverten litotipleri görülmektedir (Şekil 6d). ıraksak traverten fasiyesinde eğimin giderek azalmasına bağlı olarak traverten havuzlarının boyutları 2-3 metreye kadar değişim göstermektedir.

Güncel traverten oluşumlarında eğiminin dik olduğu yerlerde şelale tipi traverten morfolojileri gözlenmektedir (Şekil 7a). Aktif olmayan ve güncel traverten oluşumları yamaç boyunca belirgin bir morfoloji sunmaktadırlar (Şekil 7b). Pamukkale Travertenleri'ne benzer beyaz renkli traverten birikimleri de yer yer yüzlek vermektedir (Şekil 7c).

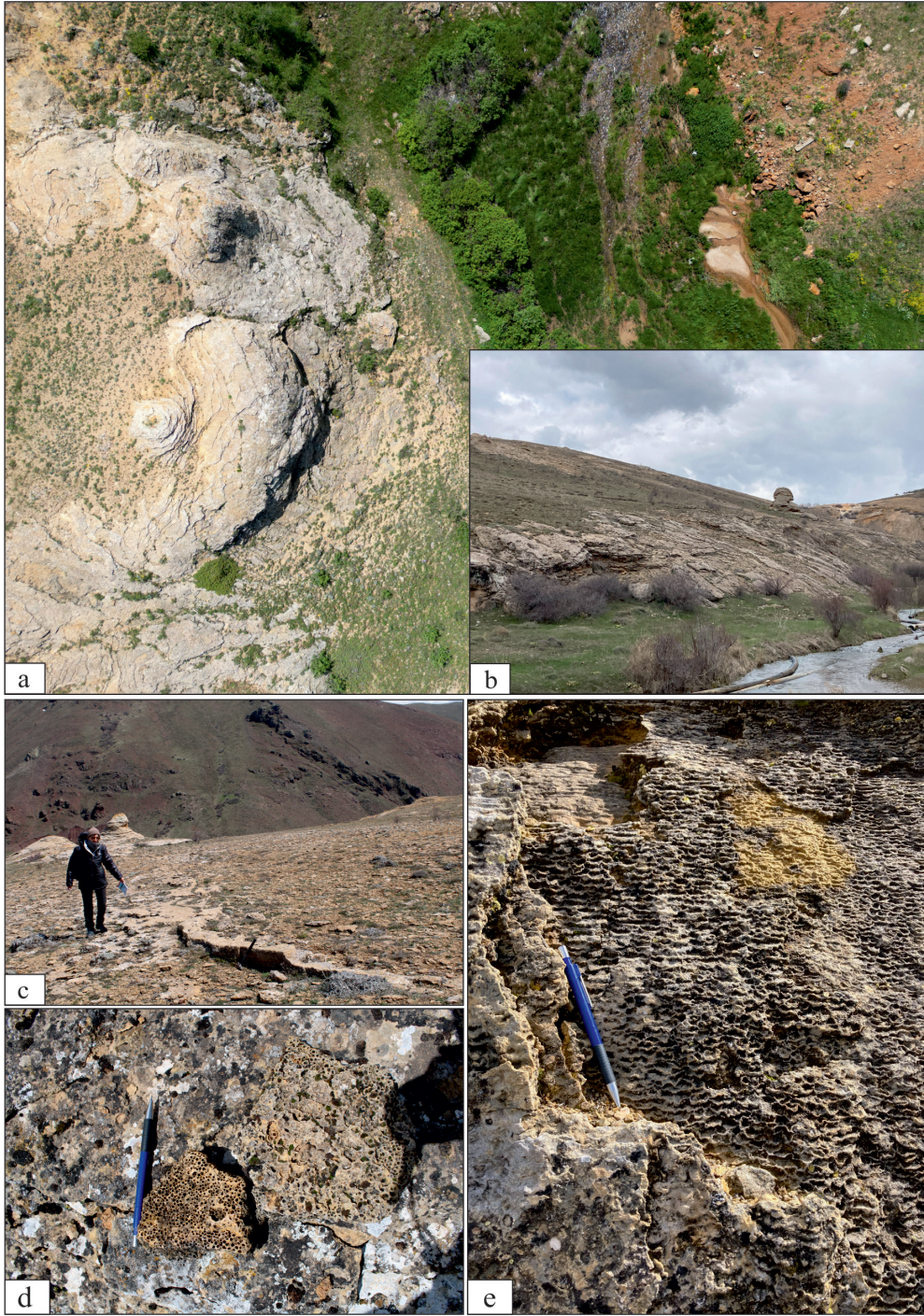
Petrografik incelemelerde kullanılan tip kesit traverten örneklerinden (OT-1, OT-2, OT-3)

kesilen dilimlerde (Şekil 8a ve b) laminalı yapılar ile koyu kahverengi zonlar halinde Fe-oksit/oksihidroksit kaynaklı ikincil dolgular belirgin olarak gözlenmektedir. Petrografik analizlerde, traverten örneklerinin tamamında ana mineral faz olarak kalsit gözlenmiştir (Şekil 8c-g). Kalsit, mikritik (ince taneli matris) ve sparitik dokular (iri kristalli dolgu) şeklinde olup, kristalleri ise genellikle anhedral-subhedral formda mozaik dokulu bir yapı göstermektedir (Şekil 8). Ayrıca Fe-oksit/oksihidroksitlerin yaygın olarak bazı travertenlerin boşluklarını da doldurduğu ince kesit çalışmalarında tespit edilmiştir (Şekil 8c-g). Bu dokusal özellikler, travertenin çökeltme ortamına ve ikincil mineralleşme süreçlerine işaret etmektedir. İnce kesitlerde gözlenen mikrit-sparit geçişleri ve boşluk dolguları, örneklerin büyüme dinamiklerini ve diyajenetik etkilerini yansıtmaktadır. Mikrokrystalin kuvars ve silisleşme ise lokal olarak mevcuttur.

Traverten örneklerinin (OT-1, OT-2 ve OT-3) X-Işınları difraksiyonu (XRD) desenlerinde traverten örneklerinin tamamında kalsit fazına ait karakteristik yansımalar belirlenmiştir (Şekil 9). Her ne kadar petrografik incelemelerde Fe-oksitlerin (oksihidroksit) varlığı gözlenmiş olsa da, bu fazların olasılıkla < %1 düzeyinde (Tunç vd., 2025) olması ve amorf yapıda olmaları nedeniyle XRD incelemelerinde görülmemiştir.

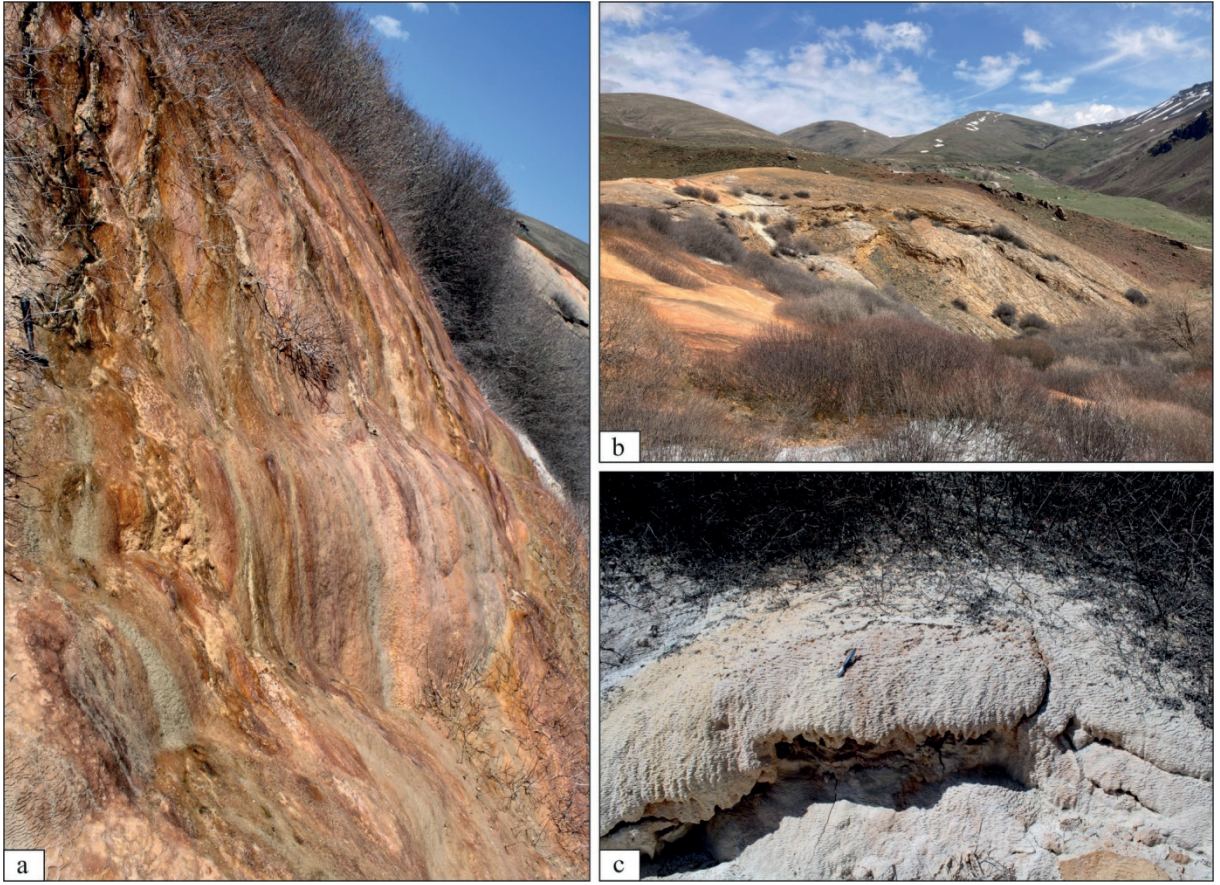
Karstik Oluşumlar

Karstik oluşum şekillerinden dolin, lapyra, sarkıt-dikit ve genç mağara-kovuk gibi yapılar inceleme alanında görülmektedir (Şekil 10a). Çalışma alanında kalsiyum karbonat çökeltimi ile eş zamanlı olarak karstlaşma başlamış ve çeşitli aşınım ve birikim şekilleri bu karasal karbonat çökelleri üzerinde gelişmiştir (Polat, 2018). Bu oluşumlar, kalın olmayan çökeller üzerinde ve yüzeyde gelişmesinden dolayı "sığ-yüzey karstı" (epikarst) olarak tanımlanabilirler (Hugget, 2011).



Şekil 6. a) Yamaç tipi travertenlerin dron görüntüsü; **b)** Yamaç tipi travertenlerin arazideki görünümü (GD'dan KB'ya bakış); **c)** Traverten havuzları ve traverten kenarı (*rim*) (GD'dan KB'ya bakış); **d ve e)** Traverten litotipleri; gaz kabarcıkları ve mikro teraslar

Figure 6. a) Drone view of slope-type travertines; **b)** Field observation of slope-type travertines (view from SE to NW); **c)** Travertine terrace and rims (view from SE to NW); **d and e)** Travertine lithotypes; gas bubbles and micro-terraces (*teracettes*).



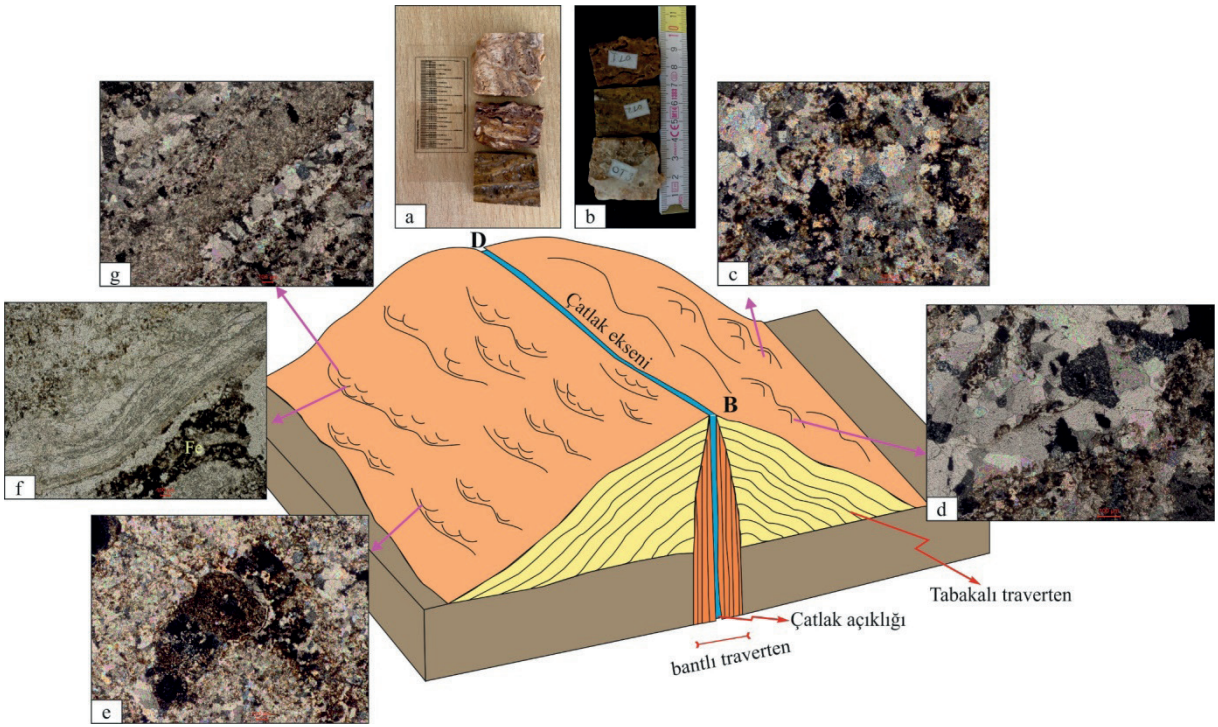
Şekil 7. a) Aktif şelale tipi traverten oluşumu (GD'dan KB'ya bakış); **b ve c)** Güncel yamaç tipi traverten gelişimi (GB'dan KD'ya bakış).

Figure 7. a) Active waterfall-type travertine formation (view from SE to NW); **b and c)** Current slope-type travertine development (view from SW to NE).

Karstik aşınım şekillerinden dolinler traverten birikiminin etkin olduğu alanın kuzey kesiminde belirgin olarak görülmektedir. Alanda üç adet dolin yapısı mevcuttur. Bu dolinler çözünmeye ve kütleli basınca bağlı çökme sonucu meydana gelmiş olup derinlikleri yaklaşık 3-4 m olarak ölçülmüştür (Polat, 2018).

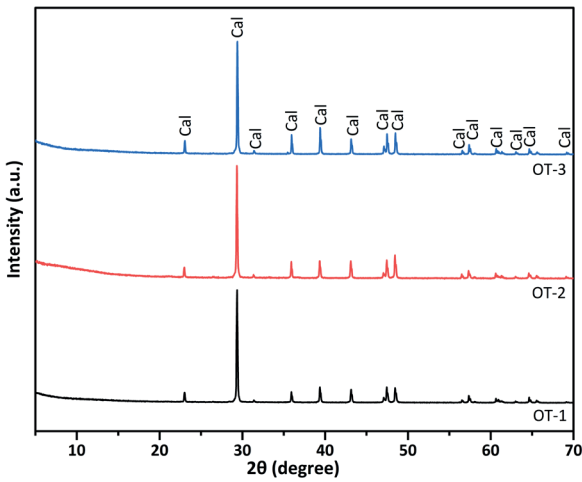
Çalışma alanında en yaygın karstik aşınım şeklini lapyalar oluşturmaktadır (Şekil 10a). Kar ve yağmur sularının karbonatlı kayaları çözmesi sonucunda oluşan ve derinliği 5-10 cm arasında değişen, oyuk, çukur ve kanal gibi oluşuklar (lapyalar) sahanın jeomorfolojik yapısını daha da

dikkat çekici hale getirmiştir (Şekil 10a). Ayrıca, inceleme alanındaki mikrobiyal faaliyetler, karbondioksit üretimini artırarak lapyalaşmayı hızlandırmaktadır. İnceleme alanında eğimin nispeten az olduğu yerlerde daha çok delik ve oyuk lapyalar kompleksleri gelişme imkânı bulmuştur. “Kamenitsa” olarak da adlandırılan bu özel oluşumlar alanın kuzeyinde belirgindir (Şekil 10b). Petek benzeri bir görünüme sahip olan bu oluşumlar çözünmenin devam etmesi nedeniyle birbiriyle birleşerek boyutları büyümektedir (Polat, 2018). Otlukbeli Gölü'nün kuzeydoğu kesiminde sınırlı bir alanda oluşumlarına devam etmektedir.



Şekil 8. a ve b) Otlukbeli sırt tipi travertenlerin yan kanat tabakalarından alınan ince kesit için hazırlanan kesitler ve c-g) ince kesit mikroskop görüntüleri.

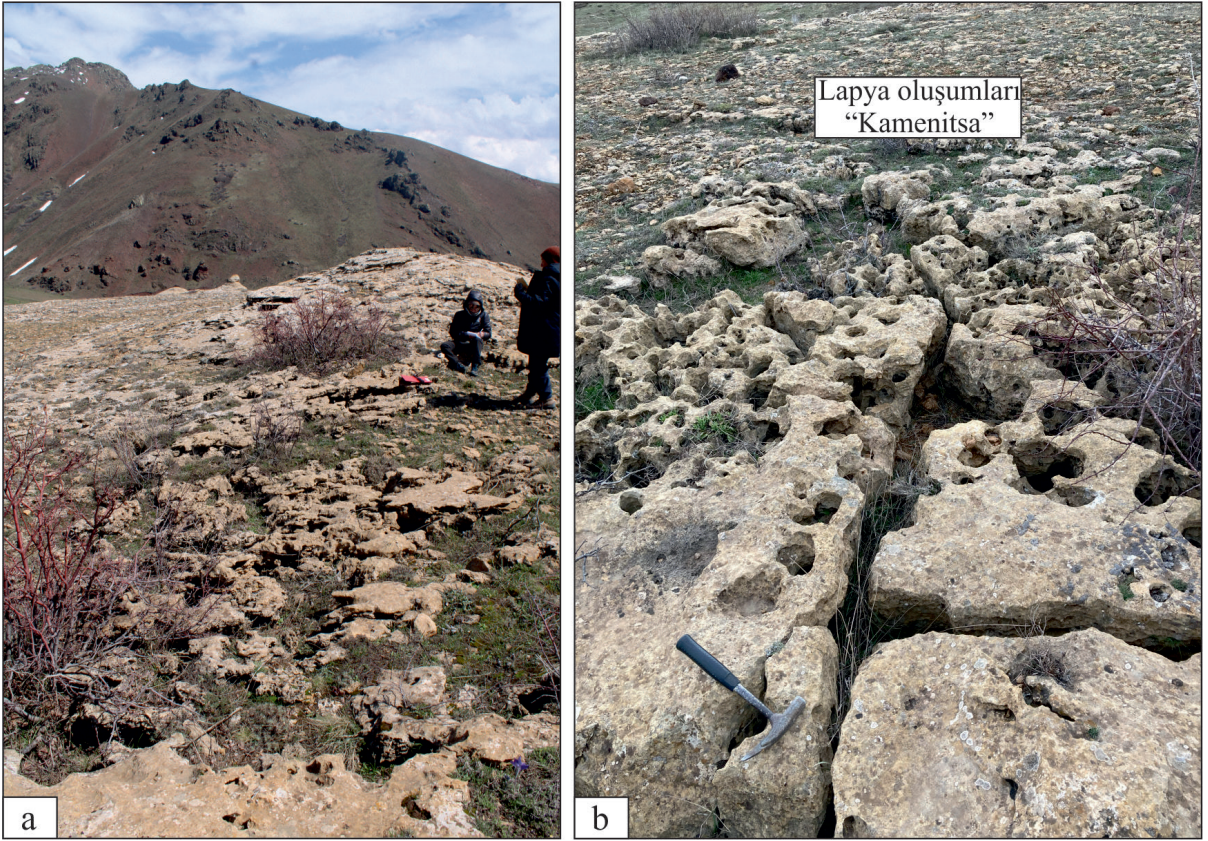
Figure 8. a and b) Samples prepared for thin sections from the side flank layers of Otlukbeli ridge-type travertines and c-g) microscope images of thin sections (cross-polarized).



Şekil 9. Traverten örnekleri OT-1, OT-2 ve OT-3'e ait XRD desenleri.

Figure 9. XRD patterns of travertine samples OT-1, OT-2 and OT-3.

Karlaşmanın devam ettiği çalışma alanında özellikle kalsiyum karbonatlı kayaların çözünmesi ile oluşan çözünme ve dolayısıyla birikme yapılarının oluşumu üzerinde bölgenin iklimsel özellikleri de oldukça önemlidir. Yılın uzun bir dönemine yayılan kış mevsimi ve kar örtüsünün yerde kalma süresi, karstik yapıların oluşumunu ve gelişimini kontrol eden önemli bir faktördür. Kar sularının eriyik halde uzun süre yüzeyde kalması ve bu bölgede etkin olan yağış karlaşmayı devamlı hale getiren unsurlardır. İnceleme alanında görülen karstik yapılar, karasal karbonatlı çökellerin bölgede fazla kalınlığa ve saflığa sahip olmamasından dolayı, yüzey karstı özelliği taşımaktadır. Çalışma alanında yer alan yüzey karstına örnek olabilecek oyuk lapyalı alanı, yağış suları ve bitki örtüsünün de etkisi ile doğal tahribata uğramış durumdadır (Şekil 10a ve b).



Şekil 10. a) Lapyaların çözünme çukurlukları içerisinde aşınan malzemenin birikimine bağlı olarak küçük kümeler halinde sığ toprak gelişimi (B'dan D'ya bakış). **b)** "Kamenitsa" olarak da adlandırılan oyuk-delik lapya kompleksleri. **Figure 10. a)** Development of shallow soils in small heaps due to the accumulation of eroded material within the dissolution depressions of lapias (view from W to E). **b)** Hollow-hole lapia complexes, also called "Kamenitsa".

KÜLTÜREL JEOLJİ

Çalışma alanı kültürel jeoloji açısından oldukça zengin bir alandır. Birçok Jeolojik/Jeomorfolojik miras ögesi yanında, bu ögelerle ilişkisi olan birçok kültürel varlık da söz konusudur. Yer yuvarının 4,6 milyar yıllık yaşam süresinin herhangi bir döneminde meydana gelmiş gerek oluşum gerekse bulunuş şekli ile ender bir doğal anıt görünümünde olan ve korunmaya alınması gereken bölge, kayaç, fosil, mineral ve yer şekilleri gibi oluşumlara "jeolojik miras" adı verilmektedir. Jeolojik miras ögeleri oluştukları dönemde meydana gelen tüm olayları bünyelerine kaydederler. Bu ögelerin yok olması bir jeolojik

olaya ait kanıtların tümüyle yok olması anlamına gelmektedir (Çiftçi ve Güngör, 2021). Jeolojik miras ögeleri toplumun doğayı anlama ve yorumlama yeteneğinin gelişmesi açısından da çok önemli roller üstlenmekte ve kesinlikle korunmaları gerekmektedir. Sonuç olarak, jeolojik miras ögeleri; yok olmaları durumunda buldukları bölgeye ait her türlü jeolojik bilgi ve belgenin kaybolacağı, nadir bulunan, yok olma tehdidi altındaki doğal miraslarımızdır (Wimbledon, 1996; Kazancı, 2010; Çiftçi ve Güngör, 2016, Kazancı ve Şaroğlu, 2009). Jeositler ise yer kabuğunun oluşumu veya evrimi sırasındaki bir olayı, bir süreci veya bir oluşumu ortaya koyan, kayaç-mineral-fosil topluluğu, istif,

yer şekli, jeolojik yapı, doku türünden, bilimsel belge niteliği olan, bu olaylardan herhangi birini en iyi şekilde temsil eden doğal alanlardır (Wimbledon, 1996; ProGEO Group, 1998; Çiftçi ve Güngör, 2021).

Jeolojik miras konusunda, son yirmi yılda hem araştırma hem de yönetim düzeyinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir (Reynard ve Brilha, 2018). 1991 yılında Fransa'nın Digne kentinde gerçekleştirilen sempozyumda ilk olarak jeolojik miras kavramı ortaya atılmış ve ardından da hızlı bir şekilde Jeopark çalışmalarına başlanmıştır. Özellikle jeoparkların ortaya çıkması ve tanınırlıklarının artmasıyla birlikte, jeolojik turlar ilk olarak jeoparklar içinde başlamış ve son yıllarda giderek daha geniş alanlara yayılmıştır (Avcı, 2025). Jeoparkların dünya ölçeğinde sayılarının artması ve bu alanlarda jeolojik gezilerin rağbet görmeye başlaması jeoturizm kavramının çıkmasına neden olmuştur. Jeoturizm, Jeoloji/Jeomorfoloji temalı öğrenme amaçlı ve bilgi temelli bir ekoturizm türüdür. Çiftçi ve Güngör (2021) Jeoturizm olgusunu "*öznesi jeolojik varlıklar olan turizm faaliyetleridir. Bilimsel, sosyal ve ekonomik amaçlara uygun olarak düzenlenmiş süreli out-door faaliyetleri ile doğa tanıtım faaliyetlerinin tamamı bu geniş kümenin içindedir*" şeklinde tanımlamayı uygun bulmuşlardır.

Jeolojik miras özelliği taşıyan jeositler ve jeomorfositler jeoturizmin doğal kaynaklarıdır ve bu kaynaklar turizmde sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük bir öneme sahiptir. Sürdürülebilir jeoturizm anlayışına dayalı olarak jeosit ve jeomorfosit özelliği taşıyan alanlar hakkında daha fazla bilgi sahibi olabilmek için günümüzde daha çok araştırmalar yapılmakta ve jeolojik miras alanları her geçen gün artmaktadır (Hose vd., 2011).

Otlukbeli Traverten Set Gölü ve çevresi de bu anlamda oluşum ve görünüm açısından ender bir alan olmakla birlikte jeosit, jeolojik miras ve

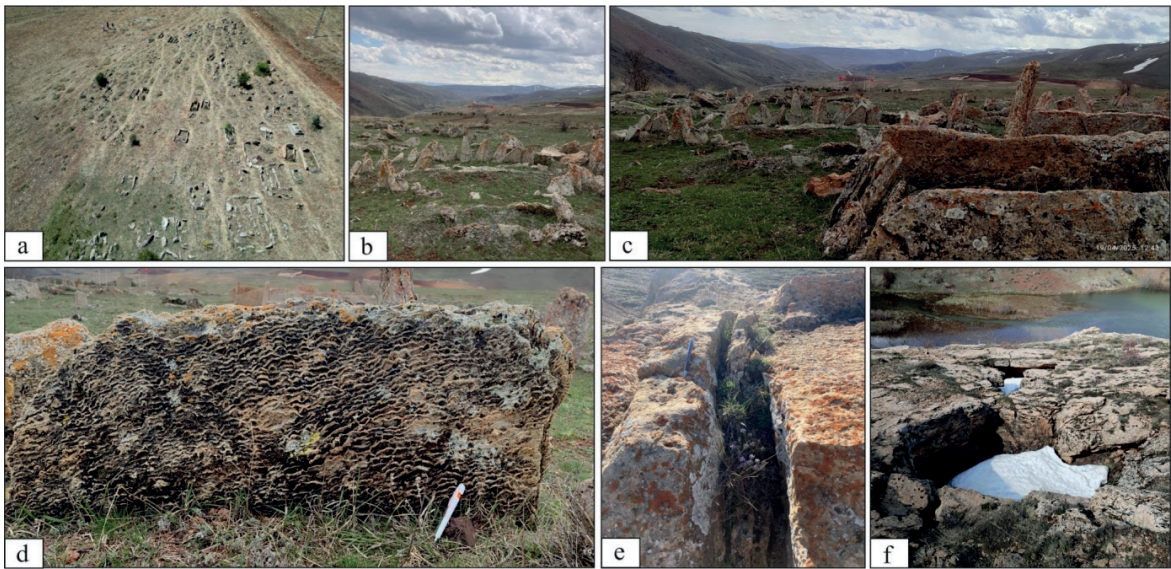
jeoturizm açısından yüksek potansiyele sahiptir. Bu öngörü ile Otlukbeli traverten set gölü, özgünlüğü dolayısıyla 15.04.1994 gün ve 612 Sayılı Erzurum Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu kararı ile doğal sit alanı ilan edilerek koruma altına alınmıştır (Erzincan İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2007). Her geçen gün tanınırlığı ve ziyaretçi sayısı artan "Doğal Anıt" olarak nitelendirilen bu göl, jeoturizm açısından da çok önemli bir yere sahiptir. Hatta son zamanlarda göl alanı ile ilgili olarak yerel tanıtım kanalları "*siz hiç kırmızı göl gördünüz mü?*" sloganıyla etkili bir tanıtım süreci başlatmışlardır. İnceleme sahası ve yakın çevresinde çeşitli etkinlikleri (kamp, yürüyüş, fotoğrafçılık, bilimsel çalışmalar gibi) teşvik etmek amacı ile valilik, kaymakamlık ve üniversite işbirliği ile bir rekreasyon planlaması da gündemdedir.

Jeolojik miras, jeolojik evrimin uzun dönemleri boyunca doğal süreçler tarafından oluşturulan kaya, fosil ve arazi şekillerini tespit etme ve kayıt altına alma ile ilgili doğrudan ilişkili olsa da hiçbir zaman kültürel mirastan ayrı tutulmamıştır (Brockx ve Semeniuk, 2007; Pijet-Migoń ve Migoń, 2022). Kültürel miras açısından Otlukbeli, arkeolojik ve tarihî açıdan oldukça zengin bir mirasa sahiptir. 2001 yılında ilk ayrıntılı tarihî ve arkeolojik araştırmaların başladığı Otlukbeli'nde, 2014-2015 yıllarında yapılan çalışmalar, Otlukbeli'nin İlk Tunç Çağı'ndan itibaren yerleşim alanı olarak kullanıldığını ortaya koymuştur. Daha sonraki dönemlerde M.Ö. II. binde bölgenin Hayaşa-Azzi Krallığı'nın egemenliğinde olduğu bilinmektedir. Demir Çağı'nda bölgede yerleşimin devam ettiği ve açılan tarihî yollarla bölgenin öneminin daha da arttığı tarihî bir gerçekliktir. Bölgenin 1071 sonrası Müslüman konar-göçer Oğuz Türk boyları tarafından Türkleştirildiği de kanıtlanmıştır (Üngör ve Özgül, 2016). Otlukbeli tarihinde şüphesiz en bilindik olay, Osmanlı Devleti ile Akkoyunlu Devleti arasında 1473 Ağustos'unda meydana gelen Otlukbeli Savaşı'dır. Bu savaşın meydana

geldiği yer olarak bilinen Küçükotlukbeli'nde, savaş sonrası yapıldığı düşünülen mimari unsurlar ve mezarlar tespit edilmiştir (Şekil 11a, b, c ve d). Otlukbeli çevresinde yapılan çalışmalarda, bölgenin gelenekselleşmiş mezar mimarisini yansıtan mezarlıklar ve kaleler bulunmaktadır (Üngör ve Özgül, 2016). Özellikle çalışma alanında yer alan ve bir kısmının Otlukbeli Savaşı'nda hayatını kaybeden askerlere ait olduğu düşünülen mezarların yapımında bölgedeki travertenlerden kesilen bloklar kullanılmıştır (Şekil 11e ve f). Bu nedenle çalışma alanındaki travertenlerin Türkiye'deki Denizli Pamukkale Travertenleri'nin Hierapolis Antik Kenti'nde ya da İtalya Tivoli travertenlerinde oldukları gibi (Özkul, 2019; Özkul vd., 2024; Della Porta vd., 2017) büyük çaplı herhangi bir yapı malzemesi ya da ekonomik bir getiri unsuru olarak geçmişte ve günümüzde kullanılmaması, jeolojik ve kültürel mirasın

sürdürülebilirliği ve korunması açısından olumlu bir etken olarak düşünülmektedir. Sarp dağlar arasında kalan Otlukbeli'nin, son derece zengin bir tarihe ve kültür varlığına sahip olduğu da bir gerçektir.

Otlukbeli alanının zengin tarihe sahip olmasının en önemli kanıtlarından biri, Otlukbeli Savaşı Şehitler Anıtı'nın, tarihi kale ve mezar kalıntılarının varlığıdır (Şekil 11 ve 12). Bu tarihi kalıntılar, bölgenin turistik çekiciliğini manevi açıdan da önemli ölçüde desteklemektedir. Otlukbeli Gölü'nün yakınında görkemli bir silüet oluşturan Şehitlik Anıtı, tarihi savaşın 535. yıldönümünde 11 Ağustos 2008'de, dönemin kaymakamı Şefik Aygöl'ün teşvikiyle açılmıştır (Şekil 12). Osmanlı Padişahı Fatih Sultan Mehmed ve Akkoyunlu Hükümdarı Uzun Hasan'ın kabartmalarıyla dikkat çeken anıt, iki taraftan da şehit olan tüm askerlere adanmıştır.



Şekil 11. Otlukbeli Savaşı'na ait mezar anıtları; **a)** Otlukbeli Savaşı'nda ölen askerlere ait olduğu düşünülen mezar taşlarının dron ile havadan görünümü; **b ve c)** Otlukbeli Travertenlerinden kesilip yapılan bu mezar taşlarının toplu ve yakından görünümleri (G'ye bakış); **d)** Mikro teras yapıları yamaç tipi travertenlerin mezar taşı olarak arazideki görünümü; **e ve f)** Otlukbeli Travertenlerin kesilip mezar taşı olarak kullanıldığı alanlar (K'ye bakış).

Figure 11. Tombstones from the Battle of Otlukbeli. **a)** Aerial view with a drone of tombstones thought to belong to soldiers who died in the Battle of Otlukbeli. **b and c)** Close-up views of these tombstones obtained from Otlukbeli Travertines (view to S); **d)** Field view of micro-terraced slope-type travertines as tombstones; **e and f)** Areas where Otlukbeli Travertines were cut and used as tombstones (view to N).



Şekil 12. a) Otlukbeli Savaşı Şehitler Anıt Mezarlığı'nın ve karşısındaki plato üzerindeki traverten konilerinin arazideki görünümü (K'ye bakış); **b)** Şehitler Anıtı, traverten set gölü ve güncel traverten oluşumlarının görünümü (GD'ya bakış); **c)** Otlukbeli Şehitler Anıtı'nın yakından görünümü (K'ye bakış).

Figure 12. a) Field view of the Otlukbeli War Martyrs' Memorial Cemetery and the travertine cones on the plateau (view to N); **b)** View of the Martyrs' Memorial Cemetery, the travertine lake, and active travertine precipitations (view to SE); **c)** Close-up view of the Otlukbeli Martyrs' Memorial (view to N).

Ayrıca Otlukbeli Travertenlerinin doğu alanında bulunan Çilehanı Tepe'sinde yer alan Çilehane'nin varlığı da kültürel miras açısından önemli bir öğedir. Çilehane çeşitli inanışlarda farklı biçimlerde kabul görmüş bir kavram olmakla birlikte inziva ya da her tür zorluklara dayanılan, günahların af olması için bir süre içerisinde zaman geçirilen küçük oda benzeri yapılara verilen isimdir. Çilehane olarak adlandırılan yığma taş

yapılar, yükseklikleri yaklaşık birkaç metreyi bulan iglo tipi odacıklardır (Şekil 13). Çilehanı Tepesi zirvesinde yaklaşık 300 m²'lik bir alana yayılan bu üst üste dizilmiş taşlardan oluşmuş yapılar (Şekil 13), yöre halkı tarafından kutsal sayılmakta olup, çeşitli efsanelere de konu olmuşlardır. Üzerlerine atfedilen kutsiyetleri sebebi ile de kimsenin zarar vermediği bu yapılar, bozulmadan varlıklarını günümüze kadar sürdürmüşlerdir.



Şekil 13. a ve b) Yöre halkı tarafından kutsal sayılan “Çilehane” iglo taş yığma odalarının görünümü (B’ya bakış).
Figure 13. a and b) View of the stone rooms “Çilehane” igloo, considered sacred by the local people (view to W).

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde KB-GD uzanımlı traverten sırtlarının varlığı, yapılan önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Mesci vd., 2020). Ayrıca Doğu Anadolu Fay Zonu’nu oluşturan segmentlerden biri olan Ilıca segmentinin aktivitesine bağlı genişleme alanında traverten çökelleri de önceki çalışmalarda tanımlanmıştır (Çolak ve Aksoy, 2025). Otlukbeli Travertenleri de bölgedeki etkin tektonizma sonucunda farklı doğrultularda gelişen (KD-GB, KB-GD ve D-B) kırık-çatlaklara bağlı olarak yüzeye çıkan CaCO_3 bakımında zengin mineralli sular tarafından oluşturulmuş karasal karbonat istifleridir.

Güncel traverten oluşumları, zengin Fe ve S içeriğine sahip suların eğim boyunca yüzeyde akmasından dolayı oluşan kırmızı renk ile bu platoyu bir ağ şeklinde kaplamaktadır. Aktif olmayan traverten oluşumları, sırt, koni ve yamaç tipi travertenler olarak belirgin jeomorfolojik bir yapı sunmaktadır. Farklı morfolojilerde ve litotiplerde çökelen bu travertenler, jeolojik miras potansiyeli açısından önemlidirler. Ülkemizde ve dünyada jeolojik miras kapsamında değerlendirilen bu karasal karbonatlar, önemli turizm ve kültürel miras kaynaklarıdır ve insanlığa büyük sosyoekonomik faydalar sağlamaktadırlar (Dong vd., 2023). Bu tür alanlar, hem doğal

laboratuvarlar olarak geçmiş çevresel koşulların çözümlenmesine katkı sağlamakta hem de jeoturizm ve sürdürülebilir koruma açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Jeosit, jeolojik veya jeomorfolojik bir oluşumun birden fazla jeolojik miras unsuru arasında en iyi şekilde temsil edildiği bir yeri ifade etmektedir (ProGeo Group, 1998; Çiftçi ve Güngör, 2016; Güngör ve Angı, 2021). Bu çerçevede, Otlukbeli Travertenleri, kendine özgü traverten oluşumları, tektonizmanın etkisi ve olağanüstü görsel çekiciliği nedeniyle jeolojik miras alanı, jeosit ve önemli bir jeoturizm destinasyonu olarak nitelendirilebilir. ProGeo sınıflandırma sistemine göre (ProGeo Group, 1998), Otlukbeli Travertenleri 10 farklı jeosit grubu içinde 4 ayrı kategori (B, E, F ve J) içerisinde karşılık bulmaktadır (Çizelge 2). Bu durum, Otlukbeli Travertenlerini jeolojik miras açısından önemli kılmaktadır.

Ülkemizde Otlukbeli Travertenleri’ne benzer karbonat birikimlerine örnek olarak, UNESCO’nun Dünya Mirası Listesinde yer alan ve ayrıca 2022 yılında Uluslararası Yerbilimleri Birliği (IUGS)’nin belirlediği Dünya’nın İlk 100 Jeolojik Miras Alanı listesine de kabul edilen Pamukkale’de yer alan “Doğal Sit-Sürdürülebilir Koruma ve Kontrollü Kullanım Alanı” olarak

tescil edilen Denizli Karahayıt Kırmızı Su Travertenleri verilebilir (Özkul vd., 2025). Ancak Otlukbeli Travertenleri ve traverten set gölü, oluşumu, gelişimi ve güncel durumu itibarıyla kendine özgü bir yapıya sahiptir.

Çizelge 2. ProGeo Group-98'in jeosit sınıflandırması (<https://www.progeo.ngo>).

Table 2. *Geosite classification of ProGeo Group-98* (<https://www.progeo.ngo>).

Jeosit Sınıf Numarası	Jeosit Sınıfı (*)
(A)	Stratigrafik
(B)	Ortamsal
(C)	Volkanik-metamorfik-tortul petroloji, dokular ve yapılar, olaylar ve provenşler
(D)	Mineralojik, ekonomik
(E)	Yapısal
(F)	Jeomorfolojik yapılar, aşınma-depolanma süreçleri, yer şekilleri, arazi görünümleri
(G)	Göktaşına ilişkin olaylar
(H)	Kıta ve okyanus ölçeğindeki olaylar, levha ilişkileri
(I)	Deniz altı
(J)	Tarihi ve kültürel

(*) ProGEO tarafından önerilen sınıflama sisteminde kullanılan ayırmadır (ProGEO Group, 1998).

Otlukbeli traverten set gölü, bölge ve ülkemiz için tek örnek olup, kapladığı alanın fazla yer tutmamasına karşın, oluşumunun ender olması bakımından ülkemizin keşfedilen ilk ve tek önemli traverten set gölüdür (Akkan ve Tuncel, 1990). Otlukbeli gölü ve çevresinde var olan bu değerlerin tanıtılması, jeoturizm açısından önemli olup; yerinde sürdürülebilir bir kalkınmaya hizmet edeceği aşikârdır.

Otlukbeli Travertenlerinin doğal güzelliği ve çevresinin tarihi ve kültürel geçmişi, çeşitli turizm faaliyetleri için benzersiz bir potansiyel sunmaktadır. Ancak, jeoturizm girişimleri arttıkça,

Otlukbeli Travertenleri gibi önemli bilimsel ve estetik değere sahip doğal anıtların yerel topluluklarla yakın iş birliği yoluyla titizlikle korunmasını sağlamak büyük önem taşımaktadır.

Çalışma alanı içerisinde yer alan Otlukbeli-Bayburt karayolu, gölün oldukça yakınından geçmektedir. Gölün, Ağnene Deresi vadisinin yoldan görünmeyen kısmında konumlanmış olmasından dolayı, yol güzergahından gölü görmek mümkün değildir. Bu durum, gölün tanınırlığını kısıtlamaktadır. Hiç şüphesiz ki, gölün Türkiye'nin önemli gidilecek yer (destinasyon) envanterine kaydedilmesi ve tanıtımının yapılması; sürdürülebilir yerel kalkınma için yöre halkı adına ekonomik anlamda fayda sağlayacaktır. Ancak diğer taraftan göl alanında güncel traverten gelişimi devam ettiği için alanda gerçekleştirilecek olan turizm faaliyetlerinin de hassasiyetle yapılması gerekmektedir. Bu nadir güzellikteki doğal oluşumların korunması konusunda tam anlamıyla kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Travertenlerin yüzeyine elle dokunulması bile henüz pekişmemiş yüksek hassasiyete sahip çökellerin yüzeyinde dokusal bozulmalara sebep olabilmektedir. Bu nedenle, göl alanına gelen ziyaretçiler güncel travertenler üzerinde gezdikleri zaman travertenler geri dönüşü olmayacak biçimde tahrip olmaktadır. Jeolojik miras alanları, hassas jeolojik ortamlarda bulunan eşsiz ve kırılgan alanlar olmalarından dolayı, varlıklarını koruyabilmek ve değerlerini artırmak için koruyucu ve bilimsel önlemler uygulanmalıdır. Bu alanın doğru bir şekilde korunabilmesi için bazı öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. Traverten alanına girişlerde bu karasal karbonat oluşumları hakkında bilgilendirici tanıtım levhaları bulunmalı, aktif traverten oluşumunun devam ettiği yerlere ziyaretçi girişi engellenmelidir (Akpınar, 2016; Polat, 2018; Polat ve Kopar, 2023).
2. Göl ve traverten çevresindeki doğal güzellikleri yakından görebilmek, bilimsel

incelemelere imkan sağlamak için uygun yerlere ahşap gözlem platformları ve/veya seyir alanları yapılması traverten alanında tahribatı azaltacaktır. Fakat bu gözlem teraslarının/platformlarının planlanmasında dikkat edilecek en önemli husus, ahşap yapıların konumlandırılacağı noktaların hassas alan dışında belirlenmesi ve inşaları sırasında travertenler üzerinde herhangi bir tahrip edici müdahalenin yapılmamasıdır.

3. Otlukbeli Gölü ve çevresi, arkeolojik ve tarihî açıdan da oldukça zengin bir alandır. Tüm bu doğal ve tarihi zenginlikler, bölgenin korunması gerekliliğini kaçınılmaz kılarken turizm potansiyelini daha da artırmaktadır. Bu durum avantaj gibi görünse de maalesef bazı ziyaretçilerin travertenler üzerinde çeşitli tahribatları olabilmektedir. Acilen tüm bu olumsuz durumları kontrol altına alacak önlemler alınmalıdır.
4. Doğu Anadolu'da önemli ulaşım hatlarından biri olan ve yapımı devam eden Otlukbeli-Bayburt karayolu güzergahından Otlukbeli Gölü'nün ve tarihi alanın görseelliğini ve cazibesini arttıracak tanıtım tabelaları ve/veya panoramik panolar tasarlanmalıdır.
5. Otlukbeli Travertenlerinin Türkiye'nin jeolojik ve kültürel mirasının bir bileşeni olarak değerlendirilerek, jeoturizm girişimlerine dahil edilebilmesi için bölgede daha fazla disiplinlerarası araştırma yapılması, sonuçlarının sistematik olarak belgelenmesi ve bilimsel literatüre kazandırılması önerilmektedir.

EXTENDED SUMMARY

Travertine formations are widespread in Türkiye, associated with mineral-rich springs, fault zones, and favourable topography. Among these, the Otlukbeli area hosts a particularly remarkable assemblage of travertine features, including cones

and fissure ridges, as well as what is described as the only known travertine barrier lake (traverten set gölü) in Türkiye. This area combines active geology, geomorphology, hydrology, and cultural history in a way that makes it of high scientific, ecological, and heritage interest.

The Otlukbeli Travertines (Erzincan) constitute a thick sequence of terrestrial carbonate deposits, reaching approximately 40 m in thickness, and forming a plateau-like morphology. These deposits have developed through the accumulation of mineral-rich waters containing Ca, Fe, and S, which reach the surface along fractures and cracks predominantly oriented in NE-SW and E-W directions, controlled by the active tectonic regime of Eastern Anatolia. The travertines are surrounded by basement rocks which mostly composed of ophiolitic mélangé.

In this study, the geological, sedimentological and geomorphological features of the Otlukbeli Travertines were investigated, and the importance of this unique terrestrial carbonate deposition in terms of geological and cultural heritage was revealed.

For this goal, all travertine fissure ridges on the Otlukbeli Plateau were individually measured, and the cones were examined. A total of more than 60 travertine cones and 15 travertine ridges were studied in detail. All measured travertine cones and fissure ridges were evaluated within a geographic information system (GIS); the geomorphological and geological features of the travertines were mapped at high resolution, and the analyses, including both field and laboratory studies, were conducted using an integrated approach. Sampling was carried out on three samples from levels of ridge-type travertines with different lithotypes.

Inactive travertine formations in the region occur in a variety of morphological types, such as cones, ridges, and slopes, distributed widely across the plateau, whereas active travertine

deposition is currently concentrated on the slopes. The temperature of the actively discharging waters averages 17 °C, and the pH is approximately 6. Owing to the high Fe content of these waters, the active travertine ridges exhibit a distinctive red to brownish-red coloration, producing a striking visual appearance.

Moreover, in the studied area where the slope is relatively gentle, karstic occurrences such as lapias have developed. These distinctive morphological structures, also known as "Kamenitsa", are prominent in the northern part of the investigated area. These honeycomb-like formations are merging and increasing in size due to continued dissolution.

In addition, the travertine barrier lake located within the study area holds considerable significance due to its striking visual appeal and its role as a popular destination visited by hundreds of people each year. This lake and its surroundings represent a rare geological occurrence in terms of both origin and appearance, and exhibit high potential as a geosite, geoheritage asset, and geotourism destination. In line with this recognition, the lake has been designated as a natural protected area by the decision of the Erzurum Regional Board for the Protection of Cultural and Natural Assets, due to its uniqueness.

The Otlukbeli area also has historical significance (notably, the Battle of Otlukbeli, 1473). Thus, the travertine landscape interacts with cultural memory and identity.

This study has demonstrated that the Otlukbeli Travertines, with their striking natural beauty and the region's rich historical and cultural background, possess significant value not only for the scientific community but also for fostering sustainable impact at both local and global scales. The promotion of these unique features (particularly Otlukbeli Lake and its surroundings) is of considerable importance for geotourism and is evidently aligned with the principles of sustainable local development.

In order to evaluate the Otlukbeli Travertines and its surroundings as a component of Türkiye's geological and cultural heritage and to incorporate them into geotourism initiatives, it is essential to conduct further multidisciplinary research in the region and to ensure that the outcomes are systematically documented and integrated into the scientific literature.


KATKI BELİRTME

Yazarlar, Otlukbeli ve çevresindeki saha araştırmaları sırasında gerekli tüm desteği gösteren Erzincan Valiliği'ne, Otlukbeli Kaymakamı Sayın İbrahim GÖKÇE'ye ve Erzincan İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'ne teşekkürlerini sunarlar. Ayrıca yazarlar, Türkiye'nin potansiyel Jeositleri ve Jeoturizm konularındaki deneyimleriyle makaleye katkıda bulunan Yıldırım Güngör'e teşekkürü bir borç bilirler.

ORCID

Yakup Çelik  <https://orcid.org/0000-0002-2150-852X>

Ezher Tagliasacchi  <https://orcid.org/0000-0002-1774-5012>

Mehmet Akif Taş  <https://orcid.org/0000-0003-3543-037X>

Pınar Polat  <https://orcid.org/0000-0001-5846-0454>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Ağar, Ü. (1977). *Demirözü (Bayburt) ve Köse (Gümüşhane) Bölgesinin Jeolojisi* [Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Akdeniz, N., Şahintürk, Ö. ve Yakar, H. (1997). Pulur Bölgesinin Stratigrafisi ve Tektoniği (Bayburt-Doğu Pontidler). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration (Maden Tetkik Arama Dergisi)*, 119, 1-22.
- Akkan, E. ve Tuncel, M. (1990). Bilinmeyen Bir Doğal Anıt: Otlukbeli Gölü. *Coğrafya Araştırmaları (Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Coğrafya Bilim ve Uygulama Kolu Yayını)*, 2(2), 99-116.
- https://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/cadata2_4.pdf

- Akpınar, E. (2016). Otlukbeli Gölü'nün Rekreasyon Potansiyeli. *Akra Kültür Sanat ve Edebiyat Dergisi*, 9, 127-134.
- Akpınar, Z., Gürsoy, H., Tatar, O., Büyüksaraç, A., Koçbulut, F. & Piper, J. D. A. (2016). Geophysical analysis of fault geometry and volcanic activity in the Erzincan Basin, Central Turkey: Complex evolution of a mature pull-apart basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 116, 97-114. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.11.005>
- Aktimur, H. T., Turşucu, A., Mutlu, G., Yurdakul, M. E., Sariaslan, M., Keçer, M., Ölçer, S., Aktimur, S. ve Yıldırım, T. (1995). *Erzincan Dolayı'nın jeolojisi* (Rapor No: 9792). MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Altunel, E. & D'Andria, F. (2019). Pamukkale travertines: A natural and cultural monument in the World Heritage List. In: Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (p.:219–229). Springer: Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_8
- Altunel, E. & Hancock, P. L. (1993a). Active fissuring and faulting in Quaternary travertine at Pamukkale, western Turkey. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband*, 94, 285–302.
- Altunel, E. & Hancock, P.L. (1993b). Morphology of travertines in the Pamukkale region. *Geological Journal*, 28(3–4), 335–346. <https://doi.org/10.1002/gj.3350280312>
- Altunel, E. & Karabacak, V. (2005). Determination of horizontal extension from fissure-ridge travertines: a case study from the Denizli Basin, southwestern Turkey. *Geodinamica Acta* 18(3-4), 333–342. <https://doi.org/10.3166/ga.18.333-342>
- Arenas-Abad, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo-Tirapu, G. & Sancho-Marcén, C. (2010). Fluvial and associated carbonate deposits. In Alonso-Zarza, A.M., Tanner, L. H. (Eds.), *Carbonates in Continental Settings. Facies, Environments and Processes, Developments in Sedimentology*, 61, 133-175. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(09\)06103-2](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(09)06103-2)
- Aslan, Z. (1998). *Saraycık-Sarıhan Granitoidleri (Bayburt) ve Çevre Kayaçlarının Petroğrafisi, Jeokimyası ve Petrolojisiyle, Sarıhan Granitoidinin Jeokronolojik İncelenmesi* [Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Atabey, E. (2002). The formation of fissure ridge type laminated travertine-tufa deposits: Microscopical characteristics and diagenesis, Kırşehir, Central Anatolia. *Mineral Research and Exploration Bulletin*, 123–124, 59–65.
- Avcı, V. (2025). İzlanda'nın Jeolojik miras Potansiyeline Bazı Örnekler. *Current Perspectives in Social Sciences*, 29(2), 329-352. <https://doi.org/10.53487/atasobed.1621087>
- Bozkuş, C. ve Yılmaz, Ö. (1993). Tercan (Erzincan)–Aşkale (Erzurum) arasındaki tektoniği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36(2) 189–201. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/78d5691c824ee2a_ek.pdf
- Brockx, M. & Semeniuk, V. (2007). Geoheritage and geoconservation—History, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 90, 53-87. <https://www.rswa.org.au/wp-content/uploads/2023/10/volume90part253-871.pdf>
- Brogi, A. & Capezzuoli, E. (2009) Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fissure-ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy). *International Journal of Earth Sciences*, 98, 931–947. <https://doi.org/10.1007/s00531-007-0290-z>
- Brogi, A., Capezzuoli, E., Aquè, R., Branca, M. & Voltaggio, M. (2010) Studying travertines for neotectonics investigations: Middle-Late Pleistocene syn-tectonic travertine deposition at Serre di Rapolano (Northern Apennines, Italy). *International Journal of Earth Sciences*, 99, 1383–1398. <https://doi.org/10.1007/s00531-009-0456-y>
- Brogi, A., Capezzuoli, E., Kele, S., Baykara, M. O. & Shen, C.C. (2017). Key travertine tectofacies for neotectonics and palaeoseismicity reconstruction: effects of hydrothermal overpressured fluid injection. *Journal of the Geological Society*, 174(4), 679–699. <https://doi.org/10.1144/jgs2016-124>
- Brogi, A., Capezzuoli, E., Karabacak, V., Alcicek, M. C. & Luo, L. (2021). Fissure Ridges: A Reappraisal of Faulting and Travertine Deposition (Travitonics). *Geosciences*, 11(7), 278. <https://doi.org/10.3390/geosciences11070278>

- Broggi, A., Luo, L., Fabbrini, L., Pagano, G., Tuccimei, P., Soligo, M. & Capezzuoli, E. (2023). Tectonic control of thermal springs, gas vents and travertine deposition in Bagni di San Filippo and Campiglia d'Orcia area (Monte Amiata Volcano-Geothermal area, Italy). *Italian Journal of Geosciences*, 142(3), 318–338. <https://doi.org/10.3301/IJG.2023.17>
- Capezzuoli, E., Gandin, A. & Pedley, M. (2014). Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. *Sedimentology*, 61, 1–21. <https://doi.org/10.1111/sed.12075>
- Capezzuoli, E., Della Porta, G., Rogerson, M. & Tagliasacchi, E. (2022). Non-marine carbonates: Wherefore art thou?. *The Depositional Record*, 8(1), 4-8. <https://doi.org/10.1002/dep2.170>
- Chafetz, H. S. & Folk, R. L. (1984). Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Research*, 54(1), 289–316. <https://doi.org/10.1306/212F8404-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Chafetz, H. S. & Guidry, S.A. (2003). Deposition and diagenesis of Mammoth HotSprings travertine, Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40(11), 1515–1529. <https://doi.org/10.1139/e03-051>
- Çelik, Y. & Tagliasacchi, E. (2025). Gürlevik Tufa Waterfall: Facies Characteristics, Depositional Systems and Geoheritage Potential (Erzincan, East Anatolia). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 68(2), 205-224. <https://doi.org/10.25288/tjb.1646179>
- Çiftçi, Y. & Güngör, Y. (2016). Proposals for the Standard Presentation of Elements of Natural and Cultural Heritage within the Scope of Geopark Projects. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration (Maden Tetkik Arama Dergisi)*, 153, 223-238. <https://doi.org/10.19111/bmre.80846>
- Çiftçi, Y. ve Güngör, Y. (2021). Nemrut-Süphan öneri jeopark alanında (Bitlis-Türkiye) doğal ve kültürel miras bütünleşmesi ile jeokoruma önerileri. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration (Maden Tetkik Arama Dergisi)*, 165, 191-215. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.860092>
- Çolak Erol, S. & Aksoy, E. (2025). An Example of Travertine Formations in the Ilıca Segment of the Eastern Anatolian Fault Zone: Elmalı (Bingöl) Travertine. *Turkish Journal of Science and Technology*, 20(2), 483-493. <https://doi.org/10.55525/tjst.1680618>
- De Filippis, L., Faccenna, C., Billi, A., Anzalone, E., Brilli, M., Ozkul, M., Soligo, M., Tuccimei, P. & Villa, I.M. (2012). Growth of fissure ridge travertines from geothermal springs of Denizli Basin, western Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 124(9–10), 1629–1645. <https://doi.org/10.1130/B30606.1>
- De Filippis, L., Faccenna, C., Billi, A., Anzalone, E., Brilli, M., Soligo, M. & Tuccimei, P. (2013). Plateau versus fissure ridge travertines from Quaternary geothermal springs of Italy and Turkey: interactions and feedbacks between fluid discharge, palaeoclimate, and tectonics. *Earth-Science Reviews*, 123, 35–52. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.004>
- Della Porta G., Croci A., Marini M. & Kele S. (2017). Depositional architecture, facies character and geochemical signature of the Tivoli travertines (Pleistocene, Acque Albule Basin, Central Italy). *Rivista Italiana Di Paleontologia e Stratigrafia* 123(3), 123(3), 487-540.
- Della Porta, G., Hoppert, M., Hallmann, C., Schneider, D. & Reitner, J. (2022). The influence of microbial mats on travertine precipitation in active hydrothermal systems (Central Italy). *Depositional Records*, 8, 165–209. <https://doi.org/10.1002/dep2.147>
- Dipova, N. ve Yıldırım, M. (2005). Antalya Tufa Platolarının Oluşumu ve Jeomorfolojik Özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29(2), 53-69. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/bbc49cc16f8207d_ek.pdf
- Dong, F., Dai, Q., Jiang, Z, Chen, X., Xu, R., Zhang, Q., An, D., Li, Q., Zhang, T., Andelka, P.M., Capezzuoli, E., Li, B. & Mors, R. A. (2023). Travertine/tufa resource conservation and sustainable development call for a world-wide initiative. *Applied Geochemistry*, 148, Article 105505. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105505>
- Ekizoğlu, Ö. & Mesci, B. (2025). Morphotectonic and active tectonic properties of the Yenicekent travertines with Chibanian–Meghalayan ages in the Denizli graben (Türkiye). *Turkish Journal of Earth Sciences* 34(5), 630-649. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1980>

- Erzincan İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, (2007). *Erzincan Kültür ve Turizm Envanteri*. s.220 Erzincan.
- Ford, T. D. & Pedley, H. M. (1996). A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews*, 41(3-4), 117-175. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(96\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(96)00030-X)
- Fouke, B. W. (2011). Hot-spring Systems Geobiology: abiotic and biotic influences on travertine formation at Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA. *Sedimentology*, 58(1), 170-219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2010.01209.x>
- Gao, J., Zhou, X., Fang, B., Li, T. & Tang, L. (2012). U-series dating of the travertine depositing near the Rongma hot springs in northern Tibet, China, and its paleoclimatic implication. *Quaternary International*, 298, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.08.003>
- Gao, W., Liu, X., Zhang, W., Sun, D., Chen, Z., Zhang, Q., Zhang, Z., Liu, S., Dong, J., Wang, S., Zhang, J., Xu, H., Zhang, W. & Zheng, J. (2025). Travertine Mineralogical Characteristics and Spatial Distribution in Huanglong, China, a World Natural Heritage: Derived from Late Pleistocene to Early Holocene Glacial U-Shaped Valley Carbonate Deposits. *ACS Omega*, 10(1):1331-1343. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c08897>
- Gedik, A. (2008). Kemah-Erzincan Çayırılı yöresi Tersiyer Birimlerinin Jeolojisi ve Petrol Kaynak Kaya Özellikleri, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration (Maden Tetkik Arama Dergisi)*, 137, 1-26.
- Golubić, S., Violante, C., Plenković-Moraj, A. & Grgasović, T. (2008). Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis. *Geologia Croatica* 61, 363-378. <https://doi.org/10.4154/GC.2008.28>
- Guo, L. & Riding, R. (1998). Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 45(1), 163-180. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1998.00141.x>
- Guth, P., Niekerk, A., Grohmann, C., Muller, J., Hawker, L., Florinsky, I., Gesch, D., Reuter, H., Herrera-Cruz, V., Riazanoff, S., López-Vázquez, C., Carabajal, C., Albinet, C. & Strobl, P. (2021). Digital Elevation Models: Terminology and Definitions. *Remote Sensing*, 13(18), Article 3581. <https://doi.org/10.3390/rs13183581>
- Güngör, Y. ve Angı, O. S. (2021). Kültürel Jeoloji ve Jeoturizm içerisinde jeolojik mirasın yeri. Selman Er (Ed.), *Jeolojik Miras: Kavramlar, Mevzuat ve Uygulama Örnekleri* (ss. 105-112). Kolektif Yayınevi-Jeoloji Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Hirt, C. (2015). Digital Terrain Models. In Grafarend, E. (Eds.), *Encyclopedia of Geodesy* (p.: 1-6). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0_31-1
- Hose, T.A., Marković, S.B., Komac, B. & Zorn, M. (2011). Geotourism a short introduction. *Acta Geographica Slovenica*, 51(2), 339-342. <https://doi.org/10.3986/AGS51301>
- Huggett, R. J. (2011). *Fundamentals of Geomorphology*. <https://doi.org/10.4324/9780203860083>
- Ivković, M., Dori, V., Baranov, V., Mihaljevi, Z. & Pont, A.C. (2020). Checklist of aquatic Diptera (insecta) of Plitvice lakes national Park, Croatia, a UNESCO world heritage site. *ZooKeys*, 918, 99-142. <https://doi.org/10.3897/zookeys.918.49648>
- Julia, R. (1983). Travertines. In Scholle, P. A., Bebout, D. G. & Moore, C. H. (Eds.), *Carbonate depositional environments*. Tulsa, Oklahoma. *The American Association of Petroleum Geologists, Special Publications*, 33 64-72.
- Kandemir, R., Tagliasacchi, E., Kayseri-Özer, M.S., Şaffak, D., Köroğlu, F., Hsun-Ming Hu & Shen, C. C. (2021). The multidisciplinary approaches on facies developments and depositional systems of the Bahçecik Travertines, Gümüşhane, NE-Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 561-579. <https://doi.org/10.3906/yer-2104-20>
- Kazancı, N. (2010). *Jeolojik Koruma; Kavram ve Terimler*. Jeolojik Mirası Koruma Derneği yayını, Ankara, 60 s.
- Kazancı, N. ve Şaroğlu, F. (2009). Türkiye Jeositleri Çatı Liste'si. 62. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 13-17 Nisan 2009, MTA - Ankara
- Kele, S., Demény, A., Siklósy, Z., Németh, T., Tóth, M. & Kovács, M. B. (2008). Chemical and stable isotope composition of recent hot-water travertines and associated thermal waters from Egerszálók, Hungary: Depositional facies and non-equilibrium fractionation. *Sedimentary Geology*, 211(3-4), 53-72. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.08.004>

- Kele, S., Özkul, M., Gökgöz, A., Fórizs, I., Baykara, M.O., Alçiçek, M.C. & Németh, T. (2011). Stable isotope geochemical and facies study of Pamukkale travertines: new evidences of low-temperature non-equilibrium calcite-water fractionation. *Sedimentary Geology* 238(1-2), 191–212. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2011.04.015>
- Koçyiğit, A. (1991). Neotectonic structures and related landforms expressing the contractional and extensional strains along the North Anatolian Fault Zone at the northwestern margin of the Erzincan Basin, NE Turkey. *Bullet. Istanbul Tech. Univ.* 44, 455–473.
- Koçyiğit, A. (2013). New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 62, 586-605. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.11.008>
- Korkmaz, S. ve Baki, Z. (1984). Demirözü (Bayburt) Güneyinin Stratigrafisi. *TJK Kurultayı Bülteni*, 5, 107-115.
- Koşun; E., Sarıgül, A. ve Varol, B. (2005). Antalya Tufalarının Litofasiyes Özellikleri, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 130, 57-70, Ankara.
- Liu, L. X. (2017). Factors Affecting Tufa Degradation in Jiuzhaigou National Nature Reserve, Sichuan, China. *Water*, 9(9), Article 702. <https://doi.org/10.3390/w9090702>
- Li, S., Hu, X., Tang, Y., Huang, C. & Xiao, W. (2014). Changes in lacustrine environment due to anthropogenic activities over 240 years in Jiuzhaigou National Nature Reserve, southwest China. *Quaternary International*, 349, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.069>
- Luo, L., Wen, H., Brogi, A. & Capezzuoli, E. (2022). Factors controlling the geometry of travertine mounds: Insights from Heinitang (China). *Sedimentology*, 69(4), 1519-1546. <https://doi.org/10.1111/sed.12961>
- Mesci, B. L. (2013). Özgün Niteliklere Sahip Travertenler ve Önemleri: Sivas Yöresi Travertenlerinden Örnekler. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 56(1), 23-37. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/article/298970>
- Mesci, B. L., Gürsoy, H. & Tatar, O. (2008). The Evolution of Travertine Masses in The Sivas Area (Central Turkey) and Their Relationships to Active Tectonics. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 219-240.
- Mesci, B. L., Gürsoy, H., Ghaleb, B. & Tatar, O. (2020). An Extensional Fracture Acting as Hot Water Source for Travertine Deposition on the North Anatolian Fault Zone, Turkey: The Reşadiye Fissure-Ridge. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(2), 145-160. <https://doi.org/10.25288/tjb.623535>
- Okay, A. & Şahintürk, Ö. (1997). Geology of the Eastern Pontides. In Robinson, A.G. (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region* (p.291-311.). *American Association of Petroleum Geologist (AAPG) Memoir No.68*. <https://doi.org/10.1306/M68612C15>
- Okay, A. I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In Durand, B., Jolivet, L. Horvath, F. & Seranne, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. *Geological Society of London, Special Publications*, 156, 475-515.
- Özkul, M. (2019). Markalaşmış bir doğaltaş: Denizli Traverteni. *Mavi Gezegen*, 26, 71–78.
- Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C-C., Jones, B., Baykara, M.O., Fórizs, I., Nemeth, T., Chang, Y-W. & Alçiçek, M. C. (2013). Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli Extensional Basin based on their depositional and geochemical data. *Sedimentary Geology*, 294, 179–204. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.05.018>
- Özkul, M., Gökgöz, A. & Yüksel, A. K. (2019). Travertine Spring Towers as Rare Depositional Morphologies in Geothermal Fields: An Example from the Hisaralan Geothermal Area (Sındırgı, Balıkesir, NW Turkey). *Proceedings International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, IESCA-2019*, 101-106.
- Özkul, M., Gül, A., Koralay, T., Özen, H., Semiz, B. ve Duman, B. (2024). Denizli Travertine: A Global Heritage Stone Resource Nominee from Western Türkiye. *Geoheritage*, 16, Article 67. <https://doi.org/10.1007/s12371-024-00970-w>
- Özkul, M., Gül, A., Semiz, B. Koralay, T., Topal, S., Gökgöz, A., Özen, H., Erten, H., Hançer M. ve Kumsar, H. (2025). Denizli İlinin (GB Türkiye) Jeoçeşitliliği ve Önemli Jeositleri. *Türkiye Jeoloji*

- Bülteni*, 68(4), 145-188. <https://doi.org/10.25288/tjb.1559108>
- Pedley, H. M. (1990). Classification and environmental models of cool freshwater tufas: *Sedimentary Geology*, 68(1), 143-154. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(90\)90124-C](https://doi.org/10.1016/0037-0738(90)90124-C)
- Pedley, H. M. (2009). Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*, 56(1), 221-246. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.01012.x>
- Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi*. KTÜ Yayın No: 87, 103 s.
- Pentecost, A. (1995). The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. *Quaternary Science Reviews*, 14(10), 1005-1028. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(95\)00101-8](https://doi.org/10.1016/0277-3791(95)00101-8)
- Pentecost, A. (2005). *Travertine*. Springer-Verlag, Berlin, 448. (p.31-35)
- Pentecost, A. & Viles, H. A. (1994). A review and reassessment of travertine classification. *Géographie Physique et Quaternaire*, 48, 305-314. <https://doi.org/10.7202/033011ar>
- Pijet-Migoń, E. & Migoń, P. (2022). Geoheritage and Cultural Heritage—A Review of Recurrent and Interlinked Themes. *Geosciences*, 12(2), Article 98. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020098>
- Polat, S. (2011). Türkiye’de traverten oluşumu, yayılış alanı ve korunması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 389-428
- Polat, S. (2018). Otlukbeli Gölü çevresinde traverten birikim şekilleri. *Studies of The Ottoman Domain (Osmanlı Hakimiyet Sahası Çalışmaları)*, 8(15), 55-80.
- Polat, S. ve Ege, İ. (2024). Diyardin (Ağrı) Doğal Traverten Köprülerinin Jeomorfolojisi ve Oluşumları, Doğu Anadolu, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 67(2), 231-252. <https://doi.org/10.25288/tjb.1390845>
- Polat, P. ve Kopar, İ. (2023). *Erzincan İlindeki Doğa Turizmi Potansiyeline Sahip Önemli Destinasyonların Fiziki Coğrafya Temelli Kaynak Analizi*, Cumhuriyetin 100. Yılına Armağan Coğrafya ve İnsan, Kriter Yayınevi, İstanbul.
- ProGeo Group (1998). A first attempt at a geosites framework for Europe - an IUGS initiative to support recognition of World Heritage and European geodiversity. *Geologica Balcanica*, 28, 5-32.
- Reynard, E. & Brilha, J. (2018). Geoheritage: A multidisciplinary and applied research topic. Reynard, E. & Brilha, J. (Eds.), *Geoheritage, Assessment, Protection, and Management* (pp. 3-9). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00030-7>
- Ronchi, P. & Cruciani, F. (2015). Continental carbonates as a hydrocarbon reservoir, an analog case study from the travertine of Saturnia, Italy. *AAPG Bulletin*, 99, 711-734. <https://doi.org/10.1306/10021414026>
- Sağlam Selçuk, A. ve Zorer, H. (2017). Başkale Bölgesi’nin (Van) Jeolojik ve Jeomorfolojik Öğeleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60(1), 77-92. <https://doi.org/10.25288/tjb.297830>
- Sağlam Selçuk, A., Erturaç, M.K., Üner, S., Özsayın E. & Pons-Branchu, E. (2017). Evolution of Çamlık fissure-ridge travertines in the Başkale basin (Van, Eastern Anatolia). *Geodinamica Acta*, 29, 1, 1-19. <https://doi.org/10.1080/09853111.2016.1228037>
- Santi P., Renzulli A., Veneri F., Tonelli G., Tramontana M., Taussi M., Calcagnile L. & Quarta G. (2023). Geological Insights on the Calcareous Tufas (Pietra Spugna) Used as Building and Ornamental Stones in the UNESCO Historical Centre of Urbino (Marche Region, Italy). *Heritage* 6(5), 4227-4242. <https://doi.org/10.3390/heritage6050223>
- Selim, H. H. & Yanik, G. (2009). Development of the Cambazlı (Turgutlu/Manisa) fissure-ridge-type travertine and relationship with active tectonics, Gediz Graben, Turkey. *Quaternary International*, 199(1-2), 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.04.009>
- Shiraishi, F., Akimoto, T., Tomioka, N., Motai, S. & Takahashi, Y. (2023). Formation processes of paper-thin raft and coated bubble: Calcium carbonate deposition at gas-water interface. *Sedimentary Geology*, 456, Article 106514. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2023.106514>
- Sironic, A., Baresic, J., Horvatincic, N., Brozincevic, A., Vurnek, M. & Kapelj, S. (2017). Changes in the geochemical parameters of karst lakes over

- the past three decades -the case of Plitvice Lakes, Croatia. *Applied Geochemistry*, 78, 12–22.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.11.013>
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1986). Doğu Anadolu'da Neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration (Maden Tetkik Arama Dergisi)*, 73-94.
- Tagliasacchi, E., Kayseri Özer, M. S. & Altay, T. (2024). Environmental, vegetational and climatic investigations during the Plio-Pleistocene in SW-Anatolia: A case study from the fluvio-lacustrine deposits in Uşak-Karahallı area. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 104, 29–51.
<https://doi.org/10.1007/s12549-023-00590-2>
- Temiz, U. & Eikenberg, J. (2011). U/Th dating of the travertine deposited at transfer zone between two normal faults and their neotectonic significance: Cambazlı fissure ridge travertines (the Gediz Graben-Turkey). *Geodinamica Acta*, 24(2), 95-105
- Temiz, U., Gökten, E. & Eikenberg, J. (2009). U/Th dating of fissure ridge travertines from the Kırşehir region (Central Anatolia Turkey): structural relations and implications for the Neotectonic development of the Anatolian block. *Geodinamica Acta*, 22(4), 201-213.
<https://doi.org/10.3166/ga.22.201-213>
- Toker, E. (2017). Quaternary fluvial tufas of Sarıkavak area, southwestern Turkey: Facies and depositional systems. *Quaternary International*, 437(Part A), 37-50.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.06.034>
- Toker-Tagliasacchi, E. (2018). The Sedimentological Properties and Preliminary Results of Palaeoenvironmental Development of Middle-Late Pleistocene Gürlek-Kocabaş (Denizli) and Örtülü (Afyon) Travertines, SW-Turkey. *Geological Bulletin of Turkey*, 61(1) 1-22.
<https://doi.org/10.25288/tjb.358160>
- Toker, E., Kayseri-Özer, M.S., Özkul, M. & Kele, S. (2015). Depositional system and palaeoclimatic interpretations of Middle to Late Pleistocene travertines: Kocabaş, Denizli, SW Turkey. *Sedimentology*, 62(5), 1360-1383.
<https://doi.org/10.1111/sed.12186>
- Tunç, A., Lin, J., Pan, Y., Chen, N. & Feng, R. (2025). Proof of uranyl deposition in unconformity-related uranium deposits, Athabasca Basin, Canada: Evidence from synchrotron XAS and XPS analyses of hematite. *The Canadian Journal of Mineralogy and Petrology*, 63(1), 3–26.
<https://doi.org/10.3749/2400013>
- Üngör, A. ve Özgül, O. (2016). Otlukbeli'nde tarihî ve arkeolojik araştırmalar. *Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17, 267–289.
- Van, A. & Yağcımalp, B. (2010). Kuşçayası (Otlukbeli-Erzincan) Manganez Yatağının Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyasal Özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 34(1), 41-56.
- Wimbledon, W.A.P. (1996). National site election, a stop on the road to a European Geosite List. *Geologica Balcanica*, 26, 15-27
- Yeşilova, Ç. (2021). Potential geoheritage assessment: Dereiçi Travertines, Başkale, Van (East Anatolian Turkey). *Manas Journal of Engineering*, 9(1), 66-71
- Yılmaz, A. (1985). Yukarı Kelkit Çayı ile Munzur Dağları arasının temel Jeoloji özellikleri ve yapısal evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni (Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni)*, 28(2), 79-92.
https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/54ad60ebd1ae29c_ek.pdf?..
- You, Y., Wen, H., Luo, L., Lu, Z. & Li, L. (2023). Stable Carbon and Oxygen Isotopic Features of Banded Travertines from the Xiagei Fissure Ridge System (Shangri-La, China). *Minerals*, 13(1), Article 76.
<https://doi.org/10.3390/min13010076>
- Zaman, M., Polat, S. & Özdemir, M. (2000). Diyardin Kaplıcaları. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 6(4), 349–378.
- Zhang, J.L., Wang, H.J., Liu, Z.H., An, D.J. & Dreybrodt, W. (2012). Spatial-temporal variations of travertine deposition rates and their controlling factors in Huanglong Ravine, China-a world's heritage site. *Applied Geochemistry*, 27(1), 211–222.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.10.005>