



**Diyadin (Ağrı) Doğal Traverten Köprülerinin Jeomorfolojisi ve Oluşumları,  
Doğu Anadolu, Türkiye**

*Geomorphology and Formation of Natural Travertine Bridges in Diyadin (Agri), Eastern Anatolia, Turkey*

**Selahattin Polat<sup>1\*</sup> , İsmail Ege<sup>1</sup> **

*<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi Coğrafya Bölümü, Uşak, Türkiye*

• Geliş/Received: 14.11.2023 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 28.12.2023 • Kabul/Accepted: 23.01.2023  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 08.04.2024 • Baskı/Printed: 30.04.2024

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Bu çalışma Murat Irmağı üzerindeki ender yer şekillerinden iki doğal köprünün jeomorfolojik özellikleri ve oluşumları üzerinde etkili olan faktörleri, ayrıca bu köprüler ile ilgili başlıca problemleri, köprülerin korunmasına yönelik yapılması gereken çalışmaları ve jeomiras olarak önemini ortaya koymayı amaçlamıştır. Çok özel jeomorfolojik süreçler sonucunda oluşan doğal köprüler, Diyadin (Ağrı) İlçesi'nin güneyinde Dibekli-Mollakara-Tazekent-Davut-Göğebakan-Taşbasamak köyleri arasında Diyadin Jeotermal Alanı (DJA) olarak adlandırabileceğimiz sahada Murat Irmağı üzerinde yer almaktadır.

Sahada arazi gözlemleri yapılmış; jeolojik, jeomorfolojik ve tektonik özellikler incelenmiş, lazermetre ile alandaki traverten sırtları, konileri ve bacaları gibi traverten birikim şekillerinin özelliklerini ortaya koymaya yönelik olarak yükselteleri, uzunlukları ve genişlikleri ölçülmüş GPS ile koordinatları alınmıştır. Literatür çalışması gerçekleştirilerek, arazi çalışmalarında elde edilen sayısal verilerin doğrultusunda ArcGIS 10.8 paket yazılımı ile jeomorfoloji haritası üretilmiştir.

Murat Irmağı üzerinde Köprüçermik Köprüsü KKB-GGD yönünde 64 m uzunluğundadır. Köprünün üst kesiminde genişliği 9,5-21 m arasında değişir. Murat Irmağı, köprü altında 7 m genişliğe sahip bir yataкта akış göstermektedir. Köprüyü oluşturan travertenlerin kalınlığı giriş kısmında 15 m, çıkış kısmında ise 22 m'dir. Traverten çökeli mi köprünün giriş kısmının doğu yamaçında devam etmektedir.

Köprüçermik Köprüsü'nün kuzeyinde yöre halkının "Kudret Köprüsü" adını verdiği doğal bir köprü bulunmaktadır. Murat Irmağı doğusundaki ve batısındaki yerleşmeleri birbirine bağlayan karayolu köprüsü olarak kullanılan köprünün genişliği 30 m, uzunluğu ise 63 metredir. Köprü, KKB-GGD istikametinde uzanan traverten sırtının KKB ucuna yakın kısmında açılmıştır. Bu doğal traverten köprülerden Köprüçermik Köprüsü, dünyada oluşum bakımından ender özelliklere sahiptir. Murat Irmağı iki kenarında, tektonik hatlar boyunca yüzeye çıkan termal suların oluşturduğu farklı doğrultulardaki traverten sırtlarının önce dikey yönde yükselti kazanmaları, daha sonra ise bu sırtların karşılıklı olarak akarsu yatağı üzerinde yatay yönde gelişmeleri ile oluşmuştur. Kudret Köprüsü ise Murat Irmağı'nın traverten sırtını alttan oyması ve daha sonra genişletmesi ile açılmıştır.

Kudret Köprüsü fosil traverten köprüsü olup kısmen ilksel morfolojisini kaybetmiştir. Sahadaki diğer traverten birikim şekillerinde (koni, teras, baca, sırt gibi) olduğu gibi traverten köprüleri de doğal ve antropojenik kökenli çeşitli tehditler ile karşı karşıyadır. Diyadin Jeotermal Alanı (DJA) 'ndaki bu birikim şekilleri karstik jeomiras olarak koruma altına alınmalı ve saha jeopark alanı olarak ilan edilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Diyadin, doğal köprü, jeomiras, Murat Nehri, traverten.

**Abstract:** *This study aims to reveal the geomorphological characteristics of two natural bridges, which are among the rare landforms on the Murat River, and the factors affecting their formation, as well as the main problems related to these bridges, the work to be done for protection of the bridges, and their importance as geoheritage. The natural bridges, formed as a result of very special geomorphological processes, are located on the Murat River between the villages of Dibekli-Mollakara-Tazekent-Davut-Göğebakan-Taşbasmak in the south of Diyarın (Ağrı) District, in the area we can call the Diyarın Geothermal Area (DGA).*

*Observations were made in the field; Geological, geomorphological and tectonic features were examined, the elevations, lengths and widths of travertine ridges, cones and chimneys in the area were measured by a laser meter in order to reveal the characteristics of travertine accumulation patterns and their coordinates were taken with GPS. A literature study was carried out and a geomorphology map was produced with ArcGIS 10.8 package software based on the digital data obtained in the field studies.*

*Köprüçermik Bridge on the Murat River is 64 m long in a NNW-SSE direction. The width of the bridge varies between 9.5-21 m in the upper section. The Murat River flows in a bed with a width of 7 m under the bridge. The thickness of the travertines forming the bridge is 15 m at the entrance and 22 m at the exit. Travertine deposition continues on the eastern slope of the entrance of the bridge.*

*To the north of Köprüçermik Bridge there is a natural bridge called "Kudret Bridge" by the local people. The bridge, which is used as a highway bridge connecting the settlements east and west of the Murat River, is 30 meters wide and 63 meters long. The bridge opens near the NNW end of the travertine ridge extending in a NNW-SSE direction. Among these natural travertine bridges, Köprüçermik Bridge has features rarely seen in the world. It was formed by the travertine ridges running in different directions because of the thermal waters coming to the surface along the tectonic lines on both sides of the Murat River; first gaining elevation in a vertical direction, and then by the mutual horizontal development of these ridges on the river bed. Kudret Bridge was opened by the Murat River undercutting the travertine ridge and then widening it.*

*Kudret Bridge is a fossilised travertine bridge and has partially lost its primitive morphology. As with other forms of travertine accumulation in the area (cones, terraces, chimneys, ridges, etc.), travertine bridges also face various natural and anthropogenic threats. These accumulated forms in the Diyarın Geothermal Area (DGA) should be protected as a karst geoheritage and the area should be declared as a geopark area.*

**Keywords:** *Diyarın, Geoheritage, Murat river, natural bridge, travertine.*

## GİRİŞ

Türkiye, karstik kayaçlar bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemizin %40'ı deniz düzeyinin 100-150 m altından başlayarak 4.500 metrelere çıkan yükselti basamakları arasında yüzeylenen, çözünmeye uygun karbonatlı, sülfatlı ve klorürlü kayaçlardan meydana gelmiştir (Nazik vd., 2005). Bu kayaçların su ile reaksiyonu sonucunda lapyta, uvala, dolin, polye gibi çeşitli karstik aşınım şekilleri traverten, tufa, speleoterm, kaliş gibi karstik birikim şekilleri oluşmuştur. Karstik peyzajı batan akarsular, mağaralar, kapalı depresyonlar, kuru vadiler, doğal köprüler ve bol debili kaynaklar tamamlamaktadır. Guo ve Riding (1998) travertenleri, kalsiyumbikarbonatça zengin sıcak ve soğuk suların oluşturduğu kalsiyumkarbonatlı

kayaçlar olarak tanımlamaktadır. Traverten terimi İtalyanca'da hidrotermal çökeltileri tanımlamada kullanılan "travertino" teriminden gelir. Travertino, Roma'nın kuzeyindeki günümüzdeki Tivoli'nin (Eski Roma adı Tivertino) yakınında bulunan yoğun hidrotermal traverten yataklarını vurgulamak amacıyla söylenen Latince "Lapis Tiburtinus" (Tibur taşı) teriminin bozulmuş şeklidir (Emig, 1917; Julia, 1983; Wyatt, 1986; Pentecost, 2005). Lapis Tiburtinus sözcüğü, Latince'ye zaman içinde değişerek "Tiburtinus" ve "Tivertino" şekline dönüşmüş, İngilizceye "travertine" olarak geçmiştir. Türkçe'ye ise "traverten" olarak yerleşmiştir. Capezzuoli vd. (2014) travertenini, düzenli tabakalanmalı ve ince yapraklanmaya sahip, düşük gözeneklilik,

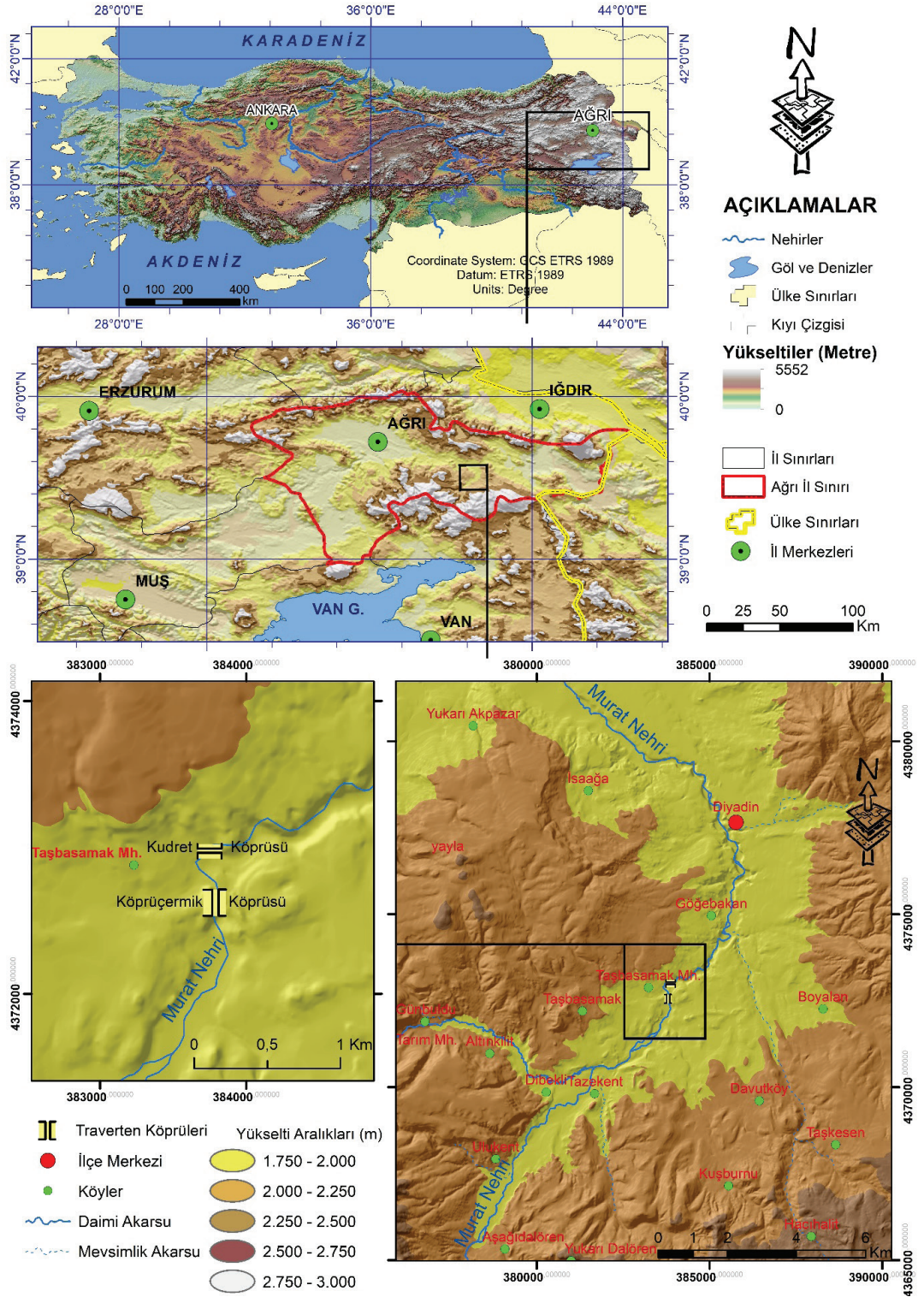
düşük geçirgenlik ayrıca inorganik kristalin yapı gösteren çökeller olarak tanımlanmaktadır. Birçok araştırmacı, soğuk su karasal karbonatlar için tufa terimini (Arenas vd., 2010; Capezzuoli vd., 2014; Toker, 2017) ve sıcak ( $> 20^{\circ}\text{C}$ ) kaynak birikintileri için ise traverten terimini kullanır (Glover ve Robertson, 2003; Capezzuoli vd., 2014; Kandemir vd., 2021).

Sutaşı, kalktuf, sinter, tufa, taşlaşmış yosun, yollu mermer olarak da anılan travertenlerin fiziksel ve dokusal özellikleri, su sıcaklığına göre farklılık gösterir. Gerek sıcak sular gerekse soğuk sular tarafından oluşturulabilir. Soğuk sular, karbondioksiti daha yavaş kaybeder. Karbondioksitin sudan ayrılmasında, buharlaşma, türbülans, farklı sıcaklıklardaki suların karışması ve  $\text{CO}_2$ 'nin biyojenik olarak uzaklaştırılması gibi çeşitli nedenler söz konusudur (Viles ve Goudie, 1990; Toker vd., 2015). Çökelim, kaynak ağzında  $\text{CO}_2$  suyu hemen terk edemediği için gerçekleşemez, çıkış yerinden kısa bir mesafe sonra çökme başlar. Sıcak sular da karbondioksit, soğuk suya nazaran daha hızlı terk eder. Sıcak suların oluşturduğu travertenler kaynak çıkış noktasından uzaklaştıkça tufa özelliği kazanabilir (Toker, 2017). Ayrıca su sıcaklık derecesinin düşmesi ortamın bitki yetişmesine uygun hale gelmesine, travertenlerin çok gözenekli ve bitki kalıpları içermesine katkıda bulunmaktadır.

Travertenler jeolojik, jeomorfolojik ve biyolojik şartların sonucunda depolanarak traverten birikim şekillerini meydana getirirler. Morfolojik görünümlerine göre travertenler; Teras (set) tipi, sırt tipi, tabaka tipi, fay önü ve kanal tipi travertenler olmak üzere beş kategoride sınıflandırılmıştır (Chafetz ve Folk, 1984; Pentecost ve Viles, 1994 Tekin ve Ayyıldız, 2001). Ayaz (2002) ise teras (set) tipi travertenler, sırt (semer) tipi travertenler, dom (koni) tipi travertenler, tabaka tipi travertenler, damar tipi travertenler, fay önü tipi travertenler, kanal tipi travertenler ve mağara travertenleri (damlataşlar) olmak üzere sekiz sınıfa ayırmıştır.

Diyadin Jeotermal Alanı (DJA)'nda birikim morfolojilerine göre traverten sırtları (sırt tipi), traverten bacaları (kuleleri), traverten konileri (koni tipi) ve traverten terasları (teras (set) tipi) gelişmiştir. DJA'da en çok traverten sırtları dikkati çeker. Arazi çalışmaları sırasında toplam 46 adet aktif ve inaktif traverten sırtı tespit edilmiştir. Detaylı araştırma ile bu sayı daha da artış gösterebilir. Tektonik yapılar ile yakın ilişkili olan traverten sırtları, özellikle genişlemeli tektonik etkinliğinin egemen olduğu bölgelerde yaygın olarak görülürler. Sırt merkezinde çatlak eksenlerinin gidişi, uzunluğu, genişliği gibi birtakım özellikler, sahayı etkileyen tektonik rejim hakkında bilgiler verir. Traverten sırtları, kıtasal yayılmanın neden olduğu yatay gerilmeyi tahmin etmek için kullanılabilir (Altunel ve Hancock, 1993a ve 1993b, 1996; Altunel, 1996; Çakır, 1999; Filippis vd., 2013; Hancock vd., 1999; Karabacak vd., 2021; Altunel ve Karabacak, 2005; Mesci vd., 2008, 2017a ve 2017b). Diyardin Jeotermal Alanı'ndaki traverten sırtlarının doğrultuları farklılık gösterir. Bu durum sahanın dönemsel olarak farklı gerilim rejimi altında olduğuna işaret eder. Bu yapılar genişleme rejiminin ürünleri olduğundan dolayı bölgesel açılma yönleri ve oranları hakkında önemli ipuçları verirler. Örneğin araştırma sahası dışında kalan Diyardin'in kuzeybatısındaki aktif haldeki Yukarı Akpazar Traverten Sırtı, alanın KB-GD yönünde sıkıştırıldığını, KD-GB yönünde genişlediğini ve Murat Irmağı'nın Ağrı-Taşlıçay arasındaki tektonik oluğa yerleştiğine işaret etmektedir.

Bu araştırma, daha önce jeomorfolojik özellikleri ve oluşumları hakkında detaylı bir çalışma yapılmamış olan Fırat Nehri'nin ana kollarından Murat Irmağı üzerindeki iki doğal köprünün jeomorfolojik özelliklerini, oluşumlarını, oluşumları üzerinde etkili olan faktörleri ve morfometrik özelliklerini açıklamayı hedeflemiştir. Ayrıca köprüler ile ilgili başlıca problemleri, korunmasına yönelik çalışmaları ve jeomiras olarak önemi belirtilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Araştırma sahası lokasyon haritası.

Figure 1. Location map of the research area.

## **ÇALIŞMA ALANININ KONUMU**

Diyadin doğal köprüleri, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Murat Bölümü'nde, Ağrı ili Diyadin ilçe merkezi güneybatısında, Diyadin'e karayolu ile 7 km mesafede Murat Irmağı üzerindedir (Şekil 1). Tendürek volkanı, sahanın güneybatısında yükselir. 39°29'38,80"-39°29'51,50"K enlemleri ile 43°38'47,06"-43°39'00,00"D boylamları arasında yer alan köprülerden ilki Köprüçermik Köprüsü'dür. Bu köprü'nün 300 m kuzeybatısında ise yöre halkının Kudret Köprüsü adını verdiği, üzerinden karayolunun geçtiği doğal köprü bulunur.

## **MATERYAL ve YÖNTEM**

Çalışma, büyük oranda arazi gözlemlerine ve incelemelerine dayalı olarak hazırlanmıştır. Öncelikle sahanın jeomorfolojik, jeolojik ve tektonik özellikleri araştırılmış, termal kaynakların çıkış yerleri tespit edilmiş, sıcaklık değerleri ölçülmüş, lazermetre ile traverten sırtlarının, konilerinin ve bacalarının uzunlukları, genişlikleri ve yükseklikleri tespit edilmiştir. Yöre ile ilgili literatür çalışması gerçekleştirilmiş ve arazi çalışmalarıyla da desteklenmiştir. Bunun yanında J51A03A, J51A03B, J51A03C, J51A04A ve J51A04C ortofotolarından yararlanılmıştır. Alandaki traverten sırtlarının, konilerinin, bacalarının ve köprülerinin özelliklerini ortaya koyabilmek için el tipi GPS ile ölçümler yapılmış, elde edilen veriler CBS yöntemi (ArcGIS 10.8) kullanılarak çeşitli haritalar üretilmiştir. MTA'nın 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarından, Burçak vd. (1997)'nin yaptığı çalışmalardan hareketle sahanın jeoloji haritası oluşturulmuştur. Aynı zamanda köprülerin genel morfolojisini ortaya koymaya yönelik klinometre, yerbilimci pusulası, lazermetre ve şerit metre gibi aletlerden de istifade edilmiştir.

## **SAHANININ BAŞLICA FİZİKİ COĞRAFYA ÖZELLİKLERİ**

Çalışmanın bu kısmında yörenin tüm fiziki coğrafya özelliklerinden daha ziyade, traverten köprülerinin oluşumu ve özellikleri üzerinde rol oynayan başlıca hidrografik, jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri ele alınmıştır.

### **Hidrografik Özellikler**

Diyadin Jeotermal Alanı (DJA) Gögebakan, Taşbasamak, Dibekli, Mollakara, Tazekent ve Davut köyleri arasını kapsamaktadır. Alanda Köprüçermik (45-50 °C, 50 l/s), Yılanlı Çermik (38-40 °C), Tazekent Çermiği (42-44 °C), Kireçtepe Çermiği (65,5 °C), Dibekli Çermiği (40-45 °C), Hıdır Çayıırı kaynakları (35-45 °C), Mollakara kaynakları (44-68 °C, 30 l/s), Şavalet kaplıcası ve Gelereş kaynakları (33-63 °C) gibi çok sayıda termal su çıkışı görülmektedir. Genel olarak su sıcaklığı Tendürek Dağı'na doğru artar (Mutlu vd., 2013). Sulardaki silikat çözünürlüğünün kalsedon fazı tarafından denetlendiği varsayılarak uygulanan kalsedon jeotermometresi ile rezervuar sıcaklığın 88-121 °C aralığında olduğu hesaplanmıştır (Mutlu vd., 2013). Murat Irmağı'na drene olan termal kaynak suların debileri 0,5–100 l/s arasında değişir (Pasvanoğlu ve Güler, 2010). Derinlere doğru sızan yağış suları jeotermal gradyan ve volkanizmaya bağlı olarak ısınmakta, tektonik yapılar aracılığıyla yüzeye çıkmaktadır. Mineralli su kaynakları, traverten sırtlarının birbirine yaklaştığı veya kesiştiği yerlerde, sırtların uç kısımları ve üzerinde çıkışını sürdürmektedir.

1998-1999 yıllarında MTA tarafından 6 adet, 77-215 m arasında derinliğe sahip jeotermal kuyular açılmış, 62-78 °C sıcaklığa, 6-150 l/s arasında değişen ve toplam 750 l/s debiye sahip akışkan elde edilmiştir (Eltez vd., 2001; Pasvanoğlu ve Güler, 2010). Daha sonra Diyadin Jeotermal A.Ş., 265 m derinlikte sondaj yapmış ve 80 °C sıcaklığında akışkan elde etmiştir. Açılan kuyuların hepsi artezyen yapmaktadır.

Sıcak sular Tendürek Dağı volkanizması ile ilişkili olduğu için çok yüksek oranda CO<sub>2</sub> (7000 ppm) ve H<sub>2</sub>S gazı içerir (Burçak vd., 1997; Eltez vd., 2001; Hepbaşlı vd., 2004; Pasvanoğlu ve Güler, 2010). Özellikle Davut Çermiği'nin 1 km kadar doğusunda zehirli gaz çıkışları fazla miktarda olduğundan çok sayıda evcil hayvan telef olmuştur. Mevcut termal tesislerdeki havuzların üzeri insanların zehirlenme ihtimaline karşı da açık bırakılmıştır.

Termal sular, Diyadin'deki konutların ısıtılmasında (kamuya ait binalar), seracılık faaliyetlerinde ve sağlık alanında değerlendirilmektedir (Zaman vd., 2001). 2001 yılında, 100 ton/gün üretim kapasitesi ile Türk-Alman ortak girişimi ile sıvılaştırılmış CO<sub>2</sub> ve kurubuz üretecek bir tesis kurulmuş ancak jeotermal kaynaklar içindeki yüksek kükürttü seyreltecek sistemin oluşturulamaması nedeniyle tesis taşınmıştır.

### Jeolojik Özellikler

Sahanın temelinde Paleozoyik'e ait şist ve mermer gibi metamorfik kayalar yer alır. Taşbasamak, Altinkilit, Dibekli ve Ulukent köyleri çevresinde yayılış gösterir (Şekil 2). İnce-orta kalınlıktaki şistler, gri-yeşilimsi, gri-yeşil-yeşilimsi ve kahverengi tonlara sahiptir. Mermerler gri, koyu gri, beyazımsı gri ve beyaz renklindedir. Mermerler, kalın tabakalı alt seviyeleri kalkıştı ara katkılıdır. Dolomitik bileşime sahip olup, kalsit damarlıdır. Yaklaşık 200 m kalınlıktadır (Keskin, 1998) güneyde Mollakara-Ulukent arasında mostra verirler. Taşbasamak batısında geniş yüzeylenime sahiptirler.

Metamorfikler üzerine uyumsuz olarak Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkano-sedimenter istif gelir. Birim karasal-gölsel ortamda çökelen sedimenter ve bunlarla yaşıt volkanizma

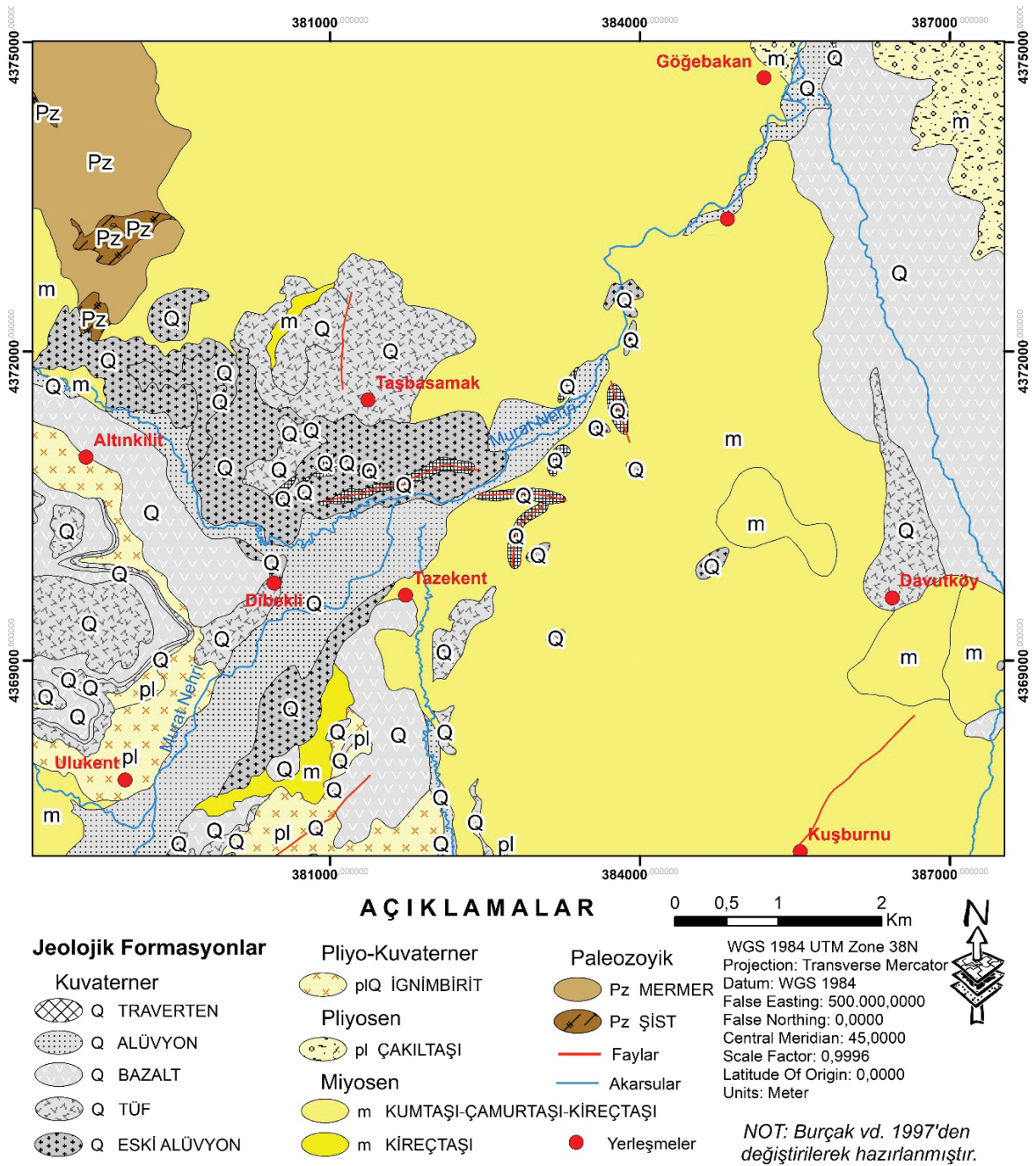
ürünlerinden ibaret olup, konglomera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, mikritik kireçtaşı, breşik kireçtaşı, marn, şeyl, kiltası, tuf, tüfit, bazalt, andezit ve ignimbrit ile temsil edilir. Birbiriyle yanal ve düşey yönde geçişlidirler. Konglomeralar sarımtırak renkte, sıkı çimentolu, yuvarlaklaşmış mermer, kuarsit, magmatik kayaç çakıllarından oluşur. Boyalı ve Tazekent çevresinde aflöre olur. Tuf, tüfit, kiltası, marn ve kumtaşı Tazekent, Kuşburnu, Dibekli kuzeyinde yüzeylenir. Burada en geniş alana sahip litolojik birim kireçtaşlarıdır. Taban kesimlerde kumlu kireçtaşı ve marnlı seviyeler, kiltası ve tüfit içeren birim, tabakalı kireçtaşlarından ibarettir (Burçak vd., 1997).

İnce kireçtaşı ara tabakalı tuf ve tüfitler, geniş bir alanda yüzeylenir. Tüfler, beyaz renkli, dasit ve andezit bileşimlidir. Tüfitler, yeşilimsi renge sahiptir. Tabakalı bir görünüm arz ederler. Alt seviyelere doğru ince kireçtaşı tabakaları içerir.

Andezit, bazalt, tuf, ignimbrit ve piroklastik kayalardan oluşan Pliyo-Kuvaternere ait volkanik birimler ise termal kaynakların doğusunda yayılış gösterir. İgnimbritler, Taşbasamak, Dibekli, Ulukent çevresinde açığa çıkmıştır. Siyah ve koyu kahve renkli olan ignimbritler 20 m kalınlığındadır.

Bazaltlar, Ulukent civarında mostra verir. Plato bazaltı şeklinde düzlük oluşturur. 40 metre kadar kalınlığa sahiptir (Burçak vd., 1997). Siyah renkli, boşluksuz, sıkı ve camsı dokudadır. Çok yaygın yüzeylenmeye sahip olmayan andezitler, Dibekli kuzeyinde bulunur. K-G yönlü çizgisel bir çıkış hattına sahiptir (Burçak vd., 1997).

Kuvaterner yaşlı arazileri, volkanitler (piroklastikler ve bazaltlar), alüvyonlar ve travertenler oluşturur. Piroklastik kayalar volkanik blok, kül, lapilli, volkan bombası ile temsil edilir. Davut Köyü güneyinde yer alan Kale Tepe (2142 m) konisinin batı yamacında açılmış ocakta piroklastikleri görmek mümkündür.



Şekil 2. Diyadin jeotermal alanının jeoloji haritası (Burçak vd., 1997'den).

Figure 2. Geological map of Diyadin geothermal area (after Burçak et al., 1997).

Bazaltlar, Diyadin yerleşmesi ve çevresinde Murat Irmağı'nın oluşturduğu kanyon vadinin yamaçlarında izlenmektedir (Zaman vd., 2000). Bu kayalar siyah ve gaz boşlukludur. Diyadin

ilçe merkezinin 5 km kuzeyine kadar dar bir şerit halinde yüzeylenir. KB-GD yönünde uzanan bir hat boyunca bazaltlar çıkış gösterir.

Alüvyonlar, Murat Irmağı vadisi boyunca yüzeylenir. Kum, çakıl, blok, kil, silt malzemesi çimentosuz şekilde yığılma yapmıştır. Murat Irmağı'nın gömülmesi sonucunda akarsuya paralel olarak iki taraça seviyesi gelişmiştir. Tazekent güneyinde taraça seviyelerini görmek mümkündür. Diyadin kuzeyinde Ağrı-Doğubayazıt karayolu taraça üzerinden geçmektedir.

Pliyo-Kuvaterner zamana ait travertenler çoğunlukla beyaz ve bej renkli olup kükürtlü seviyeler içermektedir. Travertenin çökelişi devam etmektedir. Alüvyonlarla yanal ve düşey geçişli olan travertenlerin görünür kalınlığı maksimum 53 m olarak ölçülmüştür. U/Th yaş analizleri sonucunda inceleme alanında yer alan traverten sırtlarının yaşları 10.011 ( $\pm 24.655$ ) ile 125.076 ( $\pm 9.387$ ) yıl arasında değiştiği belirlenmiştir (Sürmeli, 2014).

DJA, neotektonik hareketlerin yoğun olduğu bir kuşak üzerinde yer alır. Sahada KB-GD ve K-G yönlü sıkışmaya bağlı olarak doğrudan atımlı faylar ve beraberinde açılma çatlakları gelişmiştir. Bu faylar, jeotermal alanlardaki hidrotermal akışkanların yukarıya doğru taşınmasına yardımcı olurlar. Traverten oluşturan suların yüzeye çıkmaları için "suyolu" görevi görürler, geçirgenliği artırır, aşırı basınçlı hidrotermal suların dolaşımında ve yükselmesinde önemli rol oynarlar (Sibson, 1996; Hancock vd., 1999; Barbier, 2002, Bögli ve Capezzuoli, 2009; Altunel, 2015; Brogi vd., 2010). Bu tektonik yapılar boyunca yükselen termal suların, çıkış yaptığı yerlerde traverten sırtları gelişme imkânı bulmuştur. Alandaki sırtlar neotektonik yapıları işaret edecek şekilde KD-GB, KKB-GGD, KB-GD ve BKB-DGD yönünde uzanırlar (Şekil 3 ve 4).

Alandaki termal sular ve gaz çıkışları ile traverten birikimleri bu tektonik yapılarla ilişkilidir. Aşırı tektonik hareketlere maruz kalmış olan metamorfik formasyonlar geniş ölçüde deforme olmuş ve iyi gelişmiş kırık ağı ortaya

çıkıştır. Traverten çökeltileri ya kırılma izleri boyunca ya da normal fayların asılı duvarlarında ya da genişleme çatlakları boyunca bulunur (Hancock vd., 1999).



**Şekil 3.** Tazekent köyü kuzeyinde traverten sırtı ve 5 m genişliğinde merkezi açılma çatlakları.

**Figure 3.** Travertine ridge and opening crack which is wide of 5 meter in central northern of Tazekent village.



**Şekil 4.** Yılanlı Çermik güneyinde, kuzey-güney doğrultusunda uzanan traverten sırtı ve üzerindeki açılma çatlakları. Sırt kuzeyde 17 m yükseklikte 40 m genişliğe sahiptir (Fotoğraf güneyden kuzeye doğru çekilmiştir).

**Figure 4.** Travertine ridge running in a north-south direction south of Yılanlı Çermik with an opening crack on it. The ridge is 17 m high in the north and 40 m wide (photo taken from south to north).



## Jeomorfolojik Özellikler ve Traverten Birikim Şekilleri

DJA, Tendürek volkanik kütesinin kuzeybatısında Murat Irmağı ve kolları tarafından yarılmış plato özelliği taşır. Alanda, 1900-2200 metreleri arasında En Alt Pleyistosen'e ait aşınım yüzeyi uzanır. Sahanın sularını drene eden Murat Irmağı, güneydeki Aladağ ve Tendürek volkanik dağlarından başlangıç kaynaklarını alır. Eğimin azalmasına bağlı olarak Tazekent-Dibekli yerleşmesi civarında yaklaşık 1950 m yükseltilerinde 800 metre genişliğinde alüvyal tabanlı bir vadide örgülü drenaj ağı oluşturarak akar.

Tazekent köyü kuzeyinde doğu ve batıda gelişmiş olan traverten sırtlarından dolayı vadi daralır. Traverten depoları, akarsu taşkın yatağında ilerleyerek nehrin yönünü değiştirme potansiyeline sahip olabildiği gibi akarsu yatağını da sınırlandırabilmektedir (Zentmyer vd., 2008). Ancak ırmak, sırtların vadiyi kapatmasına izin vermemiştir. Kuzeyde tekrar vadi tabanı genişleyerek 500 metreye kadar ulaşır. Örgülü drenaj ağı, Köprüçermik batısına kadar devam eder. Akarsuya, doğudan ve batıdan toplam 150 l/s debiye sahip termal sular katılır (Şekil 5).

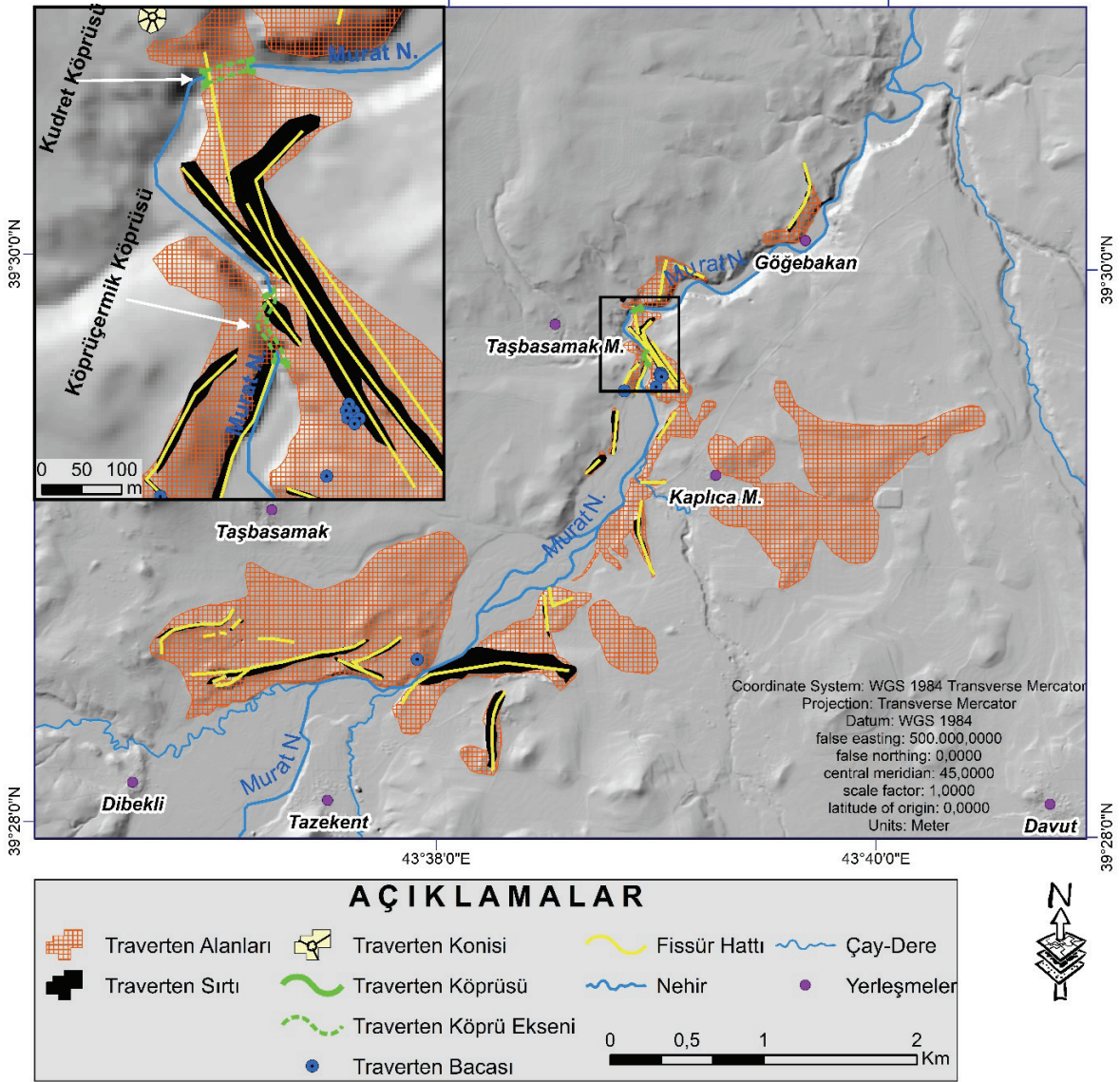
Vadi kenarında yer alan traverten sırtları, Köprüçermik Köprüsü'ne girmeden önce akarsuyu tek yatakta akmaya zorlamıştır (Şekil 6). Murat Irmağı, önce Köprüçermik Köprüsü altından geçer. Köprüden çıktıktan sonra traverten yapılı kanyon vadide KB-GD yönünde 300 m akış gösterdikten sonra ani dönüş yaparak KD'ye yönelir ve Kudret Köprüsü'nün altına girer. Irmak, Kudret Köprüsü çıkışından itibaren Değirmen Dere'nin katıldığı yere kadar yaklaşık 50 m derinliğinde gömük menderesli vadiye sahiptir. Diyardin yakınlarında bazaltlardan oluşan kanyon vadide akış gösterir.



Şekil 5. Yılanlı Çermik yakınlarında Murat Irmağı'na karışan  $\text{CaCO}_3$  bakımından zengin termal sular.

**Figure 5.**  $\text{CaCO}_3$ -rich thermal waters flowing into the Murat River near Yılanlı Çermik.

Murat Irmağı, traverten örtülü sahayı iki kısma ayırır (Şekil 6). Akarsu vadisi doğusunda ve batısında sırtların yükseklikleri, genişlikleri ve uzunlukları farklıdır. DJA'da toplam 46 adet aktif ve inaktif traverten sırtı tespit edilmiştir. Sırtların genişlikleri 10-150 m, uzunlukları ise 35-1185 m arasında değişir. Dibekli köyü kuzeydoğusundaki, DKD-BGB doğrultulu sırt 1185 m uzunluğundadır. Bu sırt, kuzeyden taşınan alüvyonları önleyerek bariyer görevi görmüştür (Şekil 7A). Sırtın alüvyonlarla olan kontakt kısmında dolinler ve düdenler gelişmiştir. Düdenlerden geçen sular, sırtın diğer tarafında resürjans kaynağı şeklinde yüzeye çıkarlar. Murat Irmağı vadi tabanına yakın yerde yüzeylenen travertenler içinde gelişmiş iki adet çökme dolini de dikkat çekmektedir. Köprüçermik kaynakları yakınında olduğu gibi 150 m genişliğinde bir alanda KB-GD yönünde paralel olarak uzanan birbiriyle kaynaşmış çok sayıda (5 adet) traverten sırt grubu da bulunmaktadır. Sırtların büyük bir kısmı inaktif halde ve morfolojik özelliklerini kaybetmiş durumdadır. Gögebakan-Taşbasamak köylerini birbirine bağlayan karayolunun Kudret Köprüsü kuzeyindeki yarmada morfolojisini kaybetmiş ancak çatlak dolgusu sayesinde seçilebilen traverten sırtlarının örneklerini görmek mümkündür.

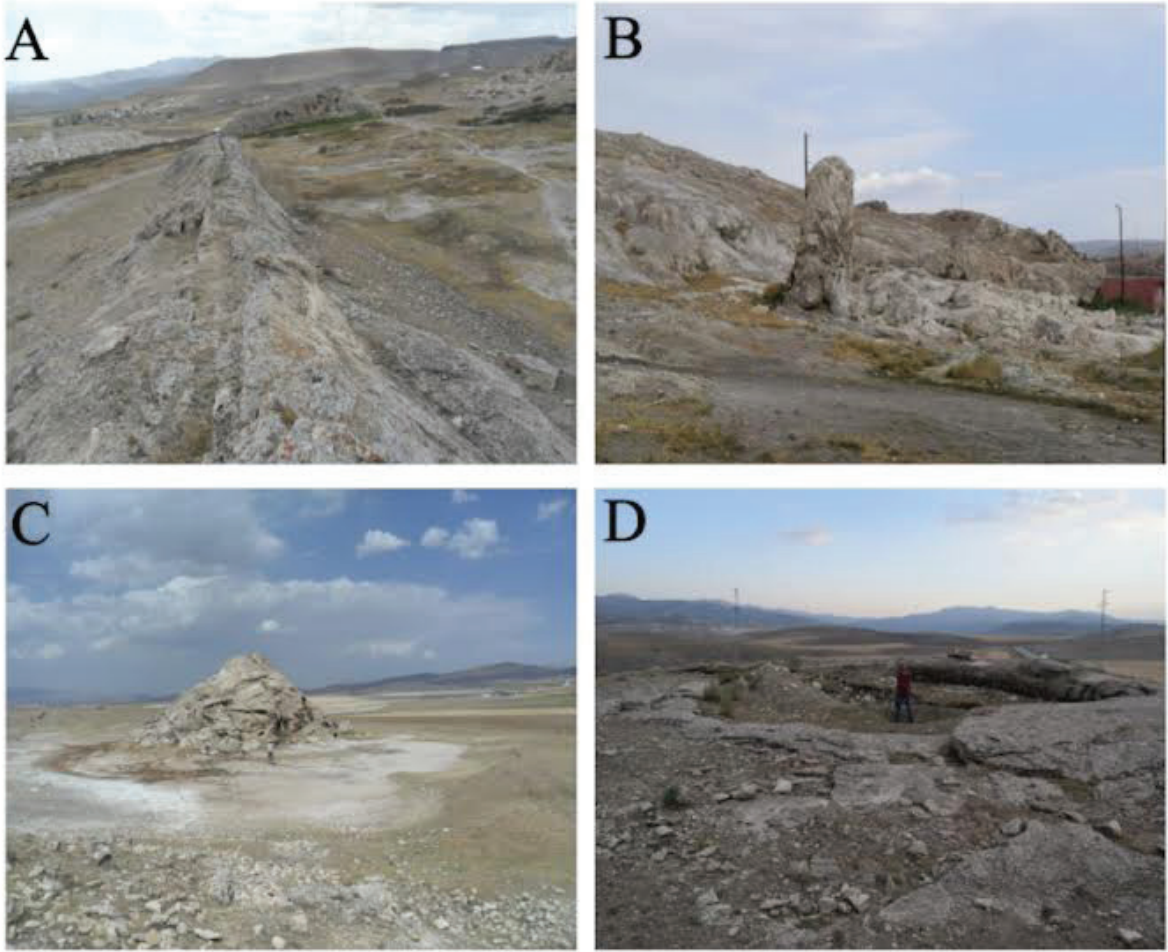


Şekil 6. DJA'nda traverten birikim şekilleri ve traverten köprüleri.

Figure 6. Travertine accumulation patterns and travertine bridges in DGA.

Basınçlı termal suların eseri olan traverten bacaları, Köprüçermik kaynakları ve çevresinde ayrıca Tazekent Çermiği batısında görülür (Şekil 7B ve C). Tazekent Çermiği batısındaki bacanın yüksekliği 5,5 m'dir. Köprüçermik kaynakları yakınındaki bacalar aktiftir. Sahadaki bacalardan bazıları sırt merkezi çatlağının tıkanması veya su çıkışının noktasal hal alması nedeniyle traverten sırtları üzerinde gelişme imkânı bulmuştur.

Eğim değerinin az olduğu yerlerde yüzeye çıkan kaynakların ağız kesimlerinde gelişen traverten konilerinin (Polat ve Ege, 2018) sayısı ise çok azdır. Kudret Köprüsü kuzeybatısında karayolu kavşağında bulunan inaktif haldeki koni oldukça tipik özelliğe sahiptir (Şekil 7D).



**Şekil 7.** Diyadin Jeotermal Alanı'nda (DJA) traverten birikim şekilleri, (A) Traverten sırtı, (B) Traverten bacası, (C) Traverten konisi, (D) Traverten konisi

**Figure 7.** Travertine accumulation landforms in Diyadin Geothermal Area (DGA), (A) Travertine ridge, (B) Travertine chimney, (C) Travertine cone, (D) Travertine cone

## DÜNYADA DOĞAL KÖPRÜLER ve OLUŞUMLARI

İnsanların ilgisini ve merakını her zaman çekmiş olan karstik doğal köprüler ve tüneller hakkında yapılan araştırmaların sayısı son yıllarda hızla artmıştır (Miller ve Donovan, 1999; Bayari, 2002; Zeybek, 2004; Karadoğan ve Yıldırım, 2008; Polat, 2011a; Delikan ve Mert, 2019; Aylar vd., 2020; Aylar vd., 2022). Bilimsel çalışmalarda karstik tünel ile karstik köprü terimi kullanımında ayrıma gidilmemiş, aynı anlamda kullanılmıştır. Bu iki

şekil oluşum bakımından birbirinden farklıdır. Gavrilovic (1998) gibi bazı araştırmacılar, bu konuda matematiksel öneride bulunmaktadır. İncelediği tünel ve doğal köprülerin yüksekliği ve genişliği arasındaki ilişkiyi analiz etmiş, doğal köprülerde oranın 1:0,5- 1:2,5 arasında olduğunu ve istisnai olarak 1:10'a kadar oranın olabileceği sonucuna varmıştır. Doğal tünellerde ise bu oranın daha büyük olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte bu tanım jenetik olarak onaylanmamıştır. Doğal köprüler ile tünelleri ayırt etmek için kullanılan matematiksel yöntemi uygulayarak, boyutlarda

küçük farklılıklar gösteren oluşum olarak aynı iki özelliğin farklı formlar olarak sınıflandırıldığı ortaya çıkabilmektedir (Calic-Ljubojevic, 2000). Karstik tüneller, mevcut formasyon içinde suyun aşındırıcı etkisi ile meydana gelirler. İçinde açıldığı litolojilerden daha gençlerdir. Doğal köprüler ise akarsu vadileri üzerinde birikim sonucu meydana gelirler, aralarında boyutsal olarak farklılık vardır. Genel olarak tünellerin köprülere nazaran daha uzun olduklarını söylemek mümkündür.

Doğal köprülerin ve tünellerin oluşumu hakkında farklı mekanizmalar ileri sürülmüştür. Bunlardan birincisi, ince bir kireçtaşı sırtından akan bir nehrin sırtı yaramadığı, ancak temasta bulunduğu yerde düdenden batıp diğer tarafta yeniden çıktığı durumlarda meydana gelirler. Sırttaki düdende akışımı sürdüren akarsu, zamanla yeraltı kanallarını genişletir ve kalan kısımda açılmaya devam eder. Petrovic (1969) tarafından bu mekanizma “yerel batma” olarak adlandırılmıştır. Cvijic (1918) tarafından ileri sürülen görüş ise tavanı yıkılan bir mağaranın varlığına dayanır. Mağara tavanının yıkılmaktan kurtulan kısımları, doğal köprüyü meydana getirir (Jennings, 1985; Field, 2002; Huggett, 2011). Doğal köprüler, akarsu yataklarındaki yatak çukurlarının (pothole) zamanla taban kesiminde genişleyip birleşmesi sonucunda da oluşabilmektedir (Polat ve Deniz, 2017; Aylar vd., 2020; Aylar vd., 2022). Köprülerin oluşumu ile ilgili diğer bir görüş ise akarsuların birbirini korsanlık yoluyla kapması şeklinde açıklanmaktadır. Bu mekanizmada bir menderes kıvrımının bir veya her iki yanında yer alan menderes mağaralarının aralarındaki sırtı yarıdıkları yerlerde meydana gelmektedir (Cleland, 1910; Huggett, 2011).

ABD Virjinya Cedar Creek (Rockbridge), Slovenya’daki Rakov Skoecjan geçitleri, Ulster’deki Marble Arch geçidi, Guizhou’daki Yijiehe Nehri ve Río da Xiao Cao Kou geçidi, Peruacu geçidi, Brezilya’da Rio Peruac akarsuyu

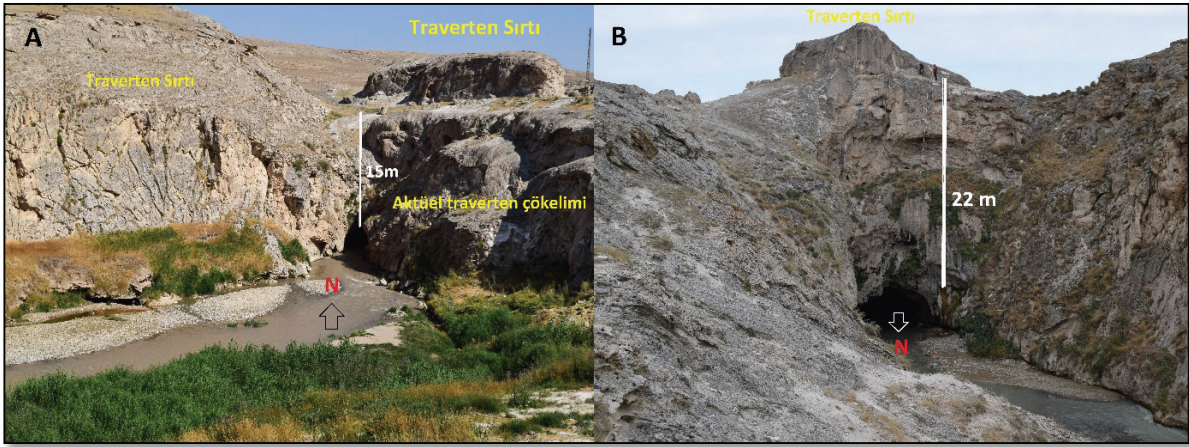
üzerinde Minas Gerais, Sirbistan’da Mala Vratna, Velika Vratna, Suva Vratna, Samar, Valja, Osinaca, Rajaska, Çin’de Guizhou, Türkiye’de Delikkaya (Tokat), Birkleyn (Lice-Diyarbakır), Kayadelen (Varto-Muş), Kayabaşı (Ulus-Bartın), Yerköprü (Vezirköprü-Samsun) (Zeybek, 2004; Ford ve Williams, 2007; Karadoğan ve Yıldırım, 2008; Polat, 2011a; Petrovic ve Carevic, 2015; Antic vd., 2020; Aylar vd., 2020; Aylar vd., 2022) dünyadaki bilinen başlıca köprü ve tünellerdir.

Akarsu vadilerinde travertenlerin çökelişi veya aşınımı sonucunda da doğal köprüler oluşabilmektedir. Bu tip köprüler, nadir oluşuma sahip flüviyo-karstik kökenli şekillerdir. Semuc Champey (Guatemala), Gokteik, (Burma), Pontna Dieu, Auvergne ve Provence (Fransa), Tonto (Arizona-ABD), Fremont (Wyoming-ABD), Puente del Inca (Arjantin), Yauli Irmağı (Peru), Zesta Nera (Yunanistan), İmi n’Ifri (Azilal-Fas) (Pentecost, 1995; Ford ve Pedley, 1996; Bayari, 2002; Gunn, 2004; Lazaridis vd., 2005; Lannutti vd., 2020) başlıca traverten köprülerine örnektir.

Anadolu’da doğal köprü ve tüneller çoğunlukla “Yerköprü” olarak adlandırılmaktadır. Nitekim Zamantı Irmağı, Göksu Irmağı, Yıldız Irmağı (Sivas), Karagöz Deresi (Pınarbaşı-Kayseri), Karaisalı Çayı (Karaisalı) üzerinde buldukları ortaya konulmuştur (Atiker, 1991; Bayari, 2002; Polat, 2011b; Polat, 2018, Zeybek, 2015).

## **DİYADİN DOĞAL TRAVERTEN KÖPRÜLERİ ve ÖZELLİKLERİ**

Traverten köprüleri, dünyada örneği az sayıda olan nadir yer şekilleridir (Lazaridis vd., 2005; Delikan vd., 2019). Diyardin ilçe merkezine 7 km uzaklıkta Murat Irmağı üzerinde birbirine yakın konumda iki doğal köprü gelişmiştir. Bunlar Köprüçermik ve Kudret doğal köprüleridir.



**Şekil 8.** Köprüçermik Köprüsü'nün (A) Giriş ağız bölümü (Fotograf güneydoğudan kuzeybatıya doğru çekilmiştir), (B) Çıkış ağız kesimi (Fotograf kuzeyden güneye doğru çekilmiştir).

**Figure 8.** Köprüçermik Bridge. (A) Entrance mouth section (Photo taken from southeast to northwest), (B) Exit mouth section (Photo taken from north to south).

### Köprüçermik Köprüsü

Köprüçermik termal kaynakları yakınında bulunduğu için bu isim verilmiştir. Köprü, KB-GD yönünde 64 m uzunluğundadır. Tamamen travertenlerden yapılmış köprünün girişinde traverten kalınlığı 15 m, çıkışında ise 22 m'dir (Şekil 8A ve B). Akarsu yatak genişliği, giriş kısmında 9,5 m, çıkışta ise 21 m'dir. Akımın düşük olduğu dönemde (özellikle yaz sonu-sonbahar başı) köprünün alt kısmı, akarsu yüzeyinden 4 m yukarıda kalmaktadır. Köprü altında sarkıtlar gelişmiştir. Traverten çökelişi, köprü giriş kısmı doğu yamacında aktif haldedir.

Köprünün üstü KB-GD yönünde uzanan GD'ye doğru eğimli oluk şeklindedir. Köprü üstünde, Taşbasamak köyünü Köprüçermik'e bağlayan stabilize karayolu ile köprü arasında 68 m uzunluğunda nispi yüksekliği 6 m'yi bulan aktif bir sırt yükselir. Sırtın güneydoğu yönünde uzandığını termal kaynakların bir hat boyunca sıralanmasından anlaşılmaktadır. Köprünün oluşumunda en fazla etkiye sahip olan bu sırtın üzerindeki fissür net şekilde izlenmektedir. Merkezi sırt çatlağının düşey konumda olmaması sırtı oluşturan suların batı yönünde daha çok akış yaptığını işaret etmektedir.

Köprünün batısında KD-GB doğrultusunda birbirine paralel, pasif haldeki iki adet traverten sırtı doğudaki sırtı verev olarak uzanmaktadır. Sırtlardan doğuda olanın uzunluğu 220 metredir. Sırtın doğu kanadı Murat Irmağı tarafından aşındırılarak ortadan kaldırılmış, merkezi çatlağı oluşturan dolgu tabakaları ortaya çıkmıştır. Batıdaki sırtın uzunluğu ise 52 m olup 16 cm genişliğinde merkezi çatlağa sahiptir. Sırt kanatlarındaki traverten katmanlarının eğimi 10-43° arasında değişir. Aktif olmayan sırt üzerinde merkezi çatlağın tıkanması nedeniyle noktasal kaynak çıkışlarına bağlı olarak fosil traverten bacaları sıralanır.

### Kudret Köprüsü

Murat Irmağı, Köprüçermiği Köprüsü'nden çıktıktan sonra 300 metrelik mesafe boyunca travertenlerden yapılmış kanyon vadide akar. Akarsu, doğusundaki traverten sırtının denetiminden dolayı önce kuzeybatıya doğru akışını sürdürür. Sırtın bittiği yerden itibaren ani bir dönüş yaparak kuzeydoğuya yönelir ve yöre halkının "Kudret Köprüsü" olarak adlandırdığı, üzerinden Taşbasamak-Diyadin karayolunun geçtiği doğal köprüye girer. Köprü, maksimum 12 m kalınlığa

sahip travertenler içinde açılmıştır. Girişte akarsu yatak genişliği 10 m olup, düşen kaya blokları ile kapalıdır (Şekil 9A). İrmak, 30 metrelik bir mesafe boyunca D-B yönünde köprü altından akış gösterir. K-G yönünde 65 m, D-B yönünde 63 m boyutlarındaki köprü, üstten akarsu düzeyine doğru yatay kesit alanı büyüyen mağara şeklinde bir morfolojiye sahiptir. Köprünün altı, cilalı yüzey halinde olup sarkıt ve dikitlerden yoksundur. Köprü çıkış ağız 30 m genişliğindedir. Çıkışa doğru akarsu seviyesi ile köprü alt seviyesi arasındaki mesafe 1 m'ye kadar düşer (Şekil 9B). Köprü çıkış ağız açıklığı yeterince geniş olmadığından, debinin fazla olduğu sezonda (Mayıs-Haziran) suyu tahliye edememektedir. Nitekim yöre halkı köprü gerisinde zaman zaman göllenmenin olduğunu dile getirmektedir. Köprü, KKB-GGD yönünde uzanan traverten sırtının KKB ucuna yakın yerde gelişmiştir. Merkezi çatlak dolgusu sayesinde 80 metrelik bir mesafe boyunca sırt topografyada takip edilebilmektedir. Sırtın güney-güneydoğu kısmı ise belirgin değildir. Sırtın batı kanadı Murat Irmağı vadisi yamacına isabet eder iken doğu kanadı karayolu dolguları nedeniyle belirgin değildir. Ayrıca paralel olarak uzanan diğer traverten sırtları ile kaynaşmış olmasının da bunda etkisi vardır. Sırt çatlağının genişliği 16 cm'dir. Batı kanatta traverten tabakaları güneybatıya 5°-35° eğimlidir. Sırt, yaklaşık 800 m<sup>2</sup> alana sahiptir.

## TARTIŞMA

Nadir traverten birikim şekillerinden olan traverten köprülerinin gelişmesi için kalsiyumbikarbonat bakımından zengin yeraltı suyunun varlığının yanında, vadi geometrisi ve kaynağın konumu önemlidir. Çünkü köprülerin geliştiği vadilerde traverten çökeli mi ile akarsu aşındırma faaliyeti arasında mücadele vardır. Akarsu aşındırması traverten birikiminden fazla olduğu takdirde köprü oluşumu sekteye uğrar. Bu sebeple kaynak seviyesinin akarsu yüzeyinden yukarıda olması gerekmektedir (Bayarı, 2002). Köprü oluşuktan sonra da aşındırma faaliyeti ile traverten çökeli mi

arasındaki rekabet devam eder. Akarsu köprüyü alt kesimden aşındırarak traverten çökeli minin belli bir seviyeye kadar sürmesine izin verirken aynı zamanda köprünün tıkanmasını da önler. Aksi takdirde köprü fonksiyonunu kaybedebilir. Kireçli kaynakların bıraktığı traverten deposunun karşı yamaca yanal yönde ulaşabilmesi için vadi yeterince dar olmalıdır (Bayarı, 2002). Travertenlerin karşı yamaca ilerlemesi tek yönlü olabileceği gibi karşılıklı olarak gelişmeleri ve birleşmesi ile de (iki yönlü gelişme) olabilmektedir (Pentecost, 2005).

Köprüçermik Köprüsü oluşum mekanizması açısından dünyadaki diğer köprülerden çok farklı özelliklere sahiptir. Köprüçermik Köprüsü, traverten sırtlarının karşılaştığı alanda bulunur. Burada KKD-GGB ve KB-GD doğrultusunda uzanan traverten sırtlarının Murat Irmağı üzerinde birbirine doğru ilerlemesi ve birleşmeleri sonucunda meydana gelmiştir. Zamantı Irmağı üzerindeki doğal köprülerde ise tek yönlü gelişme söz konusudur. Sahadaki traverten sırtları, geniş tabanlı vadide örgülü drenaj ağı oluşturarak akan Murat Irmağı'nın bir yatakta toplanmasına aynı zamanda kanyon vadi oluşumuna yardımcı olmuştur. Aksi takdirde bu kadar geniş bir yatak üzerinde köprünün oluşması mümkün değildir.

Zamantı ve Göksu ırmakları üzerindeki traverten köprüleri Mesozoyik zamana ait anakaya içinde açılmış kanyon vadinin yamacında yüzeye çıkan kaynağın çökelttiği tufaların, karşı yamaca doğru ilerlemesiyle meydana gelmiştir. Köprüçermik Köprüsü'nün bulunduğu vadi ise akarsuyun derine doğru aşındırması sonucunda meydana gelmiş değildir. Vadi taban düzlüğünde tektonik hatlar boyunca çıkan suların üst üste traverten sırtları oluşturacak şekilde birikip yükselmesi sonucunda kanyon vadi profilini kazanmıştır. Zamanla sırtlar üzerinde traverten çökeli minin artmasıyla vadi derinliği artmış, akarsu aşındırmasının ulaşamadığı ve termal suları seyreltmediği sırt yamacının üst kısmında traverten çökeli mi devam etmiştir.



Şekil 9. Kudret Köprüsü (A) Girişi ağızı (traverten kalınlığı 12 m). Doğal köprünün boyu kaya düşmelerine bağlı olarak kısalmaktadır, (B) Kudret Köprüsü çıkış ağızı.

Figure 9. Kudret Bridge. (A) Entrance mouth of Kudret Bridge (travertine thickness 12 m). The length of the original natural bridge is shortened due to rock falls at the entrance mouth, (B) Kudret Bridge exit mouth.



Şekil 10. Taş ocaklarında traverten sırtlarının enine kesitleri. Bunlardan biri Tazekent köyü güneyinde ve diğeri ise Dibek köyü kuzeydoğusunda traverten ocağı yarmalarıdır. Merkezi açılma çatlaklığı, tali çıkış kanalları ve kanatlardaki boşluklar görülmektedir

Figure 10. Cross sections of travertine ridges in quarries. One travertine quarry splits south of Tazekent village, and the other quarry northeast of Dibek village. The central opening fracture, secondary exit channels and gaps in the flanks are visible.

Yatak kenarında bulunan doğrultuları farklı traverten sırtlarının Murat Irmağı üzerini zamanla kapatmasıyla Köprüçermik Köprüsü oluşmuştur. Köprüçermik Köprüsü'nü oluşturan sırtlar ile vadi tabanı arasında 30 m yükseklik farkı vardır.

Köprünün oluşumunda sırtların dikey yönde gelişiminin yanında yatay yönde genişlemesi

de önemlidir. Sırt eksenini boyunca traverten oluşumunun yeni başladığı evrede çatlaklar boyunca çıkan karbonatlı sular, sırtın yamacında eğimi fazla tabakalar halinde travertenler çökeltirken traverten tabakalarının yatıklaştığı daha ileriki aşamada ise tabakaların dalgalı olduğu jeotermal alanındaki sırtlarda açılmış taş

ocaklarından anlaşılmaktadır (Şekil 10). Merkezi çatlaktan çıkan sular, sırt yamacı üzerinde kalsiyumkarbonatı üst üste biriktirerek katmanlar (kristalin kabuk) ve tümseklere bağlı olarak yay şeklinde mikro teraslar oluşturur. Bu teraslardan dışa doğru taşan sular, yatay yönde traverten sırtının genişlemesine, dışa doğru traverten perdelerinin çıkıntılar oluşturmaya ve karşı yamaca doğru ilerlemesine fırsat verir. Ayrıca terasların yamacındaki saçaklar ve perdeler sırtın düşey ve yatay yönde büyümesi ve gelişmesine katkıda bulunur. Saçak ve perdelerin altında ise mağaralara benzer boşluklar gelişir (Gradzinski ve Holubek, 2018). Sırt içindeki bu boşlukların çoğunluğu erime sonucunda meydana gelmiş değildir, travertenlerin birikmesi sırasında oluşmuş primer boşluklardır (Kayan, 1990).

Köprülerin bu iki yönlü büyümesi, kaynağı oluşturan suyun yatay yönde hızına, debisine ve akışın devamlı olup olmamasına da bağlıdır. Sırt üzerindeki eksen alçalmaları ve yükselimleri su çıkışlarının her yerde eşit miktarda gerçekleşmediğini göstermektedir. Su çıkışının daha fazla olduğu yerlerde deve hörgücünü andıran yükselimler görülür. Merkezi çatlakta kaynak çıkışı çeşitli sebeplerle sona erdiği veya tıkanmış durumda çıkışlar sırtın kanatlarında gerçekleşebilmektedir. Tali su çıkışları yerleri olarak nitelendirilebilecek bu yerler ve çevresinde travertenler loblar halinde çökeltmektedir. Loblar, sırtların yatay yönde gelişmesine yardımcı olmaktadır. Nitekim Tazekent, Dibekli yerleşmesi çevresindeki traverten sırtlarında açılmış taş ocakları yakından incelendiğinde bu husus net olarak görülmektedir (Şekil 10).

Sürmeli (2014), Murat Irmağı üzerindeki her iki köprünün de akarsu yatağı kenarındaki  $\text{CaCO}_3$  yönünden zengin suların oluşturduğu traverten sırtlarının birleşmesiyle meydana geldiğini ileri sürmektedir. Bu husus Köprüçermik Köprüsü için geçerli iken Kudret Köprüsü için söz konusu değildir. Kudret Köprüsü, Murat Irmağı'nın traverten sırtını alttan oyması ve daha sonra genişletmesi ile oluşmuştur.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Murat Irmağı üzerindeki yapılar, doğal traverten köprüsü özelliği taşır. Köprüçermik ve Kudret doğal köprüleri akarsuyun ana kaya içinde yapmış olduğu aşındırma faaliyeti ile açılmış değildir. Nitekim iki köprünün de kemerleri ve duvarları tamamen termal travertenlerden oluşmaktadır. Eski bir mağara sistemi çatısının çökmesiyle oluşmuş da değildir. Köprüçermik Köprüsü, akarsu yatağı kenarındaki tektonik hatlardan çıkan termal suların oluşturduğu başlıca üç traverten sırtının akarsu üzerinde karşılıklı genişleyip birleşmesi ve Murat Irmağı üzerini kapatmasıyla oluşmuştur. Köprünün doğusunda, KB-GD yönünde uzanan aktif traverten sırtı, köprünün oluşmasına sebep olduğu gibi köprünün gelişme istikametini ve akarsuyun akış yönünü de denetlemiştir. Köprüçermik Köprüsü giriş ağzı doğusunda yamaçta traverten çökelişi sürmektedir. Ayrıca köprü altında sarkıtlar oluşum halindedir. Bu nedenle köprünün, aktif traverten köprüsü olduğunu söylemek mümkündür.

Kudret Köprüsü, traverten sırtının flüvio-karstik süreçler sonucunda aşındırılmasıyla meydana gelmiştir. Sırtı oluşturan travertenlerdeki çatlaklı zonu izleyerek yeraltına sızan sular, travertenlerde eritme ve aşındırma yaparak karstik boşlukları genişletmiş, düden özelliği kazanan bu karstik sistem yüzeysel akışı tamamen yeraltına çekmiştir. Kaide seviyesinin değişmesine bağlı olarak akarsu yatağına gömülmüş, yanal yer değiştirme ve vadi tabanını genişletme çalışmalarına bağlı olarak köprü genişlemiştir. Sonuçta giriş ve çıkış ağzları aynı seviyede olan yerköprü meydana gelmiştir. Kudret Köprüsü'nde traverten çökelişi tamamen sona ermiştir.

Traverten sırtları ve üzerindeki kaynaklar ile akarsu seviyesi arasındaki yükselti farkının oluşmasında Pleistosen'de meydana gelen iklim değişiklikleri ve tektonik hareketlerin etkisi de olmuş olabilir. Özellikle buzularası dönemde meydana gelen tektonik yükselme, akiferler



içindeki piyezometrik seviyenin hızlı bir şekilde düşmesine ve bunun sonucunda akarsu deşarjının artmasına neden olmuştur. Nitekim Murat Irmağı, kalker ve bazaltlar içinde gömük menderesli kanyon bir vadide akış gösterir. Ayrıca araştırma sahası dışındaki Omuzbaşı ve Karapazar yerleşmelerinin üzerinde bulunduğu taraçaların da işaret ettiği üzere Murat Irmağı yatağını derine kazmıştır. Bu faaliyetlerin traverten köprüleri ile akarsu seviyesi arasındaki farkın artmasına katkıda bulunduğunu söylemek mümkündür.

Diyadin Jeotermal Alanı'nda çeşitli traverten birikim şekilleri bulunmasına rağmen en etkileyici doğal anıtlar Murat Irmağı üzerindeki doğal köprülerdir. Traverten köprüleri erozyonel faaliyetler, depremler, kaya düşmeleri ve karstlaşma gibi olaylardan dolayı tahribata uğrayabilmektedir. Tahribatta en önemli pay, antropojenik etkenlere aittir. Özellikle Kudret Köprüsü tahribata karşı daha duyarlıdır. Bu doğal köprü, karayolu köprüsü gibi kullanılmaktadır. Köprüden geçen büyük tonajlı araçların yaptığı titreşim, köprüde çatlakların gelişmesine, büyümesine ve giriş ağzı kesiminde olduğu gibi kaya düşmelerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bir an önce karayolu köprüsü olarak kullanılmasından vazgeçilmelidir.

Köprüler için söz konusu diğer tehlikelerin başında, taşkın ve sel hadiseleri gelir. Murat Irmağı'nın debisinin arttığı dönemde köprüden su geçişi fazla olduğunda yıkılma tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır. Akarsu debisinin köprü akış kapasitesinin üzerinden yüksek olduğu zamanda tıkanmalar olabilmektedir. Köprü ile akarsu seviyesi arasındaki mesafe oldukça azdır (1-1,5 m). İlkbahar ve yaz mevsimi başında yağışlara ve kar erimelerine bağlı olarak debinin fazla olduğu dönemde seviye tamamen ortadan kalkmaktadır. Bunun yanında Kudret Köprüsü giriş kısmındaki kaya blokları suyun akış hızını düşürdüğü gibi akarsuyun taşıdığı kum ve çakıl gibi katı maddelerin de burada birikmesine, her geçen gün köprü altlarının dolmasına yol açmaktadır.

Durumun devam etmesi halinde, iki köprünün de fonksiyonunu yerine getirememesi gibi bir durumla karşı karşıya kalması kaçınılmaz görünmektedir. Uzun sürede oluşan, ender bulunan bu jeomirasları, bu tür tehlikelerden korumak için akarsu yukarı havza kesimine baraj gibi sediment tutucu sanatsal yapılar inşa edilebilir. Su akış hızını azaltan, rüsubat birikimine sebep olan Kudret Köprüsü girişindeki kaya kütleleri de temizlenmelidir.

Köprüçermik Köprüsü'nün 100 m doğusunda traverten sırtları arasında gelişmiş olan çukurluk Diyadin yerleşmesine ait vahşi çöp depolama alanı olarak kullanılmaktadır. Çöplük, görüntü ve koku kirliliğine sebep olduğu gibi termal suların kirlenmesine de yol açmaktadır. Çöplüğün buradan kaldırılması estetik ve sağlık açısından önem arz etmektedir.

Diyadin traverten köprüleri dünyada jeomorfolojik olarak ender bulunan oluşumlardır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 25/01/2019 tarihli ve 20676 sayılı oluru ile Diyadin Köprü Kaplıcası, Diyadin Yılanlı Kaplıcası, Diyadin Davud Kaplıcası "Nitelikli Doğal Koruma Alanı" kapsamında tescil edilmiştir. Çevresi ise "Sürdürülebilir Koruma ve Kontrollü Kullanım Alanı" sınırları içine alınmıştır. Ancak Kudret Köprüsü, Tazekent, Dibekli, Taşbasamak arasındaki traverten sırtları belirtilen koruma statüsü alanı dışında bırakılmıştır. Bir an önce bu traverten sırtlarının da koruma altına alınması gerekmektedir. Binlerce yıl içinde çeşitli süreçler neticesinde oluşmuş birer jeodeğer olan traverten sırtları gerekli önlemler alınmadığı takdirde, açılan taş ocaklar ile tamamen ortadan kaldırılacaktır. Anadolu'da başka bir alanda bu kadar sayıda traverten köprüsü, traverten sırtı, traverten koni ve bacasını bir arada görmek mümkün değildir. Bundan dolayı bilimsel, eğitimsel ve görsel açıdan önemli aktif ve pasif traverten çökellerinin ve sıcak suların bulunduğu bu nadir alan karstik jeomiras olarak koruma altına alınmalı ve traverten jeopark alanı olarak ilan edilmelidir.

## **EXTENDED SUMMARY**

*This study aims to explain the geomorphological characteristics, formation, factors affecting their formation and the morphometric characteristics of two natural bridges over the Murat River in the Diyadin Geothermal Area between Dibekli-Mollakara-Tazekent-Davut-Göğebakan-Taşbaşmak villages in the south of Diyadin (Ağrı) District. In addition, we indicated the main problems related to the bridges, studies for their conservation and their importance as geoheritage.*

*Guo and Riding (1998) define travertines as calcium carbonate rocks formed by hot and cold underground and surface waters rich in calcium bicarbonate. Capezzuoli et al. (2014) define travertine as sediments with regular stratification and fine foliation, low porosity, low permeability and inorganic crystalline structure. Many researchers use the term tufa for cold-water terrestrial carbonates (Arenas et al., 2010; Capezzuoli et al., 2014; Toker, 2017) and travertine for hot (> 20 °C) spring deposits (Glover and Robertson, 2003; Capezzuoli et al., 2014; Kandemir et al., 2021).*

*Travertines are deposited as a result of geological, geomorphological and biological conditions that form travertine accumulation. According to their morphological appearance, travertines are classified into five categories as terrace (set) type, ridge type, fault front, sheet type and channel type travertines (Chafetz and Folk, 1984; Pentecost and Viles, 1994). In the Diyadin Geothermal Area (DGA), travertine ridges (46), travertine chimneys (14), travertine cones (3) and travertine bridges (2) were identified according to their deposition morphologies. Travertine ridges were formed by the hot and mineralised groundwater coming out of the NE-SW, NNW-SSE, and NW-SE oriented opening cracks, losing the CO<sub>2</sub> in their structure when they come to the surface through the cracks and the travertine was deposited.*

*The study is largely based on field observations and investigation. The geomorphological, geological and tectonic features of the area were examined, the exit locations of the springs were determined, and the lengths, widths and heights of travertine ridges, cones and chimneys were measured with laser meters. A literature study on the region was carried out and supported by field studies. In order to reveal the characteristics of travertine ridges, cones, chimneys and bridges in the area, their elevations were measured by GPS coordinates and various maps were produced with ArcGIS 10.8 package software.*

*In the geothermal field, many thermal water resources rich in CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S gas and CaCO<sub>3</sub>, with temperatures ranging between 33-90 °C, come to the surface in accordance with the tectonic lines with increasing temperature values towards the Tendürek volcanic mass. The springs are utilised in many areas, such as in health tourism, residential heating and greenhouse cultivation.*

*Metamorphic rocks such as shale and marble belonging to the Palaeozoic period are at the base of the area. Upper Miocene-Pliocene, Pliocene and Quaternary aged volcanic and sedimentary stacks are widely distributed.*

*The formation of natural bridges depends on certain conditions. The presence of water rich in calcium bicarbonate is one of the basic conditions for the development of bridges. Geomorphologically, they are formed on the slope of narrow and deep canyon valleys when calcium bicarbonate-rich spring waters discharged above the river level precipitate travertines and develop towards the opposite slope. Because of the waters struggling along the valley; and river erosion, travertines are deposited. Travertine bridges tend to develop where the travertine deposition is greater than the erosion.*

*Murat River, which flows in a north-south direction by forming a braided drainage network in an alluvial-based valley, flows in a canyon*

valley consisting of travertines for a distance of 3 km from west of the Köprüçermik source. There are two natural bridges where the river enters the canyon. The first bridge is the 64 m long Köprüçermik Bridge. The bridge has a long axis in a NW-SE direction and its width varies between 9.5-21 m in the upper part. The river flows in a 7 m wide bed under the bridge. The thickness of the travertines forming the bridge is 15 m at the entrance and 22 m at the exit. Köprüçermik Bridge is interesting in terms of its formation. This bridge was not formed by the travertine deposits formed by the calcium bicarbonate spring on the slope of the canyon valley opened in the bedrock of the old geological time, as in the travertine bridges on the Zamantı River and Göksu River. The valley where Köprüçermik Bridge is located is a canyon formed by travertine ridges. It was formed by the vertical growth of the travertine ridges formed by the thermal waters emerging along the tectonic lines on both sides of the river in different directions and then the lateral development of the ridges mutually.

To the north of Köprüçermik Bridge, there is a natural bridge called “Kudret Bridge” by the local people, over which the Taşbasamak-Diyadin motorway passes. The bridge was opened in the travertines with a maximum thickness of 12 m. The width of the river bed at the entrance is 10 m and it is closed by fallen rock blocks. The Murat River flows under the bridge in a N-S direction for a distance of 30 m. The bridge having dimensions of 65 m in a NW-SE direction and 63 m in a E-W direction has a cave-shaped morphology with an increasing horizontal cross-sectional area from the top to the river level. The bridge was developed near the NNW end of the travertine ridge extending in a NNW-SSE direction. Kudret Bridge was formed when the Murat River carved the travertine ridge vertically from below to form a sinkhole, and expanded it by taking advantage of the primary gaps within the ridge and the weaknesses of the central fracture fills such as the stratification plane.

As in other travertine accumulation forms (cones, terraces, chimneys, ridges, etc.) in the area, travertine bridges are faced with various threats of natural and anthropogenic origin. The travertine accumulation forms in the area should be taken under protection as a karst geoheritage and the area should be declared a geopark.

## ORCID

Selahattin Polat  <https://orcid.org/0000-0002-8042-1918>

İsmail Ege  <https://orcid.org/0000-0001-5896-0440>

## KAYNAKLAR / REFERENCES

- Altunel, E. (1996). Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 118, 46-64, [https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/tr/20150602142814\\_375\\_2274fe31.pdf](https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/tr/20150602142814_375_2274fe31.pdf)
- Altunel, E. (2015). Traverten: üst kabukta meydana gelen jeolojik olayların sır deposu. *Traverten-Tufa Çalıştayı /Travertine-Tufa Workshop* (s. 38), 5-8 Kasım 2015, Denizli.
- Altunel, E. & Hancock, P. L. (1993a). Morphology and structural setting of Quaternary travertines at Pamukkale Western Turkey. *Geological Journal*, 28(3-4), 335-346. <https://doi.org/10.1002/gj.3350280312>
- Altunel, E. & Hancock, P. L. (1993b). Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. In I. S. Stewart, C. Vita-Finzi & L. A. Owen (Eds.), *Neotectonics and Active Faulting. Zeitschrift Für Geomorphologie Supplement*, 94, 285-302
- Altunel, E. & Hancock, P. L. (1996). Structural attributes of travertine-filled extensional fissures in the Pamukkale plateau, Western Turkey. *International Geology Review*, 38, 768-777. <https://doi.org/10.1080/00206819709465360>
- 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>
- Antic, A, Tomic, N. & Markovic, S. (2020). Karst-based geotourism in Eastern Carpathian Serbia: Exploration and evaluation of Natural Stone Bridges. *Geoconservation Research*,

- 3(2), 62-80, <https://dx.doi.org/10.30486/grc.2020.1903486.1023>
- Arenas-Abad, C., Vazquez-Urbez, M., Pardo-Tirapu, G. & Sancho-Marcen, C. (2010). Fluvial and associated carbonate deposits. In A. M. Alonso-Zarza & L. Tanner (Eds.). *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes* (pp. 133–175). Developments Sedimentology 61, 1st Edition. USA, Elsevier.
- Atiker, M. (1991). Koruyamadığımız Doğal Anıtlar. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Haziran 1991*, 32-35
- Ayaz, E. (2002). Travertenlerde Gözlenen Morfolojik Yapılar ve Tabiat Varlığı Olarak Önemleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri, 19(2)*, 123-134
- Aylar, F., Gürgöze, S., Uzun, A. ve Zeybek, H. İ. (2022). Yerköprü Doğal Tüneli nin Jeomorfolojisi ve Turizm Potansiyeli Vezirköprü Samsun. *Coğrafya Dergisi, 44*, 1–15, <https://doi.org/10.26650/JGEOG2022-981930>
- Aylar, F., Zeybek, H. İ. ve Dinçer, H. (2020). Kayabaşı Doğal Köprüsü (Ulus-Bartın). Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi, 11(1), 171-187, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumus/issue/52805/661255>
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy and current status: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(1-2)*, 3–65, [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00002-3) Get rights and content
- Bayari, S. (2002). A Rare Landform: Yerköprü Travertine Bridges in the Taurids Karst Range, Turkey. *Earth Surface Processes and Landforms, 27*, 577-590, <https://doi.org/10.1002/esp.337>
- Bögli, 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 (Geol Rundsch), 98*, 931–947. <https://doi.org/10.1007/s00531-007-0290-z>
- Brogi, A., Capezzuoli, E., Aqué, 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(6)*, 1383–1398. <https://doi.org/10.1007/s00531-009-0456-y>
- Burçak, M., Yıldırım, T. ve Yücel, M. (1997). *Ağrı-Diyadin-Çermik Sahası Jeotermal Jeofizik Etüt Raporu*. MTA Derleme No: 10020, 12 s. (yayımlanmamış).
- Calic-Ljubojevic, J. (2000). Natural Bridges on the Vratna River (Eastern Serbia) as the Last Remnants of a Former Cave. *Acta Carsologica, 29(2)*, 241-248. <https://doi.org/10.3986/ac.v29i2.463>
- Capezzuoli, E., Gandin, A. & Pedely, 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>
- Chafetz, H. S. & Folk, R. L. (1984). Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Research, 54*, 289–316.
- Cleland, H. F. (1910). North American natural bridges, with a discussion on their origin. *Bulletin of the Geological Society of America, 21*, 313-338.
- Cvijic, J. (1918). Podzemna hidrografija i morfoloska evolucija karsta (Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst). *Posebna Izdanja SGD, 34*, 539, Beograd 1957 (reprint).
- Çakır, Z. (1999). Along strike discontinuities of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition examples from western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences, 8*, 67–80, <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol8/iss1/5>
- Delikan, A. & Mert, M. (2019). Depositional and geochemical characteristics of geomorphologically controlled recent deposits on the Göksü River in Yerköprü (Konya, southern Turkey). *Carbonates and Evaporites, 34*, 441-459, <https://doi.org/10.1007/s13146-018-0477-3>
- Eltez, M., Doğan, M.A., Durukan, M. & Hepbaşlı, A. (2001). Diyaadin integrated geothermal application. *Proceedings of Twenty-sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* (pp.: 406-412). Stanford (CA), Stanford University.
- Emig, W. H. (1917). The travertine deposits of the Arbuckle Mountains, Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Bulletin, 29*, 9-76.
- Field, S. M. (2002). *A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology*. National Center for Environmental Assessment-Washington Office, Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- Filippis, L. D., Faccenna, C., Billi, A., Anzalone, E., Brillì, 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, paleoclimate, and tectonics, *Earth-Science Reviews*, 123, 35–52. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.004>
- Ford, D. C & Williams, P. W. (2007). *Karst Geomorphology and Hydrology*, Revised edition. Chichester, John Wiley & Sons.
- Ford, T. D. & Pedley, H. M. (1996). A review of tufa and travertine deposits of the World. *Earth Science Reviews*, 41, 117–175. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(96\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(96)00030-X)
- Gradzinski, M., Bella P. & Holubek, P. (2018). Constructional caves in freshwater limestone: A review of their origin, classification, significance and global occurrence, *Earth-Science Reviews*, 185, 179-201. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.05.018>
- Gavrilović, D. (1998). Natural bridges – phenomenon of the fluviokarst in eastern Serbia. *Nature protection*, 48–49, 25–32
- Glover, C. & Robertson, A. H. F. (2003). Origin of tufa (cool water carbonate) and related terraces in the Antalya area, SW Turkey. *Geological Journal*, 38, 329–58, <https://doi.org/10.1002/gj.959>
- Gunn, J. (2004). *Encyclopedia of caves and karst science*. (Edited by John Gunn). Taylor and Francis Group, ISBN 0-20348385-5. New York London.
- Guo, L. & Riding, R. (1998). Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 45, 163-180. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3091.1998.00141.x>
- Hancock, P. L., Chalmers, R. M. L., Altunel, E. & Çakır, Z. (1999). Travertines: using travertines in active fault studies. *Journal of Structural Geology*, 21(8), 903–916. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00061-9)
- Hepbaşlı, A. & Özgener, L. (2004). Development of geothermal energy utilization in Turkey. A Review. *Renewable and Sustainable Reviews*, 8(5), 433-460. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.004>
- Huggett, R. J. (2011). *Fundamentals of Geomorphology*, Third Edition. Taylor & Francis Group, Routledge, London and New York.
- Jennings, J. N. (1985). *Karst Geomorphology*. Blackwell, Oxford, UK.
- Julia, R. (1983). Travertines. In P. A. Scholle, D. G. Bebout & C. H. Moore (Eds), *Carbonate Depositional Environments* (pp. 62–72, ), *The American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma (AAPG Memoir.)*, 33.
- 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>
- Karabacak, V., Mutlu, H., & Deniz Yağcıoğlu, K. (2021). Manifestations of Quaternary syneruptive fluid circulations on carbonate veins Central Anatolian Volcanic Province. *Journal of Quaternary Science*, 36, 124-137. <https://doi.org/10.1002/jqs.3260>
- Karadoğan, S. ve Yıldırım, A. (2008). Birkleyn Mağaralarının (Diyarbakır/Lice) Jeomorfolojik Özellikleri, Oluşumu ve Turizm Potansiyeli. *Dünden Bugüne Lice Sempozyumu* (s. 155-178), 05-06 Eylül-2008, Lice/Diyarbakır.
- Kayan, İ. (1990). Tarih öncesi yerleşme yerleri olarak Antalya mağaralarının jeomorfolojik özellikleri. *Ege Coğrafya Dergisi*, 5(1), 10-31. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/56949>
- Keskin, B. (1998). *Geological Report and Geothermal Potential of Diyardin Geothermal Area*. MTA Geothermal, Report, Turkey
- Lannutti, E., Lenzano, M.G., Baron, J., Moragues, S. & Lenzano, L. (2020). Structural health of Puente del Inca Natural Monument Using the integrating of instruments and Technologies. *Cuadernos de Investigación Geográfica (Geographical Research Letters)*, 46(2), 447-476. <https://doi.org/10.18172/cig.4390>
- Lazaridis, G., Vavliakis, E. & Pennos, Ch. (2005). Temporal earthpyramids in caves. An example from Zesta Nera cave of Sidirokastro, Serres (Macedonia, Greece). *Proceedings of 14th International Congress of Speleology, Vol.2*, (pp. 579–581), Athens– Kalamos.
- 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(2), 219–240. <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol17/iss2/2>
- Mesci, B. L., Erkman, A. C., Gürsoy, H. & Tatar, O. (2017a). Fossil findings from the Sıcak Çermik fissure ridge-type travertines and possible hominid tracks Sivas Central Turkey. *Geodinamica Acta*, 30(1), 15–30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2017.1406430>
- Mesci, B. L., Gürsoy, H., Tatar, O., Ghaleb, B., Sürmeli, H. E. ve Ekizoğlu, Ö. (2017b). Farklı Tektonik Rejimlerin Kontrolü Altında Oluşan Travertenlerin Morfolojik Özellikleri: Diyardin (Ağrı), Reşadiye (Tokat) ve Yenice (Denizli) Travertenleri. *Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu 2017 (UJES-2017) Bildiriler Kitabı*, (s. 352), Elazığ.

- Miller, D. J. & Donovan, S. (1999). Geomorphology of the Natural Bridge at Riversdale, Parish of St. Catherine, Jamaica. *Caribbean Journal of Science*, 35(1-2), 112-122.
- Mutlu, H., Aydın, H. ve Kazancı, A. (2013). Diyardin (Ağrı) Jeotermal Sahasına Yönelik Jeokimyasal ve İzotopik Bulgular. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (s. 47-67), 17-20 Nisan 2013, İzmir.
- Nazik, L., Törk, K., Tuncer, K., Özel, E., İnan, H. ve Savaş, F. (2005). Türkiye Mağaraları. *Ulusal Mağara Günleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı* (s. 31-46), 24-26 Haziran, Beyşehir.
- Pasvanoğlu, S. & Güler, S. (2010). Hydrogeological and Geothermal Features of Hot and Mineralized Waters of the Ağrı-Diyadin (Turkey). *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- Pentecost, A. (1995). The Quaternary travertine deposits of Europa 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*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Pentecost, A. & Viles, H. (1994). A review and reassessment of travertine classification. *Géographie physique et Quaternaire*, 48(3), 305-314. <https://doi.org/10.7202/033011ar>
- Petrovic, D. (1969). Prilog poznavanju geneze prerasti. *Globus*, 1, 42-46, Beograd
- Petrovic, A. S. & Carevic, İ. (2015). Geological Influence on the Formation of Samar Natural Bridge and Collapse Valley of Ravna River from the Ne Kucaj Mountains (Carpatho-Balkanides, Eastern Serbia). *Acta Carsologica* 44(1), 37-46. <https://doi.org/10.3986/ac.v44i1.898>
- Polat, S. (2011a). Kayadelen Karstik Tüneli. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 24, 150-168. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3257>
- Polat, S. (2011b). Türkiye’de traverten oluşumu, yayılış alanı ve korunması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 389-428. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3249>
- Polat, S. (2018). Pınarbaşı Kayseri Civarında Bol Debili Kaynaklar. 1. *Pınarbaşı (Aziziye) Sempozyumu*, 10-12 Mayıs 2018, Kayseri.
- Polat, S. ve Deniz, M. (2017). Taşyaran (İmren) Vadisinde Yatak Çukurları ve Turizm Potansiyeli (Uşak). *Marmara Coğrafya Dergisi*, 35, 204-217. <https://doi.org/10.14781/mcd.291196>
- Polat, S. ve Ege, İ. (2018). *Bolluk (Cihanbeyli) Traverten Konileri*. Kriter Basım Yayın Dağıtım.
- Sibson, R. H. (1996). Structural permeability of fluid-driven fault- fracture meshes. *Journal of Structural Geology*, 18, 1031-1042. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(96\)00032-6](https://doi.org/10.1016/0191-8141(96)00032-6)
- Sürmeli, H. E. (2014). *Diyadin (Ağrı) Travertenlerinin Gelişimi Morfolojik ve Aktif Tektonik Özellikleri* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tekin, E. ve Ayyıldız, T. (2001). Sıcakçermik Jeotermal Alanındaki (Sivas KB, Türkiye) Güncel traverten Çökellerinin Petrografik Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 44(1), 1-13. [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/e6260b81898beac\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/e6260b81898beac_ek.pdf)
- Toker, E. (2017). Quaternary fluvials 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, E., Kayseri-Özer MS., Özkul, M. & Kele, S. (2015). Depositional system and palaeoclimatic interpretations of Middle to Late Pleistocene travertines: Kocaba”, Denizli, SW Turkey. *Sedimentology*, 62(5), 1360-1383. <https://doi.org/10.1111/sed.12186>
- Viles, H. A. & Goudie, A. S. (1990). Tufas, travertines and allied carbonate deposits. *Progress in Physical Geography*, 14, 19-41. <https://doi.org/10.1177/030913339001400102>
- Wyatt, A. (ed.), (1986). *Challinor’s Dictionary of Geology*, 6th edn. Univesity of Wales Press, Cardiff.
- Zaman, M., Polat, S. ve Özdemir, M. (2000). Diyardin Kaplıcaları. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 6(4), 349-378, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/26792>
- Zentmyer, R, Myrow, P.M. & Newell D. L. (2008). Travertine deposits from along the South Tibetan Fault System near Nyalam, Tibet. *Geological Magazine*, 145(6), 753-765, <https://doi.org/10.1017/S0016756808005323>
- Zeybek, H. İ. (2004). Delikkaya Natural Bridge (Tokat). International Symposium on Earth System (pp. 105-110), İstanbul.
- Zeybek, H. İ., Uzun, A., Yılmaz, C., Bahadır, M., Hatipoğlu, İ. K., Dinçer, H. ve Gürgöze, S. (2015). Yıldız Doğal Köprüsü, Yıldızeli-Sivas. *IV. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu (UJES-2015)* (s. 559-563), Samsun.