

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KTÜ (TRABZON) MERKEZ KAMPÜSÜNDE ÇEVRE DÜZENLEMESİ İÇİN
KULLANILAN DUVAR YAPI TAŞLARININ MÜHENDİSLİK ZAMANDA
AYRIŞMASI VE AYRIŞMA DURUMUNUN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zehra Hatun USTURBELLİ

AĞUSTOS 2008

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KTÜ (TRABZON) MERKEZ KAMPÜSÜNDE ÇEVRE DÜZENLEMESİ İÇİN
KULLANILAN DUVAR YAPI TAŞLARININ MÜHENDİSLİK ZAMANDA
AYRIŞMASI VE AYRIŞMA DERECESİNİN BELİRLENMESİ**

Jeoloji Mühendisi Zehra Hatun USTURBELLİ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Jeoloji Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 16.07.2008

Tezin Savunma Tarihi : 11.08.2008

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Şener CERYAN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI



Enstitü Müdür Vekili: Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, KTÜ (Trabzon) Merkez Kampüsünde Çevre Düzenlemesi İçin Kullanılan Duvar Yapı Taşlarının Mühendislik Zamanda Ayrışması Ve Ayrışma Durumunun Belirlenmesi incelenmiştir. Bu çalışma boyunca bilgi, tecrübe ve desteklerini benden esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Şener CERYAN' a içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca KTÜ Araştırma Fonu'na maddi desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Arazi ve büro çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğüm Öğr. Gör. Nurcihan CERYAN ve Yük. Jeoloji Müh. İskender KURT' a teşekkür ederim.

Çalışmamın bir çok aşamasında desteğini gördüğüm Sayın Prof. Dr. Cemil YILMAZ' a ve KTÜ Maden Mühendisliği laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan Prof. Dr. Ayhan KESİMAL' a teşekkür ederim.

Büro çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğüm hocalarım Yrd. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI ve Yrd. Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ' a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım aşamasında bana yardımcı olan Öğr. Gör. Ercan YOZGAT, Arş. Gör. Hatice KADAYIFÇI, Arş. Gör. Ali BABACAN, Arş. Gör. Esra HATİPOĞLU, Arş. Gör. Kamer KUDUN YOZGAT ve İnş. Müh. Emine BAYRAM' a çok teşekkür ederim.

Tüm bu çalışmalar sırasında maddi ve en önemlisi manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama, kardeşlerime ve eşime çok teşekkür ederim.

Zehra Hatun USTURBELLİ

Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER	1
1. 1. Giriş	1
1. 2. İnceleme Alanının Coğrafi Konumu	1
1. 3. Önceki Jeolojik Çalışmalar	3
1. 4. Ayrışma ve Ayrışma Etkilerinin Tanımlanması	5
1. 4. 1. Ayrışma Tanımı ve Türleri	5
1. 4. 2. Mühendislik Zamanda Ayrışma	9
1. 4. 3. Yapıtaşlarının Ayrışabilirliği ve Ayrışma Durumunun Değerlendirilmesi	12
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	17
2. 1. Giriş	17
2. 2. Jeolojik Harita Alımı	17
2. 3. Mineralojik, Petrografik ve Kimyasal Analizler	17
2. 4. İndeks ve Mekanik Deneyler	18
2. 5. Hızlandırılmış Ayrışma Deneyleri	21
3. BULGULAR VE İRDELEME	23
3. 1. Giriş	23

3. 2.	İyidere Taş Ocağı (Rize) ve Çevresinin Litolojik ve Stratigrafik Özellikleri.....	23
3. 2. 1.	Çağlayan Formasyonu	25
3. 2. 2.	Kireçhane Formasyonu	32
3. 2. 3.	Alüvyon	33
3. 3.	İyidere Taşocağından ve KTÜ Ana Kampüsündeki Duvarlardan Alınan Bazalt ve Tüflerin Ayrışma Durumu	33
3. 4.	İyidere Taşocağından ve KTÜ Ana Kampüsündeki Duvarlardan Alınan Bazalt ve Tüflerin Duraylılığı	40
3. 4. 1.	Hızlandırılmış Ayrışma Deneyleri	40
3. 4. 1. 1.	Islanma-Kuruma, Donma Çözülme ve Tuz Kristallenme Deneyleri	40
3. 4. 1. 2.	Boyuna Dalga Hızı Ölçümleri, Suda Dayanım ve Aşınma Deneyleri ...	53
3. 4. 2.	Kaya Mühendislik Sistemiyle Duraylılığın Belirlenmesi	56
3. 5.	Kaya Duraylılık Göstergeleri	63
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	68
5.	KAYNAKLAR	73

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

KTÜ Merkez Kampüsünde çevre düzenlenmesi için 1970 yılında yapılan taş örme duvarlarında kullanılan tüflerin ayrışma durumu ve ayrışabilirliği araştırılmış olup bunların temin edildiği İyidere-İkizdere (Rize) taş ocağından alınan sağlam tüflerin ayrışabilirliği ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; kuru birim hacim ağırlığın % 10, suda dayanım indeksinin % 10.4, boyuna dalga hızının % 12, katı kısmındaki boyuna dalga hızının % 5.6, kalite indeksinin % 4.13 azaldığı, efektif porozite ve porozitenin % 20, Sayısal Ayrışma İndeksinin % 25.4, aşınma miktarının % 45 oranında arttığı belirlenmiştir.

Potansiyel Duraylılık indeksini bulmak için uygulanan Kaya Mühendislik Sistemi'ne göre duraylılığı en fazla etkileyen faktörler sırasıyla, yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri, donma ve çözülme oluşturacak iklimsel koşulların varlığı, hidrolojik koşullar ve nemlilik ile kimyasal bileşim; en az etkileyen faktörler, yapı malzemesinin dayanım ve deformasyon özellikleridir. Yapı taşlarının mühendislik zamandaki performans değişimi ile en fazla etkileşim halinde parametreler; ayrışma durumu ve kimyasal bileşimdir.

Hızlandırılmış ayrışma deneylerinde deneye tabii tutulan örneklerin indeks ve dayanım özelliklerindeki değişim miktarı ile Statik Kaya Duraylılık Göstergesi, Sayısal Ayrışma İndeksi, Potansiyel Duraylılık İndeksi arasında anlamlı istatistiksel ilişkiler bulunmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre; Statik ve Dinamik Kaya Duraylılık göstergeleri yapı taşlarının ayrışmaya, bozunmaya karşı dayanımı ifade etmekte ancak özellikle bu göstergelere göre yapıtaşlarının tanımlanması ve sınıflandırılmasının güvenilirliğini test edebilmek için çok fazla sayıda uygulamaya ihtiyaç vardır. Yapıtaşlarının mühendislik zamandaki ayrışabilirliğinin tahmininde RES'in (kaya mühendislik sistemi) kullanılmasında istenilen faydaların ele edilebilmesi için parametrelerin iyi seçilmesi ve duraylılık sınıflandırmasının diğer uygulamalarla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca Potansiyel Duraylılık İndeksi değerlerine göre yapıtaşlarının tanımlanması ve sınıflaması, farklı kayalarda yapılacak uygulamalardan elde edilen sonuçlara göre yeniden düzenlenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Tüf, Duraylılık, Hızlandırılmış ayrışma deneyleri, Elastik dalga hızı, Kaya duraylılık indeksleri, Kaya mühendislik sistemi

SUMMARY

DETERMINATION OF WEATHERING DEGREE AND WEATHERABILITY OF WALL BUILDING STONE CONSTRUCTED FOR ENVIRONMENTAL RECREATION IN ENGINEERING TIME IN KARADENİZ TECHNICAL UNIVERSITY CENTRAL CAMPUS (TRABZON)

The weathering degree and weatherability of tuffs used construction of the stone walls in 1970 for environmental recreation in KTU central campus were investigated and these determined properties were compared with weatherability of the intact rock samples of tuffs obtained from İyidere-İkizdere quarry in Çağlayan Formation. Considering to the comparison results, decreasing of 10 percent for dry unit weight, 10.4 percent for slake durability, 12 percent for primary wave velocity, 5.6 percent for primary wave velocity in solid part of rock material, 4.13 percent for quality index, 20 percent for effective porosity and porosity and increasing of 25.4 percent for quantitative weathering index, 45 percent for amount of abrasion were found out.

According to the rock engineering system (RES) applied for determination of potential durability index, the most important factors affecting durability are annual average precipitation and temperature, existing of climate conditions affecting on frozen-thaw, hydrogeological conditions, humidity and chemical compound respectively, and the less significant factors affecting durability are deformation and strength properties of building stones.

According to the accelerated weathering test, there are meaningful statistical relationships between the change values of physico-mechanical properties and static rock durability indicator, quantitative weathering index, potential durability index.

According to the results of this study, static and dynamic rock durability indicator are related to the strength of building stones against weathering and alteration. But, considering to these indicators, most of practical tests are needed for classification and description of building stones. To obtain reliable results in the prediction of building stone weatherability in engineering time using RES, the parameters should be selected effectively and durability classification should be performed with other applications.

Key words: Tuff, durability, accelerated weathering tests, seismic wave velocity, rock durability indexes, rock engineering system

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2. Ayrışma, alterasyon kavramlarının ele alınışı ve çalışılan konunun sınırlanması	7
Şekil 3. Kimyasal ayrışma ve ürünleri	9
Şekil 4. Temel hidrolojik zonlarda olası ayrışma süreçleri	11
Şekil 5. KTÜ ana kampusündeki duvarlar (a), bu duvardaki yapı taşlarında ayrışma (b,c,d,e,f) ve İyidere taş ocağından görünüm (g,h).....	24
Şekil 6. İnceleme alanlarının jeolojik haritası.....	26
Şekil 7. Jeolojik haritada AB hattı boyunca elde edilen enine kesit.....	26
Şekil 8. İnceleme alanlarına ait dikme kesit.....	27
Şekil 9. Taşocağı olarak işletilen tüflerde tabakalanma.....	28
Şekil 10. Bazik subvolkaniklerin çatlak yüzeyleri boyunca dereceli alterasyonu...	28
Şekil 11. Çağlayan Formasyonu'ndan alınan bazalt örneklerinde mikrolitik porfirik doku.....	29
Şekil 12. Çağlayan Formasyonu'ndaki andezitlerde görülen mikrolitik porfirik doku.....	30
Şekil 13. İyidere-İkizdere yol şevlerinde yüzeylenen bazik proklastiklerden bir görünüm.....	31
Şekil 14. Kireçhane Formasyonundan genel bir görünüm.....	32
Şekil 15. İyidere taş ocağından alınan litik kristal tüflerin mikroskopta görünümü.....	36
Şekil 16. KTÜ Ana Kampusündeki duvarlardan alınan litik kristal tüflerin mikroskopta görünümü.....	37
Şekil 17. KTÜ Ana Kampusündeki duvarlardan alınan bazalt ve bazaltik vitrik tüfün mikroskopta görünümü.....	38

Şekil 18.	Bazalt ve tuf örneklerde kuru birim hacim ağırlığının ıslanma-kuruma ile değişimi.....	43
Şekil 19.	Bazalt ve tuf örneklerde efektif porozitenin ıslanma-kuruma ile değişimi.....	44
Şekil 20.	Bazalt ve tuf örneklerde porozitenin ıslanma-kuruma ile değişimi.....	45
Şekil 21.	Bazalt ve tuf örneklerde boyuna dalga hızının ıslanma-kuruma ile değişimi.....	46
Şekil 22.	Bazalt ve tuf örneklerde kuru birim hacim ağırlığının donma çözülme ile değişimi.....	48
Şekil 23.	Bazalt ve tuf örneklerde efektif porozitenin donma çözülme ile değişimi.....	49
Şekil 24.	Bazalt ve tuf örneklerde porozitenin donma çözülme ile değişimi.....	50
Şekil 25.	Bazalt ve tuf örneklerde boyuna dalga hızının donma çözülme ile değişimi.....	51
Şekil 26.	2x2 boyutunda etkileşim matrisi.....	56
Şekil 27.	Etkileşim Matrisini'nin Oluşturulması ve Etkileme ve Etkilenme Puanlarının Bulunması.....	57
Şekil 28.	Etkileme-Etkilenme grafiği	58
Şekil 29.	Yapıtaşlarının ayrışabilirliğinin tahmini için oluşturulmuş etkileme-etkilenme grafiği.....	59
Şekil 30.	Yapıtaşlarının duraylılığının tahmini için oluşturulan etkileşim matrisindeki parametrelerin puanlaması.....	60

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Agrega ve kaya malzemesinin duraylılığını etkileyen faktörler	10
Tablo 2. Standart laboratuvar ve arazi deneylerine dayanan ve ayrışma derecelerinin tanımlanmasında kullanılan indeksler	13
Tablo 3. Kimyasal ve optik mikroskop analizlerine dayanan ve ayrışma derecelerinin tanımlanmasında kullanılan indeksler	15
Tablo 4. İyidere ocağından ve KTÜ Kampüsündeki taş duvarlardan alınan bazalt ve tuf örneklerin mikrokırık+boşluk oranı, ikincil mineral oranı, kimyasal ayrışma indeksleri ve fiziksel özellikleri.....	35
Tablo 5. Bazalt ve tüflerde indeks ve dayanım özelliklerinin ıslanma-kuruma ve donma-çözülme deneylerinde değişim miktarı.....	41
Tablo 6. Bazalt ve tuf örneklerde indeks özelliklerin, tek eksenli basınç ve çekme dayanımının ıslanma-kurumayla değişimi (%).....	42
Tablo 7. Bazalt ve tuf örneklerin indeks ve dayanım özelliklerinde donma-çözülme ile meydana gelen değişim miktarı (%).....	47
Tablo 8. Bazalt ve tüflerin indeks ve dayanım özelliklerinde Mg-sülfata dayanım deneyinde meydana gelen değişim miktarı (%).....	52
Tablo 9. İyidere ocağından ve KTÜ Kampüsündeki taş duvarlardan alınan bazalt ve tuf örneklerin boyuna dalga hızı ile ilgili parametreler, ve aşınma değerleri.....	54
Tablo 10. Bazalt ve tüflerde boyuna dalga hızı, kalite indeksi, ayrışma durumu ile ilgili parametre değerleri, sayısal ayrışma indeksi ve aşınma değerleri.....	55
Tablo 11. Yapıtaşlarının duraylılığının tahmini için etkileşim matrisi	58
Tablo 12. Duraylılık indeksine göre yapıtaşlarının sınıflandırılması	61
Tablo 13. Etkileşim Matrisindeki parametrelerin her örnek için ölçülen değerine göre puanlama ve örneklerin duraylılık indeksi.....	62
Tablo 14. Kaya duraylılık göstergelerine göre potansiyel duraylılığın tanımlanması..	64
Tablo 15. İyidere ocağından ve KTÜ kampüsündeki taş duvarlardan alınan bazalt ve tuf örneklerin indeks özellikleri, yeniden düzenlenmiş agrega darbe değeri, dayanım ve deformasyon özellikleri.....	65

1. GENEL BİLGİLER

1. 1. Giriş

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı' nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon Merkez Kampüsünde çevre düzenlenmesi için yapılan taş örme duvarlarında kullanılan tüflerin mühendislik performansı değerlendirilmiştir. Duvarlarda kullanılan tüf önemli derecede ayrıştıkları; parçalandıkları, dağıldıkları ve bu nedenle duvarlarda kullanılan bloklarının yer yer işlevlerini yerine getiremedikleri çıplak gözle bile (Of, RİZE) alınan örneklerin ayrışabilirliği araştırılarak kullanıldıkları süre içindeki mühendislik performansı ile kıyaslanmıştır.

Mühendislik malzemesi olarak kullanılan kayacın, yapı malzemesinin, duraylılığı; yapıtaşının üretiminden kullanıldıkları mühendislik yapısının ömrü boyunca geniş bir zaman aralığında onun orijinal büyüklüğünü, şeklini, dayanımını ve görünüşünü koruyabilmek için ve ayrışmaya karşı direnç yeteneğinin bir ölçüsüdür. (Sims, 1991; Bell, 1980, 1983). Tüflerin duraylılığını belirlemek için kullanılan yöntemlere örnek olarak, doyma katsayısı (Schaffer,1972), ıslak- kuru dayanım oranı (Winkler, 1986), statik kaya durabilite indeksi (Fookes ve diğ., 1988), kaya duraylılık indeksleri (Rodrigues ve Jeremias, 1990) ve ufalanma duraylılık indeksi (Moon, 1993b) gösterilebilir. Bu çalışmada incelenen tüflerin ayrışabilirliğini ve ayrışma durumunu belirlemek için kimyasal ayrışabilirlik indeksi, petrografik indeksler (mikrokırık+boşluk oranı ve ikincil mineral oranı), hızlandırılmış ayrışma deneyleri (ıslanma-kuruma, donma-çözülme deneyleri, Mg sülfata dayanıklılık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, suda dayanım deneyi), boyuna dalga hızı ölçümüne dayanan indeksler, Kaya Mühendislik Sistemi (RES) ve Kaya Duraylılık Göstergeleri kullanılmıştır.

1. 2. İnceleme Alanının Coğrafi Konumu

KTÜ Trabzon Merkez Kampüsünde çevre düzenlenmesi için yapılan taş örme duvarlarında kullanılan tüflerin alındığı taş ocağı Rize ili Of ilçesi İyidere beldesinde İyidere-İkizdere yolu üzerinde bulunmaktadır. İyidere taş ocağı çevresi çalışma alanının

yaklaşık yüzölçümü 25 km² dir. İyidere taş ocağı ve civarını kapsayan inceleme alanının doğusunda Rize ilinin Derepaşarı ilçesi, batısında Trabzon ilinin Of ilçesi, güneyinde Rize'nin Kalkandere ilçesi, kuzeyinde ise Karadeniz sahili vardır (Şekil 1). Çalışma alanında ana ulaşım Trabzon-Rize devlet karayolu ile sağlanmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanına ait yer buldurular haritası

Çalışma sahası Doğu Karadeniz Bölümüne özgü, çok engebeli, sarp bir morfolojiye sahiptir. Yörenin özelliği nedeniyle dağınık bir yerleşim mevcuttur. İnceleme alanının en önemli akarsuyu olan İyidere (İkizdere) Doğu Karadeniz Dağları'nın en yüksek kesimlerinden doğmakta olup, Rize yakınlarında Kaleli' de Karadeniz'e dökülür.

Yağışın bol olması nedeniyle, doğal bitki örtüsünün yoğunluğu ve çeşitliliği dikkat çekicidir. 440' ı bölgeye has ve Türkiye genelinde nadir bulunan 2500 bitki türünün bulunduğu bölgede, dağların alçak kesimlerinde yayvan yapraklı bitkiler, yükseklerde ise

iğne yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlar yaygındır. En çok kayın (1500-1600 m), gürgen (300-600 m), kestane (100-1000 m), ıhlamur, meşe, ladin (1500 m), kızılâğaç (300-1300 m) ve ormangülü (300-2000 m) bulunur. Genellikle 2100 m' yi aşan yüksekliklerde ağaç bulunmayıp, çayırliklarla kaplıdır. Kıyı kesiminde ılık bir deniz iklimi görülen İyidere, yıllık 2510 mm³ yağış oranı ile Türkiye' nin en yağışlı ilçelerindendir. Yıllık sıcaklık ortalaması 14 °C olup, en sıcak ay Ağustos (22 °C), en soğuk ay Şubat (- 6 °C) dir, ve yıllık 140 gün yağışlı geçer. İklim özelliklerinden dolayı Akdeniz bitkilerinin de yetiştiği yörede, en fazla çay, mısır, patates, mandalina, son yıllarda kivi de yetiştirilmektedir. Özellikle yaylalarda 1000-2500 m yüksekliklerde arıcılık, sahilde de balıkçılık yaygındır.

İlçe yerüstü kaynakları bakımından oldukça zengindir. Çay tarımının temel geçim kaynağı olduğu ilçede yüksek kesimlerde hayvancılık yapılmaktadır.

İlçenin coğrafi yapısının engebeli, yerleşimin dağınık olması nedeniyle sosyolojik açıdan köy-kasaba karışımı bir özellik arzeder.

1. 3. Önceki Jeolojik Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresini konu alan ve yörenin jeolojik yapısını aydınlatmaya yönelik önemli jeolojik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Gattinger (1962), "1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Trabzon Paftası" isimli yayınındaki Pontidlerdeki intrüzif masiflerin kayaç cinslerindeki çeşitliliğin, magmatik diferansiyasyondan, yükselme esnasında asimilasyona uğramış olan materyalin katılma esnasındaki derinlik durumundan ileri gelebileceğini belirtmektedir. Genellikle iri taneli ve sadece kenarlarda ince taneli olan granitlerin, Murgul' un güney batısından Tatos dağlarına kadar uzanan sahada, bir intrüzif masifin merkezi eksenini oluşturduğunu belirtmiştir. Ayrıca asıl granitlerin, kuzeyde ve güneyde, Soğanlı dağlarına kadar uzanan sahada, asit diyoritlerle kuşatıldığını, batıdaki intrüzif kitlelerin petrografik karakterinin de bunlarla benzerlik gösterdiğini belirtmektedir. Doğuda, büyük Pontid Plütonunun diyoritlerden oluşan bir zonla sınırlandırıldığını, Riyolitlerin Hunut Dağı- Kaçkar Dağı bölgesi ile Varoş Tepe' de, granitlerle asit diyoritler arasındaki sınır hattı üzerinde olduğunu, trakitlerin ise, Hunut Dağı' nın güneydoğu kanadında ve zirve çevresinde Kaçkar tepelerinin doğusunda bulunduğunu, siyenitlerin ise kuzeyde, Hemşin ve Hales havalisinde görüldüğünü belirtmektedir.

Altınlı (1970), "İkizdere Granit Karmaşığı" adlı araştırmasında, İkizdere Granit Karmaşığının, Karadeniz Bölgesinin kuzeydoğu bölümündeki olağanüstü yaygın bir granit

batolitinin küçük bir kesimine uygulanmış kaya birimi adı olduğunu belirtmiştir. Bu plütonun değişik litolojideki kısımlarının dereceli geçişli olduğu ve bu nedenle bu birimler arasındaki sınırların haritalanamadığı ifade edilmektedir. Ayrıca kütlede sınırlı asit, fakat yaygın bazik segregasyonların ve lamprofirlerin bulunduğu ve diyabaz dayklarının aplit dayklarını kestiği saptanmıştır. Granit tektoniğinde plastik fazın elemanı olan akma yapısının İkizdere Granit karmaşığında gözlenmediği ve granitin, mühendislik yönünden, sıkı, sağlam, sert ve geçirimsiz olduğu vurgulanmıştır.

Eroskay (1971), “Laleli Tosköy Derivasyon Tünelinin mühendislik Jeolojisi” adlı araştırmasında, İkizdere yöresinde bulunan granitik batolitin diferansiyasyon sonucu farklı bileşim ve yapıda kayalardan oluştuğunu, batolitin kenar kısımlarında koyu renkli, ince kristalli, sert ve dayanımlı granodiyorit ve kuvarşlı diyorit porfirin yaygın olduğunu, iç kısımlarda ise feldspatları birkaç cm boyunda olabilen iri kristalli, granit veya alkali granitlerin bulunduğunu, ayrıca yersel olarak asit ve bazik segregasyonların da görüldüğünü belirtmiştir. Granitik batolitin, Eosen volkanitlerini kestiğini, kontak zonunda metamorfizmaya sebep olduğunu ve Eosen’ in lav ve kireçtaşına çok benzeyen ksenolitler kapsadığını belirtmiş ve granitik batolitin Eosen sonu ile Oligosen yaşında olduğu sonucuna varmıştır.

Çoğulu (1975), “Gümüşhane ve Rize bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştırmalar” adlı çalışmada, Rize Masifi’ nin esas olarak granit familyası kayalarından meydana geldiğini ve yer yer andezit, bazalt, tuf ve aglomeralardan oluşan Üst Kretase formasyonları tarafından örtüldüğünü ve bu örtünün içinde ise kalker, marn ve kumtaşı merceklerinin gözlendiğini belirtmiştir. Ayrıca masifin Karadeniz’ e bakan yamaçlarında kalın bir volkano- tortul seri halinde olduğu belirtilen Eosen yaşlı kayalara rastlanıldığını ifade etmektedir. Jeokronometrik yaş tayiniyle Rize Plütonunun üst Eosen yaşında olabileceği kanaatine varmıştır.

Taner (1977), “Etüde Géologique et Pétrographique De la Rigion De Güneyce- İkizdere, Située Au Sud De Rize (Pontides Orientalos, Turquie)” isimli araştırmasında çalışılan bölgenin genel olarak asit plütonik kayalar ve volkano- tortul oluşumlardan meydana geldiğini belirtmiştir. Asit plütonik kayaları, plütonun kenar kısmında mostra veren ve sık sık granofirik fasiyes özelliği gösteren tonalitler ve plütonun merkezine gidildikçe mostra veren granodiyoritler olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Tonalitlerden granodiyoritlere doğru düzenli bir geçişin olduğunu ve plütonun yakınında bulunan volkano- tortul oluşumların kontak metamorfizmaya uğradığını belirtmiştir. Yaptığı jeokronometrik

araştırmalar sonucu, plütonun en önemli yerleşmesinin Türoniyen' den sonra Laramiyen safhasında gerçekleştiğini saptamıştır. Volkano- tortul oluşumları ise, Alt Kretase yaşında volkano- tortul seri ve Üst Kretase yaşında volkano- tortul seri olmak üzere iki gruba ayırmıştır.

Çakır vd. (1986), "İkizdere (Rize)- İspir (Erzurum) Arasındaki Yörenin Jeolojisi" adlı çalışmasında, inceleme alanındaki kayaç birimlerini, yaşlıdan gence doğru andezit, bazalt lav ve piroklastları- 1 (Kretase yaşlı), granit- mikrogranit- kuvarslı mikrodiyorit (üst Kretase-eosen veya daha genç yaşlı) ve andezit bazalt lav ve piroklastları- 2 (Eosen yaşlı) olmak üzere üç gruba ayırmıştır. Önemli bir cevherleşme olmamakla beraber, intrüziflerde, Kretase volkanitlerinin kontaklarında veya intrüziflerin içindeki bazik volkanik parçalarda manyetit, spekülait, pirit, molibdenit mineralleşmelerine rastlanıldığını belirtmektedir. Ayrıca, intrüziflerde yer yer epidotlaşma, limonitleşme, hematitleşme, silisleşmenin gözlemlendiğini volkanik kayaçların bunlarla kontaklarında ise yer yer silisleşmeye, killeşmeye, epidotlaşmaya, limonitleşmeye, hematitleşmeye rastlandığını belirtmiştir.

Tüdeş vd. (1991) İkizdere (Rize) Yöresindeki Granitik Kayaçların Mermer Olarak Kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Arazi çalışmaları sonucunda granodiyorit in orta ve seyrek çatlaklı, orta ve geniş açıklıkta ve çatlak yüzeylerinin hafif pürüzlü olduğunu, kaya bloklarından çıkarılan karot örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda ise, granodiyorit in yapı, iç ve dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanıma uygun olduğunu ve Keçikaya Granodiyoritinin mermer olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Dursun vd. (1992), "Rize- İkizdere- Keçikaya Mah. Mevkiindeki Ar:L6011 no' lu Mermer Ruhsat Sahasına Ait Jeoloji Raporu" nda, sahada kayaç birimi olarak yüzeylenen granitlerin blok verebilen kısımlarını belirlemişlerdir. Ayrıca, sahanın muhtemel rezervini hesaplayarak bu rezervin ihracata dönük bir işletme için yeterli olacağını öngörmüşlerdir.

1. 4. Ayrışma ve Ayrışma Etkilerinin Tanımlanması

1. 4. 1. Ayrışma Tanımı ve Türleri

Ayrışma, alterasyon deyimleri çoğu kez eş anlamlı olarak kullanılır ve genel anlamda mineral ve kayaçlarda sonradan oluşan fiziksel ve kimyasal değişimleri ifade etmektedir (Gary vd. 1972). Araştırmacıların bir kısmı alterasyon deyiminin ayrışmayı, hidrotermal ayrışmayı ve diyajenezi kapsadığını belirtmektedir (Caroll, 1970; Valeton, 1970).

Mineral ve kayaçlar ancak oluştukları çevre koşulları değişmediği sürece duraylıdır. Çevre koşulları kayaç ve mineralin oluştuğu ana özgüdür ve jeolojik süreçte (ve mühendislik zaman ölçeğinde de) büyük değişiklikler gösterirler. Ayrışma mineral ve kayaçların değişen bu çevre koşullarına uymak için geçirdikleri dönüşümlerdir. Başka bir anlatımla, litosfer içinde denge halinde olan maddelerin atmosfer, hidrosfer ve biyosferde etken olan koşullara uymalarıdır (Reiche, 1950; Fookes vd. 1971).

Literatürde, ayrışma terimi değişik şekillerde tanımlanmıştır. Tanımlamanın çokluğu ve farklılığı jeologlar, jeokimyacılar, jeomorfologlar, jeoteknikçiler, toprak bilimciler veya diğer bilim alanındaki araştırmacıların ayrışmaya kendi disiplinleri açısından bakmaları sonucudur.

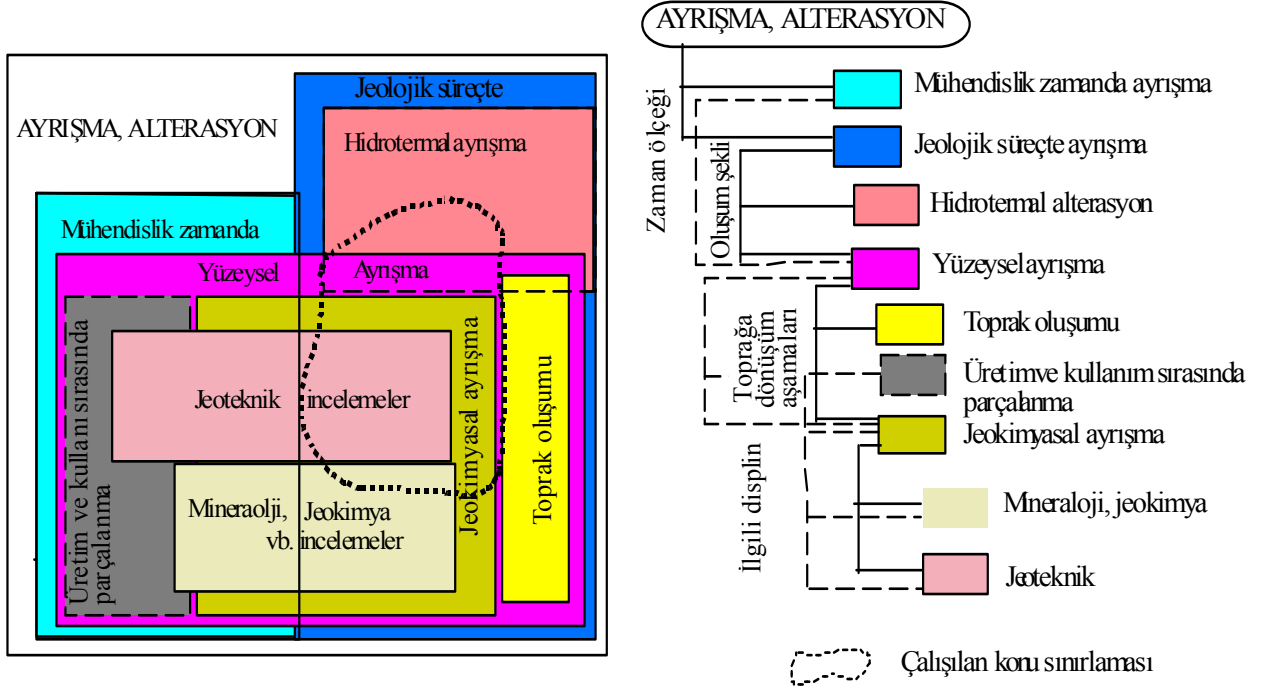
Ayrışma zaman, gelişim şekli, aşamaları, konu olduğu çalışmalar ve çalışma ölçeği gibi değişik parametreler açısından ele alınabilir (Şekil 2, Ceryan 1999).

Doğal süreçlerde gelişen ayrışma, zamansal ölçek dikkate alındığında; Jeolojik süreçte ayrışma ve Mühendislik zamanında ayrışma şeklinde iki başlık altında toplanabilir (Ceryan 1999). Kayaçların oluşumundan günümüze kadar ki jeolojik süreçte geçirdikleri tüm değişiklikleri ifade eden jeolojik süreçteki ayrışma için literatürde değişik tanımlamalar bulunmaktadır. Selby (1993) ve Anon (1995), ayrışmayı, yeryüzeyinde veya yakın derinliklerdeki toprak veya kaya materyalinin kimyasal, fiziksel ve biyolojik işlemlerle bozulması şeklinde tanımlamaktadır. Dearman (1974) ile Jakson ve Bates (1980) ayrışmayı yeryüzüne yakın veya atmosferik etkilere açık, yüzeylenmiş toprak ve kaya materyalinin bir grup tahrip edici olaylarla renk, doku, şekil ve bileşim değişimi şeklinde tanımlamaktadırlar.

Ollier (1991), ayrışmayı yüzeylenmiş ve yeryüzüne yakın kayaçların, esas olarak su ve hava ile reaksiyonu sonucu kil, demir oksit ve diğer ayrışma ürünlerini verecek şekilde alterasyonu ve bozulması şeklinde tanımlamaktadır.

Yapı taşlarının üretim aşamalarından kullanıldıkları mühendislik yapısının ömrü boyunca doğal olarak geçirdikleri değişimler mühendislik zamanındaki ayrışma olarak ele alınmaktadır. Yapı malzemesinin mühendislik zamanında ayrışmasını, Fookes (1991), insan eylemleri, hidrosfer ve atmosfer etkisi altındaki yapı malzemesinin, mühendislik zaman ölçeğinde doğal olarak parçalanması ve bozunması olarak tanımlamaktadır.

Kayacın oluşumundan bugüne kadarki jeolojik süreçte geçirdiği değişiklikler; yüzeysel etkilerle (atmosfer, hidrosfer ve biyosferdeki olaylar) oluşan yüzeysel ayrışma ve hidrotermal alterasyon başlığı altında toplanabilir.



Şekil 2. Ayrışma, alterasyon kavramlarının ele alınışı ve çalışılan konunun sınırlanması (Ceryan 1999)

Hidrotermal alterasyon yeryüzünden derinlere sızan ve ısınan suların veya magmatik kökenli su ve gazların etkisi ile mineral ve kayalardaki bozunmadır. Hidrotermal ayrışma derinden yüzeye doğru gelişirken yüzeysel ayrışma yüzeyle derine doğru gelişir (İrfan 1981).

Yüzeysel ayrışma yeryüzüne yakın derinlikte veya atmosferik etkilere açık olarak yüzeylemiş toprak ve kaya malzemesi ve kütledeki yüzeysel etkilerle (atmosfer, hidrosfer ve biyosferdeki olaylar) oluşan, geriye dönüşümsüz, karakter (renk, şekil, doku, yapı, dağılım ve bileşim) değişimidir. Çalışmamız boyunca burdan itibaren kullanılacak *ayrışma terimi ile yüzeysel ayrışma (weathering)* ifade edilecektir. Yüzeysel ayrışma iki aşamalı olarak düşünülebilir; Jeokimyasal ayrışma (geochemical weathering) ve toprak oluşumu (pedochemical weathering) (Caroll, 1970).

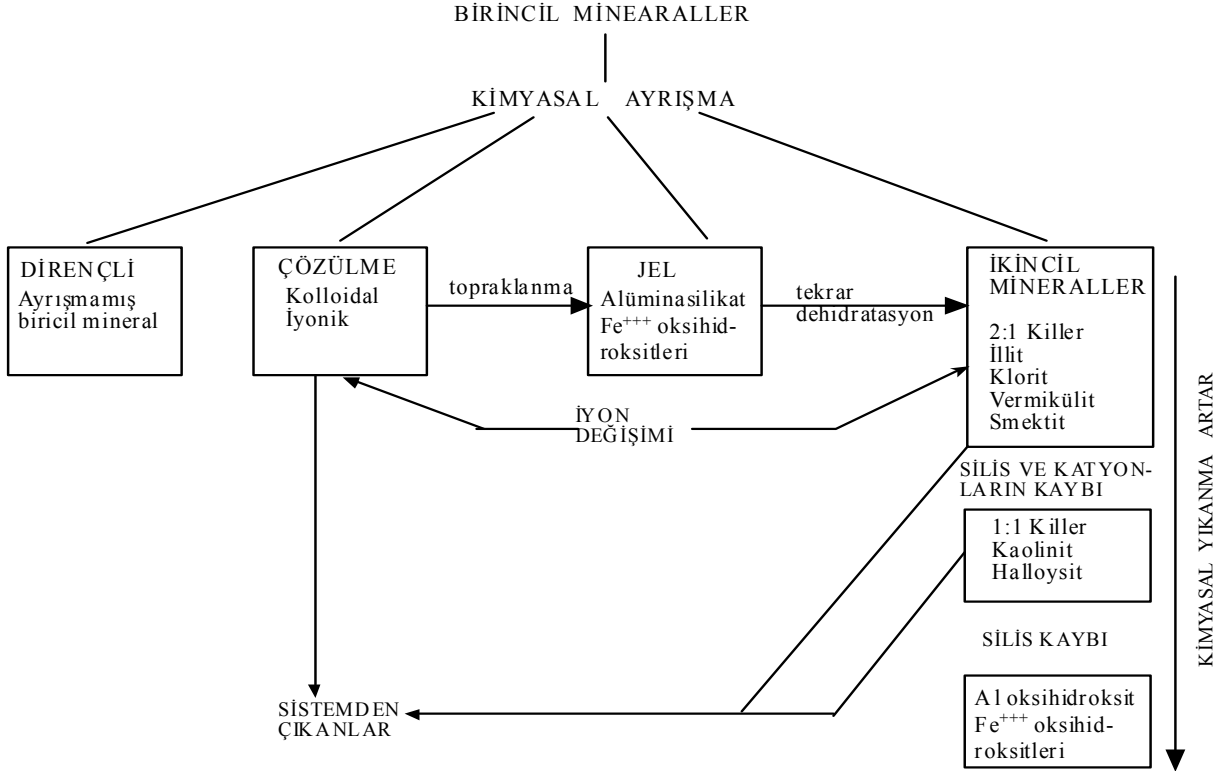
Kayacın jeokimyasal ayrışması esas olarak inorganiktir (kimyasal reaksiyonlarda organik malzeme yer almaz) ve toprak oluşumu için gerekli malzemeyi oluşturur. Toprak oluşum aşamasında organik maddelerin rolü büyüktür. (Caroll, 1970). Jeokimyasal ayrışmada sağlam kayaç önce ayrılmış kayaca daha sonra saprolite dönüşür. Saprolit kayaç yapısının korunduğu, oluşumunda hacimsel değişikliğin yok veya çok az miktarda olduğu, değişik oranda kaya ve toprak içeren malzemedir. Saprolit genel olarak yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kaya materyalinden oluşmaktadır. Başka bir anlatımla, jeokimyasal

ayırışma süreci az ayırışmış, orta derecede ayırışmış, yüksek derecede ayırışmış ve tümüyle ayırışmış kayacın oluşum aşamalarını kapsar. Kalıntı toprak ve bitkisel toprakların oluşumu jeokimyasal ayırışma sürecinden sonra, organik maddelerin önemli olduğu toprak oluşum aşamasıyla ilgidir.

Ayırışmış kayaç ve saprolitler değişik disiplinlerin (değişik amaçlı ve değişik ayrıntıda, ölçekteki) araştırmalara konu olabilmektedir. Örneğin jeokimyacılar, minerologlar mineralojik ve kimyasal değişimleri sonuçlayan süreçleri, kayaç-su etkileşimini, minerallerin değişik ortamlarda çözünmesini deneysel olarak incelemektedirler. Çalışılan ölçek kristal yapısından doğadaki kayaç yüzeylenmelerine değişmektedir (Hochella ve Banfield, 1995). Price (1995), ayırışmayı jeoteknik uygulamalar açısından tanımlamıştır. Buna göre ayırışma, toprak ve kaya materyal ve kütesinin doğal veya yapay olarak yüzeylendikleri jeomorfolojik ve mühendislik ortamındaki (koşullar altında), geri dönüşümsüz değişimleridir. Jeoteknik uygulamalar açısından, ayırışma sonucu oluşan, kaya malzemesi ve kütesindeki indeks, direnç, deformasyon ve elastik özelliklerinin değişiminin ölçülmesi önemlidir.

Ayırışma süreçlerindeki işlemler, fiziksel ayırışma ve kimyasal ayırışma başlıkları altında toplanabilir. Biyolojik olaylara bağlı olarak gelişen değişimler sonuçları dikkate alınarak fiziksel ve kimyasal ayırışmaya dahil edilebilirler. Doğada, genellikle her iki ayırışma türü aynı anda etkilidir. Fakat genelde biri diğerine baskındır.

Kimyasal ayırışmada ana etken su, çözülmüş CO_2 ve O_2 , organik asit, H^+ ve OH^- iyonlarıdır. Su çoğu kez kayacı oluşturan minerallerle doğrudan reaksiyona girer. Bazı hallerde de çözülme ortamı olarak faaliyette bulunur. Kimyasal ayırışmada üç eş zamanlı olay söz konusudur (Loughnan, 1969). Bunlar; bileşen elemanlarının iyon ve molekül olarak ayrılması ve bunu takiben ana kayacın parçalanması, ayrılmış, serbest kalmış bileşenlerinin bir kısmının bir çözelti içersinde taşınması ve son olarak, geriye kalan, taşınmamış bileşenlerin atmosfer kökenli ve yeraltı sularındaki diğer bileşenlerle yeni mineralleri oluşturmasıdır (Şekil 3). Fiziksel ayırışma kimyasal değişikliğin olmadığı ve esas olarak yerinde parçalanmaya neden olan bütün doğal olaylar olarak tanımlamaktadır (Reiche, 1950).



Şekil 3. Kimyasal ayrışma ve ürünleri (Fookes vd. 1986)

1. 4. 2. Mühendislik Zamanda Ayrışma

Yapı taşı olarak kullanılan kaya malzemesinin ayrışabilirliği, duraylılığı (üretiminden kullanıldığı mühendislik yapısının ömrü sonuna kadar geçen zaman içindeki performansı) söz konusu malzemenin üretim ve depolama şekli, indeks özellikleri (litolojik, doku, fabrik özellikleri ve ayrışma durumu) ile çevresel özelliklere (özellikle iklimsel ve hidrolojik koşullara) bağlıdır. Tablo 1' de yapıtaşının duraylılığını etkileyen parametreler, ayrışma süreçleri ve bunların etkileri özetlenmiştir.

Kayaçların ayrışması; hidrolojik, iklimsel ve topografik koşullardan oluşan üç önemli makro çevre faktörü ile yakından ilişkilidir. Kimyasal bozunmada hidrosferin etkisi suyun rol oynadığı parçalanma olaylarından kaynaklanmaktadır. Yapı içinde kullanılan kaya malzemesinin duraylılığı söz konusu mühendislik yapısının hidrolojik zonlarla ilişkili olarak konumuna büyük ölçüde bağlıdır. Bu duruma en iyi örnek yol malzemesi gösterilebilir (Şekil 4). Şekil 4, biri alt hava zonunda yerleşmiş ve diğeri yer altı zonunda yerleşmiş bir karayolunda kullanılan yapı malzemesinin olası parçalanma süreçlerini göstermektedir.

Tablo 1. Agrega ve kaya malzemesinin duraylılığını etkileyen faktörler (Fookes vd. 1988)

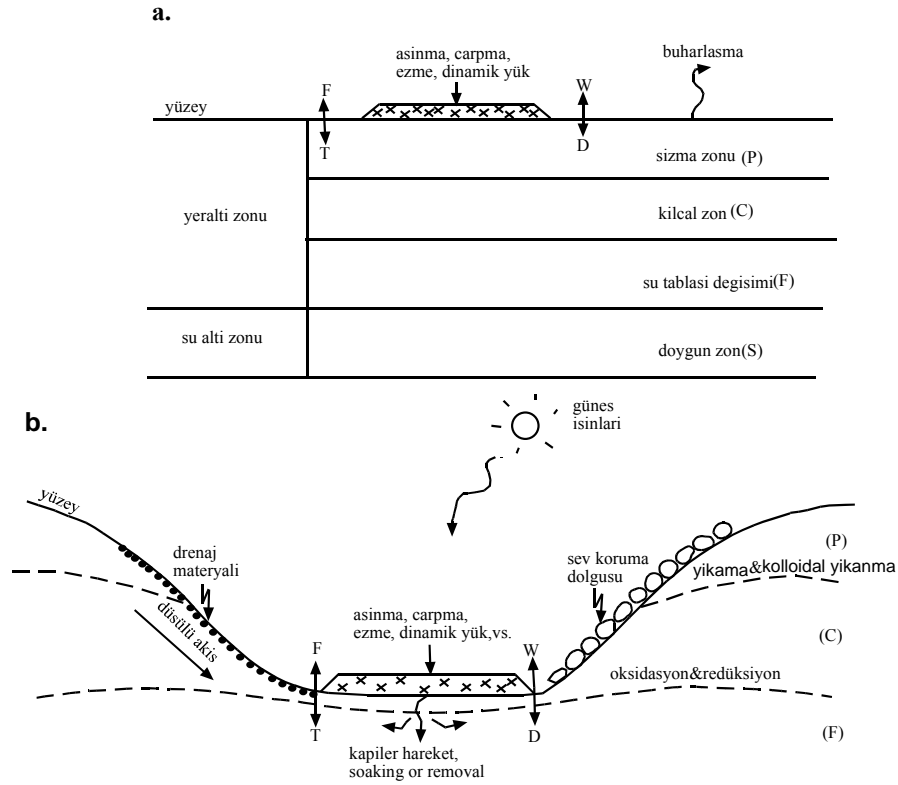
<u>İşlem</u>	<u>Lokasyon</u>	<u>Bozunma işlemi</u>	<u>Malzemedeki etkilenme</u>	<u>Zaman</u>
Jeolojik	Arazide	Kimyasal ayrışma Fiziksel ayrışma Biotik ayrışma Hidrotermal ayrışma	Minerallerin alterasyonu Boyut, şekil, doku vs. değişimi	JEOLJİK ↓ ↑ M Ü H E N D İ S L İ K
Üretim	Taş ocağında	Seçim Patlatma Yükleme Ufalama Eleme Yıkama	Aşınma, sıkışma, tane kaybı, kırık gelişimi, fiziko-mekaniksel özelliklerde değişim	
	Depolama alanında	Statik ayrışma Kirlilik artışı	Ufalama Fiziko-mekaniksel özelliklerde değişim	
Yapım	İnşaat alanında	Yüklenen ısı Karıştırma Yuvarlama/sıkıştırma Yayıma Ayrışma	Aşınma, tane üretimi, su içeriğinin değişmesi, sarsılma, ezilme, alan/hacim oranının artması	
Kullanım anı	Mühendislik kullanımına bağlı	Kimyasal ayrışma Fiziksel ayrışma Aşınma Çarpma Yükleme	Genelde çok az kimyasal ayrışma Malzeme üzerindeki etki mühendislik kullanıma ve yukarıdaki işlemlere bağlıdır	

Ayrışma üzerindeki temel iklimsel etmenler yerel çevredeki sıcaklık değişimleri ve buharlaşma ve yağış ile ilişkilidir. Yağış olaylarının, sezon ve günlük ısı aralıkları boyunca, duraylılığı, sıklığı ve yoğunluğu, verilen bir iklim rejimi içinde yoğun olarak oluşan fiziksel ve kimyasal ayrışma olaylarının tespiti için önemli bir elemandır. Peltier (1950), ortalama yıllık sıcaklık ve ortalama yıllık yağış miktarını kullanarak arasındaki ilişkiyi değerlendirerek hangi iklimde hangi ayrışma türlerinin oluşabileceğini gösteren grafik önermiştir. Bu grafik özellikle özel iklim rejimlerinde mühendislik yapıları planlandığında ayrışma türünün tahmini için faydalıdır. Weinert (1964) Güney Afrika' da kaya alterasyonu tipini belirleyen özel iklimsel faktörleri en ılık ay zarfındaki (Ocak

potansiyel buharlaşma (E_j), ve yıllık ortalama yağış (P_a) arasında ilişki geliştirerek tanımlamıştır.

$$N = \frac{12E_j}{P_a} \quad (1)$$

Yazar, N 'nin 5' ten büyük olduğu yerlerde fiziksel ayrışmanın, 5'ten küçük olduğu yerlerde ise kimyasal bozunmanın yaygın olay olduğunu tespit etmiştir.



Şekil 4. Temel hidrolojik zonlarda olası ayrışma süreçleri (W: ıslanma, D: kuruma, F: donma, T: çözünme) (Fookes 1988'den alınmıştır.)

Ollier (1984) bölgenin topografik durumunun ayrışma olaylarında önemli etkiye sahip olduğunu belirlemiştir. Yamaç açısı, ayrışma ürünlerinin kolayca taşınması nedeniyle önemli bir etkiye sahip olabilir. Mühendislik yapısının bulunduğu yerin topografik özellikleri malzeme duraylılığının yorumlanmasında önemli bir veridir. Donma- çözünme, ıslanma- kuruma ve buharlaşma derecesinin etkin olabilmesi mikro iklim koşullarının oluşması ve korunmasına büyük ölçüde bağlıdır. Herhangi bir yerel alandaki açık (mostra halindeki) yapılar üzerinde, daha yüksek konum daha büyük etki doğurur. Yerel yağışın

yönü ve yapının pozisyonuna bağlı olarak ıslanma ve kuruma derecesinin etkileri yönlerine göre çeşitlilik gösterecektir.

1. 4. 3. Yapıtaşlarının Ayırışabilirliği ve Ayırışma Durumunun Değerlendirilmesi

Endüstri yapılarında kullanılan kaya ve agreganın potansiyel duraylılığının doğru ve hızlı değerlendirmesi taş ocağı yöneticileri, müteahhitler, mühendisler için oldukça fazla önem taşır. Mühendislik yapılarının ekonomik ve güvenli olabilmesi için malzemelerin üretilmesi, yerleştirilmesi ve işlemler süresince potansiyel duraylılık veya kalitedeki herhangi bir değişiklik incelenmeli ve zaman ve para kaybını önlemek için durumun düzeltilmesi için hızlı bir şekilde değerlendirilmelidir. Bu nedenle yapı malzemelerinin duraylılığı; ayırışabilirliğinin tahmin edilmesi ve ayırışma durumunun, belirlenmesi önem kazanmıştır.

Mühendislik yapılarında kullanılan kaya malzemesinin ayırışabilirliğinin ve ayırışma durumunun değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler başlıca; a-) İndeks özellikler, b-) Mühendislik deneyleri (hızlandırılmış ayırışma deneyleri, mekanik deneyler), c-) Mineralojik ve petrografik analizler ve indeksler, d-) Kimyasal analiz analizler, e-) Kaya duraylılık indeksleri (göstergeleri) ve f-) esnek hesaplama yöntemleri (etkileşim matrisi, bulanık çıkarım yöntemi) olarak gruplandırılabilir.

İndeks deneyler, mühendislik jeoloji çalışmalarında, kayacın mühendislik özelliklerinin bir göstergesi olarak kullanıldığı gibi ayırışma derecelerini tariflemek ve dolayısıyla da ayırışma sınıflandırmaların oluşturulmasında kullanılmaktadır (Tablo 2).

Hızlandırılmış ayırışma deneylerinde mühendislik yapılarında kullanılan kaya malzemesinin yapının ömrü boyunca maruz kalacağı kimyasal, fiziksel ve mekanik parçalanma süreçlerinin laboratuvar ortamında yoğunlaştırılarak gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde yapı malzemesinin farklı çevre ve iklim koşulları performansı belirlenmektedir. Bunlar başlıca ıslanma–kuruma, donma-çözülme, tuz kristalizasyon, agrega darbe deneyi ve aşınma deneyleridir. Bu deneyler sırasında kaya malzemesinin farklı çevrimlerde kuru ve doygun haldeki birim ağırlıkları, efektif porozite, kuru ağırlık, atmosferik ve vakum basıncı altındaki su emmesi, sonik hız ve tek eksenli basınç dayanımı belirlenir. Islanma- kuruma testleri tuf (Rossi- Maresi ve Tucci 1991; Topal ve Doyuran 1997) ve killi kayaç (Olier,1984; Fookes et al.,1988) gibi su ile genişleme katsayısı yüksek olan kayalarda yapılır.

Tablo 2. Standart laboratuvar ve arazi deneylerine dayanan ve ayrışma derecelerinin tanımlanmasında kullanılan indeksler (Ceryan 1990)

<i>Teknik</i>	<i>İndeks</i>	<i>Uygulandığı Ayrışma Derecesi</i>	<i>Kaynaklar</i>
Standart Fiziksel ve Mekanik deneyler	Çabuk su emme (I _{QAT})	I-V	Hamrol, (1961); Dearman ve İrfan, (1978); İrfan ve Dearman, (1978b); Uriel ve Dapena, (1978); Paşamehmetoğlu vd., (1981); Lee, (1987)
	Ağırlıkça su emme	I-V	Güleç, (1973); Lee, (1987); Kılıç, (1995)
	Kuru birim hacim ağırlık	I-VI	Uriel ve Dapena, (1978); İrfan ve Dearman, (1978b); Dearman ve İrfan, (1978); Ramana ve Gogte, (1982); Türk ve Dearman, (1985a); İrfan (1996)
	Porozite	I-VI	Ondera vd., (1974); İrfan ve Dearman, (1978b); Türk ve Dearman, (1985a); Lee, (1987); Tuğrul, (1995); Koca, (1995)
	Effektif porozite	I-V	İrfan ve Dearman, (1978a); Paşamehmetoğlu vd., (1981); Lumb, (1983); Ondera vd., (1974)
	Ultrasonik dalga hızı	I-V	İllev, (1969); Dearman ve İrfan, (1978); Lee, (1987); Guolin ve Yushan, (1990); Zhao vd., (1994); Kılıç, (1995)
	Schmidt çekici geri tepme sayısı	I-V	Dearman ve İrfan, (1978); Hencher ve Martin, (1982); İrfan ve Powell, (1985); Lee, (1987); Guolin ve Yushan, (1990); Zhao ve Broms (1993); GCO, (1994)
	Tek eksenli basınç direnci	I-V	Dearman ve İrfan, (1978); İrfan ve Dearman, (1978b); Zhao vd., (1993); Lee, (1987); Tuğrul, (1995); Yalçın, (1995); Kılıç, (1995)
	El penotrometresi	IV-VI	Hencher ve Martin, (1982)
	Kalıntı bağlanma direnci	IV-VI	Ebuk vd., (1990)

Donma- çözünme testi, buz kristalleri oluştuğu zaman kaya içinde meydana gelen basıncın etkisini tahmin edebilmek için, kaya içinde basınç oluşturularak yapılır. Söz konusu etki genelde, belli bir miktarda su içeren örneklerde 0°C' nin altında ve üstünde değişen sıcaklıklar ile elde edilir (Rossi- Doria,1985). Tuz- kristalizasyon testi doğal çevre koşulları altında meydana gelen tuz kristallenmesinin etkisini yeniden oluşturmak için yapılır (RILEM, 1980; Rossi- Doria, 1985). Tuz- kristalizasyon testinin sonunda, fiziksel parametreler arasında en çok tek eksenli basınç kuvvetinin etkilendiği gözlenmiştir.

Mühendislik yapılar da kullanılan kaya malzemesinin duraylılığının değerlendirilmesinde kullanılan mekanik deneyler genellikle nokta yük deneyi ve Schmidt çekici geri tepme sayısı ölçümüdür. Söz konusu deneyler ile yapı malzemesinin performans kaybı arazide kolaylıkla ve hızlıca ölçülebilmektedir.

Taze kayaçların, değişik ayrışma derecesindeki malzemeye doğru ve nihayet toprağa dönüşümünü sonuçlayan temel değişim; sağlam mineral oranının azalması ayrılmış

mineral ve mikro kırıkların artmasıdır. Araştırmacılar petrografik incelemelerle, söz konusu değişimlerin belirlenmesine dayanan, birçok petrografik indeks geliştirmişlerdir (Ceryan ve Kargı 1999). Bunların bir kısmı karmaşık ve pratikte, uygulanmasında zorluk çıkartacak şekildedir, bir kısmı ise daha çok volkanik kayalar için geliştirilmiştir.

Kayaçların kimyasal bileşiminde ayrışmayla oluşan değişimlerin sayısal olarak ifade etmek için değişik kimyasal indeksler geliştirmişlerdir (Ceryan 2008). Ayrıca, araştırmacılar, kimyasal ayrışma indeksleri ile kayacın fiziko-mekanik özellikleri arasında sayısal ilişkiler belirlemişlerdir (Hodder 1984; Jayawardena ve Izawa 1994, Tuğrul 1995, İrfan 1996, Ceryan 1999, Ceryan 2008, Ceryan vd. 2008)

İndeks özelliklerin, mühendislik deneyleri, kimyasal ayrışma indeksleri ve mineralojik analizler tek başlarına kaya malzemesinin duraylılığını, değişik çevre koşullarındaki performansını ifade edememektedir (Fookes 1988). Bu nedenle değişik indeks ve mühendislik deneylerini birlikte kullanıldığı kaya duraylılık indeksleri (göstergeleri) geliştirilmiştir.

Smith vd. (1970) saha performansının görülebilir değerlendirmesi ve orijinal test sonuçları arasındaki en iyi korelasyon su emmesi ve duraylılık indeksi sonuçları (ıslak aşınma testi) için elde edilmiştir. Yazarlar, test sonuçlarının kombinasyonunu duraylılık emme oran (DAR) formülü şeklinde ifade etmişlerdir

$$DAR = \frac{Durabilite \cdot indexi}{1 + su \cdot emilme \cdot yüzdesi} \quad (2)$$

Winkler (1986, 1993) kil içeren kayalarda ıslanma ile dayanımın (tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımının) büyük ölçüde azaldığını ve bu nedenle yapı malzemesi olarak kullanılacak kaya malzemesinin doygun durumdaki dayanımının kuru durumdaki dayanımına oranının kaya duyarlılık indeksi olarak kullanılabileceğini ve ayrıca bu oranın kolay ve hızlıca uygulanabileceğini belirtmiştir.

Fookes vd. (1988) yapı malzemesi olarak kullanılan kaya malzemesinin duraylılığının tahmini için Statik ve Dinamik Kaya duraylılık Göstergeleri önermiştir. Statik Kaya Duraylılık Göstergesi (RDI_s) dört mühendislik testinin (nokta yük indeksi, magnezyum sülfat dayanıklılık testi (Hosking ve Tubey 1969), su emme ve özgül ağırlık) kombinasyonu şeklinde tanımlanmıştır. Dinamik Kaya Duraylılık Göstergesi kaya ve agreganın dinamik yükleme olaylarında parçalanmaya maruz kaldığı durumlar için önerilir.

Tablo 3. Kimyasal ve optik mikroskop analizlerine dayanan ve ayrışma derecelerinin tanımlanmasında kullanılan indeksler (Ceryan ve Kargı 1999)

Teknik	İndeks	Ayrışma derecesi	Kaynaklar
Kimyasal Analiz (XRF, XRD, DTA)	Lixiviation indeksi $\beta=(Aa/(As+CaO/MgO))$ $A=(K_2O+N_2O)/Al_2O_3$, a: ayrılmış, s:sağlam	IV-VI	Rocha Filho vd., (1985)
	Sesquoxid içeriği	IV-VI	Harnois ve Moore, (1968)
	Toprak pH değeri	IV-VI	Matsuo vd., (1986)
	Feldispatın ayrışma pH ı	I?-IV	Malomo, (1980)
	Ateşte su kaybı	I-V	Suoeka vd., (1985); Koca, (1995); Tuğrul, (1995)
	Feldispatın özgül ağırlığı	IV-VI	Matsuo ve Nishida, (1968)
Optik Mikroskop	Bozunma indeksi, $X_d=(N_q-N_{qo})/(1-N_{qo})$ N_q =kuvars/feldispat ağırlık oranı, N_{qo} :sağlam kayadaki oran	I-V	Lumb, (1962)
	Mikropetrografik indeks (I_p)	I-V	İrfan ve Dearman, (1978a) Dearman ve İrfan, (1978)
	Mikro kırık indeksi (I_f)	I-V	İrfan ve Dearman, (1978a)
	İkincil mineral yüzdesi	I-V	Weinert, (1968)
	$KI = \frac{\%Q + \%F + \%M + \%diğ.}{\%A + \%K + \%B}$ Q:Kuvars, F: Feldispat, M: Mika K:Kırık, B:Boşluk, A:Ayrılmış mineral. KI: Mikropetrografik kalite indeksi	I-V??	Mendes vd., (1967)
	$I_{pa} = \frac{AY}{1 - AY}$, $AY=ax+by+cz$ AY:Ayrılmış mineral % si, a:Plajiyoklas % si, b:Koyu renkli mineral % si, c: Matriks+opak mineral. % si, x,y,z: Minerallerin ayrışma yüzdesi, I _{pa} : Petrografik ayrışma indeksi	I-VI	Tuğrul, (1995)
	$K = \frac{\sum_{i=1}^n p_i X_i}{\sum_{j=1}^m p_j Y_j}$ Xi:Sağlam mineraller Yi:Sağlam olmayan mineraller. pi, pj: Kayada ölçülen mineral ve kırıkların ağırlık katsayısı.	I-V??	Aires-Barros, (1969)
	$R_{sm} = \sum[(P, M)]TR$ Rsm: İkincil mineral oranı, P: İkincil mineral % si, M:Mineral stabilite oranı, TR: Dokusal oran	I-V??	Cole ve Sandy, (1980)
	Mikro kırık yoğunluğu	I-IV	Ondera vd., (1974); Dixon, (1969), Tuğrul, (1995)
	SMC=S/M x100 SMC: İkincil mineral oranı S: İkincil mineral içeriği (kırık ve boşluklar dahil), Toplam mineral içeriği	I-V	Country Roads Board, (1982); Test Method 3730

Ceryan ve Şen (2003) Doğankent (Giresun) ve çevresinde yüzeylenen Harşit granitik kayaçlarının Statik ve Dinamik kaya duraylılık göstergelerini örneğin katı kısmındaki boyuna dalga hızı, boyuna dalga hızına bağlı olarak bulunan kalite indeksi (IQ) ve Hodder (1984) tarafından tanımlanan Ayrışabilirlik İndeksi (Ks) ni kullanarak önerdikleri istatistiksel bağıntılarla tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Ceryan ve Ceryan (2005) Harşit granitik kayaçlarının Statik ve Dinamik kaya duraylılık gstegelerini Ceryan (1999) tarafından tanımlanan Kimyasal Yıkanma İndeksi (CLI) ve Kimyasal Ayrışma rn İndeksi (CWPI) kullanılarak tahmin edilebileceğini göstermiŐlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2. 1. Giriş

Bu çalışmada, KTÜ Merkez Kampüsünde çevre düzenlenmesi için yapılan duvarlarda kullanılan bazik volkanitlerin (tüf ve bazalt bloklarının) ayrışma durumu ve ayrışabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için söz konusu bazik volkanik (taş blokların) alındığı İyidere-İkizdere (Rize) yolu kenarındaki İyidere taş ocağı ve çevresinin 1/25 000 ölçekli jeolojik harita alımı yapılmış, ocaktan alınan kaya malzemesinin ve söz konusu duvarlardan alınan blokların fiziko-mekanik özelliklerini bulmak için arazide basit mekanik deneyler ile laboratuarda indeks ve mekanik deneyler yapılmıştır. Ayrıca incelenen örnekler üzerinde mineralojik, petrografik incelemeler ve kimyasal analizlerle birlikte hızlandırılmış ayrışma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuarda gerçekleştirilen bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

2. 2. Jeolojik Harita Alımı

İnceleme alanının 1/25 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmasında Güven (1993) çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu çalışmalarda verilen jeoloji haritaları arazide yapılan ölçüm ve gözlemler ile laboratuarda yapılan petrografik analizlere göre yeniden düzenlenmiştir.

2. 3. Mineralojik, Petrografik ve Kimyasal Analizler

İyidere taş ocağından ve KTÜ Merkez Kampüsündeki çevre düzenlemesinden alınan bazik volkanik blok örneklerin her birinden en az 3 ince kesit hazırlanmış ve bu kesitler petrografik olarak incelenmiştir. Bu incelemede bazalt ve andezitlerde kayaç dokusu (minerallerin büyüklüğü, hamurda, mineral tanelerinin içinde ve sınırlarındaki mikro kırık ve boşlukların büyüklüğü ve miktarı, minerallerin dizilişi, hamurdaki yapılar), minerallerin türü ve miktarı, hamuru oluşturan mineraller veya volkanik cam ve ayrıca minerallerin ayrışması ve ayrışma ürünleri ve miktarları ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Tüflerde ise mikrokırık ve boşlukların miktarı, mineral ve kayaç parçalarının türü miktarı,

bunların ayrışma durumu, ayrışma ürünü ve miktarı ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada iki petrografik indeks kullanılmıştır. Bunlardan ilki mikrokırık+boşluk oranı (Ceryan, 1999) ve ikincisi ise ikincil mineral oranıdır (Ceryan 1999).

İncelenen örneklerde mineralojik ve petrografik analizler yapıldıktan sonra kimyasal analiz için seçilmiş olanlardan yaklaşık 400-500 gr kayaç örnekleri önce çekiçle küçük parçalara bölünmüş, daha sonra çeneli kırıcılarda dane boyları küçültülerek halkalı öğütücüde toz haline getirilmiştir. Bu toz örnekler AcmeLab (Kanada) laboratuvarına gönderilmiş ve burada XRF aletinde hem ana hem de iz elementleri için analiz edilmiş, sonuçlar sırasıyla yüzde (%) ve ppm cinsinden verilmiştir.

2. 4. İndeks ve Mekanik Deneyler

İncelenen bazik volkanitlerin indeks özellikleri, boyuna dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı hem hızlandırılmış ayrışma deneylerinden önce hem de hızlandırılmış ayrışma deneyleri boyunca (değişik çevrimler için) belirlenmiştir. İndeks özellikler araziden laboratuara getirilen blok örneklerden alınmış karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler KTÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. İncelenen örneklerin indeks özelliklerin bulunması için yapılan deneylerde TSE standartları (TSE 1975, 1987, 1990) esas alınmıştır.

İncelenen karot örneklerdeki elastik boyuna dalganın yayılma hızı örnek boyunun ultrasonik dalganın örneği katetme süresine oranından bulunmuştur. Söz konusu süre ölçümü örneklerin hem doygun hem de kuru haldeki durumları için oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Örnekler ölçülen boyuna dalga hızından yararlanarak katı kısmının (örneğin boşluksuz ve mikrokırıksız olduğu durumdaki) boyuna dalga hızı ve dinamik elastisite modülü aşağıdaki bağıntılarla bulunmuştur.

$$\frac{1}{V_p} = \frac{n}{V_b} + \frac{(1-n)}{V_{pm}} \quad (3)$$

$$Ed = 5.16(L / D^2) W(1 / 2t)^2 10^6 \quad (\text{Tarhan, 1982}) \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde; n: Porozite, V_p: Örneğin boyuna dalga hızı V_b: Örneğin boşluklarındaki malzemenin (hava, su, buz) boyuna dalga hızı, V_{pm}: Örnekteki boşluk dışında kalan katı kısmındaki (minerallerdeki) boyuna dalga hızı, Ed: Dinamik elastisite

modülü (MPa), W: Örneğin ağırlığı (gr), L: Örnek boyu (cm), D: Örnek çapı (cm), t: Elastik dalganın örneği kat etme zamanı (mikro saniye) olarak verilmiştir.

Genellikle ayrıışmış, kayaçlar, kil içeren kayaçlar ve zayıf kayaçlar için uygulanan indeks deneylerden biri olan suda dayanım deneyi, iki standart ıslanma-kuruma devrine tabi tutulan kaya örneklerinin suda dağılmaya karşı gösterdiği dayanımın belirlenmesine yöneliktir. Bu deney ilk kez Franklin ve Chandra (1972) tarafından, çamurtaşlarının kısa süreli ıslanma-kuruma şeklindeki fiziksel etkilerle parçalanma durumunu belirlemek için geliştirilmiş olup ISRM (1979) tarafından standart hale getirilmiştir. Daha sonra, deney Lee ve Freitas (1988) tarafından ele alınarak yeniden düzenlenmiştir. Gökçeoğlu ve Aksoy (2000), iki çevrim ile bulunan suda dayanım indeksinin (Id) söz konusu kayaların üzerindeki ıslanma-kuruma etkisini belirlemek için yeterli olmadığını ifade eden çalışmaları (Ulusay vd.,1995; Gökçeoğlu, 1997) dikkate almışlar ve Id değerinin 6 çevrim sonucu elde edilmesi gerektiğini belirtmişler. Bu çalışmada da incelenen volkanitlerin suda dayanım indeksi 6 çevrim sonucu elde edilmiştir.

Nokta yükleme deneyi, kayaçların nokta yük dayanım indekslerine göre sınıflandırmaları ve özellikle tek eksenli basınç dayanımının tahmini amacıyla yapılmaktadır. Nokta yükleme deneyinin uygulanışı ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi, ilk kullanıldığından bu yana büyük değişiklikler göstermiştir (ISRM 1985; Türk, 1988; Türk ve Dearman, 1984, 1985). Bu çalışmada, Nokta yükleme deneyi için ISRM (1985) esas alınmıştır. Deney örnekleri yüzeylenmelerden alınan şekilsiz parça örnekler ve laboratuara getirilen kaya bloklarından hazırlanmış karot örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Konik uçlar arasına yerleştirilen numune, kalınlığı (konik uçlar arasındaki uzaklık, D) cetvelden okunduktan sonra, 60 sn içinde kırılacak şekilde yüklenmiştir. Kırılma anında manometreden okunan gerilme değeri 14.426 (aletin piston alanı) ile çarpılarak örneği kıran yük (P) bulunmuştur. Düzeltilmemiş nokta yük dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (5)$$

Eşitlikte; Is: Düzeltilmemiş nokta yük dayanımı (MPa) , P: Örneği kıran kuvvet (kN), De: Eşdeğer karot çapı (m²) dir.

Karot örneklerde çapsal yükleme için De²=D², eksenel yükleme ve şekilsiz örnekler için ise De² =4A/π olarak alınmaktadır. Burada, A (cm²): Yükleme noktalarından geçen minimum kesit alanıdır. A=WD olarak hesaplanır. Eğer konik uçların örneğin içine girmesi

durumu söz konusu ise; $A=WD'$ olarak alınır. Bu eşitliklerde, W: Genişlik (cm), D ve D' : yükleme noktaları arasındaki uzaklıktır.

Yukarıdaki eşitlikten hesaplanan nokta yük dayanımı değeri referans çapa (D=50 mm) göre düzeltmek için ISRM (1985) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır;

$$I_{S(50)} = FxI_s \quad (6)$$

$$F=(De/50)^{0.45} \quad (7)$$

Eşitlikte; $I_{S(50)}$: 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş nokta yük dayanımı (kg/cm²), F: Boyut düzeltme faktörü dür.

Tek eksenli basınç dayanımı jeoteknik uygulamaların birçoğunda gerekli olan tasarım parametresi olmasının yanı sıra kaya malzemesinin ve kaya kütlesinin sınıflandırılmasında en çok kullanılan önemli özelliklerden biridir. Ayrıca kaya kütlesinin basınç dayanımı ve kayma parametrelerinin tahmini için geliştirilen görgül yaklaşımlarda da kaya malzemenin tek eksenli basınç dayanımı değeri kullanılmaktadır. Deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak, referans çapa (50 mm ye) göre düzeltilmiştir (Hoek ve Brown 1980).

$$\sigma'_c = \sigma_c (50 / D)^{0.18} \quad (8)$$

Eşitlikte; σ'_c : deneyde bulunan tek eksenli basınç direnci (kg/cm²), σ_c : 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş tek eksenli basınç direnci (MPa), D: çap (mm) dir.

Deneyde kullanılan ve $L/D=2$ şartını sağlayamayan örneklerde Szlavin (1974) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak boyut düzeltmesi yapılmıştır.

$$\sigma_c = \frac{\sigma'_c}{0.304 D/L + 0.848} \quad (9)$$

Eşitlikte; σ_c : Düzeltilmiş tek eksenli basınç direnci (kg/cm²), σ'_c : Deneylerde bulunan tek eksenli basınç direnci (MPa) dir.

Örnekler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyi esnasında uygulanan yükle birlikte örnekte boyuna deformasyon miktarları da okunmuştur. Bu değerlerden gerilme değeri ve bu gerilme değerinde örnekteki birim deformasyon elde edilmiş, çizilen gerilme birim deformasyon eğrisinin ortalama eğiminden secant elastisite modülü (Es) bulunmuştur.

İncelenen tuf ve bazalt örneklerinin çekme direnci Brezilyan deneyi ile belirlenmiştir. Deneysel kuru örnekler üzerinde yapılmış olup çekme dayanımı aşağıda verilen eşitlikle bulunmuştur.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL} \quad (10)$$

Eşitlikte; σ_t (kg/cm²): çekme dayanımı, P (kg): örneği kıran kuvvet D (cm): örnek çapı ve L (cm) : örnek boyu dur.

2. 5. Hızlandırılmış Ayrışma Deneyleri

Tüflerin farklı çevrimlerde kuru ve doymun haldeki birim ağırlıkları, efektif porozite, kuru ağırlık, atmosferik ve vakum basıncı altındaki su emmesi, sonik hız ve tek eksenli basınç dayanımı belirlenir.

İslanma- kuruma testleri tuf (Rossi- Manaresi ve Tucci 1991; Knöfel vd. 1987; Topal ve Doyuran 1997) ve killi kayaç (Olier, 1984; Fookes vd. 1988) gibi su genleşme katsayısı yüksek olan kayalarda yapılmıştır. Test için, örnekler 15-20 °C lik saf suda 24 saat bekletilir. Sonra 105 °C lik fırında kurutulup oda sıcaklığında soğutulur. Tüflerin özellikleri 10, 20, 40 ve 50 çevrim boyunca takip edilerek belirlenmiştir. Bunlar taze örneklerin özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Testlerden sonra özelliklerdeki değişim grafikler çizilerek gösterilmiştir.

Buz kristalleri oluştuğu zaman kaya içinde basınç meydana gelebilir. Donma- çözünme testi, kaya içinde meydana gelen bu basınç oluşturmak için yapılır. Bu etkiler genelde, belli bir miktarda su içeren örneklerde 0 °C' nin altında ve üstünde değişen sıcaklıklar ile elde edilir (Rossi- Doria, 1985). Donma- çözünme testi için, örnekler 15-20 °C lik saf suda 6 saat bekletilmiş, sonra -15 °C lik bir derin dondurucuya 6 saatliğine yerleştirilmiştir. Bu işlem 25 kez tekrarlanır. İslanma- kuruma testinde hesaba katılan özellikler aynı çevrim aralıklarında donma- çözünme testinde de hesaba katılmıştır.

Tuz-kristalizasyon testi doğal çevre koşulları altında meydana gelen tuz kristallenmesinin etkisini yeniden oluşturmak için yapılır (RILEM, 1980; Rossi- Doria, 1985). Tuz kristallenme testi % 14 lük sodyum sülfat (Na₂SO₄.10H₂O) çözeltisinde örneklerin tamamı suya batırılarak yapılmıştır. Örnekler 2 saat eriyik içinde bekletilmiş, sonra çözeltiden çıkarılan örnekler 24 saat 105 °C lik fırında kurutulmuştur. Her çevrim

için yeni bir çözelti hazırlanmıştır. Toplam parçalanma elde edilinceye kadar test tekrarlanmıştır. Her çevrimin örnekleri saf suyla yıkanarak tuzlar uzaklaştırılır. Suyu batırılmış örneklerin saf suyunun elektrik iletkenliği ölçülür ve tuzların tamamen uzaklaştırıldığı haldeki değerini belirlemek için orjinal saf suyun elektrik iletkenliği ile karşılaştırılmıştır. Islanma-kuruma ve donma çözülme deneylerinde ağırlık kaybı (dW) aşağıdaki formülle bulunmuştur. Diğer indeks özelliklerin ve mekanik özelliklerin değişimi de benzer şekilde hesaplanmıştır.

$$dW = \frac{(\text{deney öncesi kuru ağırlık} - \text{çevrim sonrası kuru ağırlık})}{(\text{deney öncesi kuru ağırlık})} \times 100$$

Darbeli Aşınma Deneyi (Los-Angeles Metodu) için TSE 699 (Ocak 1987) esas alınmıştır. Konkasörle kırılan taşlar söz konusu standartlara göre alınan eleklerden elenerek iki ayrı kaba alınmış ve 110 ± 5 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Uygun bir desikatör içinde oda sıcaklığına kadar soğutulan deney numunelerinin her ara büyüklük sınıfından çizelgede belirtilen miktarlar 1 g hassasiyetle tartılarak aynı numune kabına alınır ve toplam kütlesi kaydedilmiştir (G_0). Bu şekilde alınan 5000 ± 10 g deney numunesi ve deney numunesi tane büyüklüğü sınıfına göre standartlarda belirtilen sayıdaki çelik bilyalar Los-Angeles aşındırma cihazı içerisine konularak 100 devir yaptırılmıştır. 100 devir sonunda cihazdan çıkarılan deney numunesi parçalarının tümü göz açıklığı 1.6 mm olan kare gözlü elekten elenmiş, elek üzerinde kalan kısım değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulup soğutulduktan sonra 1 g hassasiyetle tartılmıştır (G_{100}). Bundan sonra 1.6 mm lik elek üzerinde kalan ve geçen tüm malzeme çelik bilyalarla birlikte tekrar Los Angeles aşındırma cihazı içerisine konularak ve 400 devir daha yaptırılmıştır. Bu suretle toplam 500 devir yaptırılmış olur. Cihazdan çıkarılan deney numunesi yukarıda açıklandığı şekilde yine göz açıklığı 1.6 mm olan kare gözlü elekten elenmiş, kurutulmuş ve tartılmıştır (G_{500}). 100 ve 500 devir sonundaki aşınma kaybı (K_{100} ve K_{500}) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$K_{100} = \frac{G_0 - G_{100}}{G_0} \times 100 \quad (11)$$

$$K_{500} = \frac{G_0 - G_{500}}{G_0} \times 100 \quad (12)$$

3. BULGULAR VE İRDELEME

3. 1. Giriş

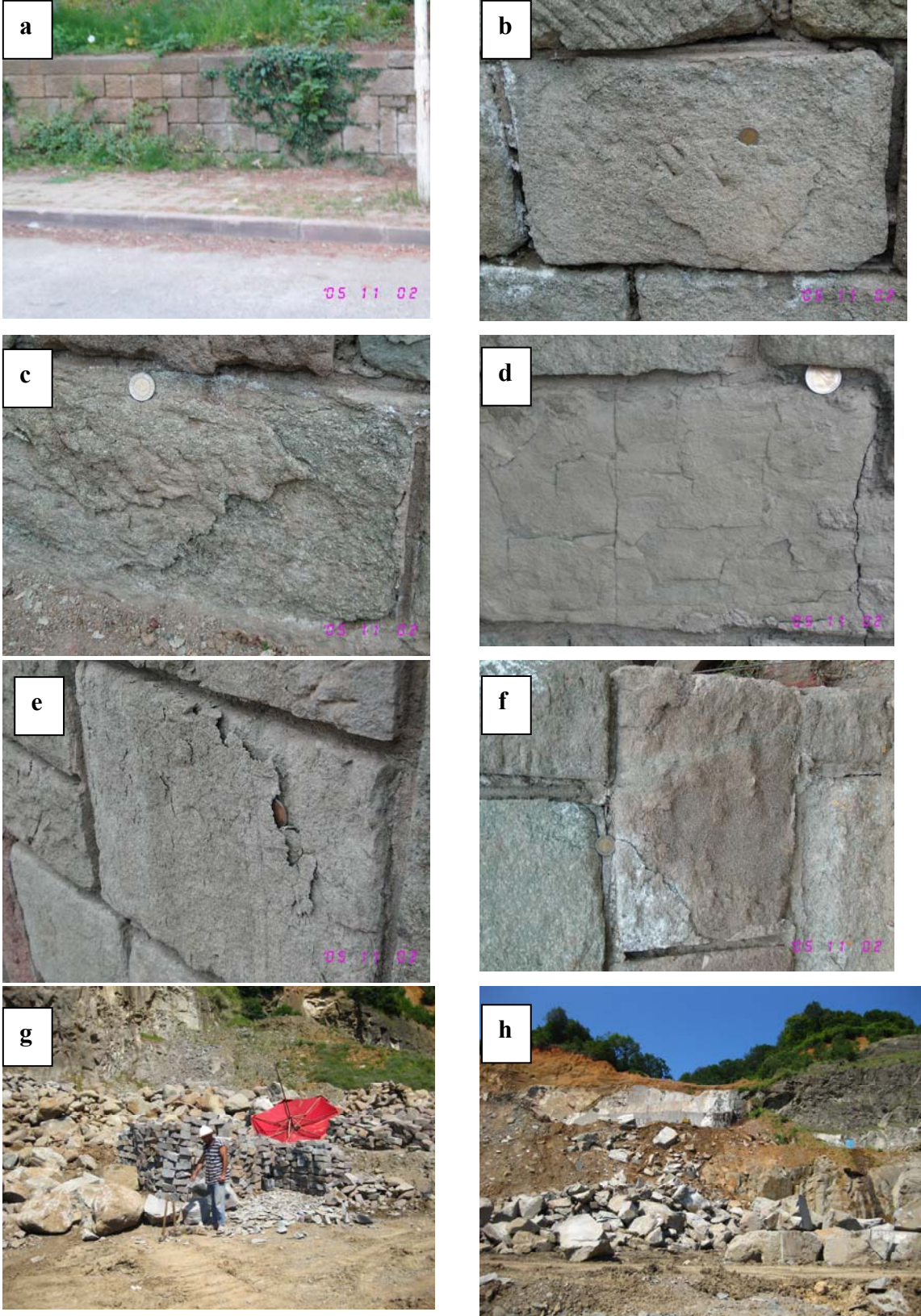
Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon Merkez Kampüsündeki çevre düzenlenmesi için yapılan taş örme duvarlarında kullanılan bazik volkanik kayaların ayrışma durumu ve ayrışabilirliğini araştırmak için söz konusu duvarlardan örnekler üzerinde yapılan mineralojik-petrografik ve kimyasal analizler yapılmış ve indeks özellikler belirlenmiştir. Söz konusu çevre duvarlarındaki ayrışma gözle görülebilmektedir (Şekil 5a-f). 1970 yılında yapılan bu duvarlar, burada kullanılan tüfler ayrışma sonucu dayanım, estetik görüntü, çevre düzenleme gibi istenilen işlevi yerine getiremediği için zaman zaman yenilenmiş, duvara yeni bloklar eklenmiştir. Örnekleme yapılırken bu duruma dikkat edilmiş, en son 2006 da yapılan yenilenmede duvarın en altında bulunan bloklar örnek olarak seçilmiştir. Seçilen örnekler mineralojik ve petrografik özelliklerine göre gruplandırılmış ve ayrışma durumu her bir grup için ayrı ayrı verilmiştir.

Yapılan inceleme ve araştırmalarda KTÜ Merkez Kampüsündeki duvarların yapımında İyidere (Of-Rize) civarındaki taş ocaklarından alındığı belirlenmiş, bu nedenle İyidere’de henüz işletilmekte olan ve İyidere-İkizdere yolunun 2.km sinde yer alan taş ocağının ve yakın çevresinin jeoloji haritası yapılmış ve bu ocaktan blok örnekler alınmıştır. Bu taş ocağından alınan litik kristal tuf örneklerin mineralojik, kimyasal, indeks ve dayanım özellikleri söz konusu duvardan alınan litik kristal tuf örnekleri ile karşılaştırılmıştır.

Çevre düzenlemesi için yapılan duvardan ve İyidere taş ocağından alınan tuf ve bazalt örneklerinin mühendislik zamanda ayrışmaya karşı dayanımını, başka bir anlatımla duraylılıklarının, tahmin edilmesi için hızlandırılmış ayrışma deneyleri, Sayısal Ayrışma İndeksi (Ceryan 1999), Kaya Mühendislik Sistemi (Hudson 1992, Ceryan vd. 2005) ve Statik ve Dinamik Kaya Duraylılık göstergeleri (Fookes vd. 1998) kullanılmıştır.

3. 2. İyidere Taş Ocağı (Rize) ve Çevresinin Litolojik ve Stratigrafik Özellikleri

İyidere-İkizdere yolu üzerindeki taş ocağı ve yakın civarında, alttan üste doğru Kampaniyen-Maastrichtyen yaşlı Çağlayan Formasyonu, Orta Kampaniyen-Erken Eosen



Şekil 5. KTÜ Ana Kampüsündeki duvarlar (a), bu duvarlardaki yapı taşlarında ayrışma (b,c,d,e,f) ve İyidere taş ocağından görünüm (g,h)

yaşlı Kireçhane Formasyonu ve Kuvaterner oluşukları olarak da alüvyon yüzeylenmektedir (Şekil 6, 7 ve 8).

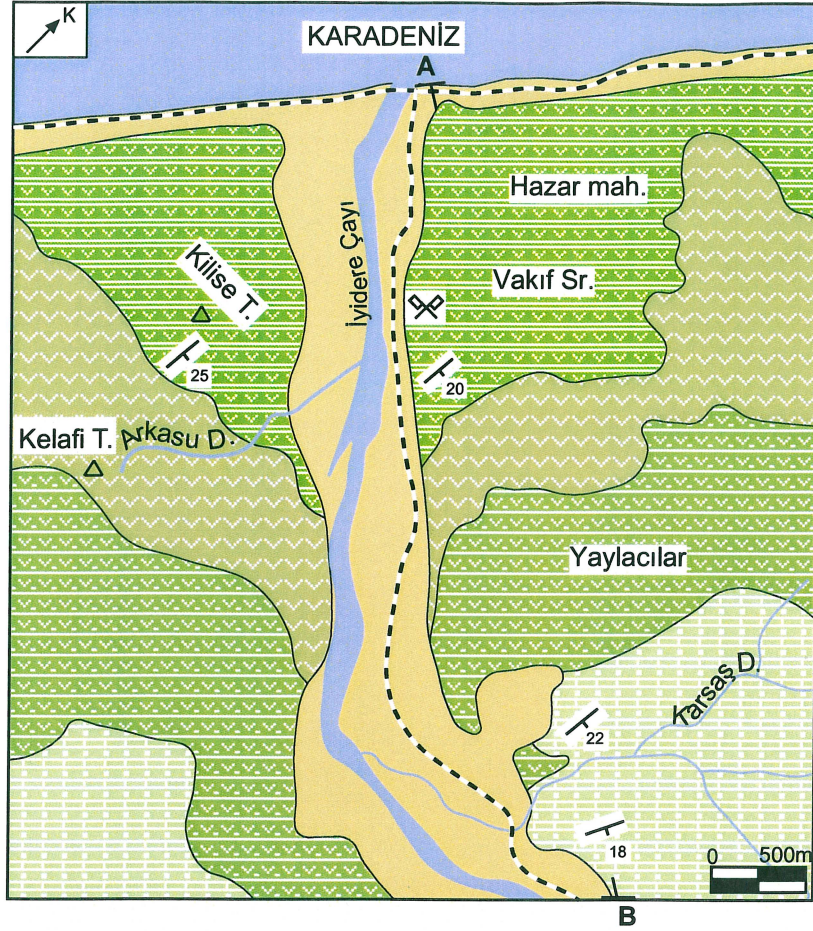
3. 2. 1. Çağlayan Formasyonu

Doğu Karadeniz Bölümü'nün Kuzey kısmında yaygın olarak yüzeylenme veren bazik kayalar çeşitli araştırmacılar tarafından farklı isimler kullanılarak tanımlanmışlardır. En yaygın olarak kullanılan isimlerden biri de Alt Bazik ve Üst Bazik Volkanik Seri' dir (Gedikoğlu, 1978). Maçka (Trabzon) kuzeyindeki Çağlayan köyü ve civarında en iyi yüzeylenmesini veren Kampaniyen- Maastrichtiyen yaşlı bazik volkano-tortul kayalardan oluşan birim ilk olarak Güven (1993) tarafından "Çağlayan Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında tortul ara katmanlı dasitik volkanitlerden oluşan Kızılkaya Formasyonu üzerine gelen bazik volkano-tortul istif Çağlayan Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olduğundan, Çağlayan Formasyonu olarak isimlendirilmiştir.

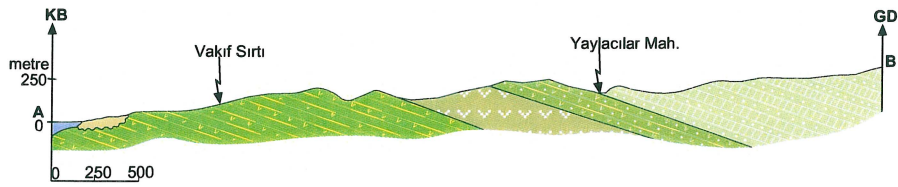
Çağlayan Formasyonu inceleme alanının büyük kısmında, İyidere Çayı vadisi boyunca yüzeylenmektedir. Söz konusu birim İyidere-İkizdere yol ayrımından güneye doğru tip kesit sunmaktadır. Bu güzergâh boyunca birimin tip kesiti Kurt vd. (2006)' de ayrıntılı olarak verilmiştir.

İnceleme alanında yaklaşık G ve GD' ya doğru eğimli olan Çağlayan Formasyonu İyidere-İkizdere yol ayrımından güneye doğru gidildikçe, en alttan üste doğru tabakalı tüfler, bazalt ve andezit, bazik piroklastik kayalardan aglomera, breş ve tüflerden oluşmaktadır (Şekil 6 ve 8)

Çağlayan Formasyonu tabanda tüfler açık yeşil grimsi renkli kalın tabakalı tüflerle başlamaktadır. Bu tüfler bazik volkanitlerden türemiş olup iyi tabakalanmalıdır (Şekil 9). Tüflerde tabaka kalınlıkları 20-140 cm arasında değişmektedir. Tüflerden alınan ince kesitlerin incelenmesi sonucunda bunların litik-kristal tuf niteliğinde oldukları belirlenmiştir. Bu ince kesitlerde görülen kristal parçaları plajiyoklas, iri ve küçük daneler halinde ojit ve hornblend, dilinimler boyunca opaklaşmış ve kloritleşmiş biyotit ve opak minerallerden, kayaç parçaları andezit ve bazalt parçacıklarından oluşmaktadır. İkincil mineral olarak klorit, kalsit, zeolit ve serizit görülmekte olup, bağlayıcı malzeme plajiyoklas, hornblend, biyotit ve opak minerallerin mikro ve kripto kristallerinden oluşmaktadır.

















Şekil 6. İnceleme alanının jeolojik haritası

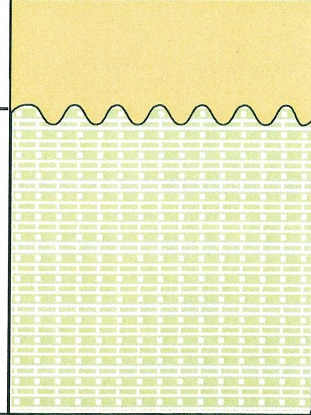
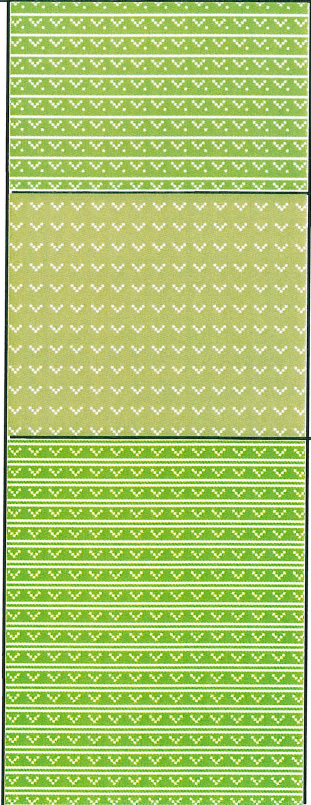


Şekil 7. Jeolojik haritada A-B hattı boyunca elde edilen enine kesit

AÇIKLAMALAR

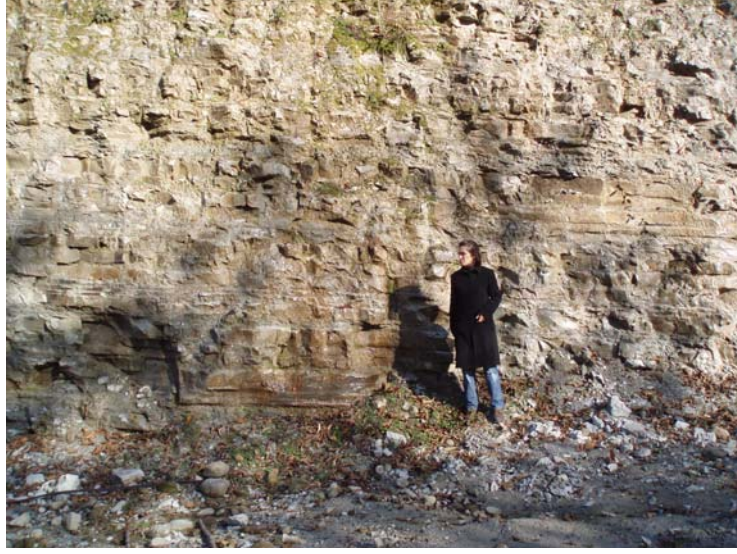
	Alüvyon		Tabaka		Taş Ocağı
			Uyumsuzluk		Yol
	Kireçtaşı, kumtaşı, kiltası ve marn araldanması		Formasyon sınırı		Dere
	Bazaltik aglomera, volkanik breş ve ince taneli bazaltik tüfler		Kesit hattı		Tepe
	Spilitik bazalt ve andezitler, bazik yariderinlik kayalar				
	Kalın tabakalı litik kristal ve vitrik tüfler				

Kireçli Formasyonu
(Orta Kampaniyen-Erken Eosen) Çadlayan Formasyonu
Kampaniyen-Maastrichtiyen

ZAMAN	DEVİR	KALINLIK	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	KUVA- TERNER	~ 10 m	KİREÇHANE		Alüvyon
	ORTA KAMPANIYEN - ERKEN EOSEN	250 m			Kireçtaşı, kumtaşı, kiltası ve marn ardanması
MESOZOYİK	KAMPANIYEN-MAASTRICHTYEN	> 800 m	ÇAGLAYAN		Bazaltik aglomera, volkanik breş ve ince taneli bazaltik tüfler
					Spilitik bazalt ve andezitler, bazik yariderinlik kayalarları
					Kalın tabakalı litik kristal ve vitrik tüfler

ÖLÇEKSİZ

Şekil 8. İnceleme alanına ait dikme kesit



Şekil 9. Taşocağı olarak işletilen tüflerde tabakalanma

İnceleme alanında Çağlayan Formasyonu'nun en altında bulunan tabakalı tüflerin üzerine bazalt ve andezitler gelmektedir. Taze yüzeyleri siyah bozunmuş yüzeyleri kahverengimsi olan bazaltlar masif yapıdadırlar. Bazaltik kayalar yer yer boşluklu olup boşluklar kalsit, zeolit ve klorit mineralleri ile doldurulmuştur İçlerinde yer yer sütunsal soğuma yapısı gösteren subvolkanik kayalar yer alır. subvolkanikler mükemmel çatlak sistemlerine sahip olup çatlak kenarlarından içeriye doğru alterasyonda belirgin azalma gözlenir (Şekil 10).



Şekil 10. Bazik subvolkaniklerin çatlak yüzeyleri boyunca dereceli alterasyonu (Yer. İyidere taş ocağının 200 m güneyi)

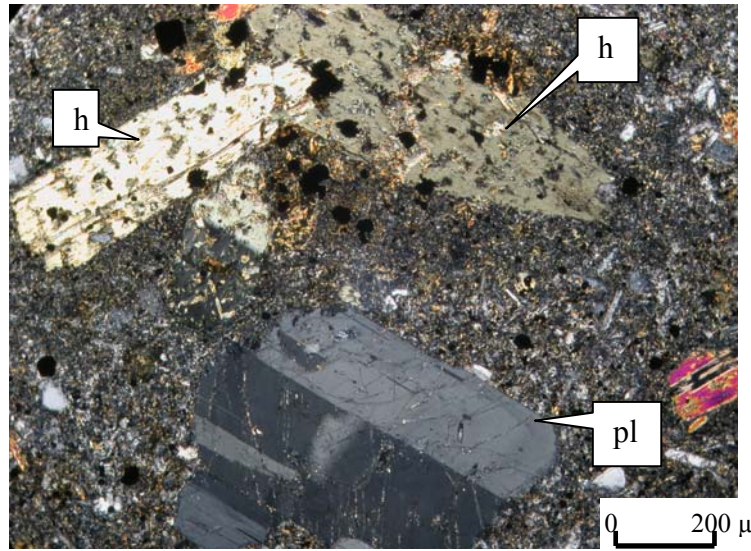
Bazaltlar, arazide genellikle koyu gri ve yeşilimsi gri renklerde görülürler, özellikle kloritleşmenin yoğun olduğu kesimlerde ise yeşile yakın renklindedirler. Bazalt örneklerinin mikroskobik incelemesinde, bunların spilitleşmiş oldukları belirlenmiştir. Örneklerde mikrolitik doku; ince taneli ve çoğunlukla mikrolitik olan hamur içerisinde albit mikrolitlerinden ojit ve opak mineral taneciklerinden oluştuğu görülmüştür (Şekil 11). Plajiyoklaslar hem iri taneler hemde hamurda mikrolitler halinde bulunur. İri plajiyoklas kristalleri çoğunlukla altere olmuştur. Bu alterasyon çoğunlukla killeşme ve serisitleşme şeklindedir. Tamamen altere olmamış bazı iri plajiyoklas kristallerinde zonlu yapı izlenmekte, bazılarında da albit ikizlenmesi görülmektedir. Plajiyoklasların cins tayininde albit (An_{8-10}) oldukları belirlenmiştir. Ojitler hamur içerisinde çok küçük ve yuvarlağımsı taneler halinde bulunmakta olup kendilerine özgü yeşil renkleriyle karakteristiktirler. Klorit çoğunlukla plajiyoklasların ayrışma ürünü yer yer de boşluk dolgusu olarak bulunmakta olup yeşilimsi renkleriyle kayaç içerisindeki diğer minerallerden kolaylıkla ayırt edilmektedir. Kalsit plajiyoklasların ayrışma ürünü, yer yer de boşluk ve çatlak dolgusu olarak bulunmaktadır. Opak mineral kayaç içerisinde bol miktarda dağınık düzensiz taneler halinde yer yerde kümeleşmiş olarak bulunmaktadır



Şekil 11. Çağlayan Formasyonu'ndan alınan bazalt örneklerinde mikrolitik porfirik doku (ÇN)

Andezitler gri, yeşil renkte olup, makroskobik olarak plajiyoklas ve hornblend mineralleri tanınabilmektedir. İnce kesit incelemelerinde andezitlerin mikrolitik porfirik dokuda oldukları görülmüştür (Şekil 12). Hamurun plajiyoklas, hornblend, biyotit ve opak

minerallerin mikro ve kripto-kristallerinden oluşmaktadır. Plajiyoklas iri levhamsı prizmatik kristaller halinde ve hamurda da küçük kristaller halinde bulunmaktadır. İri plajiyoklas kristalleri, öz ve yarı öz şekilli olup albit ve polisentetik ikizlenmesi göstermekte ve bazen zonlu yapı izlenmektedir. Yapılan cins tayinlerinde plajiyoklasların andezin-oligoklas (An_{20-35}) bileşiminde oldukları belirlenmiştir. Plajiyoklaslar çoğunlukla kalsitleşmiş ve serizitleşmiştir. Hornblend iri, öz ve yarı öz şekilli, çubuğumsu prizmatik kristaller, hamurda da küçük kristaller halinde olup kenar kısımlarında da opak mineraller gelişmiştir. Biyotit iri kristaller halinde ve çoğunlukla tamamen kloritleşmiş olarak görülmüştür. Opak mineraller genellikle köşeli, yuvarlak ve düzensiz şekillerden oluşmakta olup bazı kesitlerde oldukça fazladır. Kalsit hem plajiyoklasların ayrışma ürünü hem de boşluk ve çatlak dolgusu olarak bulunmaktadır. Klorit mineralleri biyotitlerin ayrışma ürünü olarak bulunurlar.



Şekil 12. Çağlayan Formasyonu'ndaki andezitlerde görülen mikrolitik porfirik doku (ÇN) (pl: plajiyoklas, h: hornblend)

Çağlayan Formasyonu üste doğru bazaltik lavlardan dereceli olarak piroklastiklere geçmektedir (Şekil 13). Piroklastikler düzensiz iç yapı gösterirler. Çakıl boyutları çok değişkendir. Çakıllar çoğunlukla yuvarlak olup yer yer köşeli çakılların olduğu alanlara da rastlanılmaktadır. Söz konusu formasyonun bazik piroklastikleri çok kabaca tabakalanma göstermektedirler. Formasyonun görülen en üst seviyelerinde ince taneli masif, bazik tüfler yer alır. Bu tüflerde herhangi bir tabakalanma görülmemektedir.

Çalışma alanında tabanı görülmeyen Çağlayan Formasyonu üzerine İkizdere vadisinin



Şekil 13. İyidere-İkizdere yol şevlerinde yüzeylenen bazik piroklastiklerden bir görünüm

her iki yamacındaki düzlüklerde alüvyon taraçaları uyumsuz olarak gelmektedir.

Çağlayan Formasyonu içinde birime yaş verebilecek herhangi bir fosil bulguya rastlanmamıştır. Ancak çalışma alanı dışında birim üzerine uyumlu olarak gelen karbonatlardan Kampaniyen –Maastrichtyen yaş alınması ve Karadeniz bölgesinde yapılan önceki çalışmalara dayanılarak birime Santoniyen yaş verilmiştir (Kurt vd. 2006)

Çağlayan Formasyonu bazaltik-andezitik volkanizmanın egemen olduğu ve bu volkanizmanın duraksadığı dönemlerde de tortul kayaçların çökeldiği denizel ortamda oluşmuştur. Bu formasyonda kumtaşlarının yer alması ve tortul kayaçların piroklastiklerle ardalanmalı olması, çökeltme ortamının zaman zaman sığılaştığının ve ani değişiklikler gösterdiğini düşündürmektedir.

Bu Formasyon Doğankent (Giresun) civarında yüzeylenen ve Gedikoğlu (1978) tarafından tanımlanan Üst Bazik Volkanik Seri, Türk-Japon Ekibi (1985) tarafından Zigana yöresinde (Gümüşhane) tanımlanan Üst Kretase yaşlı Zigana Formasyonu' nun A2 Üyesi, Yalçınalp (1982) tarafından Güzelyayla (Maçka-Trabzon) yöresinde tanımlanan Hamsiköy Tortu-volkanik Karmaşığı, Bulut (1989) tarafından tanımlanan Çaykara (Trabzon) yöresinde Karona Üyesi, Gülibrahimoğlu (1985) Maçka (Trabzon) güney yöresinde tanımladığı Andezit-bazalt ve piroklastlardan oluşan B2 Üyesi ve Şirin (1995) tarafından, Kürtün (Gümüşhane) yöresinde tanımlanan Kirazlık Formasyonu Diker Üyesi ile hem

litoloji hem de stratigrafik olarak deneştirilebilir özelliktedir.

3. 2. 2. Kireçhane Formasyonu

Çağlayan Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelen, başlıca kırmızı, gri renkli kireçtaşı, kumtaşı, kiltası, silttaşı ve marn arılanmasından oluşan birim, bu çalışmada Kireçhane Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Formasyon adını, Trabzon-Düzköy (G42-b2) Kireçhane Mezrası mevkiinden alır. (Kurt vd., 2006). Kireçhane Formasyonu inceleme alanının güneyinde Çiftlikköy civarında yüzeylenmektedir.

Birim Çağlayan Formasyonu üzerine uyumlu olarak kırmızı renkli karbonatlarla başlamakta, üste doğru gri-beyaz renkli epiklastik kumtaşı-kiltası arılanmasıyla devam etmektedir. Üste doğru baskın olarak beyaz renkli pelojik kireçtaşlarıyla devam eden istifin üst düzeylerinde beyaz-gri renkli, kalın tabakalı killi kireçtaşları bulunmaktadır (Şekil 14). İstif, bu killi kireçtaşlarının üzerine gelen siyah alacalı renkli marn-çok ince tabakalı kiltası-silttaşı arılanmasıyla bitmektedir.



Şekil 14. Kireçhane Formasyonundan genel bir görünüm

Kireçhane Formasyonu üzerine, çalışma alanının dışında, yaklaşık 3 km güneyinde Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Kurt vd. (2006) söz konusu birimin kalınlığı hem inceleme alanında hem de inceleme alanı dışında çökeltme fasiyesine göre değişkenlik gösterdiğini ve 100-250 m arasında değiştiğini

belirtmek ve ayrıca birimin yaşının Orta Kampaniyen-Erken Eosen olarak düşünülmektedirler. Bu çalışmada da söz konusu birime yaş verebilecek fosil bulgularına rastlanmadığından, Orta Kampaniyen-Erken Eosen yaşı kabul edilmiştir.

Geç Santoniyen-Erken Kampaniyen döneminde biten Doğu Pontid Kuzey Zonu yay volkanizmasının ürünleri üzerine gelen Kireçhane Formasyonu'nda, kırmızı mikrit ve pelajik fauna ile karakteristik derin denizel çökellerden sığ denizi temsil eden resiflere kadar değişik fasiyesler görülür. Genel olarak tektonik çöküntü alanlarında (Tirebolu, Rize, Artvin-Cankurtaran yörelerinde) derin denizel killi kireçtaşı-marn litolojileriyle temsil edilen birim, çöküntü alanları dışında Geç Kretase yay volkanizmasının paleocoğrafik yapısına bağlı olarak her türlü geçiş fasiyeslerini temsil edebilmektedir (Kurt vd. 2006).

Kireçhane Formasyonu yanal yönde gösterdiği fasiyes farklılıklarına rağmen, Korkmaz (1992) tarafından Düzköy yöresinde tanımlanan Tonya Formasyonu, Güven (1993) tarafından Doğu Pontidler'de tanımlanan Bakırköy Formasyonu, Konak ve Hakyemez (2001) tarafından Hopa-Borçka Zonu olarak tanımlanan tektonik kuşağın aynı yaştaki volkaniksiz kesimleriyle deneştirilebilir niteliktedir.

3. 2. 3. Alüvyon

Alüvyon İyidere çayı boyunca yayılım göstermektedir. Kuvaterner oluştuğu olan alüvyon çoğunlukla kum ve çakıldan oluşmaktadır. Çakılların büyük kısmı granitik kayaç ve bazik volkanik kayaç bileşimindedir. Alüvyonların kalınlığı 2-10 m arasında değişmektedir.

3. 3. İyidere Taşocağından ve KTÜ Ana Kampüsündeki Duvarlardan Alınan Bazalt ve Tüflerin Ayrışma Durumu

İncelenen örnekleri mineralojik bileşimine göre ve örnekleme yapıldığı yere göre 4 gruba ayrılmıştır; 1- KTÜ Ana Kampüsündeki taş duvarların yaklaşık % 20 sini oluşturan bazik vitrik tüfler (Dg 1-5), 2- KTÜ Ana Kampüsündeki taş duvarlardan alınan bazaltlar (Bz 1-4) , 3- İyidere taş ocağından alınan ve kayaç parçaları ile kristal içeren tüfler (Ts1-8) ve 4- KTÜ Ana Kampüsündeki taş duvarlardan alınan ve duvardaki kayaçların yaklaşık % 72 sini oluşturan kayaç parçaları ile kristal içeren tüfler (Dv 1-8). Ayrıca İyidere ocağına yakın kısımdan bir bazalt bloğu örneği alınmıştır (Bz1 örneği). İncelenen bu örneklerin

indeks özellikleri, petrografik indeksleri ve kimyasal ayrışma indeksleri Tablo 4’ de verilmiştir.

Ocaktan alınan tuf örnekleri açık yeşil grimsi, bazen kırmızı-bordo renkte görülmektedir. Tüflerden alınan ince kesitlerin incelenmesi sonucunda bunların litik-kristal tuf niteliğinde oldukları belirlenmiştir (Şekil 15). Kristal parçaları tüm kayacın % 10-50 sini, kayaç parçaları ise % 30-70 sini oluşturmakta olup çoğunlukla kaya parçaları miktarı kristal parçalarından daha fazladır. Bu ince kesitlerde görülen kristal parçaları plajiyoklas, iri ve küçük daneler halinde ojit ve hornblend, dilinimler boyunca opaklaşmış ve kloritleşmiş biyotit ve opak minerallerden, kayaç parçaları bazik pomza, andezit, bazalt parçacıklarından oluşmaktadır. İkincil mineral olarak klorit, kalsit, zeolit ve serizit görülmüştür. Bağlayıcı malzeme plajiyoklas, hornblend, biyotit ve opak minerallerin mikro ve kripto kristallerinden oluşmaktadır. Bu örneklerde plajiyoklasların % 3-15, mafik minerallerin % 2-6’sı ayrılmış olup mikrokırık boşluk oranı % 8-16, ikincil mineral oranı 13-25 arasındadır. Bu örneklerin kuru birim hacim ağırlığı 21.0-22.4 kN/m³, efektif porozitesi % 11.2-12.9, porozitesi % 13.4-16.00, kuru durumda boyuna dalga hızı 3125-3670 m/sn arasında değişmektedir.

İyidere taşocağından alınan tuf örnekleri, KTÜ Ana Kampüsündeki çevre düzenlemesi için yapılan duvarlardan alınan ve kristal ve kayaç parçaları içeren tüflerden oluşan 3. grup ile aynı petrografik özelliklere sahiptir. Söz konusu 3. ve 4. gruplar arasındaki fark ayrışma durumudur. 4. gruptaki örneklerde plajiyoklasların % 50 den fazlası kalsit, zeolit, serisit ve kile ayrılmıştır. Mafik minerallerin büyük çoğunluğu ojitte çok azı hornblendden oluşmakta olup % 30-60’ı klorite dönüşmüştür. Hamurun % 40 dan fazlası klorit, zeolit ve kalsitten oluşmaktadır (Şekil 16). Bu örneklerde plajiyoklasların % 3-15, mafik minerallerin % 2-6’sı ayrılmış olup mikrokırık boşluk oranı % 8-16, ikincil mineral oranı 13-25 arasındadır. Bu örneklerin kuru birim hacim ağırlığı 20.0-22.1 kN/m³, efektif porozitesi % 11.7-16.4, porozitesi % 13.9-20.0, kuru durumda boyuna dalga hızı 3050-3335 m/sn arasında değişmektedir (Tablo 4).

Söz konusu duvarlardan alınan bazalt örneklerinde mikrokırık+ boşluk oranı %3.64-9.32, ikincil mineral oranı %5.3-12.7 (Şekil 17), kuru birim hacim ağırlığı 20.0-25.0 kN/m³, efektif porozitesi %3.5-12.5, porozitesi %5.3-17.0, kuru durumda boyuna dalga hızı 3930-4840 m/sn arasında değişmektedir (Tablo 4).

KTÜ Ana Kampüsündeki çevre düzenlemesi için yapılan duvarlardan alınan vitrik tüflerde (Şekil 17) mikrokırık+boşluk oranı % 15.6-22.4, ikincil mineral oranı % 33.9-

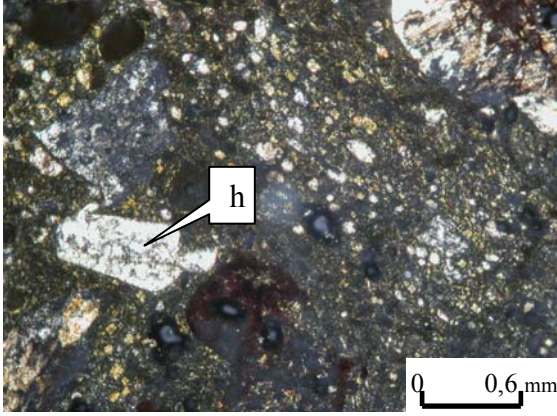
43.4, kuru birim hacim ağırlığı 20.0-22.10 kN/m³, efektif porozitesi % 11.7-16.4, porozitesi % 13.9-20.0, kuru durumda boyuna dalga hızı 3050-3335m/sn arasında değişmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. İyidere ocağından ve KTÜ Kampüsündeki taş duvarlardan alınan bazalt ve tüf örneklerin mikrokırık+boşluk oranı, ikincil mineral oranı, kimyasal ayrışma indeksleri ve fiziksel özellikleri

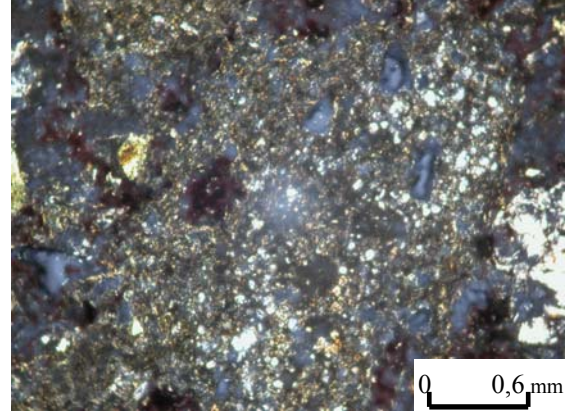
	CD	SM	Pr	Wm	Ks	G	γ_k	γ_d	ne	n	Vpd	Vp
Dg1	15.68	33.9	0.8935	0.5261	0.5888	2.577	22.2	23.25	10.5	13.8	3915	3569
Dg2	17.43	34.7	0.9527	0.4928	0.5172	2.563	22.22	23.30	10.8	13.2	3806	3520
Dg3	21.56	34.5				2.609	22.47	23.56	10.8	13.8	3958	3687
Dg4	19.87	38.8				2.573	22.11	23.26	11.5	14.0	3732	3502
Dg5	22.42	43.4				2.588	21.99	23.26	12.7	15.0	3670	3376
Bz1	3.65	5.3	0.9426	0.7541	0.8	2.618	24.80	2.515	3.5	5.3		4838
Bz2	6.84	18.2				2.425	21.42	22.31	8.9	11.7		3933
Bz3	7.65	11.7				2.362	20.68	21.62	9.4	12.4		4230
Bz4	9.32	12.6	0.9538	0.7024	0.7364	2.409	20.01	21.26	12.5	16.9		3991
Bztf1	10.03	17.4				2.434	19.85	21.39	15.4	18.4		3586
Ts1	8.59	18.6				2.568	21.98	23.21	12.3	14.4	3691	3418
Ts2	18.34	23.5	0.7643	0.5333	0.6977	2.58	21.96	23.21	12.5	14.9	3707	3476
Ts3	9.38	19.4	0.9071	0.5947	0.6556	2.512	21.67	22.84	11.7	13.7	3785	3661
Ts4	8.21	17.6	0.8745	0.5184	0.5928	2.621	22.57	23.70	11.3	13.9	3796	3671
Ts5	15.87	22.5	0.8598	0.504	0.5862	2.512	21.16	22.43	12.6	15.7	3703	3443
Ts6	14.64	16.8				2.512	21.64	22.80	11.6	13.8	3766	3500
Ts7	8.92	13.7				2.5	21.45	2.264	11.9	14.2	3770	3653
Ts8	13.47	21.6	0.8063	0.4846	0.601	2.578	22.33	23.44	11.2	13.4	3747	3466
Dv 1	24.65	41.4				2.596	22.07	23.35	12.9	15.0	3451	3125
Dv2	27.43	47.3	0.967	0.5099	0.5273	2.6	22.03	23.42	13.9	15.3	3548	3050
Dv3	26.28	41.4	0.9758	0.5159	0.5326	2.431	20.33	21.72	13.9	16.4	3514	3333
Dv 4	20.61	39.6	0.8921	0.5182	0.5809	2.512	21.64	22.80	11.7	13.9	3650	3233
Dv5	23.55	38.2				2.611	22.20	23.44	12.5	15.0	3605	3219
Dv6	17.43	37.1				2.583	22.07	23.27	12.0	14.6	3678	3314
Dv7	24.58	36.3	0.9541	0.4808	0.504	2.453	20.77	22.07	13.0	15.3	3476	3163
Dv8	26.79	37.1	1.0179	0.4583	0.4582	2.5	20.02	21.66	16.4	19.9	3369	3105

(CD: mikrokırık+boşluk oranı (%), SM: ikincil mineral oranı (%), Pr: Parker İndeksi, Wm: Miura İndeksi, Ks: Ayrışabilirlik İndeksi, G: Özgül ağırlık, γ_k : kuru birim hacim ağırlık (kN/m³), γ_d : doymun birim hacim ağırlık (kN/m³), ne: efektif porozite (%), n: porozite (%), Vpd: örneklerin doymun durumdaki boyuna dalga hızı (m/sn), Vp: örneklerin kuru durumdaki boyuna dalga hızı (m/sn))

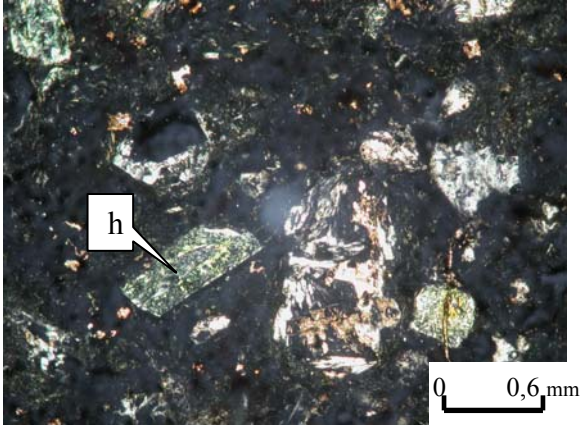
3. grup örnekler (İyidere taş ocağından alınan litik kristal tüf örnekler) ile 4. grup örnekler (duvardan alınan litik kristal tüfler) karşılaştırıldığında; söz konusu duvarın yapımından bu zamana kadar geçen yaklaşık 38 yıllık süre içerisinde, litik kristal tüflerin kuru birim hacim ağırlığının % 10 oranında azaldığı, efektif porozite ve porozitenin % 20 oranlarında arttığı, boyuna dalga hızınının % 12 azaldığı görülmektedir.



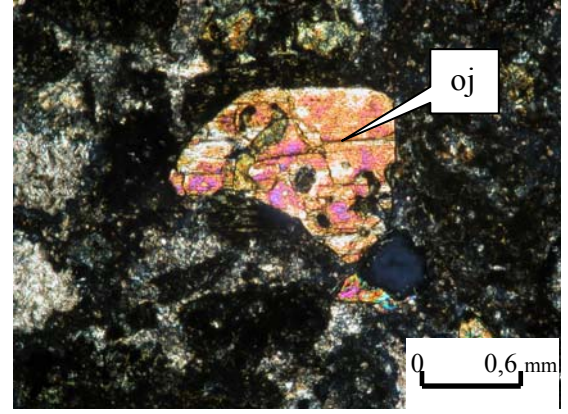
Ts1



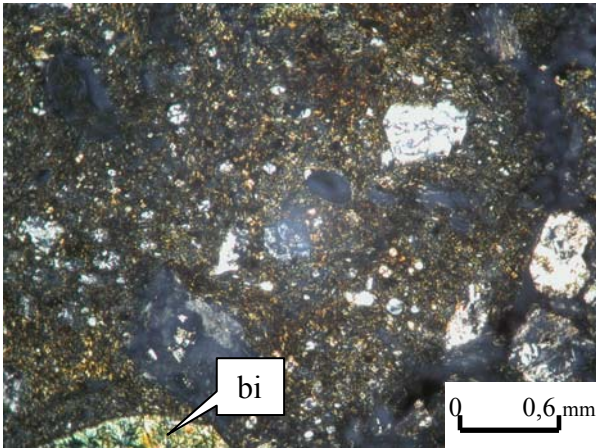
Ts2



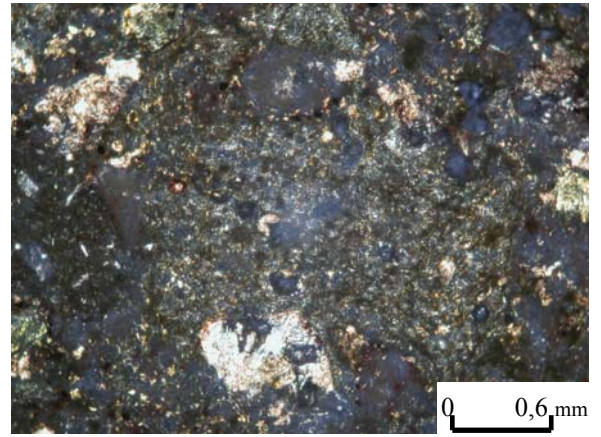
Ts3



Ts4

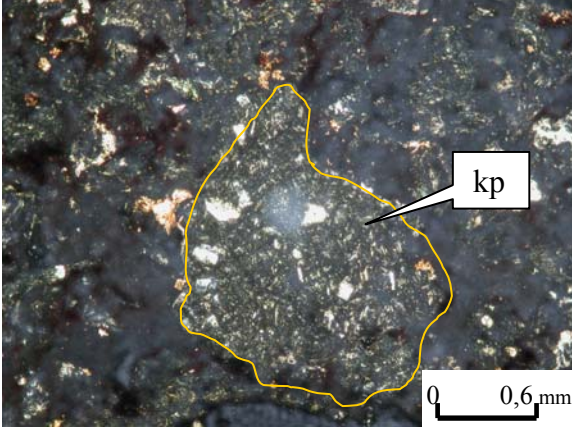


Ts7

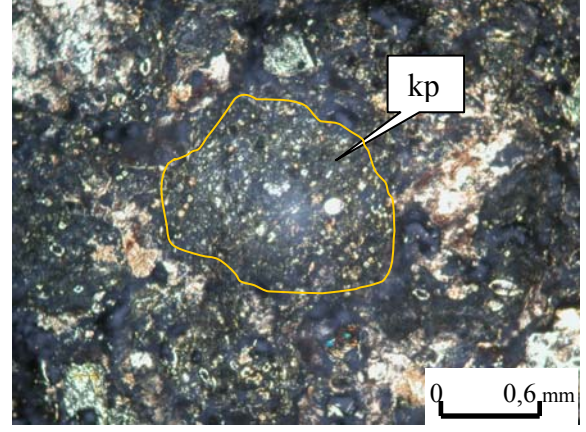


Ts8

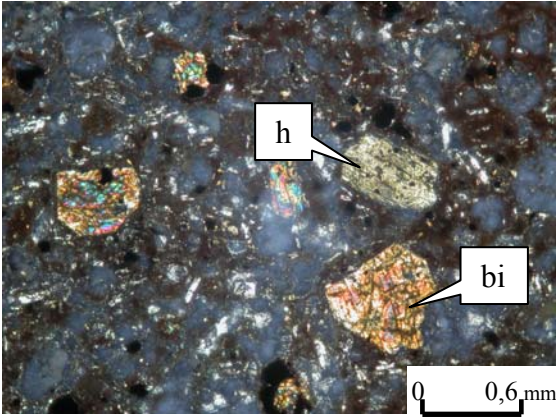
Şekil 15. İyidere taş ocağından alınan litik kristal tüflerin mikroskopta görünümü (ÇN)
(h: hornblend, oj: ojit, bi: biyotit)



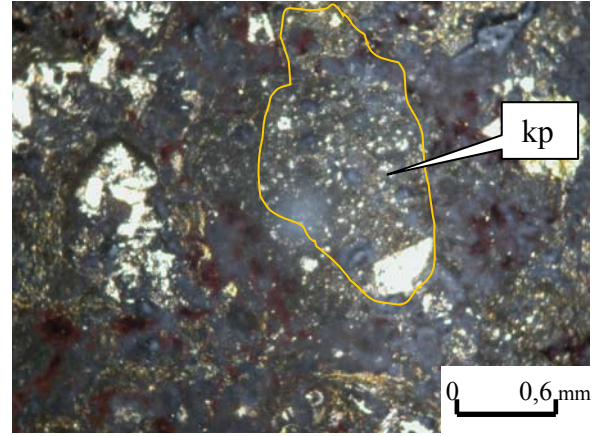
Dv1



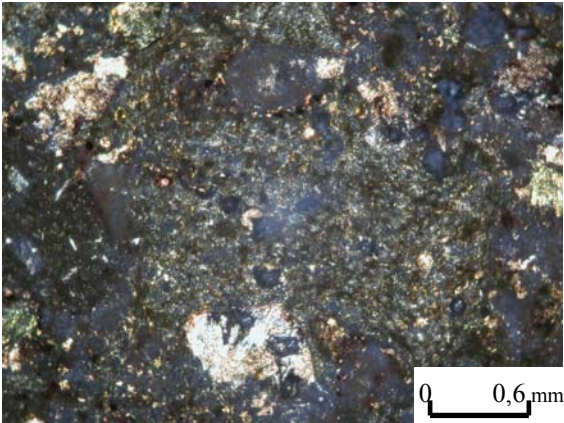
Dv2



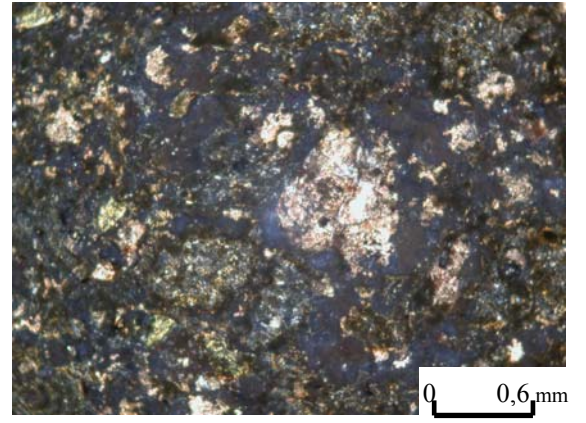
Dv3



Dv4

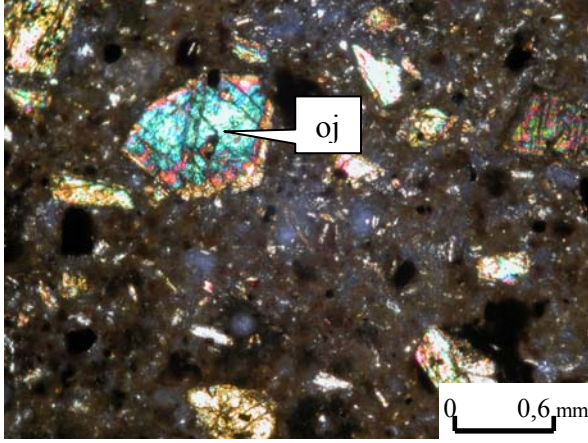


Dv5

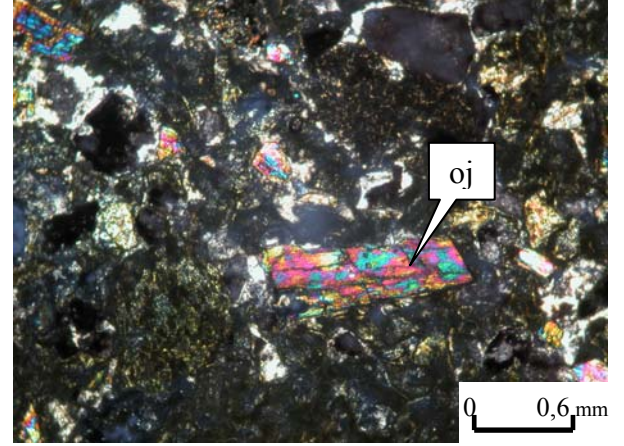


Dv6

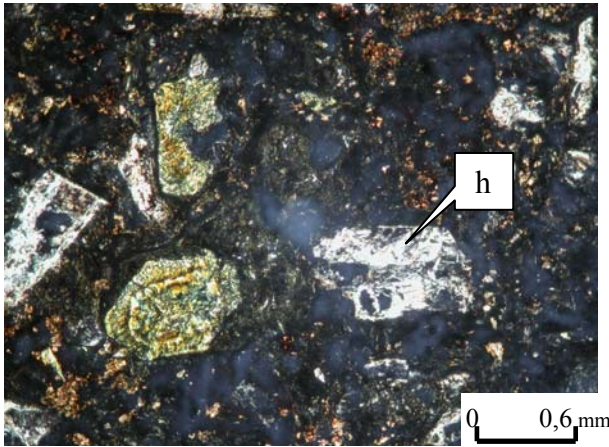
Şekil 16. KTÜ Ana Kampüsündeki duvarlardan alınan litik kristal tüflerin mikroskopta görünümü (ÇN) (kp: kayaç parçası, h: hornblend, bi: biyotit)



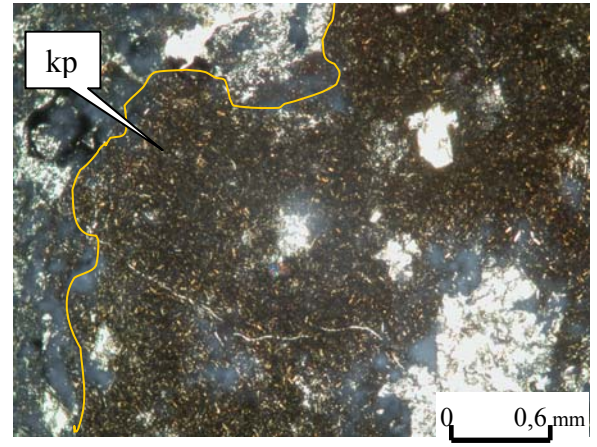
Bz2



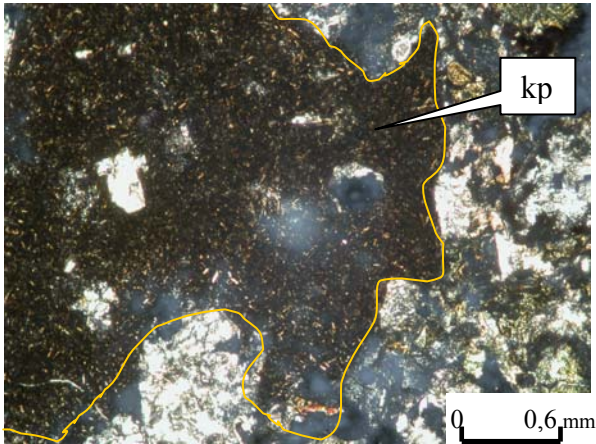
Bz3



Bz3



Dg1



Dg2

Şekil 17. KTÜ Ana Kampüsündeki duvarlardan alınan bazalt ve bazaltik vitrik tüflerin mikroskopta görünümü (ÇN) (oj: ojit, h: hornblend, kp: kayaç parçası)

Aşağıda Eşitlikler 13-16 da verilen istatistiksel modellerde bazalt ve tuf örneklerin ayrışma durumunun tanımlanmasında kullanılan petrografik indekslerin; (mikrokırık+boşluk oranı (CD %) ve ikincil mineral oranı (SM %)) mühendislik davranışlarının tahmininde kullanılabileceği görülmektedir. Söz konusu örneklerin dayanım ve deformasyon özellikleri efektif porozite (ne) ve örneğin katı kısmındaki P-dalga hızı birlikte kullanılarak da tahmin edilebilmektedir (Eşitlikler 17, 18, 19 ve 20). Petrografik indekslerin elde edilişi fiziksel özelliklerin belirlenmesine göre daha az ekonomik ve daha az pratiktir.

$$\sigma_c = 75.3 - 0.571 CD - 1.13SM \quad (r=0.802) \quad (13)$$

$$\sigma_t = 6.99 - 0.69 CD - 0.105SM \quad (r=0.710) \quad (14)$$

$$E_s = 11765 - 153.9 CD - 153.8SM \quad (r=0.685) \quad (15)$$

$$E_d = 18461 - 334 CD - 15.5.8SM \quad (r=0.491) \quad (16)$$

$$\sigma_c = -67.27 - 5.4 ne + 0.36 V_{pm} \quad (r=0.801) \quad (17)$$

$$\sigma_t = -0.462 - 0.556 ne + 0.002 V_{pm} \quad (r=0.637) \quad (18)$$

$$E_s = 11605 - 1435 ne + 2.26 V_{pm} \quad (r=0.859) \quad (19)$$

$$E_d = 54926 - 2170 ne + 3.65 V_{pm} \quad (r=0.899) \quad (20)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde; σ_c : tek eksenli basınç dayanımı (MPa), σ_t : çekme dayanımı (MPa), E_s : secant elastisite modülü (MPa), E_d : dinamik elastisite modülü (MPa) dır.

Kayaçların ayrışma durumunun ve ayrışabilirliğinin değerlendirilmesinde yararlanılan yöntemlerden biri de kimyasal ayrışma indekslerinin kullanımındır (Ceryan 2008, Ceryan vd. 2008). Hodder (1984), Aires-Barros (1978) tarafından Miura ve Parker indekslerinin her biri için tanımladığı göreceli indeksler arasındaki doğrusal ilişkiyi incelemiştir. Yazar, bu araştırma sonucunda söz konusu indekslerle kimyasal reaksiyonun Gibbs serbest enerjisi arasında sayısal ilişkilerin kurulabileceğini göstermiş ve Miura ve Parker indekslerine bağlı olarak sağlam kayacın ayrışabilirliğini gösteren yeni bir indeks tanımlamıştır. Hodder (1984) tarafından tanımlanan kimyasal ayrışabilirlik indeksi (K_s) aşağıda verilmiştir.

$$K_s = \frac{(Wm^0 - Pr I^0)}{Wm^0 Pr I^0} \quad (21)$$

Eşitlikte W_m^0 ; taze kayaç için hesaplanan Miura indeksi, $Pr I^0$; taze kayaç için hesaplanan Parker İndeksi, K_s ; sağlam kayacın ayrışabilirlik indeksi dir. Parker İndeksi (Parker 1970) ve Miura İndeksi (Miura 1973) aşağıdaki eşitliklerle bulunmaktadır.

$$Pr I = \frac{2Na_2O}{0,35} + \frac{MgO}{0,90} + \frac{2K_2O}{0,25} + \frac{CaO}{0,70} \quad (22)$$

$$W_m = \frac{(MnO + FeO + K_2O + N_2O + CaO + MgO)}{(Al_2O_3 + Fe_2O_3 + H_2O)} \quad (23)$$

K_s değeri arttıkça kayacın ayrışabilirliği artmakta, aynı ayrışma profilinden alınan örneklerde ise K_s ayrışmayla birlikte azalmaktadır. K_s değeri İyidere taş ocağından alınan litik kristal tüflerde 0.586-0.70 arasında iken, KTÜ Kampüsündeki duvarlardan alınan litik kristal tuf örneklerde 0.458-0.580 arasındadır. Bu durum dikkate alındığında söz konusu duvarların yapılışından bu zamana kadar geçen 38 yıllık süre içerisinde alkali ve toprak alkali elementlerin önemli ölçüde yikanmaya uğradığını göstermektedir.

K_s değeri 1. grup örneklerde (KTÜ Kampüsündeki duvarlardan alınan vitrik tüflerde) 0.517-0.589, 3. grup örneklerde (duvardan alınan bazalt örneklerinde) 0.736-0.80 arasındadır.

3. 4. İyidere Taşocağından ve KTÜ Ana Kampüsündeki Duvarlardan Alınan Bazalt ve Tüflerin Duraylılığı

3. 4. 1. Hızlandırılmış Ayrışma Deneyleri

3. 4. 1. 1. Islanma-Kuruma, Donma Çözülme ve Tuz Kristallenme Deneyleri

Yapıtaşlarının kullandıkları mühendislik yapısının ömrü boyunca göstereceği performans ve performans değişiminin tahmininde kullanılan yöntemlerden biri de hızlandırılmış ayrışma deneyleridir. Bu deneyler sonucunda yapıtaşlarının değişik çevre ve iklimsel koşullardaki duraylılığı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada, İyidere (Rize) taş ocağından ve KTÜ Merkez Kampüsündeki duvarlardan alınan bazik volkanit (bazalt ve

tüf) örnekler üzerinde ıslanma-kuruma, donma-çözülme, tuz kristallenme (Mg sülfata dayanıklılık) deneyleri ve suda dağılma deneyleri yapılmıştır (Tablo 5).

Islanma-kuruma deneyi ıslanma (su içeriğinin değişimi) ile oluşan hacim değişimlerinin Tablo 5. Bazalt ve tüflerde indeks ve dayanım özelliklerinin ıslanma-kuruma ve donma-çözülme deneylerinde değişim miktarı

	Islanma-kuruma deneyinde 50. çevrim sonundaki değişim miktarı (%)						Donma-çözünme deneyinde 25. çevrim sonundaki değişim miktarı (%)					
	γ_k	n_e	n	Vp	σ_c	σ_t	γ_k	n_e	n	Vp	σ_c	σ_t
Dg1	2.53	-21.7	-18.74	18.36	24	20.3	3.14	-28.21	-14.27	25.54	32.4	26.4
Dg2	2.39	-16.97	-13.5	15.58	18.3	17.6	3.05	-22.66	-15.82	24.65	27.8	20.6
Dg3	2.53	-21.22	-11.95	16.48	22.5	18.4	2.66	-28.76	-12.97	28.13	35.6	31.8
Dg4	2.81	-21.72	-17.19	18.09	20.2	17.5	2.9	-25.84	-17.97	22.96	28.3	26.2
Dg5	2.54	-16.8	-10.79	19.92	24.8	18.3	2.66	-21.48	-11.33	26.76	32.7	28.7
Bz1	1.12	-9.22	-5.95	8.4	2.47	1.04	1.22	-7.9	-9.44	7.5	6.56	2.69
Bz2	1.19	-8.72	-4.92	10.37	4.76	2.08	1.37	-9.9	-4.82	12.28	7.65	5.69
Bz3	1.27	-23.08	-8.06	9.18	5.32	2.98	1.94	-17.22	-8.23	11.52	6.58	3.11
Bz4	1.65	-19.04	-8.01	10.12	3.67	1.7	2.14	-31.91	-15.64	10.48	5.99	2.85
Ts1	1.43	-12.73	-9.48	11.53	14.9	12.3	1.54	-9.28	-5.43	14.23	18.7	14.8
Ts2	1.33	-12.44	-7.89	15.24	19.6	13.4	2.43	-14.87	-13.23	15.65	26.5	22.8
Ts3	1.61	-14.26	-11.88	9.71	16.8	11.8	2.12	-16.95	-11.55	10.38	28.7	21.5
Ts4	1.66	-15.48	-9.62	15.58	18.4	13.5	2.4	-16.54	-10.76	17.83	26	21.8
Ts5	1.7	-13.03	-10.29	10.02	16	10.2	2.05	-16.7	-10.96	13.32	29.6	24.0
Ts6	1.98	-13.56	-8.92	14.56	17.1	10.7	2.11	-19.59	-10.1	18.12	25.1	21.4
Ts7	1.55	-13.59	-9.68	17.4	16.5	12.7	2.46	-20.21	-11.49	19.82	19.3	15.1
Ts8	1.91	-16.97	-5.65	15.58	16	12.1	2.71	-18.17	-11.21	18.99	21.7	17.2
Dv1	3.29	-25.85	-18.25	27.4	26.4	22.7	4.3	-33.7	-25.31	36.4	33.1	31.4
Dv2	3	-34.11	-22.62	24.33	32.8	25.3	3.79	-31.03	-20.41	39.64	38.9	35.2
Dv3	3.17	-31.94	-25.48	34.73	29.8	20.2	3.72	-33.85	-27.59	45.69	40.9	38.4
Dv4	3.39	-34.11	-27.09	31.11	33.5	25.7	4.28	-31.39	-15.53	49.31	35.7	32.7
Dv5	3.1	-34.09	-27.92	39.79	34.7	31.9	4.07	-40.27	-34.44	52.76	41	35.6
Dv6	3.44	-39.4	-30.75	45.42	31	23.6	4	-41.23	-36.12	48.5	39.3	33.9
Dv7	3.57	-35.9	-26.21	44.61	35	31.1	4.52	-42.25	-31.1	56.44	36.1	31.5
Dv8	3.45	-31.12	-24.67	44.67	34.3	30.1	4.17	-39.36	-30.23	52.42	40.5	38.1

(γ_k : kuru birim hacim ağırlık, n_e : efektif porozite, n: porozite, Vp: örneklerin kuru durumundaki boyuna dalga hızı, σ_c : tek eksenli basınç dayanımı, σ_t : çekme dayanımı)

göreceli olarak büyük olduğu kayaların özellikle tüflerin ve killi kayaların performansının değerlendirilmesinde önemli yarar sağlamaktadır. Bu çalışmada örnekler 50 adet ıslanma-kuruma çevrimine tabii tutulmuştur (Islanma-kuruma çevrimi Bölüm 2' de Yapılan Çalışmalar kısmında tanımlanmıştır). Tablo 6'da da indeks özelliklerin, tek eksenli basınç dayanımının ve çekme dayanımının her 10 çevrimdeki % değişimi verilmiştir. Şekil 18 de ise söz konusu özelliklerin deney öncesi değeri 100 olarak alınarak her 10 çevrim sonucundaki değeri verilmiştir. Şekil 18' de kesik çizgiler indeks

özelliklerin ve dayanım özelliklerinin ıslanma-kuruma deneyinde her 10 çevrimde % 95 güven aralığında değişim aralığını vermektedir.

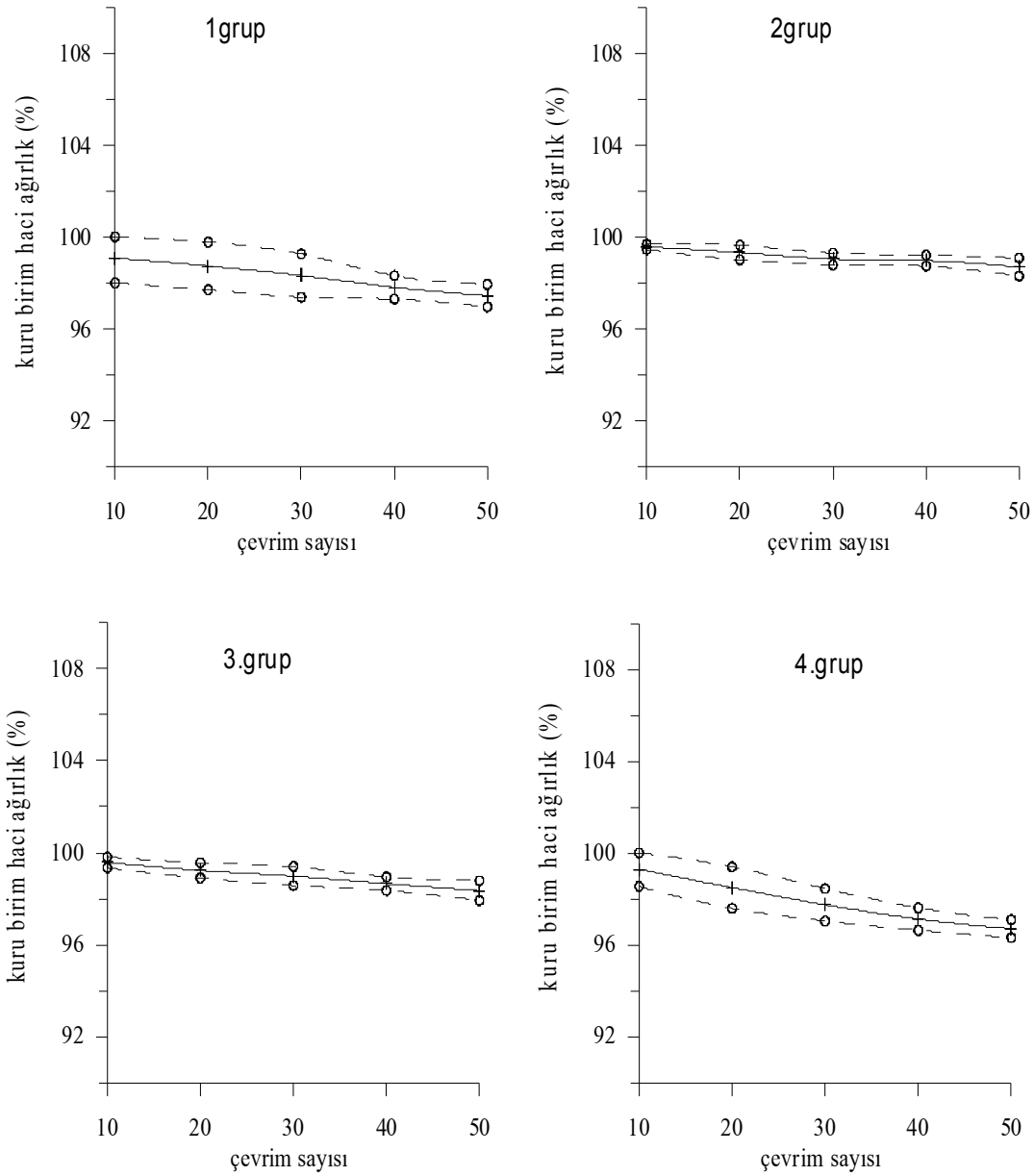
Islanma-kuruma deneylerinde 50. çevrim sonunda kuru birim hacim ağırlık 1. grup örneklerde % 2.6, 2. grup örneklerde % 1.3, 3. grup örneklerde % 1.65 ve 4. grup örnekte Tablo 6. Bazalt ve tuf örneklerde indeks özelliklerin, tek eksenli basınç ve çekme dayanımının ıslanma-kurumayla değişimi (%)

		Ortalama değerler					Standart sapma değerleri						
		γ_k	n_e	n	Vp	σ_c	σ_t	γ_k	n_e	n	Vp	σ_c	σ_t
1. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan bazaltik vitrik tuf örnekleri)													
	N	85	85	85	85	40	40	85	85	85	85	40	40
Çevrim	10	0.93	-7.15	-3.76	4.54			0.55	1.91	3.72	1.35		
	20	1.27	-9.86	-6.38	8.5			0.53	2.12	3.8	2.29		
	30	1.69	-12.56	-9.21	12.39			0.48	2.83	3.79	3.37		
	40	2.2	-16.94	-11.76	15.81			0.26	1.83	3.48	1.01		
	50	2.56	-19.68	-14.44	17.68	21.97	18.43	0.15	2.56	3.41	1.7	2.68	1.11
2. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan bazalt örnekleri)													
	N	70	70	70	70	20	20	70	70	70	70	20	20
Çevrim	10	0.43	-5.92	-1.8	2.82			0.06	3.47	0.89	1.43		
	20	0.68	-9.3	-3.12	4.49			0.16	5.56	1.45	1.15		
	30	0.96	-12.15	-4.77	8.05			0.13	6.52	1.43	1.3		
	40	1.03	-12.54	-5.18	9.0			0.12	6.75	1.47	1.11		
	50	1.31	-15.02	-6.74	9.51	4.06	1.96	0.2	6.21	1.35	0.78	1.09	0.7
3. grup (İyidere taşocağından alınan litik kristal tuf örnekleri)													
	N	110	110	110	110	45	45	110	110	110	110	45	45
Çevrim	10	0.42	-3.94	-2.4	4.57			0.12	1.27	0.82	2.03		
	20	0.77	-7.12	-4.19	6.43			0.17	1.55	1.88	2.61		
	30	1.02	-9.35	-5.99	10.3			0.21	1.86	2.25	3.61		
	40	1.35	-11.89	-7.56	12.39			0.15	1.9	1.95	3.72		
	50	1.65	-14.01	-9.18	13.7	16.91	12.09	0.22	1.53	1.82	2.88	1.5	1.18
4. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan litik kristal tuf örnekleri)													
	N	110	110	110	110	45	45	110	110	110	45	45	
Çevrim	10	0.71	-8.82	-5.26	10.43			0.38	3.61	2.98	7.07		
	20	1.51	-17.93	-10.72	21.47			0.46	6.29	3.93	8.07		
	30	2.26	-24.02	-15.87	29.36			0.36	5.3	3.86	7.42		
	40	2.88	-28.77	-20.45	35.6			0.25	4.81	3.94	7.69		
	50	3.3	-33.32	-25.37	36.51	32.18	26.36	0.2	3.93	3.74	8.33	2.97	4.34

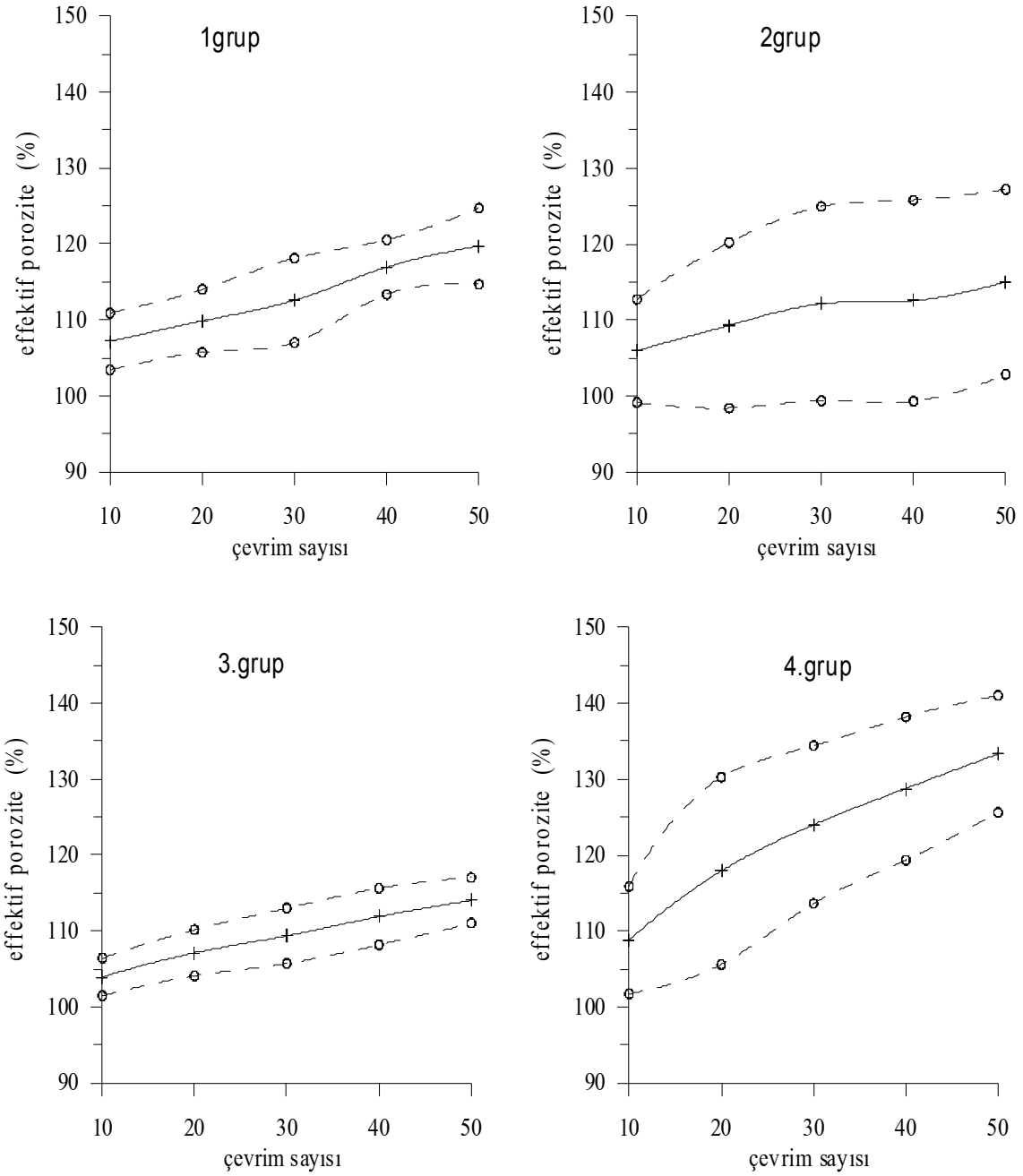
(N: örnek sayısı, γ_k : kuru birim hacim ağırlık, n_e : efektif porozite, n: porozite, Vp: örneklerde kuru durumda ölçülen boyuna dalga hızı, σ_c : tek eksenli basınç dayanımı, σ_t : çekme dayanımı)

% 3.3 oranında azalmış, efektif porozite değerleri 1. grup örneklerde % 19.7, 2. grup örneklerde % 15, 3. grup örneklerde % 14 ve 4. grup örneklerde % 33.3 oranında artmış, porozite değerleri 1. grup örneklerde % 14.4, 2. grup örneklerde % 6.7, 3. grup örneklerde

% 9.2 ve 4. grup örneklerde % 25.4 oranında artmış, ve örneklerin kuru durumdaki boyuna dalga hızı 1. grup örneklerde % 17.7, 2. grup örneklerde % 9.5, 3. grup örneklerde % 13.7 ve 4. grup örneklerde % 36.5 oranında azalmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı 50 çevrim sonucunda 1. grup örneklerde % 21.97, 2. grup örneklerde % 4.1, 3. grup örneklerde % 16.91 ve 4. grup örneklerde % 32.2 oranında azalmıştır. Çekme dayanımı ise 1. grup örneklerde % 18.4, 2. grup örneklerde % 1.96, 3. grup örneklerde % 12 ve 4. grup örneklerde % 26.4 oranında azalmıştır (Tablo 6, Şekil 18-21).



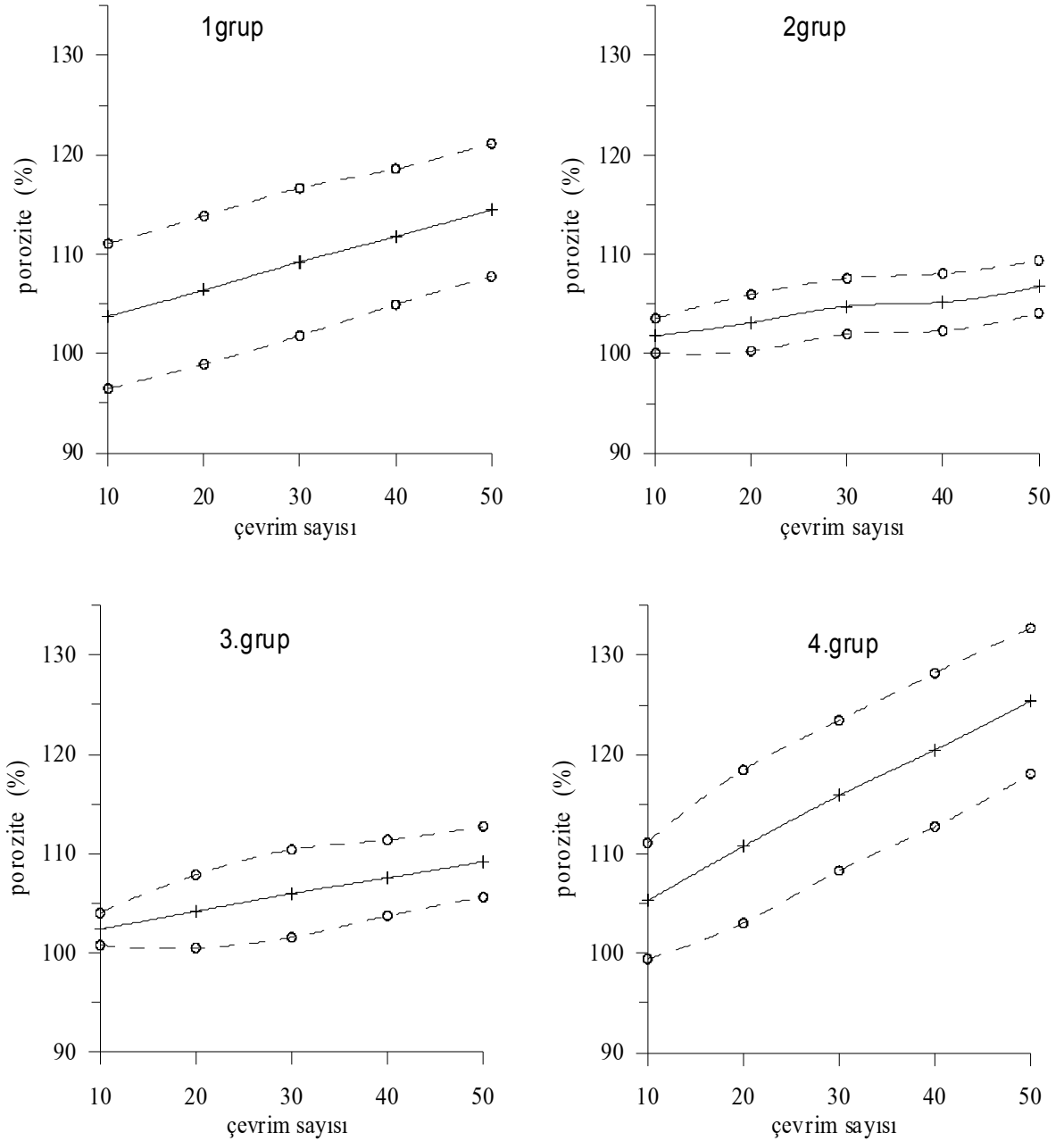
Şekil 18. Bazalt ve tüf örneklerde kuru birim hacim ağırlığının ıslanma-kuruma ile değişimi



Şekil 19. Bazalt ve tuf örneklerde efektif porozitenin ıslanma-kuruma ile değişimi

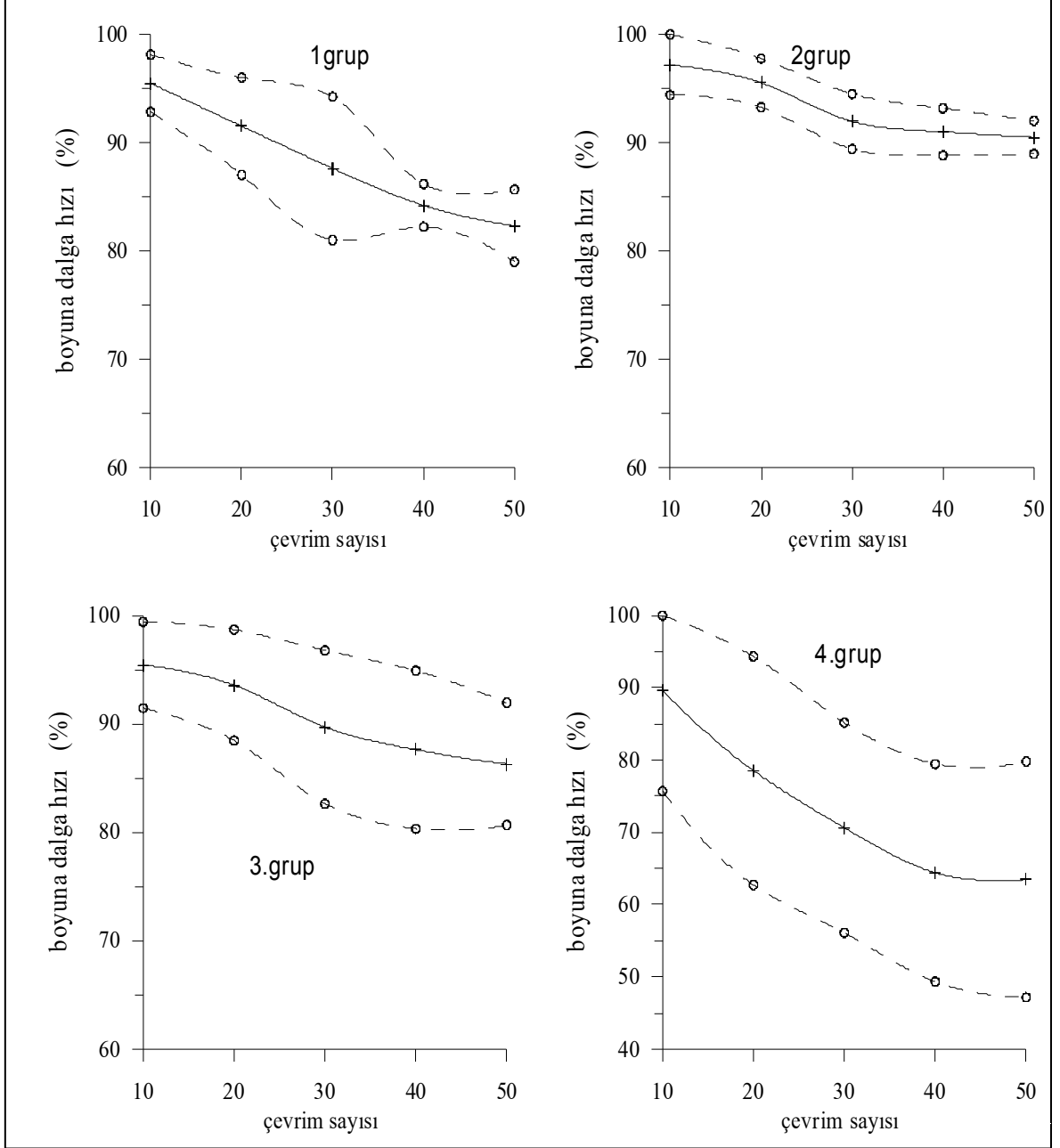
Donma-çözülme deneyi kayaç içerisindeki boşluklarda suyun donması ile oluşan basınçların etkisiyle parçalanmayı, performans kaybını tahmin etmek için yapılmaktadır. Donma çözülme etkisi sıcaklığın suyun donmasını sağlayacak ölçüde düşük olduğu iklimlerde meydana gelmektedir. İnceleme alanımızın yer aldığı Doğu Karadeniz

Bölümünde sıcaklığın bu derece düşük olduğu gün sayısı oldukça azdır. Bu nedenle bu bölgedeki yapıtaşlarının duraylılığının araştırılmasında donma-çözülme deneyinde en fazla 10 çevrim yapılması önerilmektedir (Ulusay vd. 2002). Ancak, bu çalışmada elde edilen verilerin önceki çalışmalarla karşılaştırılabilmesi için çevrim sayısı 25 olarak alınmıştır.



Şekil 20. Bazalt ve tuf örneklerde porozitenin ıslanma-kuruma ile değişimi

Donma çözünme deneylerinde 25. çevrim sonunda kuru birim hacim ağırlık 1. grup örneklerde % 2.9, 2. grup örneklerde % 0.38, 3. grup örneklerde % 2.2 ve 4. grup örneklerde % 4.1 oranında azalmış, efektif porozite değerleri 1. grup örneklerde % 25.4, 2.



Şekil 21. Bazalt ve tüf örneklerde boyuna dalga hızının ıslanma-kuruma ile değişimi

grup örneklerde % 9, 3. grup örneklerde % 16.5 ve 4. grup örneklerde % 36.6 oranında artmış, porozite değerleri 1. grup örneklerde % 14.5, 2. grup örneklerde % 3.9, 3. grup örneklerde % 10.6 ve 4. grup örneklerde % 27.6 oranında artmış ve örneklerin kuru

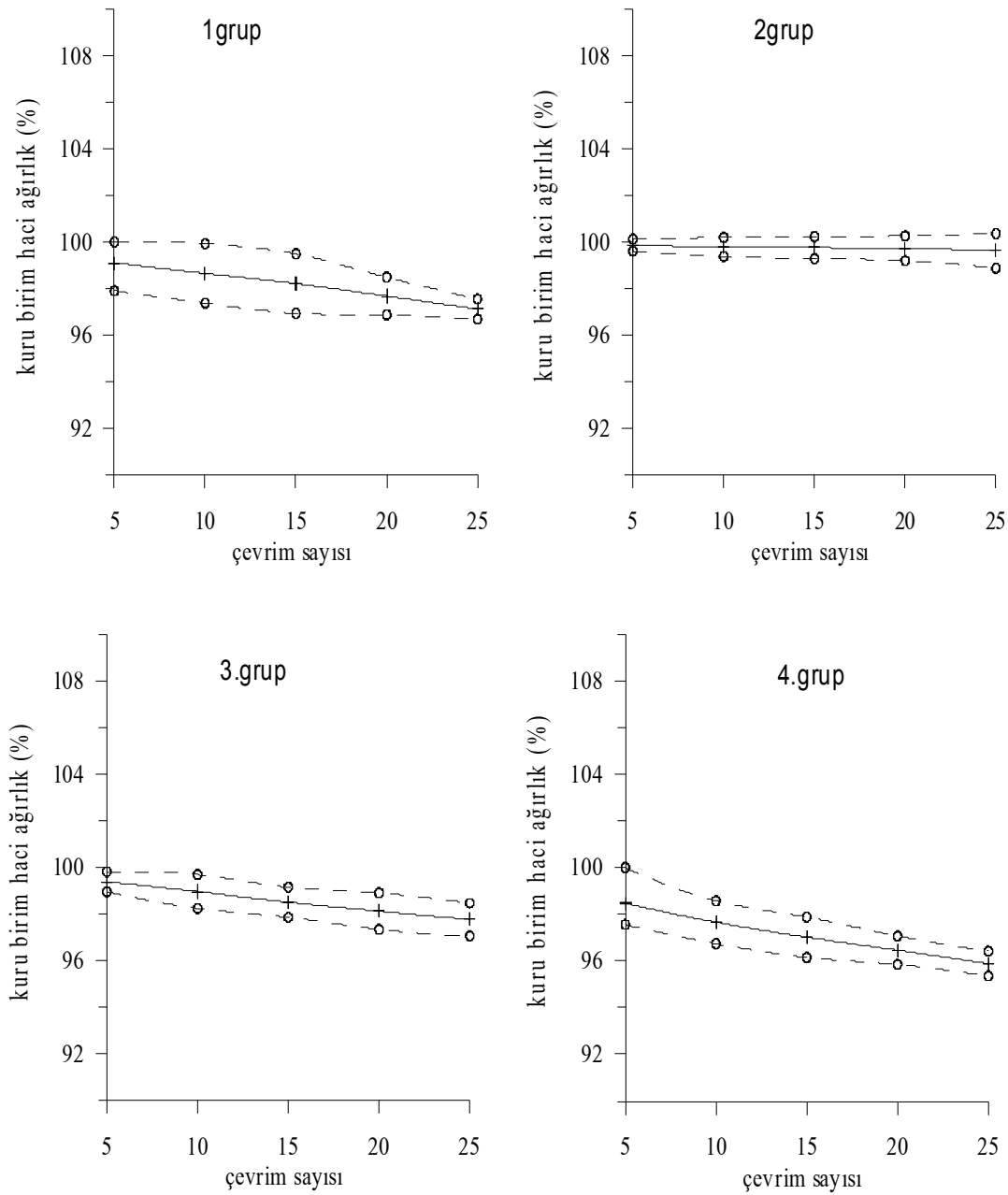
durumdaki boyuna dalga hızı 1. grup örneklerde % 25.6, 2. grup örneklerde % 1.8, 3. grup örneklerde % 13 ve 4. grup örneklerde % 47.6 oranında azalmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı 1. grup örneklerde % 31.4, 2. grup örneklerde % 1, 3. grup örneklerde % 24.5 ve 4. grup örneklerde % 38,2 oranında azalmıştır. Çekme dayanımı ise 1. grup örneklerde % 26.7, 2. grup örneklerde % 1.2, 3. grup örneklerde % 20 ve 4. grup örneklerde % 35 oranında azalmıştır (Tablo 7, Şekil 22-25).

Tablo 7. Bazalt ve tuf örneklerin indeks ve dayanım özelliklerinde donma-çözülmeyle meydana gelen değişim miktarı (%)

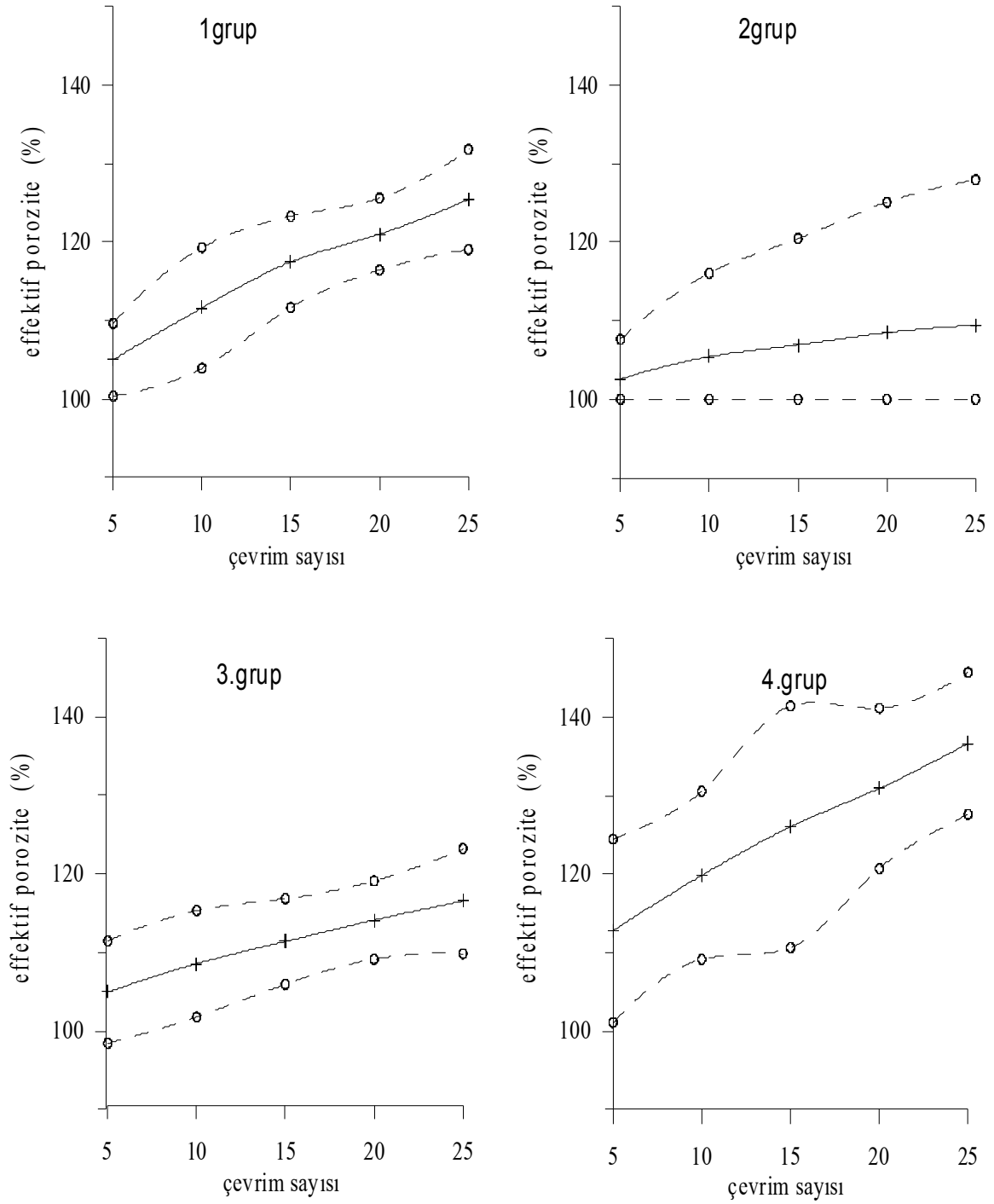
		Ortalama değerler						Standart sapma değerleri					
		γ_k	n_e	n	Vp	σ_c	σ_t	γ_k	n_e	n	Vp	σ_c	σ_t
1. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan bazaltik vitrik tuf örnekleri)													
Çevrim	N	85	85	85	85	40	40	85	85	85	85	40	40
	5	0.9	-5	-4.72	6.92			0.61	2.36	1.64	5.53		
	10	1.35	-11.6	-6.72	14.96			0.65	3.92	1.66	4.61		
	15	1.79	-17.45	-8.68	18.21			0.65	2.97	2.01	4.55		
	20	2.32	-20.99	-12	23.68			0.41	2.33	1.96	3.08		
	25	2.88	-25.39	-14.47	25.61	31.37	26.76	0.22	3.25	2.56	1.98	3.29	4.13
2. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan bazalt örnekleri)													
Çevrim	N	70	70	70	70	20	20	70	70	70	70	20	20
	5	0.13	2.57	1.25	1.48			0.13	2.57	1.25	1.48		
	10	0.21	5.42	2.2	2.15			0.21	5.42	2.2	2.15		
	15	0.24	6.91	2.67	2.06			0.24	6.91	2.67	2.06		
	20	0.27	8.47	3.21	2.09			0.27	8.47	3.21	2.09		
	25	0.38	9.43	3.91	1.82	0.6	1.22	0.38	9.43	3.91	1.82	0.6	1.22
3. grup (İyidere taşocağından alınan litik kristal tuf örnekleri)													
Çevrim	N	120	120	120	120	45	45	120	120	120	120	45	45
	5	0.61	-4.96	-2.91	2.91			0.22	3.32	1.32	1.05		
	10	1.03	-8.57	-5.27	7.31			0.37	3.46	1.81	2.83		
	15	1.49	-11.41	-7.06	10.1			0.33	2.78	1.78	2.57		
	20	1.87	-14.13	-8.87	13.09			0.4	2.54	2.22	2.76		
	50	2.23	-16.54	-10.59	16.05	24.45	20.2	0.36	3.41	2.27	3.24	4.11	3.72
4. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan litik kristal tuf örnekleri)													
Çevrim	N	110											
	5	1.52	-12.78	-10.33	5.89			0.47	5.95	6.65	4.67		
	10	2.34	-19.84	-16.62	26.03			0.47	5.46	6.43	7.53		
	15	2.98	-26.02	-21.33	35.92			0.44	7.85	7.97	6.65		
	20	3.54	-30.92	-26.82	42.38			0.31	5.21	9.98	5.8		
	25	4.11	-36.64	-27.59	47.64	38.18	34.6	0.27	4.61	6.98	6.8	2.92	2.73

(γ_k : kuru birim hacim ağırlık, n_e : efektif porozite, n: porozite, Vp: örneklerde kuru durumda ölçülen boyuna dalga hızı, σ_c : tek eksenli basınç dayanımı, σ_t : çekme dayanımı)

Tuz kristallenme deneyi doğal koşullarda tuzların kayacın boşluklarda kristallenme etkisini incelemek için yapılmaktadır. Bu çalışmada Mg sulfata dayanıklılık testi için 5 çevrim yapılması düşünülmüş, ancak litik kristal tuf örneklerin büyük çoğunluğu 4. çevrim sonrasında dağılmış olup indeks ve dayanım özellikleri ölçülememiştir. Tablo 8' de 3 çevrimin her biri için indeks özelliklerin değişimi ve ilk 2 çevrim için tek eksenli basınç ve çekme dayanımlarının değişimi verilmiştir (Tablo 8).



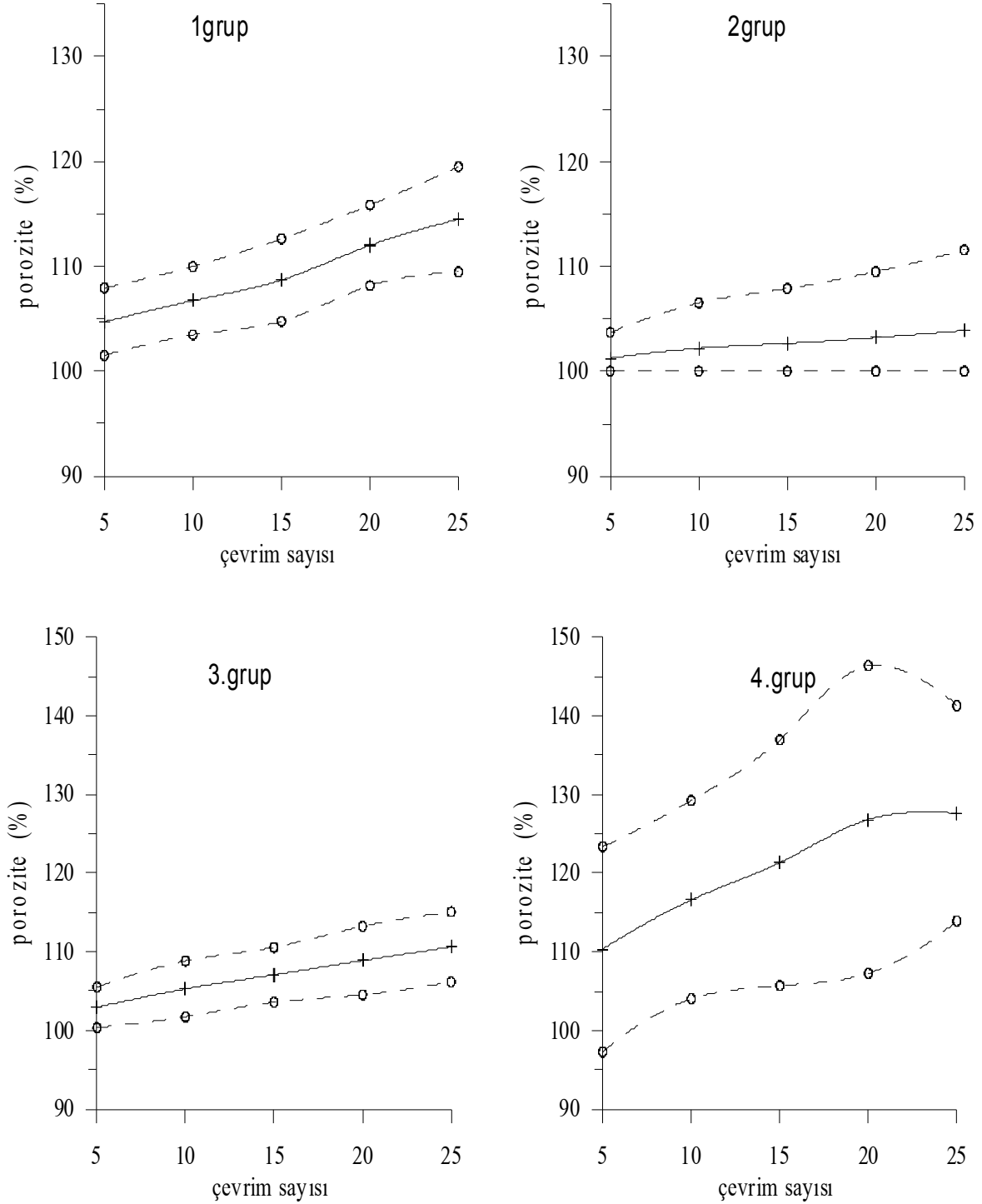
Şekil 22. Bazalt ve tuf örneklerde kuru birim hacim ağırlığının donma çözülme ile değişimi



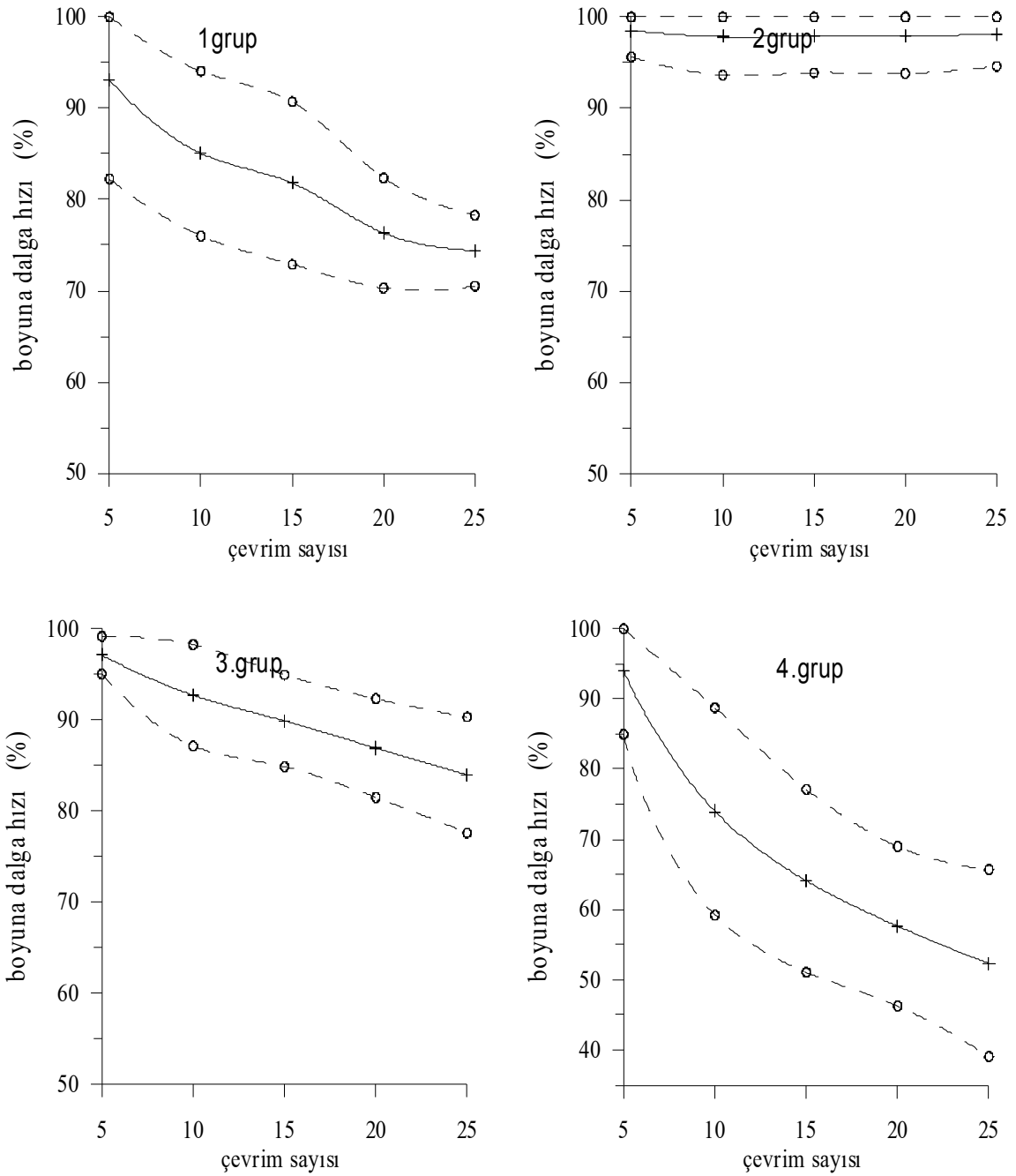
Şekil 23. Bazalt ve tuf örneklerde efektif porozitenin donma çözülme ile değişimi

Tuz kristallenme deneylerinde 3. çevrim sonunda kuru birim hacim ağırlık 1. grup örneklerde % 5.2, 2. grup örneklerde % 1.5, 3. grup örneklerde % 3,8 ve 4. grup örneklerde % 8.1 oranında azalmış, efektif porozite değerleri 1. grup örneklerde % 28.7, 2. grup örneklerde % 18.2, 3.grup örneklerde % 21.3 ve 4. grup örneklerde % 44 oranında artmış,

porozite değerleri 1. grup örneklerde % 21.8, 2. grup örneklerde % 9.3, 3. grup örneklerde % 15.4 ve 4. grup örneklerde % 32.7 oranında artmış ve örneklerin kuru durumdaki boyuna dalga hızı 1. grup örneklerde % 27, 2. grup örneklerde % 11.9, 3. grup örneklerde



Şekil 24. Bazalt ve tuf örneklerde porozitenin donma çözülme ile değişimi



Şekil 25. Bazalt ve tuf örneklerde boyuna dalga hızının donma çözülme ile değişimi

% 19 ve 4. grup örneklerde % 48.3 oranında azalmıştır. Söz konusu deneylerde, 2. çevrim sonunda tek eksenli basınç dayanımı 1. grup örneklerde % 25.7, 2. grup örneklerde % 5.5, 3. grup örneklerde % 36.9 ve 4. grup örneklerde % 43.8 oranında azalmıştır. Çekme dayanımı ise 1. grup örneklerde % 18.4, 2. grup örneklerde % 2.2, 3. grup örneklerde % 27.4 ve 4. grup örneklerde % 34.5 oranında azalmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Bazalt ve tüflerin indeks ve dayanım özelliklerinde Mg-sülfata dayanım deneyinde meydana gelen değişim miktarı (%)

		γ_k	n_e	n	Vp	σ_c	σ_t
1. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan bazaltik vitrik tüf örnekleri)							
Çevrim	Örnek sayısı	125	125	125	125	40	40
	1	1.54	-15.01	-8.58	14.54	7.68	4.36
	2	3.14	-23.67	-17.63	24.08	25.74	18.43
	3	5.15	-28.73	-21.74	27.51		
2. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan bazalt örnekleri)							
Çevrim	Örnek sayısı	75	75	75	75	35	35
	1	0.57	-8.43	-2.67	4.52	1.21	
	2	1.08	-15.7	-5.12	7.4	5.47	2.12
	3	1.54	-18.17	-9.27	11.89		
3. grup (İyidere taşocağından alınan likit kristal tüf örnekleri)							
Çevrim	Örnek sayısı	125	125	125	125	50	10
	1	1.48	-7.85	-6.64	8.83	14.38	7.84
	2	2.06	-15.34	-9.63	16.38	36.94	27.39
	3	3.78	-21.3	-15.4	19.1		
4. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan likit kristal tüf örnekleri)							
Çevrim	Örnek sayısı	125	125	125	125	50	50
	1	3.74	-21.28	-12.01	19.1	19.76	12.68
	2	5.36	-38.69	-27.82	38.57	43.81	34.55
	3	8.12	-44.07	-32.65	48.27		

(γ_k : kuru birim hacim ağırlık, n_e : efektif porozite, n: porozite, Vp: örneklerde kuru durumda ölçülen boyuna dalga hızı, σ_c : tek eksenli basınç dayanımı, σ_t : çekme dayanımı)

Hızlandırılmış ayrışma deneylerinde indeks ve dayanım özelliklerindeki değişimi en fazla 4. gruptaki örneklerde (KTÜ Merkez Kampüsteki çevre duvarlarından alınan litik kristal tüflerde) en düşük ise 2. gruptaki örneklerde (KTÜ Merkez Kampüsteki çevre duvarlarından alınan bazaltlarda) ölçülmüştür. 3. gruptaki örneklerde (İyidere ocağından alınan litik kristal tüflerde) söz konusu değişim miktarları 1. gruptaki örneklere (KTÜ Merkez Kampüsteki çevre duvarlarından alınan vitrik tüfler) göre daha azdır. Söz konusu deneylerde ölçümlerdeki en fazla değişim (standart sapması en büyük olan) kuru örneklerde ölçülen boyuna dalga hızı (Vp) değerlerinde en düşük değişim ise kuru birim hacim değerlerinde görülmektedir.

3. 4. 1. 2. Boyuna Dalga Hızı Ölçümleri, Suda Dayanım ve Aşınma Deneyleri

Boyuna dalga hızı, suda dayanım indeksi ve aşınma deneyleri yapıtaşlarının ayrışma durumu ve mühendislik zamandaki performansının (duraylılığını) değerlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır (Ceryan ve Şen 2003, Ceryan vd. 2005). İyidere taş ocağı ve KTÜ Ana Kampüsü çevre düzenlemesi için yapılan duvardan alınan örneklerin boyuna dalga hızı ve ilgili parametreler, suda dayanım indeksi ve Los Angeles aşınma deneyi sonuçları verilmiştir (Tablo 9-10).

Ceryan (1999) ve Ceryan vd. (2008) kayaç yapıcı mineraller ve ayrışma ürünlerindeki P dalga hızları ile Hodder (1984)) tarafından bu mineraller için verilen Ayrışabilirlik İndeksi değerlerini birlikte değerlendirilerek önemli bulgulara ulaşılmışlardır. Bu bulgular aşağıda verilmiştir; a)-Minerallerin boyuna dalga hızı ayrışma ürünlerinkinden daha büyüktür, b)-Ayrışma ürünlerinin Ayrışabilirlik İndeksi değerleri orjinal minerallere göre daha düşüktür, c)-Minerallerin boyuna dalga hızları ile Ayrışabilirlik İndeksi değerleri ile doğru orantılı, yani ayrışmaya karşı dirençle ters orantılı olarak değişmektedir.

Yazarlar, bu bulgulara dayanarak, kayaçların ayrışma durumunu tanımlamak ve ayrışabilirliğini tahmin etmek için “Sayısal Ayrışma İndeksi” (Ia) tanımlamıştır.

$$Ia = 100 - ((100 - Iad) * Id * 0,01) \quad (24)$$

Burada Id: suda dayanım indeksi, Iad ise “Ayrışma durumu “ indeksi olup, Imp (Minerolojik Değişim Parametresi) ve Ifp’ye (Fiziksel Değişim Parametresi)” bağlı olarak aşağıdaki formülle verilmiştir.

$$Iad = \sqrt{\frac{Ifp^2 + Imp^2}{2}}, \quad Imp = \frac{(V_{pmo} - V_{pm})}{V_{pmo}} 100 \quad \text{ve} \quad Ifp = \frac{(V_{pm} - V_p)}{V_{pm}} 100 \quad (25)$$

İyidere taşocağından alınan sağlam ve az ayrışmış litik kristal tuf örnekleri ile bu ocak civarından alınıp 1970 yılında yapılan KTÜ Ana Kampüsündeki duvarlarda kullanılan litik kristal tuf örnekleri karşılaştırıldığında ortalama olarak; suda dayanım indeksinin % 10.4, boyuna dalga hızının % 10, katı kısmındaki (örneğin boşluksuz ve mikrofissürsüz olduğu kabul edildiği durumdaki) boyuna dalga hızının % 5.6, kalite indeksinin % 4.13 azaldıkları ve mineralojik değişim indeksinin % 21.9, fiziksel değişim indeksinin % 17, sayısal ayrışma indeksinin % 25.4, aşınma miktarının % 45 oranında arttığı görülmektedir. Bu durum, boyuna dalga hızının, suda dayanım indeksinin ve Los Angeles Aşınma deneyinin tuf örneklerinin ayrışabilirliğinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak tek bir indeks

değerin yapıtaşlarındaki mühendislik zamandaki ayrışmayla oluşan tüm değişimleri ve performansının değişikliğini tahmin etmede yeterli olmayabilir.

Tablo 9. İyidere ocağından ve KTÜ Kampüsündeki taş duvarlardan alınan bazalt ve tuf örneklerin boyuna dalga hızı ile ilgili parametreler, ve aşınma değerleri

	Vp	Vm	IQ	Imp	Ifp	Iad	Ia	Id	LA100	LA500
Dg1	3569	4702	75,9	27,9	24,1	26,07	36,43	85,99	6,7	21,6
Dg2	3520	4610	76,4	28,89	23,64	26,4	35,49	87,64	11,8	47,8
Dg3	3687	4838	76,2	25,52	23,79	24,67	33,08	88,84	6,9	24,7
Dg4	3502	4558	76,8	29,25	23,17	26,39	34,54	88,93	9,8	38,5
Dg5	3376	4597	73,4	31,8	26,56	29,3	40,41	84,28	18,4	54,3
Bz1	4838	4950	97,7	6,96	2,26	5,18	10,5	94,39	0,9	8,3
Bz2	3933	4447	88,4	24,37	11,56	19,07	24,77	92,95	2,9	7,4
Bz3	4230	4846	87,3	18,65	12,71	15,96	22,54	92,17	2,1	10,9
Bz4	3991	4667	85,5	23,25	14,48	19,37	24,35	93,82	3,3	11,2
Bztf1	3586	4621	77,6	23,7	22,4	23,06	32,75	87,4	2,7	15,6
Ts1	3418	4600	74,3	27,28	25,7	26,5	34,03	89,75	7,8	26,8
Ts2	3476	4638	74,9	26,04	25,05	25,55	31,32	92,26	9,1	28,4
Ts3	3661	4701	77,9	22,11	22,12	22,11	28,4	91,93	8,6	26,1
Ts4	3671	4644	79	21,89	20,95	21,43	27,51	92,26	9,3	33,4
Ts5	3443	4600	74,8	26,74	25,15	25,96	34,01	89,13	7,4	23,7
Ts6	3500	4645	75,3	25,53	24,65	25,09	33,66	88,56	7,6	23,6
Ts7	3653	4684	78	22,28	22,01	22,14	28,85	91,39	7,6	26,1
Ts8	3466	4560	76	26,25	23,98	25,14	33,07	89,41	9	31,5
Dv 1	3125	4230	73,9	33,51	26,12	30,04	46,58	76,36	17,8	57,9
Dv2	3050	4551	67	35,11	32,98	34,06	46,82	80,65	16,4	63,6
Dv3	3333	4402	75,7	29,08	24,28	26,79	41,79	79,51	10,6	38,7
Dv 4	3233	4457	72,5	31,21	27,46	29,4	38,34	87,34	10,2	34,2
Dv5	3219	4439	72,5	31,5	27,48	29,56	40,06	85,09	14,7	55,3
Dv6	3314	4518	73,4	29,49	26,65	28,11	39,28	84,46	14,2	59,2
Dv7	3163	4232	74,7	32,71	25,27	29,23	45	77,72	19,5	52,6
Ga										
Dv8	3105	4200	73,9	33,94	26,07	30,26	44,77	79,2	21,6	67,5

(Vp: örneğin kuru durumunda ölçülen boyuna dalga hızı, m/sn; Vm: örneğin katı kısmındaki dalga hızı (m/sn), IQ: kalite indeksi, Ifp: Fiziksel değişim parametresi, Imp: Mineralojik değişim parametresi, Iad: Ayrışma durumu indeksi, Ia: Sayısal ayrışma indeksi, Id: 6 çevrim için bulunan suda dayanım indeksi, LA100 ve LA500: Los Angeles deneyinde 100 ve 500 çevrimdeki aşınma miktarı (%))

İyidere taşocağı ve KTÜ Ana Kampüsündeki duvarlardan alınan örneklerin ayrışabilirliğin tahmininde boyuna dalga hızının kullanılabilirliği araştırmak için ıslanma-kuruma deneyinde 50. çevrim ve donma-çözünme deneylerinde 25. çevrim sonunda ölçülen indeks ve mekanik özelliklerin değişim miktarları ile Ceryan (1999) tarafından tanımlanan “Sayısal Ayrışma İndeksi” arasında istatistiksel ilişki aranmıştır. Islanma-kuruma deneyleri için elde edilen söz konusu ilişkiler aşağıda verilmiştir.

Tablo 10. Bazalt ve tüflerde boyuna dalga hızı, kalite indeksi, ayrışma durumu ile ilgili parametre değerleri, sayısal ayrışma indeksi ve aşınma değerleri

	Vp	Vm	IQ	Imp	I _{fp}	I _{ad}	I _a	I _d	LA100	LA500
1. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan bazaltik vitrik tuf örnekleri)										
Örnek sayısı	150	150	150	150	150	150	150	150	72	72
Ortalama	3531	4661	75,7	28,7	24,2	26,6	36,0	87,1	10,7	37,4
Standart sapma	113	112	1,35	2,27	1,33	1,68	2,76	1,99	4,79	14,19
2. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan bazalt örnekleri)										
Örnek sayısı	80	80	80	80	80	80	80	80	45	45
Ortalama	4248	4728	89,7	18,3	10,3	14,9	20,5	93,3	2,3	9,5
Standart sapma	414	221	5,45	7,9	5,46	6,66	6,76	0,97	1,06	1,88
3. grup (İyidere taşocağından alınan likit kristal tuf örnekleri)										
Örnek sayısı	175	175	175	175	175	175	175	175	75	75
Ortalama	3546	4645	76	24,6	23,7	24,1	31,1	90,8	8,2	27
Standart sapma	111	38,2	1,91	2,37	1,90	2,13	2,85	1,57	0,78	3,34
4. grup (Kampüsteki duvarlardan alınan likit kristal tuf örnekleri)										
Örnek sayısı	175	175	175	175	175	175	175	175	75	75
Ortalama	3223	4399	73,3	31,4	26,7	29,2	41,7	82,2	14,9	51,2
Standart sapma	131	143	2,66	2,78	2,66	2,48	4,54	4,53	4,37	13,14

(V_p: örneğin kuru durumunda ölçülen boyuna dalga hızı (m/sn); V_m: örneğin katı kısmındaki dalga hızı (m/sn), IQ: kalite indeksi, I_{fp}: Fiziksel değişim parametresi, Imp: Mineralojik değişim param, I_{ad}: Ayrışma durumu indeksi, I_a: Sayısal ayrışma indeksi, I_d: 6 çevrim için bulunan suda dayanım indeksi, LA100 ve LA500: Los Angeles deneyinde 100 ve 500 çevrimdeki aşınma miktarı (%))

$$\gamma_k^* = 0.58e^{0.039I_a} \quad (r=0.867) \quad (26)$$

$$n_e^* = -0.761I_a + 4.595 \quad (r=0.697) \quad (27)$$

$$n^* = -0.701I_a + 4.595 \quad (r=0.730) \quad (28)$$

$$V_p = 3.185e^{0.051I_a} \quad (r=0.808) \quad (29)$$

$$\sigma_c^* = 1.254e^{0.0769I_a} \quad (r=0.877) \quad (30)$$

$$\sigma_t^* = 0.4578e^{0.0964I_a} \quad (r=0.880) \quad (31)$$

Donma çözünme deneyleri için elde edilen söz konusu ilişkiler de Eşitlik 32-37 de verilmiştir.

$$\gamma_k^* = 0.756e^{0.08I_a} \quad (r=0.910) \quad (32)$$

$$n_e^* = -0.8761I_a + 5.21 \quad (r=0.719) \quad (33)$$

$$n^* = -0.702I_a + 7,41 \quad (r=0.661) \quad (34)$$

$$V_p = 2.80e^{0.061Ia} \quad (r=0.876) \quad (35)$$

$$\sigma_c^* = 3.068e^{0.06Ia} \quad (r=0.833) \quad (36)$$

$$\sigma_t^* = 1.1548e^{0.081Ia} \quad (r=0.847) \quad (37)$$

İncelenen örnekler için Sayısal Ayırışma İndeksi (Ia) Los Angeles deneyinde 100. ve 500. çevrimler sonundaki ağırlık kaybı yüzdesi arasında aşağıdaki ilişkiler elde edilmiştir.

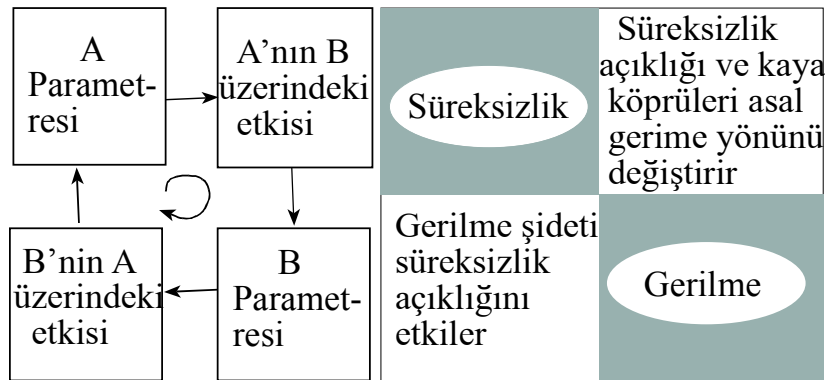
$$LA_{100}^* = 0.535e^{0.08Ia} \quad (r=0.920) \quad (38)$$

$$L_{500}^* = 3.22e^{0.0664Ia} \quad (r=0.900) \quad (39)$$

Yukarıdaki istatistiksel modellerin tümü 25 veri ile kurulmuştur. Eşitlikler 26-39 incelendiğinde, Ia ile söz konusu özellikler arasında anlamlı istatistiksel ilişkilerin bulunduğu, Ia ile bazalt ve tuf örneklerinin indeks özelliklerinin, tek eksenli basınç dayanımının, çekme dayanımının ve aşınma değerlerinin değişimlerinin tahmininde kullanılabileceği görülmektedir. Başka bir anlatımla, Ia kullanılarak incelenen bazalt ve tuf örneklerinin duraylılığı ekonomik, pratik ve hızlı olarak tahmin edilebilir.

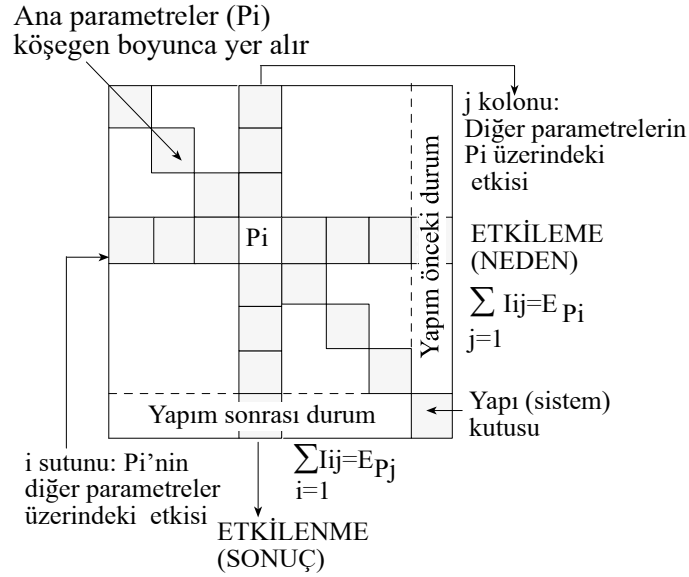
3. 4. 2. Kaya Mühendislik Sistemi ile Duraylılığın Belirlenmesi

Doğal ve mühendislik yapılarında (kayaçların ayrışabilirliği, erozyona uğrayabilirliği, doğal yamaçların veya kazı şevlerinin duraylılığı v.b) bazı parametrelerin sistem üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu, bazı parametrelerin ise sistemden daha fazla etkilendiği bilinmektedir. Kaya mühendisliği sistemindeki (RES) parametrelerin karşılıklı etkileşimi, sistemdeki baskınlığı Hudson (1992) ve Hudson ve Harrison (1992) tarafından sayısallaştırılmıştır (Şekil 26).



Şekil 26. 2x2 boyutunda etkileşim matrisi (Hudson 1992)

Etkileşim matrisi yöntemi (EMY)' nin uygulamasında ilk aşama, doğal veya mühendislik yapısını (sistemi) etkileyen parametrelerin seçilmesi ve bu parametrelerin etkileşiminin ve sistemle ilişkilerinin belirlenmesidir. Sistemi etkileyen parametrelerin belirlenmesi doğal ya da mühendislik yapısının özelliklerine, yerel koşullara ve söz konusu sisteme ilişkin deneyim ve bilgi birikimine bağlıdır. EMY'nde sistemi etkileyen parametrelerin etkileşimlerini belirtmek için bir kare matris oluşturulur (Şekil 27).



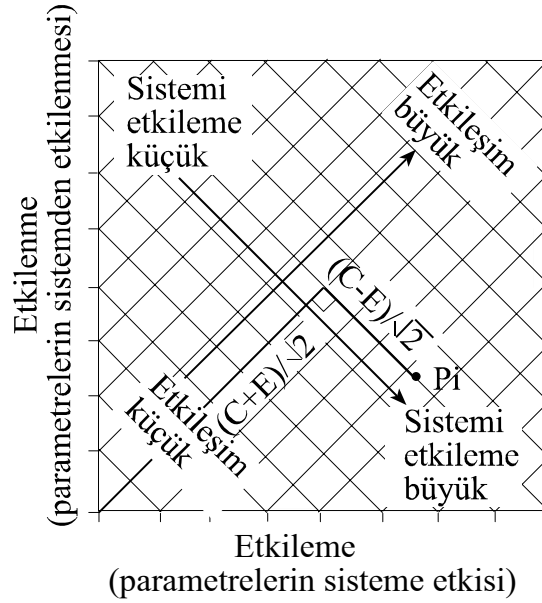
Şekil 27. Etkileşim Matrisini'nin oluşturulması ve Etkileme ve Etkilenme puanlarının bulunması (Hudson, 1992)

EMY' de herhangi bir P_i (parametre) için üzerinde yer aldığı satır toplamı (Etkileme puanı) ve sütun toplamı (Etkilenme puanı) bulunup x-y koordinat sisteminde gösterildiğinde, Etkileme+Etkilenme puanı arttıkça parametrenin sistemle etkileşimi artmakta, Etkileme=Etkilenme hattından Etkileme eksenine doğru uzaklık arttıkça ise parametrenin sistemi etkileme derecesi artmaktadır (Şekil 28).

EMY uygulamasının ikinci aşamasında, söz konusu doğal veya mühendislik yapısı seçilen parametreler açısından incelenmekte (arazide ve laboratuarda söz konusu parametrelerin ölçümleri yapılmakta) ve parametre ölçüm değerleri (her bir parametreye göre oluşturulmuş puanlama tablosuna göre) sayısal olarak puanlanmaktadır.

EMY'nin üçüncü aşamasında, her bir parametreye ait (Etkileme+Etkilenme) puanı ile arazide ve laboratuvar ölçümlerinden elde edilen en yüksek puandan yararlanılarak ağırlık faktörü (ölçeklendirilmiş değer) hesaplanmaktadır. Son olarak ise, incelenen her bir mühendislik yapısı için) "Duraysızlık İndeksi" hesaplanarak yorumlanmaktadır.

Bu çalışmada yapıtaşlarının duraylılığının tahmini için Ceryan vd. (2005) tarafından



Şekil 28. Etkileme-Etkilenme grafiği (Hudson, 1992)

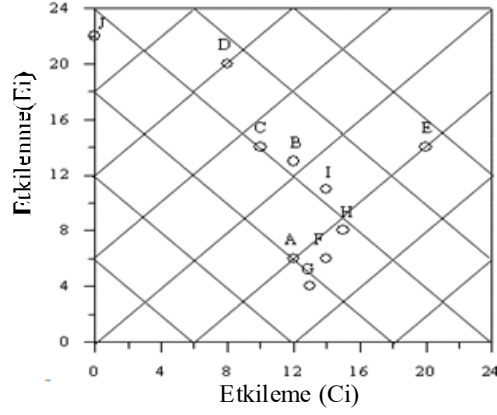
kullanılan parametreler dikkate alınmıştır. Bu parametreler; 1- Kimyasal (veya mineralojik) bileşim (Pa), 2- mikrofissür miktarı (Pb), 3- suda dağılma (Pc), 4- tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü (Pd), 5- ayrışma durumu (Pe), 6- yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri (Pf), 7- donma ve çözülme oluşturacak iklimsel koşulların varlığı (Pg), 8- hidrolojik koşullar ve nemlilik (Ph) ve 9- jeokimyasal ortam ve suyun jeokimyasal özellikleri (Pi) dir (Tablo 11).

Tablo 11. Yapıtaşlarının duraylılığının tahmini için etkileşim matrisi (Ceryan vd. 2005)

										Ci	
	Pa	0	3	2	3	0	0	0	2	2	12
	0	Pb	3	4	2	0	0	0	0	3	12
	0	1	Pc	3	2	0	0	0	0	4	10
	0	3	1	Pd	2	0	0	0	0	2	8
	3	3	4	4	Pe	0	0	1	2	3	20
	1	1	0	1	0	Pf	3	3	3	2	14
	0	3	0	2	0	2	Pg	2	2	2	13
	1	1	1	3	2	2	1	Ph	2	2	15
	1	1	2	1	3	2	0	2	Pi	2	14
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Pj	0
Ei	6	13	14	20	14	6	4	8	11	22	118

Bu çalışmada, tüflerin duraylılığında etkili olan parametrelerin ağırlık puanları Pa için 1.67, Pb için 2.29, Pc için 2.08, Pd için 3.39, Pe için 4.04, Pf için 1.88, Pg için 2.6, Ph için 3.65 ve Pi için 2.99 olarak bulunmuştur.

Duraylılığı en fazla etkileyen faktörler sırasıyla; yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri, donma ve çözülme oluşturacak iklimsel koşulların varlığı, hidrolojik koşullar ve nemlilik ile kimyasal bileşimdir. Duraylılığı en az etkileyen faktörler; tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü ve suda dağılımadır. Yapı taşlarının mühendislik zamandaki performans değişimi (duraylılığı) ile en fazla etkileşim halinde parametreler; ayrışma durumu ve kimyasal bileşimdir (Şekil 29).



Şekil 29. Yapıtaşlarının ayrışabilirliğinin tahmini için oluşturulmuş etkileme-etkilenme grafiği

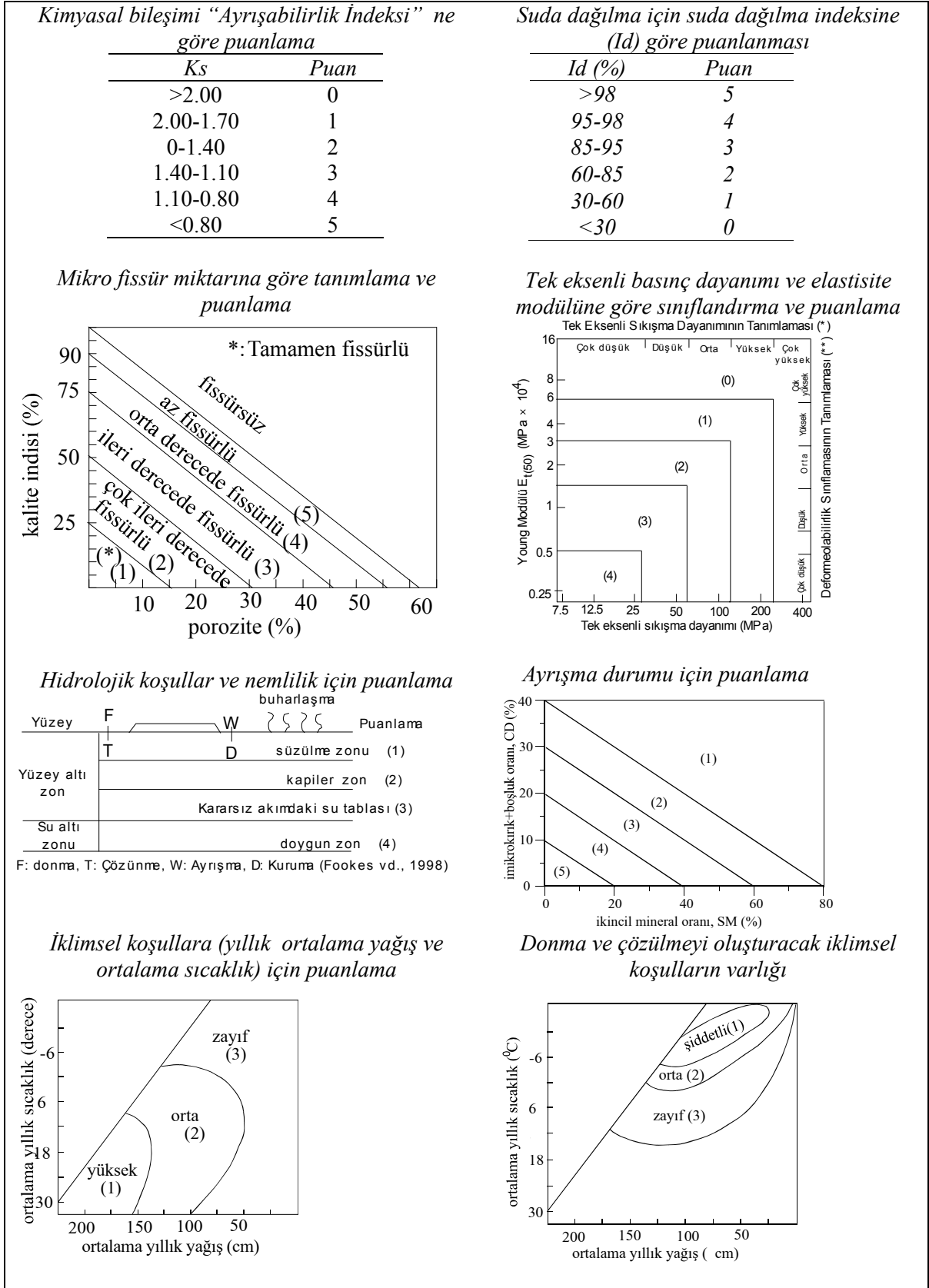
Yapıtaşlarının mühendislik zamandaki performansını değerlendirmek için dikkate aldığı parametreler için Ceryan vd. (2005) tarafından yapılan puanlamalar yeniden düzenlenerek verilmiştir (Şekil 30).

Kaya malzemesinin mühendislik zamanda ayrışabilirliğini ve mühendislik performansını (duraylılığını) gösteren “duraylılık indeksi” (BSDi) Ceryan vd. (2005) tarafından aşağıdaki bağıntıyla tanımlanmıştır.

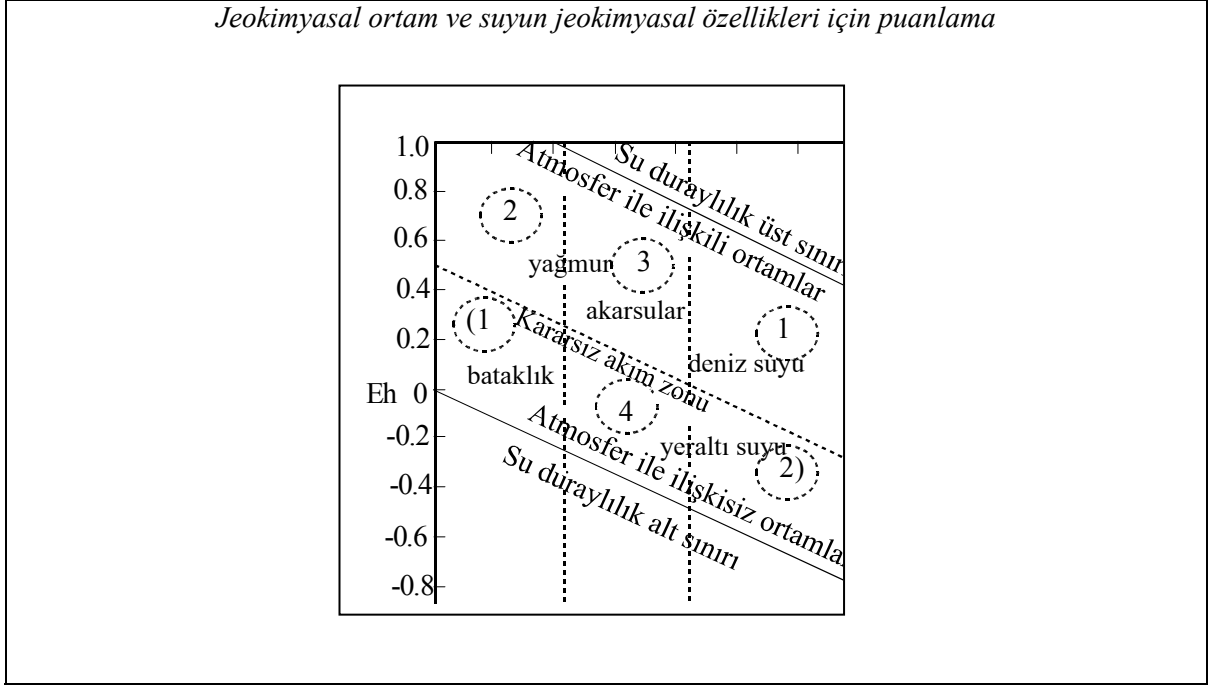
$$BSDi = (100 - \sum_{i=1}^8 w_i P_{ij}) \quad (40)$$

Burada w_i değeri (i) parametresine ait ağırlık faktörü (puanı), P_{ij} ise (i) incelenen örnekte ölçülen (i) parametresi değerine göre atanan puandır.

BSDi' ye göre yapıtaşlarının mühendislik zamanda ayrışmaya karşı dayanımlılığı Tablo 12' ye göre tanımlanmaktadır. Tablo 13' de incelenen örneklerde ölçülen ilgili parametre değerlerine göre puanlama verilmiştir.



Şekil 30. Yapıtaşlarının duraylılığının tahmini için oluşturulan etkileşim matrisindeki parametrelerin puanlaması



Şekil 30. devam ediyor

Tablo 12. Duraylılık indeksine göre yapıtaşlarının sınıflandırılması

Yapıtaşları duraylılık indeksi	Mühendislik zamanda ayrışmaya karşı
>30	çok yüksek dayanımlı
30-45	yüksek dayanımlı
45-60	dayanımlı
60-90	düşük dayanımlı
<90	Çok düşük dayanımlı

Tablo 13’ de duvardan alınan vitrik tüf örneklerinin BSDİ değerlerinin 52-60 arasında olduğu ve bunların “mühendislik zamanda ayrışmaya karşı dayanımlı” sınıfında yer aldığı, duvardan alınan bazalt örneklerinin BSDi değerlerinin 44-45 arasında olduğu ve bu örneklerin mühendislik zamanda ayrışmaya karşı “yüksek dayanımlı” sınıfında yer aldığı, İyidere taş ocağından alınan litik kristal tüf örneklerin BSDi değerlerinin 47-51 arasında yer aldığı ve bu tüflerin “mühendislik zamanda ayrışmaya karşı dayanımlı” sınıfında yer aldığı görülmektedir. Duvardan alınan litik kristal tüf örnekleri BSDi değerleri 47-51 arasında 57-62 arasında olup “mühendislik zamanda ayrışmaya karşı dayanımlı” sınıfında yer almaktadır. BSDi değerleri dikkate alındığında, duvardan alınan litik kristal tüf örnekleri alındıkları ocak olan İyidere taş ocağındaki örneklere göre, yaklaşık 40 yıl içinde, mühendislik zamandaki bozunmaya karşı dayanımları % 20 oranında azalmıştır.

Tablo 13. Etkileşim Matrisindeki parametrelerin her örnek için ölçülen değerine göre puanlama ve örneklerin duraylılık indeksi

	Pa	Pb	Pc	Pd	Pe	Pf	Pg	Ph	Pi	BSDi
Dg1	5	2	5	1	1	2	1	0	3	53,91
Dg2	5	2	5	0	1	2	1	0	3	57,3
Dg3	5	2	5	1	1	2	1	0	3	53,91
Dg4	5	2	5	0	1	1	1	0	3	59,18
Dg5	5	2	5	0	1	1	1	0	3	59,18
Bz1	4	3	5	2	1	5	1	0	3	44,26
Bz2	5	3	5	2	1	4	1	0	3	44,47
Bz3	5	3	5	2	1	4	1	0	3	44,47
Bz4	5	3	5	2	1	4	1	0	3	44,47
Ts1	5	3	5	1	1	4	1	0	3	47,86
Ts2	5	3	5	1	1	3	1	0	3	49,74
Ts3	5	3	4	1	1	4	1	0	3	49,94
Ts4	5	3	5	1	1	4	1	0	3	47,86
Ts5	5	3	5	1	1	3	1	0	3	49,74
Ts6	5	3	5	1	1	3	1	0	3	49,74
Ts7	5	3	5	1	1	4	1	0	3	47,86
Ts8	5	3	4	1	1	3	1	0	3	51,82
Dv 1	5	2	4	0	1	1	1	0	3	61,26
Dv2	5	2	4	0	1	1	1	0	3	61,26
Dv3	5	2	5	0	1	1	1	0	3	59,18
Dv 4	5	3	5	0	1	2	1	0	3	55,01
Dv5	5	3	5	0	1	1	1	0	3	56,89
Dv6	5	2	5	0	1	2	1	0	3	57,3
Dv7	5	2	5	0	1	1	1	0	3	59,18
Dv8	5	2	5	0	1	1	1	0	3	59,18

Bu çalışmada incelenen tüflerin mühendislik zamanda ayrışmaya karşı dayanımını tahmin etmeye yönelik kurulan etkileşim matrisi ve BSDİ değerlerinin bulunmasında tüm örnekler için aynı çevresel şartlar dikkate alınmıştır. Bu durum BSDİ değerleri ile örnekler üzerinde yapılan hızlandırılmış deney sonuçları arasında istatistiksel bağıntının aranmasına olanak sağlamıştır. Söz konusu istatistiksel ilişkiler aranırken ıslanma-kuruma deneyinde 50. çevrim ve donma-çözünme deneylerinde 25. çevrim sonunda indeks ve mekanik özelliklerin değişim miktarları dikkate alınmıştır. Islanma-kuruma deneyleri ile BSDİ arasında elde edilen söz konusu ilişkiler aşağıda verilmiştir.

$$\gamma_k^* = 0.859e^{0.0607BSDi} \quad (r=0.920) \quad (41)$$

$$n_e^* = -1.133BSDi + 38.54 \quad (r=0.707) \quad (42)$$

$$n^* = -1.065BSDi + 41.41 \quad (r=0.758) \quad (43)$$

$$V_p = -1.046e^{0.075BSDi} \quad (r=0.806) \quad (44)$$

$$\sigma_c^* = -2.658e^{0.104BSDi} \quad (r=0.823) \quad (45)$$

$$\sigma_t^* = -4.503e^{0.132BSDi} \quad (r=0.825) \quad (46)$$

Donma çözülme nedeniyle indeks ve dayanım özelliklerinde meydana gelen değişim miktarları ile BSDİ arasındaki istatistiksel ilişkiler aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$\gamma_k^* = -1.915e^{0.0548BSDi} \quad (r=0.860) \quad (47)$$

$$n_e^* = -1.299BSDi + 43.87 \quad (r=0.725) \quad (48)$$

$$n^* = 2.15BSDi - 86.96 \quad (r=0.794) \quad (49)$$

$$V_p = -1.584e^{0.089BSDi} \quad (r=0.859) \quad (50)$$

$$\sigma_c^* = -1.402e^{0.086BSDi} \quad (r=0.818) \quad (51)$$

$$\sigma_t^* = -3.118e^{0.114BSDi} \quad (r=0.807) \quad (52)$$

BSDİ değerleri ile 6 çevrim sonucunda bulunan suda dayanım indeksi (Id) ve Los Angeles deneyinde 100. ve 500.çevrimler sonundaki ağırlık kaybı (LA100 ve LA500) yüzdesi arasında aşağıdaki ilişkiler elde edilmiştir.

$$Id^* = 4.959e^{0.009BSDi} \quad (r=0.869) \quad (53)$$

$$LA_{100}^* = -3.497e^{0.106BSDi} \quad (r=0.828) \quad (54)$$

$$LA_{500}^* = -1.699e^{0.096BSDi} \quad (r=0.884) \quad (55)$$

Yukarıda verilen Eşitlik 41-55' e, RES ile bulunan BSDİ değerleri ile incelenen bazalt, vitrik tüf ve litik kristal tüflerin mühendislik zamanda ayrışabilirliğini (veya ayrışmaya karşı dayanımını) büyük güvenilirlikle tahmin edilebileceği görülmektedir. Ancak BSDİ değerlerine göre sınıflama, farklı kayaçlarda yapılacak uygulamalardan elde edilen sonuçlara göre yeniden düzenlenmelidir.

3. 5. Kaya Duraylılık Göstergeleri

Statik Kaya Duraylılık Göstergesi (RDI_s) aşağıdaki verilen bağıntıyla tanımlanmıştır (Fookes vd. 1998).

$$RDI_s = \frac{I_{s(50)}^* - 0.1(SST + 5WA)}{SG_{ssd}} \quad (56)$$

Burada; $I_{s(50)}^*$: örneklerin kuru ve doymun durumlarında ölçülen nokta yük indeks değerleri ortalaması, SST: magnezyum sülfat dayanıklılık kaybı (%) (Hosking ve Tubey 1969), WA: su emme değeri (BS812), SG_{ssd} : doymun özgül yoğunluk tur.

Dinamik Duraylılık Göstergesi (RDI_d) ise yapıtaşlarının dinamik yükleme olaylarında parçalanmaya maruz kaldığı durumlarda duraylılığını değerlendirmek için aşağıdaki eşitlikle tanımlanmıştır (Fookes vd. 1988).

$$RDI_d = \frac{0.1[M.AIV + 5(WA)]}{SG_{ssd}} \quad (57)$$

Burada M.AIV ile Tubey ve Hosking (1969) tarafından verilen değiştirilmiş agrega sıkışma (darbe dayanım) ifade edilmektedir.

RDI_s ve RDI_d değerlerine göre potansiyel duraylılık tanımlanması Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. Kaya duraylılık göstergelerine göre potansiyel duraylılığın tanımlanması (Fookes vd. 1998)

RDI_s	RDI_d	Potansiyel duraylılık
>2.5	<0.5	Mükemmel
2.5- (-1)	0.5-2.0	İyi
(-1)-(-3)	2.0-4.0	Orta
<-3	>4.0	Zayıf

Islanma-kuruma deneyinde 50. çevrim ve donma-çözülme deneylerinde 25. çevrim sonunda Tablo 15’ de verilen indeks ve mekanik özelliklerin değişiminin Statik Kaya Duraylılık Göstergesi (RDI_s) kullanılarak tahmin yapıp yapılamayacağı araştırılmıştır. Islanma-kuruma deneyleri için elde edilen söz konusu ilişkiler Eşitlik 58-63’de verilmiştir.

$$\gamma_k^* = 0.853e^{-0.849RDI_s} \quad (r=0.926) \quad (61)$$

$$n_e^* = 15.06 RDI_s - 3.54 \quad (r=0.611) \quad (62)$$

$$n^* = 16.45 RDI_s + 1.404 \quad (r=0.640) \quad (63)$$

$$V_p = 5.078e^{-1.175RDI_s} \quad (r=0.757) \quad (64)$$

$$\sigma_c^* = 2.681e^{-1.704RDI_s} \quad (r=0.806) \quad (65)$$

$$\sigma_t^* = 1.205e^{-2.135RDI_s} \quad (r=0.793) \quad (66)$$

Donma-çözülme deneylerinde 25. çevrim sonunda indeks ve mekanik özelliklerin değişim miktarı ile Statik Kaya Duraylılık Göstergesi arasındaki istatistiksel bağıntılar ise Eşitlik 64-69' da verilmiştir.

$$\gamma_k^* = 1.066e^{-0.850RDI_s} \quad (r=0.794) \quad (67)$$

$$n_e^* = 21.20 RDI_s - 1.620 \quad (r=0.712) \quad (68)$$

$$n^* = 17.06 RDI_{si} + 1.992 \quad (r=0.652) \quad (69)$$

$$V_p = 1.683e^{-1.331RDI_s} \quad (r=0.766) \quad (70)$$

$$\sigma_c^* = 5.692e^{-1.315RDI_s} \quad (r=0.743) \quad (71)$$

$$\sigma_t^* = 2.64e^{-1.799RDI_s} \quad (r=0.761) \quad (72)$$

Yukarıdaki eşitliklerde (*) işareti ıslanma-kuruma deneyinde 50. çevrim, donma-çözülme deneyinde 25. çevrim sonundaki söz konusu özelliklerdeki deney öncesine göre değişim miktarını % olarak ifade etmektedir.

Tablo 15. İyidere ocağından ve KTÜ Kampüsündeki taş duvarlardan alınan bazalt ve tuf örneklerin indeks özellikleri, yeniden düzenlenmiş agrega darbe değeri, dayanım ve deformasyon özellikleri

	SG _{ssd}	SST	MAIV	I _{s(50)}	I _{s(50)ort}	RDI _s	RDI _d	σ _c	σ _t	Esx 10 ⁴	Edx 10 ⁴
Dg1	2.325	4.52	28.27	3.54	3.32	-0.92	1.924	32.66	2.57	0.4581	1.4078
Dg2	2.33	5.68	32.56	1.49	1.37	-1.064	2.116	19.84	1.41	0.2631	1.229
Dg3	2.356	4.86	29.04	2.75	2.56	-0.971	1.948	34.57	2.53	0.5246	1.3636
Dg4	2.326	8.21	32.56	2.01	1.87	-1.195	2.163	23.14	2.16	0.3021	1.2104
Dg5	2.326	7.74	44.44	1.23	1.12	-1.297	2.678	15.48	0.98	0.2484	1.2553
Bz1	2.515	0.53	11.517	7.14	6.84	-0.027	0.673	97.68	7.64	2.0608	3.1413
Bz2	2.231	0.86	23.76	5.56	5.34	-0.619	1.694	57.26	7.24	1.1615	2.0686
Bz3	2.162	0.68	15.895	7.05	6.78	-0.646	1.501	88.42	9.75	1.1235	1.8236
Bz4	2.126	1.07	21.153	5.18	4.96	-1.017	1.949	64.81	7.94	0.9489	1.5127
Ts1	2.321	2.27	29.15	2.91	2.73	-1.015	2.107	30.54	2.44	0.4599	1.111
Ts2	2.321	4.62	24.827	2.97	2.79	-1.111	1.954	37.9	2.81	0.5101	1.0838
Ts3	2.284	2.14	22.704	2.58	2.43	-1.009	1.877	38.4	2.59	0.5714	1.2966
Ts4	2.370	2.78	27.335	2.53	2.38	-0.926	1.905	30.5	2.21	0.4781	1.3576
Ts5	2.243	3.04	27.72	3.46	3.26	-1.119	2.168	33.4	2.16	0.4876	1.1198
Ts6	2.28	4.36	27.357	3.13	2.96	-1.066	2.046	34.2	2.84	0.5198	1.1834
Ts7	2.264	3.87	23.012	3.34	3.15	-1.078	1.923	36.6	2.13	0.5251	1.2778
Ts8	2.344	4.47	27.06	2.16	2.01	-1.014	1.923	31.6	1.82	0.412	1.1977
Dv 1	2.335	10.73	68.64	1.24	1.12	-1.411	3.559	15.8	1.64	0.2147	0.962
Dv2	2.342	6.25	35.53	1.08	1	-1.329	2.424	20.1	1.47	0.2652	0.915
Dv3	2.172	7.56	42.79	1.79	1.65	-1.545	2.965	16.54	1.32	0.2217	1.0083
Dv 4	2.28	6.02	30.36	2.32	2.17	-1.158	2.16	24.38	1.46	0.311	1.0097
Dv5	2.344	5.79	32.89	1.23	1.14	-1.186	2.21	19.36	1.13	0.2485	1.0271
Dv6	2.327	6.98	35.97	1.15	1.06	-1.215	2.318	19	1.09	0.251	1.0821
Dv7	2.207	9.24	64.57	1.53	1.4	-1.505	3.682	15.4	1.59	0.2005	1.0482
Dv8	2.166	10.22	75.24	1.11	1	-1.855	4.296	147.9	10.8	0.1956	1.0484

Eşitlikler 58-69 ve Tablo 15' de kullanılan kısaltmalar aşağıdaki şekildedir.

SG_{ssd} : doygun özgül yoğunluk, $I_{s(50)}$: örneklerin kuru durumlarında ölçülen nokta yük indeksi (MPa), $I_{s(50) (ort)}$: örneklerin kuru ve doygun durumlarında ölçülen nokta yük indekslerinin ortalaması (MPa), SST: magnezyum sülfat dayanıklılık testi, RDI_s : statik kaya duraylılık göstergesi, RDI_d : dinamik kaya duraylılık göstergesi, σ_c : tek eksenli basınç dayanımı (MPa), σ_t : çekme dayanımı (MPa), E_s : secant elastisite Modülü (MPa), E_d : dinamik Elastisite Modülü (MPa), MAIV: yeniden düzenlenmiş agrega darbe (sıkışma) dayanım indeksi dir.

Yukarıda verilen eşitlikler, Statik Kaya Duraylılık Göstergesinin (RDI_s) ıslanma-kuruma ve donma çözülme deneylerindeki indeks ve mekanik özelliklerin değişiminin tahmininde kullanılabileceği görülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen ve aşağıda verilen istatistiksel ilişkiler tüf ve bazalt örneklerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin tahmininde RDI_s 'nin büyük bir güvenilirlikle kullanılabileceği belirlenmiştir.

$$\sigma_c = 126.1e^{1.3347RDI_s} \quad (r=0.867) \quad (70)$$

$$\sigma_t = 10.97e^{1.443RDI_s} \quad (r=0.765) \quad (71)$$

$$E_s = 23870e^{1.589RDI_s} \quad (r=0.896) \quad (72)$$

$$E_d = 26571e^{0.686RDI_s} \quad (r=0.874) \quad (73)$$

İncelenen tüf ve bazalt örneklerinin dinamik yüklere karşı dayanımının Dinamik Kaya Duraylılık Göstergesi (RDI_d) kullanılarak bulunup bulunamayacağı araştırılmıştır. Bunun için RDI_d ile kaya malzemesinin dinamik yükleme koşullarındaki mühendislik davranışını ifade eden indeks özellikler; 100. ve 500. çevrim sonundaki Los Angeles aşınma değerleri (LA_{100} ve LA_{500}), değiştirilmiş agrega sıkışma değeri (MAIV), suda dayanım değeri (I_d) ve dinamik elastisite modülü (E_d) arasında aşağıda verilen istatistiksel ilişkiler kurulmuştur.

$$LA_{100} = 6.464 RDI_d - 4.34 \quad (r=0.863) \quad (74)$$

$$LA_{500} = 18.547 RDI_d - 6.73 \quad (r=0.869) \quad (75)$$

$$I_d = 102.7e^{-0.0729RDI_d} \quad (r=0.871) \quad (76)$$

$$MAIV = 8.962e^{0.546RDI_d} \quad (r=0.920) \quad (77)$$

$$E_d = 21981e^{-0.248RDI_d} \quad (r=0.679) \quad (78)$$

Yukarıda verilen Eşitlik 74-78' e göre RDI_d ile Los Angeles aşınma değerleri (LA100 ve LA500), değiştirilmiş agrega sıkışma değeri (MAIV), suda dayanım değeri (I_d) ve dinamik elastisite modülü (E_d) arasında anlamlı istatistiksel bağıntıların olduğu, bu nedenle incelenen tuf ve bazalt örneklerinde RDI_d ' nin söz konusu örneklerin dinamik yükleme koşullarındaki mühendislik davranışını ifade ettiği söylenebilir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karadeniz Teknik Üniversitesi'nin Trabzon Merkez Kampüsünde çevre düzenlenmesi için 1970 yılında yapılan taş örme duvarlarında kullanılan tüfler ayrışma sonucu dayanım, estetik görüntü, çevre düzenleme gibi istenilen işlevi yerine getiremediği gözlemlenmiş ve bu nedenle bu çalışmada söz konusu kayaçların ayrışma durumu ve ayrışabilirliği araştırılmıştır. Söz konusu bazik volkanik bloklar İyidere-İkizdere (Rize) karayolu boyunca yüzeylenen Çağlayan Formasyonu'ndan alınmıştır. Bu formasyonda açılmış olan İyidere taş ocağından (Of-Rize) alınan bazik volkanik kayaçların ayrışabilirliği araştırılmış ve taş örme duvardaki bazik volkanik kayaçların ayrışma durumu ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu karşılaştırmada indeks özellikler, hızlandırılmış ayrışma deneyleri (ıslanma-kuruma deneyi, donma-çözülme deneyi, Mg sülfata dayanım deneyi, aşınma deneyi, yeniden düzenlenmiş agrega darbe dayanımı deneyi ve suda dayanım deneyi), boyuna dalga hızı, kaya mühendislik sistemi (RES) ve kaya duraylılık göstergeleri kullanılmıştır. Çalışmanın amaç ve kapsamı yukarıda verilen bu çalışmada elde edilen bulgular ve yapıtaşlarının ayrışabilirliğinin hızlı ve ekonomik olarak tahmini için öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- İyidere-İkizdere yolu üzerindeki taş ocağı ve yakın civarında, alttan üste doğru Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu, Orta Kampaniyen-Erken Eosen yaşlı Kireçhane Formasyonu ve Kuvaterner oluşukları olarak da alüvyon yüzeylenmektedir. İnceleme alanında yaklaşık G ve GD'ya doğru eğimli olan Çağlayan Formasyonu, en alttan üste doğru tabakalı tüfler, bazalt ve andezit, bazik piroklastik kayaçlardan aglomera, breş ve tüflerden oluşmaktadır. Çağlayan Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak kırmızı, gri renkli kireçtaşı, kumtaşı, kiltası, silttaşı ve marn araldanmasından oluşan Kireçhane Formasyonu gelmektedir.

- KTÜ Merkez Kampüsünde çevre düzenlenmesi için 1970 yılında yapılan taş örme duvarlarından alınan litik kristal tuf örneklerde plajiyoklasların % 50 den fazlası kalsit, zeolit, sersit ve kile ayrılmıştır. Mafik minerallerin büyük çoğunluğu ojitte çok azı hornblendten oluşmakta olup % 30-60'ı klorite dönüşmüştür. Hamurun % 40 dan fazlası klorit, zeolit ve kalsitten oluşmaktadır. Bu örneklerde plajiyoklasların % 3-15, mafik

minerallerin % 2-6'sı ayrılmış olup mikrokırık boşluk oranı % 8-16, ikincil mineral oranı 13-25 arasındadır. Bu örneklerin kuru birim hacim ağırlığı $20.0-22.1 \text{ kN/m}^3$, efektif porozitesi % 11.7-16.4, porozitesi % 13.9-20.0, kuru durumda boyuna dalga hızı 3050-3335 m/sn arasında değişmektedir.

- KTÜ Merkez Kampüsündeki çevre düzenlemesi için yapılan duvarlardan alınan vitrik tüflerde mikrokırık+ boşluk oranı % 15.6-22.4, ikincil mineral oranı % 33.9-43.4, kuru birim hacim ağırlığı $20.0-22.10 \text{ kN/m}^3$, efektif porozitesi % 11.7-16.4, porozitesi % 13.9-20.0, kuru durumda boyuna dalga hızı 3050-3335 m/sn arasında değişmektedir.

- İyidere taş ocağından alınan litik kristal tüfler, porozite, kuru birim hacim ağırlık, boyuna dalga hızı ve hızlandırılmış ayrışma deney sonuçlarına göre yapı malzemesi olarak kullanılamazlar.

- Söz konusu taş örme duvarın yapımından bu zamana kadar geçen yaklaşık 38 yıllık süre içerisinde, litik kristal tüflerin kuru birim hacim ağırlığının % 10 oranında azaldığı, efektif porozite ve porozitenin % 20 oranlarında arttığı, boyuna dalga hızının % 12 azaldığı görülmektedir.

- Bazalt ve tuf örneklerin ayrışma durumunun belirlenmesinde ve dayanım ve deformasyon özelliklerinin tahmininde; mikrokırık+boşluk oranı ve ikincil mineral oranı rahatlıkla kullanılabilir. Söz konusu örneklerin dayanım ve deformasyon özellikleri efektif porozite (ne) ve örneğin katı kısmındaki P- dalga hızı birlikte kullanılarak da tahmin edilebilmektedir. Petrografik indekslerin elde edilişi fiziksel özelliklerin belirlenmesine göre daha az ekonomik ve daha az pratik ve daha az güvenilirdir.

- Ayrışabilirlik İndeksi değeri İyidere taş ocağından alınan litik kristal tüflerde 0.586-0.70 arasında iken, KTÜ Kampüsündeki duvarlardan alınan alınan litik kristal tuf örneklerde 0.458-0.580 arasındadır. Bu durum dikkate alındığında söz konusu duvarların yapılışından bu zamana kadar geçen 38 yıllık süre içerisinde alkali ve toprak alkali elementlerin önemli ölçüde yıkanmaya uğradığını göstermektedir.

- Hızlandırılmış ayrışma deneylerini yorumlamada ve deney örneklerinin mühendislik performansının değerlendirilmesinde en iyi indeks özellikler; efektif porozite ve boyuna dalga hızı ölçümleridir.

- İyidere taşocağından alınan sağlam ve az ayrılmış litik kristal tuf örnekleri ile bu ocaktan alınıp 1970 yılında yapılan KTÜ Ana Kampüsündeki duvarlarda kullanılan litik kristal tuf örnekleri karşılaştırıldığında ortalama olarak; suda dayanım indeksinin % 10.4, boyuna dalga hızının % 10, katı kısmındaki (örneğin boşluksuz ve mikrofissürsüz olduğu

kabul edildiği durumdaki) boyuna dalga hızının % 5.6, kalite indeksinin % 4.13 azaldıkları ve mineralojik değişim indeksinin % 21.9, fiziksel değişim indeksinin % 17, sayısal ayrışma indeksinin % 25.4, aşınma miktarının % 45 oranında arttığı görülmektedir. Bu durum, boyuna dalga hızının, suda dayanım indeksinin ve Los Angeles Aşınma deneyinin tuf örneklerinin ayrışabilirliğinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak tek bir indeks değerinin yapıtaşlarındaki mühendislik zamandaki ayrışmayla oluşan tüm değişimleri ve performansının değişikliğini tahmin etmede yeterli olmayabilir.

- Sayısal Ayrışma İndeksi (Ia) ile e bazalt ve tuf örneklerinin indeks özelliklerin, tek eksenli basınç dayanımının, çekme dayanımının ve aşınma değerlerinin mühendislik zamandaki değişimlerinin tahmininde kullanılabilir. Başka bir anlatımla, Ia kullanılarak incelenen bazalt ve tuf örneklerinin duraylılığı ekonomik, pratik ve hızlı olarak tahmin edilebilir.

- Bu çalışmada yapıtaşlarının duraylılığının tahmini için Ceryan vd. (2005) tarafından kullanılan parametreler dikkate alınmıştır. Bu parametreler; Kimyasal (veya mineralojik) bileşim (Pa), mikrofissur miktarı (Pb), suda dağılma (Pc), tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü (Pd), ayrışma durumu (Pe), yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri (Pf), donma ve çözülme oluşturacak iklimsel koşulların varlığı (Pg), hidrolojik koşullar ve nemlilik (Ph) ve jeokimyasal ortam ve suyun jeokimyasal özellikleridir (Pi).

- Bu çalışmada, tüflerin duraylılığında etkili olan parametrelerin ağırlık puanları Pa için 1.67, Pb için 2.29, Pc için 2.08, Pd için 3.39, Pe için 4.04, Pf için 1.88, Pg için 2.6, Ph için 3.65 ve Pi için 2.99 olarak bulunmuştur.

- Duraylılığı en fazla etkileyen faktörler sırasıyla; yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri, donma ve çözülme oluşturacak iklimsel koşulların varlığı, hidrolojik koşullar ve nemlilik ile kimyasal bileşimdir. Duraylılığı en az etkileyen faktörler; tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü ve suda dağılmadır. Yapı taşlarının mühendislik zamandaki performans değişimi (duraylılığı) ile en fazla etkileşim halinde parametreler; ayrışma durumu ve kimyasal bileşimdir.

- Duvardan alınan vitrik tuf örneklerinin Potansiyel Duraylılık İndeksi (BSDİ) değerleri 52-60 arasında olduğu ve bunların “mühendislik zamanda ayrışmaya karşı dayanımlı” sınıfında yer aldığı, duvardan alınan bazalt örneklerinin BSDİ değerlerinin 44-45 arasında olduğu ve bu örneklerin mühendislik zamanda ayrışmaya karşı “yüksek dayanımlı” sınıfında yer aldığı, İyidere taş ocağından alınan litik kristal tuf örneklerin BSDİ değerlerinin 47-51 arasında yer aldığı ve bu tüflerin “mühendislik zamanda ayrışmaya

karşı dayanımlı” sınıfında yer aldığı görülmektedir. Duvardan alınan litik kristal tuf örnekleri BSDİ değerleri 57-62 arasında olup “mühendislik zamanda ayrışmaya karşı dayanımlı” sınıfında yer almaktadır. BSDİ değerleri dikkate alındığında, duvardan alınan litik kristal tuf örnekleri İyidere taş ocağındaki örneklere göre, yaklaşık 40 yıl içinde, mühendislik zamandaki bozunmaya karşı dayanımları % 20 oranında azalmıştır. RES ile bulunan BSDİ değerleri ile incelenen bazalt, vitrik tuf ve litik kristal tüflerin mühendislik zamanda ayrışabilirliğini (veya ayrışmaya karşı dayanımını) büyük güvenilirlikle tahmin edilebileceği görülmektedir.

- Statik Kaya Duraylılık Göstergesi (RDIs) dikkate alındığında incelenen bazaltların “iyi”, tuf örneklerinin tümünün ise “orta” potansiyel duraylılığa sahip olduğu belirlenmiştir. İyidere taş ocağından alınan sağlam litik kristal tüflerde RDIs değerleri -1 ile -1.078 arasında iken söz konusu duvardan alınan litik kristal tüflerde -1.32 ile -1.86 arasında değişmektedir.

- Statik Kaya Duraylılık Göstergesinin ıslanma-kuruma ve donma çözülme deneylerindeki indeks ve mekanik özelliklerin değişiminin tahmininde kullanılabileceği görülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen istatistiksel ilişkiler tuf ve bazalt örneklerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin tahmininde RDIs’ nin büyük bir güvenilirlikle kullanılabileceğini göstermiştir. Bu durum bundan sonraki çalışmalarda, farklı kayalar için test edilmelidir.

- Dinamik Kaya Duraylılık Göstergesine (RDId) dikkate alındığında bazaltların “iyi”, İyidere taş ocağından alınan tuf örneklerin “orta”-“iyi” sınırında, duvardan alınan tuf örneklerinin ise “orta” potansiyel duraylılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

- Dinamik Kaya Duraylılık Göstergesi (RDId) ile Los Angeles aşınma değerleri (LA100 ve LA500), değiştirilmiş agrega sıkışma değeri (MAIV), suda dayanım değeri (Id) ve dinamik elastisite modülü (Ed) arasında anlamlı istatistiksel bağıntıların olduğu, bu nedenle incelenen tuf ve bazalt örneklerinde RDId’nin söz konusu örneklerin dinamik yükleme koşullarındaki mühendislik davranışını ifade ettiği söylenebilir. Bu bulgu bundan sonraki çalışmalarda farklı kayalar için sınanmalıdır.

- Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre yapıtaşlarının mühendislik zamandaki ayrışmaya dayanımlarının tahmininde hızlı, ekonomik, güvenli ve uygulanabilir yöntemler, sırasıyla; indeks özelliklerin (efektif porozite ile katı haldeki boyuna dalga hızının) kullanıldığı istatistiksel modellerin kullanılması, bu çalışmada geliştirilen kaya

mühendislik sistemiyle oluşturulmuş “potansiyel duraylılık indeksi” ve statik ve dinamik kaya duraylılık göstergeleridir.

- Kaya duraylılık göstergeleri yapı taşlarının ayrışmaya, bozunmaya karşı dayanımı ifade etmekte ancak özellikle bu göstergelere göre yapıtaşlarının tanımlanması ve sınıflandırılmasının güvenilirliğini test edebilmek için çok fazla sayıda uygulamaya ihtiyaç vardır.

- Yapıtaşlarının mühendislik zamandaki ayrışabilirliğinin tahmininde RES'in (kaya mühendislik sistem) kullanılmasında istenilen faydaların ele edilebilmesi için parametrelerin iyi seçilmesi ve duraylılık sınıflandırmasının diğer uygulamalarla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca BSDİ değerlerine göre sınıflama, farklı kayalarda yapılacak uygulamalardan elde edilen sonuçlara göre yeniden düzenlenmelidir.

- Yapıtaşlarının duraylılığının tahmininde kullanılması önerilen indeks özelliklerin ölçümü için örneğin geometrik şekilli standart (karot veya blok örnekler) olması gerekmekte ve ölçüm sırasında örnekte örselenme olmamaktadır. İndeks özelliklerin ve boyuna dalga hızının ölçümü daha az harcamayla, kolay ve hızlı yapılabilen ve tekrarlanabilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Aires-Barros, L., 1978. Comparative Study between Rates of Experimental Laboratory Weathering of Rocks and Their Natural Environmental Weathering Decay. Bull. Int. Assoc. Engng. Geol., 18, 169-174.
- Anon, 1995. The Description and Classification of Weathered for Engineering Purposes (Geological Society Engineering Group Working, Party Report. Q. J. Engng. Geol 28, 207-242.
- Bulut, F., 1989. Çambaşı (Çaykara -Trabzon) Barajı ve Uzungöl Hidroelektrik Santral Yerlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 183 s.
- Carroll, D., 1970. Rock Weathering. Plenum Press, New York.
- Ceryan, S., Ceryan N. and Aydın, A., 2005. Determination of Weathering In Engineering Time Using Interaction Matrices, Proc. of 1st International Symposium on Travertine, September 21-25, Pamukkale University, Denizli, Turkey, 297-304.
- Ceryan, S. and Sen, C., 2003. Two Potential Methods: Chemical Weathering Index and Elastic Wave Velocity Defining Potential Rock Durability. Proc. of Industrial Minerals and Building Stones. Int. Assoc. For Engineering Geology and Environment, İstanbul, Turkey, 139-146.
- Ceryan, S., Tudes S. and Ceryan N., 2008. A new quantitative weathering classification for igneous rocks. Environmental Geology, 55, 1319-1336.
- Ceryan, S., Tudes, S and Ceryan N., 2008. Influence of weathering on the engineering properties of Harsit granitic rocks (NE Turkey), Bulletin of Engineering Geology and Environment, 67, 97-104.
- Ceryan, Ş., 1999. Harşit Granitoyidi'nin ayrışması, sınıflandırılması ve ayrışmanın mühendislik özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 300 s.
- Ceryan, Ş., 2008. New Chemical Weathering Indices for Estimating Engineering Properties of Rocks: A Case Study from Kürtün Granodiorite, NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 17, 187-207.
- Ceryan, Ş., Zorlu, K, Gökçeoğlu C. and Temel, A., 2008. The use of cation packing index for characterizing the weathering degree of granitic rocks, Engineering Geology, 98, 60-74.

- Cole, W., F., and Sandy, M., J., 1980. A Proposed Secondary Mineral Rating for Basalt Road Aggregate Durability. *Australian Road Research*, 10, 3, 27-37.
- County Roads Board, Victoria, 1982. Test Method CRB 373. 01. Secondary Mineral Content Using Petrological Microscope. *Manual of Testing Procedure*, Victoria, Australia, III, 1-6.
- Çakır, M., Kayaalp, M. ve Yılmaz, B. S., 1986. İkizdere (Rize)- İspir (Erzurum) Arasındaki Yörenin Jeolojisi, MTA Raporu, No: JD- 363, Trabzon.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştırmalar, Sayı 1034, İ. T. Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- Dearman, W., R., 1974. Weathering Classification in the Characterization of Rock for Engineering Purposes in British Practice. *Bull. Int. Assoc. Engng. Geol.* 9, 33-42.
- Dearman, W., R. and Irfan, T., Y., 1978. Assessment of The Degree of Weathering in Granite Using Petrographic And Physical Index Tests. *International Symposium on Deterioration and Protection of Stone Monuments*, Unesco, Paris, Paper 2. 3.
- Dixon, HW., 1969. Decomposition products of rock substances. Purposed engineering geological classification. *Rock Mechanics Symp.* Stephen Roberts Theatre, Univ. Sydney, 39-44.
- Dursun, Ö., Doksanbir, T. ve Genç, İ. 1992. Rize- İkizdere- Keçikaya Mahallesi Mevkiindeki Ar: 46011 nolu Mermer Ruhsat Sahasına Ait Jeoloji Raporu, MTA Raporu, No: JD- 322 Trabzon.
- Ebuk, E., J., Hencher, S., R. and Lumsden, A., C., 1990. Determination of Residual Bond Strength By The Pulling Test Method. *Proceedings of The Sixth International Association of Engineering Geology*, Amsterdam, 1, 357-362.
- Eroskay, O., S., 1971. Laleli Tosköy Derivasyon Tünelinin Mühendislik Jeolojisi İncelemesi, Doçentlik Tezi, İ. Ü. Fen Fakültesi, İstanbul.
- Fookes, P., G., Dearman, W., R. and Franklin, J., A., 1971. Some Engineering Aspect of Rock Weathering with Field Examples from Dartmoor and Elsewhere., *Q. Jl. Engng. Geol.* 4, 139-185.
- Fookes, P., G., Gourley, C., S. and Ohikere, C., 1988. Rock weathering in engineering time. *Quaterly Journal Of Engineering Geol.*, 21, 33-57.
- Franklin, J. A. and Chandra, R., 1972. The slake-durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 325-341.
- Gary, M., Mc. Afee, R., and Wolf, C., L., 1972. *Glossary og Geology*. Washington, D.C., American Geological Institue.

- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit Granitik Karmaşığı ve Çevre Kayaçları, Doçentlik Tezi, KTÜ Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon. 178 s.
- Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., 214 s.
- Gökçeoğlu, C., Aksoy, H., 2000. New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses. Engineering Geology, 58 1-23.
- Guolin, R. and Yushan L., 1990. Engineering Geological Zonation of Xiamen Granitic Weathered Crust and Bbearing Capacity of Residual Soil. 6 th International IAEG Congress, Balkama, Rotterdam 1989, 1989-1996.
- Gülibrahimoğlu, İ., 1985. Maçka Güneyinin Jeolojik Etüd Raporu, Rap. No: 1328, MTA, Ankara, (Yayınlanmamış).
- Güven, İ., H., 1993. Doğu Pontidlerin 1/ 250 000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA. Genel Müd., Ankara (Yayınlanmamış).
- Hamrol, A., 1961. A Quantitative Classification of The Weathering and Weatherability of Rocks. Proceedings of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, 2, 771-774.
- Hencher, S., R. and Martin, R., P., 1982. The Description and Classification of Weathered Rocks in Hong Kong for Engineering Purposes, Proc. 7th Southeast Asian Geotechnical Conf., 125–142, 1982.
- Hochella Jr., M., F. and Banfield J., F., 1995. Chemical Weathering of Slicate in Nature: A microscopic Perspective with Theoretical Considerations. In: Chemical Weathering Rates of Slicate Minerals. White A. F. And Brantley S. L. (eds). Reviews in Mineralogy 31, 353-406. Mineralogical Soc. of America.
- Hodder, A., P., W., 1984. Thermodynamic Interpretation of Weathering indices and its application to Engineering Properties of Rocks, Engineering Geology, 20, 241-251.
- Hudson, J., A. and Harrison, J., P., 1992. A new approach to studying: Complete Rock Engineering Pproblems. Quarterly Journal of Engineering Geology, 25, 93-105.
- Hudson, J., A., 1992. Rock Engineering Systems: Theory & Practice. Ellis Horwood.
- Illiev, G., 1967. Anattempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physico-mechanical properties. In Proc 1st Congr Int Soc Roc Mechanism, Lisbon pp109–114
- Irfan T., Y., 1996. Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong. Q. J. Engng. Geol, 29, 5-35.

- Irfan, T., Y. and Dearman, W., R., 1978a. The Engineering Petrography of A Weathered Granite in Cornwall, England. *Q. Jl. Engng. Geol*, 11, 233-244.
- Irfan, T., Y. and Dearman, W., R., 1978b. Engineering Classificational and Index Properties of a Weathered Granite. *Bull. Int. Assoc. Engng. Geol*, 32, 67-80.
- Irfan., T., Y. and Poell, G., E., 1985. Engineering Geological Investigations for Foundations on a Deeply Weathered Granitic Rock in Hong Kong, *Bull. Int. Assoc.*, 32, 67-80.
- ISRM, 1979. Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake Durability Index Properties. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 16, 2, 141-156.
- ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining.
- Jayawardena, U., S. and Izawa, E., 1994. Application of Present Indices of Chemical Weathering for Precambrian Metamorphic Rocks in Sri Lanka. *Bull. Int. Assoc. Engng Geol*, 49, 55-61.
- Kılıç, R., 1995. Geomechanical Properties of the Ophiolites (Çankır? Turkey) and Alteration Degree of Diabase, *Bull. Int. Assoc. Engngn. Geol*, 51, 63-69.
- Koca, M., Y., 1995 Slope Stability Assessment of The Abandoned Andesite Quarries and around The İzmir City Center. *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*.
- Korkmaz, T., 1988. Maçka-Gürgenagaç (Trabzon) Yeni Yol Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 131 s.
- Kurt, İ., Özkan, M., Karşlı, Ş. ve Çolak, T., 2006. Keşap (Giresun)-Çarşıbaşı (Trabzon)-Torul (Gümüşhane) Arasının Jeolojisi, MTA Rapor no.10875, Ankara (Yayınlanmamış).
- Lee, S., G., 1987. Weathering and geotechnical characterization of Korean granites. PhD thesis, Imperial College, University of London.
- Lee, S., G. ve De Freitas, M., H., 1988. Quantitative Definition of Highly Weathered Granite Using the Slake Durability test. Geotechnique, 38, 123-128.
- Loughnan, F., C., 1969. Chemical Weathering of the Silicate Minerals. Elsevier, Amsterdam.
- Lump, P., 1962. The properties decomposed granite. *Geotechnique*, 12, 226-243.
- Malomo, S., 1980. Abrasive pH of Feldspars as an Engineering Index for Weathered Granite *Bull. Int. Assoc. Engng. Geol*. 22, 207-211.

- Matsuo, S. and Nishida K., 1968. Physical and Chemical Properties of Decomposed Granite Soil Grains. *Soils and Foundations*, 8, 4, 10-20.
- Mendes, F., M., Aires-Barros, L. and Rodrigues, F., P., 1967. The use of modal analysis in the mechanical characterization of Rock Masses. *Proc. 1 st. Int. Congress, In. Soc. Roc. Mech., Lizbon*, 1, 217-233.
- Miura, K., 1973. Weathering in Plutonic Rocks (Part I)-Weathering During the Late Pliocene of Gökusu Plutonic Rocks. *J. Soc. Eng. Geol, Jpn.*, 14, 3.
- Ollier, C., *Weathering*, 1984. *Geomorphology Text*. 2nd Edition, Longman, London.
- Onodera, T., F., Yoshinaka, R. and Oda, M., 1974. Weathering and Its Relation to Mechanical Properties of Granite., *Proc. 3rd Cong. Int. Soc. Rock Mech. Denver*, 2A, 71-78.
- Parker, A., 1970. An Index of Weathering for Silicate Rocks. *Geol. Mag.*, 501-504.
- Peltier, L., C., 1950. The geographical cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology *Annales of the Association of American Geographers* 40, 214-36.
- Price, D., G., 1995. Weathering and Weathering Processes. *Q. J. Eng. Geol.*, 28, 234-252.
- Reiche, P., 1950. A Survey of Weathering Processes and Products New Mexico University Publication in Geology No: 3.
- RILEM, 1980. Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. *Commission 25-PEM. Mater. Struet.* 13, 175-253.
- Rocha Fillno, P., Antuenes, F., S. and Falcao, M., F., G. 1985. Qantative influences of the weathering upon the mechanical properties of a young gneiss residual soil. In: *Proceedings of first international conference on geomechanics in tropical lateritic and saptolitic soils. Brasilia* 1, 281-294.
- Rossi-Manaresi, R. and Tucci A., 1991. Pore structure and the disruptive or cementing effect of salt crystallization invarious types of stone. *Studies in Conservation* 36:53-58.
- Selby, M., J., 1993. *Hillslope Materials and Processes*, 2nd Edition Oxford University Press, Oxford.
- Şirin, A., 1995. Kürtün-Torul (Gümüşhane) Arası Karayolu Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi.

- Smith, T., Mccauley, M., L. and Mearns, R., W., 1970. Evaluation Of Rock Slope Protection Material. *Highway Research Board* (323). National Research Council, US National Academy Of Science.
- Szalavin, J., 1974. Relationship between some Physical Pproperties of Rock Determined by Laboratory Test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts., 11, 107-113.
- T.S.E., 1975. Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini. UDK 622.02, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1987. Tabii Yapıtaşlarının Muayene ve Deney Metotları. TS 699, UDK 6912, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1990. Kaya Mekaniği Deneyleri İçin Karot Numunelerinin Hazırlanması, Boyut ve Şekil Toleranslarının Tespiti. TS 8614, UDK 622.02.624.121, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Taner, M., F., 1977. Etude Geologique Et Petrographique De La Region de Güneyce-İkizdere, Situee Au Sud De Rize (Pontides Orientales, Turquie), Doktora Tezi, These de 1' Universite De Geneve, no. 1788.
- Topal, T., Doyuran, V., 1996. Ultrasonic testing of artificially weathered Cappadocian tuff, LCP-95 Cong. on Preservation and Restoration of Cultural Heritage, Montreux, pp. 205-211.
- Tüdeş, Ş., 1994. İkizdere (Rize) Yöresindeki Granitik Kayaçların Mermer Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, K. T. Ü. Kütüphanesi, Trabzon.
- Tuğrul, A., 1995. Niksar Yöresindeki Bazaltların Mühendislik Özelliklerine Ayrışmanın Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bil. Ens., İstanbul.
- Türk, N. and Dearman, W., R., 1985. Influence of water on engineering properties of weathered rocks. Proc. 21st Raq. Conf., Engng. Group of the Geol. Soc. On Groundwater in engineering geology, Sheffield, U. Uk., 109-121.
- Türk, N. ve Dearman, W., R., 1984. A new procedure for determination of point load strength in site investigation. Site Investigation Practice: Assessing B.S. 5930. 20th Regional Meeting of the Engineering Group of the Geological Society of London. Ed. A.B. Hawkins. I, 462-473.
- Türk, N. ve Dearman, W., R., 1985. Improvements in the determination of point-load strength. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 31, 137-142.
- Türk, N., 1988. Kayaçların Nokta Yükleme dayanımını bulmak için yeni bir yöntem, Mühendislik Jeolojisi Bütünü, 10, 25-31.
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on the Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1 Metal Mining Agency of Japan.

- Ulusay R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A. 2001. Kaya Mekaniği Laboratuar deneyleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No:58, Ankara.
- Ulusay, R., Özkan, İ. ve Ünal, E., 1995. Characterization of weak, stratified and clay-bearing rock masses for engineering applications. Proc. of the Fractured and Jointed Rock Masses Conference, June 3-5, 1992, Lake Tahoe, California, L. R. Myer, N. G. W. Cook, R. E. Goodman, and C. F. Tsans , 229-235.
- Uriel, S., Dapena, E., 1978. Influence of weathering on the mechanical properties of granitic rocks. In: Proc 3rd Int Congr. International Association of Engineering Geology, Madrid Section 2, Publ 1, pp 91–104.
- Uriel, S. and Dapena, E., 1978. Influence of weathering on the mechanical properties of granitic rocks. Proc. 3rd. Int. Congress, Int Assoc. Engng., Geol., Madrid Section II, I No, 10, 91-104.
- Valeton, I., 1970. Paleoenvironment of Lateritic Bauxites with Vertical and Lateral Differentiation, In, Wilson, R., C., K., (ed). Residual Deposits, Surface Related Weathering Processes and Materials, Geological Society London, Special Publication, 11, 77-90.
- Weinert, H., H., 1968. Engineering petrology for roads in South Africa. Engineering Geology, 2, 363-395.
- Winkler, E., M., 1986. Weathering And Weathering Rates Of Natural Stone Environmental Geology And Water Science, 8, 4.
- Winkler, E., M., 1993. Discussion and reply on "The durability of sandstone as a building stone, especially in urban environments". Bull. Assoc. Eng. Geol. 30, 99-101.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 177 s.
- Zhao, J., Broms, B., B., Zhou, Y. and Chao, V., 1994. A Study of The Weathering of The Bukit Timah Granite. Part A: Review, Field Observation and Geophysical Survey. Bull. Int. Assoc. of Engngn. Geology. 49, 97-106.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Trabzon'da doğmuŐtur. İlk ve orta öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra, 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne girmiŐtir. Zehra Hatun USTURBELLİ bu bölümden 2004 yılında mezun olmuş ve 2005 yılı Ocak ayında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıŐtır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.