SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.6, s.2, ss. 296-316, 2018
Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.6, n.2, pp. 296-316, 2018
ISSN: 2147-9364 (Electronic)
DOI: 10.15317/Scitech.2018.134

SARNIÇ KÖY (HAVRAN/BALIKESİR) ÇEVRESİNDEKİ ANDEZİTLERİN AYRIŞMA BOZUNMA AÇISINDAN İNCELENMESİ

[1]Ekin KÖKEN, [2]Ahmet ÖZARSLAN

[1,2]Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, TÜRKİYE
[1]ekin.koken@beun.edu.tr, [2]ozarslan@beun.edu.tr

(Geliş/Received: 28.07.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 01.11.2017)

ÖZ: Bu çalışmada Sarnıç Köy (Havran/Balıkesir) çevresindeki andezitlerin ayrışma-bozunma açısından bir değerlendirmesi yer almaktadır. Öncelikle inceleme alanına ait jeolojik ve meteorolojik özellikler özetlenmiş ve farklı ayrışma-bozunma derecelerindeki andezit kaya kütlelerinde ayrıntılı saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları sırasında laboratuvar çalışmaları için farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki andezitik kaya kütlelerinden temsili kaya blokları temin edilmiştir. Temin edilen kaya bloklarından mineralojik araştırmalar için ince kesitler ve laboratuvar çalışmaları için ise kaya örnekleri hazırlanmıştır. Daha sonra farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki andezitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvar deney sonuçları istatistiksel olarak incelenmiş ve inceleme alanındaki andezitlere ait bir ayrışma - bozunma sınıflaması önerilmiştir. Önerilen ayrışma bozunma sınıflaması; tek eksenli basınç dayanımının görünür gözenekliliğe oranı olarak kabul edilen λ oranı ($\lambda = \sigma_{ci}/n$), kızdırma kaybı (LOI) ve Schmidt Çekici geri sıçrama sayısı (SHV) gibi niceliksel verileri ve sahadaki kaya kütlelerinindokusal ve yapısal özellikleri gibi niteliksel verileri içermektedir. Önerilen sınıflama sisteminde verilenλ değerleri, farklı araştırmacılar tarafından andezitik kayaçlar üzerine gerçekleştirilmiş çalışmalardan elde edilen λ değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak inceleme alanındaki andezitlerin endüstrideki olası kullanım alanları hakkında öneriler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler:*Andezit, Ayrışma - Bozunma, Görünür gözeneklilik, Havran, Kızdırma kaybı,Tek eksenli basınç dayanım,*

Investigation of Andesites Exposed in the Vicinity of Sarnıç Village (Havran / Balıkesir) in Terms of Weathering and Decomposition Process

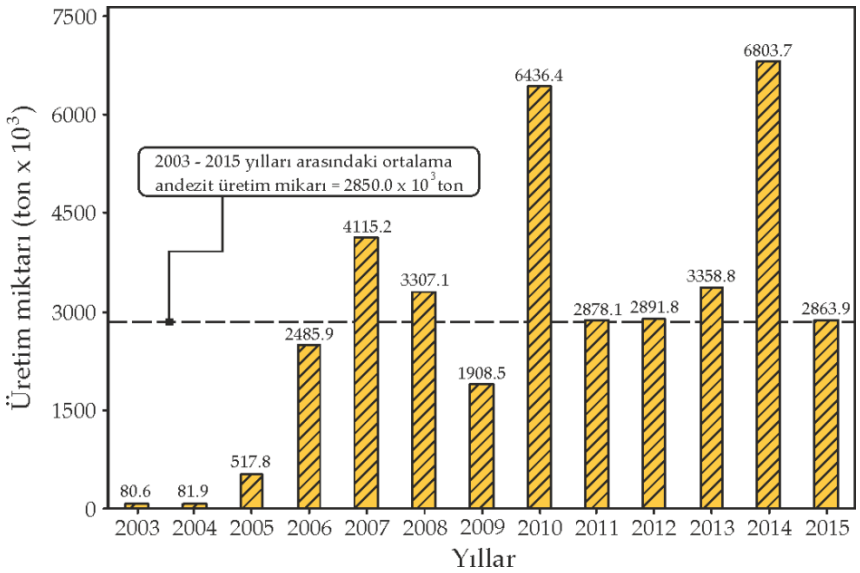
ABSTRACT: In this study, an assessment of andesites exposed in the vicinity of Sarnıç Village (Havran / Balıkesir) consists of their weathering - decomposition process. First of all meteorological and geological properties of the study area are summarized and detailed field studies are carried out in andesitic rock masses with different weathering grades. During field studies, representative rock blocks are obtained from each weathering grade of andesites for laboratory studies. Thin sections and rock samples are prepared from the rock blocks obtained. Then physical and mechanical properties are determined for each weathering grade of andesites. Laboratory test results are statistically analyzed and a weathering classification is proposed for the andesitic rocks in the study area. The proposed weathering classification includes quantitative data such as λ which is accepted the ratio of uniaxial compressive strength to apparent porosity ($\lambda = \sigma_{ci}/n$), loss of ignition (LOI), Schmidt Hammer rebound value (SHV) and qualitative data such as textural and structural properties of rock masses in the field. The λ values given in proposed weathering classification are compared to the different λ values obtained from the studies executed by different researchers on andesitic rock masses. In consequence, some suggestions are given about the possible usage areas of the investigated andesites in industry.

Key Words: *Andesite, Weathering - Decomposition, Apperant porosity, Havran, Loss of ignition,Uniaxial compressive strength*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğaltaş üretiminin hızla arttığı günümüzde, kayaçların uygulamalardaki kullanım alanları da geniş bir yayılım göstermektedir. İnşaat ve madencilik sektöründe teknik şartnamelere uygun kayaçlar genellikle agrega malzemesi (çimento, asfalt, balast agregası vb.), dolgu malzemesi (yol dolgusu, derz dolgusu vb.), anroşman taşı, kaplama taşı ve dekoratif amaçlı taş-tuğla olarak kullanılmaktadır. Kayaçlardaki ayrışma-bozunma derecesinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi, mühendislik yapılarındaki duraylılığın artırılması buna karşın birim başına düşen üretim maliyetinin düşürülmesi açısından oldukça önemlidir.

Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) verilerine göre, andezit kayacının 2003 - 2015 yılları arasındaki ortalama üretim miktarı 2.850,000 ton civarındadır (Şekil 1). Andezit kayacına ait sözü edilen ortalama üretim miktarı, 2003 - 2015 yılları arasındaki toplam üretilen II-B grubu madenlerinin yaklaşık %13'üne karşılık gelmektedir. Bu oranın ülkemize sağlayacağı katma değer ve andezit kayacından üretilecek olan ürünlerin kısa ve orta vadedeki duraylılığı göz önünde bulundurulduğunda, işletilmekte ve/veya işletilmesi planlanan taşocaklarında gerekli olan ayrıntılı jeolojik ve jeoteknik çalışmaların önemi bir kez daha anlaşılmaktadır. Ayrışma - bozunmanın arazi ve laboratuvarda sağlıklı bir şekilde belirlenmesi;sahada üretime başlangıç sürecinin planlanması, üretimi istenen ürünün ruhsat sahası içerisindeki kayaçların jeolojik ve jeoteknik özellikleri gözetilerek sınıflandırılması ve bu ürünlerin kullanım yeri ve amacına göre yönlendirilmesi açısından oldukça önemlidir.



Şekil 1. Ülkemizdeki andezit üretiminin yıllara göre değişimi (MİGEM, 2015).
Figure 1. *The variation in andesite production in our country by years (MİGEM, 2015)*

Kayaçlarda farklı şekillerde meydana gelen ayrışma-bozunma, kaya kalitesini belirgin şekilde düşürmektedir (Reiche, 1945; Jackson ve Sherman, 1953; Moum ve Rosenqvist, 1957; Keller, 1957; Gidigasu, 1974; Noble, 1977; Beaves, 1985; Fookes ve diğ., 1988; Oyama ve diğ., 1998; Yohta, 1999; Arıkan ve diğ., 2007; Regassa ve diğ., 2014; Koca ve Kıncal, 2015). Pratik mühendislik yaklaşımlarında kayaçların ayrışma-bozunma dereceleri genellikle kayaçlardaki fiziksel ve mekanik özelliklerin değişimi ile ifade edilmektedir.

Beaves (1985) ayrışma bozunmanın niceliksel olarak belirlenebilmesi için en yaygın kullanılan parametreleri aşağıdaki gibi özetlemiştir.

- Kayaçlardaki renk ve doku değişiminin ortaya konması

- Kayaçtaki dayanım özelliklerinin değişimi (Nokta yükü dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı vb.)
- Kaya kütlesindeki süreksizliklerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi (Süreksizlik aralığı, süreksizlik devamlılığı vb.)
- Kaya malzemesinin görünür gözenekliliğindeki değişiklik
- Kaya kalite göstergesindeki (RQD, %) değişiklik
- Kaya malzemesine ait mineralojik ve petrografik değişiklikler

Saha ve laboratuvar çalışmalarında ise ayrışma-bozunma genellikle aşağıdaki fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim yardımı ile belirlenmektedir (Iliev, 1967; Dearman, 1974; Dearman, 1976; Lama ve Vutukuri, 1978; Irfan ve Dearman, 1978; Koca, 1995; Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1997;T uğrul ve Gürpınar, 1997; Tuğrul ve Zarif, 2000; Aydin ve Basu, 2006; Ceryan, 2008).

- Kaya malzemesi kuru birim hacim ağırlığı (γ_d, kN/m^3)
- Görünür Gözeneklilik (n, %)
- P Dalga hızı (V_P, km/s)
- Nokta yükü dayanımı (I_{s50}, MPa)
- Dolaylı çekme dayanımı (MPa)
- Tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}, MPa)
- Schmidt çekici geri sıçrama sayısı (SHV)

Ayrışma-bozunma, fiziksel ve mekanik özellikler dışında mineralojik ve petrografik analizler ile de belirlenmektedir (Lumb,1983; Nesbitt ve Young,1989; Komoo ve Yaakub, 1990; Koca, 1995; Tuğrul, 1995; Lambe, 1996; Arıkan ve diğ. 2007; Regassa ve diğ. 2014).

Lambe (1996) yaptığı çalışmalarda kayaçlarda ilerleyen ayrışma-bozunma ile kayaçlardaki Al_2O_3 değerinin yükseldiğine işaret etmiştir. Koca (1995) İzmir bölgesindeki andezitler üzerine yaptığı çalışmalarda, farklı ayrışma-bozunma derecelerini kayaçların kızdırma kaybı değeri (Loss of ignition, LOI) ve bazı ana oksit değerlerinin toplamı arasındaki (CaO+MgO+MnO) anlamlı ilişkiler ile ortaya koymuştur. Fantong ve diğ. (2014) ise monzonit türü kayaçlar ilerleyen ayrışma-bozunma ile kayaçların içerisindeki alkali oksitlerde (Na_2O ve K_2O) belirgin değişimlere sebep olduğunu ifade etmiştir.

Saha çalışmalarında ise ayrışma – bozunma, kaya kütlesindeki renk ve doku değişiminden kolaylıkla belirlenebilir. Bunun yanı sıra sahada uygulanan Schmidt Çekici deneyleri ile ayrışma bozunma dereceleri birbirinden ayırt edilebilir.

Doğada farklı sıcaklık ve yağış koşulları altında kalan kayaçlarda gerçekleşen ayrışma-bozunmanın daha ayrıntılı çalışılması için göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli husus ise çalışma yapılan bölgeye ait sıcaklık ve yağış verilerinin derlenmesidir. Farklı sıcaklık ve yağış koşulları altında kayaçlarda fiziksel ve kimyasal bir ayrışma-bozunma gerçekleştiği bilinmektedir (Peltier, 1950; Jackson ve Sherman, 1953; Keller, 1957; Noble, 1977).

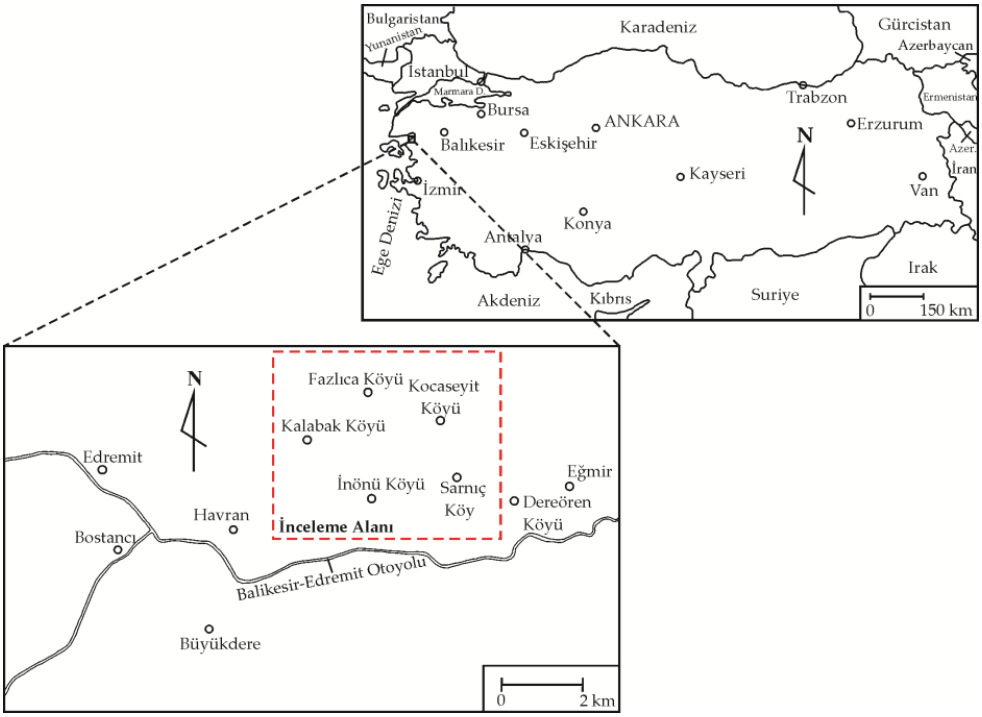
Fookes ve diğ. (1988) ayrışma-bozunmanın agregalardaki olumsuz etkilerine işaret etmiş ve agreganın iklimsel değişiklerden önemli ölçüde etkilendiğini vurgulamıştır.

İklimsel değişikliklerin ayrışma-bozunma üzerine etkisi hakkında yapılmış önemli çalışmalardan biri Peltier (1950) tarafından gerçekleşmiştir. Peltier (1950) farklı sıcaklık ve yağış koşullarında kayaçlarda meydana gelen ayrışma-bozunma türlerini araştırmıştır.

Bu çalışmada Kırcalar Tepe ve Sarnıç Köy (Havran/Balıkesir) çevresinde yer alan andezitlerin ayrışma-bozunma dereceleri niceliksel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikle inceleme alanına ait jeolojik ve meteorolojik özellikler derlenmiş ve aynı andezit birimi içinde farklı ayrışma-bozunma gösteren alt birimler oluşturulmuştur. Bu alt birimlere ait ayrıntılı arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda inceleme alanındaki andezitler için bir ayrışma-bozunma sınıflaması önerilmiştir. Önerilen sınıflama sistemi önceki çalışmalardan elde edilen bulgular ile karşılaştırılmıştır.

İNCELEME ALANININ TANITILMASI (DESCRIPTION OF THE STUDY AREA)

Marmara Bölgesinde yer alan inceleme alanı, Balıkesir iline yaklaşık 77 km, Havran ilçesine ise yaklaşık 1 km uzaklıkta ve Havran'ın kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 2). İnceleme alanı yaklaşık 35 km²'lik bir alanı kapsamakta olup, Balıkesir İ18- d3 paftası içersinde yer almaktadır. Bölgede yazlar sıcak ve kurak, diğer mevsimler genellikle yağışlı geçmektedir. Genel olarak hakim olan iklim tipi Akdeniz iklimi olarak kabul edilebilir. Ancak inceleme alanı iç kesimleri dağlık olduğundan, Karasal ve Akdeniz iklimi bir arada hüküm sürmektedir. Bitki örtüsünü ise yükseltinin azaldığı kesimlerde genellikle kısa çalılar, incir ve zeytin ağaçları, yükseltinin arttığı kesimlerde ise yoğun çam ormanları oluşturmaktadır. İnceleme alanı genel olarak engebeli bir topografyaya sahiptir. Bölgede hakim tepeler; Kalabak Köy güneydoğusunda Gök Tepe (156 m), Fazlıca köyü güneyinde Kara Tepe (210 m), Çakır Tepe (230 m) ve Kırcalar Tepe (190 m), İnönü köyü doğusunda ise Küçükçal Tepe(235 m) ve Kocaçal Tepe (381 m) olarak sıralanabilir. İnceleme alanındaki eğim durumu ise değişkendir. İnceleme alanı kuzeydoğu ve güneydoğusunda eğimin diğer alanlara göre yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Bu bölgelerde eğimin yaklaşık 40 – 56° arasında değişmektedir. İnceleme alanında eğimin en yüksek olduğu bölgeler Kara tepe ve Kocaçal tepenin zirveye yakın etekleri ile Kocaseyit Köyü kuzeybatısındaki sırtlar olarak görülmektedir.

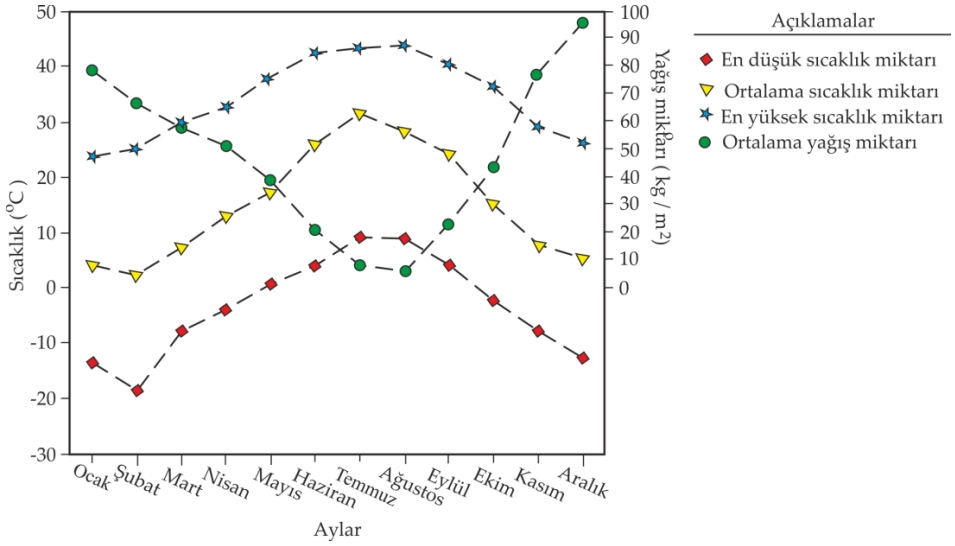


Şekil 2. İnceleme alanı yer buldur haritası.
Figure 2. *Side location map of the study area.*

İnceleme Alanı Meteorolojik Özellikleri (Meteorological Properties of The Studied Area)

İnceleme alanına ait sıcaklık ve yağış durumu T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) Balıkesir ili için sunduğu uzun yıllar içinde gerçekleşen (1950 – 2015) sıcaklık değerleri ile ortalama yağış miktarı Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'e göre Balıkesir ilinde en yüksek sıcaklık Temmuz (42°C) – Ağustos (43°C) aylarında gözlenirken, en düşük sıcaklık Şubat (-18°C) ile Aralık (-12°C) aylarında gözlenmektedir. Bölgeye en fazla yağış ise Ocak (82 kg/m²) ve Aralık (97 kg/m²) aylarında düşmektedir. Gözlenen en yüksek ve en düşük sıcaklık değerlerine göre, bölgedeki sıcaklık değişimi yaz aylarında ortalama 26 °C ve kış aylarında ise ortalama 8 C' dir.

Şekil 3'te verilen sıcaklık değerleri kullanılarak inceleme alanına ait ayrışma-bozunmanın çeşidi Peltier (1950) tarafından geliştirilen "Peltier Diyagramı" yardımı ile belirlenmiştir. Ortalama sıcaklık ve bölgeye düşen ortalama yağış miktarı değerlerine göre kayaçlarda gözlenmesi muhtemel ayrışma-bozunma türü, Peltier (1950)'ye göre Hafif Derecede Kimyasal Ayrışma" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3. Balıkesir ili için 1950 – 2015 tarihleri arasında gözlenen sıcaklık ve yağış değerleri (MGM, 2015).
Figure 3. *The data of temperature and precipitation between the years of 1950 – 2015 for Balikesir (MGM, 2015)*

İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri (Geological Properties of the Study Area)

İnceleme alanı gerek jeolojik açıdan gerekse bölgedeki cevherleşmeler açısından oldukça zengin bir bölgedir. Bölgenin genel jeolojik haritası Şekil 4'te verilmiş olup, bölgede daha önce yapılmış çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Bölgede yapılmış ilk ayrıntılı jeolojik çalışma Kaaden (1956) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kaaden (1956), Edremit Körfezi'ne ait 1/100000 ölçekli topografik haritaları kullanarak bu bölgenin jeolojisini çıkartmıştır. Bölgeye ait birimleri, granitoyidler, metamorfikler ile Neojen ve Pleyistosen yaşlı genç kayaçlar sırası ile ayrıntılı olarak incelemiştir.

Krushensky ve diğ. (1980) inceleme alanı kuzeybatısındaki (Bkz. Şekil 4) düşük derece metamorfikleri (Olistolit : Po, Fillit : KTR-kka) Kalabak Formasyonu olarak adlandırmış ve bu birime Pre-Kambriyen – Kambriyen yaş vermiştir. Ercan ve diğ. (1984a) Kuzeybatı Anadolu'daki mağmatik kayaçları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bölgedeki mağmatik kayaçların (özellikle Kozak ve Eybek Plütonlarının) eş yaşlı ve benzer mineralojik özelliklerde olduklarını vurgulamış, bunun dışında inceleme alanındaki volkanitlere (Kızılkıran Formasyonu) Oligosen – Miyosen yaşını vererek, bölgedeki Pb-.Zn yataklarının bu volkanizmaya bağlı olarak oluştuklarını ileri sürmüştür (Ercan ve diğ., 1984b).

Ercan ve diğ. (1990) inceleme alanındaki volkanitlerin yaşını Miyosen olarak ifade etmekte ve volkanitlerin kalkalkalin özellikte olduğunu vurgulamaktadır. Çolakoğlu (2000) bölgede meydana gelen Oligosen-Miyosen yaşlı volkanizmayla ilişkili hidrotermal altın damarının oluşumundan (inceleme alanı güneyinde yer alan Küçükdere ve Büyükdere köyleri civarında) söz etmektedir.

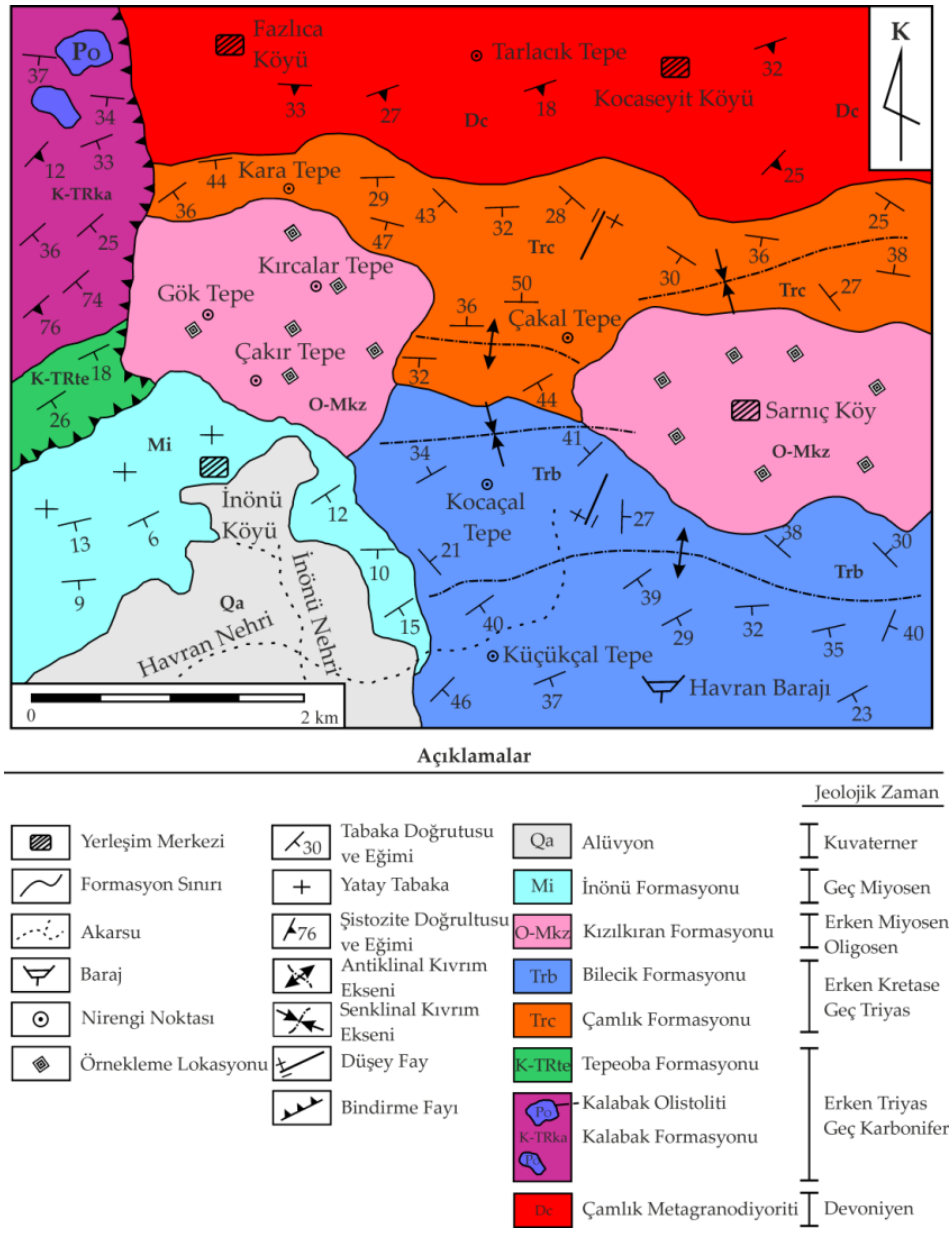
Okay ve Yaltırak (2004) Edremit körfezinin jeolojisini tam olarak gözler önüne sermektedir. Yaltırak ve Okay bu çalışamada, bölgedeki önemli bir mağmatik kütle olan Eybek Plütonu ile Devoniyen yaşlı Çamlık Metagraniti'ni birbirinden ayırmıştır. Bölgedeki en yaşlı birimin Devoniyen yaşlı Çamlık Metagraniti olduğu belirtilmektedir.

Eybek granodiyoriti'nin ise Çamlık metagranodiyoritini keserek yüzeylediğini anlatan çalışmada bölgeye ait stratigrafi ayrıntılı şekilde verilmiş, bölgenin jeodinamiği ortaya konmuştur.

Ayrıca yazarlar Krushensky ve diğ. (1980) tarafından Pre-Kambriyen – Kambriyen olarak yaşlandırılan Kalabak Formasyon'nu yaptığı jeokronolojik çalışmalar ile Geç Karbonifer - Erken Triyas olarak düzeltmiştir.

İnceleme alanında yer alan birimler Devoniyen'den günümüze uzanan geniş bir zaman dilimini temsil eder. Bölgedeki en yaşlı birim Devoniyen yaşlı Çamlık Metagranitidir.

Çamlık Metagraniti, granitik ve granodiyoritik bileşimlidir ve görünür kalınlığı yaklaşık olarak 200 metreden fazladır. Granitik kütle üzerine tektonik hareketlerle gelen Karakaya Karmaşığına ait üyeler; Kalabak ve Tepeoba üyeleridir.



Şekil 4. Sarnıç Köy ve Çevresinin Basitleştirilmiş Jeoloji Haritası (Ercan ve diğ. 1990'dan düzenlenerek).

Figure 4. *Simplified Geological Map of Sarnic Village and its vicinity (modified after Ercan et al. 1990)*

Kalabak üyesi birimleri genel olarak fillit ve bu fillitler içersinde yer alan Permiyen yaşlı olistolitlerdir. Bu birimler düşük derece metamorfikler olarak tanımlanmakta ve metamorfik istif Tepeoba Formasyonu ile devam etmektedir.

Bilecik Formasyonu genelde mikritik kireçtaşlarından oluşmakta ve inceleme alanının güney kesimlerinde geniş bir yayılım göstermektedir. Bilecik kireçtaşları üzerine uyumsuz olarak gelen andezit ve asidik tüflerden meydana gelen Kızılkıran Formasyonu Geç Oligosen - Erken Miyosen yaşlı volkanizmanın ürünleridir. Genç ve Altunkaynak (2006) Eybek Plütonu ile etrafındaki andezitler arasında yakın bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Kızılkıran Formasyonuna ait andezitik kütlenin görünür kalınlığı yaklaşık 120 m civarındadır. Daha sonra andezitler üzerine çökelen ve karasal ortamı karakterize eden birimler sırayla; Geç Miyosen yaşlı İnönü Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Aluvyondur. Geç Miyosen yaşlı İnönü Formasyonu karasal ve gölsel çökeller olarak tanımlanmıştır. Kuvaterner yaşlı aluvyal yelpaze çökelleri ve yamaç molozları ise İnönü formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır.

İnceleme alanında ve Kızılkıran Formasyonu içerisinde gözlenen andezitik kütleler farklı ayrışma - bozunma türlerine göre alt birimlere ayrılmış ve bu alt birimlerde ayrıntılı saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarında farklı ayrışma - bozunma türleri ISRM (1981) tarafından önerilen arazi gözlem ve değerlendirmeleri ışığında ayırt edilmiştir. Bu çalışma kapsamında andezit kaya kütleleri ayrışma - bozunma açısından 5 farklı sınıfta toplanmıştır.

Bu çalışmada ayrışmamış kaya kütleleri W_0, az ayrışmış kaya kütleleri W_1, orta derecede ayrışmış kaya kütleleri W_2, ileri derecede ayrışmış kaya kütleleri W_3 ve tamamen ayrışmış kaya kütleleri W_4 simgeleri ile tanımlanmıştır.

Sarnıç Köy civarında gözlenen andezitler genelde W_0 ve W_1 tipinde olup, W_0 andezitler sahada diri görünümlü (fenokristallerin gözle belirgin şekilde tanımlanması) olup, sahada pembe ve gri tonlarda gözlenmektedir (Şekil 5a). W_1 tipindeki andezitler ise genellikle pembe, açık gri ve açık sarı tonlarında oldup, genellikle kaya kütleleri içerisinde dar aralıklı eklemler gözlenmektedir. Kırcalar Tepe civarındaki andezitler genellikle ayrışma - bozunma açısından karmaşık bir yapıya sahiptir (Şekil 5b).Kırcalar Tepe eteklerinde genellikle W_2 tip andezitler sarı tonlarda gözlenmekte olup, tepe yamaç eteklerinde net olarak gözlenmektedir.W_3 tip andezitler genellikle koyu sarı, koyu kahverengi turuncu ve yer yer kırmızı tonlarda gözlenmekte ve W_3 tip ile W_2 tip andezitler arasında yer yer küçük bloklar halinde W_1 tip andezitlere rastlanmaktadır. Özellikle W_3 tip andezitlerde hidrotermal cehverleşmeler belirgindir. Hidrotermal alterasyon ürünleri olarak; Limonit (lm), Serisit (ser), Galen (ga), Kalkopirit (kal), Sfalerit (sf), Zinober (zin) ve Realgar (re) belirgin olup, süreksizlik yüzeylerinde killeşme olarak tanımlanan arjillitleşme (arg) gözlenmektedir (Şekil 5c ve Şekil 5d). Gök Tepe eteklerinde ise genellikle tamamen ayrışmış kırmızı tonlardaki toprak zonu W_4 tip andezitlerden oluşmaktadır (Şekil 5e).

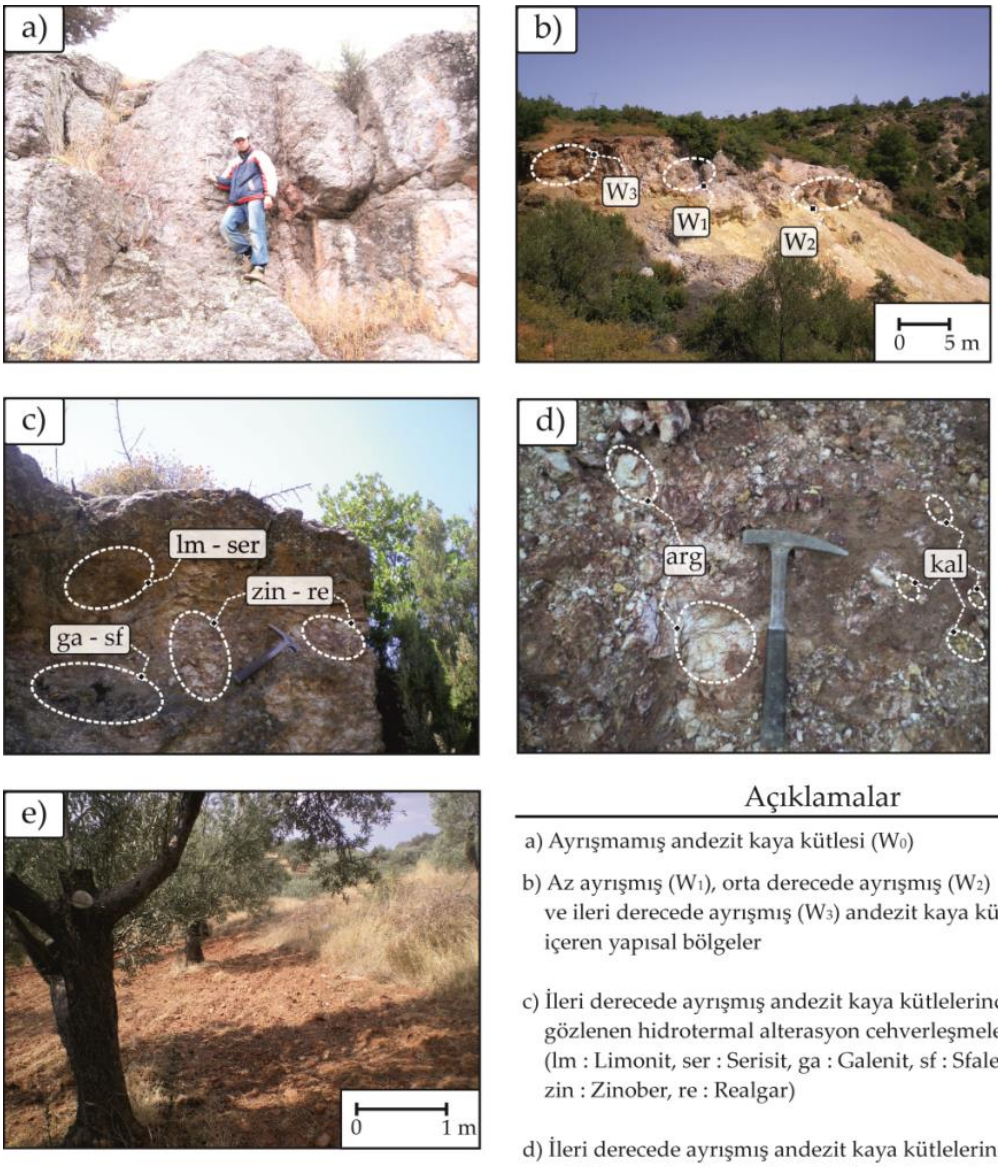
ARAZİ ÇALIŞMALARI (FIELD STUDIES)

İnceleme alanında farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki andezitler ISRM (1981) tarafından önerilen yönteme göre 4 alt grupta (W_0 – W_3) incelenmiş ve bu alt gruplarda kaya kütlelerinin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ayrıntılı hat etütleri gerçekleştirilmiştir. Süreksizliklerin jeoteknik özelliklerden süreksizlik aralığının belirlenmesi şerit metre kullanılarak yapılmıştır. Süreksizlik pürüzlülüğü ise pratik olarak bir pergel yardımı ilearazide profilmetreye benzer bir yaklaşım ilebelirlenmiştir. Pergelin sivri ucu kaya kütlesine sürtülürken, pergelin diğer ayağındaki kalemin ucu sert kapaklı bir defter üzerine sabitlenen kağıda yaklaşık 15 cm boyunca sürtünerek pergelin çizdiği doğrultuya paralel olacak şekilde süreksizliğin pürüzlülük profili çıkartılmıştır. Çıkartılan pürüzlülük profili Barton ve Choubey (1977) tarafındanönerilen pürüzlülük abağında hangi profile uyuyorsa, söz konusu çizme hattına ait süreksizlik pürüzlülük katsayısı (JRC) belirlenmiştir. Hat etütleri yatay ve düşey doğrultularda yapılmış olup, süreksizliklerin jeoteknik özellikleri yatay ve düşey doğrultularda elde edilen değerlerin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilmiştir.

Kırcalar Tepe civarında gerçekleştirilmiş hat etütlerinden elde edilen bazı değerler ve farklı ayrışma – bozunma derecelerime ait andezitlerin genel görünümü Şekil 6'da verilmiştir.

Yapılan hat etütlerine göre, W_0 tip andezitlerde gözlenen eklemlerin aralığı 250 mm'den daha büyüktür. W_0 tip andezitler içerisinde bulunan eklem yüzeyleri genel olarak çok pürüzlü olup, JRC

değeri 14 – 16 arasındadır. Eklemlerin açıklığı ise genellikle 0.50 mm'den küçük olup, eklemler sıkı durumdadır.



Açıklamalar

a) Ayrışmamış andezit kaya kütlesi (W_0)

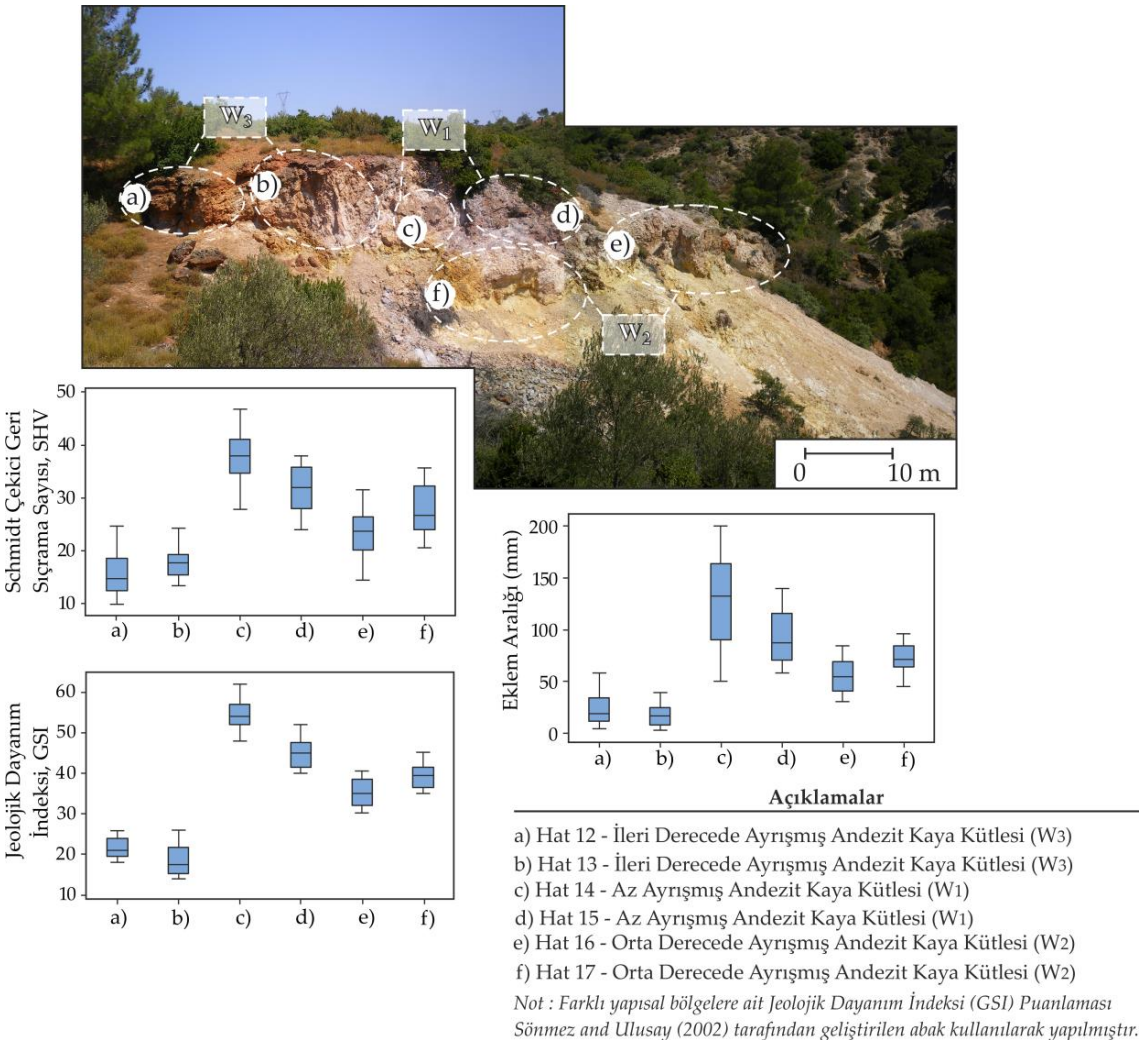
b) Az ayrışmış (W_1), orta derecede ayrışmış (W_2) ve ileri derecede ayrışmış (W_3) andezit kaya kütlelerini içeren yapısal bölgeler

c) İleri derecede ayrışmış andezit kaya kütlelerinde gözlenen hidrotermal alterasyon cehverleşmeleri (lm : Limonit, ser : Serisit, ga : Galenit, sf : Sfalerit zin : Zinober, re : Realgar)

d) İleri derecede ayrışmış andezit kaya kütlelerinde gözlenen arjillitleşme (arg) ve kalkopirit (kal) oluşumları

e) Tamamen ayrışmış andezit kaya kütlesinden (W_4) oluşan toprak zonu

Şekil 5. İnceleme alanında farklı ayrışma - bozunma derecelerinde gözlenen andezitler.
Figure 5. *Andesites observed in the study area with different weathering grades*

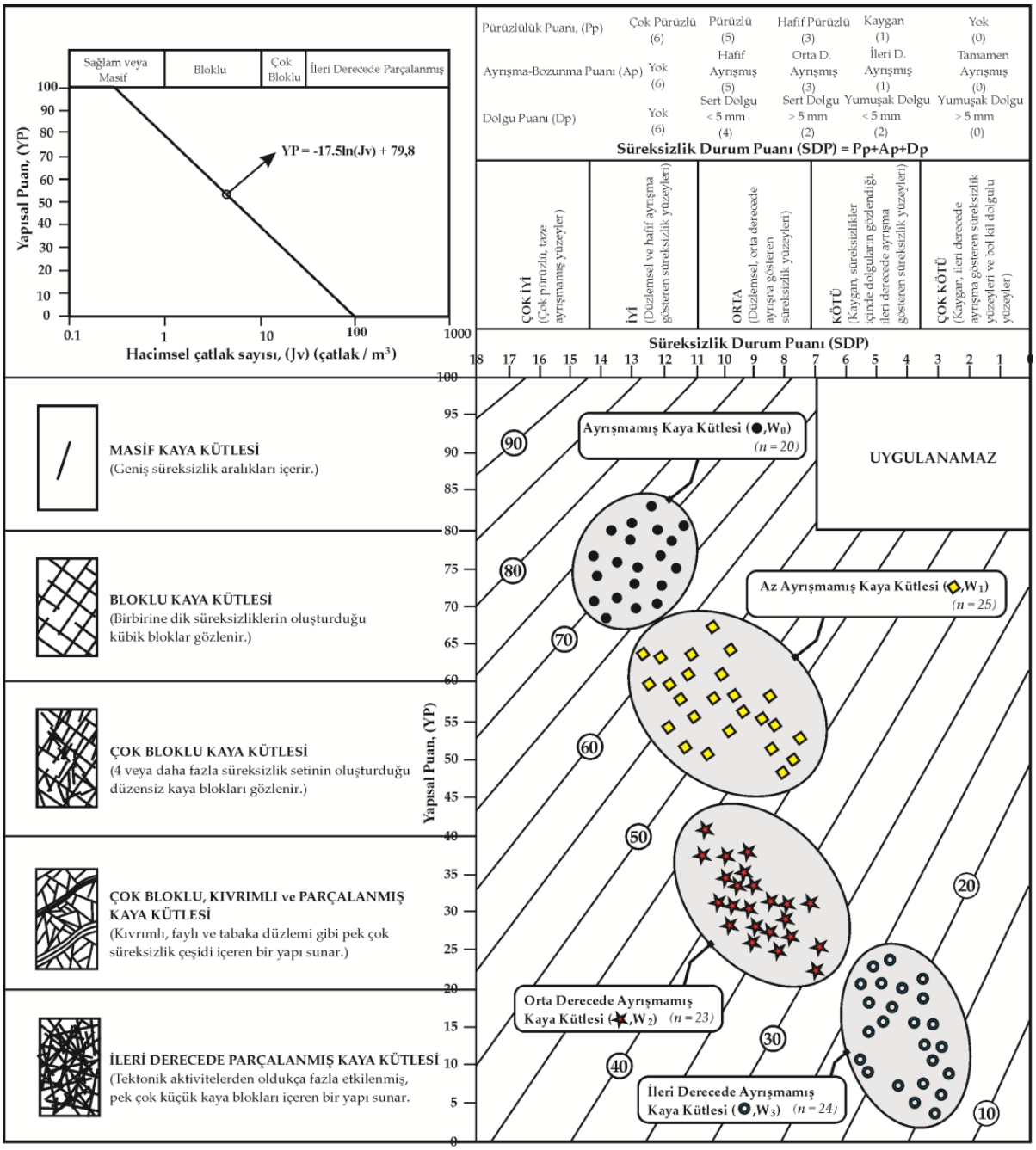


Şekil 6. Kırcalar Tepe civarında farklı ayrışma – bozunma derecelerine ait andezitlerin genel görünümü
Figure 6. *General view of andesites observed in the vicinity of Kircalar Hill with different weathering grades*

Andezit yüzeylerine dik konumda yapılan Schmidt Çekici deneylerine göre, L Tipi Schmidt Çekici Geri Sıçrama Sayısı (SHV) 45 – 52 arasında değişmektedir. Farklı ayrışma – bozunma derecelerindeki andezitlerin Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) puanlaması, Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen *"Geliştirilmiş Jeolojik Dayanım İndeks Abağı"* kullanılarak hesaplanmış olup, W_0 tip andezitlerin GSI değeri 65 – 75 arasında değişmektedir (Şekil 7).

W_1 tip andezitlerde gözlenen eklemlerin aralığı50 mm – 200 mm arasında değişmektedir. Eklem yüzeyleri genel olarak az pürüzlü olup, JRC değeri 10 – 14 arasındadır. Eklemlerin açıklığı ise genellikle 0.3mm – 4 mm arasında olup, eklemler orta açıklıktadır. Süreksizlik yüzeylerine ait SHV değeri 28 – 42 arasında değişmektedir. W_1 tip andezitlerin GSI değeri ise 40 – 60 arasında değişmektedir.

W_2 tip andezitlerde gözlenen eklemlerin aralığı30 mm – 80 mm arasında değişmekte olup, eklem yüzeyleri pürüzlü ve düzlemseldir. Bu süreksizliklerin JRC değeri 4 – 10 arasında olup, eklemlerin açıklığı ise 0.8 mm – 14 mm arasındadır. Eklemler orta açıklıktadır. SHV değeri 20 – 32 arasında değişmekte ve GSI değeri ise 30 – 45 arasındadır.



Şekil 7. İnceleme alanındaki farklı ayrışma – bozunma derecelerindeki andezitlerin Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Puanları.

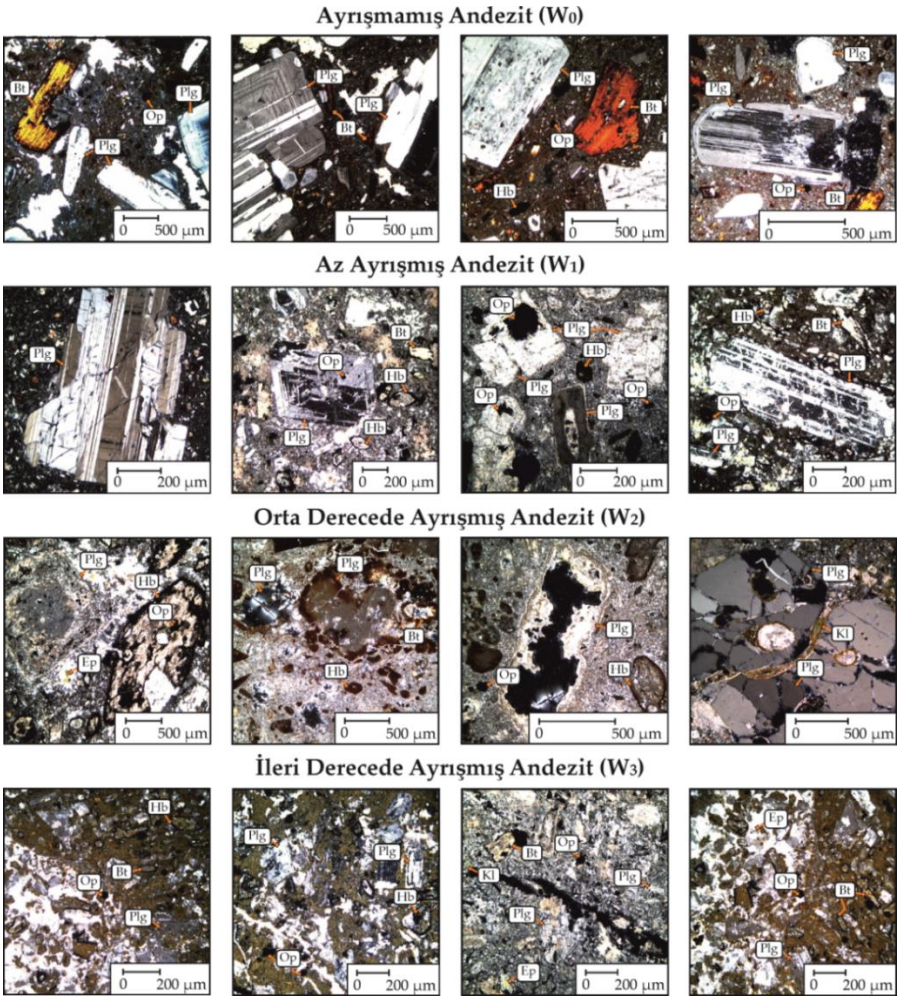
Figure 7. *Geological Strength Index (GSI) Values of andesites observed in the study area with different weathering grades.*

W_3 tip andezitlerde gözlenen eklemlerin ortalama aralığı ise 40 mm'den daha küçüktür. Eklem yüzeyleri düzlemsel ve kaygan olup, JRC değeri 2 – 6 arasında değişmektedir. W_3 tip andezitlerde gözlenen eklemlerin açıklığı ise ortalama 18mm'den daha büyüktür.Söz konusu bu eklemler geniş açıklıktadır. SHV değeri 10 – 20 arasında değişmekte ve GSI değeri ise 15 – 25 arasında değişmektedir.

LABORATUVAR ÇALIŞMALARI (LABORATORY STUDIES)

Laboratuvar çalışmaları, arazi çalışmaları esnasında alınan temsili kaya bloklarından elde edilen örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki kaya bloklarından, mineralojik analizler için ince kesitler, kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için 54 mm ± 2 mm çapında silindirik örnekler hazırlanmıştır. Ayrıca kayaçların ayrışma – bozunma derecelerinin laboratuvarda pratik olarak belirlenmesi için kızdırma kaybı (loss of ignition, LOI) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri TS 699, kızdırma kaybı deneyleri ise ASTM D7348-13'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Farklı ayrışma – bozunma derecelerindeki andezitlerin ince kesit görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'e göre farklı ayrışma bozunma derecelerindeki andezitler hiyalopilitik dokuda olup, fenokristaller hamur fazı içerisinde yüzüyor şeklinde gözlenmektedir. W_0 tip andezitler genel olarak Na'ca zengin plajiyoklas (Albit ve Oligoklas), biyotit, hornblend ve opak minerallerden (Hematit, Manyetit vb.) oluşmaktadır. Andezitlerde ilerleyen ayrışma – bozunma ince kesitlerde belirgin şekilde izlenmektedir. Ayrışma –bozunma W_1 tip andezitlerde; zonlu plajiyoklaslarda gözlenen çatlaklı yapı, diğer plajiyoklaslar içerisinde polisentetik ikizlenme doğrultusuna paralel izlenen killeşme ile opak mineral oluşumları ve hornblendlerde killeşme ve opaklaşma şeklindedir.



Şekil 8. Farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki andezitlerin ince kesit görüntüleri (Plg : Plajiyoklas, Bt : Biyotit, Hb : Hornblend, Ep : Epidot, Kl : Klorit, Op : Opak mineral).

Figure 8. *Thin section scenes of andesites with different weathering grades (Plg: Plagioclase, Bt: Biotite, Hb: Horblende, Ep: Epidote, Kl: Chlorite, Op: Opaque mineral)*

W_2 tip andezitlerde; plajiyoklaslarda benekli bir yapı olarak gözlenen serisitleşme ile opaklaşma, fenokristallerin çevresinde sarı tonlarda gözlenen limonit ve yeşil tonlardaki klorit oluşumları şeklindedir. Ayrıca W_2 tip andezitlerde gözlenen horblend parçalarında yer yer epidot oluşumları dikkat çekmektedir. W_3 tip andezitlerde ise büyük ölçüde hamur fazında gözlenen kloritleşme ve killeşmeler bunun yanı sıra da saçınımlı olarak az miktarda mikrokristalin kuvarslar izlenmektedir. Ayrıca W_3 tip andezitlerde kılcal çatlaklar boyunca gözlenen opaklaşma ile bazı hornblend minerallerinin tamamen epidot mineraline dönüşmesi hidrotermal alterasyona işaret etmektedir (Rabone, 1975).

Farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki andezit bloklarından elde edilen silindirik numuneler üzerinde gerçekleştirilen kaya mekaniği deney sonuçlarına göre (Çizelge 1), W_0 tip andezitler ISRM (1981)'e göre orta dayanımlı, Bieniwaski (1975)'e göre ise orta – yüksek dayanımlı kayaç sınıfında yer almaktadır. Görünür gözeneklilik değerlerine göre ise W_0 tip andezitler Moos – Quervain (1948)'e göre az boşluklu kayaç olarak tanımlanmaktadır. Çizelge 1'de ifade edilen laboratuvar deney sonuçlarına göre, andezit kayacında ilerleyen ayrışma – bozunma kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin, W_3 tip andezitlerden elde edilen görünür gözeneklilik değeri W_0 tip andezitlerden elde edilen değerden ortalama 7 kat daha fazladır. Benzer şekilde, W_3 tip andezitlerin tek eksenli basınç dayanımı değeri W_0 tip andezitlerden elde edilen değerden ortalama 6 kat daha azdır. W_3 tip andezitlerin kızdırma kaybı değeri de, W_0 tip andezitlerden elde edilen değerden ortalama 9 kat daha fazladır.

Çizelge 1.Farklı ayrışma – bozunma derecelerindeki andezitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Table 1. *Physical and mechanical properties of andesites with different weathering grades*

Kaya Türü	n (%)	γ_d (kN/m³)	I_{s50} (MPa)	σ_{ci} (MPa)	E_{ti} (GPa)	LOI (%)
Ayrışmamış Andezit, W_0	1.98 ± 0.22 (18)*	23.92 ± 0.34 (18)	4.18 ± 0.46 (10)	84.54± 5.27 (8)	22.00± 1.85 (7)	0.64 ± 0.14 (10)
Az Ayrışmış Andezit,W_1	3.20 ± 0.53 (20)	23.11 ± 0.26 (20)	3.60 ± 0.73 (10)	64.72 ± 3.30 (8)	16.42± 2.30 (7)	1.52 ± 0.36 (10)
Orta Derecede Ayrışmış Andezit,W_2	6.72 ± 1.50 (14)	22.04 ± 0.40 (14)	1.94± 0.73 (10)	34.55 ± 4.65 (8)	7.41 ± 1.06 (7)	2.49 ± 0.54 (10)
İleri Derecede Ayrışmış Andezit, W_3	14.58 ± 2.96 (11)	21.36 ± 0.88 (11)	0.76 ± 0.25 (10)	12.88 ± 2.92 (8)	2.88 ± 1.14 (7)	5.76 ± 0.92 (10)

Açıklamalar : * : ortalama ± standart sapma (örnek sayısı), n: Görünür gözeneklilik, γ_d : Kuru birim hacim ağırlık, I_{s50} : Düzeltilmiş nokta yükü dayanımı, σ_{ci} : Tek eksenli basınç dayanımı, E_{ti} : Teğetsel Young Modülü, LOI: Kızdırma kaybı

Laboratuvar çalışmaları sonucunda andezit kayacında izlenen ayrışma – bozunmanın kaya malzemesinin mineralojik, fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Çizelge 1'de ifade edilen deney sonuçlarının istatistiksel analizi sonucunda, inceleme alanındaki andezitler ayrışma - bozunma açısından sınıflandırılmıştır.

AYRIŞMA BOZUNMA SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ (DEVELOPMENT OF THE WEATHERING CLASSIFICATION)

İnceleme alanındaki andezitlerin ayrışma – bozunma açısından sınıflandırılması, özellikle delme – patlatma uygulamalarında yaşanan aşırı patlatma nedeniyle meydana gelen sorunların en aza indirilmesi, kayaçların kullanım alanının doğru bir şekilde seçilmesi ve andezit kayacından üretilecek olan agrega malzemesinin kullanım ömrünün kestirimi açısından oldukça önemlidir.
Ayrışma – bozunma sınıflamasının geliştirilmesinde kullanılan bağımsız değişkenler, sınıflama sisteminin kullanılabilirliği dikkate alınarak, öncelikle ayrışma - bozunma olayını niceliksel olarak en kolay şekilde anlatabilen, numune hazırlaması nispeten kolay, maliyeti düşük ve tekrarlanabilirliği yüksek deney yöntemleri olmalıdır.Bu kapsamda sınıflama sistemindeki bağımsız değişkenler; n (%), σ_{ci} (MPa), LOI (%) ve SHV değerleri olarak seçilmiştir. İstatistiksel analizlerde σ_{ci} değerinin n değerine olan oranı λ olarak tanımlanmış ($\lambda = \sigma_{ci}/n$) ve bu değerin ayrışma - bozunma sınıflamasında kullanılmasının, iki bağımsız değişkenin bireysel olarak kullanılmasından daha faydalı olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen istatistiksel analizler;farklı ayrışma - bozunma içeren andezit kütlelerinden elde edilen λ, LOI ve SHV değerlerinin Log-normal dağılıma uygun olduğunu göstermiştir.Yukarıda tanımlanan λ oranı ($\lambda = \sigma_{ci}/n$) boyut analizi içermemekle birlikte λ oranında σ_{ci} değeri MPa olarak, n değeri ise % olarak ifade edilmektedir. İstatisiksel analizler temel olarak 2 değişkenli Log - normal dağılım kullanılarak farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki λ, LOI ve SHV değerlerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonlarının çizilmesi şeklindedir. Ayrışma bozunma sınıflamasının sınır aralıkları, çizilen olasılık yoğunluk fonksiyonlarının %90 güven aralığındaki değerleri baz alınarak belirlenmiştir.

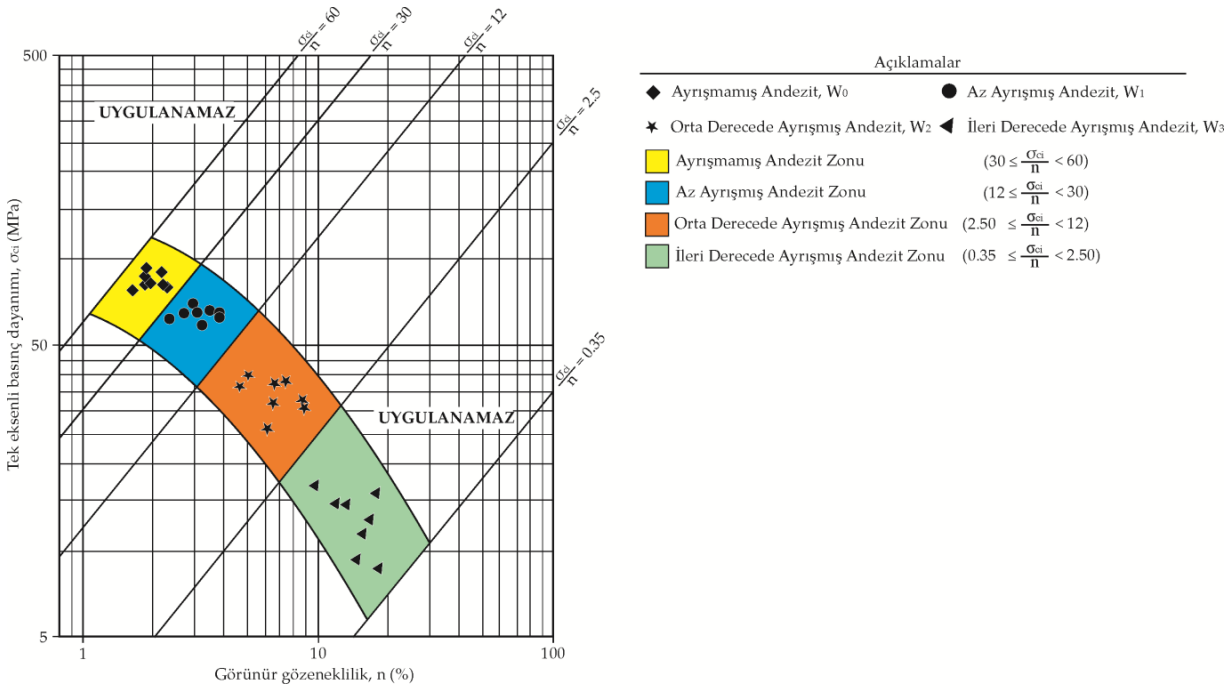
Sınıflama sisteminde kullanılan değiştirgelere ait Log - normal dağılım parametreleri (konum parametresi; location parameter ve ölçek parametresi; scale parameter) değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Sınıflama sisteminde kullanılan Log - normal dağılım parametre değerleri
Table 2. *Log-normal distribution parameters used in classification system*

	Değiştirge	Ayrışma Derecesi					Değiştirge	Ayrışma Derecesi			
		W_0	W_1	W_2	W_3			W_0	W_1	W_2	W_3
Konum Parametresi (Location Parameter)	λ	3.76	3.02	1.66	-0.12	Ölçek Parametresi (Scale Parameter)	λ	0.13	0.18	0.30	0.41
	LOI	-0.47	0.39	0.89	1.70		LOI	0.19	0.24	0.22	0.16
	SHV	3.76	3.62	3.13	2.72		SHV	0.09	0.13	0.19	0.25

Log – normal dağılımına uygun olarak gerçekleştirilen istatistiksel analizler sonucunda andezitlerin ayrışma – bozunma açısından sınıflandırılması Şekil 9'da bir nomogram olarak verilmektedir. Şekil 9'a göre farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki andezitlerin görünür gözeneklilik ve tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin nomograma düşürülmesi ile ilgili andezit örneğinin hangi ayrışma - bozunma derecesinde olduğu kolaylıkla belirlenebilir.

Şekil 9'da ifade edilen nomogram dışında kızdırma kaybı (LOI) deney sonuçları, sahada belirlenen Schmidt Çekici Geri Sıçrama Sayısı (SHV) ile sahada gözlenen andezitlerin yapısal ve dokusal özellikleri dikkate alınarak andezitlerin ayrışma – bozunma sınıflaması Çizelge 3'te birleştirilmiştir. Çizelge 3'te farklı ayrışma – bozunma derecelerindeki andezitlerin λ oranı, LOI, SHV ve sahadaki andezitlerin yapısal ve dokusal özellikleri yer almaktadır. Çizelge 3 kullanılarak inceleme alanındaki andezitler gerek saha çalışmaları gerekse laboratuvar çalışmaları sırasında ayrışma – bozunma açısından sınıflandırılabilir.



Şekil 9. İlerleyen ayrışma – bozunma ile görünür gözeneklilik ve tek eksenli basınç dayanımındaki değişim.
Figure 9. *The variation in apparent porosity and uniaxial compressive strength due to progressive weathering*

Çizelge 3. İnceleme alanında yer alan andezitler için önerilen ayrışma-bozunma sınıflaması
Table 3. *The proposed weathering classification for andesites located in the study area*

$\lambda = (\sigma_{ci}/n)$	LOI	SHV	Tanımlama	Renk	Ek Açıklamalar
≥ 30	≤ 0.7	≥ 45	Ayrışmamış, W_0	Pembe ve koyu gri renklerde,	Fenokristaller gözle kolaylıkla ayırt edilmekte ve kayaçlar herhangi bir hidrotermal alterasyon ürünü içermemektedir.
30 - 12	1.7 - 0.7	45 - 30	Az Ayrışmış, W_1	Pembe, açık gri ve açık sarı	Kayaç yüzeyinde yer yer orta aralıklı çatlaklar gözlenir. Hafif bir yüzey alterasyonu vardır.
12 - 2.5	1.70 - 3.60	30 - 20	Orta Derecede Ayrışmış, W_2	Koyu sarı, koyu kahverengi, turuncu ve yer yer kırmızı	Yer yer killeşme gözlenir. Hidrotermal alterasyon ürünü olarak serisit ve limonit belirgindir.
< 2.5	≥ 3.60	≤ 20	İleri Derecede Ayrışmış, W_3	Kırmızı, koyu sarı, turuncu ve beyaz	Hidrotermal cevherleşmeler belirgindir. Kayaçlar suya karşı oldukça duyarlı olup, çatlaklar arası killeşme belirgindir.

TARTIŞMA (DISCCUSION)

Bu çalışmada önerilen ayrışma - bozunma sınıflamasında (Çizelge 3) yer alan λ oranı değeri, andezit kayacı üzerine yapılan önceki çalışmalardan elde edilen λ değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çizelge 4'te ülkemizde yer alan farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki bazı andezitlere ait λ değerleri

görülmektedir. Farklı mineralojik ve petrografik özelliklerde olmalarına rağmen andezit kayacında ilerleyen ayrışma - bozunmanın, andezit türündeki kayaçların λ oranında üstel bir azalmayasebep olduğu görülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen λ oranı değerleri Koca ve Kıncal 2004 tarafından elde edilen İzmir bölgesi andezitlerinden elde edilen λ oranı değerleriyle benzerlik göstermektedir (Bkz. Çizelge 4) İzmir bölgesindeki andezitik kütleler Miyosen yaşlı Yunt Dağı Volkanizması ile (Ersoy vd. 2012), Edremit - Havran bölgesinde yüzeyleyen andezitik kütleler ise Genç ve Altunkaynak (2006)'ya göre Oligosen - Miyosen yaşlı Eybek Volkanizması ile ilişkilendirilmektedir.

Çizelge 4. Farklı araştırmacıların çalışmalarından elde edilen λ oranı değerleri.
Table 4. *The ratio of* λ obtained from the different studies of *researchers*

Kaya Türü	Bölge	Ayrışma Bozunma Derecesi				Kaynak
		W_0	W_1	W_2	W_3	
Andezit	Ankara (Çubuk, Esertepe, Gölbaşı)	$\lambda \geq 37$	$37 > \lambda \geq 14$	$14 > \lambda \geq 5$	$5 > \lambda$	Karpuz ve Paşamehmetoğlu, (1997)
Andezit	Balıkesir (Balya)	—	—	—	$2 > \lambda$	Akyol, 1997, Koca ve diğ., (2001)
Andezit, Bazaltik Andezit	İzmir (Asansör, Bayraklı, Kadifekale)	$\lambda \geq 27$	$27 > \lambda \geq 12$	$12 > \lambda \geq 7$	$7 > \lambda$	Koca ve Kıncal, (2004 - 2015)
Andezit	Çankırı (Korgun)	—	—	$15 > \lambda \geq 3$	$3 > \lambda$	Şimşek ,(2003)
Andezit, Dasit	Ankara (Sincan, Bağlum)	$\lambda \geq 40$	$40 > \lambda \geq 12$	$12 > \lambda \geq 6$	$6 > \lambda$	Arıkan ve diğ., (2007)
Andezit	İstanbul (4. Levent - Ayazağa)	—	—	$12 > \lambda \geq 3$	$3 > \lambda$	Süzen, (2009)
Andezit	Bartın (Hisarönü)	—	—	$16 > \lambda \geq 4$	$4 > \lambda$	Özden ve Topal, (2009)
Andezit, Bazaltik Andezit	Kayseri (Bünyan, Develi, Tomarza)	$\lambda \geq 52$	$52 > \lambda \geq 20$	$20 > \lambda \geq 8$	$8 > \lambda$	Türkecan ve diğ. (2004), Kaygısız, (2010)
Andezit, Traki-Andezit, Bazaltik Andezit	Zonguldak (Ereğli)	$\lambda \geq 32$	—	—	—	Bacak ve Yılmazer, (2011)
Andezit, Riyodasit	Çanakkale (Gökçeada)	$\lambda \geq 54$	$54 > \lambda \geq 24$	—	—	Ündül ve Aysal, (2016)
Andezit	Balıkesir (Havran)	$\lambda \geq 30$	$30 > \lambda \geq 12$	$12 > \lambda \geq 2.5$	$2.5 > \lambda$	Bu çalışma (2017)

Bu iki andezitik kütlenin benzer λ değerlerine sahip olması, kayaçların birbirine yakın jeolojik zamanlarda oluşması ve benzer iklimsel koşullarda yüzeylemesi ile ne derecede açıklanabilir olduğu araştırılmalıdır. Aynı litolojiye sahip kayaçların birbirine yakın jeolojik zamanlarda oluşması, benzer özellikler (mineralojik, fiziko-mekanik özellikler vb.) göstermesini gerektirmese de, bu kütlelerin benzer iklimsel koşullarda yüzeylemesi, ayrışma - bozunma açısından benzer şekilde etkilenmelerine sebep

olabilir. Bu savın araştırılması için ayrıntılı jeokimyasal ve paleo-iklimsel çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yapılan istatistiksel çalışmalardan elde edilmiş bir diğer bulgu da, ayrışma - bozunmanın λ oranı üzerine etkilerinin araştırılmasıdır. Andezit kayacındaki ayrışma - bozunma derecesi arttıkça, kaya malzemesi içerisindeki boşluk geometrisi üstel bir oranda artmakta, bu durumda kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin önemli ölçüde azalmasına sebep olmaktadır.

Şimşek, (2003) Çankırı - Korgun bölgesindeki andezitler üzerine yaptığı çalışmalarda, orta ve ileri derecede ayrışma - bozunmaya uğramış kayaçların (W_2 - W_3 tip) aşınma, eğilme ve basınç kuvvetlerine maruz kalabilen mühendislik yapılarında kullanılmaması gerektiğini ifade etmiştir. Ancak yazar W_2 ve W_3 tipindeki sözü edilen andezitlerin yük taşıma kapasitesi olmayan, dekoratif amaçlı yerlerde kaplama malzemesi olarak kullanılabileceğine işaret etmiştir.

Koca ve diğ., (2001) Balıkesir - Balya bölgesindeki andezitler üzerine yaptığı çalışmalarda, bu bölgedeki W_3 tipindeki andezitlerin İzmir - Bergama bölgesinde kaplama taşı olarak kullanıldığından ve bu kayaçların zamanla ileri derecede parçalandığından söz etmiştir.

Özden ve Topal, (2009) Bartın - Hisarönü civarında yaptığı çalışmalarda, bölgedeki andezitlerin genel olarak W_2 - W_3 tipinde olduğunu ifade etmiş ve bu andezitlerin kıyı yapılarında kötü ve kısmen orta kalitede dalgakıran olarak kullanılmasının CIRIA / CUR (1991)'e göre uygun olacağını ifade etmiştir.

İnceleme alanında yüzeyleyen andezitlerin mühendislik yapılarındaki uygunluğu araştırıldığında; W_0 ve W_1 tip andezitlerin CIRIA / CUR (1991)'e göre kısmen iyi ve orta kalitede dalgakıran olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. W_2 tip andezitler bu kapsamda kötü kalitede dalgakıran malzemesi, W_3 tip andezitler ise "Dalgakıran malzemesi olarak kullanıma uygun değildir." şeklinde tanımlanmaktadır. Ayrıca W_0 ve W_1 tip andezitler Karayolları Teknik Şartnamesi (KGM, 2013)'ne göre "Tahkimat Taşı", "Bordür Taşı" ve "Parke Kaplama Taşı" olarak kullanıma uygun olup, W_2 ve W_3 tip andezitlerin içerdiği süreksizlikler sebebiyle blok vermemesi ve fiziksel ve mekanik özelliklerinin mühendislik yapıları için kullanıma uygun olmaması sebebiyle bu tip kayaçların metalurjik olarak değerlendirilmesi düşünülebilir.

Kayaçlarda ilerleyen ayrışma - bozunma ile özellikle W_2 ve W_3 tip andezitlerde belirli bollukta metalik cehverleşme (Au, Pb, Cu, vb.) ile Nadir Toprak Elementlerinin (Sr, Ba, Rb vb.) varlığı bilinmektedir (Tatsumi, 1982; Defant ve diğ., 1991; Koç ve diğ. 1994; Çolakoğlu, 2000; Yavuz ve diğ., 2002; Tezer, 2006; Yıldız, 2006; Karakuş, ve diğ., 2010; Ersoy, ve diğ. 2012).Söz konusu andezitik kayaçlar içerisinden W_2 ve özellikle W_3 tip andezitlerde bu metalik cehverleşmer saha çalışmalarında kısmen gözlenmekle birlikte, bu kayaçlarda olması muhtemel nadir toprak elementlerinin gerekli kimyasal analizler ile ortaya konması, W_2 ve W_3 tip andezitlerin metalurjik olarak kullanımına olanak sağlayabilir.

W_0 ve W_1 tip andezitlerden elde edilmiş ince kesit görüntülerine göre, bu tip kayaçlarda betonda genleşmeye sebep olabilecek mikrokristalin kuvars, opal ve kalsedon gibi su içeren kuvars mineralleri belirlenmemiştir. Bu tip kayaçlardan (W_0 ve W_1 tip) üretilecek agregaların beton agregası, bölgedeki stabilize yollarda ve bölgeye yakın diğer karayollarında ise alt temel malzemesi olarak kullanılabilmesi için gerekli olan agrega deneylerinin yapılması (Los Angeles Parçalanma Direnci, Magnezum Sülfat Don Kaybı vb.) gerekmektedir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Sarnıç Köy (Havran - Balıkesir) bölgesine ait meteorolojik özellikler ve bölgede yüzeyleyen kayaçların genel jeolojik özellikleri özetlenmiş, inceleme alanındaki andezitler içerisinde ayrıntılı saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki andezitlerden sistematik olarak kaya blokları temin edilmiş ve bu kaya bloklarından laboratuvar çalışmaları için silindirik numuneler hazırlanmıştır. Saha ve laboratuvar çalışmaları sonucunda andezitler ayrışma - bozunma açısından sınıflandırılmıştır. Laboratuvar çalışmaları sonucu önerilen sınıflama sisteminde tek eksenli basınç dayanımı değerinin görünür gözeneklilik değerine olan oranı λ olarak tanımlanmış ve bu

oranın andezitlerin ayrışma - bozunma açısından kullanılabilir olduğu görülmüştür. Ayrıca önceki çalışmalardan derlenen veriler kullanılarak ülkemizdeki diğer andezit türündeki kayaçların λ oranları hesaplanmış ve toplu olarak sunulmuştur. İnceleme alanındaki farklı ayrışma - bozunma derecesindeki andezitler fiziksel ve mekanik özellikler açısından İzmir bölgesinde yer alan andezitler ile benzerlikler göstermektedir. İzmir bölgesinde yer alan andezitler ile inceleme alanındaki andezitlerin benzer jeolojik zamanlarda oluşması ve bu iki bölgenin benzer iklim şartlarına sahip olması, bu kayaçların ayrışma - bozunma karşısında benzer şekilde davranmasına sebep olabilir. Ancak bu savın ayrıntılı jeokimyasal ve paleo-iklimsel çalışmalar ile araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilmiş genel sonuçlar ise aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Gerçekleştirilen arazi çalışmalarında andezit kayacında gözlenen farklı ayrışma - bozunma içeren birimler zaman zaman belirli yapısal bölgelere ayrılmakta, zaman zaman da farklı ayrışma - bozunma içeren birimler bir arada bulunmaktadır. Bu çalışmada izlenen yöntemler doğrultusunda ayrıntılı saha ve laboratuvar çalışmaları ile kayaçlar ayrışma - bozunma açısından bölgesel bazda sınıflandırılmıştır. Bu tip sınıflandırmaların kullanılması, ürün kalitesinin artırılması, üretime başlangıç ve iş planı konusunda işletmelere büyük kolaylık sağlayabilir.

- W_0 ve W_1 tip büyük blok veren andezitler,mekanik dayanım özellikleri açısından kıyı yapılarında kısmen iyi ve genelde orta kalitede "Dalgakıran" olarak değerlendirilebilir.Ancak bu tip kayaçların dalgakıran olarak kullanılabilmesi için mekanik dayanım parametrelerindeki değişimin tuz kristallenmesi deneyleri ile karşılaştırılması gerekmektedir. Diğer taraftan, söz konusu andezitler, karayolu şevlerinde yüzey sularının drenajı için yapılan "Pere" yapımında kullanılabilir. Ayrıca W_0 ve W_1 tipindeki andezitler "Tahkimat Taşı", "Bordür Taşı" ve Parke Kaplama Taşı" olarak endüstride değerlendirilebilir.

- W_2 ve W_3 tip andezitlerin sahada içerdiği süreksizlikler ve fiziko-mekanik özelliklerinin gerekli şartnamelere uygun olmayışı sebebiyle, bu tip kayaçların yük taşıma kapasitesi olmayan "Gabion Taşı" olarak kullanılması düşünülebilir. Ayrıca ayrıntılı kimyasal analizler ışığında W_2 ve W_3 tip andezitlerdeki cevherleşmeler ortaya konarak bu cevherleşmelerin metalurjik olarak değerlendirilmesi düşünülebilir.

- Farklı ayrışma - bozunma derecelerindeki andezitlerden yapılmış ince kesitlerin incelenmesi sonucunda, W_0 ve W_1 tip andezitlerde betonda alkali - silika reaksyonuna sebep olabilecek su içeren kuvars (opal ve kalsedon gibi), mikrokristalin kuvars ve dalgalı sönme gösteren kısmen metamorfize olmuş kuvars mineralleri gözlenmemiştir. Bu tip kayaçlardan üretilecek olan agregaların beton agregası ve karayollarında alt temel malzemesi olarak kullanılabilmesi için gerekli olan agrega deneylerinin yapılarak, bu kayaçların uygunluğu kontrol edilmelidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, ince kesitlerin yapımını gerçekleştiren Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Teknikeri Sayın Mehmet Güngör'e ve değerli katkılarından dolayı makaleyi değerlendiren hakemlere içtenlikle teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Akyol, Z., 1977, *Balya Madeni Civarının Jeolojisi*, Maden Tetkik Arama Enstitüsü , 25- 26s, Ankara.

Arıkan, F, Ulusay, R., Aydın, N., 2007, "Characterization of Weathered Acidic Volcanic Rocks and a Weathering Classification Based on a Rating System", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.66, pp.415–430

ASTM D7348 2013, *Standard Test Methods for Loss on Ignition (LOI) of Solid Combustion Residues*, 7pp.

Aydin, A., Basu A., 2006, "Technical Note :The use of Brazilian Test as a Quantitative Measure of Rock Weathering", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.39 (1), pp. 77–85.

Bacak, G., Yılmazer, S.A., 2011,"Karadeniz Ereğli (Zonguldak) Andezitlerinin Petrografik-Jeokimyasal Özellikleri ve Endüstriyel Kullanılabilirliği", *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, Vol. 1(1), pp. 23-35.

Barton, N., Choubey, V., 1977, "The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice", *Rock Mechanics*, Rock Eng. Vol . 10, pp. 1 - 54.

Beavis, F.C., 1985, *Engineering Geology,* Wiley-Blackwell Publications, 280 pp.

Bieniawski, Z.T., 1975,"Point Load Test in Geotechnical Practice", *Engineering Geology*, Vol.9 (1), pp.1–11.

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*, Vol.17, pp.187-207

CIRIA/CUR, 1991, *Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering*, CIRIA Special Publication 83, Report:154, London, 607p.

Çolakoğlu, A.R., 2000, "Küçükdere (Havran-Balıkesir) Epitermal Altın Damarının Özellikleri", *Türkiye Jeoloji Bülteni,* Cilt 43, Sayı 2, 100, 102, 109s.

Defant, M.J., Clark, L.F., Stewart, R.H., Drummond, M.S., de Boer, J.Z., Maury, R.C., Bellon, H., Jackson, T.E., Restrepo, J.F., 1991, "Andesite and Dacite Genesis via Contrasting Processes: The Geology and Geochemistry of El Valle Volcano, Panama", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol.106, pp. 309 - 324.

Dearman, W.,R., 1974, "Weathering Classification in the Characterization of Rock for Engineering Purposes in British Practice", *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, Vol.9, pp.33-42.

Dearman, W. R., 1976, "Weathering Classification in the Characterization of Rock: A Revision", *Bulletin of the International Association of Engineering Geology,* Vol.13, pp.123-127.

Ercan, T., Günay, E., Türkecan,A., 1984a, "Edremit – Korucu yöresinin (Balıkesir) Tersiyer Stratigrafisi Mağmatik Kayaçların Petrolojisi ve Kökensel Yorumu", *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, Cilt 27, Sayfa ss. 21-30, 22, 23, 26, 27.

Ercan, T., Türkecan, A., Akyürek, B., Günay, E., Athiş, M., Can, P., Erkan, M., Özkirişli, C., 1984b, "Dikili-Bergama-Çandarlı (Batı Anadolu) Yöresinin Jeolojisi ve Magmatik Kayaçların Petrolojisi", *Maden Tetkik Arama Enstitüsü*, ss. 47-51, Ankara.

Ercan, T., Ergül, E., Akçören, F., Çetin, A., Granit, S., Asutay, J., 1990, "Balıkesir – Bandırma Arasının Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrolojisi", *MTA Dergisi*, Sayı 110, ss. 114, 125.

Ersoy, E.Y., Dindi, F., Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., 2012, "Soma Havzası ve Çevresindeki Miyosen Volkanizmasının Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye", *Yerbilimleri*, Vol. 33(1), pp.59 - 80

Fookes, P.G., Gourley, C.S., Ohikere, C., 1988, "Rock Weathering in Engineering Time", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 21 (1), pp. 33–57.

Fantong, W.Y., Kamtchueng, B.T., Tamaguchi, K., Udea, A., Ntchanrcho, I.R., Wirmvem, M.J., Kusakabe, M., Ohba, T., Zhang, J., Festus, T.A., Tanyileke, G., Hell, J.V., 2014, "Characteristics of Chemical Weathering and Water–rock Interactionin Lake Nyos Dam (Cameroon): Implications for Vulnerability to Failure and Re-enforcement" , *J., African Earth. Science*, Vol.101, pp. 42-55.

Genç, Ş.C., Altunkaynak,Ş., 2006, "Eybek Graniti (Biga Yarımdası, KB Anadolu) Üzerine Yeni Jeokimya Verileri Işığında Yeni Bir Değerlendirme", *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi,* Sayı 28 Cilt 2, ss. 77, 81, 82, 84, Ankara.

Gidigasu, M.D., 1974,"Degree of Weathering in the Identification of Laterite Materials for Engineering Purposes—A Review", *Engineering Geology (Amsterdam)*, Vol. 8 (3), pp. 213–266.

Iliev, I.G., 1967, "An Attempt to Estimate the Degree of Weathering of ıntrusive Rocks from Their Physico-Mechanical Properties", *Proc. 1st Cong. Int. Soc. Rock Mech. Lisbon*, pp 109-114.

ISRM, 1981,*Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring.,Commission on Testing Methods*, International Society for Rock Mechanics, (Brown, E.T. ed.), Pergamon Press, 211p.

Irfan, T.Y.,Dearman, W.R., 1978, "The Engineering Petrography of a Weathered Granite in Cornwall, England", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol.11, pp.233-244.

Jackson, M.L.,Sherman, G.D. ,1953,"Chemical Weathering of Minerals in Soils", *Advances in Agronomy*, Vol. 5, pp. 219.

Kaaden, G., 1956, *Edremit Bölgesinde Jeoloji ve Maden Yatakları İncelemeleri*, MTA Raporu (yayınlanmamış), 45 s.

Karpuz, C., Paşamehmetoğlu, A.G., 1997, "Field Characterization of Weathered Ankara Andesite", *Engineering Geology*, Vol.46(1), pp. 1-17.

Karakus, A., Yavuz, B., Koc, S., 2010, "Mineralogy and Major Trace Element Geochemistry of the Haymana Manganese Mineralizations, Ankara, Turkey", *Geochemistry International*, Vol. 48, pp.1014–1027.

Kaygısız, H., 2010, *Kayseri Yöresindeki Yapıtaşlarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 75s, Adana.

Keller, W. D., 1957, *The Principles of Chemical Weathering*, rev. ed.,Lucas, Columbia, MO.

Koca, M.Y., 1995, *Slope Stability Assessment of the Abandoned Andesite Quarries in and Around the İzmir City Center*, Phd Thesis (unpublished), Graduate school of natural Applied sciences, Dokuz Eylul University, 445 pp., İzmir.

Koca, M.Y., Yavuz, A.B., Kıncal C., 2001, "Andezitlerin Dış Mekan Kaplama Taşı Olarak Kullanımında Bergama Örneği", *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001)*, Afyonkarahisar, pp. 99 – 112, 3-5 Mayıs 2001.

Koca, M.,Y., Kıncal, C., 2004, "Abandoned Stone Quarries in and Around the Izmir City Centre and Their Geo-Environmental Impacts—Turkey", *Engineering Geology*, Vol. 75, pp. 49–67

Koca, M.Y., Kıncal, C., 2015,"The Relationships between the Rock Material Properties and Weathering Grades of Andesitic Rocks Around Izmir, Turkey", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 75, pp. 709 - 734.

Koç, Ş., Erdoğan, S., Kadıoğlu, Y. K., 1994, "Havran (Balıkesir) Güneydoğusunda Yer Alan Volkanitlerin Epitermal Cevherleşme Potansiyeli", *MTA Dergisi*, Vol.116, pp. 65-80.

Komoo, I.,Yaakub, J., 1990,"Engineering Properties of Weathered Metamorphic Rocks in Peninsular ,Malasia", *6th Int. IAEG Cong., Balkema*, Rotterdami,pp. 665-672, 6-10 August 1990.

Krushensky, R, Akçay, Y., Karaege, E., 1980, "Geology of the Karalar- Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey", Bull, U.S.A., *Geol. Survey*, 1461.

KGM, 2013, *Karayolları Teknik Şartnamesi: Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler*, ss. 431, Ankara.

Lama, R.D., Vutukuri, V.S., 1978, *Handbook on Mechanical Properties of Rocks*, 2nd Edition, Trans Tech Publications, Switzerland.

Lambe, P., 1996, *Residual Soils. Landslides: Investigation and Mitigation*. In: Turner, K., Schuster, R. (Eds.), Landslides Investigation and Mitigation, Special Report,Transportation Research Board, National Research Council, Vol. 247, pp. 507– 524.

Lumb, P., 1983, "Engineering Properties of Fresh and Decomposed Igneous Rocks from Hong Kong", *Engineering Geology*, Vol.19, pp. 81-94.

MGM, 2015, Resmi İstatistikler: Balıkesir İli Sıcaklık Ve Yağış Verileri

MİGEM, 2015, 2015 Yılı İstatistikleri

Moum, J., Rosenqvist, I. Th. ,1957,"On the Weathering of Young Marine Clay", *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, London, Vol. 1, pp. 77–79.

Moos, A., Quervain, F., 1948, *Technische Gesteinkunde*, Basel.

Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1989, "Formation and Diagenesis of Weathering Profiles", *Journal of Geology*, Vol.97, pp.129-147.

Noble, D. F., 1977, *Accelerated Weathering of Tough Shales, Virginia Highway and Transportation*, Research Council Report VHTRC 78-R20, Charlottesville, VA, October.

Okay, A.İ.,Yaltırak, C., 2004, "Edremit Körfezinde Paleotetis Birimlerinin Litolojisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, Cilt. 3(1), ss. 57-79, 67-79.

Oyama, T., Chigira, M., Ohmura, N., and Watanabe, Y., 1998, "Heave of House Foundation by the Chemical Weathering of Mudstone, Oyo Chisitsu", *Journal of the Japan Society of Engineering Geology*, Vol. 39, pp. 261–272.

Özden, U.A., Topal, T., 2009, "Evaluation of Andesite Source as Armourstone for a Rubble Mound Breakwater (Hisarönü - Turkey)", *Environmental Earth Sciences*, Vol. 59, pp. 39–49.

Peltier, L.C., 1950, "The Geographic Cycle in Periglacial Regions as it is Related to Climatic Geomorphology", *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 40(3),pp. 214 -236.

Rabone, S.D.C., 1975, "Petrography and Hydrothermal Alteration of Tertiary Andesite - Rholite Volcanics in the Waitekauri Valley, Ohinemuri, New Zeland", *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, Vol. 18(2), pp. 239 - 258.

Regassa, A., Daele, K.V., Paepe, P.D., Dumon, M., Deckers, J., Asfawossen, A., Van Ranst, E., 2014,"Characterizing Weathering Intensity and Trends of Geological Materials in the Gilgel Gibe Catchment, Southwestern Ethiopia", *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 99, pp. 568–580.

Reiche, P., 1945, "A Survey of Weathering Processes and Products", *University of New Mexico, Publications in Geology*, No.1, Albuquerque,New Mexico.

Sönmez, H.,Ulusay, R., 2002, "A Discussion on the Hoek-Brown Failure Criterion and Suggested Modifications to the Criterion Verified by Slope Stability Case Studies", *Yerbilimleri*, Vol. 26, pp 77-99.

Süzen E., 2009 *4. Levent – Ayazağa (İstanbul) Metrosu Tünelindeki Kazı ve Sağlamlaştırma Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yayımlanmamış), 60s, Adana.

Şimşek, O., 2003, Çankırı-Korgun Yöresi Pembe Andezit Taşlarının Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması", *Gazi University Journal of Science*, Vol. 16(3), pp. 619 – 625.

Tatsumi, Y., 1982, "Origin of High-Magnesian Andesites in the Setouchi Volcanic Belt, Southwest Japan; II, Melting Phase Relations at High Pressures", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.60, pp.305-317.

Tezer, E.B., 2006, *Balıkesir–Ayvalık İlçesi Kubaşlar Altın Oluşumunun Maden Jeolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 14, 15s, Ankara, (yayınlanmamış).

Tuğrul, A., Gürpınar, O., 1997, "The Effect of Chemical Weathering on the Engineering Properties of Basalts, Turkey", *Environmental & Engineering Geoscience AEG*, Vol. 3(2), pp. 225-234.

Tuğrul, A. Zarif, I. A., 2000, "Engineering Aspects of Limestone Weathering in Istanbul, Turkey", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 58(3), pp.191-206.

Tuğrul, A., 1995, *The Effect of Weathering on the Engineering Properties of Basalts in the Niksar Region*, PhD Thesis (unpublished), Department of Geological Engineering, Istanbul University, Istanbul, 168p.

Türkecan, A., Kuzucuoğlu, C., Mouralis, D., Pastre, J-F., Atıcı, Y., Guillou, H., Fontugne, M., 2004,*Upper Pleistocene Volcanism and Paleogeography in Cappadocia, Turkey*, MTA-CNRS-TUBITAK Joint Project Report. pp 190.

TS 699, 2009, *Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri*, Türk Standardları Enstitüsü, 42s, Ankara

Ündül, Ö., Aysal, N., 2016, "Gökçeada'da Yüzeylenen Andezit ve Riyodasit Bileşimli Kayaların İçyapı Özelliklerinin Dayanım ve Deformasyon Özelliklerine Etkileri", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Vol : Vol.40(2), pp. 123 - 148.

Yavuz, F., Gültekin, A. H., Örgün, Y., Çelik, N., Karakaya, M. Ç., Şaşmaz, A., 2002, "Mineral Chemistry of Barium- and Titanium-Bearing Biotitesin Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Mezitler Area (Balıkesir-Dursunbey), Western Turkey", *Geochemical Journal*, Vol. 36, pp.563 - 580

Yohta, H., 1999, "Biochemical Weathering of the Neogene Mudstone and Damages to Foundations, *Dobuku Kogaku Ronbushu (Bulletin of Civil Engineers)*, No. 617, pp. 213–224.

Yıldız T., 2006, *Balıkesir-Havran İlçesi Tepeoba Cu-Mo Oluşumunun Maden Jeolojisi,* Yüksek Lisans Tezi Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 73s (yayınlanmamış), Ankara.