



KİL İÇEREN KAYALARIN DAĞILMA ÖZELLİKLERİNİN
ARAZİ KOŞULLARINDA İNCELENMESİ

Semiha ÖZDEMİR

Yüksek Lisans tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran – 2019

KİL İÇEREN KAYALARIN DAĞILMA ÖZELLİKLERİNİN ARAZİ KOŞULLARINDA
İNCELENMESİ

Semiha ÖZDEMİR

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER

Haziran-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Semiha ÖZDEMİR'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Kil İçeren Kayaların Dağılım Özelliklerinin Arazi Koşullarında İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim, Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

19/06/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER
Anabilim Dalı Başkanı, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

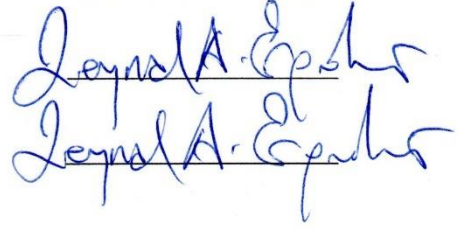
Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER
Danışman, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

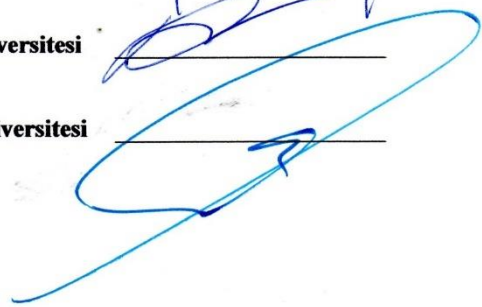
Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Ali KAYABAŞI
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi







ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 11 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER



Semiha ÖZDEMİR



KİL İÇEREN KAYALARIN DAĞILMA ÖZELLİKLERİNİN ARAZİ KOŞULLARINDA İNCELENMESİ

Semiha ÖZDEMİR

Jeoloji Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER

ÖZET

Kil içeren kayalar atmosferik koşullara karşı oldukça hassas olup, bu koşullar altında hızlı bir şekilde parçalanma gösterirler. Bu tür kayaların bulunduğu yerlerde açılan karayolu şevleri gibi mühendislik projeleri sıklıkla dip oyulma sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Günümüze kadar birçok ülkede, özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde, kil içeren kayaların zamanla daha hızlı dağılıp uzaklaşması sonucu can ve mal kaybına neden olan birçok kaya düşmesi sorunu ile karşılaşmıştır. Kil içeren kayaların dip oyulması hızı ile doğrudan ilişkili olan bu duraysızlık türü ani ve yüksek hızlı olup genellikle uzun yıllar hizmet veren karayolu şevlerinde daha çok tehlike oluşturmaktadır. Karayolu kazı şevlerinde meydana gelen bu ileri boyuttaki dip oyulmadan kaynaklanan duraysızlıkları önceden belirlemek ve gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamak için kil içeren kayaların dip oyulma hızlarının doğrudan ölçülmesi veya tahmin edilmesi ilgili projelerin güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, bu tez çalışması kapsamında kil içeren kayaların dip oyulma hızlarının arazi koşullarında ölçülmesi ve bu parametrenin kil içeren kayaların diğer indeks ve fiziksel özellikleri ile olan ilişkisinin tespiti amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, kil içeren kayaların bulunduğu ve karayolu şevlerinde dip oyulma probleminin gözlemlendiği 11 farklı saha, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu kazı şevlerinde birçok lokasyonda dip oyulma derinlikleri, kil içeren kayaların taze, bozunmamış yüzeylerine yerleştirilen çivilerden farklı tarihlerde alınan ölçümler ile sağlanmıştır. Ayrıca, kazı tarihi bilinen karayolu şevlerinde doğrudan sağlam kaya birimi ile kil içeren kaya arasındaki aşınma miktarı kullanılarak dip oyulma derinlikleri alınmıştır. Ölçüm yapılan lokasyonlarda kil içeren kayaların fiziksel ve duraylılık deneylerinde kullanılmak üzere uygun miktar ve boyutlarda örnekler derlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, dip oyulma hızını tahmin etmede, özellikle kil içeren kayaların jeoteknik özellikleri (örneğin, suda dağılma duraylılığı, Atterberg limitleri) dikkate alınmıştır. Yapılan analizlerde, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ve dağılma indeksi gibi deney sonuçlarının yanı sıra "dağılma oranı (D_R)" parametresinin kil içeren kayaların dağılma davranışlarının tespitinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu analizler sonucunda dip oyulma hızının tahmin edilmesinde kullanılmak üzere istatistiksel olarak anlamlı görgül eşitlikler elde

edilmiş olup, “dağılma oranı (D_R)” yaklaşımının da kil içeren kayaların dağılma davranışının öngörülmesinde kullanılabileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bozunma, Bozunma hızı, Dağılma, Dağılma oranı, Dip oyulma, Dip oyulma hızı, Islanma-kuruma, Kil içeren kayalar.



INVESTIGATION DISINTEGRATION BEHAVIOR OF CLAY-BEARING ROCKS UNDER FIELD CONDITIONS

Semiha ÖZDEMİR

Geological Engineering, MSc. Thesis, 2019

Supervisor: Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER

SUMMARY

Clay-bearing rocks are highly sensitive to atmospheric conditions and rapidly reveal disintegration under these conditions. Engineering projects such as road slopes, where such rocks are located, are often subjected undercutting problems. Up to now, various rock fall problems caused loss of life and property have been encountered in many countries, particularly in the United States, due to the rapid disintegration and erosion of clay-bearing rocks. Such type of instability directly related to undercutting rate of clay-bearing rocks has sudden and high-speed characteristics, and it is more dangerous for highway slopes that have been serving for many years. The direct measurement or prediction of undercutting rate of clay-containing rocks is very important for the safety of the related projects in terms of predetermination of undercutting based instabilities and take required measures in advance. Therefore, it is aimed in this thesis to measure undercutting rate of clay-bearing rocks under field conditions and to determine the relationship between this parameter and other index and physical properties of clay-bearing rocks. For this purpose, 11 different locations in which clay-bearing rocks were found and undercutting problems were observed in the road slopes were selected as the study area. In these road cuts, the depths of undercutting in many locations were obtained by measurements taken at different dates from the nails placed in the fresh of clay-bearing rocks. In addition, the depth of undercutting depth was directly taken by using the amount of erosion between durable rock unit and the clay-bearing rock in the road slopes with known date of excavation. Samples having suitable amount and sizes were collected at the measured locations to be used in physical and durability tests of clay-bearing rocks. In this study, geotechnical properties (e.g., slake durability, Atterberg limits) of clay-bearing rocks were taken into consideration in prediction undercutting rate. In the analyses, the applicability of the results of slake index and slake durability tests as well as the disintegration ratio (D_R) in the determination of the disintegration behavior of clay-bearing rocks were investigated. As a result of these analyses, statistically significant empirical equations were obtained to be used to estimate undercutting rate, and it was determined that the approach of

“disintegration ratio (D_R)” can be used to predict the disintegration behavior of clay-bearing rocks.

Keywords: Weathering, Weathering rate, Disintegration, Disintegration ratio, undercutting, undercutting rate, Wetting-drying, Clay-bearing rocks.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince her konuda yardımını esirgemeyen, yapıcı yöndeki eleştirileri ve katkıları ile beni yönlendiren değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER' e,

Bu tez çalışmasının hazırlanması aşamasında bilimsel katkı ve önerileriyle desteğini gördüğüm Dr. Güzide KALYONCU ERGÜLER'e,

Yüksek lisans süresinde ders aşamasında katkıda bulunan ve tezimi inceleyerek değerli görüşlerini esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr. Hüseyin KARAKUŞ'a,

Tez çalışmam süresince bilgilerinden yararlandığım değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Muzaffer ÖZBURAN'a,

Tez çalışmam süresince ve deneysel çalışmalar için laboratuvar aşamasında zamanını ve değerli bilgilerini esirgemeyen Arş. Gör. Enes ZENGİN'e,

Yüksek lisans ve tez aşamamda bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Arş. Gör. Ali Samet ÖNGEN'e,

Tez çalışmalarımın her aşamasında maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan babam Hasan ÖZDEMİR, annem Rahime ÖZDEMİR, ablam Sibel ÖZDEMİR İLHAN, kardeşlerim Mustafa ÖZDEMİR ve Recep ÖZDEMİR' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Kil İçeren Kayalar ile İlgili Yapılan Genel Amaçlı Çalışmalar	4
2.2. Kil İçeren Kayaların Mühendislik Davranışının Tanımlanmasını Kapsayan Önceki Çalışmalar	9
2.3. Suya Bağlı Kil İçeren Kayaların Dayanım-Deformasyon Özelliklerini Kapsayan Önceki Çalışmalar	10
2.4. Kil İçeren Kayaların Suda Dağılıma Davranışının Laboratuvar Deneyleri ile Değerlendirmesini Kapsayan Önceki Çalışmalar	11
2.5. Kil İçeren Kayaların Doğal Koşullardaki Dağılıma Davranışını Kapsayan Önceki Çalışmalar	16
3. ÖRNEKLEME ALANLARININ TANITIMI	20
3.1. Kütahya ve Çevresinin Genel Jeolojisi, İklim ve Bitki Örtüsü	21
3.1.1. Sarıcasu formasyonu (Ps)	25
3.1.2. Arıkaya formasyonu (Pa).....	25
3.1.3. Ovacık melanjı (Ko)	25
3.1.4. Sabuncupınar formasyonun Çayca üyesi (Tşç).....	26
3.1.5. Çökköy formasyonu (Tç).....	26
3.1.6. Emet formasyonu (Te)	27
3.1.7. Kirazpınar formasyonu (Qk)	28
3.1.8. Yakaca formasyonu (Qy)	28
3.1.9. Kütahya formasyonu (Qkü)	29
3.1.10. Alüvyon (Qal).....	29
3.1.11. Kütahya ve çevresinin iklim ve bitki örtüsü	29
3.2. Eskişehir ve Çevresinin Genel Jeolojisi, İklim ve Bitki Örtüsü	31
3.2.1. Karkın formasyonu (Ofiyolitler)	34
3.2.2. Mamuca formasyonu	35
3.2.3. Porsuk formasyonu	36

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.4. Ilıca formasyonu	36
3.2.5. Akçay formasyonu	37
3.2.6. Alüvyon	39
3.2.7. Eskişehir ve çevresinin iklim ve bitki örtüsü.....	39
3.3. Afyonkarahisar ve Çevresinin Genel Jeolojisi, İklim ve Bitki Örtüsü	41
3.3.1. Genel jeoloji	41
3.3.2. Afyonkarahisar ve çevresinin iklim ve bitki örtüsü.....	45
4. ARAZİ ÇALIŞMALARI	48
4.1. Saha Seçimi	48
4.2. Dip Oyulması Ölçümleri	48
4.3. Örnekleme Çalışmaları.....	55
4.4. Kaya Yapılarındaki Duraysızlıkların İncelenmesi	55
4.5. Süreksizliklerin Ölçülmesi ve Hat Etüdü Çalışması	56
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	59
5.1. Örnek Hazırlama	59
5.2. Kuru Birim Hacim Ağırlık Tayinleri	59
5.3. İğne Batma Ölçer Deneyleri.....	61
5.4. Atterberg Limitleri.....	64
5.5. Örneklerin Suda Dağılma Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Laboratuvar Deneyleri.....	66
5.5.1. Kavanozda dağılma deneyi.....	66
5.5.2. Suda dağılma indeksi deneyi	68
5.5.3. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi	75
5.6. Kil İçeren Kayaların Dip Oyulma Hızının Görgül Yaklaşımlarla Belirlenmesi.....	81
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	89
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çamurtaşlarının sınıflaması için takip edilmesi gerekli aşamalar.....	8
2.2. Gamble (1971) tarafından önerilen kil içeren kayaların duraylılık sınıflaması.	9
2.3. Ölçülen ortalama dip oyulması hızı ile 2. çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değişim grafiği	18
3.1. Çalışma sahalarının bulunduğu iller.....	21
3.2. Kütahya ili ve çevresindeki çalışma alanlarının örnekleme yeri haritası.....	22
3.3. Kütahya ve çevresinde çalıştığımız bölgelerin jeolojik birimlerini gösteren genel jeoloji haritası	23
3.4. Kütahya ve çevresinin genelleştirilmiş sütun kesiti.	24
3.5. Lokasyon-3, Kütahya-Eskişehir yolu üzeri Ilıca Termal yol ayrımı (Akpınar Köyü Mevki-Kütahya-Merkez)-D230 karayolu.	27
3.6. DMİ'den alınan verilere göre 1929-2017 yılları arası Kütahya iline ait sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara göre değişimi.....	30
3.7. DMİ'den alınan verilere göre 1929-2017 yılları arası Kütahya iline ait yağış ve buharlaşma değerlerinin aylara göre değişimi.	30
3.8. DMİ'den alınan verilere göre 1929-2017 yılları arası Kütahya iline ait nem ve sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.....	31
3.9. Eskişehir ili ve çevresindeki çalışma alanlarının örnekleme yeri haritası.....	32
3.10. Eskişehir ili ve çevresinde çalıştığımız bölgelerin jeolojik birimlerini gösteren genel jeoloji haritası.	33
3.11. Eskişehir ve çevresinin genel stratigrafi kesiti.....	34
3.12. Lokasyon-10, Eskişehir- Afyonkarahisar yolu üzeri (Numanoluk Mah. Seyitgazi İlçesi-Eskişehir) D665 Karayolu.	35
3.13. Lokasyon-9, Eskişehir- Afyonkarahisar yolu üzeri (Sarayören Mah. Seyitgazi İlçesi-Eskişehir)-D665 karayolu.	37
3.14. Lokasyon-8, Eskişehir-Kütahya yolu üzeri (Yeniakçayır Mah.-Tepebaşı İlçesi-Eskişehir)-D230 Karayolu.	38
3.15. DMİ'den alınan verilere göre 1969-2018 yılları arası Eskişehir iline ait sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara göre değişimi.	40
3.16. DMİ'den alınan verilere göre 1969-2018 yılları arası Eskişehir iline ait nem ve sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.	40
3.17. Afyonkarahisar ili ve çevresindeki çalışma alanlarının örnekleme yeri haritası.....	41
3.18. Afyonkarahisar ili -İhsaniye İlçesi- Kayıhan Köyü jeolojik birimlerini gösteren genel jeoloji haritası.	42
3.19. Afyonkarahisar ve civarının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (ölçeksiz).....	43
3.20. Afyonkarahisar ili İhsaniye ilçesi Kayıhan köyünün stratigrafisi.	44

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.21. Lokasyon-11, Afyonkarahisar Eskişehir yolu üzeri (Kayıhan Köyü-İhsaniye İlçesi-Afyonkarahisar) D665 Karayolu.	45
3.22. 2013-2018 yılları arası Afyonkarahisar ili-İhsaniye ilçesine ait sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara göre değişimi.....	46
3.23. 2013-2018 yılları arası Afyonkarahisar ili-İhsaniye ilçesine ait yağış ve buharlaşma değerlerinin aylara göre değişimi.....	47
3.24. 2013-2018 yılları arası Afyonkarahisar ili-İhsaniye ilçesine ait nem ve sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.....	47
4.1. Dip oyulması ile ilgili tanımlamaların gösterildiği araziden bir görünüm (Lokasyon-7). ...	49
4.2. Çelik çivi kullanılarak 3-1 no.lu lokasyon için dip oyulma derinliği ölçümleri.	51
4.3. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu Lokasyon 1'e yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi.	52
4.4. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu Lokasyon 2'ye yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi.	52
4.5. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu Lokasyon 3-1'e yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi.	53
4.6. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu Lokasyon 4'e yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi.	53
4.7. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu 8, 9, 10-1, 10-2 ve 11 no.lu lokasyonlara yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi.....	54
4.8. Laboratuvar deneyleri için taze kil içeren kaya el örneklerinin derlenmesi (Lokasyon 7). .	55
4.9. Kil içeren kayaların dip oyulma süreçleri sonucu kaya düşmesi riskini taşıyan geniş süreksizlik aralığına sahip kalın kireçtaşı tabakaları (Lokasyon 7).	57
4.10. Dip oyulma süreçleri sonucu meydana gelen kaya düşmeleri: (a) Lokasyon 3-2, (b) Lokasyon 6.....	58
4.11. Çalışma alanı içerisinde bulunan karayolu drenaj hendeklerinin kil içeren kayaların dağılması sonucu meydana gelen moloz malzemeleriyle dolmasına ilişkin örnekler (Kütahya Eskişehir yolu, Ilıca mevki).	58
5.1. Civa taşıyırma yöntemiyle kuru birim hacim ağırlık deneyi.....	60
5.2. Örneklerin dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılan iğne penetrometresi ve ilgili bölümleri.	62
5.3. İğne penetrometresi deneyinin laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmesi.	63
5.4. Örneklerin Atterberg deneylerinden alınan görüntüleri: (a) likit limit ve (b) plastik limit. ..	64
5.5. Lokasyon 10-1'den alınan örneğin LL değerlerinin belirlenmesinde kullanılan düşüş sayısı ile su içeriği arasındaki ilişki ve likit limitin belirlenmesi.	65
5.6. (a)Lokasyon 1-3,4,5,6,7 ve 8'den alınan örneklerin 24 saat sonraki son durumu, (b) Lokasyon 9,10-1,10-2 ve 11'den alınan örneklerin 24 saat sonraki durumu.	68

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. Çevrim sayısının artışına bağlı olarak örneklerin suda dağılma indeksi değişim grafikleri.	70
5.8. Suda dağılma indeksi deneyinde ıslanma-kurumaya maruz kalmış örneklerin 2. çevrim sonrası genel görünüşleri.....	71
5.9. Suda dağılma indeksi deneyinde ıslanma-kurumaya maruz kalmış örneklerin 4. çevrim sonrası genel görünüşleri.....	72
5.10. Suda dağılma indeksi deneyinin 2. çevrimi sonrasında meydana gelen dağılmanın tane boyu değişim grafiği.	73
5.11. Suda dağılma indeksi deneyinin 4. çevrimi sonrasında meydana gelen dağılmanın tane boyu değişim grafiği	73
5.12. Suda dağılma indeksi deneyinden sonra kil içeren kayaların parça büyüklüğü dağılım eğrileri (a) ve kil içeren kayalarda dağılma oranı hesaplaması (b).	74
5.13. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde kullanılan cihazdan bir görünüm.	76
5.14. Çevrim sayısının artışına bağlı olarak suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerinde meydana gelen azalım grafikleri.	77
5.15. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde örneklerin 2. çevrim sonrasındaki görüntüleri.....	78
5.16. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde örneklerin 4. çevrim sonrasındaki görüntüleri.....	79
5.17. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin 2. Çevrimi sonrası tamburda kalan parçalanmış örneklerin tane boyu değişim grafiği.....	80
5.18. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin 4. Çevrimi sonrası tamburda kalan parçalanmış örneklerin tane boyu değişim grafiği.....	80
5.19. 2. Çevrim sonucu belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerinin kazı tarihi ve çivi ölçümlerinden alınan bütün ortalama dip oyulma hızı değerleri arasındaki ilişki.	82
5.20. 2. Çevrim sonucu belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerinin sadece çivi ölçümlerinden alınan ortalama dip oyulma hızı değerleri arasındaki ilişki.	82
5.21. 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 ilişki.....	83
5.22. Suda dağılma indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranı (DR(ıslanma-kuruma)) ile kazı tarihi ve çivi ölçümlerinden alınan bütün ortalama dip oyulma hızı arasındaki ilişki.	84
5.23. Suda dağılma indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranı (DR(ıslanma-kuruma)) ile sadece çivi ölçümlerinden alınan ortalama dip oyulma hızı arasındaki ilişki.....	85
5.24. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranı (DR(slake)) ile çivi ölçümlerinden alınan bütün ortalama dip oyulma hızı arasındaki ilişki.	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kil içeren kayalar için önerilmiş sınıflama sistemleri.....	5
2.2. Şeyl sınıflama sistemi.	6
2.3. Ingram (1953) tarafından önerilen çamurtaşlarının (mudrock) jeolojik sınıflaması.	6
2.4. Çamurtaşlarının (mudstone) sınıflaması	6
2.5. Çamurtaşları (mudrock) için önerilen sınıflama sistemi	7
2.6. Shakoov ve Rogers (1992) ve Nieman (2009) tarafından Amerika'nın farklı bölgelerindeki kil içeren kayaların içinde açılan yol şevlerinden ölçülen dip oyma hızı ile I_{d2} değerleri.....	17
4.1. Arazide farklı lokasyonlarda bulunan kil içeren kayalarda ölçülen dip oyulma derinlikleri değerleri.....	50
4.2. Çalışma alanında ölçülen dip oyulma hızı değerleri ve değişim aralıkları.	54
4.3. Farklı lokasyonlarda yapılan hat etüdü çalışmaları sonucu elde edilen ortalama süreksizlik aralığı ve süreksizlik sıklığı değerleri.	57
5.1. Arazilerden alınan kil içeren kaya örneklerine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri.	61
5.2. Çalışmamızdaki kil içeren kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının tayini için ölçülen iğne batma direnci değerleri (İBD).....	63
5.3. Örneklerin likit limit, plastik limit ve plastisite indeks değerleri sonuçları.	65
5.4. Kavanozda dağılma deneyi çizelgesi.	67
5.5. Örneklerin Wood ve Deo (1975) tarafından önerilen sınıflama sistemine göre 30 dakika ve 24 saat sonraki dağılma özellikleri.	67
5.6. Çevrimler sonrası elde edilen suda dağılma indeksi deneyi değerleri.	69
5.7. Suda dağılma indeksi deneylerinin (I_s) 2. ve 4. çevrimden sonra oluşan parçalanmanın elek analizi sonuçlarına göre dağılma oranı ($D_{R(\text{ıslanma-kuruma})}$) değerleri.	74
5.8. Kil içeren kayaların farklı çevrimlerde elde edilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri (I_d).....	76
5.9. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneylerinin (I_d) 2. ve 4. çevrimden sonra oluşan parçalanmanın elek analizi sonuçlarına göre dağılma oranı	81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
D_R	Dağılma oranı
I_s	Suda dağılma indeksi
I_d	Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi
r	Regresyon analizinde korelasyon katsayısı
R^2	Regresyon analizinde determinasyon katsayısı
RQD	Kaya kalite göstergesi
X	Ortalama süreksizlik aralığı
λ	Süreksizlik sıklığı(bir metredeki süreksizlik sayısı)
L	Ölçüm hattı uzunluğu
N	Ölçüm hattını kesen süreksizlik sayısı
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık
ρ_k	Kuru yoğunluk
m_s	Katı tanelerin kütlesi
v_t	Toplam hacim
g	Yer çekimi ivmesi
İBD	İğne batma direnci
F	Batma kuvveti
D	Batma derinliği
σ_{ci}	Tek eksenli sıkışma dayanımı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
M.T. A.	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
D.M.İ.	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Farklı bozunma süreçlerine maruz kalan karayolu gibi kazı şevlerini oluşturan zayıf kaya birimlerinin dipten oyulması, ülkemizde birçok şevde sık görülen bir duraysızlık sorunu oluşturmaktadır. Duraysızlıklar çoğu zaman, birbirini izleyen sert birimlerin (kumtaşı, kireçtaşı, dolomitler vb.) ve yumuşak birimlerin (şeyl, kiltası ve çamur taşı vb.) bulunduğu kazı şevlerinin zamana bağlı dağılıp ortamdan uzaklaşması sonucunda oluşur. Bozunma süreçlerine karşı duraylı ve duraysız birimlerin araldanmalı bulunduğu bu şevlerde, kil içeren zayıf kaya birimlerin daha hızlı atmosferik süreçlere tepki vermesi ve dolayısıyla bunları üzerleyen daha duraylı sert birimlere oranla daha hızlı dağılması sonucu sert birimler zamanla topuk yitimine maruz kalmaktadırlar.

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). Kiltası, çamurtaşı, silttaşı, şeyl, marn vb. gibi kil içeren sedimenter kayalar genellikle aşınmaya karşı daha duraylı kaya birimleri (kireçtaşı, kumtaşı vb.) ile araldanmalı 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, kil içeren kayaların dağılma ve dip oyulması hızlarını tahmin edebilmesi projenin güvenliği açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

Ayrıntısına tezin “Önceki Çalışmalar” başlıklı bölümde değinileceği üzere, laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerle elde edilen kısıtlı ve sınırlı sonuçlarla kil içeren kayaların “ıslanma-kuruma” süreçlerine karşı gösterdiği dağılma davranışı değerlendirilmiş olup, laboratuvarında elde edilen sonuçlarının yanı sıra, bu killi kayaların arazideki dağılma davranışlarının da belirlenip değerlendirmeye alınması gerekmekte olduğu önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Ergüler, 2007). Kil içeren kayaların laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerin yanı sıra, arazide göstermiş olduğu dağılma davranışı ve dağılma hızının değerlendirilmesinin mühendislik çalışmalarında yeri oldukça önemlidir.

Kil içeren kayaların dip oyulması hızını tahmin etmek için üç farklı ilde bulunan 11 (on bir) sahada çalışmalar yapılmıştır. Sahalar, dip oyulmasının meydana geldiği kazı şevlerinden oluşmaktadır. Dip oyulması derinlikleri tüm sahalarda hassas bir şekilde kil içeren kayaların taze bozunmamış yüzeylerine yerleştirilen çiviler yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca, kil içeren kayaların uzun yıllar atmosferik koşullar altındaki davranışını belirlenmek ve dip oyulma hızlarının tespitinde kullanılmak üzere arazi çalışmalarının gerçekleştirildiği karayolu şevlerinin kazı tarihleri Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Her kazı şevinde ölçmüş olduğumuz dip oyulması miktarı ve kazı yaşı, kazı tarihinden bu yana kil içeren kayaların dip oyulması hızını tahmin etmek için kullanılmıştır.

Karayollarındaki kazı şevlerinde 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 (Dec, 1972; Stollar, 1976; McClure, 1981; Oakland ve Lovell, 1985 ve Shakoor ve Brock, 1987) suda dağılma duraylılığı, Atterberg limitleri, donma çözülme duraylılığı, kil minerolojisi ve kaya dokusu gibi parametrelerin kil içeren kayaların dağılma davranışını kontrol eden önemli jeoteknik özellikler olduğunu belirtmişlerdir. 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). Bu çalışmada kazı şevlerinde dip oyulması hızını tahmin etmede dip oyulması hızını etkileyen faktörler, özellikle kil içeren kayaların jeoteknik özellikleri dikkate alınmıştır. Önceki çalışmalarda (Shakoor ve Rogers, 1992), dip oyulma hızı ile kil içeren kayaların suda dağılma indeksi değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirtilmiştir

Çalışmamızda kazı şevlerinin her birinden örnekler alınmış olup, bu örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, dağılma indeksi değerleri, Atterberg limitleri, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri belirlenmiştir. Shakoor ve Rogers (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 kullanılamayacağını tespiti de hedeflenmiştir. Ancak, Ergüler ve Shakoor (2009) tarafından da belirtildiği gibi birçok kil içeren kaya birimlerinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sırasında yoğun bir şekilde parçalanmakta ve bu parçalar tambur eleğini geçmemesi nedeniyle duraylı olarak değerlendirilmektedir. Bu sorunun aşılması için Ergüler ve Shakoor (2009) “dağılma oranı (D_R)” yaklaşımı önermiştir. Bu nedenle, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, dağılma indeksi gibi deney sonuçlarının yanı sıra, tez çalışması kapsamında söz konusu “dağılma oranı (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 dağılamaya karşı duraylılık indeksi ve “dağılma oranı (D_R)” arasında analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda “dağılma oranı (D_R)” yaklaşımının dip oyulma hızının tahminin de kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüze kadar kil içeren kayaların jeolojik özelliklerini, mühendislik amaçlı sınıflamalarını, genel davranışını, bu kayaların dayanım ve deformasyon özelliklerinde su içeriğine bağlı olarak meydana gelen değişimi temel alan birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Colback ve Wild, 1965; Gamble, 1971; Morgenstren ve Eigenbrod, 1974; Van Eeckhout ve Peng, 1975; Franklin, 1981; Grainger, 1984; Lashkaripour, 2002; Sumner ve Werner, 2002; Kramadibrata vd. 2004; Ergüler ve Ulusay, 2009a; Ergüler ve Ulusay, 2009b). Bu bölümde; tezin amaç ve kapsamı dikkate alınarak, kil içeren kayalar için sedimantolojik ve mineralojik değerlendirmeler için yapılan sınıflamalar, su içeriğindeki artışa bağlı olarak mekanik parametrelerinde meydana gelen azalma, ıslanma-kuruma süreçlerin doğurduğu dağılma, bu dağılma ve dağılma hızının tespitinde ve değerlendirmesinde kullanılan laboratuvar ve arazi gözlemlerini kapsayan önceki çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme çalışmalarından elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

2.1. Kil İçeren Kayalar ile İlgili Yapılan Genel Amaçlı Çalışmalar

Çizelge 2.1’de de gösterildiği gibi, tane boyu sedimanter kayalarının jeolojik sınıflama sistemlerinde dikkate alınan en önemli parametredir. Wentworth (1922) arjilit (argillaceous) olarak bilinen şeyl ve çamurtaşı gibi kil içeren kayaları iri taneleri sedimanter kayalardan ayırmak için 0.0625 mm’ lik tane boyunu sınır olarak kullanmıştır. Mead (1936), sedimanter kayalar içerisinde yaygın bir şekilde bulunan şeyllerin ilk jeolojik sınıflamasını yapmıştır (Çizelge 2.2). Ingram (1953) tarafından çamurtaşları (mudrock) için önerilen sınıflama sistemi ise Çizelge 2.3’te sunulmuştur. Ingram (1953) tarafından önerilen sınıflama sisteminden sonra kıltaşı, siltaşı ve kil şeyl gibi kavramlar kullanılmaya başlanmıştır. Folk (1968) tarafından çamurtaşları (mudstone) için önerilen jeolojik sınıflama sistemi ise Çizelge 2.4’te sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Kil içeren kayalar için önerilmiş sınıflama sistemleri (Purnell ve Netterberg, 1975).

Tane boyu (mm)	Tane boyu dağılımı	Arazi tanımlaması	Pekişmemiş	Pekişmiş		Kısmi başkalaşım	Grup adı	Araştırmacı
				Dilimli olmayan	Dilimli			
Silt 0.004-0.06 Kil < 0.004	silt > %50 kil > %50	-	Silt + su Kil = çamur	Silttaşı Kiltaşı	Şeyl	Kiltaşı*	Çamurtaşı (mudstone)	Twenhofel (1939)
Silt 0.002-0.02 Kil 0.002	Silt > kil Kil > silt Bilinmiyor	-	Silt + su Kil = çamur	Silttaşı Kiltaşı Çamurtaşı	Silt-şeyl Kil-şeyl Çamur-şeyl	Kiltaşı?*	Çamurtaşı (mudrock)	Ingram (1953), Pettijohn (1957)
Silt > 0.01 Silt > 0.004 Kil < 0.004	-	-	Silt + su Kil = çamur	Silttaşı Çamurtaşı	Şeyl	-	Killi çökeller	Pettijohn (1957)
Silt 0.004 - 0.06 Kil 0.004	silt > 2/3 silt 1/3-2/3 kil >2/3	Silt lup ile yaygın gözlenir Çiğnendiğinde kumlu Çiğnendiğinde taneler hissedilmez	Silt + su Kil = çamur	Silttaşı Çamurtaşı Kiltaşı	Silt-şeyl Çamur-şeyl Kil-şeyl	Kiltaşı*	Çamurtaşı (mudrock)	Blatt vd., (1972)

* Kısmi başkalaşım geçiren çamurtaşlarının tanımlamasında kullanılır.

Çizelge 2.2. Şeyl sınıflama sistemi (Mead, 1936).

Sıkışmış şeyl		Çimentolanmış şeyl	
Killi şeyl	%50 veya daha fazla kil mineraline sahip tane boyutunda malzeme içerir	Karbonatlı şeyl	%20-35 arasında CaCO_3 içerir (Marnlar ve şeylli tebeşir %35-65 arasında CaCO_3 içerir)
Siltli şeyl	%25-45 silt boyunda malzeme içerir. Silt, killi şeyl bantları arasında ince tabaklar halinde bulunabilir.	Silisli şeyl	%70-85 arasında amorf silis, çoğunlukla yüksek silisli volkanik külleri içerir.
Kumlu şeyl	%25-45 kum boyunda malzeme içerir. Kum, killi şeyl bantları arasında ince tabakalar halinde olabilir.	Demirli şeyl	% 25-35 arasında Fe_2O_3 içerir
Siyah şeyl	Organik malzeme bakımından zengin, ince kısımları tabakalar şeklinde bölünebilir.	Karbonlu şeyl	Karbon (%3-15), kayayı oluşturan tanelerin birbirlerine bağlanmasını sağlar ve kayanın sertlik derecesi hakkında kesin bilgi verir.
		Kille bağlanmış şeyl	Taneler kil minerallerinin tekrar kristallenmesi veya taşlaşmasıyla bağlanmış.

Çizelge 2.3. Ingram (1953) tarafından önerilen çamurtaşlarının (mudrock) jeolojik sınıflaması.

Silt ve kilin göreceli miktarı	Parçalanma karakteristikleri		
	Bilinmiyor veya belirtilmemiş	Masif	Dilimlenmiş
Bilinmiyor veya belirtilmemiş	Çamurtaşı* (Mudrock)	Çamurtaşı (Mudstone)	Çamur şeyl
Silt > Kil	Silttaşı	Silttaşı	Silt-şeyl
Kil > Silt	Killi kaya (Clayey rock)	Kiltaşı	Kil-şeyl

*: Kayanın %75'i kil ve silt tane boyutundadır.

Çizelge 2.4. Çamurtaşlarının (mudstone) sınıflaması (Folk, 1968).

Çamur kısmın tane boyu	Masif	Dilimlenmiş
Silt ve kil boyutundaki tane içeriği aynıdır	Çamurtaşı (Mudstone)	Çamur şeyl
Malzemenin 2/3'ü silttir	Silttaşı	Silt-şeyl
Malzemenin 2/3'ü kildir	Kiltaşı	Kil-şeyl

Gamble (1971) kil içeren kayaları kapsayan çalışmalarında yukarıda değinilen ve Çizelge 2.3 ve 2.4'te verilen sınıflama sistemine benzer bir sınıflama sistemini kullanmış olmasına karşın, bu sınıflama sistemlerinde kullanılan “kil-şeyl” ve “silt-şeyl” yerine “killi şeyl” ve “siltli şeyl” gibi ifadeler kullanmayı tercih etmiştir. Ergüler (2007) yukarıda değinilen jeolojik amaçlı sınıflama sistemlerinin kullanılması için kil içeren kayaların tane boyutlarına ihtiyaç olduğunu

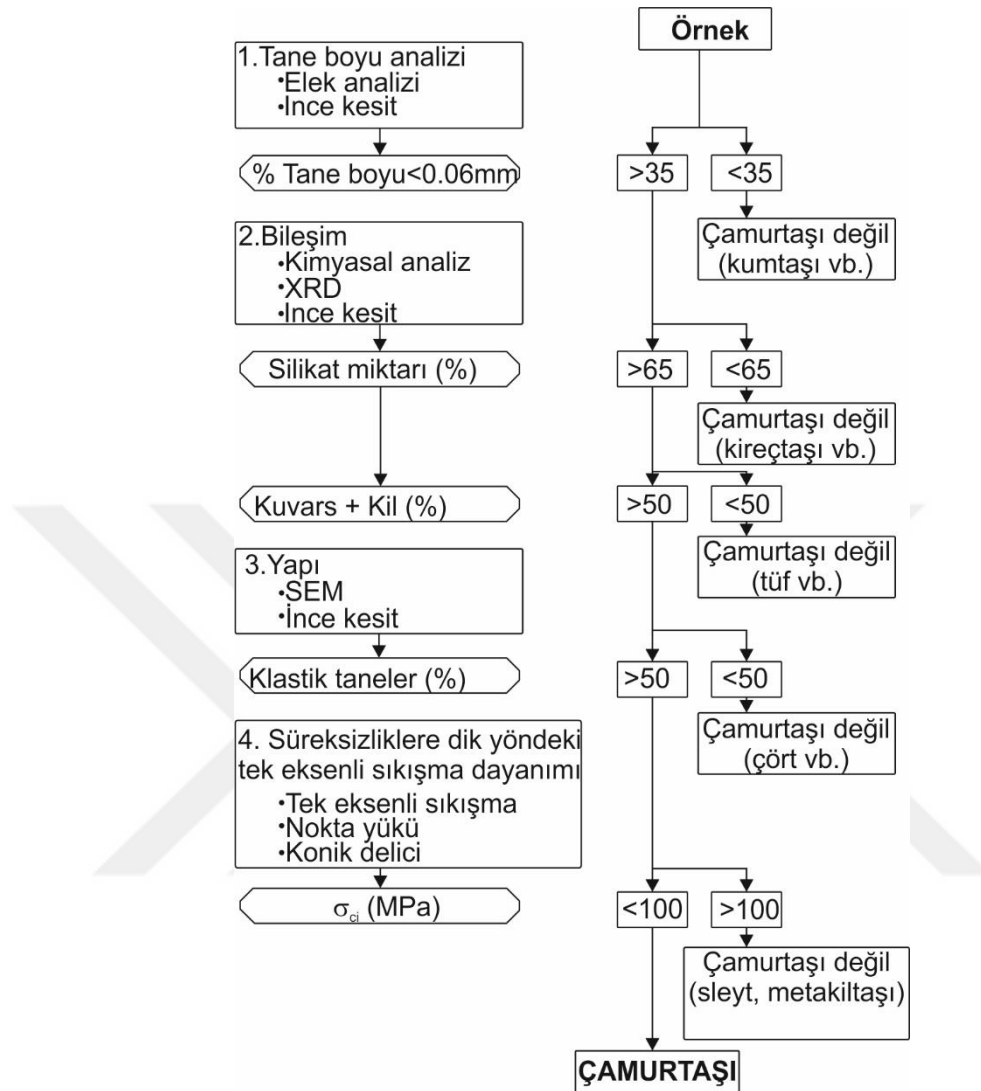
vurgulamıştır. Tane boyu dağılımı, konsolide olmamış çamurtaşlarında ıslak elek ve hidrometre analizleriyle belirlenirken, konsolide olmuş çamurtaşlarında ise bu kayalar ıslanma-kuruma süreçlerine maruz bırakılarak gerçekleştirilmektedir (Ergüler, 2007). Bu amaçla, Spears (1980) konsolide olmamış kil içeren kayaların tane boyunun belirlenmesinde ıslanma-kuruma süreçlerinin kullanımını önermiştir. Ancak, Dick vd. (1994), zayıf pekişmiş çamurtaşlarının bir veya iki ıslanma-kuruma çevrimi sonrasında dağılılabirken, iyi pekişmiş çamurtaşları için sekiz veya daha fazla sayıda çevrime gerek duyulduğunu belirtmişlerdir (Ergüler, 2007).

Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi “şeyl” kil ve silt tane boyuna sahip silisiklastik sedimanter kayalar için yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Buna karşın, Potter vd. (1980), Taylor ve Spears (1981), Dick ve Shakoor (1992), Kramadibrata vd. (2004)’nin de belirttiği gibi , “şeyl” ifadesinin laminasyon davranış gösteren ince tane boyutuna sahip kil içeren kayalar için kullanılmasının daha yararlı olacağı düşünülmektedir. Önceki çalışmalarda yapılan bu öneriler dikkate alınarak son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda, kil silt tane boyuna sahip ve laminasyon içermeyen kayalar için “çamurtaşı” kavramı tercih edilmektedir. Potter vd. (1980) tarafından önerilen ve Çizelge 2.5’te sunulan sınıflama sisteminde laminasyon gibi süreksizlik içermeyen ve ince tane boyuna sahip sedimanter kayalar için “çamurtaşı” terimi kullanılmışlardır. Bu sınıflama sisteminde; tane boyu, laminasyon ve pekişme derecesi dikkate alınmakta olup, kum-silt tane boyu sınırı için 0.06 mm kabul edilmektedir (Ergüler, 2007).

Çizelge 2.5. Çamurtaşları (mudrock) için önerilen sınıflama sistemi (Potter vd., 1980).

Kil tane boyu yüzdesi	0-32	33-65	66-100
Arazi tanımlamaları	Kumlu	Killi	Yağlı veya kaygan
Pekişmemiş	Tabaka >10 mm	Tabakalı silt	Tabakalı çamur
	Laminasyon < 10 mm	Laminalı silt	Laminalı çamur
Pekişmiş	Tabaka >10 mm	Silttaş	Çamurtaş
	Laminasyon < 10 mm	Laminalı silttaş	Çamur-şeyl

Çamurtaşları yapı ve doku açısından ince taneli kumtaş, kireçtaş, tuf, çört, meta-kiltaşı (argillite) ve sleyt (kayrak taşı) gibi kaya birimlerinden ayırt edilmeli ki güçlükleri dikkate alan Grainger (1984), tane boyu, mineral bileşimi, yapı ve tek eksenli sıkışma dayanımı gibi fiziksel ve mekanik parametreleri kullanmıştır (Şekil 2.1). Ancak, araştırmacı Şekil 2.1’de verilen sınıflama sisteminde konsolide olmamış ince-çok ince taneli silisiklastik çökellerinde çamurtaşlarına dahil etmektedir. Ancak, Ergüler (2007) tarafından vurgulandığı gibi güncel mühendislik çalışmalarında çamurtaş tanımları pekişmiş ve belirli bir dayanıma sahip silisiklastik sedimanter kayalar için kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Çamurtaşlarının sınıflaması için takip edilmesi gerekli aşamalar (Grainger, 1984).

Diğer kaya birimlerinde olduğu gibi, çamurtaşlarının mekanik davranışında mineralojik bileşim oldukça önemli bir yer almaktadır. Taylor ve Spears (1981) tarafından da belirtildiği gibi bir çamurtaşı örneğinin mühendislik davranışının doğru bir şekilde belirlenmesi mineralojik bileşimin doğru bir şekilde belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Al-Rawas vd. (2000), kuvars, kalsit ve dolomit gibi minerallerin siltaşı ve iri taneli çamurtaşlarında toplamda büyük oranda bulduklarını vurgulamışlardır. Aynı araştırmacılar; montmorillonit, kaolinit, illit ve klorit gibi kil minerallerinin kiltası, ince taneli çamurtaşı ve şeyllerde yaygın şekilde bulduklarını belirtmişlerdir (Ergüler, 2007).

Sedimantolojik ve mineralojik değerlendirme amaçlı yapılan bu sınıflama sistemleri, kil içeren kayaların mekanik davranışlarının değerlendirmesinde kullanılamamaktadır. Bu sınıflama

sistemlerindeki söz konusu bu sınırlamanın aşılması için birçok araştırmacı indeks ve mekanik parametreleri temel alan mühendislik amaçlı sınıflama sistemleri önermişlerdir. Bu sınıflama sistemlerinde tipik örnekler aşağıdaki alt bölümde sunulmuştur.

2.2. Kil İçeren Kayaların Mühendislik Davranışının Tanımlanmasını Kapsayan Önceki Çalışmalar

Gamble (1971) şeyl gibi kil içeren kayaların ıslanma-kuruma süreçlerine karşı duraylılıklarının değerlendirilmesinde yararlanılmak üzere farklı jeolojik yaşa sahip kaya örnekleri üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmalar sonucunda araştırmacı, kayaların ikinci çevrim sonrası elde edilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile plastisite indeksi parametrelerini temel alan bir sınıflama sistemi önermiştir (Şekil 2.2). Deo (1972) şeyllerin suda dağılma özelliklerini esas alan bir başka sınıflama sistemi önermiştir. Araştırmacı, kayaların suda dağılma özelliklerinin belirlenmesinde dağılma, suda dağılmaya karşı duraylılık ve sülfata karşı dayanıklılık gibi deneylerden faydalanmış ve şeyleri “zemin gibi davranan şeyl”, “orta-2 şeyl”, “orta-1 şeyl” ve “kaya gibi davranan şeyl” olmak üzere dört ayrı gruba ayırmıştır.



Şekil 2.2. Gamble (1971) tarafından önerilen kil içeren kayaların duraylılık sınıflaması.

Morgenstern ve Eigenbrod (1974), kil içeren kayalar için önermiş olduğu sınıflama sisteminde drenajsız makaslama dayanımı, kayanın bünyesine su alması sonucu oluşan

yumuşamadan kaynaklanan dayanım kaybı, yumuşama sonrası su içeriğindeki değişim ve yumuşama süresi gibi parametreleri dikkate almışlardır. Bu araştırmacılar tarafından önerilen bu sınıflama sistemi su içeriğinde ve dayanımda meydana gelen değişimi dikkate alması açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Hudec (1978) daha önce önerilen sınıflama sistemlerini göz önünde bulundurarak, önerdiği sınıflama sisteminde kil içeren kayaların duraylılıklarını suda dağılma kaybı (%), nemli/kuru parçalanma (%), suda dağılma hızı (%; emilen H₂O), donma/çözünme kaybı (%; 12 çevrim), %95 bağıl nem ve 30°C'lik ortamda emilen su ve aşındırma kaybı (%) parametrelerini temel alarak değerlendirmiştir.

Franklin (1981) şeylleri nokta yükü dayanım indeksi, ikinci çevrimdeki suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ve plastisite indeksi gibi parametreleri temel alarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflama sistemine göre kil içeren kayalar girdi parametrelerine bağlı olarak 0 ile 9 arasında değişen puanlar ile sınıflandırılmaktadır. Grainger (1984) çamurtaşı tanımlaması için önerdiği sınıflamada, tek eksenli sıkışma dayanımı ve 2. çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksini esas almıştır. Araştırmacı, ayrıca, kil içeren kayaların tek eksenli sıkışma dayanımının 100 MPa 'dan düşük olduğunu belirtmiştir.

Botts (1986) tarafından önerilen sınıflama sisteminde kil içeren kayaları “kil” ve “çamurtaşı” olmak üzere iki ayrı grupta değerlendirmiştir. Ancak, birçok çalışmada “kil” gibi pekişmemiş sedimanter çökeller “çamurtaşı” kaya grubu altında incelenirken, Botts (1986) tarafından önerilen bu sınıflama sisteminde çamurtaşı kaya grubu, tamamen pekişmemiş killi sedimanter çökellerden ayırtlandıktan sonra değerlendirilmektedir (Ergüler, 2007).

Çamurtaşlarının litolojik özelliklerini esas alan bir diğer duraylılık değerlendirme amaçlı sınıflama sistemi Dick vd. (1994) tarafından önerilmiştir. Bu sınıflama sisteminde kil içeriği, kil minerallerinin bileşimi, yapı, mikro çatlak sıklığı, su emme, kuru yoğunluk, boşluk oranı ve Atterberg limitleri, 2. çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Dick vd. (1994) tarafından önerilen bu sınıflama sistemine göre kil içeren kayaların duraylılıkları “düşük”, “orta” ve “yüksek” olmak üzere üç ayrı sınıfta değerlendirilmektedir.

2.3. Suya Bağlı Kil İçeren Kayaların Dayanım-Deformasyon Özelliklerini Kapsayan Önceki Çalışmalar

Su içeriğine bağlı olarak kil içeren kayaların dayanım ve deformasyon özelliklerinde meydana gelen değişimi kapsayan ilk çalışmalardan biri Hermann vd. (1937; Van Eeckhout ve Peng, 1975'den) tarafından gerçekleştirilmiştir. Salustowichz (1965; Lashkaripour ve Nakhaei,

2001'den) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise kumtaşı ve şeyl örneklerinin dayanım değerleri su içeriğine bağlı olarak sırasıyla %40 ve %60 oranında azaldığını belirtmiştir. Colback ve Wild (1965) kuru ve suya doymuş koşullarda kuvarsitik şeyl örnekleri üzerinde gerçekleştirdikleri üç eksenli sıkışma deney sonuçları kullanarak hesapladıkları doğal makaslama dayanımı (c) değerleri arasında önemli bir farklılığın olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar, suya tamamen doyurulan şey örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin %50 oranında azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

Van Eeckhout ve Peng (1975), farklı bağıl nem koşullarının (%0, %48 ve %100) şeyllerin deformasyon özelliklerine etkisini belirlemek için bu koşullara sahip örnekler üzerinde elastisite modülü deneyleri gerçekleştirmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, kuru şeyl örneklerin elastisite modülü değerleri nemli örneklerin elastisite modülü değerlerinden yaklaşık 2-3 kat daha büyük tespit edilmiştir (Van Eeckhout ve Peng, 1975). Hsu ve Nelson (1993), Kretase yaşlı şeylleri kapsayan araştırmasında, su içeriği ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında önemli bir ilişki saptamıştır. Steiger ve Leung (1990; Lashkaripour ve Nakhaei, 2001'den), kuru şeyl örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin nemli şeyllerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinden yaklaşık 2-10 katı daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Koncagül ve Santi (1999) su içeriğindeki değişimin kayacın tek eksenli sıkışma dayanımını etkilediğini ve kuru örneklerin dayanımının suya doymuş örneklerin dayanımından iki kat daha fazla olduğunu belirlemişlerdir (Ergüler, 2007).

Lashkaripour (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kuru ve tek eksenli sıkışma dayanımı 100 MPa olan şeyllerin nem içeriğinin %4 artışa koşut olarak dayanımın 10 MPa'a kadar azaldığı saptanmıştır. Hsu ve Nelson (2002) ise şeyllerin su içeriği ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında azalan bir ilişki tespit etmişlerdir. Benzer şekilde birçok araştırmacı (Sumner ve Werner, 2002; Kramadibrata vd. , 2004; Ergüler ve Ulusay, 2009a) kil içeren kayalar üzerinde yapmış oldukları çalışmada su içeriğine bağlı olarak kil içeren kayaların dayanım ve deformasyon özelliklerinde önemli oranda değişimin meydana geldiğini belirtmişlerdir.

2.4. Kil İçeren Kayaların Suda Dağılma Davranışının Laboratuvar Deneyleri ile Değerlendirmesini Kapsayan Önceki Çalışmalar

Kil içeren kayalar kil mineralleri bakımından zengin olup, bu mineralojik bileşimi 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 kavanozda dağılma deneyi (Wood ve Deo, 1975), dağılma

indeksi deneyi (Deo, 1972) ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi (Franklin ve Chandra, 1972) gibi birçok laboratuvar deneyi önerilmiştir. Atmosferik koşullar sonucu kil içeren kayalarda meydana gelen dağılma mekanizması, dağılma modelleri ve bu dağılma davranışının değerlendirilmesini kapsayan önceki çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Moriwaki ve Mitchell (1977) “suda tamamen dağılma”, “şişme sonucu dağılma”, “kütlesel dağılma” ve “yüzeysel dağılma” olmak üzere dört ayrı dağılma modelini kil içeren kayalarda yaygın bir şekilde gözlemlendiğini vurgulamıştır. Mitchell (1993) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise tanelerin dağılması, suyla temas etmesi ve yük azalması sonucu meydana gelen şişme ile gözeneklerde kalan havanın oluşturduğu çekilme gerilmeleri gibi farklı mekanizmanın kayaların dağılmasını kontrol ettiği belirtilmiştir.

Taylor ve Spears (1970), kazı sonrası çamurtaşlarında oluşan parçalanmayı ayrıntılı bir şekilde incelemiş, kil mineralleri, pirit ve karbonat minerallerinin varlığı gibi mineralojik bileşim ile yapısal özelliklerin bu tür kaya birimlerinde meydana gelen dağılma üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, çamurtaşlarında fiziksel parçalanma süreçlerinin kimyasal bozunmadan daha önemli olduğunu gözlemlemişlerdir. Cripps ve Taylor (1981) ise, kil içeren kayalarda su içeriği ve plastisite indeksi değerlerinin yüksek olması durumunda parçalanmanın daha fazla olacağını öne sürmüşlerdir.

Taylor (1988) çamurtaşı örnekleri kullanarak gerçekleştirdiği suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney sonuçlarının değerlendirmesinde, kayaların duraylılıklarının değerlendirmesinde 3. çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinin (I_{d3}) kullanılmasının daha yararlı olacağını belirtmiştir. Bu araştırmacı, derlediği çamurtaşı örneklerinin altı kez “ıslanma-kuruma” süreçlerine maruz bırakmış ve elde edilen “ I_d ” verilerinin üçüncü çevrim sonrası değişmeyerek sabit bir değer aldığını tespit etmiştir. Mimuro vd. (1991) kayaların mekanik ve fiziksel özelliklerinin değişimine neden olan ıslanma-kuruma süreçleri, yük boşalması veya kil minerallerinin su alması sonucu oluşan şişme gibi faktörleri kapsayan detaylı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu araştırmacılar ıslanma-kuruma sonucu kayanın mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikliğin daha belirgin olduğunu saptamışlardır. Dick ve Shakoor (1992) kil içeren kayaların dağılması sürecindeki litolojik parametrelerin önemini araştırmış olup, çalışmalarında tane boyu dağılımı, kil mineralojisi, boşluk oranı, mikro çatlak sıklığı ve Atterberg limitleri, SEM görüntüleri, ikinci çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksini (I_{d2}) kullanmışlardır. Bu araştırmacılar, kayalarda belirledikleri I_{d2} ile litolojik parametreler arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak incelemişlerdir. Dick ve Shakoor (1992) kilttaşları için I_{d2} ile kil mineralleri arasında istatistiksel olarak çok iyi bir korelasyon ($r = -0.98$),

çamurtaşları için I_{d2} ile mikro çatlak sıklığı indeksi arasında -0.94 korelasyon katsayısına sahip bir bağıntı ve şeyller için ise I_{d2} ile boşluk oranı arasında anlamlı ilişkiler belirlemişlerdir.

Bell (1994) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya göre çamurtaşlarının makaslama dayanımları derinlikle artış göstermekte, ancak bu parametre su içeriği, plastisite indeksi ve porozitenin artmasıyla azalmaktadır. Araştırmacı, kullanılan çamurtaşı örneklerinin düşük suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerine sahip olduğunu ve bu nedenle ıslanma-kuruma süreçleride oldukça hızlı dağılma gösterdiğini belirtmiştir. Moon ve Beattie (1995) çamurtaşlarının yapısal, mineralojik ve mikro yapısal özelliklerin çamurtaşlarının dağılma davranışına etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada kil tane boyu oranının kil içeren kayaların duraylılığını doğrudan etkileyen önemli bir parametre olduğunu tespit edilmiştir. Moon ve Beattie (1995) ayrıca, Franklin ve Chandra (1972) tarafından önerilen 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). Bu araştırmacılar, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde tamburların içerisinde parçalanmış kaya malzemelerinin duraylı olmadığını ve 2 mm den daha büyük parçaların tamburların eleklerinden geçmesi için yapılan 3. , 4. veya daha fazla sayıdaki ıslanma-kuruma çevrimlerinin de bu parçaların mekanik parçalanmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Gökçeoğlu (1997) suda dağılmaya karşı duraylılık indeksleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı, kaya kalite göstergesi (RQD), süreksizlik aralığı ve eklem koşulu arasındaki ilişkileri istatistiksel olarak incelemiş olup, 4. ve 5. çevrimlerden elde edilen I_d değerleri arasında istatistiksel olarak daha anlamlı ilişkiler saptamıştır. Araştırmacı bu sonuçları dikkate alarak dördüncü çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerinin kil içeren kayaların dağılma davranışının değerlendirmesinde kullanılmasının daha yararlı olacağını vurgulamıştır.

Bell vd. (1997) kil içeren kayaların duraylılığı “suda dağılma” ve “kil minerallerinin şişmesi” gibi iki ana parametre tarafından denetlendiğini vurgulamışlardır. Bell ve Lindsay (1998) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise söz konusu kil içeren kayaların su alıp verme aşaması sonrası dağılmasında kayaların litolojik özelliklerin (pekişme derecesi, laminasyonların doğası, tane boyu dağılımı, mineralojik bileşim (özellikle kil minerali türü), çatlak oluşum derecesi) oldukça önemli bir yere sahip olduğu belirtilmiştir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde karşılaşılan sınırlamaların aşılması için Santi (1998) kavanozda dağılma, dağılma indeksi ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneylerinin uygulanabilirliğini kil içeren kayalar üzerinde gerçekleştirmiştir. Araştırmacı, kil

içeren kayaların suda dağılma davranışını görsel tanımlamayı esas alan sınıflama sistemi önermiştir. Ayrıca, Santi (1998) suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin I_{d1} değerinin I_{d2} ve I_{d3} değerleriyle olan ilişkisini araştırmıştır. Yapılan analizler sonucunda, I_{d1} 'in I_{d2} ve I_{d3} değerleri yardımıyla tahmin edilebildiği ve bu nedenle, kil içeren kayaların duraylılıklarının incelenmesinde I_{d2} değerinin gerekli olmadığını vurgulamıştır.

Şeyl gibi kil içeren kayalarda standartlara uygun boy/çap oranına sahip karot örneklerin derlenmesindeki güçlükleri dikkate alarak, Koncagül ve Santi (1999) bu zayıf kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarını suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinden belirlemeye yönelik araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmalar sonucunda kil içeren kayaların dayanım ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasında güç bir istatistiksel bağıntı elde edilememiştir. Ayrıca, Koncagül ve Santi (1999) optik mikroskop ve X-ışınları kırınım analizi yöntemlerinin örneklerin sınıflandırılmasında ve ayrılmasında pek yararlı olmadığını da öne sürmüşlerdir (Ergüler, 2007). Sadisun vd. (2005) Subang kiltaşlarının (Batı Java, Endonezya) oluşturduğu yamaçlarda meydana gelen kayma ve kaya düşmesi gibi duraysızlıkları kiltaşlarının çok hızlı bir şekilde suda dağılmasından ve kazı öncesinde kaya özellikleri sergileyen bu birimin zamanla zemin özelliği gösterecek kadar değişime uğramasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, günümüze kadar kavanozda dağılma (Wood ve Deo, 1975), dağılma indeksi (Deo, 1972) ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (Franklin ve Chandra, 1972; ISRM, 1981) deneyleri kil içeren kayaların duraylılıklarının değerlendirilmesi için önerilmiştir. Mühendislik projelerinde kayaların su alıp-verme aşamalarına karşı vereceği tepkinin ölçülmesinde ve dağılmanın sayısallaştırılmasında suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Ancak, 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, kil içeren kayaların suda dağılma davranışı laboratuvar koşullarında yeterli bir şekilde modellenememektedir. Ergüler (2007), kil içeren kayaların suda dağılma davranışının değerlendirmesi için önceki çalışmalarda önerilen yöntemlerde karşılaşılan sınırlamaları ve belirsizlikleri aşağıdaki gibi özetlemiştir.

1. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde örneklerin birbirlerine ve/veya tambura çarpmaları sonucu mekanik parçalanma meydana gelmektedir (Ergüler, 2007).
2. Örnekler, sadece 10 dakika gibi kısa bir süre boyunca suda bekletilmekte ve bu sürede kil içeren kayalar suya doymuş hale geçememektedir (Ergüler, 2007).

3. Doğada kayalar birçok kez ıslanma-kuruma süreçlerine maruz kalırken, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde sadece 2, daha sonraki çalışmalarda ise 3 veya 4 kez bu süreçlere tabi tutulmaktadırlar. Birçok önceki çalışmada (Spears vd. , 1970; Taylor, 1988), kil içeren kayaların atmosferik koşullarda maruz kaldıkları parçalanmanın, ana kayanın özelliklerine bağlı olarak, bir kaç gün, bir kaç hafta veya bir kaç ay içerisinde başladığı belirtilmektedir (Ergüler, 2007).
4. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde kullanılan örneklerin köşelerinin birbirlerine çarparak mekanik parçalanmaya neden olmamaları için, seçilen parçaların mümkün olduğunca küresele yakın şekilde olmaları gerekmektedir. Ancak, kil içeren kaya malzemelerinin çoğu kez ince tabakalı olması veya “kalem yapısı” (Davis ve Reynolds, 1996) şeklinde kırılmaları nedeniyle, bu koşul sağlanamamakta veya bunu sağlamak için parçaların köşelerinin yuvarlaklaştırılması gibi zaman alıcı bir işlemin yapılması oldukça güç olmaktadır. Ayrıca, yuvarlaklaştırma işleminde kaya örneklerine uygulanan darbeler örneğin içerdiği mikro çatlakların ilerlemesine ve ikincil yapay mikro çatlakların gelişmesine neden olmakta, dolayısıyla bu durum kayanın deneyde farklı bir davranış göstermesine yol açmaktadır. Bu tez çalışmasında yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda, bazı kil içeren kaya türleri (örneğin marn), “ıslanma-kuruma” süreçlerinin ilk çevrimi sonucunda parçalanmakta ve oluşan bu parçalar çoğu kez, obsidyende olduğu gibi, sivri ve keskin köşelere sahip olmaktadır. Dolayısıyla, daha sonraki çevrimlerde söz konusu bu parçalar sivri ve keskin köşelerinden itibaren mekanik parçalanmaya uğramaktadır (Ergüler, 2007).
5. Moon ve Beattie (1995) suda dağılmaya karşı duraylılık deneylerinin ilk çevriminde birçok kayanın uzun eksenleri 10-15 mm arasında değişen parçalara ayrıldığını saptamışlardır. Ancak araştırmacılar bu parçaların deneyde kullanılan tamburların elek açıklıklarından (2 mm) daha büyük olmaları nedeniyle tamburda kaldıklarını ve suda dağılmaya karşı duraylı kalan malzeme olarak değerlendirildiklerini vurgulamışlardır (Ergüler, 2007).
6. Franklin ve Chandra (1972), suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde kullanılan elekli deney tamburlarının açıklıklarının 2 mm olarak alınmasının gerekçesini belirtmemişlerdir. Kayaların “suda dağılma” karakteristiklerinin belirlenmesinde sadece 2 mm’ lik açıklık göz önünde bulundurulduğunda, bu açıklıktan büyük boyutlu ufalanmış parçalar da (Moon ve Beattie, 1995) duraylı malzeme olarak sınıflandırılmaktadır (Ergüler, 2007).

2.5. Kil İçeren Kayaların Doğal Koşullardaki Dağılma Davranışını Kapsayan Önceki Çalışmalar

Birçok önceki çalışmada (Deo, 1972; Franklin ve Chandra, 1972; Wood ve Deo, 1975; Cripps ve Taylor, 1981; Moon ve Beattie, 1995; Koncagül ve Santi, 1999; Gökçeoğlu, 1997; Gökçeoğlu vd., 2000; Ergüler ve Ulusay, 2009b) laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen kısıtlı ve sınırlı sonuçlar kullanılarak kil içeren kayaların “ıslanma-kuruma” süreçlerine karşı gösterdiği dağılma davranışı değerlendirilmiştir. Ancak, Gamble (1971) tarafından da belirtildiği gibi, kil içeren kayaların suda dağılma karakteristiklerinin laboratuvarında elde edilen sonuçlarının yanı sıra, bu killi kayaların arazideki dağılma davranışlarının da belirlenip değerlendirmeye alınması gerekmektedir (Ergüler, 2007). Dolayısıyla, laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerin yanı sıra, kil içeren kayaların arazide göstermiş olduğu dağılma davranışı ve dağılma hızının da değerlendirmeye alınması mühendislik projelerin başarılı bir şekilde uygulanması açısından oldukça önemlidir.

Kil içeren kayalarda sıklıkla gözlenen sorunlardan birisi de, hızlı dağılma özelliğine sahip kaya birimlerinin kireçtaşı kumtaşı gibi atmosferik süreçlere karşı daha duraylı sert kaya birimleri ile aralanmalı bulunmasıdır. Özellikle yatay konuma sahip bu kaya birimlerinde meydana gelen dip oyulma (undercutting) karayolu ve uzun süre hizmet veren kalıcı açık ocak şevleri boyunca şev duraysızlıkları gibi güvenlik sorunu oluşturmaktadır. Shakoor ve Rogers (1992) kazı şevlerinde dip oyulması hızını etkileyen çok sayıda faktörün bulunduğunu belirterek bu faktörleri “dağılma davranışı gösteren kil içeren kayaların jeoteknik özellikleri” ve “karayolu şevinin fiziksel özellikleri” şeklinde iki ana grupta değerlendirmişlerdir.

Önceki çalışmalarda (Deo, 1972; Stollar, 1976; McClure, 1981; Oakland ve Lovell, 1985 ve Shakoor ve Brock, 1987) dip oyulması hızını etkileyen önemli jeoteknik özelliklerin, suda dağılma duraylılığı, donma-çözünmeye karşı duraylılık, plastisite özellikleri (Atterberg limitleri), kil mineralojisi ile kaya dokusu olduğu belirtilmiştir. Dip oyulması hızını etkileyen “karayolu şevinin fiziksel özellikleri” ise şev açısı, şev eğim yönü, yüzey akışı, yeraltı suyu sızması, moloz birikimi, şevin bitki örtüsü ve kil içeren kaya birimin üzerinde bulunan dağılmayan birimdeki çatlak sıklığı olduğunu belirtmişlerdir (Thornbury, 1954; Sowers ve Royster 1978; Rib ve Liang, 1978).

Shakoor ve Rogers (1992) farklı bozunmaya (differential weathering) uğrayan karayolu şevlerinde dip oyulması sorununun sıklıkla karşılaşılan tehlikeli bir jeoteknik sorun olduğunu, yumuşak kil içeren birimlerin zamanla dağılıp uzaklaştığından üstteki sert birimler askıda kalarak kaya düşmesi sorunu ile sonuçlandığını belirtmişlerdir. Shakoor ve Rogers (1992) dip

oyulmasından kaynaklanan şev duraysızlıklarını dikkate alarak, tamamı yol kazı şevlerinden oluşan on dört ayrı sahada yerinde ölçümler almışlardır. Araştırmacılar bu sahalarda aldıkları ölçümlerle, Devoniyen-Permiyen (yaklaşık 419-251 milyon yıl) yaşlı (Nieman, 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 tarafından gerçekleştirilen araştırmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 2.6'da özet olarak sunulmuştur. Çizelge 2.6'da da açıkça görüldüğü gibi, yıllık dip oyma değerlerinin 63.5 mm ile 95.3 mm arasında değişen masif yapısal özelliğe sahip çamurtaşlarında dip oyulması en hızlı şekilde gerçekleşmektedir. Shakoor ve Rogers (1992) siltli şeylden oluşan seviyelerdeki bozunma hızının çamurtaşlarına nazaran daha yavaş olduğu ve yıllık dip oyulma değerlerinin 12.7 mm ile 25.4 mm arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Laminallı kilttaşları ve killi kireçtaşlarının şeyller ile çamurtaşları arasında kalan oranlarda dipten oyduğu tespit edilmiştir (Shakoor ve Rogers, 1992).

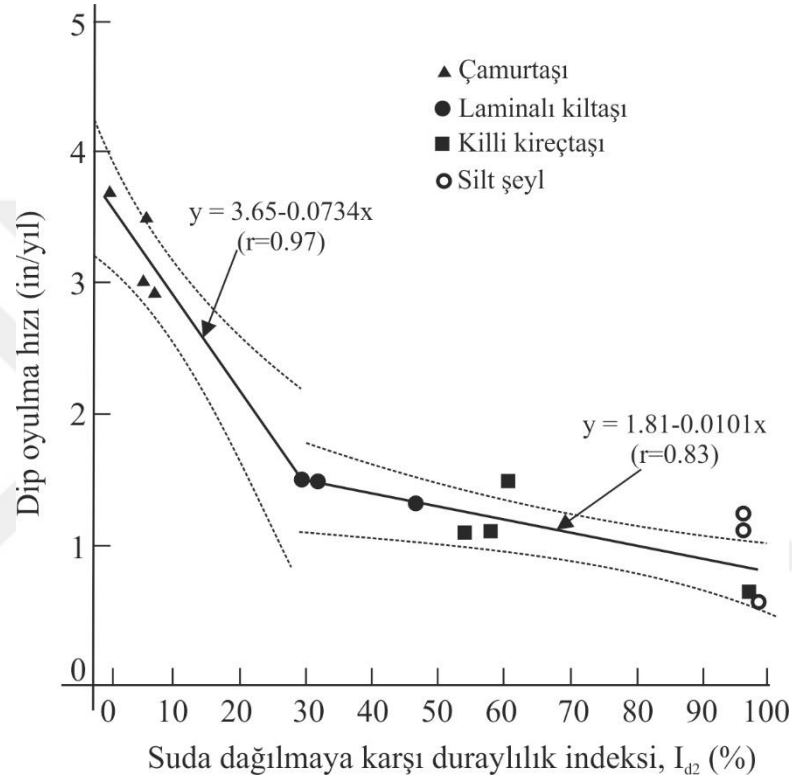
Çizelge 2.6. Shakoor ve Rogers (1992) ve Nieman (2009) tarafından Amerika'nın farklı bölgelerindeki kil içeren kayaların içinde açılan yol şevlerinden ölçülen dip oyma hızı ile I_{d2} değerleri.

Yer	Kaya malzemesi	Kazı tarihi	Dip oyulma hızı (mm/yıl)			
			Shakoor ve Rogers (1992)	I_{d2} (%)	Nieman (2009)	I_{d2} (%)
WV-1	Çamurtaşı	1967	95.3	0.6	50.8	2.0
WV-2	Çamurtaşı	1976	88.9	6.0		
WV-3	Çamurtaşı	1974	76.2 (63.5-88.9)	6.0	30.5 (25.4-50.8)	34
WV-4	Çamurtaşı	1974	76.2 (63.5-88.9)	7.3	40.6 (38.1-53.3)	59
WV-12	Siltli şeyl	1978	25.4	96.2		
WV-13	Siltli şeyl	1973	25.4	96.2		
PA-5	Laminallı kilttaş	1974	38.1 (25.4-50.8)	29.7	14.0 (9.1-15.5)	25
PA-6	Laminallı kilttaş	1974	38.1	31.9		
PA-7	Laminallı kilttaş	1971	33.8 (25.4-38.1)	47.0		
PA-14	Siltli şeyl	1972	12.7	98.7	7.4 (5.1-10.2)	92
KY-8	Killi kireçtaş	1968	25.4 (25.4-33.8)	54.3	20.1 (14.2-22.1)	85
KY-9	Killi kireçtaş	1968	19.1 (12.7-25.4)	97.2		
KY-10	Killi kireçtaş	1968	38.1 (25.4-50.8)	60.8		
KY-11	Killi kireçtaş	1968	33.8 (19.1-38.1)	58.2	19.6 (13.0-21.6)	95

WV: Batı Virginia; PA: Pensilvanya; KY: Kentucky.

Shakoor ve Rogers (1992) üzerinde çalışmış oldukları 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 biriminin üzerinde bulunan 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 Rogers, 1992). Shakoor ve Rogers (1992) kil içeren kayaların dağılıma davranışının

anlaşılması açısından elde edilen en önemli sonucun suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile dip oyulma hızı arasındaki istatistiksel olarak anlamlı bağıntı olduğunu vurgulamışlardır. Bu araştırmacılar özellikle suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değeri (I_{d2}) %30'un altında olan kil içeren kayaların dip oyulma hızlarının tahmininde I_{d2} 'nin kullanılabileceği belirtilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Ölçülen ortalama dip oyulması hızı ile 2. çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değişim grafiği (Shakoor ve Rogers, 1992).

Neiman (2009) kil içeren kayaların dip oyulma hızlarının zamana bağlı değişimin tespiti için Çizelge 2.6'da verilen on dört farklı lokasyonun yedisinde tekrar ölçümler almıştır. Ayrıca, araştırmacı suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin dip oyulma tahmini için önemini dikkate alarak (Şekil 2.3) derlediği örneklerin I_{d2} değerlerini bir kez daha belirlemiştir (Çizelge 2.6). Neiman (2009) tarafından elde edilen ve Çizelge 2.6'da verilen sonuçlar dikkate alındığında, dip oyulma hızı değerinin sabit olmadığı ve kil içeren kayaların bozunma hızlarında zamana bağlı önemli oranda düşüşün meydana geldiği açık bir şekilde gözlenmektedir. Gerek Shakoor ve Rogers (1992) ve gerekse daha sonraki yıllarda Neiman (2009) tarafından dip oyulma ölçümlerinin yapıldığı Appalachian (ABD) bölgesindeki yıllık toplam yağış miktarı 100 ile 130 cm arasında değişmektedir (PRISM Group, 2006).

Admassu vd. (2012) dip oyulma derinliği üzerinde etkili olan faktörleri bulmak için Ohio'nun Doğu ve Güneydoğusunda bulunan kil içeren kayaların içerisinde açılan 18 farklı karayolu Şevinde ölçümler gerçekleŐirmiŐtir. Bu çalıŐmadaki istatistiksel analizlerde kullanılmak üzere aşağıda verilen parametreler bağımsız deđiŐken 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) sağlam kayacın göreceli konumu ve sağlam kaya içerisindeki eklemlerin aralıkları toplam dip oyma derinliğini etkileyen önemli parametreler olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar bu parametrelerin kil içeren kayaların yüzeyinde su akışı sağlaması ve dolayısıyla "ıslanma-kurumu" süreçleri ve dağılan kayaların ortamdaki uzaklaşması açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır. 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, Neiman (2009) tarafından elde edilen sonuçların aksine, Şev kazı yaŐının dip oyulma derinliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, Admassu vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen araŐtırmaya göre dip oyulma derinliği ile zaman arasında lineer olmayan bir ilişki bulunmaktadır.

3. ÖRNEKLEME ALANLARININ TANITIMI

Bu tez 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 iller Şekil 3.1'deki haritada gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmada bölgelerin jeolojisinin değerlendirilmesinde daha önceki çalışmalardan yararlanılmış olup, çalışma sahalarımız arazinin jeolojisinin uygunluğuna göre seçilmiş ve kil içeren kayaların içerisinde açılan 11(on bir) farklı karayolu şevinde ölçümler yapılmıştır. Çalışma alanlarımız iklim farklılığı olan illerden seçilmiş olup, bu bölgelerin yıl içerisinde aylara ve mevsimlere göre yağış ve sıcaklık değerlerindeki değişikliklerin ve iklim koşullarının dip oyulması derinliği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi açısından yararlı olacağı düşünülmüştür. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden çalıştığımız bölgelerin yağış ve sıcaklık kayıtları temin edilmiştir. İnceleme alanları tanıtımında illerin jeolojik özellikleri, iklimi ve bitki örtüsü hakkında bilgi verilmiştir. Çalışma sahaları bulunduğu yerler aşağıda tanımlanmış olup, haritadaki yerleri detaylı bir şekilde bölge tanıtımları kısmında gösterilmiştir.

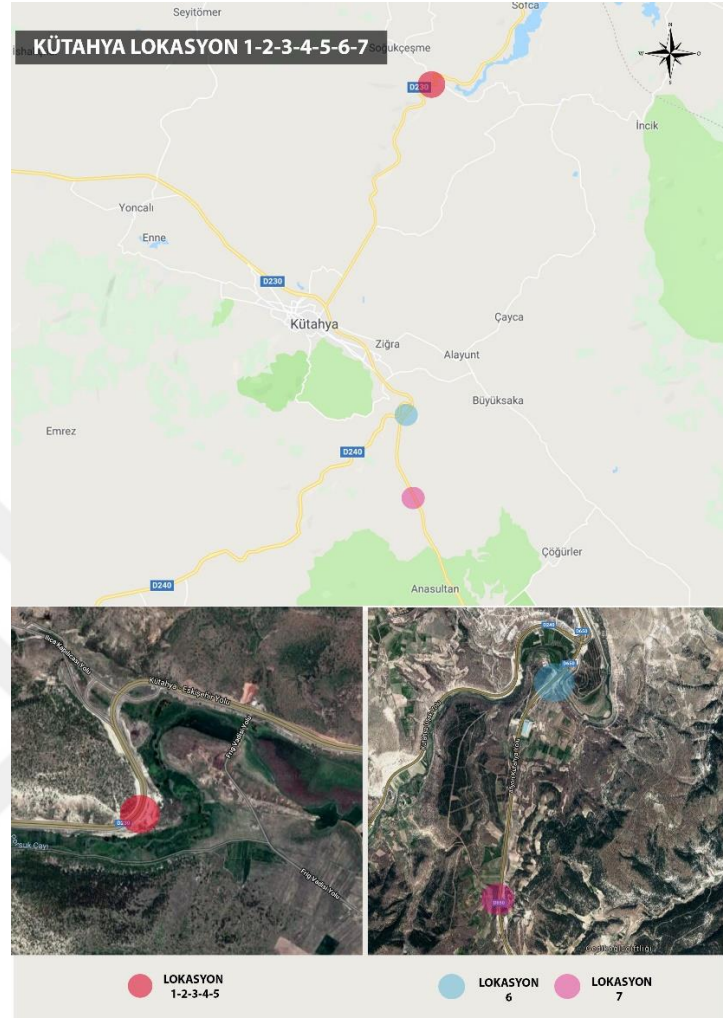
- Kütahya-Eskişehir D230 Karayolu Ilıca Termal Yolu Ayrımı (Akpınar Köyü, Kütahya/Merkez) (Lokasyon 1, 2, 3-1, 3-2, 4, 5)
- Kütahya- Afyonkarahisar D650 Karayolu (Gedikoğluçiftliği Köyü, Kütahya/Merkez) (Lokasyon 6-7)
- Eskişehir-Kütahya D230 Karayolu (Yeniakçayır Mah. Eskişehir/Tepebaşı) (Lokasyon 8)
- Eskişehir- Afyonkarahisar D665 Karayolu (Sarayören Mah. Eskişehir/Seyitgazi) (Lokasyon 9)
- Eskişehir- Afyonkarahisar D665 Karayolu (Numanoluk Mah. Eskişehir/Seyitgazi) (Lokasyon 10-1,10-2)
- Afyonkarahisar -Eskişehir D665 Karayolu (Kayıhan Köyü Afyonkarahisar /İhsaniye) (Lokasyon 11)



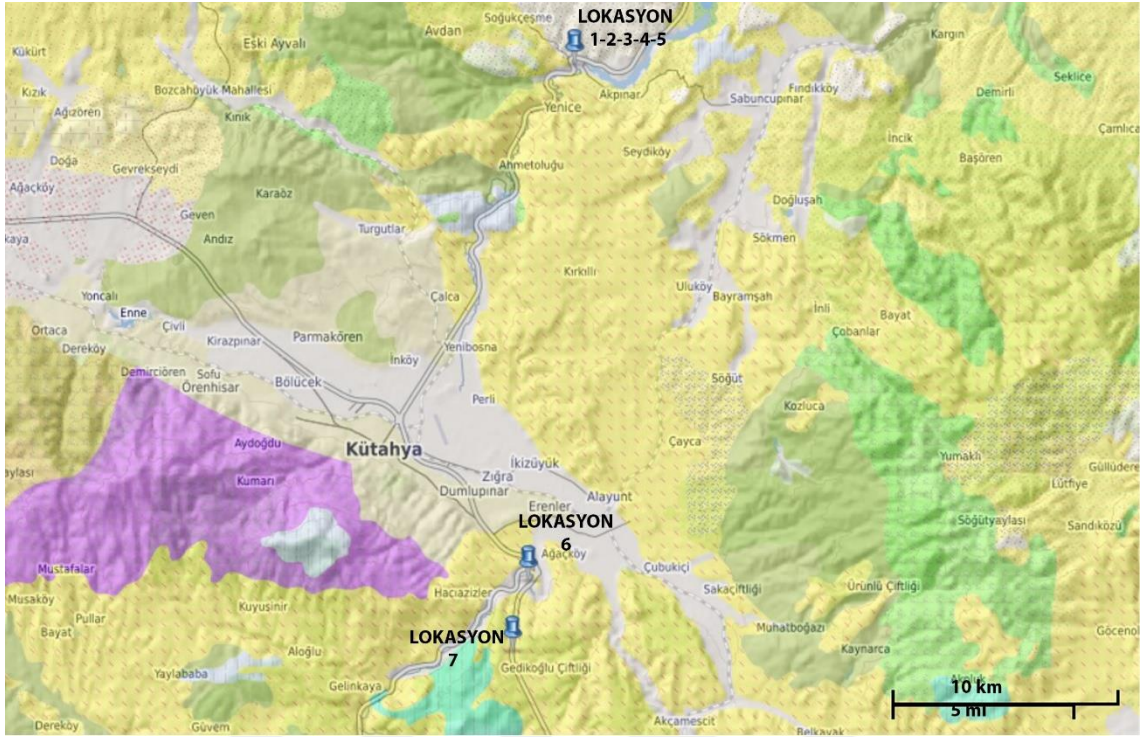
Şekil 3.1. Çalışma sahalarının bulunduğu iller.

3.1. Kütahya ve Çevresinin Genel Jeolojisi, İklim ve Bitki Örtüsü

Kütahya ili ve çevresinin genel jeolojisi değerlendirilirken öncelikle bölgede yapılan önceki çalışmalar incelenmiştir. Bölgedeki güncel çalışmalardan biri Özburan (2009) tarafından gerçekleştirilmiş olup, Kütahya ve çevresinde yüzeylenen formasyonlara ilişkin değerlendirmeler bu çalışmadan yararlanılarak sunulmuştur. Çalışma alanlarının örnekleme yeri haritası ve yakın çevresinin jeoloji haritası Şekil 3.2’de, stratigrafik kesiti ise Şekil 3.4’te verilmiştir.

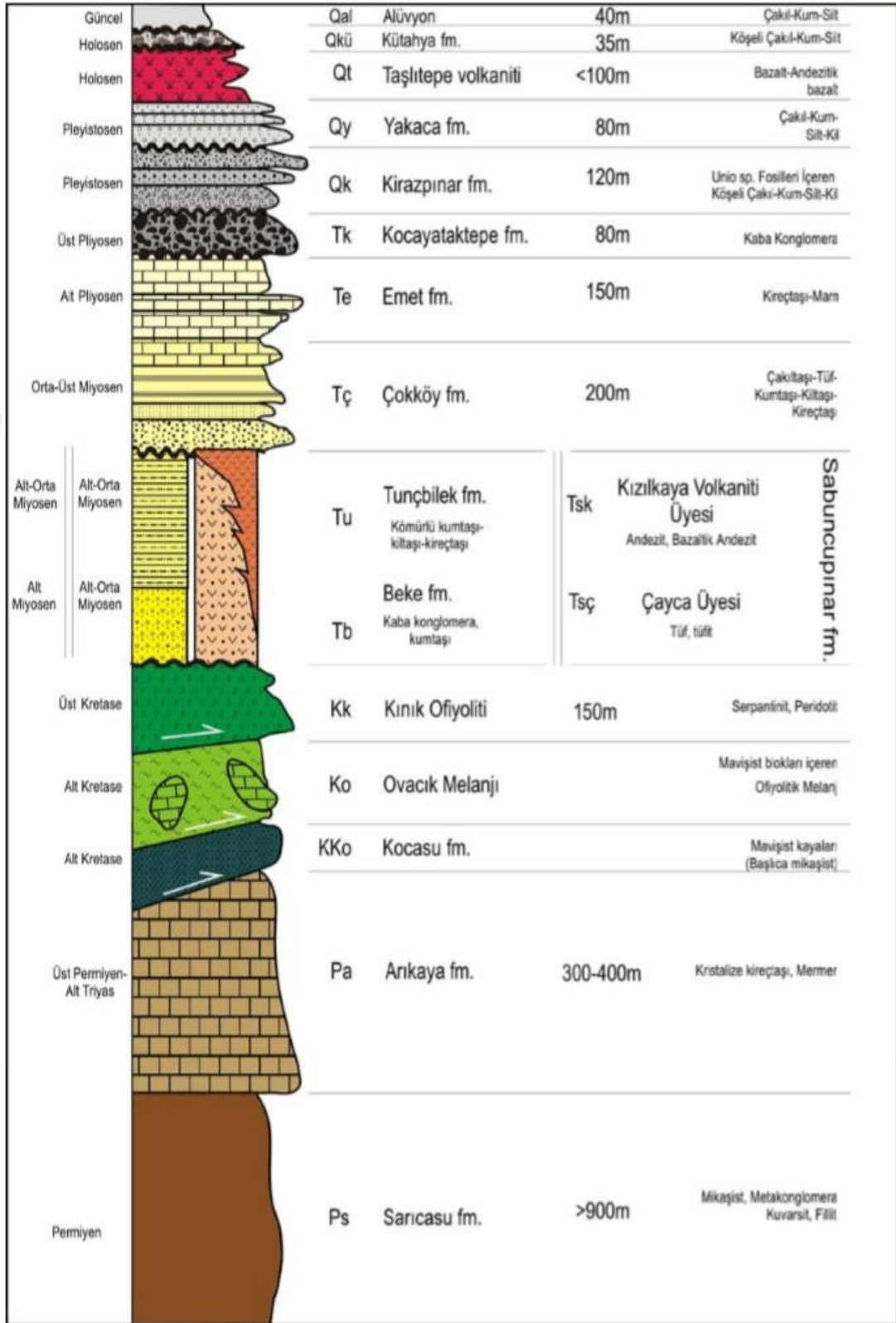


Şekil 3.2. Kütahya ili ve çevresindeki çalışma alanlarının örnekleme yeri haritası, (<http://www.mta.gov.tr>).



- Q(a): Ayrılmamış Kuvaterner - Q - Kuvaterner
- m1-2 (a): Gölsel kireçtaşı, marn, şeyl - m1-2 - Miyosen

Şekil 3.3. Kütahya ve çevresinde çalıştığımız bölgelerin jeolojik birimlerini gösteren genel jeoloji haritası (<http://www.mta.gov.tr>).



Şekil 3.4. Kütahya ve çevresinin genelleştirilmiş sütun kesiti (Özburan, 2009).

3.1.1. Sarıcasu formasyonu (Ps)

Birim, alt seviyelerde şistlerle başlayıp üst seviyelere doğru gri, grimsi beyaz renklerde rekrystalize kireçtaşları ve mermer bloklardan oluşur. Başlıca mikaşistlerden oluşmaktadır. Yer yer gri ve yeşil tonların gözlemlendiği şistlerde çoğunlukla kahve tonlarında koyu renkli şistler hakimdir (Özburan, 2009).

Birim bölgenin temelini oluşturan kayalardan oluşmaktadır. Birimin içerisinde mevcut olan şistlerin tabanı gözlemlenmediği için birimin taban ilişkisi tespit edilememiştir (Özburan, 2009). Birim üstte Arıkaya formasyonu ile uyumludur (Özburan, 2009). Çalışma alanındaki en yaşlı birimdir. Birimin yaşlandırılmasına yönelik yapılan birçok farklı çalışma ve yaşlandırma olmasına rağmen bu çalışmanın jeolojik altyapısının oluşturulması sırasında baz alınan ve Özburan (2009) tarafından verilen Permiyen yaşı birim için kabul edilmiştir. Birim, ilk olarak Simav ve çevresinde Akdeniz ve Konak (1979) tarafından ayrıntılı olarak çalışılmış ve Sarıcasu formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışmamızda, en yaygın olarak kullanılan, Akdeniz ve Konak (1979)'ın Sarıcasu formasyonu adlaması tercih edilmiştir.

3.1.2. Arıkaya formasyonu (Pa)

Birim, kristalize kireçtaşı ve mermerler olarak ilk kez Arıkaya formasyonu adı altında, Akdeniz ve Konak (1979) tarafından incelenmiştir. Gri, bej ya da beyazımsı renklerde, yer yer dolomitleşmiş, fay zonuna yakın kesimlerde ise yoğun makaslanmış ve breşik dokulu olarak gözlemlenmektedir. Birim, tabanda Sarıcasu formasyonu ile geçişli olup, tektonik olarak Kocasu formasyonu tarafından üzerlenir. Arıkaya formasyonunun kalınlığı yaklaşık 400m civarında olup, tabanda orta-kalın, üst kesimlerde ise ince katmanlı olarak görülmektedir ve oldukça çatlaklı ve kırıklı bir birimdir (Özburan, 2009). Birime, Kaya (1972) tarafından, Tavşanlı (Kütahya) güneyinde, mermerleri (Arıkaya formasyonu) uyumlu olarak üzerleyen Üyücek formasyonunun içerisinde bulunan alglere dayanarak Jura yaşı verilmiştir. Şistlerin (Sarıcasu formasyonu) üst seviyelerinde karbonat blokların bulunması ve bu iki birimin uyumlu olması karbonat çökeliminin Permiyen sonlarında başlayıp Triyas'ta devam ettiği önerilmiştir. Özburan (2009), birimde fosil bulgusuna rastlanmadığından bu verilere dayanarak birime Üst Permiyen-Alt Triyas yaşını uygun görmüştür.

3.1.3. Ovacık melanji (Ko)

Birim, kumtaşı ve çakıltaşı, yeşil-sarı renkli, ince katmanlı şeyl-kiltaşı-çamurtaşı-tüfit gibi makaslanmış bir hamur içinde mavişist blokların ve ofiyolitik kayaç parçalarının bulunduğu, çoğunlukla düzensiz dağılmış, istif görüntüsü sunan bir karmaşık şeklidir (Özburan, 2009).

Birim kaya türü ve yapı bakımından mavişist-filiş-ofiyolit şeklinde olup çoğunlukla kahverengi ve yeşil renklerde gözlemlenmektedir. Yer yer bej ve kırmızı renkli yapraklanma göstermektedir. Kırmızı rengin sebebi ise çörtlü ve radyolaritli kireçtaşı blokların olmasıdır (Özburan, 2009). Ovacık melanjında düşük dereceli bir metamorfizması gelişmiştir. Bu birimde gözlemlenen metamorfizmanın Genç Kretase boyunca süregelen olabileceği belirtilmiştir (Kaya, 1972).

3.1.4. Sabuncupınar formasyonun Çayca üyesi (Tşç)

Birim, çakıldaşı, kumtaşı, kıltaşı, tuf, tüfit, marn, killi kireçtaşı ve kireçtaşı araldanmasından oluşan lav arakatlıdır (Özburan, 2009). Sabuncupınar formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birimin asidik karakterli, çökellerle geçişli, yer yer onlarla girik ve araldanmalı olan tuf, tüfit ile volkanoklastik çökelleri Sabuncupınar formasyonunun Çayca üyesi (Tşç) olarak adlandırılmıştır. Çayca üyesinde bulunan tüfler, kirli beyaz, sarımsı, grimsi, pembemsi ve bej renklerde gözlemlenebilmektedir. Birimin yaşı ile ilgili yapılan araştırmaların verileri ışığında Sabuncupınar formasyonu Çayca üyesinin yaşı Alt Miyosen sonu Orta Miyosen yaşlı olarak kabul edilmiştir (Özburan, 2009).

3.1.5. Çökköy formasyonu (Tç)

Çalışma sahalarımızdaki yol kazı şevlerimizde, kil içeren kayaların bulunduğu Çökköy formasyonu tercih edilmiştir. İncelemelerimiz bu birimde gerçekleştirilmiş olup, atmosferik koşullar sonucu birimlerde meydana gelen aşınma miktarları incelenmiştir. Çökköy formasyonunda çalışmış olduğumuz Kütahya-Eskişehir yolu üzeri Ilıca Termal yol ayrımı (Akpınar Köyü Mevki-Kütahya-Merkez)-D230 karayolu üzerindeki(lokasyon-3; kil) sahamızın fotoğrafı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Birim, çakıldaşı, kumtaşı, kıltaşı, 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 çakıldaşı-kumtaşı-marn-kil araldanması gözlemlenir ve bu istife tüfler eşlik etmektedir. Tuf oranı ise yer yer artar. Birimde kireçtaşları istifin en üst düzeyinde yer alır, killi kireçtaşı şeklinde başlayan karbonatlı çökeller, kireçtaşı düzeyleriyle Emet formasyonuna dereceli geçiş yapmaktadır (Özburan, 2009).

Bu formasyonun içerisindeki marnlı ve kireçtaşlı düzeylerde bulunan Ostracoda ve Gastropoda fosillerinden dolayı birimin Alt-Orta Pliyosen yaşlı olduğu belirlenmiştir (Baş, 1986). Kapan-Yeşilyurt (2000), Domaniç yöresi Hamitabat dolaylarında yaptığı ölçülü stratigrafik kesitinde birimi Erken Pliyosen olarak yaşlandırmıştır. Fakat istifin üzerine geldiği ve yer yer

geçişli olan tüflerin radyometrik olarak Alt-Orta Miyosen belirlendiğinden birimin yaşı tüm veriler dikkate alınarak Orta-Üst Miyosen kabul edilmiştir (Özburan, 2009).



Şekil 3.5. Lokasyon-3, Kütahya-Eskişehir yolu üzeri Ilıca Termal yol ayrımı (Akpınar Köyü Mevki-Kütahya-Merkez)-D230 karayolu.

3.1.6. Emet formasyonu (Te)

Birim, başlıca kireçtaşı ve marndan oluşup ilk kez Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Emet Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Formasyon tabanda killi, kumlu seviyelerde başlayıp üste doğru çamurtaşı, marn, çörtlü ve silisifiye kireçtaşı, kireçtaşı düzeylerinden oluşan ve nadiren çamurtaşı düzeylerinde kömür bant ve mercekleri içermektedir (Özburan, 2009). Birim beyaz, kirlili beyaz, sarımsı, açık gri bej renklerde gözlemlenmektedir. Killi kireçtaşı düzeyleri birimin

tabanına yaygındır. Tabandan tavana doğru ise kil oranı azalır. Dolayısıyla birimin alt kesimleri daha yumuşak ve dayanımsızdır. Üst seviyelere doğru silisifiye ve çörtlü kireçtaşlarının bulunması ve kil oranlarının azalması üst seviyelerin daha dayanımlı olmasını sağlamıştır. Marn düzeyleri ardalı olarak birimin farklı düzeylerinde gözlemlenmektedir. Birim, su üstü olmaları aşınmalara uğrayarak bazı yerlerde mostra vermezken bunun yanında Porsuk vadisi gibi çoğu yerde 1,5m yi bulan katman kalınlığı ve 150 m.yi bulan istif kalınlığı ile neredeyse yatay konumlu bir şekilde yüzlek vermektedir (Özburan, 2009). Emet formasyonu, bol gastropod ve ostracod içermektedir (Akdeniz ve Konak, 1979). Birim, birçok araştırmacı tarafından incelenmiş olup, birçoğu birime Üst Pliyosen yaşı vermiştir. Birimin içerisinde Planorbis ve Gastropod fosilleri mevcut olup, araştırmacıların çoğunluğunun benzer fosillerle aynı yaş değerlerine ulaşmış olmaları sebebiyle sorgulanıp değerlendirilmemiş, Geç Miyosen yaş verileri göz ardı edilerek, Alt Pliyosen yaşı kabul edilmiştir (Özburan, 2009).

3.1.7. Kirazpınar formasyonu (Qk)

Birim, çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır (Özburan, 2009). Yer yer iyi çimentolu yer yer zayıf çimentolu olup genellikle sarımsı, bej ve kırmızımsı renklere sahiptir. Bunun yanı sıra gri, açık kahve tonlarında gözlemlenmektedir. Çakıl ve bloklar kötü boylanmalı olup köşeli ve yarı köşelidir. Birim, çoğunlukla Emet formasyonu üzerinde uyumsuzdur. İstifin taban-tavan ilişkisi net bir şekilde gözlemlenmemesine rağmen kalınlığın 120m olduğu söylenebilir (Özburan, 2009). Birim önceki çalışmalarda, Baş (1983; 1986) Kuvaterner, Arık ve Temur (2003) Kuvaterner, Koçyiğit ve Bozkurt (1997) Üst Pliyosen yaşında değerlendirilmiştir. Tüm bu veriler dikkate alınarak birimin Pleyistosen'de çökelmiş olabileceği düşünülmüş ve bu şekilde yaşlandırılmıştır (Özburan, 2009).

3.1.8. Yakaca formasyonu (Qy)

Birim, tutturulmamış çakıl, kum, silt, kilden oluşmuştur ve Yakaca formasyonu adı altında incelenmiştir (Özburan, 2009). Baş (1983) tarafından "eski alüvyon" olarak adlandırılmış olan bu birim Özburan (2009) tarafından Yakaca formasyonu (Qy) olarak adlandırılmıştır. Birimde çakıllar köşeli ve yarı köşelidir. Birim, başlıca kırmızımsı, pembemsi, kahverengi tonlarında ve gri-boz renklerde gevşek çimentolu ve daha çok çimentolanmamış malzemenin oluşmaktadır. Birimin içerisinde herhangi bir fosile rastlanılmamıştır. Ancak istifteki konumuna bakarak Pleyistosen'de bir alüvyal ortamı yansıttığı düşünülmektedir (Özburan, 2009).

3.1.9. Kütahya formasyonu (Qkü)

Birim, Kütahya Fayı'nın çeşitli kollarında gelişmiş olan alüvyal yelpazelerden oluşmuştur. Yelpazeler kuzey kenara göre güney kenarda daha fazladır. Güney kenarda gelişmiş olan yelpazeler daha geniş alan kaplamakta ve daha hızlı yükselip daha aktif olmuştur. Kuzey kenardakilerde ise bu durum çokta farklı değildir. Ancak güney kenar kadar aktif olmayıp basamaklarla evrim geçirmiştir. Birimdeki çökeller fay önlüğü tortulları şeklinde olup, kendi içinde düzensiz bir istif göstermektedir (Özburan, 2009). Ancak birimin geneline bakıldığında, her malzeme taşınımıyla gelişmiş tabakaların varlığı söz konusudur. Taneler köşeli-yarı köşeli olup, çoğunluğu Emet formasyonu kökenlidir. Kütahya formasyonu, alüvyondan sonraki bölgedeki en genç çökel olduğu için tüm birimlerin üzerinde bulunmaktadır. Birim alüvyon tarafından diskordansla üzerlenebilmektedir. Birimin içerisinde fosil bulunmamaktadır. Halen yağışlarla aynı yelpazeler beslenmekte olup gelişimini devam ettirmektedir. Bu yüzden birimin yaşı Halosen(?) olmalıdır (Özburan, 2009).

3.1.10. Alüvyon (Qal)

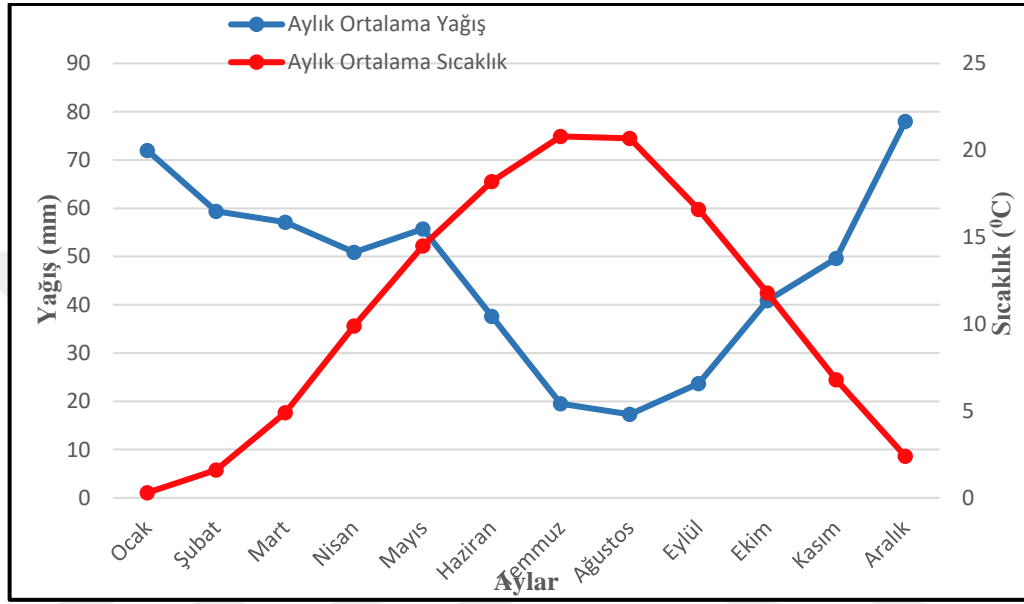
Alüvyonal birimler, güncel dereler ve akaçlama sistemi tarafından depolanmış çakıl-kum-silt-kil boyutundaki vadi çökellerinden oluşmaktadır. Şahmelek-Örenköy ve Çobanköy-Şenlik-İsaköy yönünde iki koldan gelip Köprüören dolaylarında birleşen, devamında Enne baraj göletinde depolanan ve sonrasında da Kütahya ovasını kuzeybatıdan güneydoğuya geçen Felent Çayı vadisi alüvyonun başlıca malzemesidir (Özburan, 2009). Diğer bir önemli drenaj sistemi ise Porsuk Çayı'dır. Tüm birimleri diskordan olarak üzerleyen alüvyon, bu iki büyük çay ve onların kollarının ürünüdür. Alüvyonun kalınlığı ise 40m olarak belirlenmiştir (Özburan, 2009).

3.1.11. Kütahya ve çevresinin iklim ve bitki örtüsü

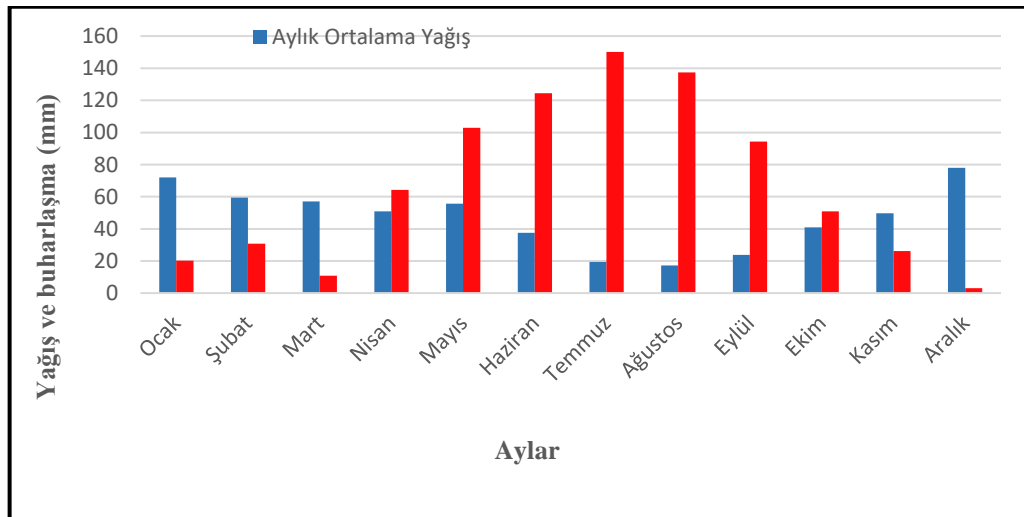
Kütahya ili Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Bölümü'nde yer alır. İç Anadolu Bölgesi ile denize kıyısı olan Ege Bölümü arasında geçiş alanıdır. Kütahya Ege bölgesinde yer almasına rağmen, denizden uzaklık ve yükseltiye bağlı olarak iklimi kıyı Egeden farklıdır. İklimi Ege, Marmara ve İç Anadolu Bölgeleri arasında geçiş özelliğine sahiptir. İklim ve sıcaklıkları, her üç bölgenin özelliklerini taşımaktadır.

Bölgenin sıcaklığı İç Anadolu, yağış şartları ise Marmara Bölgesi'nin etkisi altındadır. İlde yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Yağışlar, karasal iklime bağlı olarak kış, ilkbahar ve sonbaharda görülür. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ)'den alınan verilere göre 1929-2017 yılları arasında en çok yağış 78 mm/ay ile Aralık ayında gözlemlenmekte olup yıllık toplam yağış miktarı 561,7 mm/yıl'dır. Yıllık ortalama sıcaklık 10.7 °C 'dir. Aylık en düşük sıcaklık

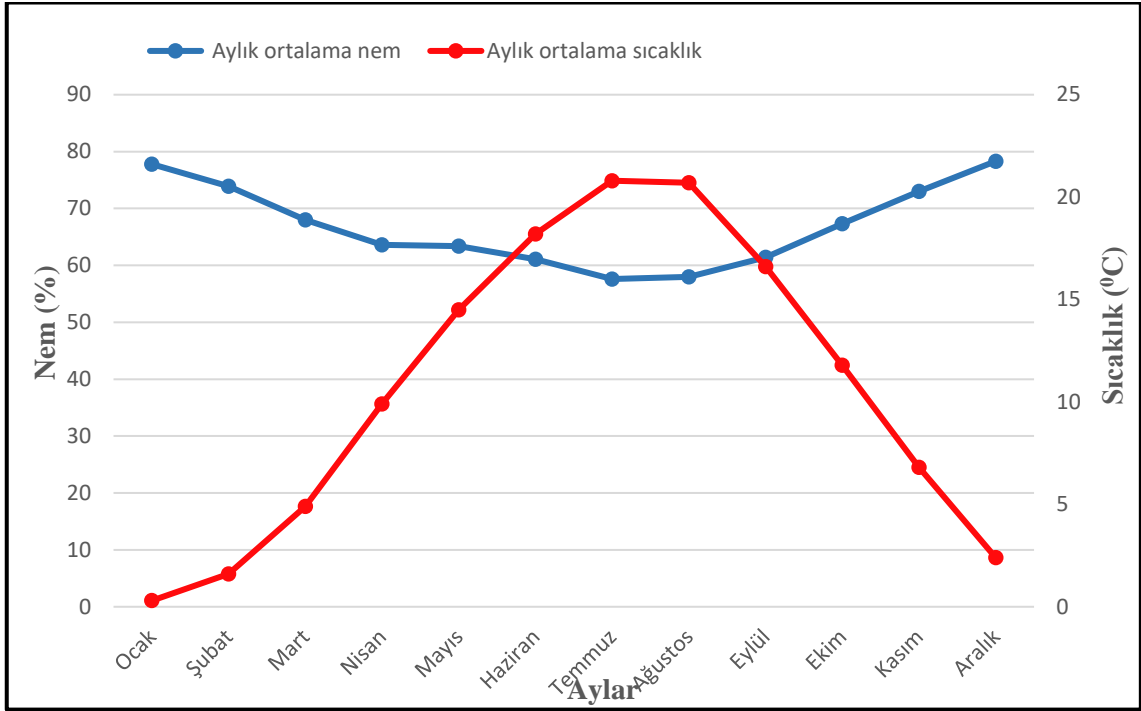
Ocak ayında gözlemlenmekte olup 0,3 °C'dir. Aylık en yüksek ortalama sıcaklık 20.8 °C ile Temmuz ve Ağustos aylarında gözlenir (Şekil 3.6). En fazla aylık buharlaşma 150,1 mm ortalama ile Temmuz ayında gözlenmektedir (Şekil 3.7). 1929-2017 yılları arasında yıllık nem ortalaması %66.95'dir (Şekil 3.8).



Şekil 3.6. DMİ'den alınan verilere göre 1929-2017 yılları arası Kütahya iline ait sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara göre değişimi.



Şekil 3.7. DMİ'den alınan verilere göre 1929-2017 yılları arası Kütahya iline ait yağış ve buharlaşma değerlerinin aylara göre değişimi.

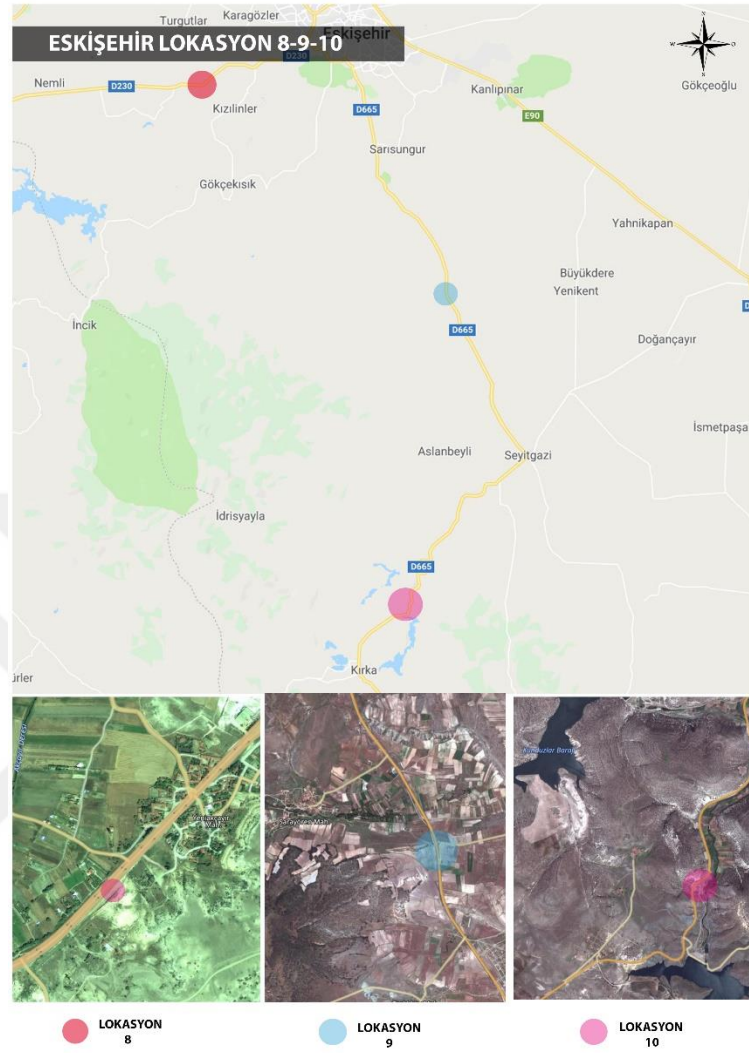


Şekil 3.8. DMI'den alınan verilere göre 1929-2017 yılları arası Kütahya iline ait nem ve sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.

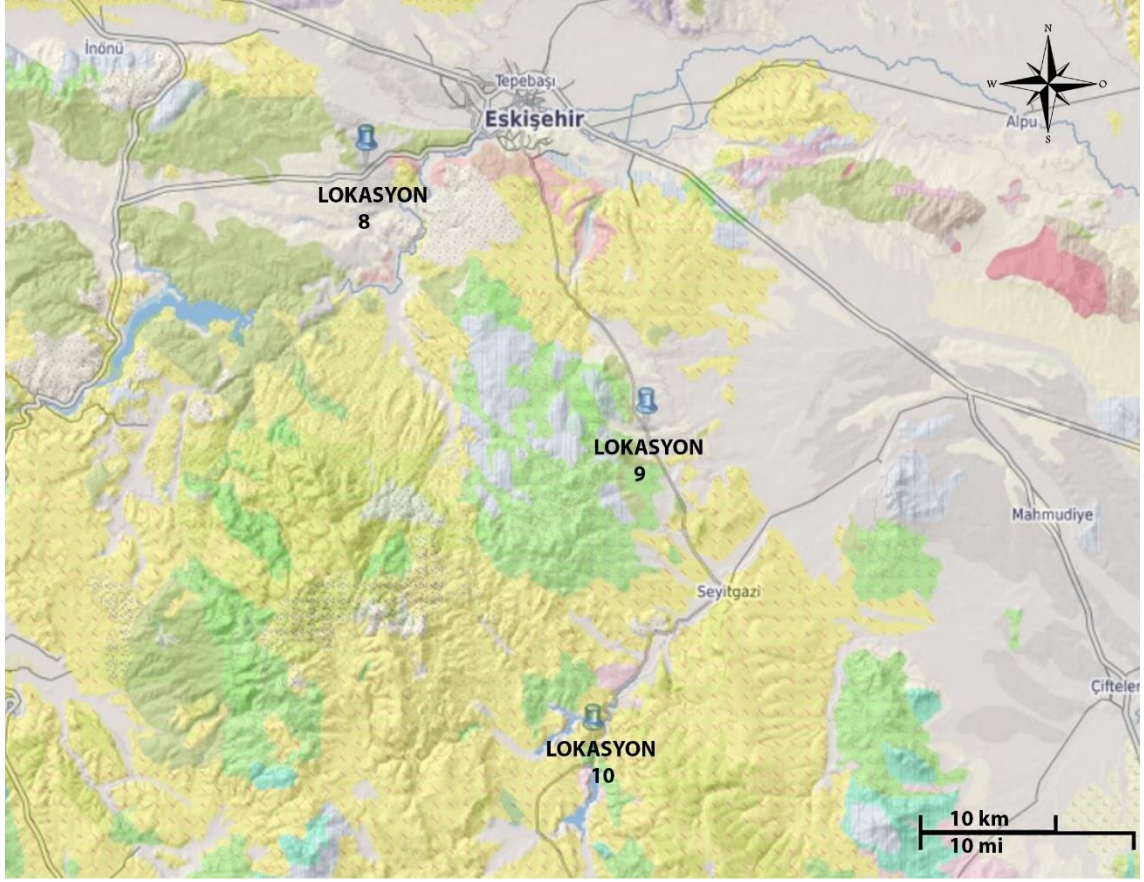
Kütahya ilinin bitki örtüsü Akdeniz, Karadeniz ve İç Anadolu Bölgelerinin özelliklerini taşır. İlde kuru ormanlar çoğunlukta olup, bunu bozkır bitki toplulukları takip etmektedir. Ormanlar daha çok dağ eteklerindeki platolarda gözlemlenmektedir.

3.2. Eskişehir ve Çevresinin Genel Jeolojisi, İklim ve Bitki Örtüsü

Eskişehir ili ve çevresinin genel jeolojisine ait en geniş kapsamlı çalışma Gözler vd. (1996) tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmalara göre Eskişehir il sınırları içerisinde en gencinden en yaşlısına doğru mevcut olan formasyonlar; Alüvyon, Akçay Formasyonu, Ilıca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Mamuca Formasyonu ve Karkın Formasyonu şeklindedir (Gözler vd., 1985; 1986, Güney vd., 2014). Aşağıda bölgenin stratigrafisi özet halinde anlatılacak olup, çalışmış olduğumuz sahalarda inceleme yaptığımız formasyonlardan bahsedilecektir. Çalışma alanlarının örnekleme yeri haritası ve yakın çevresinin jeoloji haritası Şekil 3.9'da, stratigrafik kesiti ise Şekil 3.11'de verilmiştir.

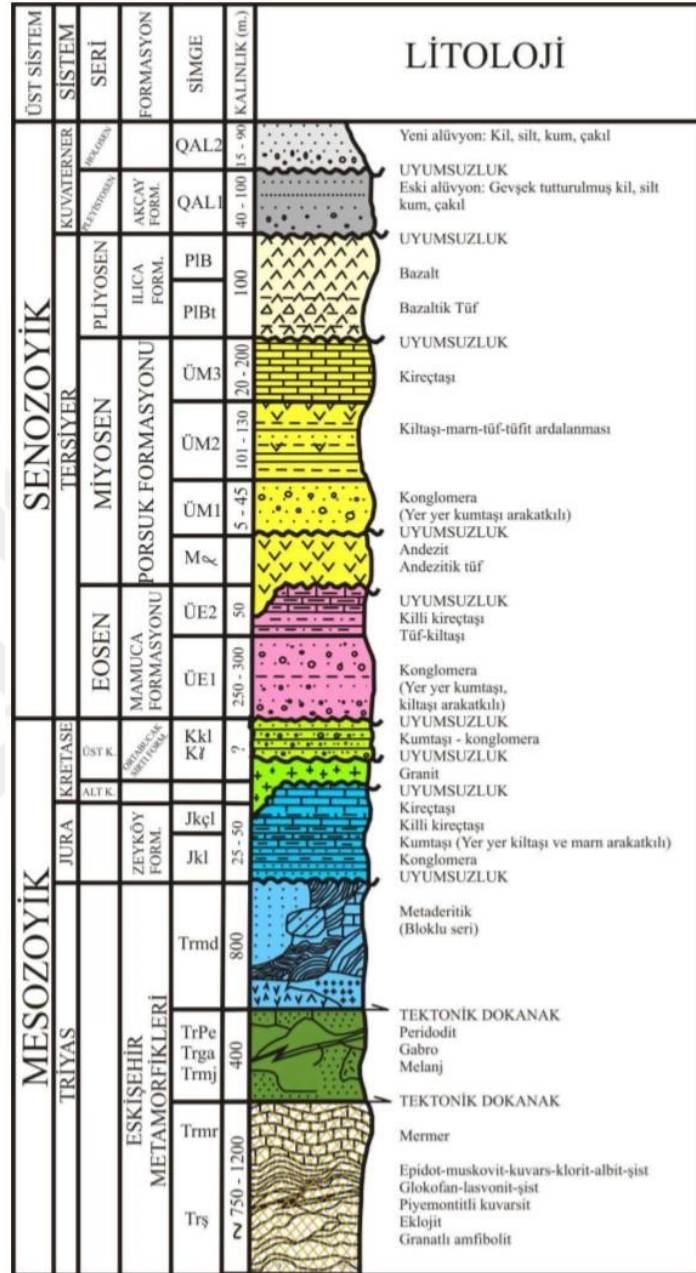


Şekil 3.9. Eskişehir ili ve çevresindeki çalışma alanlarının örnekleme yeri haritası (<http://www.mta.gov.tr>).



- Ayrılmamış karasal kırıntılılar - Q1 - Pleyistosen
- pl (b): Karasal kırıntılılar - pl - Pliyosen
- Metaflaş - f - Ust Kretase

Şekil 3.10. Eskişehir ili ve çevresinde çalıştığımız bölgelerin jeolojik birimlerini gösteren genel jeoloji haritası (<http://www.mta.gov.tr>).



Şekil 3.11. Eskişehir ve çevresinin genel stratigrafi kesiti (Gözler vd., 1985) ve (Gözler vd., 1996).

3.2.1. Karkın formasyonu (Ofiyolitler)

Birim, gri, açık gri, siyah, yeşil ve yeşil renklerine sahip metakonglomera, meta kumtaşı ve filitlerden oluşan kireçtaşı blokları ve kristalize kireçtaşı blokları içeren metadiritikler; yeşil, açık yeşil, morumsu, pembe renklerde, split-diyabaz-bazalt oluşumları ve bunların

metamorfizmaya uğramış eşdeğerleri bulunmaktadır. Bu formasyonun kalınlığı 100-150 m kadardır (Tokay ve Altunel, 2005).

3.2.2. Mamuca formasyonu

Birim, mor, kırmızı, şarabi, gri ve boz renkli konglomera ve kumtaşılarıyla başlar ve üzerinde yeşil renkli killer bulunmaktadır. Üst katmanlara doğru sarımsı boz renklerde zengin bir bentonik foraminifer topluluğuna sahip kil, ara katkılı, killi, kumlu kireçtaşları yer almaktadır (Gözler vd., 1997). Bu formasyon, Konglomera-Kumtaşı Üyesi, Kil-Marn Üyesi ve Kireçtaşı Üyesi olmak üzere üç üyeden oluşmaktadır (Orhan, 2005). Mamuca formasyonunda bulunan kil içeren kayalarda çalışmalar gerçekleştirilmiş olup, çalışılan lokasyona ilişkin tipik bir görüntü Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Konglomera ve kumtaşıları kırmızı, mor, şarabi, sarımsı boz, gri ve açık renkli gri renkler sahiptir. Konglomeralar kumtaşıları ile ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Birimde bulunan kil-marn çoğunlukla yeşil renkli ve sarı renkli olup alacalı renklere sahiptir ve üst seviyeleri yeşil tonlarında iken en üst seviyeleri sarı renklidir (Gözler vd., 1996).



Şekil 3.12. Lokasyon-10, Eskişehir- Afyonkarahisar yolu üzeri (Numanoluk Mah. Seyitgazi İlçesi-Eskişehir) D665 Karayolu.

3.2.3. Porsuk formasyonu

Birim, konglomera, kumtaşı, bazalt akıntıları, tuf, tüfit, marn, kil, jipsli marn ve kil, jips ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Genel olarak Porsuk nehri boyunca yayılım gösteren bir birimdir (Orhan, 2005). Genel olarak koyu kırmızı, kahverengi, boz, sarımsı boz, gri, yeşilimsi gri renklerde. Konglomera ve kumtaşlarının üzerinde, kireçtaşlarının alt kesimlerinde ince ara tabakalı yeşil, sarı, boz renklerde marn ve kiltası gözlemlenmektedir. Marn ve kiltaları arasında da ince tabakalı bantlar halinde kireçtaşları bulunmaktadır (Gözler vd., 1997). Porsuk Formasyonuna ait bazaltlar ise marn ve killer arasında akıntı yapıları halinde volkanitler bulunmaktadır (Gözler vd., 1996).

3.2.4. Ilıca formasyonu

Bu formasyon karasal ve gölsel konglomeralar ile kumtaşlarından, aglomeralardan, tuf ve tüfitlerden; marn ve killerden; killi, kumlu, tüflü kireçtaşlarından oluşan karasal ve gölsel çökellerden ve andezitik, bazaltik volkanizmayla kesilen birimlerden oluşur (Gözer vd., 1996). Konglomera ve kumtaşları yeşil, gri, alacalı kiremit renklerde; marn ve killer genel olarak yeşil, kirlili beyaz, kiremit kırmızı renklerde; killi, kumlu, tüflü kireçtaşları beyaz, sarımsı boz renklerde; aglomeralar siyah, koyu gri ve yeşilimsi renklerde; tuf ve tüfitler ise beyaz sarımsı boz ve pembe renklerde gözlemlenmektedir (Gözer vd., 1996). Bu formasyonda tuf-tüfit birimi; beyaz, sarımsı boz, pembe renkte, çoğunlukla silisifiye olmuş, aralarında jel halinde silis akıntıları, silisleşmiş ağaç parçaları içeren birim olup, kil ve marn birimleriyle yanal geçişli olarak bulunmaktadır (Orhan, 2005). Bu formasyonda tüfite meydana gelen dağılma karakteristikleri incelenmiş olup, çalışılan birimlere ilişkin tipik görüntü Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Lokasyon-9, Eskişehir- Afyonkarahisar yolu üzeri (Sarayören Mah. Seyitgazi İlçesi- Eskişehir)-D665 karayolu.

3.2.5. Akçay formasyonu

Akçay formasyonun killi seviyelerinde dip oyulma hızı ölçümleri alınmış olup, bu formasyonun tipik görüntüsü Şekil 3.14’de verilmiştir.

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 yaşı Erken Pleyistosen’dir (Gözler ve ark. 1997).



Şekil 3.14. Lokasyon-8, Eskişehir-Kütahya yolu üzeri (Yeniakçayır Mah.-Tepebaşı İlçesi-Eskişehir)-D230 Karayolu.

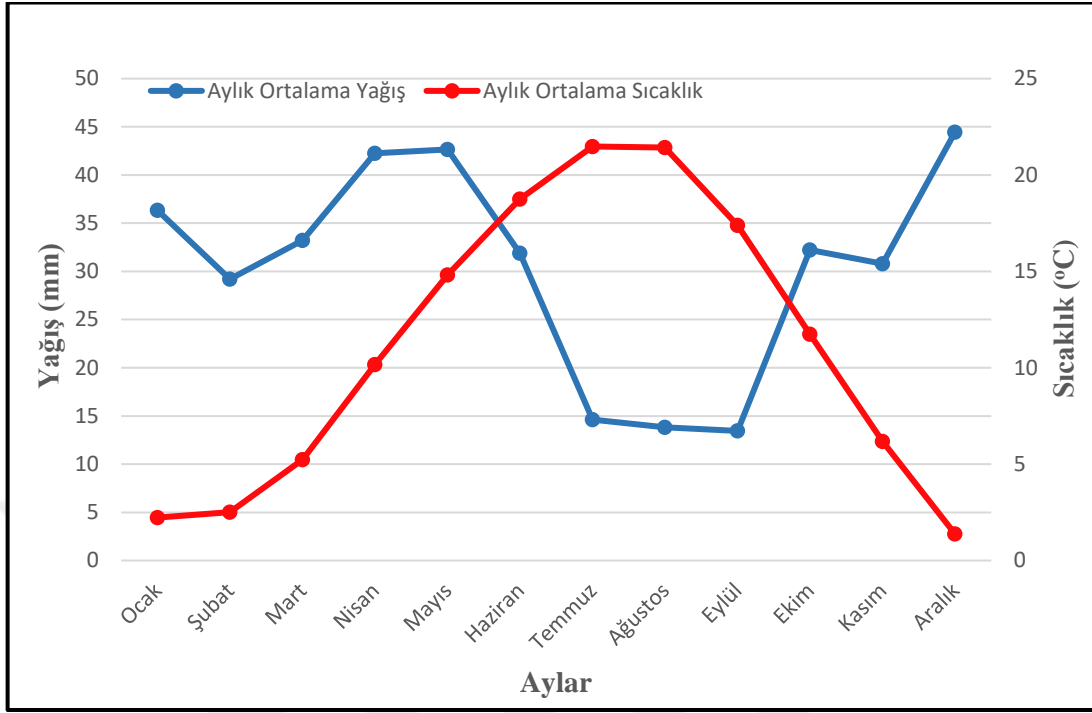
3.2.6. Alüvyon

Kuvaterner yaşlı olan alüvyon kil, silt, kum ve çakıl içermektedir. Genel olarak yüzeyden 5-6 m'ye kadar kil-silt seviyeleri daha sonraları ise kil-silt dereceli olarak azalır yerini kum ve çakıl alır. Yüzeyden itibaren 6m'de kil-siltin büyük bir kısmı yüksek plastisiteli kil ve siltten oluşmaktadır. Daha alt seviyelerde ise killi-siltli kum bulunmaktadır (Akdeniz vd., 2011).

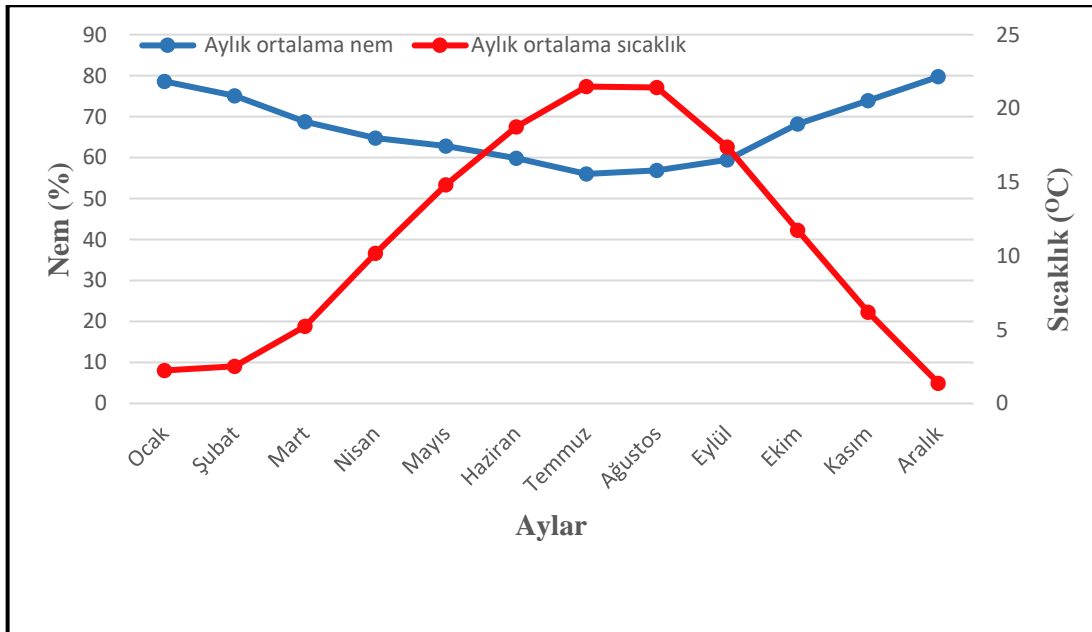
3.2.7. Eskişehir ve çevresinin iklim ve bitki örtüsü

Eskişehir, yükseltileri, yeryüzü şekilleri, denize olan uzaklığı gibi özelliklerinden dolayı karasal iklime sahiptir. Genellikle Eskişehir'de kışlar parçalı bulutlu, kar yağışlı, baharlar orta derecede yağışlı ve yazlar ise az bulutlu ve açık geçmektedir. Sıcaklık Şubat ayından Temmuz ayına kadar düzenli olarak artar ve Ağustos ayından Aralık ayına kadar azalır. En soğuk aylar Ocak, Şubat ve Mart ayları olup, Temmuz ve Ağustos ayları ise en sıcak aylarıdır. Kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar sıcak ve yağışsız bir iklim olan karasal iklim hakim olup yağışlar şehrin dağlık kesimleri hariç az ve kısa süreli olmaktadır. En az yağış aldığı aylar Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarıdır.

Bölgeyle ilgili Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ)'den alınan verilere göre 1969-2018 yılları arasında en çok yağış 44,44 mm ile Aralık ayında gözlemlenmekte olup, yıllık toplam yağış miktarı 364,84 mm'dir. Yıllık ortalama sıcaklık 11,11 °C'dir. Aylık en düşük sıcaklık Aralık ayında gözlemlenmekte olup 1,38 °C'dir. Aylık en yüksek ortalama sıcaklık 21,48 °C ile Temmuz ve Ağustos aylarında gözlenir (Şekil 3.15). 1969-2018 yılları arasında yıllık nem ortalaması %67'dir (Şekil 3.16). İç Anadolu stepleri, Kuzey Anadolu ve Batı Anadolu ormanları, Eskişehir'in bitki örtüsünü oluşturur. Orta Anadolu Bölgesinin karakteristik bitki örtüsü içerisinde bulunan Eskişehir'in % 26,3'ü ormanlarla kaplıdır.



Şekil 3.15. DMI'den alınan verilere göre 1969-2018 yılları arası Eskişehir iline ait sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara göre değişimi.

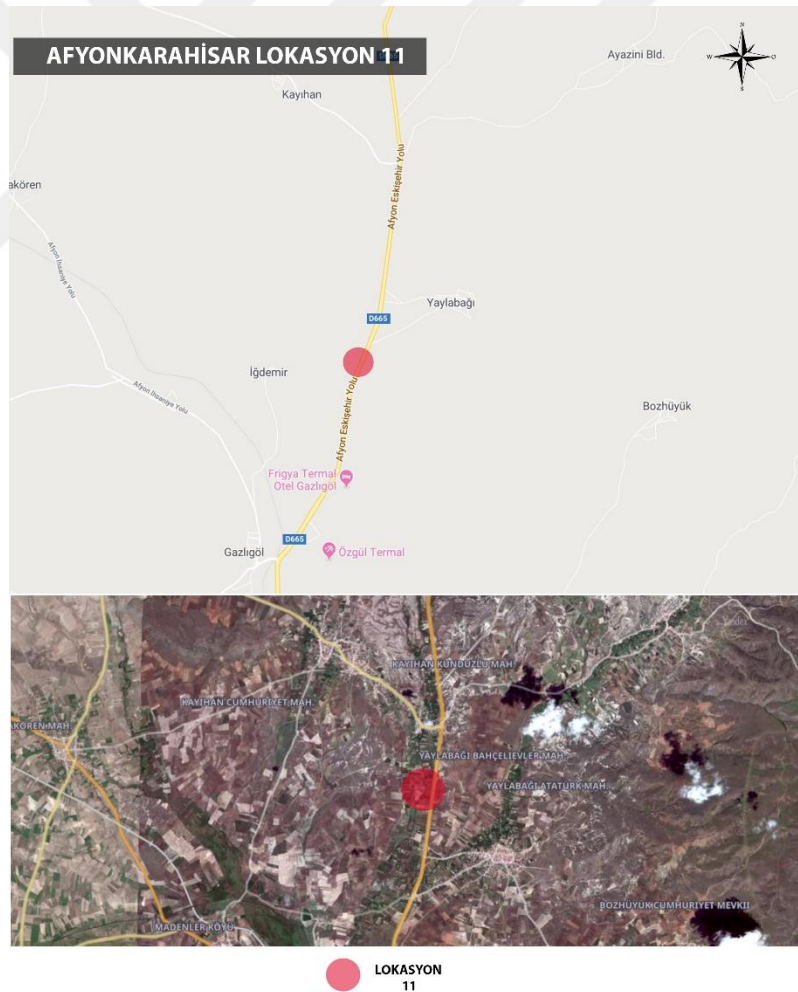


Şekil 3.16. DMI'den alınan verilere göre 1969-2018 yılları arası Eskişehir iline ait nem ve sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.

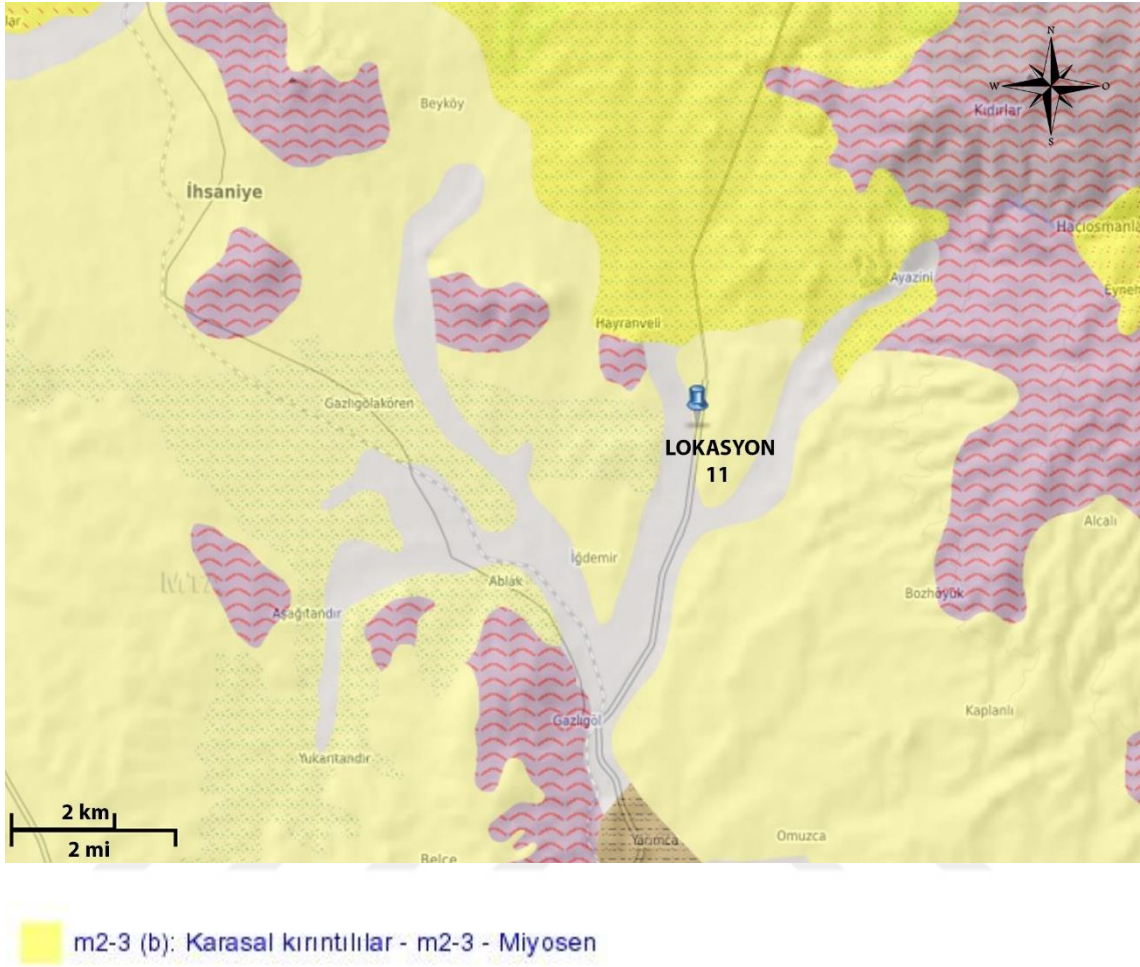
3.3. Afyonkarahisar ve Çevresinin Genel Jeolojisi, İklim ve Bitki Örtüsü

3.3.1. Genel jeoloji

Afyonkarahisar ilinin temel kayaçlarını Afyon zonunun metamorfik kayaçları oluşturmaktadır. Tolluoğlu vd. (1997)'e göre bu metamorfik kayaçlar, Mesozoyik dönem öncesinde metamorfizma geçirmiş ve Afyon metasedimanter grubu olarak adlandırılmıştır. Mesozoyik yaşlı karbonatlı ve ofiyolitik kayaçlar, Afyon metasedimanter grubunu üzerlemektedir. Senozoyik yaşlı volkanik ve sedimanter kayaçlar ise bölgedeki en genç birimlerdir. Bu birimlerin üzerine de Kuvaterner'de oluşmuş yamaç molozu (Qym) ve güncel alüvyon (Qal) gibi örtü birimleri gelmektedir. Çalışma alanının örnekleme yeri haritası ve yakın çevresinin jeoloji haritası Şekil 3.17'de, stratigrafik kesiti ise Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.17. Afyonkarahisar ili ve çevresindeki çalışma alanlarının örnekleme yeri haritası (<http://www.mta.gov.tr>).



Şekil 3.18. Afyonkarahisar ili -İhsaniye İlçesi- Kayihan Köyü jeolojik birimlerini gösteren genel jeoloji haritası(<http://www.mta.gov.tr>).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK(m)	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR		
SENOZOYİK	TERS İYER	KUVATERNER					Alüvyon, alüvyon yelpazesi		
				ÜST PLYOSEN	ERDEMİR	FELELİ MARN ÜYESİ	~ 50		Çok kalın tabakalıklı, okside sarımsı, yumuşak marn
						KARAKAYA BAZALT		Siyahimsi, koyu kahve renkli, alacık yapılı bazalt	
						KONGLOMERA	~ 30-50		Orta kalın tabakalıklı, değişik çirç kavalara ait çakıllı, kum-ml ara katlı gevşek çimentolu karasal konglomera
		ALT PLYOSEN	GEBECİLER	AKPINAR KIREÇTAŞI	~ 220		Alta karasal konglomera, kumtaşı, azlomera ardalaması, ortada görsel beyazimsi gri renkli, siyah, siyah, mavi, kıllı kireçtaşı ardalaması, üstte beyaz, görsel, gastropodlar, ver ver silisifite kireçtaşı. Volkanikler görsel tortullara geçiş gösterir.		
				SEYDİLER VOLKANİK TÜFÜ					
				ÖZBURUN	~ 25-100				
		ORTA-İST MİYOSEN	YENİKÖY	KILTAŞI-MILTAŞI MARN ÜYESİ	~ 50-250			Karasal konglomera, kumtaşı, kiltası, miltası ve mamlardan oluşmuştur. Alta genellikle konglomera, üstte ise kiltası, çamurtası, miltası ve mamlardan oluşmuştur. Orta seviyelerde köntür zonları gözlenir.	
				KONGLOMERA ÜYESİ	~ 50-300				
		MESOZOYİK	JURA	ÜST	ÇİÇEKLİ KAYA		~ 300		Gri mavimsi renkli, orta kalın katmanlı, ver ver kumtaşı ara katlı kireçtaşı
ALT	AŞAĞI BELOVA				~ 100		Gri kahve renkli, ince ve orta katmanlı, az metamorfik malzeme		
TRİYAS			RES ULBAĞA		~ 600		Kireçtaşı ve bunlarla zıkk olan kumtaşlardan oluşmuştur. Kalksist, mermer, rekristalize kireçtaşı ardalaması, bübümlenmiş yanal ve düşey geçilidir. Kireçtaşı kalın katmanlı, mavimsi gri ve siyah renkli, sist ara katlı, eklemler, ver ver fosil kumtaşıdır.		
MESOZOYİK ÖNCESİ			AFYON METAMORFİLERİ	PAŞADAĞI KIREÇTAŞLARI	~ 100-250		Kristalize şeker dolulu, gri beyaz renkli, kalksist ve kuvarsit serisist, klombist ardalamlı. Alt seviyeleri Afyon Metamorfitezinin mermer ve kalksistleriyle geçilidir.		
				BAYAT METAKONGLOMERASI	~ 200		Kuvarsit ve kireçtaşı çakıllı, kireç çimentolu, kalksist ara katlı konglomera. Afyon Metamorfitezinin mermer ve kalksistleriyle geçilidir.		
				DELİKTAŞ METAKONGLOMERASI	~ 150-300		Bovulan 2-10 cm arasında değişen kuvarsit çakıllardan oluşmuştur. Matrisi kuvars-biyotit-muskovitlidir. Yer yer porfirblastik dolu gösterir. Afyon Metamorfitezinin mermer ve kalksistleriyle geçilidir.		
				İSCEHİSAR MERMERİ	~ 500		Saf ince kristalli, şeker dolulu, beyaz, krem, siyah ve çeşitli renklerde, büyük bloklar verebilen, çok kalın katmanlı sızan mermerdir. Afyon Metamorfitezinin mermer ve kalksistleriyle geçilidir.		

Şekil 3.19. Afyonkarahisar ve civarının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (ölçeksiz) (M. T. A, 1987).

Afyonkarahisar ili-İhsaniye ilçesi-Kayıhan köyü civarının temel birimi Trias-Jura-Kretase aralığında oluşmuş kristalize kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve fillatlardan oluşmaktadır (Metin vd., 1981). Temel birimin üzerine uyumsuz olarak Alt Miyosen yaşlı tortul kayalardan oluşan Beşsaray Formasyonu gelir (Göktaş, 2010). Beşsaray formasyonunun üzerine ise Miyosen – Pliyosen aralığında oluşmuş karasal volkanizma kökenli Seydiler İgnimbritleri (MPIs) gelmektedir (Göktaş ve Aydar, 1998). Afyonkarahisar ili İhsaniye ilçesi Kayıhan köyünün stratigrafisi Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

SENOZOİK	KUVATERNER		Ym: Yamaç molozu Qal: Güncel alüvyon
	TERSİYER	MİYOSEN-PLİYOSEN	Seydiler İgnimbritleri(MPIs): Kristal tuf, lapilli tuf, vitrik tuf
		ALT MİYOSEN	Beşsaray Formasyonu(Mb): Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı ardalanması
MESOZOİK	TRİYAS JURA KRETASE		Paşadağ Kireçtaşı(T _R JKp): Kristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, fillat

Şekil 3.20. Afyonkarahisar ili İhsaniye ilçesi Kayıhan köyünün stratigrafisi.

Kil içeren zayıf kayaların dip oyulma hızlarının arazide ölçülmesini amaçlayan bu çalışmada arazi çalışması ve örnekleme Beşsaray formasyonunda yapılmış olup, söz konusu bu formasyona ilişkin tipik görüntüler Şekil 3.21’de verilmiştir.

Birim Neojen yaşlı gölsel/lagünel ortamın oluşturduğu ilk tortul kayalardan oluşmaktadır (Göktaş, 2010). Sarımsı gri renkli bu tortul istifin tabanında çakıltası-kumtaşı ile başlar, üzerinde kalın bir çamurtaşı istifi bulunur. Çamurtaşı istifi içerisinde ince taneli kumtaşı, silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşı ara düzeyleri bulunmaktadır. Bu formasyon Paşadağ kireçtaşının üzerine uyumsuz olarak gelir.



Şekil 3.21. Lokasyon-11, Afyonkarahisar Eskişehir yolu üzeri (Kayıhan Köyü-İhsaniye İlçesi-Afyonkarahisar) D665 Karayolu.

Bu bölgedeki alüvyonlar ağırlıklı olarak kum ve silt boyutu malzemelerin gevşek ve düzensiz olarak istiflenmesi sonucu oluşurken; yamaç molozu ise ince çakıllı olmasına rağmen kısmen de ince kumlu kil-silt karışımı olarakta bulunmaktadır.

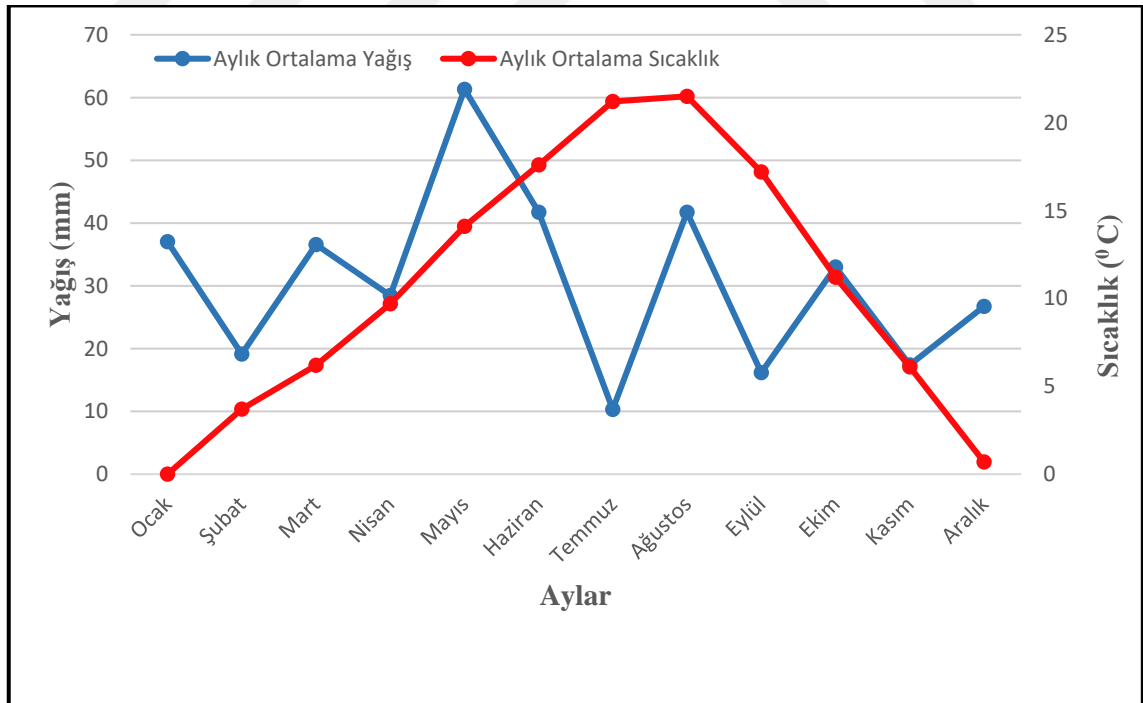
3.3.2. Afyonkarahisar ve çevresinin iklim ve bitki örtüsü

Afyonkarahisar ili Anadolu yarımadasının batıya yakın ortasında ve Ege Bölgesi'nin iç kesiminde yer alır. Çalışma alanımız İhsaniye İlçesi'ne bağlı Kayıhan Köyü civarındadır. Bölge İç Anadolu karasal iklim koşullarına sahiptir. Ancak karasal iklimin yanı sıra Ege Denizi'nden

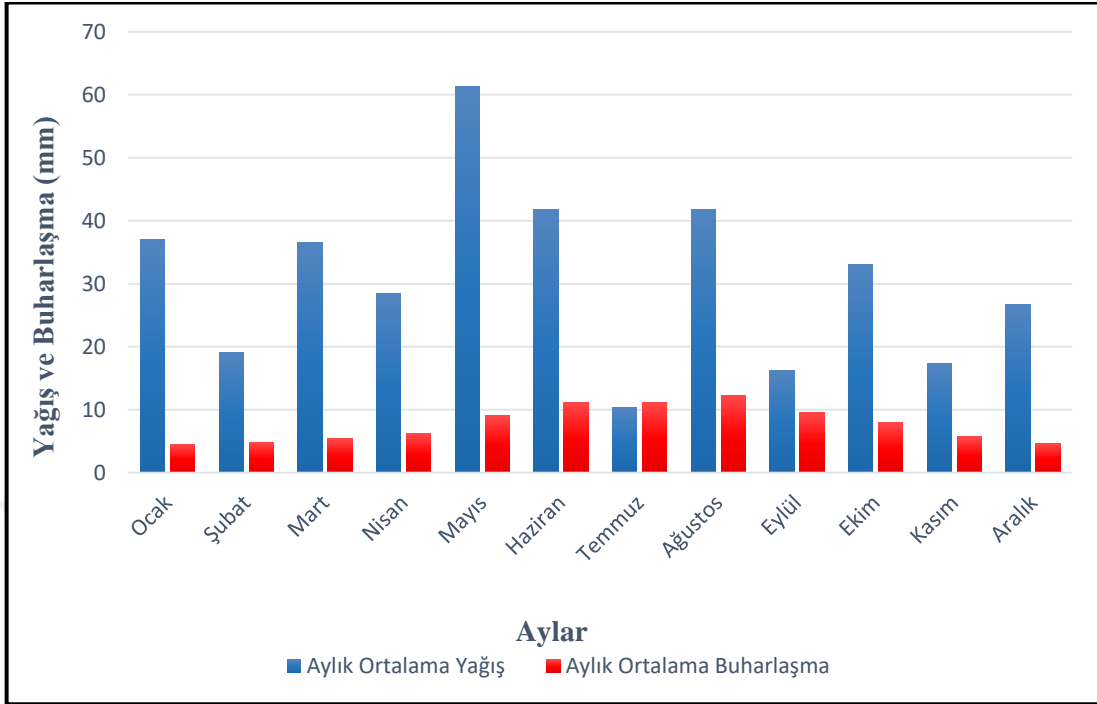
gelen ve iklimi azda olsa yumuşatan hava akımlarının etkisi altındadır. Genelde yağış azlığı (yarı kurak-kurak bölge), oldukça kuvvetli sıcaklık değişiminin olduğu karasallık belirgindir.

Bölgede kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları sıcak ve kurak bir step iklim görülür. İlkbahar ve sonbaharda yağışlar yağmur şeklindedir. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ)'den alınan verilere göre 2013-2018 yılları arasında en çok yağış 61,33 mm ile Mayıs ayında gözlemlenmekte olup yıllık toplam yağış 369,66 mm'dir. Yıllık ortalama sıcaklık 10,76 °C'dir. Aylık en düşük sıcaklık Ocak ayında gözlemlenmekte olup 0 °C olarak ölçülmüştür. Aylık en yüksek ortalama sıcaklık 21,5 °C ile Temmuz ve Ağustos aylarında gözlenir (Şekil 3.22). En fazla buharlaşma 12,2 mm ortalama ile Ağustos ayında gözlenmektedir (Şekil 3.23). 2013-2018 yılları arasında yıllık nem ortalaması %70,68'dir (Şekil 3.24).

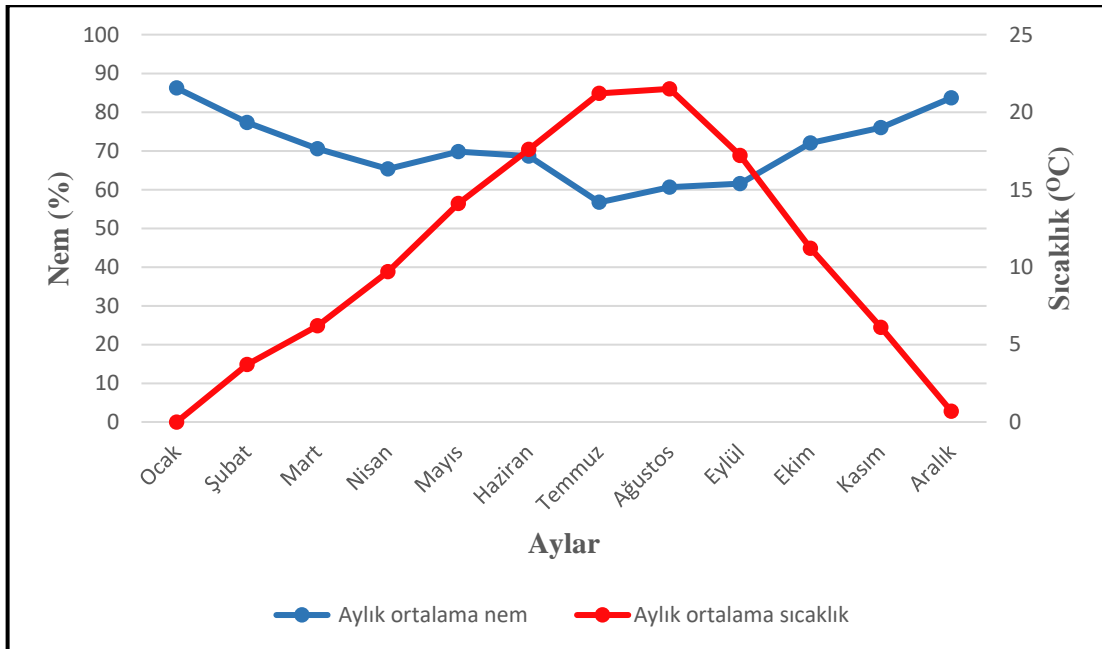
İlin bitki örtüsü karasal iklimin elverdiği kuru orman topluluklarından oluşmaktadır. Dağlık alanlarda bu ormanlar gözlemlenirken, düzlük alanlarda söz konusu bu ormanların önemli oranda azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Orman alanlarının tarımsal faaliyetler nedeniyle azalması ovalık alanların bozkır görünümünü almasını sağlamıştır. İlin çevresinin bitki örtüsü daha çok step özellikleri gösterir. Platolar ve yaylalar daha çok bozkır bitkileriyle kaplıdır.



Şekil 3.22. 2013-2018 yılları arası Afyonkarahisar ili-İhsaniye ilçesine ait sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara göre değişimi (Devlet Meteoroloji İşleri, 2018).



Şekil 3.23. 2013-2018 yılları arası Afyonkarahisar ili-İhsaniye ilçesine ait yağış ve buharlaşma değerlerinin aylara göre değişimi (Devlet Meteoroloji İşleri, 2018).



Şekil 3.24. 2013-2018 yılları arası Afyonkarahisar ili-İhsaniye ilçesine ait nem ve sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi (Devlet Meteoroloji İşleri,2018).

4. ARAZİ ÇALIŞMALARI

4.1. Saha Seçimi

Bu tez çalışmasında, kil içeren kayaların suda dağılma özelliklerinin laboratuvarda elde edilen sonuçlarının yanı sıra, arazideki bozunma hızlarının incelenip değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tamamı yol kazı şevlerinden oluşan on bir sahada bu çalışma yapılmıştır. Bu sahaların yedisi Kütahya'da, üçü Eskişehir'de ve biri Afyonkarahisar'da bulunan karayolu şevlerinden seçilmiştir. Bu şevlerdeki birimlerden laboratuvar deneyleri için blok örnekler alınmış ve kil içeren kayaların doğal koşullardaki bozunma süreçleri sonucunda meydana gelen dağılma karakteristikleri arazide incelenmiştir.

4.2. Dip Oyulması Ölçümleri

Çalışmamızda yol kazı şevlerindeki kil içeren kayaların bozunma hızlarının belirlenmesi amacıyla, bozunma miktarlarının ölçümleri yapılmıştır. Lokasyon 3-1, 3-2, 5, 6 ve 7'de şerit metre kullanılarak belirli mesafelerden dipten oyulmuş ve dipten oyan birimlerin temas noktalarından ölçümler yapılmıştır. Dipten oyulmuş birimin dipten oyan birime göre çıkıntı yapma miktarı yani dip oyulması miktarı ölçülmüştür. Diğer lokasyonlarda ise kil içeren kayalara (dipten oyan) 15cm'lik çiviler yerleştirilerek belli 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 periyodlarla kumpas ile ölçülmüştür. Alınan ölçümler ile dip oyulması hızları(cm/yıl) hesaplanmıştır. İncelenen yol kazı şevlerinin kazı tarihleri, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün ilgili bölümlerinin kayıtlarından temin edilmiştir. Kazı şevinin bozunma süreçlerine maruz kaldığı yıllar, kazı tarihinden bu yana geçen yıllar sayılarak belirlenmiştir. Her kazı şevi için, yıllık cm cinsinden dip oyulması hızı aşağıdaki verilen bağıntı ile hesaplanmıştır (Eşitlik 4.1). Şekil 4.1'de ise dip oyulması ile ilgili tanımlamalar, çalışmış olduğumuz araziden gösterilmiştir (Lokasyon-7).

$$Dip\ oyulma\ hızı = \frac{Dip\ oyulma\ derinliği\ (cm)}{Zaman\ (yıl)} \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. Dip oyulması ile ilgili tanımlamaların gösterildiği araziden bir görünüm (Lokasyon-7).

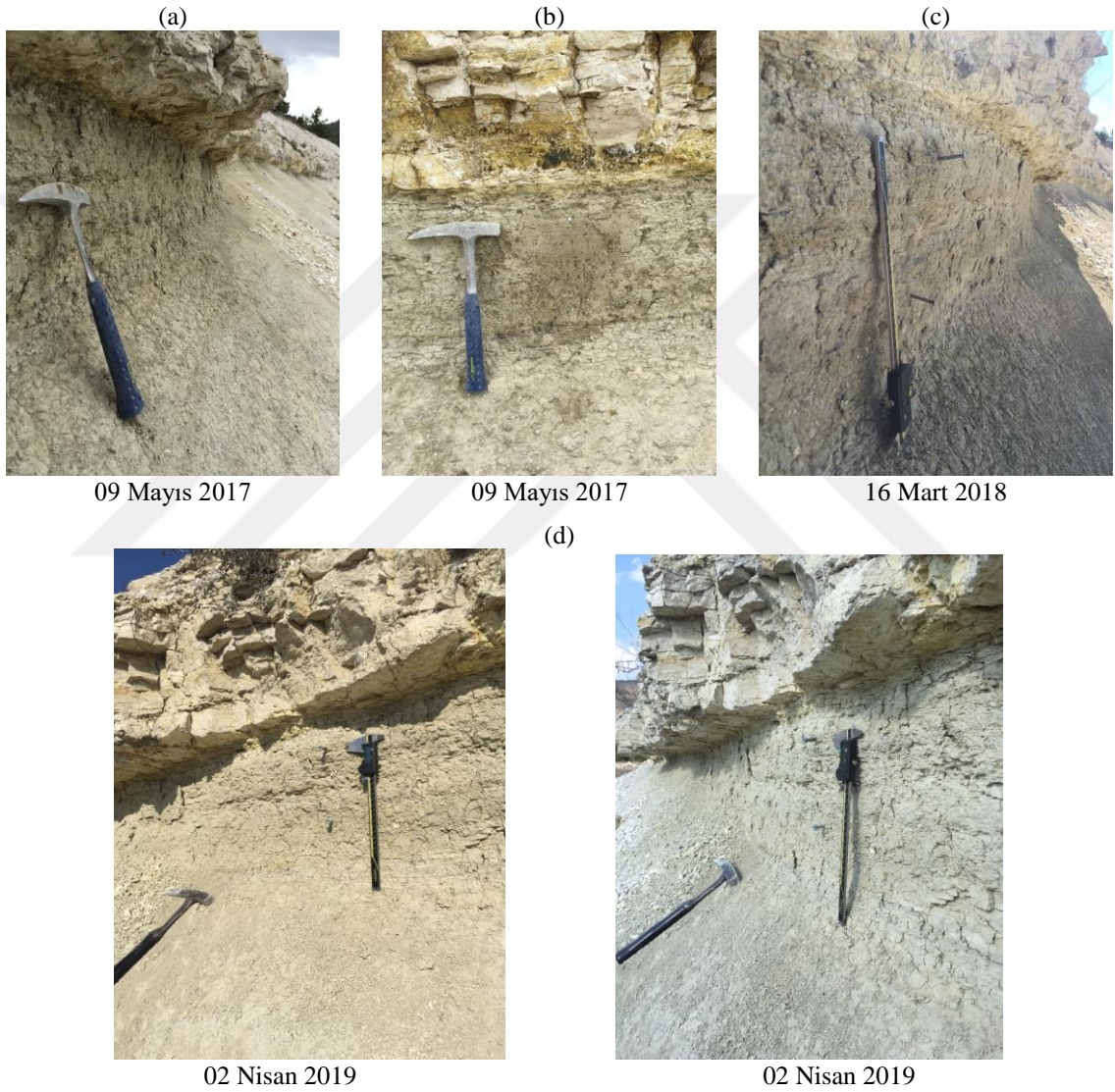
Bu çalışma kapsamında kazı tarihi bilinen karayolu şevlerinden alınan ölçümler dikkate alınarak ilgili şevlerde bulunan kil içeren kayaların dip oyulma hızları konusunda bir yaklaşımda bulunulmuştur. Yaklaşık kazı tarihi 2008 (kazı bitim tarihi 2010) olan söz konusu bu çalışma alanları Lokasyon 3-1, 3-2, 5, 6 ve 7 olup, şerit metre kullanılarak yapılan ölçümler Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Bu çizelgede de açıkça anlaşılacağı üzere, kil içeren kayalarda arazi koşullarında önemli oranda dağılma gerçekleşmiş ve altı yıl içerisinde 3-1, 3-2, 5, 6 ve 7 no.lu lokasyonlarda sırasıyla 17.2 cm, 18.3 cm, 22.7 cm, 43.2 cm ve 125.1 cm gibi ortalama dip oyulma derinlikleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Arazide farklı lokasyonlarda bulunan kil içeren kayalarda ölçülen dip oyulma derinlikleri değerleri.

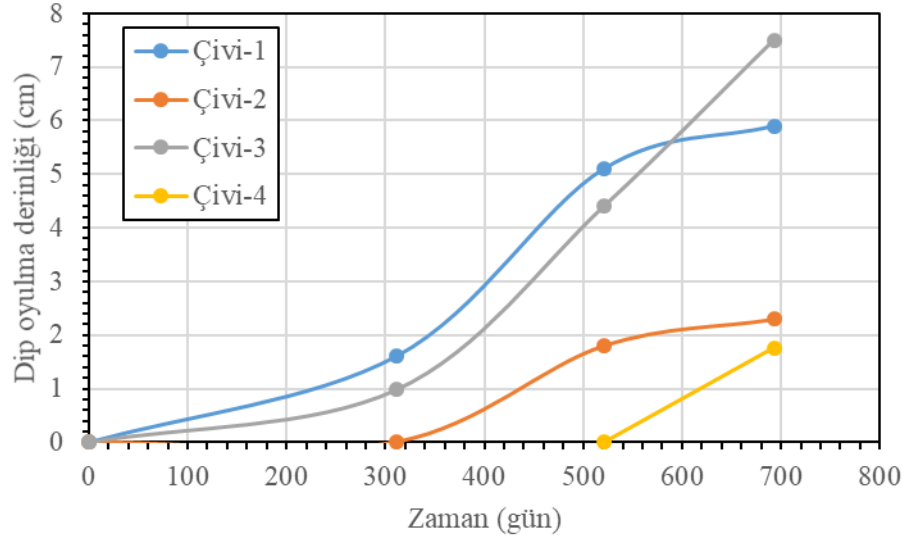
Kazı tarihi: 2008 (Kazı bitim tarihi 2010)*					
Ölçüm tarihi: 03 Ağustos 2014					
Ölçüm Sayısı	Dip oyulma derinliği (cm)				
	Lokasyon 3-1	Lokasyon 3-2	Lokasyon 5	Lokasyon 6	Lokasyon 7
1	19.0	20.0	20.0	41.0	110.0
2	18.0	15.0	22.0	44.0	100.0
3	10.0	21.0	21.0	34.0	109.0
4	13.0	23.0	20.0	30.0	108.0
5	21.0	25.0	26.0	35.0	80.0
6	25.0	26.0	25.0	42.0	90.0
7	24.0	23.0	26.5	30.0	80.0
8	15.0	16.0	29.0	31.0	100.0
9	18.0	18.0	38.0	37.0	130.0
10	20.0	18.0	37.0	41.0	110.0
11	15.0	19.0	35.0	53.0	120.0
12	16.0	20.0	28.0	53.0	111.0
13	20.0	12.0	15.0	45.0	120.0
14	14.0	15.0	17.0	38.0	110.0
15	13.0	14.0	15.0	41.0	130.0
16	14.0	13.0	12.0	49.0	170.0
17	20.0	18.0	15.0	40.0	160.0
18	19.0	17.0	13.0	67.0	180.0
19	13.0	18.0	16.0	62.0	160.0
20	14.0	19.0	17.0	50.0	165.0
21	21.0	14.0	30.0	-	170.0
22	-	-	-	-	140.0
Ortalama	17.2	18.3	22.7	43.2	125.1

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

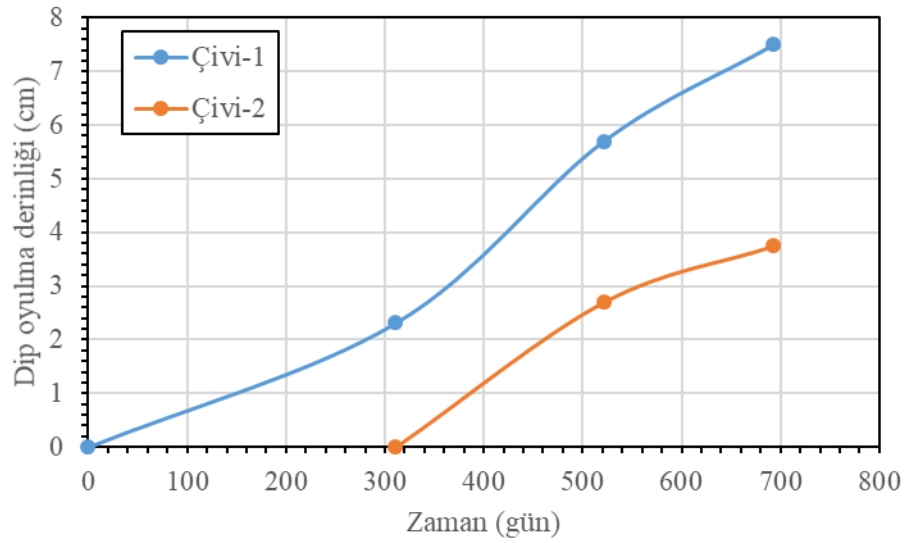
Arazide doğrudan ölçümlerin yanı sıra, belli lokasyonlarda bulunan kil içeren zayıf kayalara belli uzunluğa ve paslanmaz metalden yapılmış çelik çivi ve vidalar yerleştirilerek farklı zaman aralıklarında dip oyulma derinlikleri ölçülmüştür. Söz konusu bu doğrudan ölçümü temsil eden fotoğraflar Şekil 4.2’de, dip oyulma derinliklerinin zamana bağlı değişimi ise Şekil 4.3-4.7 arasında verilen grafiklerde verilmiştir.



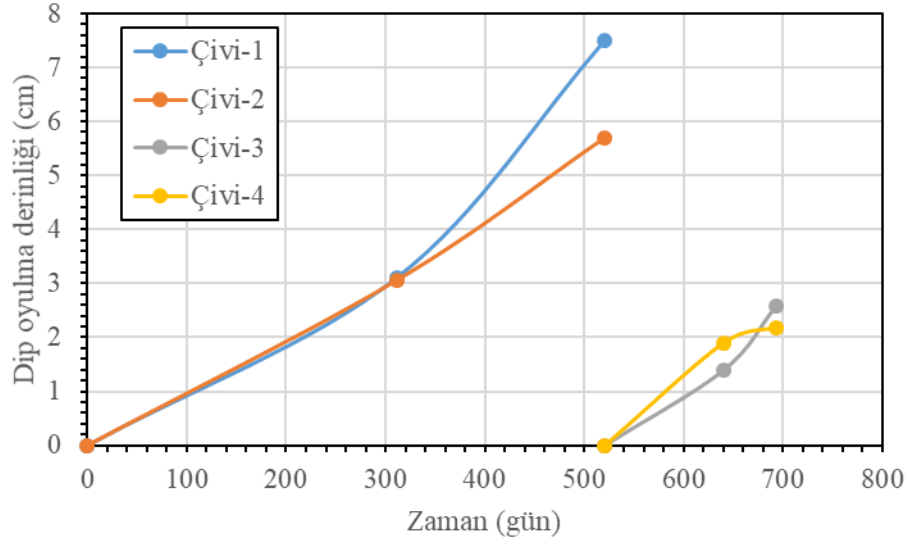
Şekil 4.2. Çelik çivi kullanılarak 3-1 no.lu lokasyon için dip oyulma derinliği ölçümleri: (a) Çivi yerleştirilmeden önce kil içeren kayada gözlenen dip oyulması, (b) ölçümlerin alınacağı kısımda bozunmuş kısımların temizlenmesi, taze yüzeylerin çıkarılması ve çivilerin yerleştirilmesi, (c) 16 Mart 2018 tarihinde çivilerde gözlenen aşınma değerleri, (d) çivi boylarının yetersiz kalması ve yeni yerleştirilen daha uzun vidalarda 02 Nisan 2019 tarihinde meydana gelen aşınma.



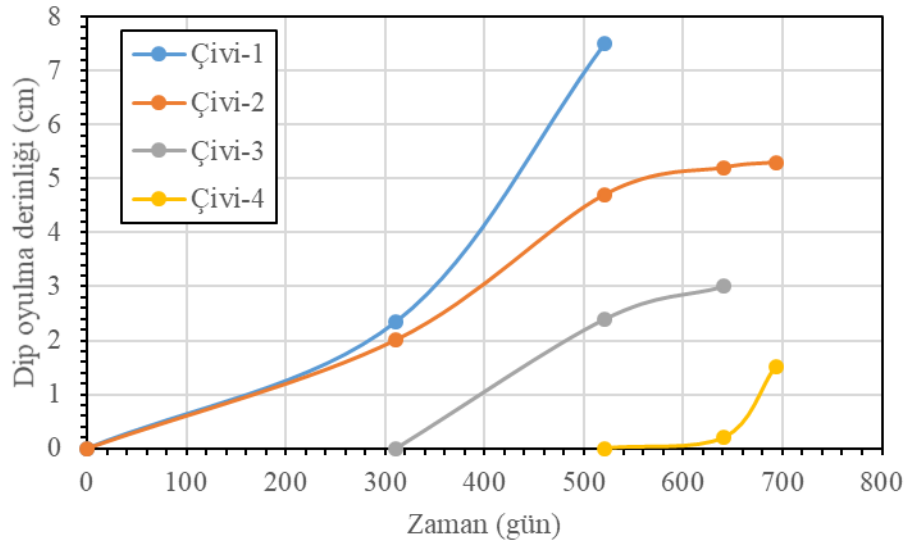
Şekil 4.3. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu Lokasyon 1'e yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi.



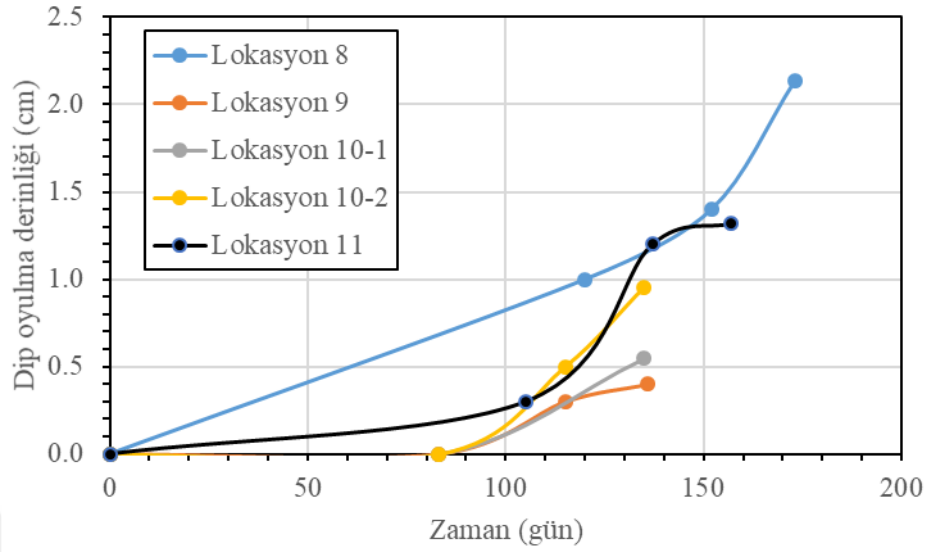
Şekil 4.4. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu Lokasyon 2'ye yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.5. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu Lokasyon 3-1'e yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyuлма derinliğinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.6. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu Lokasyon 4'e yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyuлма derinliğinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.7. Doğal koşullarda etkin olan bozunma süreçleri sonucu 8, 9, 10-1, 10-2 ve 11 no.lu lokasyonlara yerleştirilen çivilerde meydana gelen dip oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi.

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 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Çalışma alanında ölçülen dip oyulma hızı değerleri ve değişim aralıkları.

Lokasyon No.	Koordinat	Kaya türü	Kazı tarihi	Dip oyulma hızı (cm/yıl)	
				Ölçüm tekniği 1 ^a	Ölçüm tekniği 2 ^b
L1	39°34'18.7"N,30°05'12.0"E	Kiltaşı	2008	-	3.25 (2.2-3.95)
L2	39°34'18.7"N 30°05'12.0"E	Kiltaşı	2008	-	4.06 (3.59-4.70)
L3-1	39°34'18.7"N 30°05'12.0"E	Kiltaşı	2008	4.31 (2.50-6.25)	4.58 (3.59-5.78)
L3-2	39°34'16.5"N 30°05'11.1"E	Kiltaşı	2008	4.57 (3.00-6.50)	-
L4	39°34'26.9"N 30°05'07.8"E	Tüfit	2008	-	3.35 (2.36-5.26)
L5	39°34'16.5"N 30°05'11.1"E	Killi kireçtaşı	2008	5.68 (3.00-9.50)	-
L6	39°21'46.8"N 30°03'42.2"E	Kiltaşı	2008	10.79 (7.50-16.75)	-
L7	39°20'05.7"N 30°03'15.5"E	Kiltaşı	2008	31.28 (20.00-45.00)	-
L8	39°43'45.2"N 30°22'39.0"E	Kil	2006	-	3.64 (3.04-4.51)
L9	39°33'03.2"N 30°37'34.2"E	Tüfit	2005	-	1.01 (0.95-1.07)
L10-1	39°20'02.8"N 30°34'42.7"E	Marn	1982	-	1.48
L10-2	39°20'02.8"N 30°34'42.7"E	Kiltaşı	1982	-	2.09 (1.59-2.58)
L11	38°59'11.4"N 30°31'35.1"E	Tüfit	2017	-	3.14 (3.07-3.20)

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

4.3. Örnekleme Çalışmaları

Tüm sahalardan dip oyulma ölçümlerine ek olarak, aşınmaya uğrayan kil içeren kayalarda kazı çalışmaları yapılarak bozunma süreçlerine uğramayan taze örnekler laboratuvar deneyleri için derlenmiştir (Şekil 4.8). Muhtemel su içeriği kaybından dolayı meydana gelen dağılmaların önüne geçmek ve örneklerin doğal su içeriklerinin tayini için alınan örnekler plastik torbalara konularak aynı gün içerisinde laboratuvara nakli sağlanmıştır. Laboratuvara getirilen örneklerin su içerikleri hem 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.



Şekil 4.8. Laboratuvar deneyleri için taze kil içeren kaya el örneklerinin derlenmesi (Lokasyon 7).

4.4. Kaya Yapılarındaki Duraysızlıkların İncelenmesi

Tez çalışmasında yapılan arazi gözlemlerinde, zayıf birimler (dipten oyan) ve bunları üzerleyen daha güçlü ve dirençli birimler (dipten oyulan) söz konusudur. Bu zayıf birimlerde gözlemlenen duraysızlıklar ve üstteki sert birimlerde bulunan süreksizliklerin varlığı, ıslanma-kuruma ve donma-çözülme süreçlerinin kaya kütleindeki dayanımın azalmasına neden olmaktadır. Zayıf birimlerde gözlemlenen bozunmalar; atmosferik koşullarda genellikle ıslanma-kuruma ve donma-çözülme süreçlerine bağlı olarak gelişmektedir. Bunun yanı sıra, arazide yapılan ölçümler sonucu mevsimsel yağışlara bağlı olarak yumuşak birimlerde (kil içeren kayalar) dip oyulması görülmekte olup duraysızlıkların meydana gelmesine neden olmaktadır. Sert birimler ise dipten oyan yumuşak birimin zamanla bozunması sonucu askıda kalarak yer çekimi etkisiyle kaya düşmesine sebebiyet vermektedir. Bu sert birimlerde dip oyulması sonucu

gerilme boşalımına bağlı olarak gelişmiş ve ilerlemekte olan çatlaklarda gözlemlenmiştir. Bu çatlakların mevcut olması şev duraysızlığının bir diğer sorunudur.

4.5. Süreksizliklerin Ölçülmesi ve Hat Etüdü Çalışması

Önceki çalışmalarda, kil içeren kayaların suda dağılma karakteristiklerinin laboratuvarda elde edilen sonuçların yanı sıra bu tür kayaların arazide dağılma davranışlarının da belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu sebeple arazide, kil içeren kayaçların (dipten oyan) dağılma davranışları gözlenmiş ölçümleri alınmış olup, süreksizliklere ilişkin hat etüdü ölçümleri de yapılmıştır.

Süreksizlik aralığı ve süreksizlik sıklığı; süreksizlik yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kaya kütlelerinin geçirgenliğini ve kaya malzemesinin oluşturduğu blokların boyutunu da etkilemektedir. Arazide yapılan ölçümler sonucunda ortalama süreksizlik aralığı (x) ve süreksizlik sıklığı (bir metredeki süreksizlik sayısı, λ) parametrelerinin hesaplanmasında aşağıda verilen Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$x = L/N \quad (4.2)$$

$$\lambda = N/L \quad (4.3)$$

Burada; L ölçüm hattının uzunluğu, N ise ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sayısını göstermektedir.

Hat etüdü çalışmalarında milimetre bölmeli şerit metre kullanılmıştır. Şerit metre yüzeyin bir ucundan diğer ucuna kadar uzatılmış ve hattın uzunluğu okunmuştur. Daha sonra şerit metreyi kesen süreksizliklerin özellikleri (sıklığı, devamlılığı, dolgu malzemesi.) ölçülmüştür.

Eklemler şev yenilmesinde önemli bir süreksizlik türüdür. Yakın aralıklı eklemler kaya kütlelerinin gücünü azaltır ve eklemler, yeraltı suyunun yataklar arasında hareket etmesine ve kesik yüzeyde ortaya çıkmasına neden olur. Admassu vd. (2012) dik açılı eklemleri içeren sağlam kayaların altında bulunan kil içeren kayalarda daha yüksek dip oyulma derinlikleri ölçtüklerini vurgulamışlardır. Kayalardaki süreksizliklere (eklemler) ilişkin hat etüdü yapılmış olup, kayaların süreksizlik sıklığı, süreksizlik aralığına ilişkin ölçümler alınmıştır. Arazide ölçüm almanın mümkün olduğu 6, 7 ve 10-1 no.lu lokasyonlarda belirli uzunlukta şerit metreyi kesen sert tabakadaki eklemlerde, lokasyon 11'de ise yumuşak birimdeki eklemlerde hat etüdü çalışmaları yapılmıştır. Belirlenen ortalama süreksizlik aralığı ve süreksizlik sıklığı değerleri Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Arazi çalışmalarının gerçekleştirildiği lokasyonlarda kaya düşmesi açısından en tehlikeli koşulları oluşturan 94.2 cm'lik ortalama süreksizlik aralığına (Çizelge 4.3) ve oldukça

kalın kireçtaşı tabakalarına sahip olan 7 no.lu lokasyon olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu bu lokasyondan alınan tipik görüntü Şekil 4.9’da verilmiştir. Çalışma alanlarında en sık karşılaşılan kaya düşmesi gibi mühendislik sorunların yanı sıra (Şekil 4.10), kil içeren kaya birimlerinde meydana gelen zamana bağlı hızlı parçalanma ve dağılma süreçleri sonucu yol kenarlarında önemli oranda moloz birikmesi gibi problemlerinde yaşandığı gözlenmiştir (Şekil 4.11).

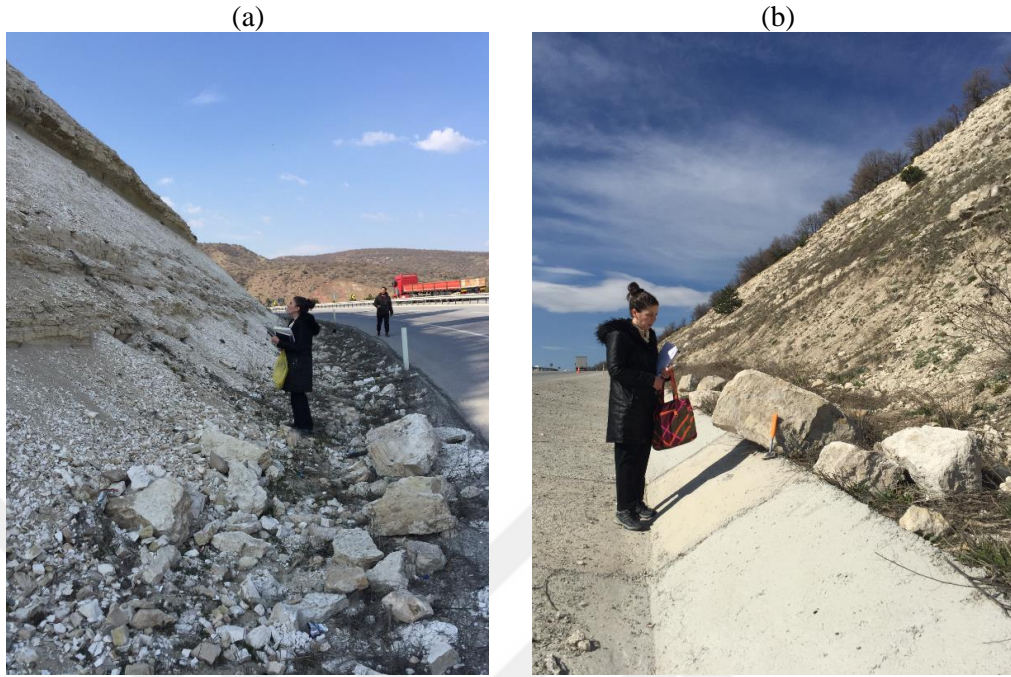
Çizelge 4.3. Farklı lokasyonlarda yapılan hat etüdü çalışmaları sonucu elde edilen ortalama süreksizlik aralığı ve süreksizlik sıklığı değerleri.

Lokasyon no.	L (m)	N	χ (m)	λ (m ⁻¹)
L6	8.0	39	21.1 (3.0-53.0)	4.8
L7	11.3	13	94.2 (30-210)	1.2
L10-1 ve L10-2	5.8	17	36.3 (18.0-67.0)	2.9
L11	9.6	12	86.9 (12.0-170.0)	1.3

L: hat uzunluğu, N: ölçülen süreksizlik sayısı, χ : ortalama süreksizlik aralığı; λ : ortalama süreksizlik sıklığı; parantez içindeki veriler değişim aralığını göstermektedir.



Şekil 4.9. Kil içeren kayaların dip oyulma süreçleri sonucu kaya düşmesi riskini taşıyan geniş süreksizlik aralığına sahip kalın kireçtaşı tabakaları (Lokasyon 7).



Şekil 4.10. Dip oyulma süreçleri sonucu meydana gelen kaya düşmeleri: (a) Lokasyon 3-2, (b) Lokasyon 6.



Şekil 4.11. Çalışma alanı içerisinde bulunan karayolu drenaj hendeklerinin kil içeren kayaların dağılması sonucu meydana gelen moloz malzemeleriyle dolmasına ilişkin örnekler (Kütahya Eskişehir yolu, Ilıca mevki).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kil içeren kayalarda dip oyulma hızını tahmin etmekte kullanılacak bir yöntem geliştirebilmek için yol kazı şevlerinde incelemeler yapılmıştır. Kazı şevlerinin dip oyulması miktarı ve kazı tarihleri, kazıdan bu yana dip oyulması hızını tahmin etmek için kullanılmıştır. Atmosferik koşullarda hızlı bir şekilde dağılabilen dip oyulma (undercutting) süreçlerine maruz kalan kil içeren kayalardan deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere örnekler alınmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların dip oyulma hızının tahmininde kullanılıp kullanılmayacağını tespit edilmektedir.

Tez çalışmamızda kullanılan örneklerle suda dağılmanın özelliklerinin tespitinde kavanozda dağılma (Wood ve Deo, 1975), dağılma indeksi (Deo, 1972) ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (Franklin ve Chandra, 1972; ISRM, 1981) deneyleri uygulanmış olup, kayaların dağılma davranışları belirlenmiştir. Suda dağılma yoluyla parçalanmış kayaların Atterberg limitleri ile daha iyi ayırt edilebilir olabileceğinden dolayı zemine ait kıvam limitleri ile zeminin su içeriğine bağlı olarak değişik davranışlar gösterdiği Atterberg deneyi yapılmıştır. Kil içeren kayaların su içeriğine bağlı olarak dayanım ve deformabilite özelliklerindeki değişimin belirlenmesi amacıyla kuru birim hacim ağırlık deneyi uygulanmış olup bu deney civa taşıma yöntemiyle yapılmıştır. Kayaların tek eksenli sıkışma dayanımları iğne batma direnci yardımıyla görgül olarak saptanmıştır.

5.1. Örnek Hazırlama

Arazi çalışmalarında, laboratuvarında yapılacak olan deneyler için inceleme yapılan kil içeren kayaların bulunduğu birimlerden kaya blokları alınmıştır. Kaya blokları naylon poşetlerle korunarak aynı gün laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen örneklerin deneylerde kullanılacak boyutlarda olması sağlanmıştır. Her lokasyon örneğinden 40-60'şer g'lık 12-15 adet, 150'şer g'lık 6 adet bloklar hazırlanıp 105 °C'lik etüvde 24 saat bekletilmiştir.

5.2. Kuru Birim Hacim Ağırlık Tayinleri

Kuru birim hacim ağırlık kuru örneğin toplam ağırlığının bu örneğin hacmine oranı olarak Eşitlik 5.1'de verildiği gibi hesaplanır.

$$\gamma_k = \frac{m_s}{v_t} \times g \quad (5.1)$$

Burada,

γ_k : Kuru birim hacim ağırlık (kN/m³)

m_s : Katı tanelerin kütlesi (g)

v_t : Toplam hacim (m^3)

g : Yer çekimi ivmesi ($9,81 m/s^2$)

Kil içeren kaya örneklerinde karot örnekleri meydana gelen dağılma nedeniyle alınamamış olup, birim hacim ağırlık değerlerinin belirlenmesinde, düzensiz geometriye sahip örneklerin hacmi civa ile belirlenmiştir. Deneyde $105\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik etüvde 24 saat kurutulmuş olan 4-10 g civarında olan örnekler kullanılmıştır. Örneklerin öncelikle kuru kütleleri ölçülür. Örnek tamamen civa dolu bir kaba batırılır ve taşan civanın kütlesi hassas terazide ölçülür (Şekil 5.1). Civanın yoğunluğu ($13,53\text{ g/cm}^3$) dikkate alınarak taşan civanın hacmi cm^3 cinsinden belirlenir. Her bir örnek için ayrı ayrı işlem yapılmıştır. İnceleme yapılan arazilerden alınan kil içeren kaya örneklerine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri ASTM (1994)'ye göre tayin edilmiş olup, sonuçları Çizelge 5.1' de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek kuru birim hacim ağırlık 20.0 kN/m^3 ile kıltaşı içeren lokasyon-7'de gözlemlenirken en düşük kuru birim hacim ağırlık 12.3 kN/m^3 ile lokasyon-9 'dan alınan tüfit örneklerinde ölçülmüştür.



Şekil 5.1. Civa taşıma yöntemiyle kuru birim hacim ağırlık deneyi.

Çizelge 5.1. Arazilerden alınan kil içeren kaya örneklerine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri.

Lokasyon No	Kaya türü	Kuru yoğunluk ρ_k (g/cm ³)	Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m ³)
L 1-3	Kiltaşı	1.48	14.51
L 4	Tüfit	1.45	14.22
L 5	Killi kireçtaşı	1.76	17.26
L 6	Kiltaşı	1.29	12.65
L 7	Kiltaşı	2.04	20.01
L 8	Kil	1.59	15.59
L 9	Tüfit	1.25	12.26
L 10-1	Marn	1.88	18.44
L 10-2	Kiltaşı	1.90	18.63
L 11	Tüfit	1.67	16.38

5.3. İğne Batma Ölçer Deneyleri

Tek eksenli sıkışma dayanımı, kaya malzemelerini sınıflandırmada kullanılan bir yöntemdir. Kayanın tek eksenli basınç dayanımının deneyinde özellikle yumuşak ve çok kırıntılı kaya boyutlarında deney örneklerinin standart boyutlarda hazırlanması mümkün değildir. Bu yüzden örnek hazırlamayla ilgili güçlüklerin ortadan kaldırılması için araştırmacılar tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı yoldan kestirimi için; nokta yüke dayanım indeksi, Schmidt çekici deneyi (ISRM, 2007) ve disk makaslama dayanım indeksi gibi yöntemler önermişlerdir. Yumuşak birimlerin tek eksenli sıkışma dayanımlarının dolaylı yoldan kestiriminde iğne batma deneyi kullanılmaktadır. Son dönemlerde, deney standartlarına uygun boyutlarda örnek almanın güç olduğu veya olanaksız olduğu zayıf kayaların dayanımlarının dolaylı yoldan kestiriminde iğne batma ölçer deneyi kullanılmaktadır.

İğne penetrometresi deneyi, elle yapılan yüklemeyle penetrometrenin ucunda bulunan iğnenin kayanın içine batırılması ile uygulanan bir deneydir. Bu tez kapsamında, kil içeren kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının iğne batma direnci değeriyle olan ilişkisini belirlemek için iğne batma ölçer deneyleri kullanılmıştır (Şekil 5.2).

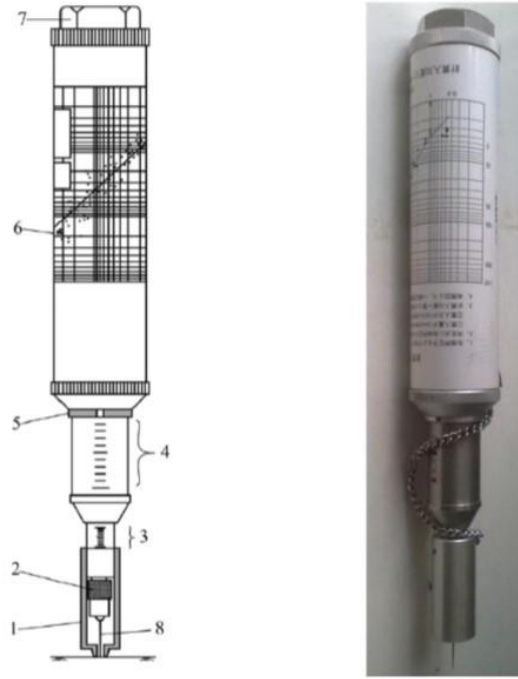
İğne batma direnci (İBD) aşağıda Eşitlik 5.2’de verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$iBD = F/D \quad (5.2)$$

Burada;

F: Batma kuvveti (N)

D: Batma derinliği (mm)’dir.



Şekil 5.2. Örneklerin dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılan iğne penetrometresi ve ilgili bölümleri: 1. koruyucu, 2. iğne tutucu, 3. batma ölçeği, 4. yük ölçeği, 5. yük halkası, 6. σ_c ve İBİ dönüştürme grafiği, 7. yedek iğne haznesi, 8. iğne.

Bu tez çalışmasında kullanılan kaya birimlerinin su alıp verme aşamasında hızlı bir şekilde dağılma davranışı göstermeleri nedeniyle, nemli ve suya doymun dayanımları belirlenmemiştir. Ancak, kuru koşullarda örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesinde iğne penetrometresi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaçla, örnekler 105 °C'lik etüvde 24 saat bekletilmiş iğne penetrometresi deneylerinde kullanılmıştır (Şekil 5.3). Tez çalışması kapsamında alınan kil içeren kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının tayini için Çizelge 5.2'de verilen iğne batma direnci değerleri kullanılmıştır. Lokasyonlarda en düşük iğne batma direnci 4.02 N/mm ile tüfit (Lokasyon-4) örneklerinden alınmışken, en yüksek değer 50 N/mm ile kil (Lokasyon 8) ve marn (Lokasyon 10-1) örneklerinde ölçülmüştür. Alınan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri Ulusay ve Ergüler (2012) tarafından geliştirilen ve Eşitlik 5.3'te verilen bağıntı kullanılarak görgül olarak tahmin edilmiş ve Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

$$\sigma_{ci} = 0.402 * \dot{IBD}^{0.929} \quad (5.3)$$



Şekil 5.3. İğne penetrometresi deneyinin laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmesi.

Çizelge 5.2. Çalışmamızdaki kil içeren kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının tayini için ölçülen iğne batma direnci değerleri (İBD).

Lokasyon No	Kaya Türü	İğne Batma Direnci İBD (N/mm)	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, σ_{ci} (MPa)
L 1-3	Kiltaşı	30.27	9.55
L 4	Tüfit	4.02	1.46
L 5	Killi kireçtaşı	*	*
L 6	Kiltaşı	13.09	4.38
L 7	Kiltaşı	33.33	10.45
L 8	Kil	50.00	15.23
L 9	Tüfit	25.00	8.00
L 10-1	Marn	50.00	15.23
L 10-2	Kiltaşı	30.55	9.63
L 11	Tüfit	11.20	3.79

*: İğne ucu kırıldığından dolayı iğne batma direnci ölçülemediği için.

5.4. Atterberg Limitleri

Atterberg limitleri zemin taneleri ve su arasındaki temasları ve değişen su oranına göre zeminin durumunu belirlemede yardımcı olur. Atterberg viskoz akmanın alt sınırını likit limit, kilin plastisite özelliğini kaybettiği sınırına ise plastik limit değeri olarak tanımlamıştır (Atterberg, 1911). Tanımlamalara göre zemine fazla su verildiğinde zemin akıcı hale gelir ve makaslama direnci kaybolur. Kurumaya bırakıldığında ise makaslama kuvvetlerine karşı dayanım kazanır. Bu geçiş durumundaki sahip olduğu su muhtevası likit limit (LL) olarak tanımlanır. Plastik limit (PL) ise plastik ve katı durumlarını birbirinden ayıran sınırı tanımlayan su içeriği olarak tanımlanır. Tez çalışması kapsamında farklı lokasyonlarda alınan kaya örneklerinin LL ve PL deneyleri ASTM (1994)'ye göre yapılmış (Şekil 5.4) ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3'te verilmiştir. Örneklerin LL değerlerinin belirlenmesinde kullanılan tipik bir görüntü Şekil 5.5'te sunulmuştur.

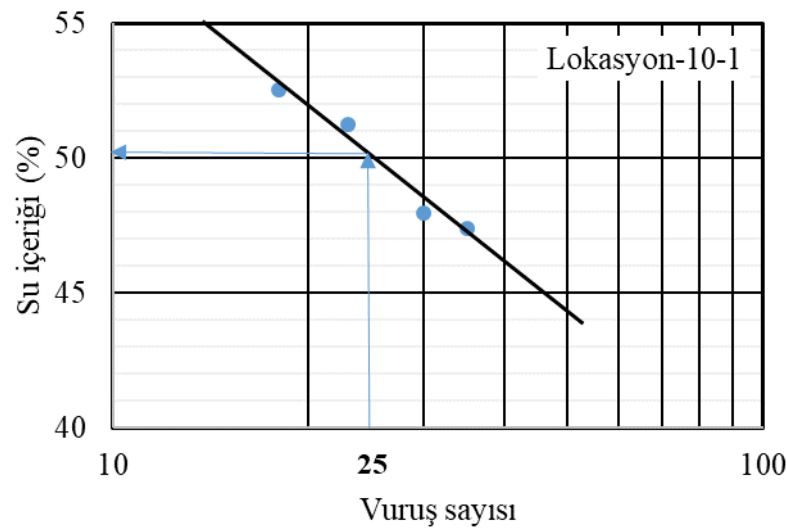


Şekil 5.4. Örneklerin Atterberg deneylerinden alınan görüntüler: (a) likit limit ve (b) plastik limit.

Çizelge 5.3. Örneklerin likit limit, plastik limit ve plastisite indeks değerleri sonuçları.

Lokasyon No	Kaya Türü	LL(%)	PL(%)	PI(%)
L 1-3	Kiltaşı	62.52	58,11	4,41
L 4	Tüfit	*	*	*
L 5	Killi kireçtaşı	-	-	-
L 6	Kiltaşı	36.35	31.29	5.06
L 7	Kiltaşı	44.89	30.50	14.39
L 8	Kil	87.70	52.93	34.77
L 9	Tüfit	46.74	37.69	9.05
L 10-1	Marn	50.27	31.43	18.84
L 10-2	Kiltaşı	38.59	26.62	11.97
L 11	Tüfit	36.63	29.00	7.63

*: Numune elverişli olmadığı için deneye tabi tutulamadı. LL: likit limit, PL: plastik limit, PI: plastisite indeksi



Şekil 5.5. Lokasyon 10-1'den alınan örneğin LL değerlerinin belirlenmesinde kullanılan düşüş sayısı ile su içeriği arasındaki ilişki ve likit limitin belirlenmesi.

Atterberg sınırları, kil içeren kayaların ayırıcı özelliğini belirlemek için kullanılmıştır. Suda dağılma yoluyla bozulan kayalar, Atterberg sınırları ile daha fazla karakterize edilebilmektedir. Su içeriği ile dip oyulma hızı değerleri incelenecek olursa eğer %87.70 ile en yüksek likit limit değerine sahip L-8'de dip oyulma hızı 3.64cm/yıl iken, %36.35 ile en düşük likit limit değerine sahip L-6'daki dip oyulma hızı 10.79 cm/yıl'dır. Su içeriği fazla olan kil içeren kayalarda bozunma değeri fazla olur fakat bu değerler dikkate alındığında dip oyulma hızında tam tersi bir durum söz konusudur. Bu da kil içeren kayalarda su içeriği ile ortalama dip oyulma hızı arasında herhangi bir ilişki olmadığını göstermektedir. Plastisite indeksi değerlerinde ise,

%34.77 ile en yüksek plastisite indeksi değerine sahip L-8'de dip oyulma hızı 3.64 cm/yıl iken, %4.41 ile en düşük plastisite indeksi değerine sahip L 1-3'de dip oyulma hızı 3.25 cm/yıl'dır. Plastisite değerleri en fazla ve en düşük olan lokasyonlarda dip oyulma hızları birbirine çok yakın değerler olduğundan dolayı plastisite indeksi ile dip oyulma hızı arasında da herhangi bir ilişki söz konusu değildir. Tüm bu değerlendirmeler, likit limit ve plastisite indeksi değerlerinin dip oyulması hızı ile karşılaştırılmasında her iki değerinde dip oyulması hızı ile bir ilişkisinin olmadığını göstermektedir.

5.5. Örneklerin Suda Dağılma Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Laboratuvar Deneyleri

Günümüze kadar yapılan çalışmalardan kayaların suda dağılma davranışını belirlemede; kavanozda dağılma (Wood ve Deo, 1975), dağılma indeksi (Deo, 1972) ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (Franklin and Chandra, 1972; ISRM, 1981) deneyleri kullanılmıştır. Bu deneylerin uluslararası çalışmalardaki önemi dikkate alınarak bu tez çalışması kapsamında derlenen kil içeren kayaların suda dağılma davranışının belirlenmesinde ve tanımlanmasında söz konusu bu deneylerden yararlanılmıştır. Söz konusu bu deneylere ilişkin detaylı bilgiler aşağıda sunulmuştur.

5.5.1. Kavanozda dağılma deneyi

Kayaların suda dağılma davranışlarının tanımlanması amacıyla Wood ve Deo (1975) tarafından önerilen bu deneyde, kütlesi 30-50 g arasında olan kaya parçaları 110 °C'lik etüvde 16 saat bekletildikten sonra 20 dakika dışarıda soğutulmaya bırakılır. Daha sonra soğuyan örnekler kavanozun içerisinde bulunan saf suya batırılır ve önce 30 dakika daha sonra 24 saat sonra numunede meydana gelen değişimler gözlemlenir. Bu değişimler Wood ve Deo (1975) tarafından önerilen ve Çizelge 5.4'te verilen tanımlamalara göre değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonuçları Çizelge 5.5'te sunulmuştur. Çizelge 5.5'te de görüldüğü gibi, tez çalışması kapsamından yapılan kavanozda dağılma deneylerinde, tüm lokasyonlarda 30 dakika ve 24 saat sonrasında aynı dağılma sınıfı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.4. Kavanozda dağılma deneyi çizelgesi (Wood ve Deo, 1975).

Sınıf	30 dakika ve 24 saat sonraki durum
1	İnce tabakalar yığını ve çamur oluşturacak şekilde parçalanma
2	Hızla parçalanma ve/veya çok ufak parçaların oluşumu
3	Yavaş parçalanma ve/veya birkaç ufak parçanın oluşumu
4	Hızlı parçalanma ve/veya birkaç çatlağın oluşumu
5	Yavaş parçalanma ve/veya az çatlağın oluşumu
6	Değişim gözlenmez

Çizelge 5.5. Örneklerin Wood ve Deo (1975) tarafından önerilen sınıflama sistemine göre 30 dakika ve 24 saat sonraki dağılma özellikleri.

Lokasyon No	30 dakika sonraki durum	24 saat sonraki durum
L 1-3	1	1
L 4	2	2
L 5	6	6
L 6	5	5
L 7	1	1
L 8	1	1
L 9	3	3
L 10-1	3	3
L 10-2	1	1
L 11	3	3

Lokasyon 1-3,7,8 ve 10-2’de alınan örnekler çamur şeklinde parçalanmış olup 1.grup sınıflandırmaya dâhil edilmiştir. Lokasyon 4’te hızlı parçalanma ile birlikte çok ufak parçalanmalar gözlemlenmiş olduğundan 2. grupta kabul edilmiştir. Lokasyon 9, 10-1 ve 11’de yavaş parçalanma ile birkaç ufak parça gözlemlenmiş olduğundan 3. grubun özellikleri gözlemlenmiştir. Lokasyon 6’da yavaş parçalanma ve az çatlakların oluşumundan dolayı 5.gruba dâhil edilmiş ve lokasyon 5’te ise değişim gözlemlenmediğinden dolayı 6. grup olarak kabul edilmiştir. Örneklerin su içerisinde 24 saat sonraki suda dağılmalarını kapsayan görünüşleri Şekil 5.6’da verilmiştir.

(a)



(b)



Şekil 5.6. (a) Lokasyon 1-3,4,5,6,7 ve 8'den alınan örneklerin 24 saat sonraki son durumu, (b) Lokasyon 9,10-1,10-2 ve 11'den alınan örneklerin 24 saat sonraki durumu.

5.5.2. Suda dağılma indeksi deneyi

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 deney için 150 g kütleye sahip 6 adet numune etüvde 8 saat süreyle kurutma işlemine tabi tutulmakta ve daha sonra etüvden alınan örnekler 20 dakika soğuma işlemine bırakılmaktadır. Soğuma aşaması sonrası her örnek ayrı kaplara konur ve kaplar saf su ile doldurulur. 6 saat sonra kaptaki durumları gözlemlenir. Kaplardan alınan örnekler, 10

no.lu elek (2 mm) üzerinde yıkanır ve tekrar etüvde kurutulur ve tartılır. Deneyde dağılma indeksi, altı örnekteki toplam malzeme kaybı yüzdesi olarak hesaplanır (Eşitlik 5.4). Bu deneyde etüvde kurutma ve suyla doyurma işlemlerinin 16 ve 24 saat olması gerektiği önceki çalışmalarda (Santi, 1995) vurgulanmıştır.

$$I_s = \frac{m_x - m_{x'}}{m_x} \times 100 \quad (5.4)$$

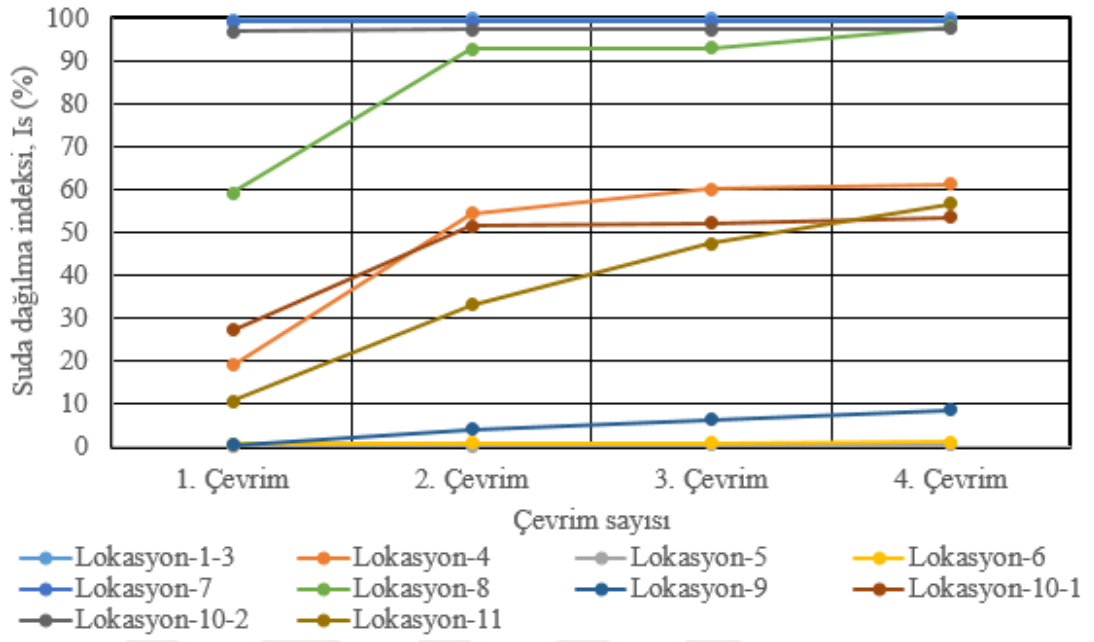
Burada; m_x etüvde kurutulan 6 örneğin toplam kütlesi, $m_{x'}$ 10 no.lu elek (2 mm) üzerinde yıkanıp tekrar kurutulan 6 örneğin toplam kütlesidir.

Suda dağılma indeksi (I_s) deneyi için 150 g ağırlığındaki 6 adet kaya örneği 105°C'lik sıcaklığa sahip etüvde 24 saat kurutulduktan sonra 20 dakika soğumaya bırakılır. Kuru örnekler bir kaba konularak üzeri saf su ile doldurulup bu koşullarda 6 saat bekletilir. Suyu doymun hale gelen ve dağılma davranışı gösteren örnekler 10 no.lu elekte (2 mm) üzerinde yıkama işlemine tabii tutulur ve kalan örnekler tekrar etüvde kurutulur ve tartılır. Bu çevrimler sonucu yukarıda verilen Eşitlik 5.4 dikkate alınarak örneklerin suda dağılma indeksi değerleri belirlenir. Bu deneysel çalışma sonrasında tez çalışması kapsamında 11 farklı lokasyondan alınan örneklerin suda dağılma indeksi değerleri belirlenmiş olup elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çalışılan bu örneklerin çevrim sayısının artışına bağlı olarak suda dağılma indeksinde meydana gelen değişim grafiği ise Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Deneydeki 2. çevrim sonrası numunelerin görüntüleri Şekil 5.8'de ve 4. çevrimdekiler ise Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Çevrimler sonrası elde edilen suda dağılma indeksi deneyi değerleri.

Lokasyon No	m_x (g)	Suda dağılma indeksi (Deo, 1972)			
		I_{s1}	I_{s2}	I_{s3}	I_{s4}
L 1-3	804.55	99.74	99.93	99.94	99.95
L 4	712.95	18.89	54.53	60.12	61.23
L 5	982.88	0.16	0.16	0.29	0.35
L 6	912.13	0.61	0.76	0.91	1.05
L 7	1362.34	99.12	99.19	99.19	99.21
L 8	1448.63	59.25	92.87	92.96	98.09
L 9	763.42	0.28	4.05	6.17	8.65
L 10-1	999.45	27.19	51.46	52.23	53.53
L 10-2	1016.04	96.86	97.39	97.41	97.52
L 11	903.23	10.68	33.01	47.36	56.65

m_x : etüvde kurutulan 6 örneğin toplam kütlesi



Şekil 5.7. Çevrim sayısının artışına bağlı olarak örneklerin suda dağılıma indeksi değişim grafikleri.



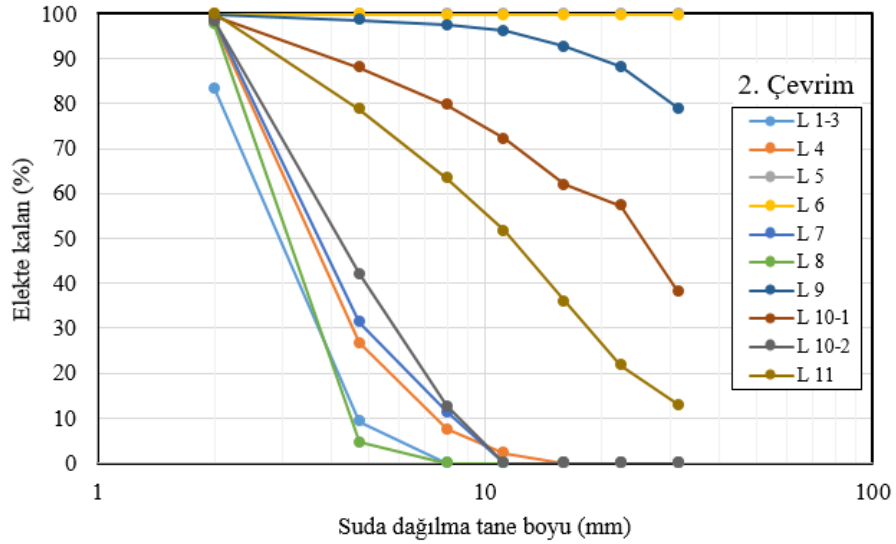
Şekil 5.8. Suda dağılma indeksi deneyinde ıslanma-kurumaya maruz kalmış örneklerin 2. çevrim sonrası genel görünüşleri.



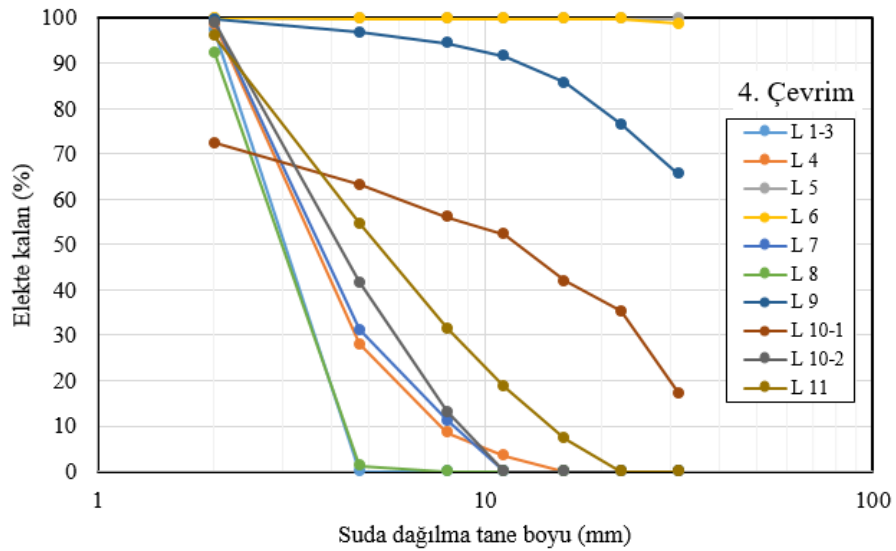
Şekil 5.9. Suda dağılma indeksi deneyinde ıslanma-kurumaya maruz kalmış örneklerin 4. çevrim sonrası genel görünüşleri.

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 parçalanmış örneklerin tane boyu dağılım grafikleri 31.50, 22.40, 16.00, 11.20, 8.00, 4.75 ve 2 mm açıklıklara

sahip elekten oluşan elek seti kullanılarak belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında derlenen örneklerin suda dağılma indeksi deneyi sonucu duraylı kabul edilen ancak yoğun bir şekilde dağılma gösteren örneklerin dağılmanın tane boyu değişim grafikleri 2. ve 4. çevrimler için sırasıyla Şekil 5.10 ve 5.11’de sunulmuştur.

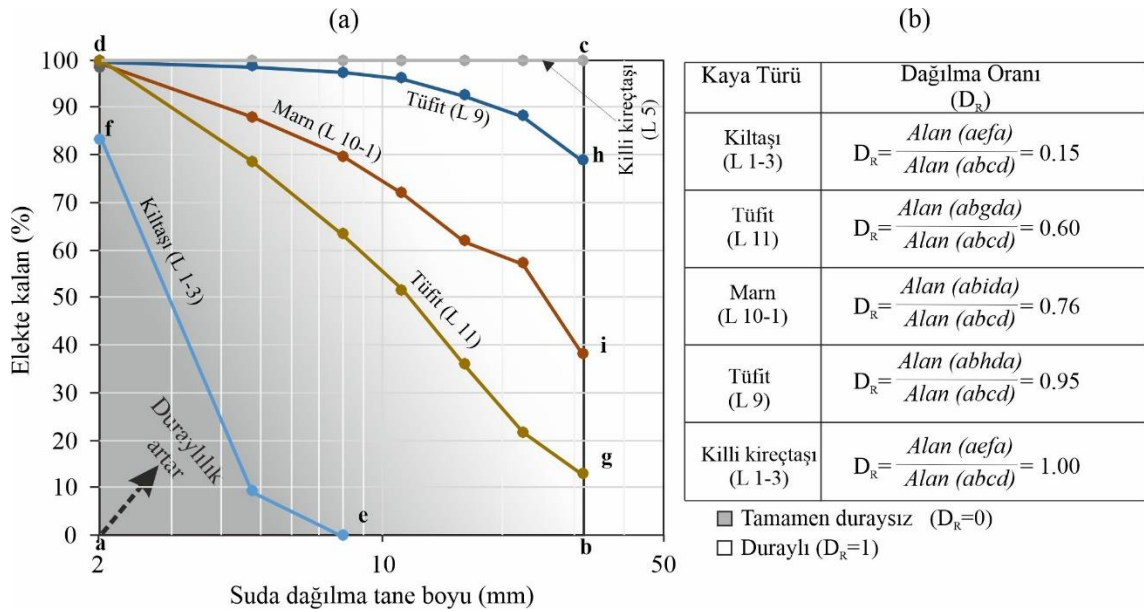


Şekil 5.10. Suda dağılma indeksi deneyinin 2. çevrimi sonrasında meydana gelen dağılmanın tane boyu değişim grafiği.



Şekil 5.11. Suda dağılma indeksi deneyinin 4. çevrimi sonrasında meydana gelen dağılmanın tane boyu değişim grafiği.

Ergüler ve Shakoor (2009) kil içeren kayalarda meydana gelen bu dağılımın modellenmesi ve bütün dağılımları tek bir parametre ile tanımlanması için “dağılma oranı, D_R ” (disintegration ratio” yaklaşımını önermişlerdir. Söz konusu bu yaklaşım Şekil 5.12’de verilmiştir. Şekil 5.12’de sunulan yaklaşım kullanılarak bütün örneklerin dağılma oranı değerleri belirlenmiş ve Çizelge 5.7’de verilmiştir. Ergüler ve Shakoor (2009) tarafından önerilen yaklaşım kullanılırken tane boyu sınır koşulları 31.5 mm ile 2 mm alınmıştır.



Şekil 5.12. Suda dağılma indeksi deneyinden sonra kil içeren kayaların parça büyüklüğü dağılım eğrileri (a) ve kil içeren kayalarda dağılma oranı hesaplaması (b) (Ergüler ve Shakoor, 2009).

Çizelge 5.7. Suda dağılma indeksi deneylerinin (I_s) 2. ve 4. çevrimden sonra oluşan parçalanmanın elek analizi sonuçlarına göre dağılma oranı ($D_{R(ıslanma-kuruma)}$) değerleri.

Lokasyon No	Kaya Türü	Toplam Alan	2.çevrim		4.çevrim	
			Alan	D_R	Alan	D_R
L 1-3	Kiltası	66.91	10.30	0.15	10.10	0.15
L 4	Tüfit	66.91	15.69	0.23	16.21	0.24
L 5	Killi kireçtaşı	66.91	66.90	1.00	66.91	1.00
L 6	Kiltası	66.91	66.90	1.00	66.86	1.00
L 7	Kiltası	66.91	16.73	0.25	16.83	0.25
L 8	Kil	66.91	10.99	0.16	9.83	0.15
L 9	Tüfit	66.91	63.65	0.95	60.63	0.91
L 10-1	Marn	66.91	51.18	0.76	35.57	0.53
L 10-2	Kiltası	66.91	18.70	0.28	18.76	0.28
L 11	Tüfit	66.91	40.06	0.60	24.77	0.37

5.5.3. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi (I_d), kayaların arazi ortamındaki atmosfer olaylarına bağlı olarak gelişen, ıslanma ve kuruma gibi fiziksel bozunma süreçleri sonucunda meydana gelen parçalanmasının belirlenmesi ve kayaların bu süreçlere karşı duraylı kalma seviyesini laboratuvar ortamında belirlemek için yapılan bir deneydir. Bu deney kaya malzemesinin ve dolayısıyla daha büyük ölçekte kaya kütesinin davranışının belirlenmesi açısından belirleyici bir deney olduğu önceki çalışmalarda (Gökçeoğlu vd., 2000; Dhakal vd., 2002; Beyhan, 2008) vurgulanmıştır. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi Franklin ve Chandra (1972) tarafından geliştirilmiş ve ISRM (1981) tarafından özellikle zayıf kil içeren kayaların duraylılıklarının tespiti için önerilmiştir. Bu deney ASTM (1990) tarafından standartlaştırılmıştır (Dhakal, vd., 2002). Birçok araştırmacı çevrim sayısına göre elde edilen indeks değerleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. İlk çalışmalarda kayaların ‘ıslanma-kuruma’ süreçlerine karşı gösterdiği davranışları değerlendirilmiş, bu deneyde ikinci çevrimde elde edilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinin (I_{d2}) kullanılmaması önerilmiştir (Franklin ve Chandra, 1972; ISRM, 1981). Daha sonraki çalışmalarda ise kayaların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde üç veya dört çevrimin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir (Taylor, 1988; Gökçeoğlu, 1997; Gökçeoğlu vd., 2000). Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, ıslanma-kuruma süreçlerinin en çok kil içeren kayalarda etkili olduğu ve bununda nedeninin kaya türlerinin içerdiği kil minerallerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Gökçeoğlu, 1997; Gökçeoğlu vd., 2000).

Deney çalışmamızda ISRM (1981) tarafından önerilen hususlar dikkate alınmıştır. Bu deneye tabi tutulan kaya bloklarının her biri 40-60 g olmak üzere toplam 400-600 g ağırlığında, küresele yakın (eş boyutlu) olacak şekilde ve köşeleri yuvarlatılmış 10 adet kaya örneği hazırlanmış ve 105°C’lik sıcaklıktaki etüvde 24 saat kurutulduktan sonra 20 dakika soğumaya bırakılmıştır. Islanma kuruma çevrim aşamalarında örneklerin toplam kuru kütleleri hassas terazi ile ölçülmüştür. Olabildiğince küresele yakın hazırlanan kaya örnekleri tambura konulmuş ve tamburun içerisinde bulunduğu teknenin içerisi tambur ekseninin 20 mm altına kadar damıtık su ile doldurulmuştur. Bu tamburlar 10 dakika süreyle 20 dev/dak hızla suyun içerisinde döndürülen örnekler (Şekil5.13) bu işlemde sonra tambur teknedeki çıkartılmış ve etüvde 16 saat kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Bu tez çalışmasında önceki çalışmalarda çevrim sayıları konusunda yapılan öneriler dikkate alınarak 4. çevrime kadar suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her çevrim sonrası tambur içerisinde kalan kaya parçalarının kuru kütlesi başlangıç kaya parçalarının kuru kütesine oranının yüzde olarak ifadesiyle suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_d) değerleri tespit edilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucu

elde edilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri Çizelge 5.8’de verilmiş olup, derlenen kil içeren kayaların çevrim sayısının artışına bağlı olarak suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinde meydana gelen değişim grafikleri ise Şekil 5.14’te gösterilmiştir. Önceki çalışmalarda da vurgulandığı gibi, tambur içerisinde kalıp duraylı olarak değerlendirilen kil içeren kayaların önemli oranda parçalandığı bu tez çalışmasında da tespit edilmiştir (Şekil 5.15 ve Şekil 5.16).



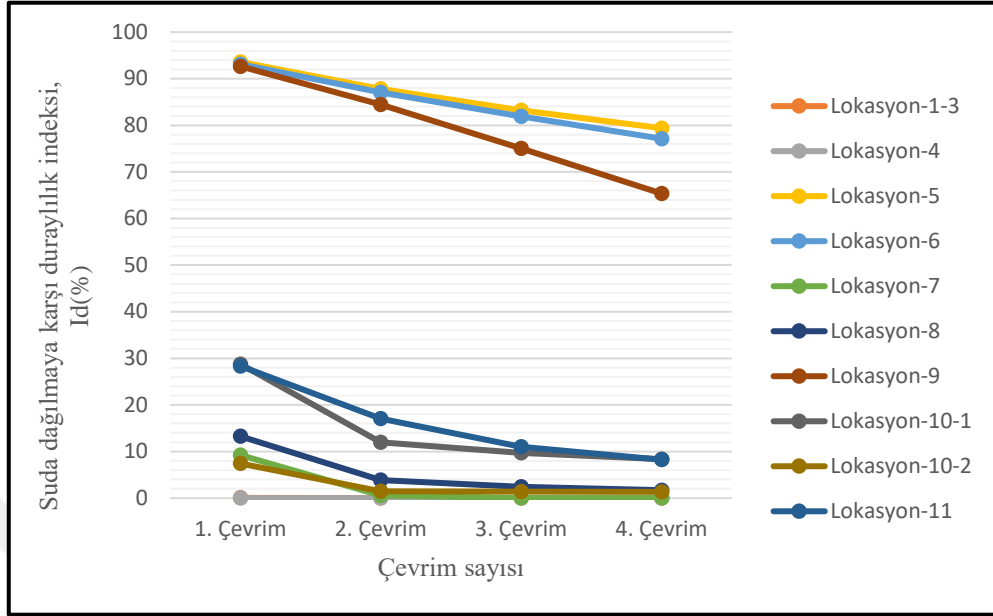
Şekil 5.13. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde kullanılan cihazdan bir görünüm.

Çizelge 5.8. Kil içeren kayaların farklı çevrimlerde elde edilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri (I_d).

Lokasyon No	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}
L 1-3	0.06	*	*	*
L 4	**	*	*	*
L 5	93.58	87.79	83.23	79.38
L 6	93.11	87.04	81.91	77.12
L 7	9.23	0.59	*	*
L 8	13.26	3.87	2.44	1.70
L 9	92.64	84.41	75.05	65.35
L 10-1	28.76	12.00	9.70	8.36
L 0-2	7.42	1.46	1.40	1.34
L 11	28.34	17.04	10.98	8.25

*: tamburda örnek kalmayacak şekilde dağılma gerçekleşti,

** : ISRM (1981) standardına uygun örnek alınamayacak kadar dağılma gerçekleşti.



Şekil 5.14. Çevrim sayısının artışına bağlı olarak suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerinde meydana gelen azalım grafikleri.

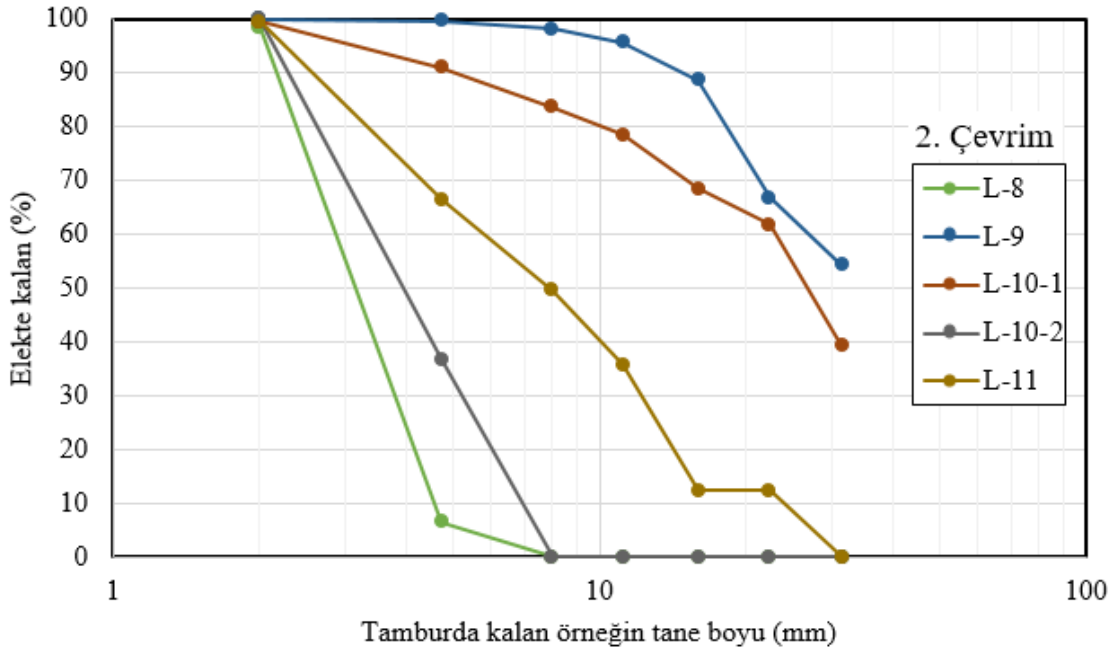


Şekil 5.15. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde örneklerin 2. çevrim sonrasındaki görüntüleri.

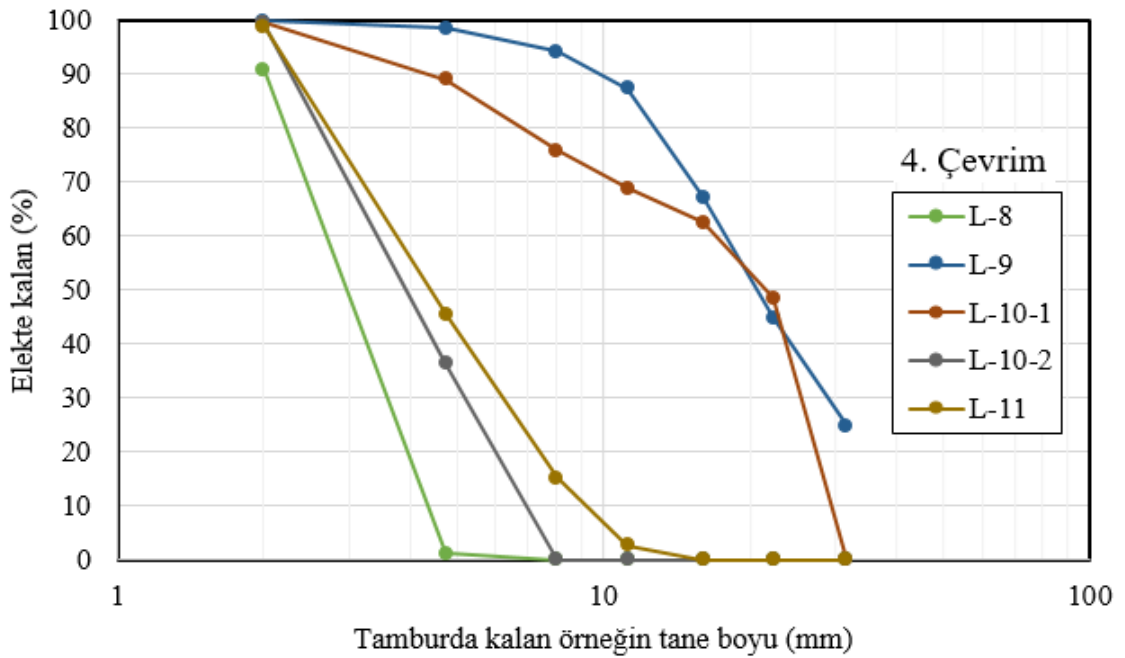


Şekil 5.16. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde örneklerin 4. çevrim sonrasındaki görüntüleri.

2. ve 4. çevrimler sonrasında suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneylerinde tamburda kalan ve farklı oranlarda parçalanma gösteren örneklerin 31.50mm, 22.40mm, 16.00mm, 11.20mm, 8.00mm, 4.75 mm ve 2.00 mm açıklıklara sahip elekten oluşan elek takımı kullanılarak parçalanmanın tane boyu değişim grafikleri hazırlanmıştır. Tamburlarda kalan parçalanmış numunelerin 2. ve 4. çevrim için tane boyu değişim grafikleri sırasıyla Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de verilmiştir. Ergüler ve Shakoor (2009) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi kullanılan örnekler için belirlenen “dağılma oranı” değerleri Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 kullanılarak belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 5.9’ da verilmiştir.



Şekil 5.17. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin 2. Çevrimi sonrası tamburda kalan parçalanmış örneklerin tane boyu değişim grafiği.



Şekil 5.18. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin 4. Çevrimi sonrası tamburda kalan parçalanmış örneklerin tane boyu değişim grafiği.

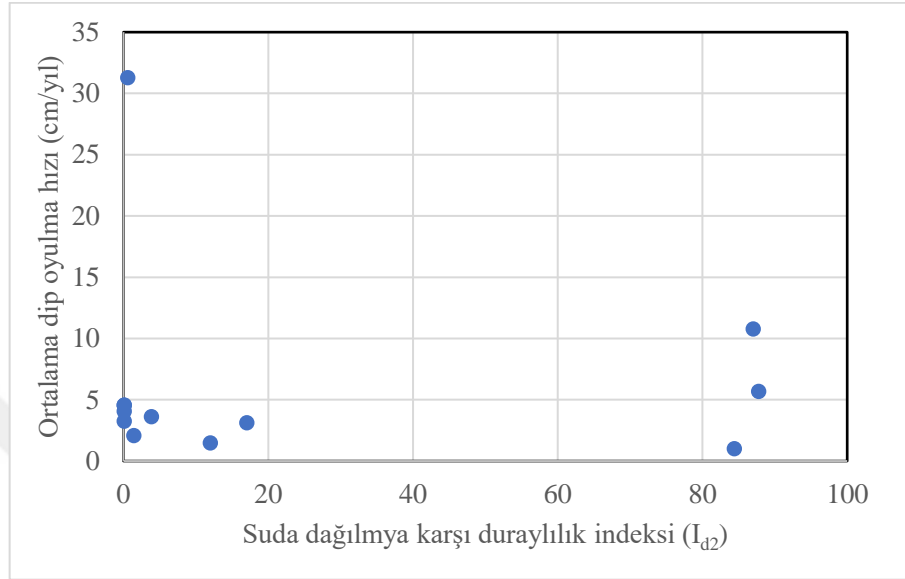
Çizelge 5.9. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneylerinin (Id) 2. ve 4. çevrimden sonra oluşan parçalanmanın elek analizi sonuçlarına göre dağılma oranı ($D_{R(slake)}$) değerleri.

Lokasyon No	Kaya Türü	Toplam Alan	2.çevrim		4.çevrim	
			Alan	D_R	Alan	D_R
L 8	Kil	66.91	11.36	0.17	9.71	0.15
L 9	Tüfit	66.91	60.74	0.91	54.76	0.82
L 10-1	Marn	66.91	53.56	0.80	48.51	0.73
L 10-2	Kiltaşı	66.91	16.69	0.25	16.72	0.25
L 11	Tüfit	66.91	31.92	0.48	20.01	0.30

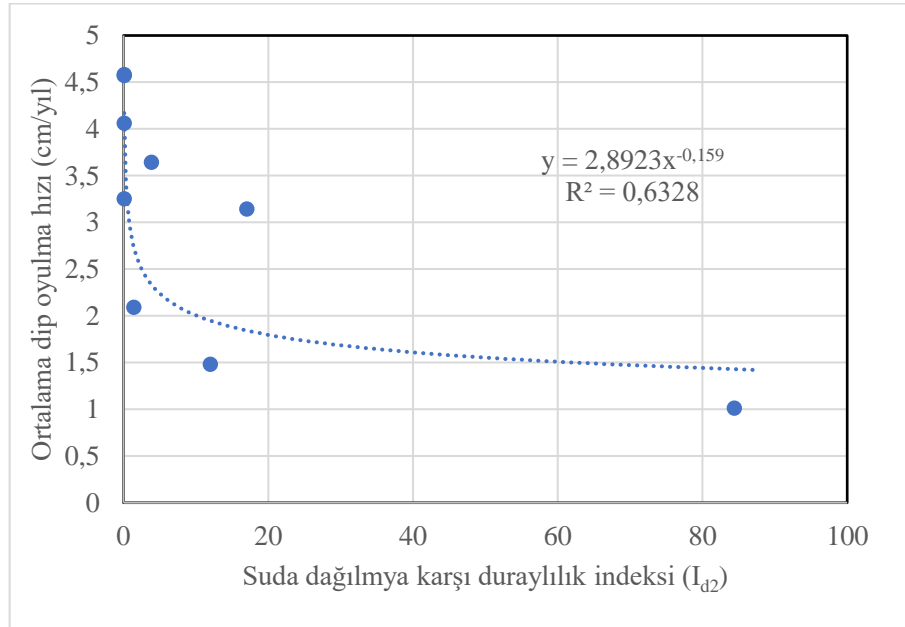
5.6. Kil İçeren Kayaların Dip Oyulma Hızının Görgül Yaklaşımlarla Belirlenmesi

Önceki çalışmalarda (Shakoor ve Rogers, 1992) kil içeren kayaların dip oyulma hızı ile bu kayaların kil mineralojisi ve plastisite özellikleri gibi parametreleri ile 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. Shakoor ve Rogers (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 olduğunu vurgulamıştır. Önceki çalışmalarda elde edilen bu sonuçlar dikkate alınarak, bu çalışma kapsamında kil içeren kayaların ortalama dip oyulması hızı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki kazı tarihi ve çivi ölçümleri dikkate alınarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de sunulmuştur. Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 karşılaştırıldığında, kazı tarihleri dikkate alınarak hesaplanan dip oyulma hızı değerlerinin genel değişimi çok etkilediğini ve bu verilerin yeterince hassas olmadıkları anlaşılmaktadır. Kazı tarihinden hesaplanan dip oyulma hızı değerleri ihmal edildiğinde, dip oyulma hızı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri arasında zayıfta olsa bir ilişkinin varlığı saptanmıştır. R^2 (determinasyon katsayısı) değeri kullanılarak yapılan çalışma sonucunda aralarındaki ilişki ortaya konulmuştur. Determinasyon katsayısı, oluşturulan grafiğin doğruluğunun göstergesidir ve ne kadar iyi açıkladığının bir ölçüsüdür(Şekil 5.20). 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

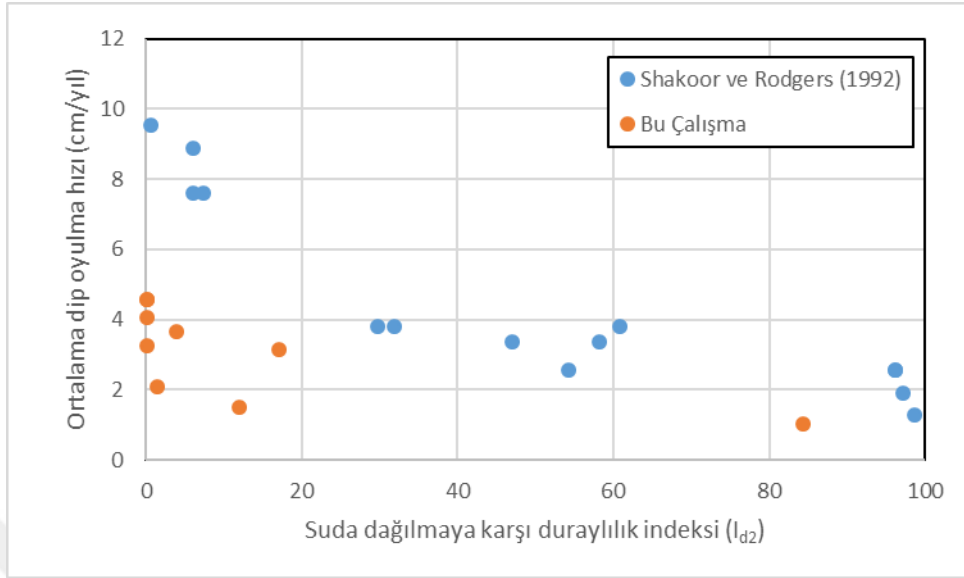
değişim grafiği Şekil 5.21’de verilmiştir. Bu şekilde de açıkça anlaşılacağı üzere $I_{d2} < 20$ koşulunda dip oyulma hızı değerleri oldukça geniş aralıkta dağılım göstermektedir.



Şekil 5.19. 2. Çevrim sonucu belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerinin kazı tarihi ve çivi ölçümlerinden alınan bütün ortalama dip oyulma hızı değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.20. 2. Çevrim sonucu belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerinin sadece çivi ölçümlerinden alınan ortalama dip oyulma hızı değerleri arasındaki ilişki.

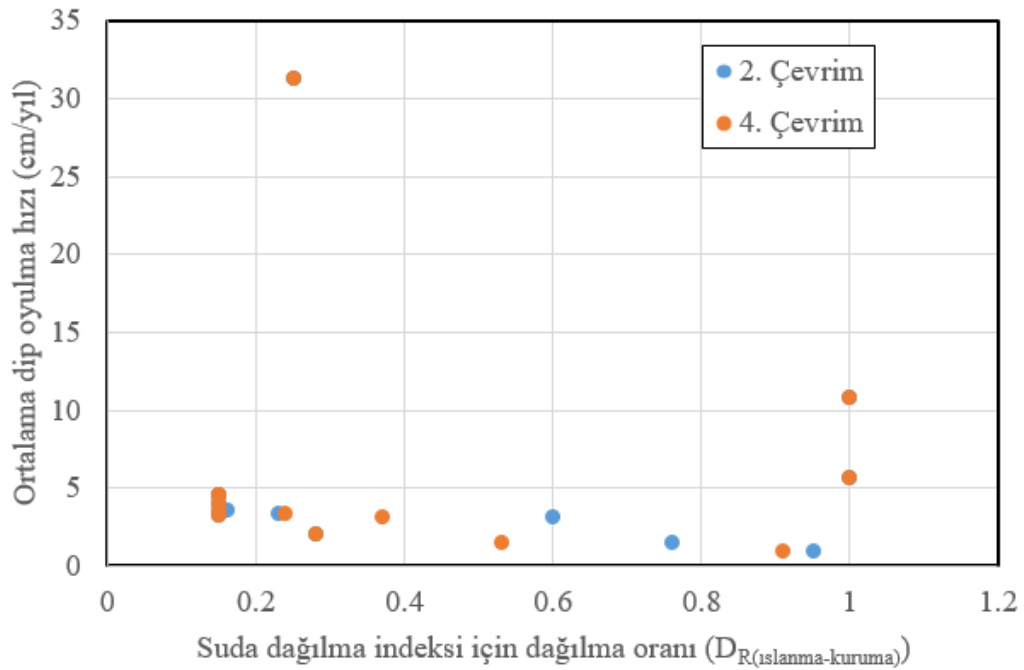


Şekil 5.21. Bu çalışma ve Shakoor ve Rodgers (1992) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan alınan ve 2. çevrim sonucu belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerinin ortalama dip oyulma hızı değerleri arasındaki ilişki.

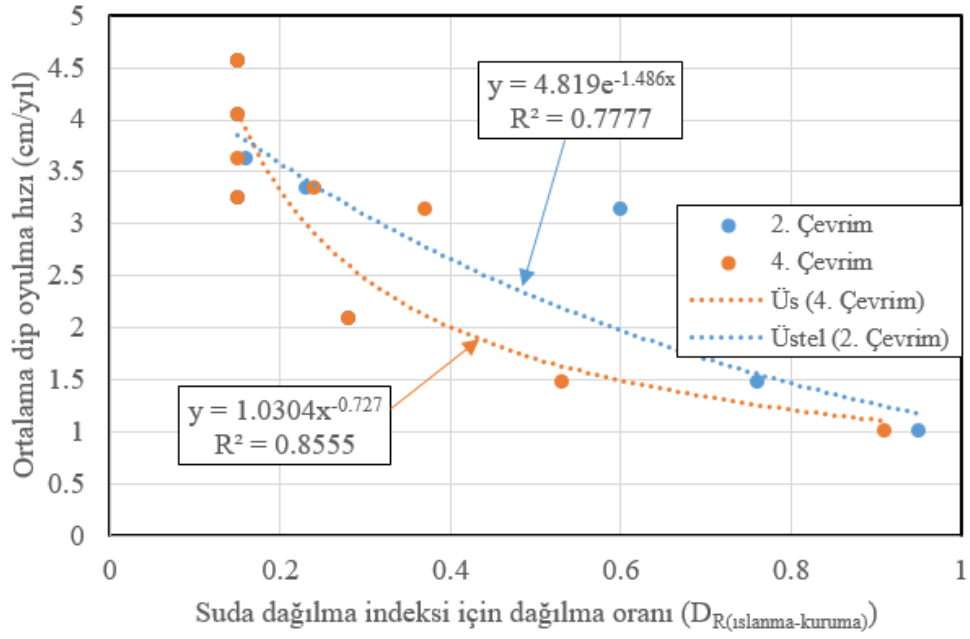
İslanma-kuruma çevrimleri sonucunda kil içeren kayaların dağılma özelliklerinin incelenmesi için sadece tek bir açıklıkla (2mm) sınırlı kalmayıp dağılmanın tamamını dikkate alan dağılma eğrileri oluşturulmuştur. Kil içeren kayaların suda dağılma davranışının belirlenmesinde, bu eğrilerin tamamının dikkate alınması önemli olabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle, suda dağılma indeksi deneyleri sonucu belirlenen “dağılma oranı” değerleri hem kazı tarihi ve hem de çivilerden alınan ölçümler dikkate alınarak belirlenen ortalama dip oyulma hızı değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.22). Şekil 5.22’de de açıkça anlaşılacağı üzere, kazı tarihleri dikkate alınarak hesaplanan ortalama dip oyulma hızı değerleri hatalı sonuçlar doğurmaktadır. Bu nedenle söz konusu bu veriler ihmal edilerek sadece çivilerden belirlenen dip oyulma hızı değerleri dikkate alındığında istatistiksel olarak anlamlı bir değişim grafiği elde edilmektedir (Şekil 5.23). Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sonucu belirlenen “dağılma oranı” değerlerinin ortalama dip oyulma hızı değerleri ile değişim grafiği ise Şekil 5.24’te verilmiştir. Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’te verilen analizler dikkate alındığında, suda dağılma indeksi, diğer bir ifadeyle ıslanma-kuruma ile yapılan deney sonucu elde edilen verilerin kil içeren kayaların suda dağılma davranışının daha iyi temsil ettiği açıkça anlaşılmaktadır.

Suda dağılma indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranı ile sadece çivi ile alınan ortalama dip oyulması oranı arasındaki ilişki incelendiğinde R^2 'nin 2. çevrimde 0,7777, 4. çevrimde 0,8555 olup, 4. çevrimde çok daha güçlü bir istatistiksel bağıntı söz konusudur. Suda

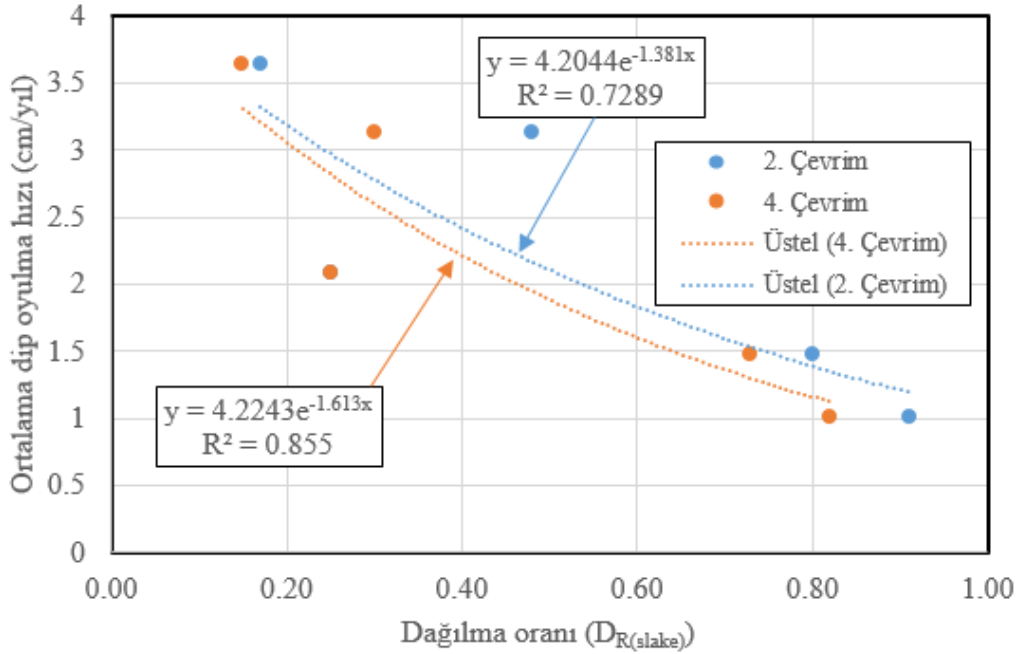
dağılma indeksi deneyi sonrası dağılma oranı değeri düşük olan birimlerde dike yakın bir eğim göstermekte iken, dağılma oranı değeri yüksek olan birimlerde daha paralele yakın eğim gözlemlenmektedir. Suda dağılma indeksi deneyi sonrası dağılma oranı düşük olan kil içeren kayaların dip oyulma hızında artış söz konusudur (Şekil 5.23). Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranı ile sadece çivi ölçümlerinden alınan bütün ortalama dip oyulma hızı arasındaki ilişkide ise 2. çevrimde R^2 'nin 0,7289, 4. çevrimde ise 0,855 olup yine suda dağılma indeksi deneyi sonucundaki gibi 4. çevrimde R^2 daha yüksektir. 2.çevrim ve 4.çevrim sonucundaki oluşan eğrilere göre suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sonrası dağılma oranı düşüğe dip oyulması hızında ciddi bir artış gözlemlenmektedir (Şekil 5.24).



Şekil 5.22. Suda dağılma indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranı ($D_{R(ıslanma-kuruma)}$) ile kazı tarihi ve çivi ölçümlerinden alınan bütün ortalama dip oyulma hızı arasındaki ilişki.



Şekil 5.23. Suda dağılma indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranı ($D_{R(ıslanma-kuruma)}$) ile sadece çivi ölçümlerinden alınan ortalama dip oyulma hızı arasındaki ilişki.



Şekil 5.24. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranı ($D_{R(slake)}$) ile çivi ölçümlerinden alınan bütün ortalama dip oyulma hızı arasındaki ilişki.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında dip oyulmasından dolayı meydana gelen şev duraysızlıkları dikkate alınarak Kütahya, Eskişehir ve Afyonkarahisar illerinden seçilen on bir ayrı sahadaki yol kazı şevleri incelenmiş ve çalışmalar yapılmıştır. 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 amaçlar doğrultusunda kazı tarihi bilinen karayolu şevleri seçilmiştir. Ayrıca, söz konusu bu şevlerdeki kil içeren kayalarda meydana gelen dip oyulma hızının daha doğru tespitinin sağlanması için uygun noktalara çiviler yerleştirilerek farklı zaman aralıklarında bu çiviler kullanılarak dip oyulma derinlikleri ölçülmüş ve ölçüm noktalarında laboratuvar deneyleri için örnekler derlenmiştir. Karayolu şevlerinde ölçülen bu dip oyulma derinlikleri hesaplanarak kil içeren kaya birimleri için dip oyulma hızı değerleri tespit edilmiştir. Alınan numunelerde kavanozda dağılma, dağılma indeksi, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, Atterberg limitleri, kuru birim hacim ağırlık, iğne batma ölçer deneyleri yapılmıştır. Bu tez çalışmasında, arazide yapılan çalışmalar ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yapılan değerlendirme ve analizlerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Dip oyulması hızı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki kazı tarihleri ve çivi ölçümleri değerleri incelenmiş olup, kazı tarihleri dikkate alınarak hesaplanan dip oyulma hızı değerlerinin genel olarak değişimi çok etkilediğini ve bu verilerin yeterince hassas olmadıklarını göstermektedir. Kazı tarihi dikkate alınmadan sadece çivi ölçümlerinden alınan ortalama dip oyulma hızı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değeri arasında ise zayıf bir ilişki söz konusudur. Shakoov ve Rodgers (1992)'ın yaptığı çalışmada suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile dip oyulma hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağıntı olduğu vurgulanmıştır. Bu araştırmacılar özellikle suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değeri (I_{d2}) %30'un altında olan kil içeren kayaların dip oyulma hızlarının tahmininde I_{d2} 'nin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışma ile tez çalışmamızı karşılaştırdığımızda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile ortalama dip oyulma hızı değerleri sonucunda $I_{d2} < 20$ koşulunda dip oyulma hızının geniş aralıkta dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Dip oyulması hızının hesaplanmasında kazı tarihi dikkate alınmadan sadece çivi ölçümlerinden yararlanılması önerilmektedir.
2. Önceki çalışmalarda belirtildiği gibi birçok kil içeren kaya birimlerinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sırasında yoğun bir şekilde parçalanmakta ve bu parçalar

tambur eleğini geçmemesi nedeniyle duraylı olarak değerlendirilmektedir. Bu sorunun aşılması için literatürde “Dağılma oranı (D_R)” yaklaşımı önerilmiştir. Bu çalışmada kil içeren kayaların ıslanma kuruma sonucunda dağılma özelliğinin incelenmesinde dağılmanın sadece tek bir açıklıkla (2mm) ile sınırlı kalmadan dağılmanın tamamı dikkate alınmış olup, suda dağılma indeksi deneyi sonrası belirlenen dağılma oranları ile kazı tarihi ve çivi ölçümlerinden yararlanarak belirlenen ortalama dip oyulma hızı değerleri istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Kazı tarihleri ile hesaplanan ortalama dip oyulma hızlarının hassas olmadığı tespit edilmiş olup, sadece çivi ölçümlerinden elde edilen değerlerle dip oyulma hızı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Elde edilen bu sonuç, suda dağılma indeksi deneyi sonucunun kil içeren kayaların suda dağılma davranışının daha iyi temsil ettiğini göstermektedir. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sonuçlarında ise sadece çivi ile yapılan ölçüm değerleri sonucunda dağılma oranı düştükçe dip oyulma hızında ciddi bir artış söz konusu olmuştur.

3. Atterberg limitleri ile dip oyulma hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağıntı elde edilememiştir.
4. Admassu vd. (2012) yapmış olduğu çalışmada, dipten oyulmuş kaya biriminin şev yüksekliğine göre konumunun, dip oyulmasının toplam derinliğini etkilemede en önemli faktör olduğunu ve bunu takiben dipten oyulmuş kaya birimindeki eklem aralıklarının izlediğini belirtmişlerdir. Bunun nedeninin ise kazı şevinin üst kısmındaki dipten oyulmuş ve dipten oyan kaya birimleri arasındaki temaslar boyunca, alt kısımda daha fazla miktarda yeraltı suyu akmasından dolayı kazı şevinin üst kısmında daha büyük bir dip oyulması derinliğinin meydana gelmesidir. Daha yakın eklem aralığına sahip dipten oyulmuş birimler daha yüksek geçirgenliğe sahip olduğundan, daha fazla yeraltı suyu sızdırdığından dolayı dip oyulması derinliğinin fazla olduğunu belirtmişlerdir. Tez çalışmamıza göre Admassu vd. (2012) ‘nin yapmış olduğu çalışmada eklem aralığı fazla olan dipten oyulmuş birimlerde dip oyulması derinliği daha az olması gerekirken çalışmamızda dipten oyulmuş birimlerde eklem aralığı fazla olan birimlerde daha fazla dip oyulma derinliği söz konusu olup, atmosferik koşulların dağılma üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.
5. Kil içeren kayaların suda dağılma karakteristiklerini incelemek için arazi koşullarındaki çalışmalarımız dikkate alınarak, iklim koşullarının dip oyulma hızına etkisi incelenmek amacıyla farklı illerde çalışmalar yapılmış olup yıllık en fazla yağış alan (561,7 mm) Kütahya’daki birimlerde ortalama dip oyulma hızının, Kütahya’dan daha az yağış alan

Eskişehir (364,84 mm) ve Afyonkarahisar (369,66 mm)'a göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Kil içeren kayalarda yağışın fazla olduğu bölgelerde su içeriği artacağından, dayanımları azalır buna bağlı olarakta dağılmanın söz konusu olacağından dip oyulma hızında artış söz konusu olabileceği tespit edilmiştir.

6. 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 gözlenmemiştir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdulaziz, A. (1986). Geotechnical characteristics of shales at the Akkuyu II (Çamalanı) nuclear power plant site area Mersin-Turkey. Master's Thesis, Middle East Technical University, Geological Engineering Department, 277s.
- 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.
- Ak, H. (2006). Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yönsel değişiminin araştırılması. Doktora Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniv. F.B.E. Maden müh. Bölümü.
- Akdeniz, E., Güney, Y., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Ecevitöglü, B., (2011). Temel zemine ait jeo-mühendislik özelliklerinin coğrafi bilgi sistemi kullanılarak değerlendirilmesi: Eskişehir ili Tepebaşı belediyesi'ne bağlı Güllük, Yenibağlar ve Bahçelievler mahalleleri örneği, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Türkiye.
- Akdeniz, N., Konak, N., (1979). "Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi", M.T.A. Raporu, No: 6547.
- Al-Rawas, A., Cheema, T., ve Al-Aghbari, M. (2000). Geological and engineering classification systems of mudrocks. Science and Technology, Special Review, Sultan Qaboos University, 137-155.
- Arık, F., Temur, S. (2003). "Köprüören-Gümüşküy-Yoncalı civarının stratigrafisi", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18/1, 21-36.
- ASTM, (1994). Annual Book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones.
- Atterberg, A. (1911). The Behaviour of Clays with Water, Their Limits of Plasticity and Their Degrees of Plasticity, *Kungliga Lantbruksakademiens Handlingar Och Tidskrift*, 50/2, 132-158.
- Baş, H. (1986). "Domaniç-Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27, 11-18.
- Baş, H. (1983). "Domaniç-Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi", M.T.A. Raporu, No: 7293.
- Bell, F. G. (1994). A survey of the geotechnical properties of some mudrocks of lower Liassic age in the scunthorpe area, Humberside, United Kingdom. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 50, 9-16.
- Bell, F.G., ve Lindsay, P. (1998). Durability of shales of the Pietermaritzburg Formation, greater Durban area, South Africa. Proceedings of the 8th International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam, 275-282.
- Bell, F.G., Entwisle, D.C., ve Culshaw, M.G. (1997). A geotechnical survey of some British coal measures mudstones, with particular emphasis on durability. *Engineering Geology*, 46, 115-129.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Beyhan, S. (2008). G. L. İ ve E. L. İ marn kaya malzemelerinin üç eksenli basınç dayanımına bağlı özelliklerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Blatt, H., Middleton, G., ve Murray, R. (1972). Origin of Sedimentary Rocks. Prentice- Hall, Englewood Cliffs, USA, 634 s.
- Botts, M.E. (1986). The effects of slaking on the engineering behavior of clay shales. PhD thesis, University of Colorado, Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, 262 s.
- Colback, P. S. B., ve Wild, B. L. (1965). The influence of moisture content on the compressive strength of rocks. Proceedings of the 3rd Canadian Symposium of Rock Mechanics, 65-83.
- Cripps, J. C. ve Taylor, R. K. (1981). The engineering properties of mudrocks. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 14, 325-346.
- Davis, G. H., ve Reynolds, S. J. (1996). Structural Geology of Rocks and Regions. Second edition. John Wiley & Sons, Inc., USA, 776 s.
- Deo, P. (1972). Shales as embankment materials. PhD Thesis, Purdue University, West Lafayette, 201s.
- Devlet Meteoroloji İşleri (DMI). (2019).
- Dhokal, G., Yoneda, T., Kato, M. ve Kaneko, K. (2002). Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks, *Engineering Geology*, cilt.65, s. 31-45.
- Dick, J. C. ve Shakoor, A. (1992). Lithological controls of mudrock durability. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 25, 31-46.
- Dick, J. C., Shakoor, A. ve Wells, N. (1994). A geological approach toward developing a mudrock-durability classification system. *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 17-27.
- DSİ 18. Bölge Müdürlüğü. (2017). Kayıhan Göleti ve Sulama Projesi Kil Malzeme Ocağı, Proje Tanıtım Dosyası, Afyonkarahisar.
- Ergüler, Z. A. (2007). Su içeriğinin kil içeren kayaların mühendislik davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ergüler, Z.A. ve Ulusay, R. (2009). Water-induced variations in mechanical properties of clay-bearing rocks.
- Ergüler, Z. A., Shakoor, A. (2009). Quantification of fragment size distribution of clay-bearing rocks after slake durability testing.
- Folk, R. L. (1968). Petrology of Sedimentary Rocks. Austin, Texas, *Hemphill's Bookstore*, 170 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Fookes, P. G. ve Sweeney, M. (1976). Stabilization and control of rock falls and degrading slopes: *Quarterly journal of engineering geology*, C.9, s.37-55.

Franklin J. A. (1981). A shale rating system and tentative applications to shale performance. *Transportation Research Record*, 790, 2-12.

Franklin, J. A., ve 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

Gökçeoğlu, C. (1997). Killi, yoğun süreksizlik içeren ve zayıf kaya kütlelerinin mühendislik sınıflamalarında karşılaşılan güçlüklerin giderilmesine yönelik yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 168 s.

Gökçeoğlu, C. , Ulusay, R. ve Sönmez, H. (2000). Factors effecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis om the influence of the number of drying and wetting cycles, *Engineering Geology*, cilt 57, s. 215-237.

Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. ve Sönmez, H. (2000). Factors affecting 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. ve Küçükayman, A. (1985). Eskişehir Civarının Jeolojisi ve Sıcak Su Kaynakları, *MTA Dergisi*, 103(104), 40-45.

Gözler, M. Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H. J. (1996). Orta Sakarya ve Güneyi'nin Jeolojisi, MTA Rapor No: 9973, Ankara, 87 s.,

Gözler, Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H. J. (1997). Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Rapor No. 9973, Ankara.

Grainger, P. (1984). The classification of mudrocks for engineering purposes. *Quaternary Journal of Engineering Geology*, 17, 381-387.

Hsu, S. C. ve Nelson, P. P. (2002). Characterization of Eagle Ford shale. *Engineering Geology*, 67, 169-183.

Hsu, S. C. ve Nelson, P. P. (1993). Characterization of cretaceous clay shales in North America. *Proc. Geotech. Eng. Hard Soils Soft Rocks*, Athens, Greece, Balkema, Rotterdam, C.2, 139-146.

<http://maps.google.com>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

http://www.bagev.org.tr/bati-akdeniz-bolge-si-detay_afyonkarahsar-226235604.html

<http://www.eskisehir.kultur.turizm.gov.tr/TR-111593/iklim-ve-bitki-ortusu.html>

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

ISRM, 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211s.

Kapan-Yeşilyurt, S. (2000). “İzmir-Manisa-Kütahya yöresi Neojen stratigrafisi ve mollusk faunası”, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 187s.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2019).

Kaya, O. (1972). “Tavşanlı yöresi ofiyolit sorununun ana çizgileri”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 15, 26-108.

Koçyiğit, A., Bozkurt, E. (1997). “Kütahya-Tavşanlı Çöküntü Alanının Neotektonik Özellikleri”, *TUBİTAK Araştırma Projesi*, No: YDABÇAG-126, 78s.

Koncağül, E. C. ve 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.

Kramadibrata, S., Rai, M. A., Simangunsong, G.M. ve Arif, I. (2004). The influence of water content on strength characteristic of sandstone subject to triaxial test. *Minergy News*, <http://www.minergynews.com/opinion/morgan.shtml>, Mayıs (2004).

Lashkaripour, G. R. (2002). Predicting mechanical properties of mudrock from index parameters. *Bulleting of Engineering Geology and the Environment*, 61, 73- 77.

Lashkaripour, G. R. ve Nakhaei, M. (2001). A statistical investigation on mudrocks characteristics. *Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK'2001: Rock Mechanics, a Challenge for Society*, P. Särkkä and P. Eloranta (eds.), 131-136.

Maruto Corporation, Penetrometer for soft rock: Model SH-70 Instruction Manual, Tokyo, Japan, (2006).

McClure, J. G. (1981). Physiochemical investigation of shale slaking: Unpublished PhD dissertation, department of civil engineering, University of California, Berkeley, CA, 314s.

Metin, S., Genç, İ., Bulut, V. (1987). Afyon ve dolayının jeolojisi, M.T.A. Rapor No 2113, Ankara.

Mimuro, T., Yamauchi, M., Watanabe, K. ve Denda, A. (1991). Deterioration of mechanical properties of Neogene sedimentary soft rocks. *Pocceedings of the International Congress on Rock Mechanics, ISRM, C.1*, 299 – 302.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Mitchell, J. K. (1993). *Fundamentals of Soil Behavior*. John Wiley & Sons, New York, 437s.

Moon, V. G. ve Beattie, A. G. (1995). Textural and microstructural influence on the durability of Waikato coal measures mudrocks. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, 303-312.

Morgenstern, N. R. ve Eigenbrod, K. D. (1974). Classification of argillaceous soils and rock, *Journal of Geotechnical Engineering Division*. ASCE, 100, 1137- 1156.

Moriwaki, Y. ve Mitchell, J. K. (1977). The role of dispersion in the slaking of intact clay. In: *Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects*, J. L. Sherard, and R. S. Decker (eds.), 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 & Engineering Geoscience*, C. XV, No. 3, August 2009, s.117-131.

Oakland, M. W. ve Lovell, C. W. (1985). Building embankments with shale. In asworth, Eileen (editör), *research and engineering applications in rock masses: 26th symposium on rock mechanics*, Rapid City, SD, s.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, Eskişehir.

Özburan, M. (2009). Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özmen, H. B., Pekkan E. ve Güney Y. (2014). “Eskişehir Yerleşim Yerinin Deprem Etkisi Altında Yerel Zemin Davranışlarının Belirlenmesi”, *67. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, MTA, 14-18 Nisan (2014).

Peckover, F. L. ve Kerr, J. W. G. (1977). Treatment and maintenance of rock slopes along transportation routes: *Canadian Geotechnical Journal*, C.14, s.487-507.

Pettijohn, F. J. (1957). *Sedimentary Rocks*. 2nd edition, Harper and Row, New York, 183s.

Potter, P. E., Maynard, J. B. ve Pryor, W. A. (1980). *Sedimentology of Shale*. Springer-Verlag, New York, 553s.

PRISM GROUP. (2006). Oregon State University: Electronic document, available at <http://www.prism.oregonstate.edu>

Purnell, D. G. ve Netterberg, F. (1975). Mudrock in road construction: a review. *Proceedings of the Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Durban, South Africa, 43-48.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Ulusay, R. ve Hudson, J. A. (ed.). (2007). Suggested Methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628.

Rib, H. T. ve Liang, T. (1978). Recognition and identification. In Schuster, Robert L. And Krizek, Raymond J. (editors), Landslides: Analysis and control, transportation research board special publication no.176, National Academy of Sciences, Washington, DC, Chapter 3, s.34-80.

Sadisun, I. A., Shimada, H., Ichinose, M. ve Matsui, K. (2005). Study on the physical disintegration characteristics of Subang claystone subjected to a modified slaking index test. *Geotechnical and Geological Engineering*, 23, 199–218.

Santi, P. M. (1995). Classification and Testing of Weak and Weathered Rock Materials: A Model Based on Colorado Shales. Unpublished PhD. Dissertation, Colorado School of Mines, Golden, CO, 286s.

Santi, P. M. (1998). Improving the jar slake, slake index, and slake durability tests for shales. *Environmental and Engineering Geoscience*, IV(3), 385-396.

Shakoor, A. ve Brock, D. (1987). Relationship between fissility, composition, and engineering properties of selected shales from northeast Ohio: *Bulletin of the association of engineering geologists*, C. XXIV, No.3, s.363-379.

Shakoor, A. ve Rodgers, J. P., (1992). Predicting the rate of shale undercutting along highway cuts, *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, C.XXIX, No. 1, s.61-75.

Shakoor, A. ve Weber, M. W. (1988). Role of shale undercutting in promoting rock falls and wedge failures along Interstate 77: *Bulletin of the association of engeneering geologists*, C.XXV, no:2, s.219-234.

Sowers, G. F. ve Royster D.L. (1978). Field investigations, in Schuster, Robert L. And Krizek, Raymond J., Landslides: Analysis and control, transportation research board special publication no.176, National Academy of Sciences, Washington, DC, Chapter 2, s.11-33.

Spears, D. A. (1980). Towards a classification of shales. *Journal of the Geological Society London*, 37, 125-129.

Spears, D. A., Taylor, R. K. ve Till, R. (1970). A mineralogical investigation of a spoil heap at Yorkshire Main Colliery. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 3, 239-252.

Stollar, R. L. (1976). Geology and some engineering properties of near-surface Pennsylvanian shales in Northeast Ohio: Unpublished MS thesis, Department of Geology, Kent State University, Kent, OH, 36s.

Sumner, P. ve Werner, N. (2002). The effect of rock moisture on Schmidt hammer rebound: Tests on rock samples from Marion Island and South Africa. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 1137-1142.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- T.C. Afyonkarahisar Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2018). Afyonkarahisar İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu.
- T.C. Eskişehir Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2016). Eskişehir İli 2015 Yılı Çevre Durum Raporu.
- T.C. Kütahya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2018). Kütahya İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu.
- Taylor, R. K. (1988). Coal Measures mudrocks: composition, classification and weathering processes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 21, 85-99.
- Taylor, R. K. ve Spears, D. A. (1970). The breakdown of British coal measures rocks. *International Journal Rock Mechanics and Mining Science*, 7, 481-501.
- Taylor, R. K. ve Spears, D. A. (1981). Laboratory investigation of mudrock. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 14, 291-309.
- Thornbury, W. D. (1954). Principles of geomorphology: John Wiley and Sons, New York, NY, 618s.
- Tokay, F. ve Altunel, E. (2005). Eskişehir fay zonunun İnönü-Dodurga çevresinde neotektonik özellikleri, *MTA Dergisi*, 130/1-16.
- Tolluoğlu, Ü., Erkan, Y., Sümer, E. Ö., Boyacı, M. N., Yavaş, F. (1997). Afyon metasedimanter grubunun Mesozoyik öncesi metamorfik evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 40, 1-17, Ankara.
- Ulusay, R., Erguler, 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.
- Van Eeckhout, E. M. ve Peng, S. S. (1975). The effect of humidity on the compliances of coal mines shales. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics. Abstracts*, 12, 335-340.
- Wentworth, C. K. (1922). Geology. W.C. Putnam, Oxford University Press Inc. NY.
- Wood, L. E. ve Deo, P. (1975). A suggested system for classifying shales materials for embankments. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 12(1), 39-55.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı soyadı : Semiha ÖZDEMİR
Doğum tarihi ve yeri : 1986 Eskişehir
E-mail : sozdemir1986@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Dumlupınar Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü	2019
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü	2009
Lise	Yunus Emre Süper Lisesi	2004

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2009	Ata 3 Bursa Yapı Denetim Ltd. Şti.	Jeoloji Mühendisi
2014	Türk Ekonomi Bankası A.Ş. (TEB)	Yetkin Müşteri Temsilcisi
2016	Sözdemir Mimarlık Mühendislik Ltd. Şti.	Jeoloji Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce