



Morphological Characteristics of Tafoni Formations And Their Relationship With The Natural Environment in Eğribucak Rocks (Sivas)

Fatih Kartal^{1,a,*}

¹ Department of Turkish and Social Sciences Education, Faculty of Education, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 24/01/2026

Accepted: 24/02/2026

ABSTRACT

This study aims to investigate the formation mechanisms of tafoni weathering features developed in the Eğribucak Rocks, located within the boundaries of Sivas Province, Türkiye, by evaluating lithological characteristics, structural controls, climatic conditions, soil properties, and biological factors in an integrated framework. The research was conducted using a holistic methodological approach combining detailed field observations, secondary data analysis, and spatial assessments supported by Geographic Information Systems (GIS). The results indicate that tafoni are predominantly developed on moderately to thick-bedded, weakly cemented sandstones with heterogeneous porosity. In areas where sandstone–mudstone alternations are common, bedding planes, joints, and fracture systems constitute the main structural weaknesses that control the initiation and spatial distribution of tafoni cavities. These zones facilitate the accumulation of moisture and saline solutions, and subsequent evaporation leads to salt crystallization, generating crystallization pressure that weakens intergranular bonds and accelerates granular disintegration. The study area is characterized by a semi-arid continental climate, where irregular precipitation, high evaporation rates, and pronounced seasonal temperature contrasts provide favorable environmental thresholds for tafoni development. Repeated wetting–drying and freeze–thaw cycles play a key role in the deepening and lateral expansion of cavities. In addition, soluble salts and iron oxides transported from surrounding soils through capillary action enhance differential weathering and promote case hardening on rock surfaces. The sparse and discontinuous vegetation cover, dominated by xerophytic and psammophytic species, leaves rock surfaces largely exposed to atmospheric agents while contributing indirectly to weathering through biophysical and biochemical processes such as root penetration and organic acid production. Overall, the findings demonstrate that tafoni formation in the Eğribucak Rocks cannot be attributed to a single process but results from the interaction of multiple geological, geomorphological, climatic, and biological factors. The study highlights the significance of semi-arid inland regions of Central Anatolia as important natural laboratories for understanding tafoni development beyond coastal environments.

Keywords: Sivas, Eğribucak Cliffs, Sandstones, Tafoni.

Eğribucak Kayalıklarında (Sivas) Oluşan Tafonilerin Morfolojik Özellikleri ve Doğal Çevre İle İlişkisi

ÖZ

Bu çalışma, Sivas ili sınırları içerisinde yer alan Eğribucak Kayalıkları'nda gelişen tafoni ayrışma şekillerinin oluşum mekanizmalarını, litolojik özellikler, yapısal unsurlar, iklim koşulları, toprak özellikleri ve biyolojik etkenler çerçevesinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, ayrıntılı arazi gözlemleri, ikincil veri analizi ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) destekli mekânsal değerlendirmelerin birlikte kullanıldığı bütüncül bir yöntem yaklaşımıyla yürütülmüştür. Elde edilen bulgular, tafonilerin özellikle gözenekliliği heterojen, zayıf çimentolu ve orta–kalın tabakalı kumtaşları üzerinde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Kumtaşı–çamurtaşı ardalanmasının yaygın olduğu sahada, tabakalanma düzlemleri, eklem ve çatlak sistemleri tafoni çekirdeklerinin geliştiği başlıca yapısal zayıflık zonlarını oluşturmaktadır. Bu alanlarda nem ve tuz çözeltilerinin birikimi kolaylaşmakta, buharlaşma ile birlikte tuz kristallenmesi kaya dokusunda kristal basıncı oluşturarak tane ayrışmasını hızlandırmaktadır. Yarı kurak karasal iklim koşullarının hâkim olduğu araştırma sahasında, düzensiz yağış rejimi, yüksek buharlaşma oranları ve belirgin mevsimsel sıcaklık farkları tafoni gelişimini destekleyen temel çevresel eşiklerdir. Özellikle ıslanma–kuruma ve don–çözül döngülerinin sık tekrarlanması, oyukların derinleşmesi ve genişlemesine katkı sağlamaktadır. Topraklardan kapiler yükselim yoluyla taşınan çözünebilir tuzlar ve demir oksitler diferansiyel ayrışmayı artırırken, seyrek ve parçalı bitki örtüsü biyofiziksel ve biyokimyasal ayrışma süreçleriyle tafoni oluşumunu dolaylı olarak etkilemektedir. Sonuç olarak çalışma, tafoni oluşumunun tek bir süreçle açıklanamayacağını, çok faktörlü ve etkileşimli bir jeomorfolojik sistemin ürünü olduğunu ortaya koymakta; Orta Anadolu'nun yarı kurak iç kesimlerinin tafoni gelişimi açısından önemli bir araştırma alanı sunduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sivas, Eğribucak Kayalıkları, Kum taşları, Tafoni.

Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

^a fatihkartal.58@hotmail.com

0000-0001-9266-5007

How to Cite: Kartal F, (2026) Morphological Characteristics Of Tafoni Formations And Their Relationship With The Natural Environment In Eğribucak Rocks (Sivas), CUJOSS, 50(1): 45-57

Giriş

Kaya yüzeylerinde gelişen tafoni ayrışma şekilleri, fiziki coğrafya ve jeomorfoloji literatüründe yaklaşık iki yüzyıldır tartışılan, ancak oluşum mekanizmaları konusunda tam bir görüş birliği sağlanamamış ayrışma morfolojileri arasında yer almaktadır (Turkington & Paradise, 2005). Bu şekiller, çoğunlukla kumtaşı, granit ve tuf gibi gözenekli kayalarda gelişmekte olup, litolojik özellikler, iklim koşulları ve çevresel süreçlerin karmaşık etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır (McBride & Picard, 2004; Brandmeier vd., 2011). Tafoni oluşumuna ilişkin ilk gözlemler, bu şekillerin özellikle kıyı ortamlarında ve denizel etkilerin baskın olduğu alanlarda yaygın olduğunu ileri sürmüştür. Ancak 20. yüzyılın başlarından itibaren yapılan çalışmalar, tafonilerin yalnızca kıyı alanlarıyla sınırlı olmadığını, yarı kurak ve kurak iklim bölgelerinde de yaygın biçimde geliştiğini ortaya koymuştur (Paradise, 2023). Avustralya, Atacama Çölü, Death Valley, Orta Doğu ve Akdeniz havzası gibi farklı coğrafyalarda yürütülen çalışmalar, tafoni gelişiminin iklimsel sınırlarının sanılandan çok daha geniş olduğunu göstermektedir (Schnepfleitner, vd., 2016).

Güncel jeomorfolojik yaklaşımlar, tafoni ve benzeri ayrışma şekillerinin oluşumunda tuz ayrışmasının temel bir süreç olduğunu vurgulamaktadır (Charola, 2000; Dohne, 2002). Kayaç gözeneklerinde çözünen tuzların kristallenmesi sırasında ortaya çıkan kristal büyüme basıncı, kaya dokusunda mikro çatlakların oluşmasına ve zamanla yüzeyden malzeme kopmasına neden olmaktadır (Rodriguez-Navarro vd., 1999). Bu süreç, özellikle gözeneklilik yapısı heterojen olan kumtaşlarında tafoni gelişimini hızlandırmaktadır (Adamovič vd., 2011).

Dünya genelinde yapılan deneysel ve arazi temelli çalışmalar, tuz türü, buharlaşma hızı ve çevresel nem koşullarının tafoni oluşumunda belirleyici faktörler olduğunu ortaya koymuştur (Sunamura, 1996; Turkington, 1998). Atacama Çölü'nde yapılan araştırmalar, sis (fog) ve deniz kökenli tuzların kaya yüzeyi ayrışmasını hızlandırdığını göstermiştir (Goudie vd., 2002). Benzer şekilde Akdeniz kıyılarında yürütülen çalışmalar, deniz aerosollerinin tafoni gelişiminde önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır (Mottershead & Pye, 1994; Rodriguez-Navarro vd., 1999). Bununla birlikte, son yıllarda tafoni oluşumunun yalnızca tuz ayrışmasıyla açıklanamayacağı, biyolojik etkenler, rüzgâr aşındırması ve yüzey sertleşmesi gibi süreçlerin de bu morfolojilerin evriminde rol oynadığı vurgulanmaktadır (Mustoe, 2010). Bu durum, tafoni oluşumunun tek bir süreç yerine çok faktörlü ve kendini örgütleyen bir sistem olarak ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Turkington & Phillips, 2004; Brandmeier vd., 2011).

Türkiye'de tafoni ayrışma şekillerine ilişkin çalışmalar, dünya literatürüne kıyasla sınırlı olmakla birlikte, özellikle kıyı alanları ve kumtaşı yüzeyleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Gelibolu Yarımadası'nda yapılan araştırmalar, alveolar ayrışmanın denizel etkilerle ilişkisini ortaya koymuştur (Erginal vd., 2007). Karadeniz kıyılarında yürütülen çalışmalar ise dalga, tuz ve rüzgâr etkilerinin kaya yüzeyi ayrışmasındaki rolünü vurgulamaktadır (Uzun, 1998). Bununla birlikte, Türkiye'nin iç kesimlerinde yer alan yarı kurak alanlardaki

tafoni gelişimi, İç Anadolu'da özellikle Kapadokya ve bazı volkanik alanlardaki oyuklar dışında kumul üzerindeki oluşan tafoniler literatürde yeterince ele alınmamıştır.

Çalışma konusu olan Sivas ili sınırları içerisinde yer alan Eğribucak Kayalıkları, kaya yüzeylerinde yaygın olarak gözlenen tafoni şekilleri, belirgin tabakalanma özellikleri ve yarı kurak iklim koşullarıyla dikkat çeken özgün bir jeomorfolojik alan niteliği taşımaktadır. Alanda gözlenen tafoni boşlukları; boyut, derinlik ve mekânsal dağılışı açısından belirgin bir çeşitlilik sergilemekte olup, bu durum ayrışma süreçlerinin hem kayaç içi özelliklere hem de çevresel koşullara duyarlı biçimde geliştiğini göstermektedir. Özellikle dik ve yarı dik kaya yüzeylerinde yoğunlaşan oyuk ve şekilleri, Eğri Bucak Kayalıkları'nı Orta Anadolu'daki benzer kaya yüzeyi ayrışma alanlarından ayıran temel morfolojik unsurlar arasında yer almaktadır.

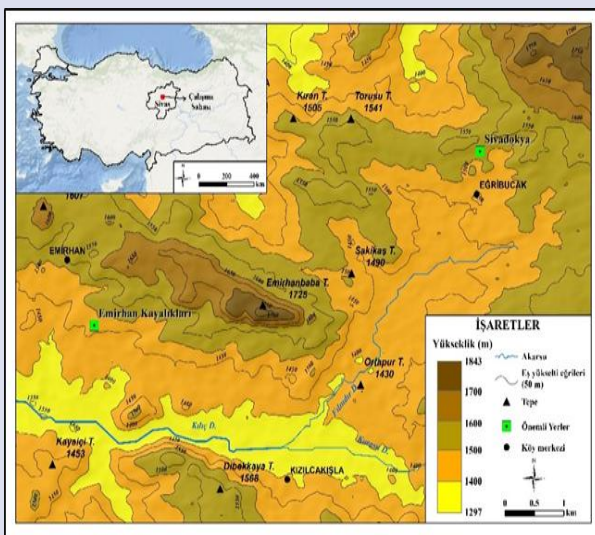
Bölgenin jeolojik yapısı, Doğu Pontidlerin güney kesimleriyle ilişkili olup, ağırlıklı olarak kumtaşı, siltaşı ve yer yer kiltası seviyelerinden oluşan bir litolojik bileşim sunmaktadır (Kopar ve Şaroğlu, 2016). Bu kayaçların gözeneklilik ve tane boyu özellikleri, tafoni gelişimi açısından elverişli bir fiziksel zemin oluşturmaktadır. Kumtaşlarının heterojen gözenek yapısı, tuz çözeltilerinin kayaç içerisinde farklı derinliklere nüfuz etmesine olanak tanımakta; bu durum, tuz kristallenmesine bağlı ayrışma süreçlerinin mekânsal olarak düzensiz ancak yoğun biçimde gelişmesine yol açmaktadır. Ayrıca tabakalanma düzlemleri ve zayıflık zonları, tafoni boşluklarının belirli seviyelerde yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Eğribucak Kayalıkları'nın yer aldığı alan, iklimsel açıdan yarı kurak karasal iklim özellikleri göstermekte olup, yıllık yağışın büyük bölümünün kısa süreli ve düzensiz yağışlar şeklinde gerçekleştiği bilinmektedir. Bu iklim koşulları, kaya yüzeylerinde sık tekrarlanan ıslanma-kuruma döngülerine neden olmakta ve tuz kristallenmesi için elverişli bir çevresel ortam oluşturmaktadır. Özellikle yaz aylarında artan buharlaşma oranları, kayaç gözeneklerinde çözünen tuzların kristal büyümesini hızlandırarak tafoni süreçlerini desteklemektedir. Dolayısıyla kaya yüzeyi ayrışma şekillerinin süreç temelli analizi literatürde önemli bir boşluk olarak varlığını sürdürmektedir. Bu bağlamda Eğribucak Kayalıkları, Orta Anadolu'nun yarı kurak iç kesimlerinde gelişen tafoni ve kovuk ayrışma süreçlerinin anlaşılması açısından yüksek araştırma potansiyeline sahip özgün bir örnek alan sunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Sivas Eğribucak Kayalıkları'nda gelişen tafoni şekillerinin oluşumunu, litolojik özelliklerini, tuz ayrışma süreçlerini doğal coğrafya unsurlarıyla birlikte değerlendirmektir. Çalışma kapsamında, tafoni oluşumunun Orta Anadolu'nun yarı kurak iklim koşullarında hangi çevresel eşikler altında geliştiği ortaya konulmaya çalışılacaktır. Araştırmanın önemi, Türkiye'de tafoni çalışmalarının büyük ölçüde kıyı alanlarına odaklandığı bir literatürde, iç kesimlerde yer alan yarı kurak bir örnek alanı ayrıntılı biçimde ele almasıdır. Bu yönüyle çalışma, hem Türkiye fiziki coğrafyası literatürüne yeni bir saha örneği kazandırmakta hem de tafoni oluşumuna ilişkin küresel tartışmalara yarı kurak iç bölgelerden bir katkı sunacağı düşünülmektedir.

Araştırma Sahasının Konumu

Eğribucak Kayalıkları, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Sivas ilinin merkez ilçesine bağlı Eğribucak ve Arpayazı köyleri arasında konumlanmaktadır (Şekil 1). Sivas şehir merkezine kara yolu ile yaklaşık 23 kilometre mesafede bulunan bu jeomorfolojik oluşum, bölgenin güneybatı yönünde, kırsal bir alanda yer alır. Coğrafi olarak 39.7303° kuzey enlemi ile 37.2778° doğu boylamı koordinatlarında bulunan kayalıklar, ortalama 1420 metre rakıma sahiptir. Doğal yapısının korunmuş olması, kent merkezine olan ulaşılabilirliği ve yakın çevresinde yerleşim yerlerinin az olması, bu bölgeyi hem bilimsel araştırmalar hem de doğa turizmi açısından değerli kılmaktadır. Ayrıca bölge, Yukarı Kızılırmak Jeoparkı içinde yer almakta olup, "Emirhan Rotası" adı verilen jeoturistik güzergâh üzerinde yer almaktadır. Bu bağlamda, Eğribucak Kayalıkları, sadece jeomorfolojik öğeleriyle değil, aynı zamanda sahip olduğu konum ve çevresel özellikleriyle de dikkat çekici bir jeosit alanıdır (Akbulut Özpay ve Ocak, 2017).



Şekil 1. Araştırma sahasının lokasyon haritası (Kartal, 2023)
Figure 1. Location map of the research area.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, Sivas ili sınırları içerisinde yer alan Eğribucak Kayalıkları'nda gelişen tafoni ayrışma şekillerinin oluşum süreçlerini ve doğal çevre koşullarıyla ilişkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırma, arazi gözlemleri, ikincil veri analizi ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) destekli değerlendirmelerin birlikte kullanıldığı bütüncül bir yöntem yaklaşımıyla yürütülmüştür. Çalışmanın temel materyalini, tafoni gelişimi gösteren kumtaşı ve çamurtaşı yüzeylerinde gerçekleştirilen ayrıntılı arazi gözlemleri oluşturmaktadır. Arazi çalışmaları sırasında tafoni boşluklarının morfolojik özellikleri, tabakalanma düzlemleri, eklem ve çatlak sistemleriyle ilişkisi yerinde incelenmiştir. Tafoni yüzeylerinde gözlenen tuz birikimleri, demir oksit renklemeleri, sert kabuk gelişimi ve biyolojik örtü varlığı

nitel gözlem yöntemiyle değerlendirilmiştir. Seçilen temsilî alanlar fotoğraflanarak belgelenmiştir.

Araştırmada ikincil veri kaynağı olarak Sivas Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen uzun yıllara ait sıcaklık ve yağış verileri, MTA tarafından yayımlanan jeoloji haritaları, 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritaları ve daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar kullanılmıştır. İklim verileri, tafoni oluşumunu etkileyen ıslanma-kuruma döngüleri, buharlaşma ve don-çözül süreçleri bağlamında değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler CBS ortamına aktarılarak tafonilerin mekânsal dağılışı, litoloji, bakı ve yapısal unsurlarla ilişkisi analiz edilmiştir. Arazi bulguları, Eğribucak Kayalıkları'nda gelişen tafonilerin yarı kurak karasal iklim koşullarındaki oluşum dinamikleri süreç temelli bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Çalışmada, tafoni oluşumunu etkileyen çevresel faktörlerin belirlenebilmesi amacıyla nitel arazi gözlemleri kullanılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında tafoni gelişiminin yoğun olduğu kaya yüzeyleri belirlenerek kayaç dokusu, tabakalanma düzlemleri ve çatlak sistemleriyle olan ilişkileri gözlemlenmiştir. Tuz ayrışmasına bağlı süreçlerin değerlendirilmesinde tafoni gelişiminin özellikle gözeneklilik yapısı heterojen olan kumtaşlarında yoğunlaşmasının nedenleri, hem arazi gözlemleri hem de deneysel çalışmalarla elde edilen literatür bulguları ışığında yorumlanmıştır (Adamoviç vd., 2011). Elde edilen veriler, dünya genelinde yarı kurak ve kurak bölgelerde yürütülen tafoni araştırmalarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir (Goudie vd., 2002). Ayrıca Türkiye'de özellikle kıyı alanlarında gerçekleştirilen tafoni ayrışma çalışmalarının bulgularıyla karşılaştırmalar yapılarak, Eğri Bucak Kayalıkları'ndaki tafoni oluşumunun kıyı dışında yarı kurak ortamlar bağlamındaki yeri ortaya konulmaya çalışılmıştır (Uzun, 1998; Erginal vd., 2007).

Bulgular

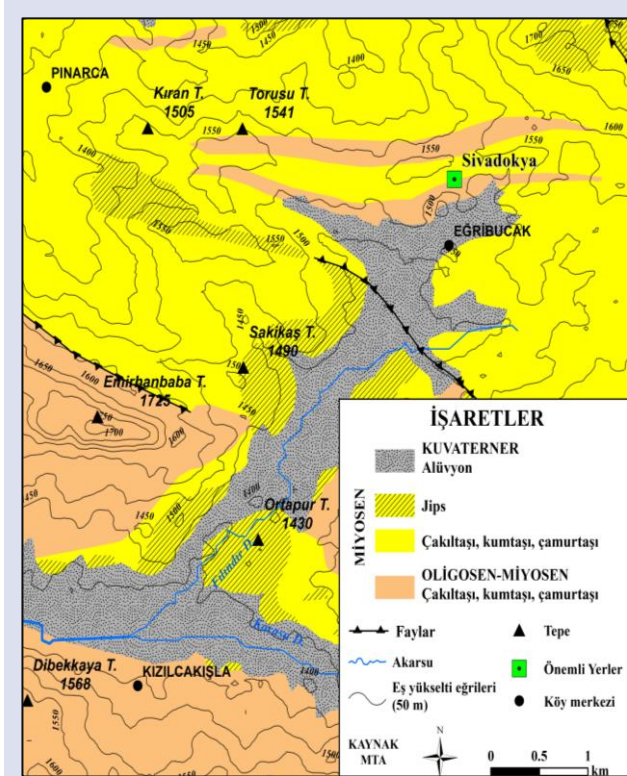
Araştırma Sahasının Doğal Coğrafya Özelliklerinin Tafoni oluşumunda etkisi

Eğribucak Kayalıkları, Sivas ilinin kuzeydoğusunda, Pontid Tektonik Kuşağı ile Toros Kuşağı arasında yer almakta olup, yaklaşık 300 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Ayaz, 2013). Saha, jeolojik açıdan Alt Miyosen'den günümüze kadar uzanan çeşitli litolojik birimlerden oluşmaktadır (Şekil 2). Bu birimler, bölgenin tektonik ve sedimentolojik evrimini anlamak için oldukça önemlidir. Araştırma sahasında baskın formasyonlar Karayün Formasyonu ve Karacaören Formasyonudur. Karayün Formasyonu, Alt Miyosen yaşlı olup, kalın katmanlı kırmızı-gri renkli çamurtaşı ve kumtaşı araldanmalarından oluşmaktadır. Bu formasyon, deltayik ve flüviyal çökellerin karakteristik özelliklerini taşır ve tabaka kalınlıkları 10 cm ile 5 m arasında değişir (Bilici ve Erik, 2003; Özpay vd., 2017). Karacaören Formasyonu ise Alt-Orta Miyosen yaşlı olup, kumtaşı, marn ve kireçtaşı araldanmalarından oluşmaktadır. Formasyonun bazı kısımları algli ve resifal kireçtaşları içerir ve Geç Oligosen – Erken Miyosen'de gerçekleşen bölgesel transgresyonun bir göstergesidir (Kurtman, 1973; Demir vd., 2019).

Sahanın jeolojisinde, özellikle Eosen–Miyosen aralığında yoğun evaporasyon dönemlerinin etkisiyle, tuz ve jips açısından zengin seviyeler oluşmuştur. Bu durum, alanda daha sonra meydana gelen tuz diyapirlerinin ve mini havzaların oluşumunda belirleyici olmuştur (Çiçekliuyurt, 2019). Diyapirler, yer altındaki tuz tabakalarının yükselmesi ile oluşur ve kayaç deformasyonuna, kırık ve çatlak yoğunluğuna neden olarak tafoni oluşumu açısından kritik bir yapısal etken teşkil eder (Dohne, 2002; Turkington & Paradise, 2005).

Eğribucak Kayalıkları, kuzey-güney yönlü sıkışma tektoniğinin etkisi altındadır. Bu tektonik rejim, tabaka eğimlerinin dikleşmesine ve kıvrımlı yapılar ile hogbek tipi sırtların oluşmasına neden olmuştur (Özpay ve Ünsal, 2018). Sahanın yapısal evrimi, Eosen'den günümüze kadar süregelen tektonik hareketler, yerel yükselmeler ve diyapir etkisi ile şekillenmiştir. Araştırmalarda tafoni oluşumunun özellikle bu kırık ve çatlak yoğunluğu ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

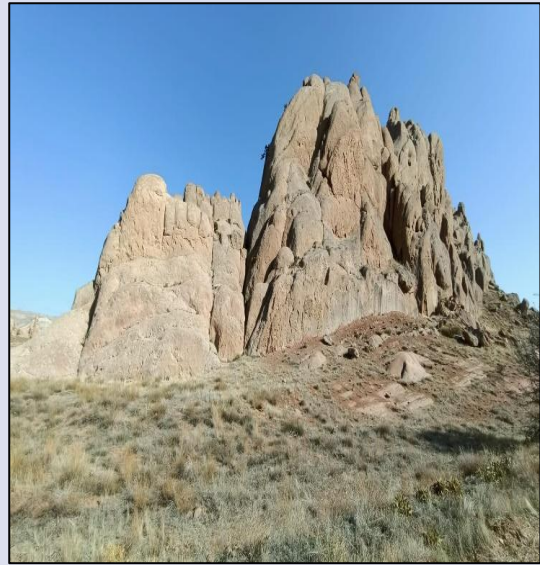
Sahanın temel litolojik birimleri, kumtaşı ve çamurtaşı arduvanmaları ile karakterize edilmiştir. Kumtaşları genellikle orta-iyi gözeneklilik gösterirken, çamurtaşları gözeneklilik açısından daha düşük değerlere sahiptir. Bu heterojen gözeneklilik, sahada gelişen tafoni morfolojilerini doğrudan etkiler. Literatürde, gözenekli kayaçların tuz ayrışması ve fiziksel aşınmaya daha duyarlı olduğu belirtilmektedir (Mareš vd., 2024). Karayün Formasyonu'ndaki çamurtaşı-kumtaşı arduvanmaları, özellikle tabaka sınırlarında mikro boşluklar ve gözenekler meydana getirerek tafoni gelişimini kolaylaştırır (Brandmeier vd., 2011).



Şekil 2. Araştırma sahasının jeoloji haritası (Kartal, 2023).
Figure 2. Geological map of the research area.

Eğribucak Kayalıkları ve yakın çevresi, jeomorfolojik açıdan aşınım yüzeyleri ve bu yüzeylere ait kalıntı şekillerin belirgin olarak gözleendiği bir alan niteliğindedir. Kayalıkların bulunduğu tepelik kesimlerde, uzun süreli aşınım süreçleri sonucunda gelişmiş Alt–Orta Miyosen yaşlı aşınım yüzeyleri izlenmektedir. Bu yüzeyler, sahadaki rölyefin ana iskeletini oluşturmakta; sırt kesimlerinden vadi tabanlarına doğru ilerledikçe, aşınım yüzeylerinden birikim alanlarına geçiş gösteren morfolojik bir zonlanma ortaya çıkmaktadır (Erol, 1981; Mareš vd., 2024).

Eğribucak Kayalıkları'nı oluşturan başlıca litolojik birimler kumtaşı–çamurtaşı arduvanmasıdır. Bu birimler üzerinde gelişen jeomorfolojik şekiller, hem kayaç özelliklerinin hem de yapısal unsurların doğrudan kontrolü altındadır. Sahada yaygın olarak gözlenen yarı dairesel ve oval biçimli kumtaşı topları, mekanik çözülme süreçlerinin etkisiyle oluşmuş tipik ayrışma ürünleridir. Bunun yanı sıra, geniş alanlara yayılan satıh aşınımı, belirgin kırgıbayır (badlands) topografyası, monoklinal tabakalaşma başları ve tafonileşme sonucu içleri boşalmış aşınım artığı bloklar, Eğribucak Kayalıkları'nın karakteristik morfolojik unsurlarını oluşturmaktadır (Görsel 1). Bu tür şekiller, özellikle yarı kurak iklim koşullarında fiziksel ayrışmanın baskın olduğu sahalarda yaygın olarak rapor edilmektedir (Twidale ve Bourne, 2008)



Görsel 1. Eğribucak Kayalıkları genel görünüm
Figure 1. General view of the Eğribucak Rocks..

Eğribucak Kayalıkları'nda rölyefin oluşumunda, kuzey-güney yönlü sıkışma tektoniği ile dış jeomorfolojik süreçlerin birlikte etkili olduğu anlaşılmaktadır. Sıkışma tektoniği sonucunda tabakalar eğim kazanmış, yer yer dikleşmiş ve akabinde flüvyal aşındırma ile yüzeyel akış süreçlerinin etkisiyle parçalanmıştır. Bu süreçler sonucunda, sahada sırtlar, tepeler, aşınım yüzeyleri ve kısa boylu vadiler gelişmiştir

(Görsel 2). Litolojik direnç farklarının sınırlı olduğu alanlarda dahi, tabakaların tektonik olarak dikleşmesi, Eğribucak Kayalıkları'na özgü dalgalı ve engebeli bir rölyefin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Huggett & Shuttleworth, 2022; Görsel 3).



Görsel 2. Eğribucak Kayalıkları'na girişte oluşmuş kısa boylu vadi örneği
Figure 2. Example of a short valley formed at the entrance of Eğribucak Rocks



Görsel 3. Eğribucak Kayalıkları'na özgü dalgalı ve engebeli bir görünüm
Figure 3. A wavy and rugged appearance characteristic of the Eğribucak Rocks

tafonilerdir. Özellikle masif ve kalın tabakalı kumtaşları üzerinde gelişen bu yapılar, kazan biçimli oyuklar şeklinde tanımlanmakta ve görsel açıdan dikkat çekmektedir (Görsel 4). Tafoni oluşumunu kontrol eden başlıca etkenler arasında tuz kristallenmesi, nemlenme-kuruma döngüleri, fiziksel ayrışma ve kayaç dokusu öne çıkmaktadır. Eğribucak Kayalıkları'nda gözlenen tafoniler, bu süreçlerin birlikte etkisiyle gelişmiş tipik örnekler sunmaktadır (Goudie & Viles, 2015; Özpay vd., 2017).



Görsel 4. Eğribucak Kayalıkları'nda gözlenen tafoniler
Figure 4. Tafoni observed in the Eğribucak Rocks

Tektonik deformasyona bağlı olarak sahada yoğun eklem, çatlak ve kırık sistemleri gelişmiştir (Görsel 5). Kayaç içerisindeki tane bağlarının zayıflamasıyla oluşan bu yapılar, çizgisel ve eğrisel bir dağılım göstermekte; eklem yüzeyleri boyunca farklı yönelimlerde çatlak gelişimleri izlenmektedir. Bu yapısal zayıflık zonları, mekanik parçalanmayı hızlandırarak aşınım süreçlerinin etkinliğini artırmıştır. Eğribucak Kayalıkları çevresinde yer alan taşınmış birimler ve güncel çökeller ise, fiziksel ve kimyasal ayrışma süreçleri sonucunda oluşmuş çamurtaşı, kumtaşı ve ince taneli, laminalı siltotaşlarından meydana gelmektedir (Çiner & Koşun, 1996).



Görsel 5. Tektonik deformasyona bağlı olarak sahada yoğun eklem, çatlak ve kırık sistemleri
Figure 5. Dense joint, fracture, and fault systems in the area resulting from tectonic deformation

Eğribucak Kayalıkları, genel olarak karasal iklim koşullarının etkisi altında bulunmakta olup, bu durum sahada etkili olan jeomorfolojik süreçleri doğrudan

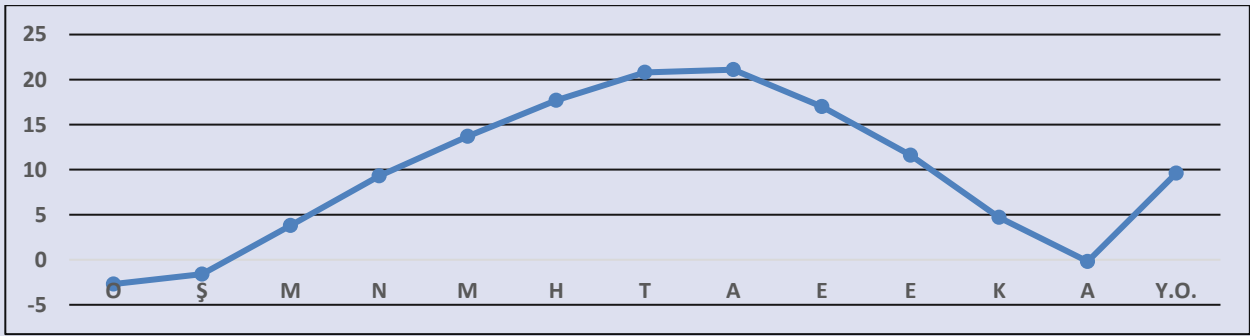
kontrol etmektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise uzun süreli, soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Kış mevsiminde yoğun kar örtüsü ve düşük sıcaklıklar hâkim olup, don olaylarının sıklığı dikkat çekmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 2024) verilerine göre sahada yıllık

ortalama sıcaklık 9,6 °C'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı 455,4 mm olup, yağışların büyük bölümü ilkbahar aylarında (Nisan–Mayıs) gerçekleşirken, yaz aylarında (Temmuz–Ağustos) belirgin bir kuraklık yaşanmaktadır (Tablo 1; Grafik 1, Grafik 2).

Tablo 1. Araştırma sahası iklim verileri

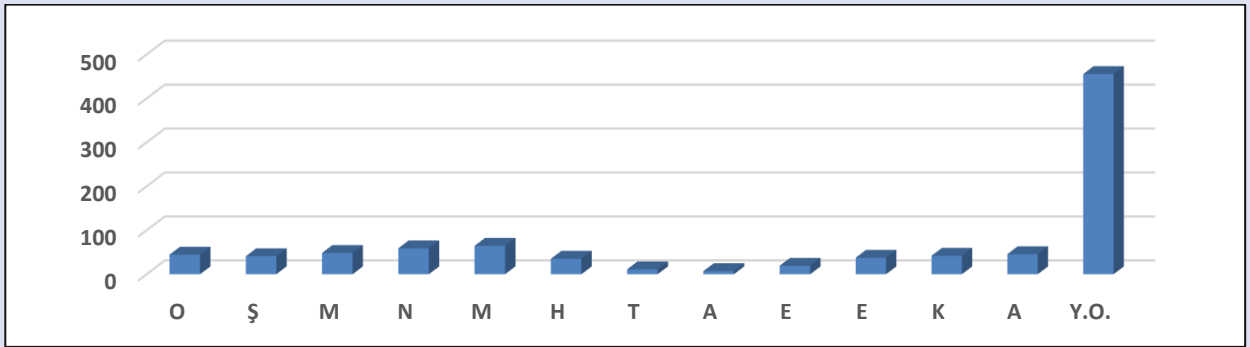
Table 1. Climate data of the study area

Ay / Parametre	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıl.
Ort. Sic. (°C)	-2,7	-1,6	3,8	9,3	13,7	17,7	20,8	21,1	17,0	11,6	4,7	-0,2	9,6
Ort. Yağ.(mm)	44,6	41,0	48,4	59,0	64,6	35,1	11,1	7,1	19,2	37,5	42,1	45,7	455,4



Grafik 1. Araştırma sahasının sıcaklık ortalaması grafiği.

Graph 1. Average temperature of the study area



Grafik 2. Araştırma sahasının yağış ortalaması grafiği

Graph 2. Average precipitation of the study area

Eğribucak Kayalıkları'nın deniz seviyesinden yaklaşık 1420 m yükseltide yer alması, kış aylarında sıcaklıkların çoğu zaman 0 °C'nin altında seyretmesine neden olmaktadır. Aralık ayından Mart ayına kadar geçen dönemde şiddetli soğuklar, donlu günler ve tekrarlayan don–çözül döngüleri yaygındır. Bu süreçte toprak ve kaya yüzeylerinde sıcaklığın düşmesiyle birlikte fiziksel (mekanik) ayrışma etkinliği artmakta, özellikle kayac bünyesindeki eklem, çatlak ve boşlukların genişlemesi hızlanmaktadır.

Yaz aylarında ise yüksek sıcaklıklar ve düşük nem oranı, buharlaşmayı artırarak kaya yüzeylerinde tuz

kristallenmesi ve termal genleşme gibi ayrışma süreçlerini ön plana çıkarmaktadır. Mevsimler arası sıcaklık farklarının belirgin olması ve nem koşullarındaki dalgalanmalar, Eğribucak Kayalıkları'nda tafoni gibi özgün ayrışma şekillerinin gelişimi için elverişli bir ortam oluşturmaktadır. Özellikle kaya yüzeylerinde suyun kısa süreli tutulması, ardından hızlı buharlaşma ve don olaylarının tekrarlanması, tafonilerin büyümesini ve yayılımını destekleyen başlıca iklimsel faktörler arasında yer almaktadır.

Sivas İl Tarım ve Orman Müdürlüğü tarafından yayımlanan *Sivas İli Arazi ve Toprak Varlığı* raporları ile

arazi gözlemleri birlikte değerlendirildiğinde, Eğribucak Kayalıkları ve yakın çevresinde zonal toprak gruplarının hâkim olduğu görülmektedir. Sahada yaygın olarak bulunan kahverengi step toprakları ile kırmızımsı kahverengi topraklar, oluşum ve gelişim süreçleri büyük ölçüde iklim koşulları ve doğal bitki örtüsü tarafından belirlenen toprak tipleridir. Bu topraklar, uzun süreli pedojenik süreçler sonucunda gelişmiş olup, ana materyal ve topoğrafyanın ikincil etkide kaldığı koşulları yansıtmaktadır (Atalay, 2014).

Araştırma sahasında yaygın olarak gözlenen kahverengi step toprakları, yarı kurak ve karasal iklim koşullarında bozkır bitki örtüsü altında gelişmiştir. Bu toprakların düşük organik madde içeriği, kireçli yapısı ve yüksek drenaj kapasitesi, kaya yüzeylerinde suyun kısa süreli tutulmasına ve hızlı buharlaşmasına neden olmaktadır. Bu durum, tafoni oluşumunda temel rol oynayan tuz kristallenmesi (haloklasti) ve ıslanma-kuruma döngülerinin etkinliğini artırmaktadır (Günel, 2020). Toprak kaynaklı çözünebilir tuzların kapiler yükselme yoluyla kaya gözeneklerine taşınması ve bu tuzların buharlaşma sonrası kristallenmesi, gözenek duvarlarında kristal basıncı oluşturarak tane ayrışmasını hızlandırmaktadır.

Kırmızımsı kahverengi topraklar ise yarı kurak iklim koşullarında, yüksek sıcaklık değerleri ve demir minerallerinin oksitlenmesiyle karakterize edilmektedir. Bu topraklardan kaya yüzeylerine taşınan demir oksitler, tafonilerin iç yüzeylerinde sıklıkla gözlenen renklenme ve sert kabuk (case hardening) oluşumunu teşvik etmektedir (Driessen vd., 2001; FAO, 2006). Sert kabuk gelişimi, kaya yüzeyinde diferansiyel ayrışmayı artırarak, kabuğun altında kalan daha zayıf zonların seçici biçimde ayrışmasına ve oyukların derinleşmesine neden olmaktadır (Görsel 6).



Görsel 6. Sert kabuk yüzeyinde diferansiyel ayrışmayı artırarak, kabuğun altı oyukların derinleşmesi

Figure 6. Case hardening enhances differential weathering, leading to the deepening of cavities beneath the hardened surface.

Eğribucak Kayalıkları'nda yer yer kesintili olması, kaya yüzeylerinin doğrudan atmosferik koşullara maruz kalmasına yol açmaktadır. Bu durum, don-çözül döngülerinin, termal genişleme-büzülme ve tuz kristallenmesi gibi fiziksel ayrışma süreçlerinin birlikte etkili olmasına imkân tanımaktadır. Özellikle kayaç bünyesindeki eklem, çatlak ve mikro gözeneklilik, suyun ve çözümlerin seçici olarak tutulmasına olanak sağlayarak tafoni gelişiminin belirli zonlarda yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Eğribucak Kayalıkları ve yakın çevresinde gelişen bitki örtüsü, yarı kurak-karasal iklim koşulları farklı çevresel faktörlerin etkisi altında şekillenmiştir. Bu koşullar altında yayılış gösteren bitkiler, büyük ölçüde kuraklığa dayanıklı (kserofit) ve kumlu zeminlere uyum sağlamış türlerden oluşmaktadır (Atalay, 2015; Avcı, 2012). Bitki örtüsünün seyrek ve parçalı dağılımı, kaya yüzeylerinin geniş ölçüde atmosferik etkilere açık kalmasına neden olmakta ve bu durum, Eğribucak Kayalıkları'nda fiziksel ve kimyasal ayrışma süreçlerini doğrudan etkilemektedir.

Arazi gözlemleri, sahada bozkır ve yarı çöl karakterli bitki türlerinin baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Kumlu ve ayrışmış yüzeylerde gelişen bu türler, yüksek günlük ve mevsimsel sıcaklık farkları ile düşük nem koşullarına uyum sağlamıştır (Kutbay vd., 2017). Bitki örtüsünün zayıf olduğu alanlarda kaya yüzeyleri, yağış sonrası hızla ıslanıp kısa sürede kuruyarak ıslanma-kuruma döngülerinin yoğun yaşanmasına imkân tanımaktadır. Bu mikroklimatik koşullar, tafoni oluşumunda etkili olan tuz kristallenmesi ve tane ayrışması süreçlerini hızlandıran önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

Eğribucak Kayalıkları'nda yaygın olarak rastlanan kara yavşan (*Artemisia scoparia*), soda otu (*Salsola kali*) ve brom otları (*Bromus* türleri), kaya yüzeylerinde ve çatlak zonlarında tutunabilen, kuraklığa dayanıklı bitki türleri olarak öne çıkmaktadır. Bu bitkilerin kökleri, kayaç bünyesindeki mikro çatlaklara nüfuz ederek biyofiziksel ayrışmayı teşvik etmekte; aynı zamanda kök solunumu ve organik asit salınımı yoluyla biyokimyasal ayrışma süreçlerine katkı sağlamaktadır (Şahin vd., 2013; Kartal, 2023). Bu etkileşim, özellikle tafonilerin başlangıç evresinde küçük oyuk ve boşlukların gelişimini desteklemektedir.

Saha genelinde bitki örtüsü, yarı kurak-karasal iklim koşullarına uyum sağlamış kserofit ve psammofit türlerden oluşmaktadır. Bu bağlamda alanda yaygın olarak sütleğen (*Euphorbia* spp.), yavşan otu (*Artemisia* spp.), karamuk (*Berberis vulgaris* L.), civanperçemi (*Achillea millefolium* L.), geven (*Astragalus* spp.), kuşburnu (*Rosa canina* L.), yaban mersini (dane) (*Vaccinium myrtillus* L.), altın otu (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench), kekik (*Thymus* spp.), ebe gümece (*Malva sylvestris* L.), çüce ardıcı (*Juniperus nana*) ve çiğdem (*Crocus* spp.) gibi türler bulunmaktadır. Bu bitkiler, kaya yüzeyleri ve tafonili alanlarda sınırlı toprak gelişimi, yüksek geçirgenlik ve düzensiz nem koşulları

altında gelişerek biyofiziksel ve biyokimyasal ayrışma süreçlerine dolaylı katkı sağlamaktadır.



Görsel 7. Tafonili yüzeylerin tabanlarında ve ayrışma ürünleri üzerinde bitki türleri (çiğdem, altın otu, sütleşen, kuşburnu)

Figure 7. Plant species on the bases of tafoni surfaces and on weathering debris (*Crocus spp.*, *Helichrysum arenarium*, *Euphorbia spp.*, *Rosa canina L.*)

Kayalık yamaçlar ve tafonili yüzeylerde bodur gelişimli kenger (*Eryngium* türleri), beyaz amaranta (*Amaranthus albus*), küçük çiçekli yonca (*Trifolium micranthum*) ve fiğ (*Medicago* türleri) gibi otsu ve yarı çalı formu bitkiler yayılış göstermektedir. Bu bitkiler yüzey stabilizasyonuna sınırlı ölçüde katkı sağlamakla birlikte, kaya yüzeylerinde diferansiyel ayrışmayı artıran mikrohabitatların oluşmasına zemin hazırlamaktadır (Groom vd., 2015). Bitki köklerinin yoğunlaştığı alanlar ile çıplak kaya yüzeyleri arasındaki nem ve sıcaklık farkları, tafonilerin seçici olarak geliştiği zonların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Görsel 8).



Görsel 8. Tafoniler üzerinde bitki köklerinin geliştiği alanlar

Figure 8. Areas of tafoni surfaces where plant roots develop

Tafonileşme Sürecinde Etkili Olan Unsurlar

Eğribucak Kayalıkları'nda gözlenen tafoniler, kayaç özellikleri, yapısal zayıflıklar, iklimsel koşullar ve yüzeysel süreçlerin etkileşimiyle şekillenen çok etkenli bir jeomorfolojik süreçler dizisi sonucunda oluşmaktadır (Turkington & Paradise, 2005; Mustoe, 2010; Kopar ve Şaroğlu, 2016). Bu süreçler, başlangıçtan ileri aşamalara kadar belirli bir sıra ve karşılıklı etkileşim içinde ilerler.

Saha birimleri, orta-kalın tabakalı ve gözenekli kumtaşlarından oluşmaktadır. Bu kayalar düşük çimentolama oranı nedeniyle, yağış ve yeraltı sularıyla taşınan çözeltilerin kaya dokusu içine sızmasına olanak tanır. Gözenek yapısı, kristal basıncına bağlı ayrışma ve mineraller arası bağların zayıflamasıyla oyuk çekirdeklerinin oluşumunu kolaylaştırır (Adamovič vd., 2011; McBride & Picard, 2004). Özellikle ince taneli ve gevşek çimentolu tabakalarda oyuklar daha hızlı gelişirken, sıkı tabakalar yüzeysel ve düzensiz kalmaktadır.

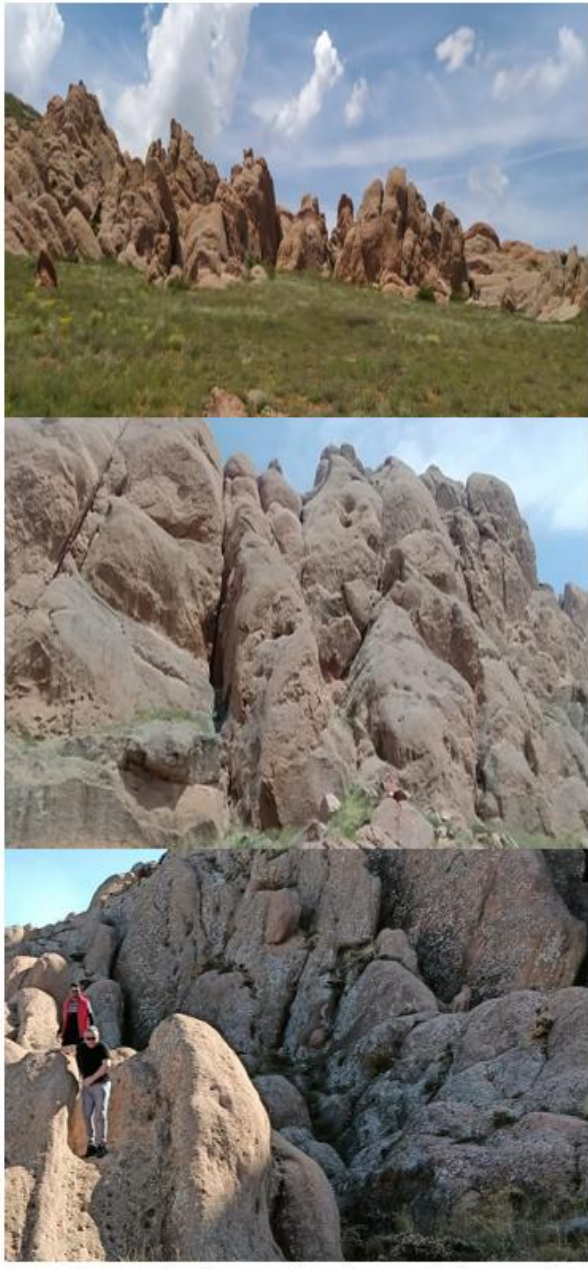


Görsel 9. Yağış ve yeraltı sularıyla gerçekleşen oyuk çekirdeklerinin oluşumunu

Figure 9. Formation of cavity cores through precipitation and groundwater action

Bölgede hakim olan kuzey-güney yönlü sıkışma tektoniği, kayalarda eklem, çatlak ve tabaka yüzeylerinin gelişmesine yol açmıştır. Bu yapısal zayıflıklar, oyukların oluşumunda başlangıç odakları olarak işlev görür. Saha gözlemleri, oyukların çoğunlukla eklem hatları boyunca

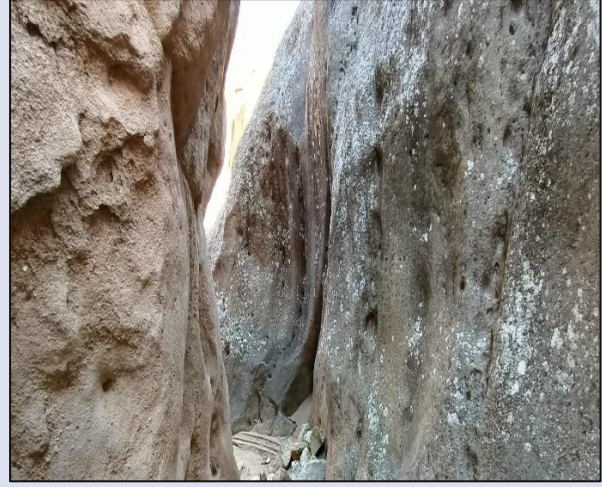
hizalanmış veya tabaka yüzeylerinde asimetrik biçimlerde geliştiğini göstermektedir (Sancho & Benito, 1990; Turkington & Phillips, 2004). Bu odak noktalarında nem ve tuz çözeltileri birikmekte, kayaç ayrışması bu noktalarda yoğunlaşmaktadır (Görsel 10).



Görsel 10. Bir hat boyunca hizalanmış tabaka yüzeyleri
Figure 10. Bedding surfaces aligned along a lineament

Tuz kristallenmesi, tafoni morfolojisinin oluşumunda temel mekanizma olarak ön plana çıkar. Kayaç gözeneklerine sızan çözeltideki tuzlar, buharlaşma ile kristalleşerek kaya tanecikleri arasındaki bağları zayıflatır ve kavernoöz boşlukların gelişmesini sağlar (Rodriguez-Navarro ve Doehne, 1999; Kopar ve Şaroğlu, 2016). Saha çalışmaları, oyuk tabanlarında tuz birikintileri ve demir oksit lekeleri gözlemlenmiş; bu

durum, kristal basıncının heterojen dağılımının morfolojiye etkisini doğrulamıştır. Tuz ve nem döngüsü günlük ve mevsimlik olarak tekrarlanarak oyukların derinleşmesini ve genişlemesini sürdürür (Görsel 11).



Görsel 11. Tuz kristallenmesiyle gerçekleşen tafoni morfolojisine bir örnek
Figure 11. An example of tafoni morphology formed by salt crystallization

Mikroklimatik koşullar, tafonilerin dağılımını ve morfolojisini belirleyen bir diğer faktördür. Gölge alanlar, rüzgara açık veya yarı korunaklı kaya yüzeyleri, nemin daha uzun süre tutulmasına olanak sağlar ve tuz kristalleşmesi için elverişli ortam yaratır (McGreevy, 1985; Sunamura, 1996). Oyuk içlerinde biriken ince taneli materyal ve toz, higroskopik özellik göstererek nem tutulumunu artırır ve ayrışmayı pekiştirir (Rodriguez-Navarro vd., 1999). Ayrıca rüzgar ve kum taşınımı oyuk ağızlarını aşındırarak kenarları törpüler ve karakteristik kavernoöz formu oluşturur (Bradley vd., 1978; Görsel 12).



Görsel 12. Rüzgar ve kum taşınımı sonucunda oyuk ağzlarının aşınmasıyla oluşan kavernöz formu
Figure 12. Cavernous form developed by the abrasion of cavity mouths due to wind and sand transport

Fiziksel ayrışma süreçleri de tafoni gelişiminde belirleyicidir. Don-çözülme olayları, kaya bünyesindeki çatlakları genişleterek oyuk derinleşmesini sağlar. Günlük ve mevsimlik termal genleşme ve büzülme, kaya yüzeyinde mikropul ayrışmalarına yol açarak oyuk ağzlarının ve kenarlarının genişlemesine katkı verir (Nash, 2000; Viles, 2011). Bu mekanik ayrışmalar, oyukların birleşmesine ve kavernöz kümelerin oluşmasına olanak tanır (Turkington & Paradise, 2005; Görsel 13).



Görsel 13. Oyukların birleşmesiyle meydana gelen kavernöz kümelerinin oluşumu
Figure 13. Formation of cavernous clusters resulting from the coalescence of cavities

Biyolojik süreçler, tafonilerin yüzey morfolojisini mikro ölçekte etkiler. Oyuk yüzeylerinde gelişen likenler, algler ve mikrobiyal biyofilmler, nem tutulumunu artırarak kimyasal ayrışmayı destekler. Biyojenik asitlerin etkisiyle mineraller mikro ölçekte çözünür ve oyuk yüzeylerinde peteksi bir morfoloji gelişir (Mustoe, 2010; Andrews vd., 2004). Saha gözlemlerinde biyolojik örtü ile kaplı yüzeylerin daha pürüzlü ve mikro çöküntülü olduğu tespit edilmiştir (Görsel 14).



Görsel 14. Vadi yamaçlarındaki biyolojik süreçlerin etkisiyle oluşan yüzey morfolojisine ait mikro ölçekli tafoni örneği
Figure 14. Micro-scale tafoni example of surface morphology shaped by biological processes on valley slopes

Sonuç olarak, Eğribucak Kayalıkları'ndaki tafoniler, litolojik uygunluk, yapısal zayıflıklar, tuz kristalleşmesi, mikroklimatik koşullar, fiziksel ayrışma ve biyolojik katkıların eşzamanlı etkileşimi ile şekillenmektedir. Başlangıçta milimetrik çekirdekler olarak oluşan oyuklar, zamanla birleşip kavernöz kümeler oluşturarak bölgenin karakteristik tafoni morfolojisini ortaya çıkarmıştır (Rodriguez-Navarro vd., 1999; Turkington & Paradise, 2005; Mustoe, 2010).

Sonuç

Bu çalışma kapsamında Sivas ili sınırları içerisinde yer alan Eğribucak Kayalıkları'nda gelişen tafoni ayrışma şekilleri, litolojik özellikler, yapısal unsurlar, iklim koşulları, toprak özellikleri ve biyolojik etkenler bağlamında bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, tafoni oluşumunun tek bir süreçle açıklanamayacağını; aksine çok sayıda jeomorfolojik, jeolojik ve çevresel faktörün eş zamanlı ve karşılıklı etkileşimi sonucunda geliştiğini ortaya koymaktadır.

Araştırma sahasında tafonilerin özellikle gözeneklilik yapısı heterojen, orta-kalın tabakalı ve zayıf çimentolu kumtaşları üzerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Kumtaşı-çamurtaşı ardalanmasının yaygın olduğu Karayün ve Karacaören formasyonları, tuz çözeltilerinin kaya bünyesine sızması ve kristallenmesi açısından elverişli bir fiziksel ortam sunmaktadır. Tabakalanma düzlemleri, eklem ve çatlak sistemleri tafoni çekirdeklerinin olduğu başlıca yapısal zayıflık alanları olarak öne çıkmakta; bu zonlarda nem ve tuz birikimi kolaylaşarak ayrışma süreçleri hız kazanmaktadır.

İklimsel açıdan yarı kurak karasal koşulların hâkim olduğu sahada, belirgin mevsimsel sıcaklık farkları, düzensiz yağış rejimi ve yüksek buharlaşma oranları, tafoni gelişimini destekleyen temel çevresel eşiklerdir. Özellikle ıslanma-kuruma döngülerinin sık tekrarlanması ve yaz aylarında artan buharlaşma, kaya gözeneklerinde çözünen tuzların kristal basıncı oluşturarak tane ayrışmasını hızlandırmasına neden olmaktadır. Kış aylarında yaygın olarak gözlenen don-çözül döngüleri ise mekanik ayrışmayı artırarak oyukların derinleşmesi ve genişlemesine katkı sağlamaktadır.

Araştırma sahasında gözlenen toprak özellikleri de tafoni oluşumunu dolaylı biçimde etkilemektedir. Kahverengi step ve kırmızımsı kahverengi topraklardan kapiler yükselim yoluyla taşınan çözünebilir tuzlar ve demir oksitler, kaya yüzeylerinde hem tuz kristallenmesini hem de sert kabuk (case hardening) gelişimini teşvik etmektedir. Sert kabuk oluşumu, diferansiyel ayrışmayı artırarak kabuğun altındaki zayıf zonların seçici biçimde oyulmasına ve tafoni boşluklarının belirginleşmesine neden olmaktadır.

Bitki örtüsü açısından saha, yarı kurak koşullara uyum sağlamış kserofit ve psammofit türlerin hâkim olduğu seyrek bir dağılım sergilemektedir. Bu durum, kaya yüzeylerinin

geniş ölçüde atmosferik etkilere açık kalmasına yol açmakta ve fiziksel ayrışma süreçlerini güçlendirmektedir. Bununla birlikte, bitki köklerinin çatlak ve mikro boşluklara nüfuz etmesi, biyofiziksel ayrışmayı; kök solunumu ve organik asit salınımı ise biyokimyasal ayrışmayı destekleyerek tafoni çekirdeklerinin oluşumuna katkı sağlamaktadır. Liken ve mikrobiyal biyofilmler gibi biyolojik örtülerin oyuk içlerinde nem tutulumunu artırdığı ve mikro ölçekte peteksi ayrışma morfolojilerinin gelişimini teşvik ettiği gözlenmiştir.

Bu bulgular, Eğribucak Kayalıkları'ndaki tafonilerin, dünya literatüründe vurgulanan kıyı ve denizel etkilerden bağımsız olarak, yarı kurak iç bölgelerde de etkin biçimde gelişebildiğini göstermektedir. Dolayısıyla çalışma, tafoni oluşumuna ilişkin süreç temelli yaklaşımları desteklemekte ve Orta Anadolu'nun yarı kurak iç kesimlerinin bu morfolojilerin gelişimi açısından önemli bir doğal laboratuvar niteliği taşıdığını ortaya koymaktadır.

Öneriler

Bu çalışma, Eğribucak Kayalıkları'nın tafoni oluşumu açısından yüksek bilimsel potansiyele sahip özgün bir jeomorfolojik alan olduğunu göstermiştir. Ancak tafoni gelişiminin zamansal dinamiklerini daha ayrıntılı biçimde ortaya koyabilmek için uzun süreli izleme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, kaya yüzeylerinde nem, sıcaklık ve tuz birikimini ölçmeye yönelik mikroklimatik sensörlerin kullanılması, süreçlerin nicel olarak değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, kayaç örnekleri üzerinde gerçekleştirilecek petrografik, mineralojik ve jeokimyasal analizler, tuz türlerinin (örneğin sülfat, klorür veya nitratlar) tafoni morfolojisi üzerindeki farklı etkilerinin daha net biçimde ortaya konulmasını sağlayabilir. Laboratuvar destekli deneysel çalışmalar, arazi gözlemleriyle birlikte ele alındığında, tafoni oluşum mekanizmalarının daha sağlam temellere oturtulmasına olanak tanıyacaktır.

Jeomorfolojik açıdan dikkat çekici bu alanın, Yukarı Kızılırmak Jeoparkı kapsamında değerlendirilmesi, hem bilimsel araştırmaların sürdürülebilirliği hem de jeoturizm potansiyelinin kontrollü biçimde geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Tafonili yüzeylerin yoğun olduğu alanlarda koruma-kullanma dengesi gözetilmeli, plansız ziyaretlerin ve fiziksel müdahalelerin kaya yüzeyi ayrışma süreçlerini hızlandırmasının önüne geçilmelidir.

Genişletilmiş Özet

Tafoni, kaya yüzeylerinde oluşan oyuk ve çukurlarla karakterize edilen bir ayrışma şeklidir ve hem fiziksel hem kimyasal süreçlerin etkileşimiyle gelişir. Bu oluşumlar, kaya litolojisi, yapısal özellikler, iklim koşulları, toprak özellikleri ve biyolojik etkenler gibi çok sayıda faktörden etkilenir. Eğribucak Kayalıkları (Sivas) Orta Anadolu'nun yarı kurak iç kesimlerinde yer almakta olup, tafoni oluşumlarının doğal ortamda gözlemlenmesi ve etkileşim mekanizmalarının anlaşılması açısından önemli bir saha sunmaktadır. Bu çalışma, Eğribucak Kayalıkları'nda gelişen tafoni ayrışma şekillerinin oluşum mekanizmalarını, litolojik ve yapısal

özellikler ile iklim, toprak ve biyolojik etkenler bağlamında değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, tafoni oluşumunu açıklamada tek bir sürecin yetersiz olduğunu ortaya koymayı ve Orta Anadolu'nun jeomorfolojik süreçlerini anlamaya katkı sağlamayı hedeflemektedir. Tafoniler, doğal kaya yüzeylerinin şekillenmesinde ve bölgesel jeomorfolojik süreçlerin yorumlanmasında kritik öneme sahiptir. Ayrıca, bu tür oluşumların korunması, doğal mirasın sürdürülebilir yönetimi ve jeoturizm açısından değer taşır. Orta Anadolu gibi yarı kurak bölgelerde tafoni gelişimi üzerine yapılan çalışmalar sınırlı olduğundan, bu araştırma hem literatüre katkı sağlamakta hem de bölgeye özgü morfolojik ve çevresel etkenlerin anlaşılmasını desteklemektedir.

Araştırmada bütüncül bir yaklaşım benimsenmiş, saha gözlemleri, ikincil veri analizi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli mekânsal değerlendirmeler bir arada kullanılmıştır. Kayaların litolojisi, tabakalanma, eklem ve çatlak sistemleri kaydedilmiş; tafonilerin boyut, şekil ve dağılım özellikleri belirlenmiştir. Bunun yanında, iklim verileri, toprak özellikleri ve bitki örtüsü gözlemleri de çalışmaya dahil edilmiştir. Elde edilen bulgular, tafonilerin özellikle gözenekliliği heterojen, zayıf çimentolu ve orta-kalın tabakalı kumtaşları üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Kumtaşı-çamurtaşı ardalanmasının yaygın olduğu sahada, tabakalanma düzlemleri ve çatlak sistemleri, tafoni çekirdeklerinin geliştiği başlıca yapısal zayıflık zonlarını oluşturmaktadır. Nem ve tuz çözeltilerinin birikimi, tuz kristallenmesi ve buharlaşma, tane ayrışmasını hızlandırmaktadır. Yarı kurak iklim koşulları, düzensiz yağış rejimi, yüksek buharlaşma ve belirgin mevsimsel sıcaklık farkları, ıslanma-kuruma ve don-çözül döngüleri ile birlikte oyukların derinleşmesine ve genişlemesine katkı sağlamaktadır. Toprak kaynaklı tuzlar ve demir oksitler diferansiyel ayrışmayı artırırken, seyrek bitki örtüsü biyofiziksel ve biyokimyasal süreçlerle tafoni oluşumunu desteklemektedir. Çalışma, tafoni oluşumunun tek bir süreçle açıklanamayacağını, çok faktörlü ve etkileşimli bir jeomorfolojik sistemin ürünü olduğunu ortaya koymaktadır. Eğribucak Kayalıkları, Orta Anadolu'nun yarı kurak iç kesimlerinde tafoni gelişimi açısından önemli bir araştırma alanı sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, uzun süreli izleme ve deneysel yöntemlerle ayrışma süreçlerinin ayrıntılı incelenmesini sağlayabilir ve bu veriler ışığında tafonilerin korunmasına yönelik stratejiler geliştirilebilir.

Extended Abstract

Tafoni is a type of weathering characterized by cavities and pits on rock surfaces, forming through the interaction of both physical and chemical processes. These formations are influenced by multiple factors, including rock lithology, structural features, climatic conditions, soil properties, and biological agents. The Eğribucak Rocks (Sivas), located in the semi-arid interior of Central Anatolia, provide an important natural setting for observing tafoni development and understanding the mechanisms driving their formation. This study aims to evaluate the formation mechanisms of tafoni weathering forms at the Eğribucak Rocks within the context of lithological and structural features as well as climatic, soil,

and biological factors. The research seeks to demonstrate that tafoni development cannot be explained by a single process and to contribute to a better understanding of the geomorphological processes of Central Anatolia. Tafoni play a critical role in shaping natural rock surfaces and in interpreting regional geomorphological processes. Furthermore, the preservation of such formations is important for sustainable management of natural heritage and geotourism. Since studies on tafoni development in semi-arid regions of Central Anatolia are limited, this research contributes to the literature while providing insight into the site-specific morphological and environmental factors influencing tafoni formation. A holistic approach was adopted, combining detailed field observations, secondary data analysis, and spatial evaluations supported by Geographic Information Systems (GIS). The lithology, bedding, joint, and fracture systems of the rocks were documented, and the size, shape, and distribution of tafoni were determined. Additionally, climate data, soil characteristics, and vegetation observations were incorporated into the analysis. The results indicate that tafoni are particularly concentrated in heterogeneously porous, weakly cemented, and medium-to-thick bedded sandstones. In areas with alternating sandstone–mudstone sequences, bedding planes and fracture systems represent the main structural weakness zones where tafoni cores develop. Accumulation of moisture and salt solutions, together with salt crystallization and evaporation, accelerates granular disintegration. Semi-arid climatic conditions, irregular precipitation, high evaporation rates, and significant seasonal temperature variations, combined with wetting–drying and freeze–thaw cycles, contribute to the deepening and widening of cavities. Soluble salts and iron oxides transported from soils enhance differential weathering, while sparse vegetation indirectly influences tafoni formation through biophysical and biochemical processes. The study demonstrates that tafoni formation cannot be explained by a single process; rather, it is the product of a multi-factorial and interactive geomorphological system. The Eğribucak Rocks provide a valuable research site for understanding tafoni development in the semi-arid interior of Central Anatolia. Future studies could benefit from long-term monitoring and experimental methods to investigate weathering processes in more detail, providing a scientific basis for strategies aimed at preserving tafoni formations.

Kaynaklar

Adamovic, J., Mikulas, R., Schweigstillova, J. ve Bohmova, V. (2011) Çek Cumhuriyeti, Bohemya Kretase Havzası'ndaki Kumtaşlarının Tuz Ayrışmasıyla Oluşan Gözeneklilik Değişimleri. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 8, 29-46.

Andrews, J. E., Brimblecombe, P., Jickells, T. D., Liss, P. S., Reid, B. J., (2004). An introduction to environmental chemistry. Blackwell Science, Oxford, U.K.

Atalay, İ. (2014). *Toprak coğrafyası*. Meta Basım Yayın.

Atalay İ. (2015). Türkiye Vegetasyon Coğrafyası. Meka Basım, İzmir

Avcı, M. (2012). Çeşitlilik ve endemizm açısından Türkiye'nin bitki örtüsü. *Journal of Geography*(13).

Ayaz, E., (2013), Sivas yöresinin karmaşık jeolojik yapısına bağlı olarak gelişen önemli maden yatakları ve mta'nın sivas yöresindeki yeni Bulguları. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 16, 65-87.

Bilici, B., ve Erik, Y. N., (2003), Karayün (sivas güneydoğusu) civarındaki miyosen yaşlı birimlerin organik jeokimyasal, organik petrografik ve organik fasiyes özellikleri, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(1), ss.25-37.

Bradley, W. C., Hutton, J. T., Twidale, C. R., (1978). Role of salts in development of granitic tafoni, South-Australia. *J. Geol.* v. 86: p. 647–654

Brandmeier, M., Kuhlemann, J., Krumrei, I., Kappler, A., & Kubik, P. W. (2011). New challenges for tafoni research. A new approach to understand processes and weathering rates. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(6), 839-852.

Charola, A. E. (2000). Salts in the deterioration of porous materials: An overview. *Journal of the American Institute for Conservation*, 39(3), 327–343.

Çiçekliyurt, B. S., (2019), *Sivas Emirhan Yöresinin Uydu Görüntüleri Kullanılarak Jeolojik İncelenmesi (Sivas, Türkiye)*, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Çiner, A. ve Koşun, E., (1996), Hafik Güneyindeki (Sivas Havzası) Oligo-Miyosen Yaşlı Çökellerin Stratigrafisi ve Sedimentolojisi, *TPJD Bülteni*, 8(1), ss.16-34.

Demir, Ş. Ç., Uçurum, A., ve Efe, A., (2019), Akkaya sölestin yatağının jeolojisi, mineralojik-petrografik özellikleri ve izotop (sr, s, o, h) jeokimyası (Ulaş, Sivas-Türkiye), *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), ss. 215-237.

Dohne, E., (2002). Salt Weathering: A selective review, Geological Society Special Publication, Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies, 205, 51–64.

Driessen, P., Deckers, J., & Spaargaren, O. ve Nachtergaele, F. (2001). *Lecture notes on the major soils of the world*. FAO.

Erginal, A. E., Gönüz, A., Bozcu, M., Ates, A. S., Cetiner, Z. S., (2007). The first findings on the origin of alveolar disintegration at the western shores of the Gelibolu peninsula. *Bulletin of Mineral Research and Exploration*, 134, 27–34.

Erol, O. (1981). Neotectonics and geomorphological evolution of Turkey. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, 40.

FAO. (2006). *Guidelines for soil description* (4th ed.). FAO Publishing.

Goudie, A., & Viles, H. A. (2015). *Landscapes and landforms of Namibia* (p. 164). Dordrecht, Netherlands: Springer.

Goudie, A. S., Wright, E., Viles, H. A., (2002). The roles of salt (sodium nitrate) and fog in weathering: a laboratory simulation of conditions in the northern Atacama Desert, Chile. *Catena*, 48, 255-266.

Groom, K. M., Allen, C. D., Mol, L., Paradise, T. R., & Hall, K. (2015). Defining tafoni: Re-examining terminological ambiguity for cavernous rock decay phenomena. *Progress in Physical Geography*, 39(6), 775-793.

Günel, N. (2020). Türkiye'de Klimatoloji Araştırmaları. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi*, 18 (35), 99-142.

Huggett, R., & Shuttleworth, E. (2022). *Fundamentals of geomorphology*. Routledge.

Kartal, F. (2023). Emirhan ve Eğribucak Kayalıkları (sivas çevresindeki kumul bitkileri VII. *Uluslararası türklerin dünyası sosyal bilimler sempozyumu*, 02-04 Haziran/June 2023 Prag-ÇEKYA

Kopar, İ., & Şaroğlu, F. (2016). Olur Çayı Havzası'nda (Erzurum-KD Türkiye) tafoni oluşumunu kontrol eden faktörler ve tafoni hücrelerinin morfolojik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*(67), 1-9. <https://doi.org/10.17211/tcd.36593>.

Kurtman, F., (1973), Sivas-Hafik-Zara ve İmranlı Bölgesi'nin Jeolojik ve Tektonik Yapısı, *MTA Dergisi*, 80, ss.1-32.

- Kutbay, G. H., Sürmen, B., Ağır, U. Ş., ve Kılıç, D. D., (2017), Samsun İli Kıyı Kumullarında Tespit Edilen Yabancı Bitkiler, *Turkish Journal of Weed Science*, 20(2), ss.19-27.
- Mareš, J., Bruthans, J., Studencová, A., & Filippi, M. (2024). Moisture patterns and fluxes in evolving tafoni developed in arkosic sandstone in temperate climate. *Earth Surface Processes and Landforms*, 49(12), 3706-3720.
- McBride, E. F., & Picard, M. D. (2004). Origin of honeycombs and related weathering forms in Oligocene Macigno Sandstone, Tuscan coast near Livorno, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(6), 713-735.
- McGreevy, J. P., (1985). A preliminary scanning electron-microscope study of honeycomb weathering of sandstone in a coastal environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, 509–518.
- MGM. (2022). MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) Yayımlanmış Rasat Verileri.
- Mottershead, D. N., & Pye, K. (1994). Tafoni on coastal cliffs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19(6), 543–563.
- Mustoe, G. E., (2010). Biogenic origin of coastal honeycomb weathering. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 424–434.
- Nash, D., (2000). Arid Geomorphology. *Progress in physical geography*, 24, 425-443.
- Özpay, A. G. ve Ocak, F. (2017). Sivas ilinde bir jeosit alanı: Eğribucak Kayalıkları. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(18), 77-93.
- Özpay, A. G., Erdem, Ö. N., Ayaz, E., ve Ocak, F., (2017), Yeni Bir Jeoturizm Sahası: Emirhan Kayalıkları (Sivas), *Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(14), ss.15-29.
- Özpay, A. G., ve Ünsal, Ö., (2018), Yukarı Kızılırmak Kültür ve Doğa Yolu I. Etap (Sivas-Zara), *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(Özel Sayı), ss. 2173-2193.
- Paradise, TR (2023). Tafoni ve Diğer Kaya Havzaları. *Yer Sistemleri ve Çevre Bilimleri Referans Modülü*, 3, 204-220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09570-1>
- Rodriguez-Navarro, C., Doehne, E., Sebastian, E., (1999). Origins of honeycomb weathering: The role of salts and wind: *Geol. Soc. Am. Bull.* 111, 1250-1255.
- Rodriguez-Navarro, C., Doehne, E., (1999). Salt weathering: Influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 191-209
- Sancho, C., Benito, G., (1990). Factors controlling tafoni weathering in the Ebro Basin (NE Spain), *Zeitschrift für Geomorphologie*, 34, 165–177
- Schnepfleitner, H., Sass, O., Fruhmann, S., Viles, H., & Goudie, A. (2016). Tafoni'de (Tafraoute, Fas) sıcaklık, nem ve tuz dinamiklerinin çok yöntemli bir araştırması. *Yer Yüzeyi Süreçleri ve Yer Şekilleri*, 41 (4), 473-485.
- Sunamura, T., (1996). A physical model for the rate of coastal tafoni development, *J. Geol.* 104, 741–748.
- Şahin, B., Aslan, S., ve Ayyıldız, G., ve Vural, M., (2013), Kızılırmak Deltasında Görülen Habitat Tipleri, *III. Ulusal Sulak Alanlar Kongresi*, 23-25 Ekim, Samsun, 271-276.
- Turkington, A. V., (1998). Cavernous weathering in sandstone: lessons to be learned from natural exposure. *Q J Eng Geol Hydrogeol.*, 31, 375–383.
- Turkington, AV ve Paradise, TR (2005) Kumtaşı Aşınması: Bir Asırlık Araştırma ve İnovasyon. *Jeomorfoloji*, 67, 229-253. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.028>
- Turkington, A., & Phillips, J. D. (2004). Cavernous weathering, instability and self-organization. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 665–682.
- Twidale, C. R., & Bourne, J. A. (2008). Caves in granitic rocks: types, terminology and origins.
- Uzun, A., (1998). Weathering forms on sandstones directly exposed to sea effects in Gelincikburnu and its surroundings (south coast of the Black Sea). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 42, 233-244.
- Viles, H. A., (2011). Thomas, D. S. G., (Editor), *Weathering systems, Arid Zone Geomorphology; Process, form and change in drylands*, Wiley-Blackwell, ISBN: 978-0-470-51908-0, 7, 85-100.