



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



Zayıf jeolojik birimlerin dağılma davranışının dip oyulma hızı açısından araştırılması

Investigation of the slaking behavior of weak geological units in terms of undercutting rate

Semiha ÖZDEMİR^a ve Zeynal Abiddin ERGÜLER^{a*}

^aKütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Bozunma, Dip Oyulma,
Dip Oyulma Hızı, Kil
İçeren Kayalar, Suda
Dağılma, Zayıf Kayalar.

ÖZ

Bu çalışma kapsamında zayıf jeolojik birimlerin dip oyulma hızlarının arazi koşullarında ölçülmesi, kaya türlerine bağlı değişimin ortaya konulması ve bu parametrenin ilgili diğer indeks ve fiziksel özellikleri ile olan ilişkisinin tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla, zayıf jeolojik malzemelerin bulunduğu karayolu şevlerinde dip oyulma probleminin gözlemlendiği on bir farklı saha çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu kazı şevlerinde birçok lokasyonda dip oyulma derinlikleri, zayıf jeolojik birimlerin taze yüzeylerine yerleştirilen çivilerden farklı tarihlerde alınan ölçümler ile sağlanmıştır. Ayrıca, kazı tarihi bilinen karayolu şevlerinde doğrudan sağlam ve zayıf kaya birimleri arasındaki aşınma miktarı kullanılarak dip oyulma derinlikleri alınmıştır. Ölçüm yapılan yerlerde zayıf kayaların fiziksel ve duraylılık deneylerinde kullanılmak üzere uygun miktar ve boyutlarda örnekler derlenmiştir. Yapılan analizlerde, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ve dağılma indeksi gibi deney sonuçlarının yanı sıra dağılma oranı (D_R) parametresinin de bu jeolojik birimlerin dağılma davranışlarının tespitinde kullanılabilirliği araştırılmış ve istatistiksel olarak anlamlı görgül eşitlikler elde edilmiştir. Farklı zayıf jeolojik birimlerden elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, dip oyulma derinliği değerlerinin yaklaşık olarak 10,1-45,8 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.

Geliş Tarihi: 08.12.2020

Kabul Tarihi: 16.03.2021

Keywords:

Weathering, Undercutting,
Undercutting Rate, Clay-
Bearing Rocks, Slaking,
Weak Rocks.

ABSTRACT

It is aimed in this study to measure the undercutting rate of weak geological units under field conditions and to determine the relationship between this parameter and other indexes and physical properties of related rocks. Thus, 11 different locations in which weak materials were found and undercutting problems were observed in the road slopes were selected. In these road cuts, the undercutting depths in many locations were obtained by measurements taken at different dates from the pins installed in the fresh surface of weak units. In addition, undercutting depth was directly taken by using the amount of erosion between durable and weak rock units in the road slopes with a known date of the excavation. Samples having suitable amounts and sizes were collected at the measured locations to be used in physical and durability tests. In the analyses, the applicability of the results of slake index and durability tests, as well as the disintegration ratio in the determination of the disintegration behavior of these geological units, was investigated, and statistically significant empirical equations were obtained. Considering the results obtained from different weak geological units, it was determined that the depth of undercutting values change approximately between 10.1 and 45.8 mm.

*Başvurulacak yazar: Zeynal Abiddin ERGÜLER, zeynal.erguler@dpu.edu.tr

1. Giriş

Zayıf ve özellikle kil içeren kayaların mineralojik bileşimleri, oluşum koşulları ile yapı ve dokusu nedeniyle ıslanma-kuruma gibi fiziksel bozunma süreçleri sonucu yoğun bir şekilde dağılma davranışı gösterirler. Bu kayalarda gözlenen bu dağılma davranışının tanımlanması ve değerlendirilmesi için günümüze kadar birçok laboratuvar deneyi önerilmiştir (Wood ve Deo, 1975; Deo, 1972; Franklin ve Chandra, 1972). Mühendislik projelerinde kayaların su alıp-verme aşamalarına karşı verdiği tepkinin ölçülmesinde ve dağılmanın sayısallaştırılmasında Franklin ve Chandra (1972) tarafından geliştirilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi (I_d) yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Ancak, Moon ve Beattie (1995), I_d deneyinin ilk çevrim sonucunda kil içeren pek çok kaya malzemesinin uzun eksenleri 10-15 mm arasında değişen parçalara ayrılmasına rağmen tamburların elek açıklıklarından daha büyük olması nedeniyle duraylı kalan malzeme olarak göz önünde bulundurulduğunu vurgulamışlardır (Ergüler, 2007). Benzer şekilde, önceki çalışmalarda da (Moon ve Beattie, 1995; Gökçeoğlu, 1997; Koncagül ve Santi, 1999; Gökçeoğlu vd., 2000; Ergüler, 2007; Ergüler ve Ulusay, 2009) vurgulandığı gibi, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyindeki sınırlamalar nedeniyle, kayaların suda dağılma davranışı laboratuvar koşullarında yeterli bir şekilde modellenememektedir. Kayaların suda dağılma davranışının değerlendirilmesi için önceki çalışmalarda önerilen yöntemlerde karşılaşılan sınırlama ve belirsizlikler, arazi koşullarında meydana gelen dağılma davranışının ölçülmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerin yanı sıra, kil içeren kayaların arazide göstermiş olduğu dağılma davranışı ve dağılma hızının da değerlendirmeye alınmasının mühendislik projelerinin başarılı bir şekilde uygulanması açısından oldukça önemli olacağı düşünülmektedir.

Farklı bozunma süreçlerine maruz kalan karayolu gibi kazı şevlerini oluşturan zayıf kaya birimlerinin dipten oyulması, ülkemizde de birçok şevde sık görülen bir duraysızlık sorunu oluşturmaktadır. Duraysızlıklar çoğu zaman, birbirini izleyen sert birimlerin (kumtaşı, kireçtaşı, dolomitler vb.) ve yumuşak birimlerin (kıltaşı, çamurtaşı, şeyl vb.) bulunduğu kazı şevlerinin zamana bağlı dağılıp ortamdan uzaklaşması sonucunda oluşur. Bozunma süreçlerine karşı duraylı ve duraysız birimlerin ardalanmalı bulunduğu bu şevlerde, zayıf

ve çoğunlukla kil içeren kaya birimlerin daha hızlı atmosferik süreçlere tepki vermesi ve dolayısıyla bunları üzerleyen daha duraylı sert birimlere oranla daha hızlı dağılması sonucu sert birimler zamanla toprak yitimine maruz kalmaktadırlar.

Dip oyulması hızını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler kil içeren kayaların jeoteknik özellikleri ve kazı şevlerinin fiziksel özellikleri şeklinde iki ana grupta toplanmaktadır. Önceki çalışmalarda (Deo, 1972; Stollar, 1976; McClure, 1981; Oakland ve Lovell, 1985; Shakoor ve Brock, 1987) suda dağılma duraylılığı, plastisite özellikleri, donma çözülme duraylılığı, kil mineralojisi ve kaya dokusu gibi parametrelerin kil içeren kayaların dağılma davranışını kontrol eden önemli jeoteknik özellikler olduğu belirtilmiştir. Şevin eğim yönü ve açısı yeraltı suyu sızması, yüzey akışı, şev bitki örtüsü, moloz birikimi ve sert kaya birimlerindeki süreksizliklerin sıklığı gibi parametreler ise kazı şevlerinin fiziksel özellikleri olarak değerlendirilir (Thornbury, 1954; Sowers ve Royster, 1978; Rib ve Liang, 1978).

Shakoor ve Rodgers (1992) on dört ayrı sahada aldıkları ölçümlerle, Devoniyen-Permiyen (yaklaşık 419-251 milyon yıl) yaşlı (Niemann, 2009; Admassu vd., 2012) kil içeren kayalarda dip oyulması hızı, dip oyulması hızını etkileyen fiziksel faktörleri ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile dip oyulması hızı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu araştırmacılar, yıllık dip oyma değerlerinin 63,5 mm ile 95,3 mm arasında değişen masif yapısal özelliğe sahip çamurtaşlarında dip oyulması en hızlı şekilde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Shakoor ve Rodgers (1992) siltli şeylden oluşan seviyelerdeki bozunma hızının çamurtaşlarına nazaran daha yavaş olduğunu ve yıllık dip oyulma değerlerinin 12,7 mm ile 25,4 mm arasında değiştiğini vurgulamışlardır. Laminallı kıltaşları ve killi kireçtaşlarının şeyller ile çamurtaşları arasında kalan oranlarda dipten oyduğu tespit edilmiştir (Shakoor ve Rodgers, 1992).

Shakoor ve Rodgers (1992), kil içeren kayaların dip oyulma hızı ile bu kayaların kil mineralojisi ve plastisite özellikleri arasında istatistiksel bir bağıntının olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, bu araştırmacılar tarafından şev eğim yönü ve açısı gibi fiziksel özelliklerin dip oyulma hızını etkilemediği saptanmıştır. Ancak kil içeren kaya birimin üzerinde bulunan ve dağılmayan birimdeki çatlak sıklığı, şevin

bitki örtüsü ve moloz birikimi gibi parametreler dip oyulma hızını etkileyen önemli şev fiziksel özellikleri arasında yer almaktadır (Shakoor ve Rodgers, 1992). Shakoor ve Rodgers (1992), kil içeren kayaların dağılma davranışının anlaşılması açısından elde edilen en önemli sonucun suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile dip oyulma hızı arasındaki istatistiksel olarak anlamlı bağıntı olduğunu vurgulamışlardır.

Niemann (2009) kil içeren kayaların dip oyulma hızlarının zamana bağlı değişiminin tespiti için Shakoor ve Rodgers (1992) tarafından araştırılan on dört farklı lokasyonun yedisinde tekrar ölçümler almıştır. Niemann (2009) tarafından elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, dip oyulma hızı değerinin sabit olmadığı ve kil içeren kayaların bozunma hızlarında zamana bağlı önemli oranda düşüşün meydana geldiği tespit edilmiştir. Gerek Shakoor ve Rodgers (1992) ve gerekse daha sonraki yıllarda Niemann (2009) tarafından dip oyulma ölçümlerinin yapıldığı Appalachian (ABD) bölgesindeki yıllık toplam yağış miktarı 100 ile 130 cm arasında değişmektedir (PRISM Group, 2006). Benzer şekilde, Admassu vd. (2012), dip oyulma derinliği üzerinde etkili olan faktörleri bulmak için Ohio'nun doğu ve güneydoğusunda bulunan kil içeren kayaları çalışmıştır. Bu çalışmadaki istatistiksel analizlerde kullanılmak üzere aşağıda verilen parametreler bağımsız değişken olarak tespit edilmiştir:

1. Sağlam kaya ile şev tepesi arasındaki düşey mesafe,
2. Sağlam kayanın göreceli konumu,
3. Sağlam kayanın kalınlığı,
4. Ortogan eklemleri aralığı,
5. Dağılan kayanın suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi,
6. Kil içeren kayanın başlangıç şev açısı,
7. Açılan şevin yaşı (kazı tarihi ile ölçüm zamanı arasındaki fark),
8. Şev eğim yönü, yağış miktarı, şev yüzeyinde sızan suyun miktarı, kazı şevinin üzerindeki doğal yamacın açısı ve yüksekliği, şev kazısı üzerindeki stratigrafi ve donma-çözülme çevrim sayısı gibi diğer faktörler.

Admassu vd. (2012), kil içeren kayaların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile şev

açısının toplam dip oyulma derinliğini etkileyen en önemli faktörler olduğunu tespit etmişlerdir. Bu araştırmacılar, Niemann (2009) tarafından elde edilen sonuçların aksine, şev kazı yaşının dip oyulma derinliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, Admassu vd. (2012), tarafından gerçekleştirilen araştırmaya göre dip oyulma derinliği ile zaman arasında lineer olmayan bir ilişki bulunmaktadır.

Önceki çalışmalarda da vurgulandığı gibi (Fookes ve Sweeney, 1976; Rib ve Liang, 1978; Shakoor ve Weber, 1988) kaya düşmeleri, dip oyulması ile ilişkili en yaygın şev duraysızlıkları olarak bilinmektedir. Sıklıkla gözlenen bu duraysızlık türü, yüksek hızları ve ani düşmeleri nedeniyle oldukça tehlikelidirler (Peckover ve Kerr, 1977). Kiltaş, çamurtaş, silttaş, şeyl, marn, az kaynaşmış piroklastik gibi kayalara genellikle aşınmaya karşı daha duraylı kaya birimleri ile aralanmalı bir şekilde karayolu şevleri gibi birçok mühendislik projelerinde karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, söz konusu bu projelerde kil içeren kayaların zamanla daha hızlı dağılıp uzaklaşması ile üstteki sağlam birimin askıda kalması kaya düşmeleri tehlikesini oluşturmaktadır. Özellikle yoğun bir şekilde ve uzun yıllar hizmet veren karayollarındaki kazı şevlerinde ileri boyuttaki dip oyulması kaynaklı yenilmeleri önlemek amacıyla gerekli düzeltici önlemlerin zamanında uygulanması için, zayıf kayaların dağılma ve dip oyulması hızlarının değişim aralığının belirlenmesinde ve yatahmininde kullanılmak üzere pratik yaklaşımların geliştirilmesinin oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, kil içeren kayaların laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerin yanı sıra, arazide göstermiş olduğu dağılma davranışı ve dağılma hızının değerlendirilmesinin mühendislik çalışmalarında yeri oldukça önemlidir.

Yukarıda vurgulanan gereksinimler dikkate alınarak, kil içeren kayaların dip oyulması hızını tahmin etmek için Kütahya, Eskişehir ve Afyon'da bulunan on bir farklı sahada dip oyulmasının meydana geldiği kazı şevlerinde çalışmalar yapılmıştır. Dip oyulması derinlikleri tüm sahalarda hassas bir şekilde zayıf kayaların taze bozunmamış yüzeylerine yerleştirilen çiviler yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca, bu kayaların uzun yıllar atmosferik koşullar altındaki davranışını belirlemek ve dip oyulma hızlarının tespitinde kullanılmak üzere arazi çalışmalarının gerçekleştirildiği karayolu şevlerinin kazı tarihleri

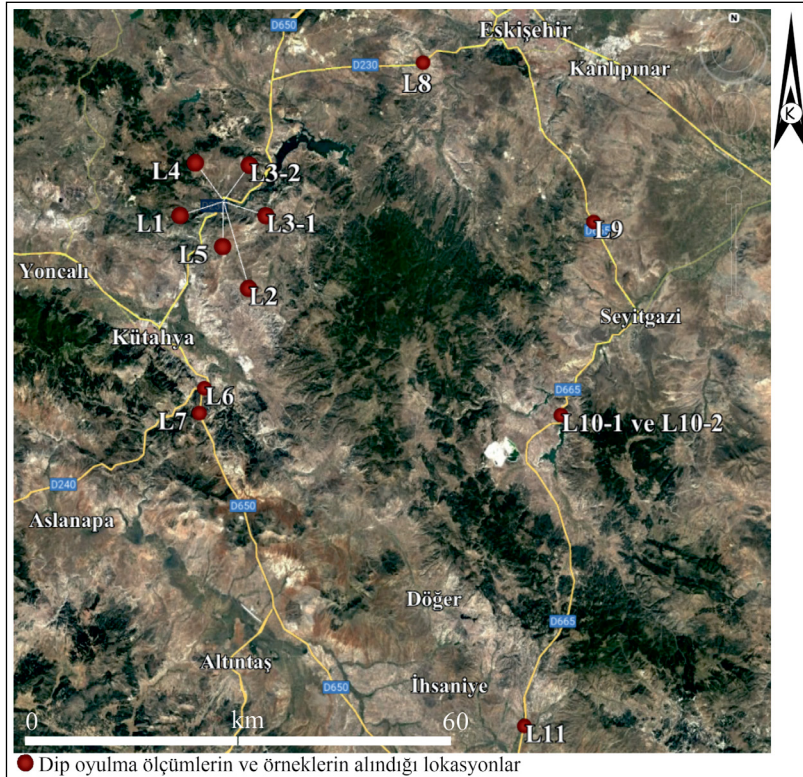
Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Eosen-Kuvaterner jeolojik yaşlı bu zayıf kayalarda ortalama yıllık dip oyulma derinliği değerlerinin, yıllık yağışın 36-56 cm arasında olduğu bölgelerde yaklaşık olarak 10,1-45,8 mm arasında değiştiği saptanmıştır. Kazı çalışmasının gerçekleştiği tarihten ölçümün alındığı tarihe kadar geçen süre için ortalama bir değer olan bu dip oyulma derinliği değerleri kaya düşmesi gerçekleşinceye kadar her yıl azalarak devam etmektedir.

Arazi çalışmaları sırasında kazı şevlerinin her birinden örnekler alınmış olup, bu örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, dağılma indeksi değerleri, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri belirlenmiştir. Shakoor ve Rodgers (1992) tarafından dip oyulma hızı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki istatistiksel olarak anlamlı bağıntı dikkate alınmış ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinin kil içeren kayaların dip oyulması hızını tahmin etmek için kullanılıp kullanılmayacağına tespiti de hedeflenmiştir. Ancak, Ergüler ve Shakoor (2009) tarafından da belirtildiği gibi birçok kil içeren kaya birimleri suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi

deneyi sırasında yoğun bir şekilde parçalanmakta ve bu parçaların tambur eleğini geçmemesi nedeniyle duraylı olarak değerlendirilmektedir. Bu sorunun aşılması için Ergüler ve Shakoor (2009) D_R yaklaşımı önermiştir. Bu nedenle, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, dağılma indeksi gibi deney sonuçlarının yanı sıra, bu çalışma kapsamında söz konusu D_R parametresinin kil içeren kayaların dağılma davranışının tespitinde kullanılabilirliği de araştırılmıştır. Elde edilen bütün sonuçlar dikkate alınarak, kil içeren kayalarda dip oyulması hızı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ve D_R arasında analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda D_R yaklaşımının dip oyulma hızının tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2. Çalışma Alanlarının Jeolojisi

Bu çalışma kapsamında örnekleme alanları Kütahya, Eskişehir ve Afyonkarahisar illerinden seçilmiş olup, dip oyulmasından kaynaklanan şev duraysızlıkları dikkate alınarak tamamı yol kazı şevlerinden oluşan 11 (on bir) ayrı sahada çalışmalar yapılmıştır. Çalışma sahalarının bulunduğu yerler Şekil 1'de gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmada



Şekil 1- Çalışma kapsamında dip oyulma ölçümlerin alındığı yerler (yakın uydü görüntüsü Google Earth (2020) kullanılarak hazırlanmıştır).

bölgelerin jeolojisinin değerlendirilmesinde daha önceki çalışmalardan yararlanılmıştır.

Zayıf jeolojik birimlerde meydana gelen dağılmanın araştırılması için Kütahya ve yakın çevresi ilk çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Bölgede bulunan jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru sırasıyla Sarıcaşu formasyonu, Arıkaya formasyonu, Ovacık melanjı, Sabuncupınar formasyonu, Çökköy formasyonu, Emet formasyonu, Kirazpınar formasyonu, Yakaca formasyonu, Kütahya formasyonu ile Alüvyonlar şeklinde sıralanmaktadır. Kütahya bölgesindeki çalışmalarda (L1-L7) Orta-Üst Miyosen yaşlı Çökköy formasyonu içinde açılmış yol kazı şevlerindeki kil içeren kayaların bulunduğu seviyeler tercih edilmiştir. Birim; çakıltası, kumtaşı, kiltası, marn, tuf, tüfit ve kireçtaşından oluşmakta olup Çökköy formasyonu olarak adlandırılmıştır (Özburan, 2009). Çoğunluk olarak gri, kirli beyaz, yeşil tonları ve kahverengi tonlarında gözlenmekte olup, birim yeşil rengini yer yer gözlenen marn ve kil katmanlarından almaktadır. Çoğunlukla çakıltası-kumtaşı-marn-kil aralanması gözlemlenir ve bu istife tüfler eşlik etmektedir. Birimde kireçtaşları istifin en üst düzeyinde yer alır, killi kireçtaşı şeklinde başlayan karbonatlı çökeller, kireçtaşı düzeyleriyle Emet formasyonuna dereceli geçiş yapmaktadır (Özburan, 2009).

Eskişehir bölgesindeki arazi çalışmaları, dip oyulma derinliği örneklemeleri üç farklı lokasyonda gerçekleştirilmiştir. Eskişehir il sınırları içerisindeki jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru Karkın formasyonu, Mamuca formasyonu, Porsuk formasyonu, Ilıca formasyonu, Akçay formasyonu ve Alüvyon şeklinde sıralanmaktadır. L8 no.lu lokasyon Kuvaterner yaşlı Akçay formasyonunda bulunmaktadır. Birim, daha yaşlı formasyonlara ait kil, silt, kum ve çakılların gevşek tutturulmasıyla oluşmuştur (Orhan, 2005). Genel olarak, eski alüvyonlardan oluşmuştur. Kuvaterner öncesi tüm litolojilerin değişik blok, çakıl ve kumlarıyla çamur ve şistlerden oluşur ve renkleri de buna bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Temel kaya birimleri ve Orta-Üst Miyosen çökelleri üzerinde uyumsuzdur. Birim yeni alüvyonla örtülmektedir. Killi olan seviyelerinde bulunan omurgalı fosillere göre yaş Erken Pleyistosen'dir (Gözler vd., 1997). L9 no.lu lokasyon Pliyosen yaşlı Ilıca formasyonunda bulunan tüfitlerde gerçekleştirilmiştir. Bu formasyon karasal ve görsel konglomeralar ile kumtaşlarından, aglomeralardan, tuf ve tüfitlerden; marn ve killerden;

killi, kumlu, tüflü kireçtaşlarından oluşan karasal ve görsel çökellerden ve andezitik, bazaltik volkanizmayla kesilen birimlerden oluşur (Gözler vd., 1996). L10 no.lu lokasyon Eosen yaşlı Mamuca formasyonunda gerçekleştirilmiştir. Birim; mor, kırmızı, şarabi, gri ve boz renkli konglomera ve kumtaşlarıyla başlar ve üzerinde yeşil renkli killer bulunmaktadır. Üst katmanlara doğru sarımsı boz renklerde zengin bir bentik foraminifer topluluğuna sahip kil, ara katkılı, killi, kumlu kireçtaşları yer almaktadır (Gözler vd., 1997).

Afyon ve yakın çevresinde de bu çalışma gerçekleştirilmiş olup, bölgenin temel jeolojik birimlerini Afyon zonunun metamorfik kayaçları oluşturmaktadır. Mesozoyik yaşlı karbonatlı ve ofiyolitik kayaçlar, Afyon metasedimenter grubunu üzerlemektedir. Senozoyik yaşlı volkanik ve sedimenter kayaçlar ise bölgedeki en genç birimlerdir. Bu birimlerin üzerine de Kuvaterner'de oluşmuş yamaç molozu ve güncel alüvyon gibi örtü birimleri gelmektedir. Afyon bölgesindeki (L11), arazi çalışması ve örneklemeler Alt Pliyosen yaşlı Gebeciler formasyonu içinde bulunan tüfitler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu birim altta karasal konglomera, kumtaşı, aglomera aralanması, ortada seviyelerde görsel gri renkli tuf, tüfit, marn ve killi kireçtaşı aralanması, üstte doğru ise gözenekli özelliğe sahip kireçtaşı ve görsel çökeller ile geçiş göstermektedirler.

3. Materyal ve Metot

3.1. Arazi Gözlemleri

Bu çalışmada amaçları doğrultusunda seçilen sahalarda dip oyulması kaynaklı sık sık kaya düşmesi ve karayolu drenaj hendeklerinin parçalanmış malzeme ile dolması gibi jeoteknik ve çevresel sorunlar gözlenmiştir. Saha incelemeleri sırasında yaklaşık 10 yıl önce hizmete açılan karayolu şevinde kil içeren kayaların dip oyulma süreçleri sonucu kaya düşmesi riskini taşıyan kiltası-kalın kireçtaşı tabakaların varlığı saptanmıştır. Kaya düşmesi açısından en tehlikeli koşulları oluşturan 94,2 cm'lik (30-210 cm) ortalama süreksizlik aralığına ve oldukça kalın kireçtaşı tabakalarına sahip olan 7 no.lu lokasyon olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Ayrıca, birçok lokasyonda da kaya düşmeleri şev topoğrafyasına kadar yuvarlanan kaya bloklarının oldukça zarar verebilecek büyük boyutlarda olduğu saptanmıştır (Şekil 3a). Bu jeoteknik sorunların yanı sıra, dip oyulma sorununun



Şekil 2- Kil içeren kayaların dip oyulma süreçleri sonucu kaya düşmesi riskini taşıyan geniş süreksizlik aralığına sahip kalın kireçtaşı tabakaları (L7).

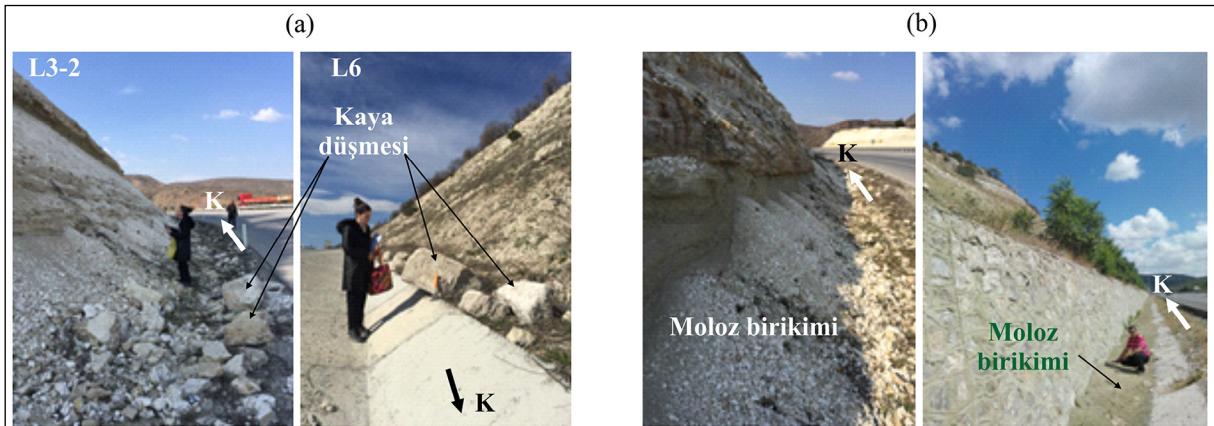
yaşandığı yerlerde aynı zamanda karayolu drenaj hendeklerinin moloz malzemeleriyle dolması gibi karayolu kaplamalarına zarar veren çevre sorunları da gözlenmiştir (Şekil 3b).

3.2. Dip Oyulması Ölçümleri

Önceki çalışmalarda, kil içeren kayaların suda dağılma karakteristiklerinin laboratuvarında elde edilen sonuçların yanı sıra bu tür kayaların arazide dağılma davranışlarının da belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmamızda yol kazı şevlerindeki kil içeren kayaların bozunma hızlarının belirlenmesi amacıyla, L3-1, L3-2, L5, L6 ve L7 no.lu yerlerde şerit metre kullanılarak belirli mesafelerden kiltası-kireçtaşı birimlerin temas noktalarından dip oyulma derinlikleri ölçümleri alınmıştır (Şekil 4). İncelenen yol kazı şevlerinin kazı tarihleri, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün ilgili bölümlerinin kayıtlarından temin edilmiştir. Kazı şevinin bozunma süreçlerine maruz

kaldığı süre, kazı tarihinden ölçümün alındığı tarihe kadar geçen zaman dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında kazı tarihi bilinen karayolu şevlerinden alınan ölçümler dikkate alınarak ilgili şevlerde bulunan kil içeren kayaların dip oyulma hızları konusunda bir yaklaşımda bulunulmuştur. Yaklaşık kazı tarihi 2008 (kazı bitim tarihi 2010) olan söz konusu bu çalışma alanlarından şerit metre kullanılarak alınan dip oyulma derinlik değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Ölçümlerde bozunmadığı görülen ve referans seviye kabul edilen kireçtaşı tabakaları yüzeylerinin girintili-çıkıntılı olması nedeniyle Çizelge 1'de verilen dip oyulma derinliği değerlerinin her lokasyon için oldukça geniş aralıkta değiştiği saptanmıştır. Bu nedenle, kil içeren kayaların dip oyulma hızı değerlerini daha hassas ölçme yöntemleri araştırılmıştır. Bu amaçla, arazide doğrudan alınan ölçümlerin yanı sıra, belli lokasyonlarda (L1, L2, L3-



Şekil 3- Dip oyulma süreçlerine bağlı gelişen jeoteknik sorunlar; a) kaya düşmeleri, b) karayolu drenaj hendeklerinin dolması (Kütahya Eskişehir yolu, Ilıca mevki).



Şekil 4- Kazı tarihleri bilinen karayolu şevlerinde alınan dip oyulma derinlikleri ölçümleri.

Çizelge 1- Arazide kil içeren kayalarda ölçülen dip oyulma derinlikleri değerleri.

Kazı tarihi: 2008 (Kazı bitim tarihi 2010)* Ölçüm tarihi: 03 Ağustos 2014

Lokasyon	Ölçüm sayısı	Dip oyulma derinliği (cm)		
		En küçük	En büyük	Ortalama
L3-1	21	10,0	25,0	17,2
L3-2	21	12,0	26,0	18,3
L5	21	12,0	38,0	22,7
L6	20	30,0	67,0	43,2
L7	22	80,0	180,0	125,1

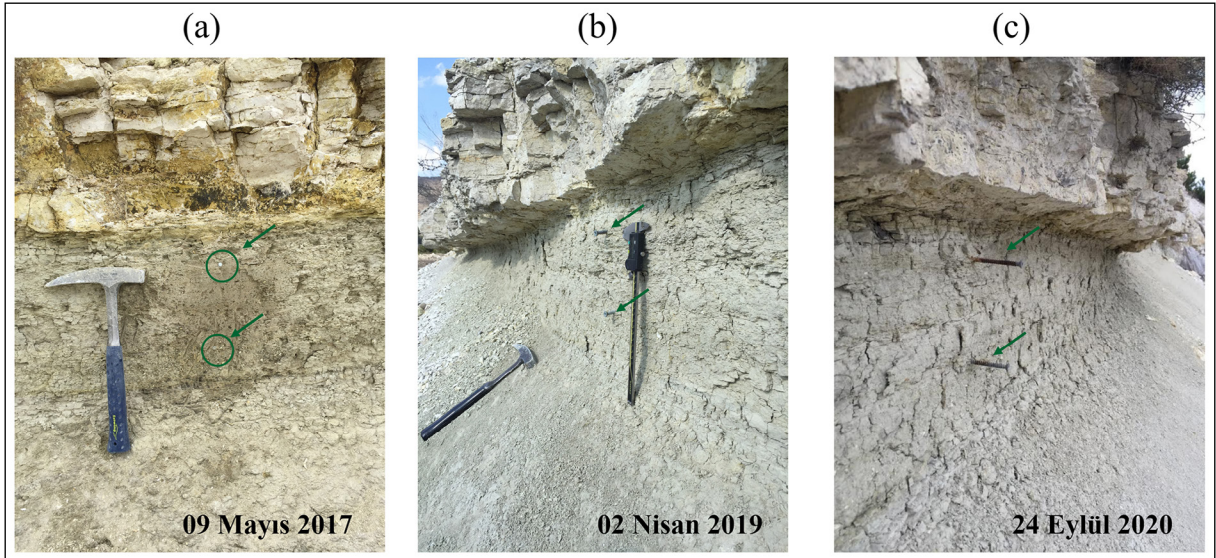
*: kazı bitim tarihleri Karayolları Genel Müdürlüğü kayıtları dikkate alınarak değerlendirmeye alınmıştır.

1, L4, L8, L9, L10-1, L10-2 ve L11) bulunan kil içeren zayıf kayalara çelik çivi ve vidalar yerleştirilerek farklı zaman aralıklarında fiziksel bozunma süreçleri sonucu meydana gelen dağılmanın derinlikleri ölçülmüştür. Kullanılan çiviler yüzeye sıfırlanacak şekilde yerleştirilip zamanla kaya yüzeyinden itibaren çivinin dışarıda kalan kısmı belirli aralıklarla kumpas ile ölçülmüştür. Söz konusu bu doğrudan ölçümü temsil eden fotoğraflar Şekil 5'te, dip oyulma derinliklerinin zamana bağlı değişiminin tipik bir örneği ise Şekil 6'da verilmiştir. Gerek şevlerin kazı tarihleri ve gerekse çivi yerleştirilmesi sonucu ölçülen dip oyulma derinlikleri değerleri kullanılarak farklı lokasyonlarda

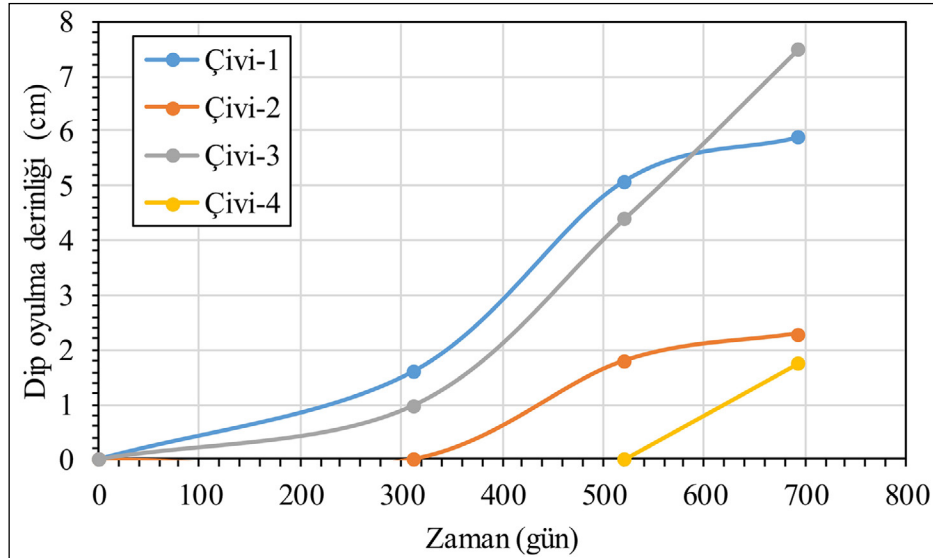
bulunan kil içeren kaya birimleri için dip oyulma hızı değerleri tespit edilmiş ve Çizelge 2'te sunulmuştur.

3.3. Örnekleme Çalışmaları

Zayıf kayaların atmosferik koşullar altındaki dağılma hızlarının tespitinin yanı sıra, laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere bu kayalardan bozunma süreçlerine uğramayan taze örnekler alınmıştır. Hem nem kaybından kaynaklanan dağılmaları önlemek hem de örneklerin doğal su içeriklerini belirlemek için seçilen örnekler plastik torbalara konularak aynı gün içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır. Laboratuvara



Şekil 5- Çelik çivi ve vida kullanılarak 3-1 numaralı lokasyon için dip oyuлма derinliği ölçümleri; a) ölçümlerin alınacağı kısımda bozunmuş kısımların temizlenmesi, taze yüzeylerin çıkarılması ve çivilerin yerleştirilmesi, b) ve c) farklı tarihlerde çivilerde gözlenen dip oyuлма derinlikleri.



Şekil 6- Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu L1'e yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyuлма derinliğinin zamana bağlı değişimi.

getirilen örneklerin su içerikleri hemen tayin edilmiş olup, suda dağılma karakteristiklerinin tanımlanması amacıyla belli boyutlarda hazırlanan diğer örneklerin laboratuvar koşullarında daha yavaş su içeriği değişimi için beklemeye alınmıştır. Kil içeren kayaların kuruma aşamasının daha yavaş gerçekleştirilmesi olası dağılma oranının daha az olmasını sağlamaktadır. Her lokasyon örneğinden 40-60'şar g'lık 12-15 adet, 150'şer g'lık 6 adet örnek hazırlanıp 105 °C'lik etüvde 24 saat bekletilmiştir.

3.4. Deneysel Çalışmalar

3.4.1. Örneklerin Birim Hacim Ağırlık ve Dayanım Değerleri

Derlenen örneklerin kuru birim hacim ağırlık değerleri ASTM (1994)'ye göre tayin edilmiştir (Çizelge 3). Seçilen kaya birimlerinin su alıp verme aşamasında hızlı bir şekilde dağılma davranışı göstermeleri nedeniyle, nemli ve suya doygun dayanımları belirlenmemiştir. Ancak, kuru

Çizelge 2- Çalışma alanında ölçülen dip oylulma hızı değerleri ve değişim aralıkları.

Lokasyon no ve koordinatlar	Kaya türü	Kazı tarihi	Dip oylulma hızı (mm/yıl)		
			Ölçüm tekniği 1 ^a	Ölçüm tekniği 2 ^b	
L1	39°34'18.7"N,30°05'12.0"E	Kiltaşı	2008	-	32,5 (22,0-39,5)
L2	39°34'18.7"N 30°05'12.0"E	Kiltaşı	2008	-	40,6 (35,9-47,0)
L3-1	39°34'18.7"N 30°05'12.0"E	Kiltaşı	2008	43,1 (25,0-62,5)	45,8 (35,9-57,8)
L3-2	39°34'16.5"N 30°05'11.1"E	Kiltaşı	2008	45,7 (30,0-65,0)	-
L4	39°34'26.9"N 30°05'07.8"E	Tüfit	2008	-	33,5 (23,6-52,6)
L5	39°34'16.5"N 30°05'11.1"E	Killi kireçtaşı	2008	56,8 (30,0-95,0)	-
L6	39°21'46.8"N 30°03'42.2"E	Killi kireçtaşı	2008	107,9 (75,0-167,5)	-
L7	39°20'05.7"N 30°03'15.5"E	Kiltaşı	2008	312,8 (200,0-450,0)	-
L8	39°43'45.2"N 30°22'39.0"E	Kil	2006	-	36,4 (30,4-45,1)
L0	39°33'03.2"N 30°37'34.2"E	Tüfit	2005	-	10,1 (9,5-10,7)
L10-1	39°20'02.8"N 30°34'42.7"E	Marn	1982	-	14,8
L10-2	39°20'02.8"N 30°34'42.7"E	Kiltaşı	1982	-	20,9 (15,9-25,8)
L11	38°59'11.4"N 30°31'35.1"E	Tüfit	2017	-	31,4 (30,7-32,0)

^a: Şevlerin kazı tarihleri kullanılarak belirlenmiştir, ^b: Kil içeren kayalara çivi yerleştirilerek belirlenmiştir; parantez içinde verilen değerler dip oylulma hızı değişim aralığını göstermektedir.

koşullarda örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesinde iğne penetrometresi yaklaşımı kullanılmıştır. Alınan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri Ulusay ve Ergüler (2012) tarafından geliştirilen ve Eşitlik 1'de verilen bağıntı kullanılarak görgül olarak tahmin edilmiş ve Çizelge 3'te sunulmuştur.

$$\sigma_{ci} = 0,402 * \dot{I}BD^{0,929} \quad (1)$$

Burada; σ_{ci} tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa), $\dot{I}BD$ ise iğne batma direncini (N/mm) göstermektedir.

3.4.2. Örneklerin Suda Dağılma Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Deneyler

Kayaların suda dağılma davranışını belirlemede, genellikle kavanozda dağılma (Wood ve Deo, 1975), dağılma indeksi (Deo, 1972) ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (Franklin ve Chandra, 1972; ISRM, 1981) deneyleri kullanılmaktadır. Bu deneylerin uluslararası çalışmalarda önemi dikkate alınarak derlenen kil içeren kayaların suda dağılma davranışının belirlenmesinde ve tanımlanmasında söz konusu bu deneylerden yararlanılmıştır. Kavanozda dağılma

Çizelge 3- Dağılma davranışı araştırılan örneklerin kuru birim hacim ağırlık, iğne batma direnci ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri.

Lokasyon No	Kaya Türü	γ_k (kN/m ³)	$\dot{I}BD$ (N/mm)	σ_c (MPa)
L 1-L3	Kiltaşı	14,51	30,27	9,55
L 4	Tüfit	14,22	4,02	1,46
L 5	Killi kireçtaşı	17,26	*	*
L 6	Kiltaşı	12,65	13,09	4,38
L 7	Kiltaşı	20,01	33,33	10,45
L 8	Kil	15,59	50,00	15,23
L 9	Tüfit	12,26	25,00	8,00
L 10-1	Marn	18,44	50,00	15,23
L 10-2	Kiltaşı	18,63	30,55	9,63
L 11	Tüfit	16,38	11,20	3,79

γ_k : kuru birim hacim ağırlık; $\dot{I}BD$: iğne batma direnci; σ_c : tek eksenli sıkışma dayanımı *; iğne ucu kırıldığından dolayı iğne batma direnci ölçülemediği için.

deneyi için Wood ve Deo (1975) tarafından önerilen yaklaşım ve tanımlama ölçütleri kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan kavanozda dağılma deneylerinde, Çizelge 4'te de görüldüğü gibi, tüm lokasyonlarda 30 dakika ve 24 saat sonrasında aynı dağılma sınıfı tespit edilmiştir. Ayrıca, Deo (1972) tarafından geliştirilen ve önerilen suda dağılma indeksi (I_s) deneyi, özellikle zayıf kil içeren kayaların suda dağılma davranışlarının derecesini sayısal olarak tanımlamada kullanılan bir deneydir. Bu deneysel çalışma sonrasında örneklerin çevrim sayısının artmasına bağlı olarak I_s değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4'te sunulmuştur. Suda dağılma indeksi deneyleri sonrasında 2. ve 4. çevrim aşamalarında elde edilen ve farklı tane boylarında dağılım gösteren ancak 2 mm tane boyundan daha

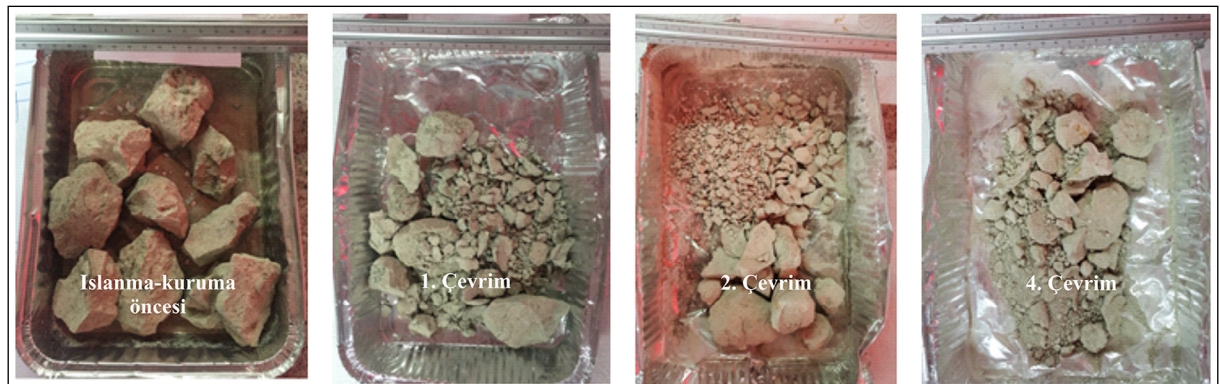
büyük olan parçalanmanın da oldukça yoğun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7). Söz konusu bu dağılmanın farklı açıklıklara sahip elekler kullanılarak 2. çevrim sonucu elde edilen tane boyu dağılım grafiklerinden bazıları Şekil 8a'da sunulmuştur. Ergüler ve Shakoor (2009) Şekil 8a'da verilen ve kil içeren kayalarda meydana gelen bu dağılmanın modellenmesi ve bütün dağılımların tek bir parametre ile tanımlanması için dağılma oranı (disintegration ratio), D_R yaklaşımını önermişlerdir (Şekil 8b). Şekil 8b'de sunulan bu yaklaşım kullanılarak bütün örneklerin dağılma oranı değerleri belirlenmiş ve Çizelge 4'te verilmiştir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyleri (I_d) için ise ISRM (1981) tarafından önerilen hususlar dikkate alınmıştır. Yapılan bu deneyler sonucu

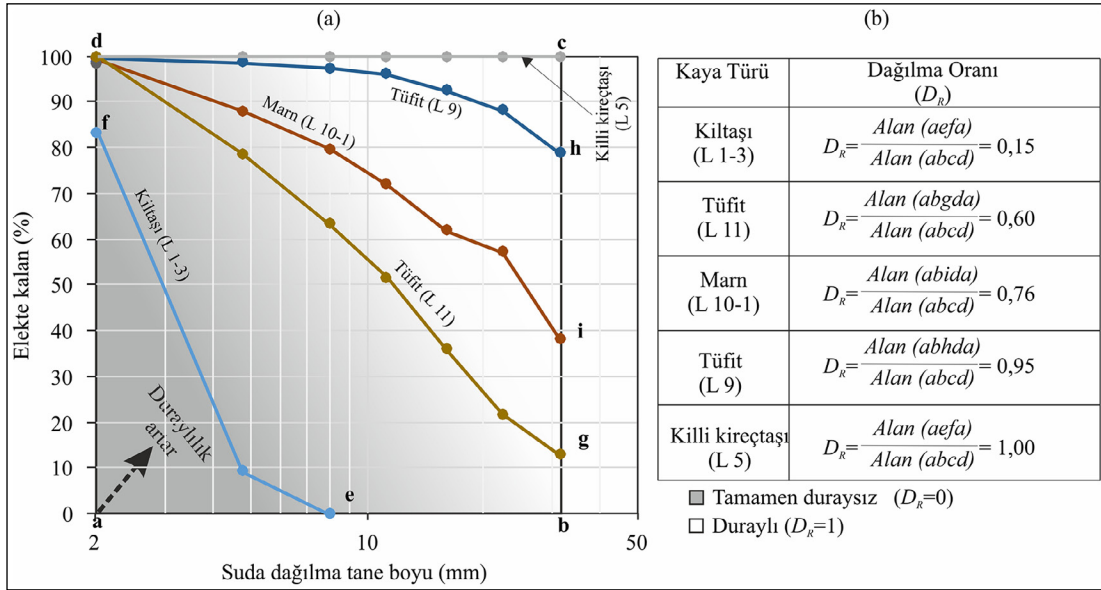
Çizelge 4- Alınan örneklerin kavanozda dağılma (Wood ve Deo, 1975), suda dağılma indeksi (Deo, 1972) ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ISRM (1981) deneyleri sonucu elde edilen sonuçları ile D_R değerleri.

Lokasyon No	Kaya türü	Kavanozda dağılma deneyi		I_s				I_d			
		t_{30}	t_{24}	2.çevrim		4.çevrim		2.çevrim		4.çevrim	
				I_s	D_R	I_s	D_R	I_{d2}	D_R	I_{d4}	D_R
L 1-L3	Kiltaşı	1	1	99,9	0,15	100,0	0,15	*	*	*	*
L 4	Tüfit	2	2	54,5	0,23	61,2	0,24	*	*	*	*
L 5	Killi kireçtaşı	6	6	0,2	1,00	0,4	1,00	87,8	1,00	79,38	1,00
L 6	Killi kireçtaşı	5	5	0,8	1,00	1,1	1,00	87,0	1,00	77,12	1,00
L 7	Kiltaşı	1	1	99,2	0,25	99,2	0,25	0,6	*	*	*
L 8	Kil	1	1	92,9	0,16	98,1	0,15	3,9	0,17	1,70	0,15
L 9	Tüfit	3	3	4,1	0,95	8,7	0,91	84,4	0,91	65,35	0,82
L 10-1	Marn	3	3	51,5	0,76	53,5	0,53	12,0	0,80	8,36	0,73
L 10-2	Kiltaşı	1	1	97,4	0,28	97,5	0,28	1,5	0,25	1,34	0,25
L 11	Tüfit	3	3	33,0	0,60	56,6	0,37	17,0	0,48	8,25	0,30

t_{30} : kavanozda dağılma deneyinde 30 dakika sonraki durum; t_{24} : kavanozda dağılma deneyinde 24 saat sonraki durum; I_s : suda dağılma indeksi; I_d : suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi; 1: İnce tabakalar yığılı ve çamur oluşturacak şekilde parçalanma; 2: Hızlı parçalanma ve/veya çok ufak parçaların oluşumu; 3: Yavaş parçalanma ve/veya bir kaç ufak parçanın oluşumu; 4: Hızlı parçalanma ve/veya bir kaç çatlağı oluşumu; 5: Yavaş parçalanma ve/veya az çatlağı oluşumu; 6: Değişim gözlenmez; *: tamburda örnek kalmayacak şekilde dağılma gerçekleşti.



Şekil 7- Suda dağılma indeksi deneyi sonrası marn örneğinde meydana gelen dağılmanın çevrim sayısına bağlı değişimi (L10-1).



Şekil 8- a) Suda dağılma indeksi deneyinden sonra kil içeren kayaların parça büyüklüğü dağılım eğrileri ve b) kil içeren kayalarda dağılma oranı hesaplaması (Ergüler ve Shakoor, 2009).

elde edilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Önceki çalışmalarda da vurgulandığı gibi, tambur içerisinde kalıp duraylı olarak değerlendirilen kil içeren kayaların önemli oranda parçalandığı bu çalışmada da tespit edilmiştir. 2. ve 4. çevrimler sonrasında suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneylerinde tamburda kalan ve farklı oranlarda parçalanma gösteren örneklerin tane boyu değişim grafikleri hazırlanmıştır. Bu grafikler kullanılarak benzer şekilde Ergüler ve Shakoor (2009) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi kullanılan örnekler için belirlenen dağılma oranı değerleri belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4'te verilmiştir.

4. Tartışma

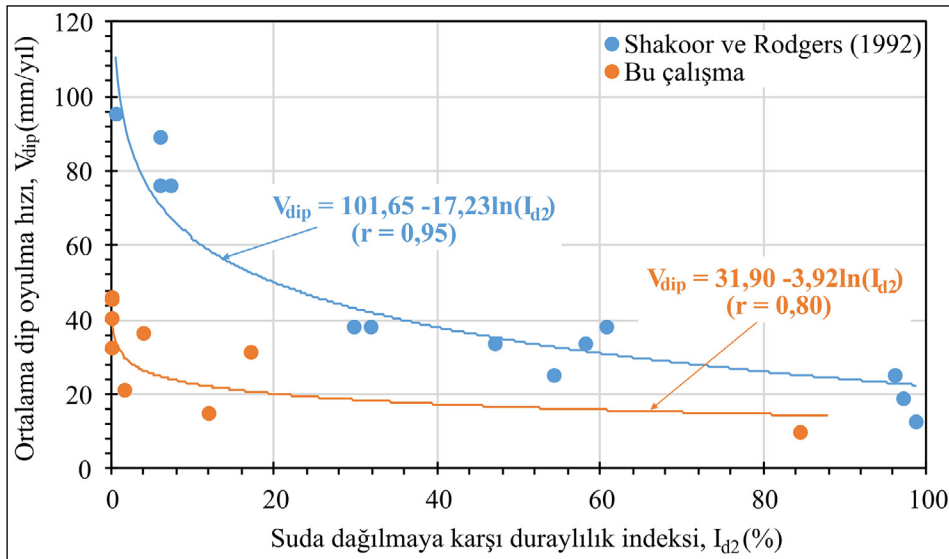
Önceki çalışmalarda (Shakoor ve Rodgers, 1992) kil içeren kayaların dip oyulma hızı ile bu kayaların kil mineralojisi ve plastisite özellikleri gibi parametreleri ile arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerin olmadığı vurgulanmıştır. Bu kaya birimlerine ait parametrelerin yanı sıra, bu araştırmacılar şev eğim yönü ve açısı gibi fiziksel özelliklerin de dip oyulma hızını etkilemediğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada L1, L2, L3-1 ve L3-2 no.lu ölçümler aynı kilitaşı seviyesi içerisindeki farklı eğim yönü ve açısı değerlerine sahip şevlerden alınmıştır. Önceki çalışmalarda vurgulandığı ve Çizelge 2'de de görüldüğü gibi,

eğim yönü sırasıyla kuzey, doğu, batı-güneybatı ve doğu-güneydoğu olan L1, L2, L3-1 ve L3-2 no.lu lokasyonlarda alınan dip oyulma hızı değerlerinin değişim aralıklarının birbirlerine oldukça yakın olduğu saptanmıştır. Shakoor ve Rodgers (1992) kil içeren kayaların dağılma davranışının anlaşılması açısından elde edilen en önemli sonucun suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile dip oyulma hızı arasındaki istatistiksel olarak anlamlı bağıntı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, Admassu vd. (2012) tarafından daha sonraki yıllarda aynı bölgede gerçekleştirilen çalışmada ise kil içeren kayaların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinin dip oyulma derinliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğu vurgulanmıştır. Önceki çalışmalarda elde edilen bu sonuçlar dikkate alınarak, bu çalışma kapsamında kil içeren kayaların ortalama dip oyulma hızı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki kazı tarihi ve çivi ölçümleri dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, kazı tarihleri dikkate alınarak hesaplanan dip oyulma hızı değerlerinin genel değişimi çok etkilediğini ve bu verilerin yeterince hassas olmadıkları anlaşılmıştır. Kazı tarihinden hesaplanan dip oyulma hızı değerleri ihmal edildiğinde, dip oyulma hızı değerlerinin ilgili kaya biriminin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi tarafından kontrol edildiği saptanmıştır (Şekil 9). Bu çalışmada elde edilen veriler ile Shakoor ve Rodgers (1992) tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilen veriler dikkate alınarak hazırlanan suda

dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile ortalama dip oyulma hızı değerlerinin değişim grafikleri Şekil 9'da verilmiştir. Bu şekilde de açıkça anlaşılacağı üzere $I_{d2} < 20$ koşulunda dip oyulma hızı değerleri oldukça geniş aralıkta dağılım göstermektedir. Söz konusu bu dağılımın, üzerinde çalışılan ve kil içeren kaya birimlerinin farklı jeolojik yaşlara sahip olması ve oldukça farklı iklim koşullarında bozunma süreçlerine maruz kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 9'da verilen görgül bağıntılar kullanılarak Gamble (1971) tarafından önerilen duraylılık sınıflaması yıllık dip oyulma derinliği parametresi de içerecek şekilde yeniden düzenlenmiştir (Çizelge 5). Önerilen bu yeni yaklaşım yardımıyla (Çizelge 5), kil içeren zayıf kayaların atmosferik bozunma süreçleri

altında muhtemel dip oyulma derinliği değerleri farklı jeolojik yaş ve iklim koşulları için tahmin edilebilmektedir.

Kil içeren kayaların suda dağılma davranışının belirlenmesinde, gerek suda dağılma indeksi (I_s) ve gerekse suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_d) deneylerinde elde edilen ve 2 mm'den büyük parçalanmanın tamamının dikkate alınmasının önemli olabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle, söz konusu bu iki deney sonucunda Ergüler ve Shakoor (2009) tarafından önerilen dağılma oranı yaklaşımı kullanılmış ve yaklaşımda belirlenen dağılma oranı değerleri hem kazı tarihi ve hem de çivilerden alınan ölçümler dikkate alınarak belirlenen ortalama dip



Şekil 9- Bu çalışma ve Shakoor ve Rodgers (1992) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan alınan ve 2. çevrim sonucu belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerinin ortalama dip oyulma hızı değerleri arasındaki ilişkiler.

Çizelge 5- Gamble (1971) tarafından önerilen duraylılık sınıfları için önerilen yıllık dip oyulma derinliği değerleri.

Gamble (1971) sınıfı	I_{d2} (%)	Yıllık dip oyulma derinliği	
		Shakoor ve Rodgers (1992)*	Bu çalışma**
Çok yüksek duraylılık	>98	<22,7 mm	<13,9 mm
Yüksek duraylılık	95-98	23,2 - 22,7 mm	14,0 - 13,9 mm
Orta-yüksek duraylılık	85-95	25,1 - 23,2 mm	14,5 - 14,0 mm
Orta duraylılık	60-85	31,1 - 25,1 mm	15,8 - 14,5 mm
Düşük duraylılık	30-60	43,0 - 31,1 mm	18,6 - 15,8 mm
Çok düşük duraylılık	<30	>43,0 mm	>18,6 mm

* Yıllık toplam yağış miktarı 100 ile 130 cm arasında değişen Devoniyen-Permien (yaklaşık 419-251 milyon yıl) yaşlı kil içeren kayalar için önerilen değerler; **: yıllık yağış miktarı 36 ile 56 cm (DMİ, 2019) arasında değişen ve Eosenden (55,8 milyon yıl) daha genç zayıf kayalarda ölçülen değerler.

oyulma hızı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmada, kazı tarihleri dikkate alınarak hesaplanan ortalama dip oyulma hızı değerlerinin hassas olmadığı saptanmıştır. Bu nedenle, söz konusu bu veriler ihmal edilerek sadece çivilerden belirlenen dip oyulma hızı değerleri ile I_s ve I_d deneylerinin 2. ve 4. çevrim sonucu belirlenen dağılma oranı değerleri ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6’da sunulmuştur. Bu çizelge dikkate alındığında, 4. çevrim sonucu elde edilen “dağılma oranı” değerlerinin kil içeren kayaların suda dağılma davranışının daha iyi temsil ettiği açıkça anlaşılmaktadır.

Moriwaki ve Mitchell (1977) kayaların suda dağılma davranışlarının suda tamamen dağılma (dispersion slaking), şişme sonucu dağılma (swelling slaking), kütsel dağılma (body slaking) ve yüzeyel dağılma (surface slaking) olmak üzere

dört farklı şekilde gerçekleştiğini belirtmiştir. Gerek arazi gözlemleri ve gerekse laboratuvarında suda dağılma davranışının belirlenmesine yönelik yapılan deneylerden kil kilaşı ve marn örneklerinin (L1, L2, L3, L6, L7, L8, L10-1 ve L10-2) suda tamamen dağılma, tüfit örneklerinin (L4, L9 ve L11) ise yüzeyel dağılma davranışını sergilediği saptanmıştır. Ancak, killi kireçtaşı örneklerinin (L5 ve L6) ise şekilsiz parçalar oluşturacak şekilde kütsel dağılma davranışı sergilediği tespit edilmiştir. Killi kireçtaşı örnekleri ıslanma-kuruma süreçlerine karşı oldukça yüksek duraylılık değerlerine (Çizelge 4) sahip olmalarına karşı, Şekil 10’da da görüldüğü gibi bu kaya birimlerinin kütsel dağılma davranışı nedeniyle oluşan ufak kaya parçalarının ortamdaki uzaklaşması sonucu oldukça yüksek dip oyulma hızı değerlerine ulaşılmaktadır.

Çizelge 6- Dip oyulma hızı ile I_s ve I_d deneyleri sonucunda belirlenen dağılma oranı arasındaki görgül bağıntılar.

Dip oyulma hızı (V_{dip})	Yapılan deney	Görgül bağıntılar	
		2. Çevrim	4. Çevrim
v_{dip} (cm/yıl)	I_s	$V_{dip} = 4,82 \times e^{-1,49 \times D_{R(ıslanma-kurumu)}}$ ($r^2 = 0,88$)	$V_{dip} = 1,03 \times D_{R(ıslanma-kurumu)}^{-0,73}$ ($r^2 = 0,93$)
v_{dip} (cm/yıl)	I_d	$V_{dip} = 4,20 \times D_{R(slake)}^{-1,38}$ ($r = 0,85$)	$V_{dip} = 4,22 \times e^{-1,61 \times D_{R(slake)}}$ ($r = 0,93$)

I_s : suda dağılma indeksi; I_d : suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi $D_{R(ıslanma-kurumu)}$: ıslanma kurumu deneyleri sonucu belirlenen dağılma oranı; $D_{R(slake)}$: suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney sonucu belirlenen dağılma oranı.



Şekil 10- Killi kireçtaşlarında atmosferik koşullarda ufak kaya parçaları şeklinde meydana gelen kütsel dağılma davranışına tipik bir örnek (L5).

5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, zayıf ve kil içeren kayaların atmosferik koşullar altındaki dağılma davranışının incelenmesi, dağılma sonrası meydana gelen dip oyulma hızlarının tespiti ve bu dip oyulma hızı değerlerinin basit laboratuvar deneyleri ile pratik yoldan tahmini amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda arazide yapılan çalışmalar ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yapılan değerlendirme ve analizlerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Eosen-Kuvaterner yaşlı zayıf kayalarda ortalama yıllık dip oyulma derinliği değerlerinin 36-56 cm arasında yıllık yağışın olduğu bölgelerde yaklaşık olarak 10,1-45,8 mm arasında değiştiği saptanmıştır. Ancak yıllık ortalama yağışın 100-130 cm arasında değiştiği bölgelerde yüzeylenen daha yaşlı (Devoniyen-Permien) kil içeren kayalarda 95,3 mm'ye varan oldukça yüksek yıllık dip oyulma derinliği değerleri de önceki çalışmalarda kaydedilmiştir. Dip oyulma hızı için arazide doğrudan alınan bu sonuçlar, özellikle kalın aşınmaya karşı oldukça duraylı kireçtaşı gibi jeolojik birimler ile aralanmalı bir şekilde yüzeylenen zayıf kil içeren kayaların bulunduğu şevlerin duraylılık analizlerinde zamana bağlı meydan gelecek kaya düşmesi gibi sorunların da dikkate alınmasının yararlı olacağını göstermektedir.

Killi kireçtaşları suda dağılma süreçlerine karşı yüksek duraylılığa sahip olmalarına karşın, bu kaya birimlerinin bulunduğu şevlerde kütleli dağılma sonucu meydana gelen ufak kaya parçalarının bulunduğu ortamdan kısa süre içerisinde uzaklaşması nedeniyle yüksek dip oyulma hızı değerleri elde edilmektedir.

Zayıf ve kil içeren kayalara yerleştirilen çivi ve vidalar referans alınarak yapılan ölçümlerinden belirlenen ortalama dip oyulma hızı ile ilgili kaya birimlerinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı görgül bağıntılar elde edilmiştir. Ancak, bu araştırma ile önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlar dikkate alındığında suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile ortalama dip oyulma hızı değerlerinin $I_{d2} < 20$ koşulunda dip oyulma hızının geniş aralıkta dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Söz konusu bu dağılımın, araştırmanın gerçekleştirildiği kaya birimlerinin farklı

jeolojik yaşlara sahip olması ve oldukça farklı iklim koşullarında bozunma süreçlerine maruz kalmasından kaynaklandığı saptanmıştır.

Birçok zayıf ve kil içeren kaya birimleri, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sırasında yoğun bir şekilde parçalanmakta ve bu parçaların tambur eleğini geçmemesi nedeniyle duraylı olarak değerlendirilmektedir. Bu sorunun aşılması için literatürde D_R yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşım hem I_s ve hem de I_d deneyleri sonucu elde edilen parçalanmış örneklerin duraylılık değerlendirmesinde kullanılmış olup, elde edilen D_R değerleri doğrudan çiviler yardımıyla belirlenen dip oyulma hızları ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu bu analizler sonucunda dip oyulma hızlarının tahmin edilmesinde kullanılmak üzere istatistiksel olarak anlamlı görgül bağıntılar elde edilmiştir.

Killi kireçtaşı örneklerinin bulunduğu lokasyonlarda arazi koşullarında parçalanma ve dip oyulma derinlikleri ölçülmüş olmasına karşın bu lokasyonlardan alınan örnekler üzerinde yapılan suda dağılma indeksi ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneylerinde önemli ölçüde bir suda dağılma davranışı gözlenememiştir. Killi kireçtaşı örneklerinde gözlenen bu farklı davranışın kütleli dağılma sonucu oluşan ufak kaya parçalarının ortamdan uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Yük. Müh. Semiha Özdemir tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen kil içeren kayaların dağılma özelliklerinin arazi koşullarında incelenmesi başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Değinilen Belgeler

- Admassu, Y., Shakoor, A., Wells, N. A. 2012. Evaluating selected factors affecting the depth of undercutting in rocks subject to differential weathering. *Engineering Geology* 124, 1-11.
- ASTM. 1994. Annual Book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones.
- Deo, P. 1972. Shales as embankment materials. PhD Thesis, Purdue University, West Lafayette, 201s.
- DMİ. 2019. Devlet Meteoroloji İşleri Kütahya İstasyonu verileri.

- Ergüler, Z. A. 2007. Su içeriğinin kil içeren kayaların mühendislik davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ergüler, Z. A., Shakoor, A. 2009. Quantification of fragment size distribution of clay-bearing rocks after slake durability testing. *Environmental and Engineering Geoscience* 15 (2), 81-89.
- Ergüler, Z. A., Ulusay, R. 2009. Water-induced variations in mechanical properties of clay-bearing rocks and representation of water dependence by empirical models. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 46, 355-370.
- Fookes, P. G., Sweeney, M. 1976. Stabilization and control of rock falls and degrading slopes. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 9, 37-55.
- Franklin, J. A., Chandra, A. 1972. The slake-durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 9, 325-341.
- Gamble, J.C. 1971. Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks. PhD Thesis, Geology, University of Illinois, Urbana.
- Google Earth. 2020. Version 7.3.3.7786. <http://www.earth.google.com>.
- Gökçeoğlu, C. 1997. Killi, yoğun süreksizlik içeren ve zayıf kaya kütlelerinin mühendislik sınıflamalarında karşılaşılan güçlüklerin giderilmesine yönelik yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 168.
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R., Sönmez., H. 2000. Factors effecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology* 57, 215-237.
- Gözler, M. Z., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, H. J. 1996. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. MTA, Rapor No: 9973, Ankara, (yayımlanmamış).
- Gözler, Z., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, H. J. 1997. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. MTA, Rapor No: 9973, Ankara, (yayımlanmamış).
- ISRM. 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. Brown, E. T. (Ed.), Pergamon Press, London, 211.
- Koncağül, E. C., Santi, P. M. 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, shore hardness and rock structural properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 36, 139-153.
- McClure, J. G. 1981. Physiochemical investigation of shale slaking. PhD Thesis, University of California, Berkeley, CA, 314.
- Moon, V. G., Beattie, A. G. 1995. Textural and microstructural influence on the durability of Waikato coal measures mudrocks. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 28, 303-312.
- Moriwaki, Y., Mitchell, J. K. 1977. The role of dispersion in the slaking of intact clay. In: *Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects*, Sherard, J. L., Decker, R. S. (Ed.). ASTM STP 623: American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 287-302.
- Niemann, W. L. 2009. Lessons learned from rates of mudrock undercutting measured over two time periods. *Environmental and Engineering Geoscience* XV (3), 117-131.
- Oakland, M. W., Lovell, C. W. 1985. Building embankments with shale. The 26th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 26-28 June, Rapid City, South Dakota, 305-312.
- Orhan, A. 2005. Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü Temel Zemin Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sisteminin Uygulanması. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özburan, M. 2009. Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelenmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Peckover, F. L., Kerr, J. W. G. 1977. Treatment and maintenance of rock slopes along transportation routes. *Canadian Geotechnical Journal* 14, 487-507.
- PRISM GROUP. 2006. Oregon State University: Electronic document, available at <http://www.prism.oregonstate.edu>
- Rib, H. T., Liang, T. 1978. Recognition and identification. Schuster, R. L. And Krizek, R. J. (Ed.). *Landslides: Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Publication 176, National Academy of Sciences, Washington, DC, Chapter 3, 34-80.
- Shakoor, A., Brock, D. 1987. Relationship between fissility, composition, and engineering properties of selected shales from northeast Ohio. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* XXIV (3), 363-379.

- Shakoor, A., Weber, M. W. 1988. Role of shale undercutting in promoting rock falls and wedge failures along Interstate 77. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* XXV (2), 219-234.
- Shakoor, A., Rodgers, J. P. 1992. Predicting the rate of shale undercutting along highway cuts. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* XXIX (1). 61-75.
- Sowers, G. F., Royster D. L. 1978. Field investigations, Schuster, R. L., and Krizek, R. J. (Ed.). *Landslides: Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Publication 176, National Academy of Sciences, Washington, DC, Chapter 2, 11-33.
- Stollar, R. L. 1976. Geology and some engineering properties of near-surface Pennsylvanian shales in Northeast Ohio. Master Thesis, Kent State University, Department of Geology, Kent, OH, 36.
- Thornbury, W. D. 1954. *Principles of Geomorphology*. John Wiley and Sons, New York, NY, 618.
- Ulusay, R., Ergüler, Z. A. 2012. Needle penetration test: Evaluation of its performance and possible uses in predicting strength of weak and soft rocks. *Engineering Geology* 149-150, 47-50.
- Wood, L. E., Deo, P. 1975. A suggested system for classifying shales materials for embankments. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* 12(1), 39-55.