



MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

<https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/>



Doğal yapıtaşı olarak kullanılan Buca yeşil andezitinin durabilitesi

Sebahat ATAY KAHRAMAN^{a*}

^aMaden Tetkik ve Arama Ege Bölge Müdürlüğü, İzmir, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Durabilite, Andezit, Tek Eksenli Basınç Direnci, Porozite, Kloritleşme.

ÖZ

İzmir-Buca ilçesindeki tarihi binaların yapımında ve dış cephe kaplamalarında yaygın olarak kullanılmış olan yeşil andezit, günümüzde de varlığını sürdürmektedir. Yeşil renkli ve masif yapıda olan bu andezit adını ocağının bulunduğu Buca ilçesi ve yeşil renginden almaktadır. Çalışma kapsamında hala işletilen taş ocağından andezit bloklar alınarak kayacın mineralojik, petrografik, jeokimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirliği International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM) - Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği, Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux (RILEM)- Uluslararası Laboratuvarlar ve Malzeme Uzmanları Topluluğu ve Türk Standartları (TS) göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Buca yeşil andezitinin "trakiandezit" bileşiminde olduğu yapılan mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analizler sonucunda tespit edilmiştir. Ayrıca Buca yeşil andezitinin değişik çevresel ayrıştırıcı etkilere karşı durabilitesini belirleme amacıyla tuz kristallenmesi, donma-çözünme ve ıslanma-kuruma gibi hızlandırılmış bozunma deneylerine tabi tutulmuştur. Çalışmanın son aşamasında, Andezitin ortalama gözenek boyutu, su emme kapasitesi, ıslak kuru tek eksenli basınç direnci oranı, suda dağılmaya karşı duyarlılık indeksi ve statik kaya durabilite indeksi değerleri belirlenmiş ve bu değerlere durabilite sınıfları belirlenmiştir. Buca yeşil andezitinin sahip olduğu fiziksel ve mekanik özellikleri, TSE standartlarında öngörülen sınır değerlere büyük oranda uygun olduğundan doğal yapıtaşı olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Kayacın su emme oranı ve gözenek boyutu durabilite tanımlama yöntemlerine göre değerlendirildiğinde "donma-çözünmeye karşı düşük durabiliteli", tek eksenli basınç direnci oranı, slake durabilite ve statik durabilite indeksi parametreleri değerlendirildiğinde ise "yüksek durabiliteli" kayalar grubunda yer aldığı görülmüştür.

Gönderim Tarihi: 19.01.2022

Kabul Tarihi: 21.10.2022

Keywords:

Durability, Andesite, Uniaxial compressive strength, Porosity, Chloritization.

ABSTRACT

Green andesite, which has been widely used in the construction and exterior cladding of historical buildings in Izmir-Buca district, continues to exist today. This andesite, which is green in color and has a massive structure, takes its name from the town of Buca where its quarry is located and its green color. Within the scope of the study, andesite blocks were taken from the still-operated quarry and mineralogical, petrographic, geochemical, physical and mechanical properties of the rock were determined. Then, its usability as a natural building stone was taken into consideration and evaluated by the International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM)-International Society of Rock Mechanics, Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux (RILEM)- International Society of Laboratories and Materials Experts and Turkish Standards (TS). It has been determined as a result of mineralogical, petrographic and geochemical analyzes that Buca green andesite is "trachyandesite" composition. In addition, in order to determine the durability of Buca green andesite against various environmental decomposing effects, accelerated decomposition tests such as salt crystallization, freeze-thaw and wetting-drying were subjected to. At the last stage of the study, the average pore size, water absorption capacity, wet-dry uniaxial compressive strength ratio, susceptibility index to water dispersion and static

Received Date: 19.01.2022

Accepted Date: 21.10.2022

*Başvurulacak yazar: Sebahat ATAY KAHRAMAN, sebahat.atay@mta.gov.tr

rock durability index values of andesite were determined and durability classes were determined based on the values. Since the physical and mechanical properties of Buca green andesite are in compliance with the limit values stipulated in TSE standards, it has been determined that it can be used as a natural building stone. When the water absorption rate and pore size of the rock are evaluated based on the durability definition methods, it is seen that it is in the group of “low durability against freezing-thawing”, and when the uniaxial pressure resistance ratio, slake durability and static durability index parameters are evaluated, it is in the group of “high durability” rocks.

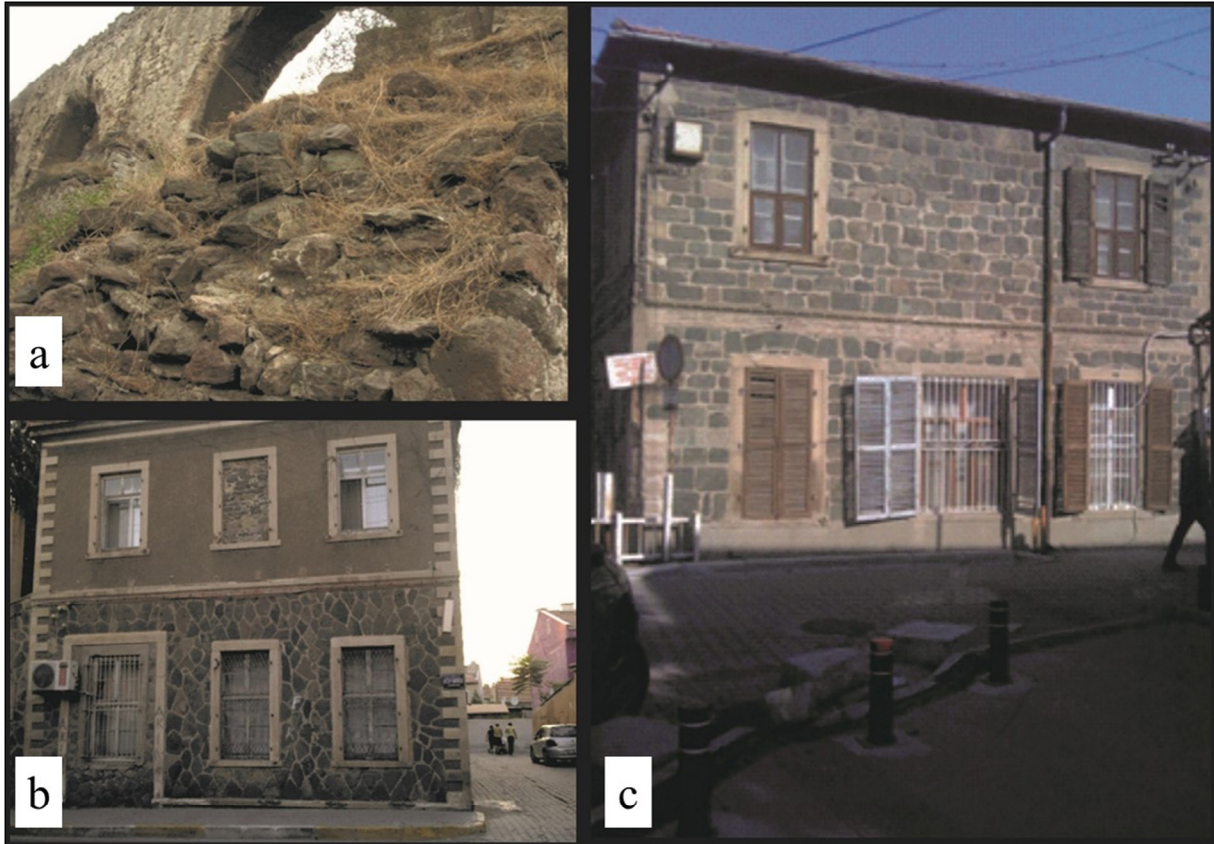
1. Giriş

Doğal yapıtaşı, homojen bir yapıya sahip olan, çevresel etkilere karşı dayanıklı, malzeme ve petrografik özellikleri bakımından elverişli olan sedimanter, volkanik ve metamorfik kayaların taş ocaklarından alınıp yapılarda kullanıma uygun hale getirilen kayalar olarak tanımlanabilir. İzmir ve civarında doğal yapıtaşı olarak kullanılan Buca yeşil andezitleri, İzmir’de antik Roma döneminden beri tarihi binaların özellikle dış cephe kaplamasında ve su kemerlerinde (Şekil 1a), İzmir’in başta Buca

ilçesi olmak üzere birçok tarihi binalarında ve yapılarında (Şekil 1 b ve c) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Buca yeşil andezitlerinin üretildiği ocağın İzmir-Buca’da $38^{\circ}23'37.60''K$ $27^{\circ} 8'12.58''D$ koordinatlı bölgede yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 2).

2. Genel Jeoloji

Buca ve Altundağ köyüne ait kaya birimleri, alttan üstte doğru, Geç Kretase yaşlı kireçtaşı, uyumsuz olarak üstleyen Neojen yaşlı taban çakıltaşı, kıltaşı,



Şekil 1- a) Antik Roma Dönemi’nden kalma su kemerinde kullanılan yeşil andezitler (Yer Buca Mevkii), b) Dış cephe kaplamasında yeşil andezit kullanılmış bir Levanten evi (Buca-Uğur Mumcu Caddesi) ve c) Dış cephesinde yeşil andezit kullanılmış tarihi bina (Alsancak Garı yanı).



Şekil 2- Yeşil Andezit ocağının koordinat ve paftasını gösteren uydu görüntüsü (Google Earth' den alınmıştır).

kireçtaşı, andezitik bileşimli volkanitler ve Kuvaterner yaşlı alüvyondan oluşmaktadır (Şekil 3) (Arık, 1989; Kıncal, 2005).

Çalışma alanında kaya birimleri Bornova Karmaşığı, Yamanlar Volkanikleri ve Gölsel Tortullar olmak üzere üç ana grupta yer almaktadır (Şekil 4) (Kıncal, 2005). Özellikle Üst Miyosen içinde, Batı Anadolu'da ve Ege Denizi çevresinde Alpin orojenik hareketlere bağlı kalk-alkali kimyasında Andezit, Dasit, Riyolit bileşiminde kayaçlar bulunmaktadır (İzdar, 1975). Neojen yaşlı Yamanlar Volkanikleri bölgede geniş yayılım sunmaktadır. Yamanlar volkanikleri, tüf, otobreşik andezit, andezitik-dasitik masif lav ve aglomera gibi volkanik ürün ve türevlerini içerirler (Savaşın, 1974; İzdar, 1975; Türk ve Koca, 1994; Koca ve Türk, 1999; Akay, 2000; Kıncal, 2005). Çalışmanın konusunu oluşturan Buca yeşil andezitleri Yamanlar Volkanikleri'nin üyesi olduğu düşünülmektedir. Yer yer yüzlek veren andezitler bozunmaya uğramış bol kırıklı ve çatlaklıdır. İzmir yöresinde andezitler genelde Neojen tortul istifin üzerine uyumsuz gelirler. Körfezin güneyinde yoğun yerleşim nedeniyle örtülü durumda bulunan andezitler, kuzeyinde geniş yüzlek verir. Andezitlerde bozunma 1.5-2 m derinliğe kadar ulaşır. Bozunmanın yanı sıra, akma bantları, makaslama çatlakları ve soğuma yüzeyleri boyunca killeşmeler gelişmiştir (Koca, 1995).

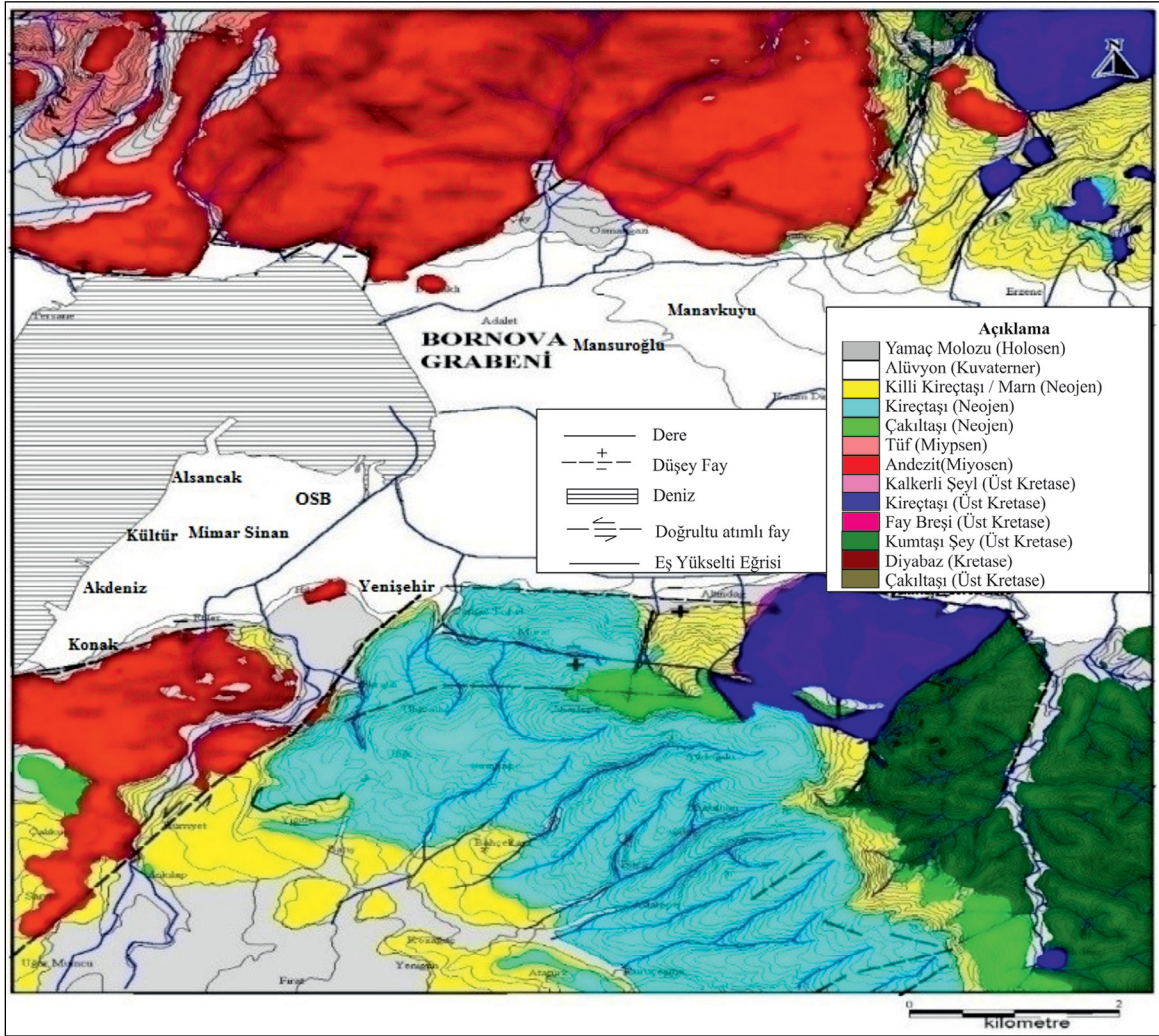
Genel olarak siyahımsı ve kırmızımsı kahve renkli bulunan andezit bileşimli lavlar, yer yer yeşil renkte gözlenirler. İçerdiği akma bant yapıları ve birbirine dik iki yönde gelişmiş soğuma çatlak takımları belirgindir (Kıncal, 2005).

3. Malzeme ve Yöntemler

Çalışmada ilk olarak ocaktan alınan kaya bloklarından elde edilen ince kesitlerin polarizan mikroskop yardımıyla incelenmesi ile kayacın petrografik ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Kayacın jeokimyasal özellikleri ise Kanada ACME laboratuvarında yaptırılan kimyasal analizler sonucu saptanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise kayaç üzerinde yürütülecek hem laboratuvar deneyleri için hem de hızlandırılmış bozunma deneyleri için bu deneylere uygun numuneler üretilmiştir.

Üretilen numuneler üzerinde çalışma kapsamında, kayacın fiziksel özelliklerinin saptanması için, birim hacim ağırlığı, görünür ve toplam porozite değeri, gözenek boyu dağılımı, ağırlıkça su emme ve boşluk oranı gibi laboratuvar deneyleri uygulanırken, kayacın mekanik özelliklerini belirlemek için tek eksenli basınç dayanımı, darbe dayanımı, nokta yükleme dayanım indeksi, shore sertlik indeksi, Böhme



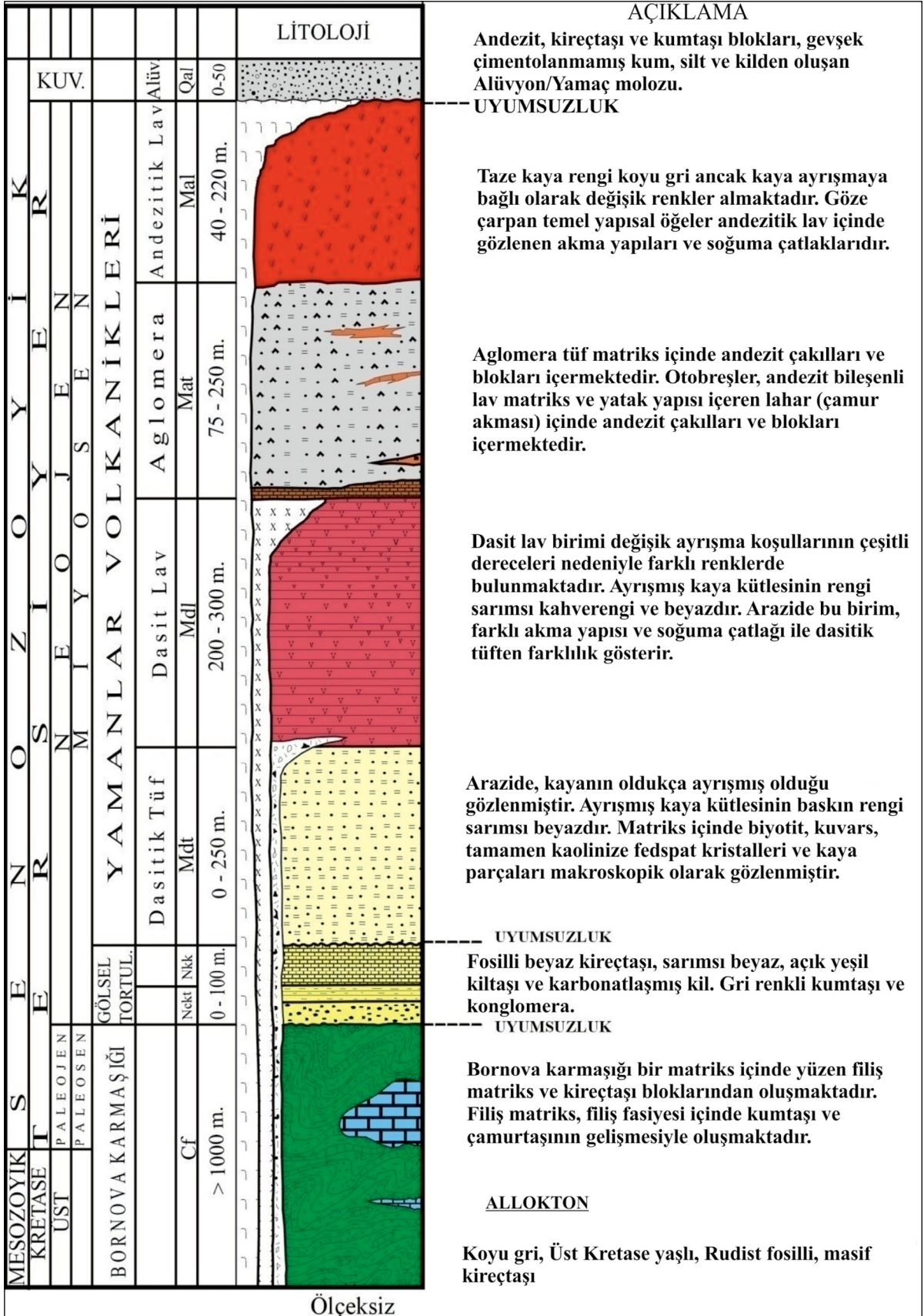
Şekil 3- 1/1000 ölçekli haritalardan 1/5.000 ölçeğine küçültülerek hazırlanmış genel jeoloji haritası (Kıncal, 2005).

yüzeysel aşınma kaybı, disk aşınma kaybı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (Slake durability) gibi laboratuvar deneyleri uygun standartlara göre uygulanmıştır (Çizelge 1). Kayacın mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla hem kuru hem suya doymun numuneler üzerinde Tek eksenli basınç deneyi, Nokta yükleme indeksi, Darbe direnci, Brazilian çekme direnci, Böhme yüzeysel aşınma kaybı, Disk aşınma kaybı, Suda Dağılmaya Karşı Duyarlılık (Slake Durability) İndeksi deneyleri uygulanmıştır (Çizelge 1). Kayaç numuneleri üzerinde uygulanan tüm fiziksel ve mekanik laboratuvar deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde yapılmıştır.

Yeşil andezit numuneleri üzerinde hızlandırılmış bozunma deneyleri uygun standartlara bağlı kalınarak

uygulanmıştır (Çizelge 2). Bu deneyler; ıslanma kuruma, donma çözünme ve tuz kristallenmesi gibi deneyleridir. Deney esnasında yapılan ara ölçümler ile kayacın değişik çevresel ayrıştırıcı etkiler altındaki davranışları incelenmiş sonuç olarak andezitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri belirlenmiştir. Durabilite belirlemeye yardımcı tüm bu laboratuvar deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümü kaya mekaniği laboratuvarında, Buca yeşil andezitinin gözenek boyu tanımlaması, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda civalı porozimetre (Pore Master 6) ile yapılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında ise kayacın durabilitelesini değerlendirmek amacıyla, suya doymun tek eksenli basınç direnci oranı, kuru tek



Şekil 4- İzmir ve yöresinin genelleştirilmiş litostratigrafik kolon kesiti (Koca,1995).

Çizelge 1- Buca Yeşil Andezitinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla belirli standartlara bağlı kalınarak uygulanan deneyler.

Analiz	Deneyler	Uyulan Standartlar
Fiziksel Özellikler	Kuru Birim Hacim Ağırlık	TS 699
	Suya Doymun Birim Hacim Ağırlık	TS 699
	Özgül Ağırlık	TS 699
	Görünür (Etkin) Porozite (Su Emdirme Yöntemi ile)	TS EN 1936
	Görünür (Etkin) Porozite (Cıvalı Porozimetre ile)	ASTM D 4404
	Toplam Porozite	TS EN 1936
	Ağırlıkça Su Emme	TS 13755
	Vakum Sonrası Ağırlıkça Su Emmesi	TS 13755
	Boşluk Oranı	TS 699
Mekanik Özellikler	Tek Eksenli Basınç Direnci	TS 1926
	Nokta Yükleme İndeksi	ISRM 1985
	Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı	TS EN 14157
	Disk Aşındırma Deneyi	TS EN 1341
	Brazilian Çekme Direnci	ISRM 1981
	Darbe Direnci	TS 699 (2009)
	Suda Dağılmaya Karşı Duyarlılık (Slake Durability) İndeksi	ISRM 1981

eksenli basınç direnci oranı, doymunluk katsayısı, statik kaya durabilite indeksi, gözenek boyu dağılımı ve slake durabilite indeksi gibi değişik durabilite sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır (Çizelge 2).

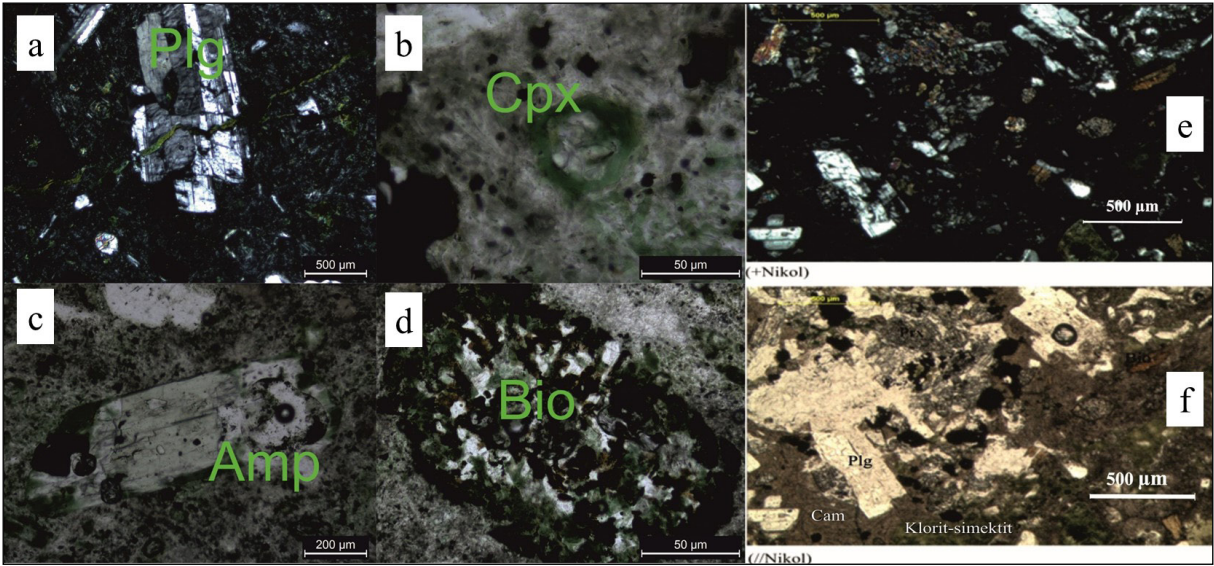
4. Minerolojik Özellikler

Çalışmanın bu bölümünde yeşil andezitin minerolojik bileşimi ile kristal ve matris ilişkileri, kristal ve matris deformasyonu gibi petrografik özellikleri incelenmiştir. Buca yeşil andezitinin yüzey rengi, grimsi yeşil-ayrışmış koyu yeşildir.

Kayaç hipokristalen dokuda olup içerdiği temel mineraller amfibol, piroksen, plajiyoklaz ve biyotittir. Kayaç genel olarak özşekilli fenokristallere sahiptir (Şekil 5). Şekil 5a'da görüldüğü üzere plajiyoklaz mineralinde herhangi bir bozunma gerçekleşmemiştir. Fakat hem plajiyoklaz kristalini hem de volkanik hamuru kesen çatlak ve çatlak dolgusunda (Şekil 5a), içerdiği 8 köşeli klinopiroksen (Şekil 5b), amfibol (Şekil 5c), biyotit minerallerinde (Şekil 5d) ve genel olarak volkanik hamurunda meydana gelen kloritleşme sonucu yeşil renk aldığı saptanmıştır (Şekil 5e ve f).

Çizelge 2- Buca Yeşil Andezitinin belirli standartlara bağlı kalınarak belirlenen durabilite özellikleri ve uygulanan hızlandırılmış bozunma deneyleri.

Analiz	Deney Türü	Uyulan Standartlar
Durabilite Özellikleri	Doymunluk Katsayısı	RILEM (1980)
	Gözenek Boyu Dağılımı	Cıvalı Porozimetre
	Doymun-Kuru Tek Eksenli Basınç Direnci Oranı	Winkler, 1993
	Statik Durabilite İndeksi	Fookes, 1988
	Slake Durabilite İndeksi	ISRM (1981)
Hızlandırılmış Bozunma Testleri	Donma-Çözünme Deneyi Sonrası Kütle Kaybı	TS 699 (2009)
	MgSO ₄ Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Kütle Kaybı	TS EN 12370
	Na ₂ SO ₄ Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Kütle Kaybı	TS EN 12370
	Islanma-Kuruma Deneyi Sonrası Kütle Kaybı	TS 699 (2009)



Şekil 5- a) Buca yeşil andezitin içerdiği Plajiyoklazın (Plg), b) Klinopirosenin (Cpx), c) Amfibölün (Amp), d) Biyotitin (Bio) polarizan mikroskop altındaki görünümü. e) Andezitin çift nikol ve f) paralel nikol görünümü.

5. Kimyasal Özellikler

Buca yeşil andezitinin kimyasal analizi ile yüzde ve ppm cinsinden içerdiği element değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3).

Kayacın kimyasal analiz sonuçları Le Bas vd. (1986), Miyashiro (1978) diyagramında yerine koyulmuş ve buna göre kayacın “trakiandezit” bileşiminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).

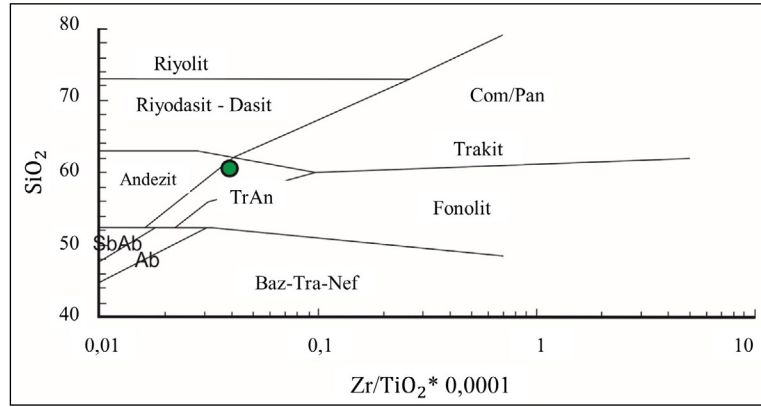
6. Fiziksel Özellikler ve Mekanik Özellikler

6.1. Fiziksel Özellikler

Yeşil andezitin fiziksel özelliklerini belirlemek için laboratuvarında tam ölçekli indeks testleri yapılmıştır. Test sonuçları Çizelge 4’te verilmiştir. Uygulanan test sonuçları Buca yeşil andezitini, Anon (1979) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre çok düşük birim hacim ağırlıklı ve çok gözenekli kayaç olarak sınıflandırmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 3- Buca yeşil andezitinin kimyasal analiz sonuçları.

Element	%	Element	ppm	Element	ppm	Element	ppm
SiO ₂	60,62	Ba	871	V	114	Ho	1,16
Al ₂ O ₃	14,26	Be	3	W	0,9	Er	3,43
Fe ₂ O ₃	5,53	Co	14,4	Zr	238,1	Tm	0,57
MgO	1,86	Cs	8,6	Y	35,5	Yb	0,57
CaO	5,46	Ga	17,7	La	42,3	Mo	0,4
Na ₂ O	2,61	Hf	6,6	Ce	87	Cu	24,3
K ₂ O	4,14	Nb	11,8	Pr	9,93	Pb	3,9
TiO ₂	0,60	Rb	144,2	Nd	36,8	Zn	47
P ₂ O ₅	0,38	Sn	3	Sm	7,25	Ni	30,7
MnO	0,43	Sr	456,1	Eu	1,31	As	14,2
Cr ₂ O ₃	0,02	Ta	0,9	Gd	6,19	Sb	0,9
Kızdırma Kaybı (%)	3,8	Th	21,8	Tb	0,97	Au	32,9
Toplam (%)	99,74	U	4,9	Dy	5,57	Ti	0,04



Şekil 6- Kayacın trakiandezit bileşiminde olduğunu gösteren diyagram (Le Bas vd., 1986; Subalkali – alkali sınırı Miyashiro, 1978).

Çizelge 4- Buca yeşil andezitinin fiziksel özellikleri ve testlerde kullanılan standartlar.

Test	Test için Kullanılan Standart ve Yöntem	N	Deney Sonucu (Ortalama ± SS)
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	TS 699 (2009)	35	2,32±0,08
Suya Doymun Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	TS 699 (2009)	35	2,36±0,08
Özgül Ağırlık	TS 699 (1987)	1	2,82
Görünür (Etkin) Porozite (Su Emdirme Yöntemi ile) (%)	TS 1936	35	4,90±1,50
Görünür (Etkin) Porozite (Cıvalı Porozimetre Yöntemi ile) (%)	ASTM 4404 (1984)	1	5,54
Toplam Porozite (%)	TS 1936	35	17,8
Boşluk Oranı (%)	TS 699 (2009)	35	5,18±1,65
Ağırlıkça Su Emme (%)	TS 699 (2009)	35	2,12±0,66
Kütlece Doymunluk Katsayısı	TS 699 (2009)		0,91

N: Deney Sayısı SS:Standart Sapma

6.2. Mekanik Özellikler

Yeşil andezitlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kuru ve suya doymun olarak birtakım testler uygulanmıştır (Çizelge 5). Test sonuçlarına göre Buca yeşil andezitinin yüksek mukavemete sahip olduğu belirlenmiştir. Buca yeşil andeziti, USC değerlerine dayalı olarak Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen kaya sınıflandırmasına göre yüksek dayanımlı kaya olarak sınıflandırılmaktadır. Böhme yüzeysel aşınma kaybı testi ve disk aşındırma testi Buca yeşil andezitinin yüksek aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 5).

7. Durabilite Özellikleri

Mühendislik projelerinde kullanılan doğal yapıtaşları farklı çevresel ve iklimsel ayrıştırıcı etkilere maruz kalmaktadır. Bu çevresel ve iklimsel ayrıştırıcı

faktörler; biyolojik aktiviteler, ıslanma-kuruma, donma-çözünme, ısınma-soğuma ve tuz kristallenmesi başta olmak üzere çok çeşitlilik gösterir. Bu faktörler zaman içinde kayacın ciddi şekilde tahribatına sebep olup kayacın kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Zaman içerisinde kayacın bu çevresel ve iklimsel faktörlere karşı gösterdiği dirence ise durabilite denmektedir. (Sims, 1991; Bell, 1993; Topal ve Doymun, 1997; Steinberger, 2003; Topal ve Sözen, 2003; Yavuz, 2006; Reudrich vd., 2011; Stück vd., 2011). Yapıtaşı olarak kullanılan kayaçlar iklimsel faktörlere bağlı olarak yıllık ve günlük sıcaklık farklarından etkilenirler. Sıcaklık farkının sonucunda kayaçlarda genleşme ve büzülme meydana gelir. Bu büzülme ve genleşmeler ise farklı yönde ve büyüklükte gerilmelere sebep olur. Gerilmelerin sonucu olarak kılcal çatlaklar meydana gelir ki bu çatlaklar zamanla kayaçta daha büyük deformasyonlar meydana getirir.

Çizelge 5- Buca yeşil andezitlerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler ve bu deneylerde uyulan standartlar.

Test	Test için Kullanılan Standart ve Yöntem	N	Test Sonuçları (Ortalama± SS)
Tek eksenli basınç (kuru) (kgf/cm ²)	TS EN 1926	5	899,08±197,21
Tek eksenli basınç (sd) (kgf/cm ²)	TS EN 1926	5	826,04±233,17
Nokta yükeme indeksi. Is ₅₀ (kuru) (kgf/cm ²)	ISRM (1985)	5	80,04±11,30
Nokta yükeme indeksi. Is ₅₀ (sd) (kgf/cm ²)	ISRM (1985)	5	46,34±13,60
Darbe direnci (kuru) (mm)	TS 699 (2009)	5	52±23,15
Brazilian çekme direnci (kuru) (kgf/cm ²)	ISRM (1981)	5	98,35±16,48
Brazilian çekme direnci (sd) (kgf/cm ²)	ISRM (1981)	5	59,37±8,73
Böhme yüzeysel aşınma kaybı (kuru) (cm ³ /50cm ²)	TS 14157	3	7,05±0,24
Disk aşınma kaybı (kuru) (mm)	TS EN 1341	3	19,21±0,19
Suda Dağılmaya Karşı Duyarlılık (Slake Durability) İndeksi 2 aşama(%)	ISRM (1981)		98,62

sd: Suya doymun N: Numune sayısı SS: Standart sapma

(Küçükkaya, 1995). Kayaçların değişik çevresel ayrıştırıcı ortamlarda dayanımı ve davranışını belirlemek amacıyla; mühendislik çalışmalarında ve mimaride kullanılmadan önce laboratuvar ortamında hızlandırılmış bozunma deneyleri ve çeşitli yöntemlere tabi tutulur. Hızlandırılmış bozunma deneyleri ıslanma- kuruma, donma çözünme ve tuz kristallenmesi deneyleri olmakla beraber; su emme kapasitesi, gözenek boyu dağılımı, suya doymun ve kuru tek eksenli basınç direnç oranları, statik durabilite indeksi ve slake durabilite indeksi ise durabilite belirleme yöntemlerinden bazılarıdır (Topal ve Doyuran, 1997; Yavuz, 2006; Topal ve Sözen, 2003).

Çalışma kapsamında Buca yeşil andezitinden alınan bloklardan elde edilen numunelere ıslanma-kuruma, donma-çözünme, tuz kristallenmesi deneyleri uygulanmıştır. Uygulanan bu deneyler sonucunda kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki değişiklikler belirlenmiş ve deney sonrası kütle kayıpları hesaplanmıştır (Çizelge 6). Ayrıca gözenek

boyu dağılımı, suya doymun-kuru tek eksenli basınç direnç oranı, doymunluk katsayısı, suda dağılmaya duyarlılık indeksi ve statik kaya durabilite indeksi yöntemleri ile kayacın durabilitesi, her bir değer için ayrı ayrı belirlenmiştir (Çizelge 7).

7.1. Hızlandırılmış Bozunma Deneyleri

Ocaktan alındıktan sonra silindirik numuneleri elde edilen Buca yeşil andezitlerinin üzerinde donma çözünme, ıslanma-kuruma ve Na₂SO₄ ve MgSO₄ tuz kristallenmesi deneyleri gibi hızlandırılmış bozunma testleri uygulanmış ve sonuçlar testler için kullanılan standartlarla karşılaştırılmıştır (Çizelge 6). Hızlandırılmış bozunma deneylerinin detaylarıyla aşağıda verilmiştir.

7.1.1. Islanma Kuruma Deneyi

Doğal yapıtaşı olarak kullanılacak kayaçların durabilitelerini belirleyen deneylerden biri de ıslanma kuruma deneyidir (Rossi-Manaresi, 1976; Knöfel, 1987; Topal ve Sözen, 2003; Yavuz, 2006). TS 699

Çizelge 6- Buca yeşil andezitinin hızlandırılmış bozunma testleri sonuçları.

Test	Testlerde kullanılan yöntemler ve standartlar	N	Test sonuçları Ortalama (Sonuç ± SS) (%)
Islanma kuruma sonrası kütle kaybı	TS 699 (2009)	5	1.28±0.1
Donma çözünme sonrası kütle kaybı	TS 699 (2009)	5	1.15±0.14
Na ₂ SO ₄ kristallenmesi sonrası kütle kaybı	TS EN 12370 (2001)	5	2.31±2.09
MgSO ₄ kristallenmesi sonrası kütle kaybı	ASTM (1990)	5	2.03±1.64

N: Numune sayısı SS: Standart Sapma

Çizelge 7- Buca yeşil andezitinin durabilite değerlendirmesi.

Özellikler	Deney Sonuçları	Durabilite Değerlendirmesi
Ortalama Gözenek Boyutu	0,08µm	Donma çözünmeye duyarlı
Doymunluk Katsayısı	0,91	Donma çözünmeye duyarlı
Doymun-Kuru Tek Eksenli Basınç Direnç Oranı	%91,88	Çok iyi
Statik Kaya Durabilite İndeksi	2,11	İyi
Slake Durabilite İndeksi	%98,75	Çok Yüksek

uygun olarak yapılan ıslanma kuruma deneyi toplam 80 periyot uygulanmıştır. Yeşil andezit örnekleri önce 65 °C’de 6 saat kurutulmuş, ardından 12 saat distile suya daldırılarak suya doymun hale getirilmiştir. 80 periyot sonunda numunelerin kütle kaybı belirlenmiştir (Çizelge 6).

7.1.2. Donma Çözünme Direnci Deneyi

Mimaride yapıtaşı olarak kullanılan doğal kayalar üzerinde ciddi deformasyonlara yol açan çevresel ayrıştırıcı faktörlerden biri de donma-çözünme olayıdır. Atmosferdeki sıcaklık değişimleri ve nem, doğal taşların hem bozunmasına sebep olur hem de bozunma sürecini hızlandırır. Nemli ortamlarda don ve sıcaklık farklılıkları, kayaç içerisinde gerilmeler meydana getireceğinden kayacın içerisinde parçalanmalara ve kopmalara neden olan olumsuz faktörlerden biridir (Küçükaya, 1995). İklimlere ve mevsimlere bağlı olarak gelişen donma sırasında, suyun hacminin %9 oranında genişmesi sebebiyle kayacın gözenek ve çatlaklarındaki donan su, basınç oluşturduğundan donma-çözünme süreçleri sonrasında o kayacın bozunmasına sebep olmaktadır. Tekrar eden donma-çözünme olayları sonucunda kayacın var olan çatlakları derinleşerek çatlak açıklıklarının artacağı gibi yeni mikro çatlaklar da gelişebilir. Çözünme sonrasında ise su gözenekler içerisinde yer değiştirerek daha derine göç edebilir (Yavuz vd., 2006). Donma-çözünme deneyi, doğal taşların malzeme özellikleri üzerinde mevsimsel ve iklimsel ısı farkının sebep olduğu ya da olacağı değişimleri tahmin etmemizi sağlayan hızlandırılmış bozunma deneylerinden bir tanesidir (Topal ve Doyuran, 1997). İzmir ili 2001-2004 yıllarına ait meteorolojik verileri değerlendirilmiş ve yaklaşık 4 yıllık süre içerisinde ısıнын 0 °C’nin altına 13 kez düştüğü ve en düşük sıcaklığın ise -5 °C olduğu belirlenmiştir (Yavuz, 2006).

TS 699’a göre uygulanan donma-çözünme testi, Buca yeşil andeziti numuneleri üzerinde 25 periyot uygulanmıştır. Andezit örnekleri -20 °C’de dondurulup ardından çözdürülmüştür. Test sonunda Buca yeşil andezit numunelerinde %1,15 oranında kütle kaybı ve ayrıca numune yüzeylerinde gözle görülür bozulma meydana gelmiştir (Çizelge 6).

7.1.3. Tuz Kristallenmesi Deneyleri

Hem estetik açıdan kıymetli hem de gelecek nesillere aktarmak için korumamız gereken insanlığın kültürel mirası içerisinde; birçok arkeolojik ve mimari anıtları içerisinde alan çeşitli yapı ve heykellerde, doğal taşlar kullanılmıştır. Kültürel mirasımızın bozunmasına ve tahrip olmasına sebep olan ayrışma süreçlerinden biri de tuz kristallenmesidir (Schaffer, 1932; Lewin, 1982; Winkler, 1994). Tüm gözenekli kayaçlara, kimyasal bileşimlerine bakılmaksızın çevresel etkiler ve iklimsel değişiklikler zarar verebilmektedir. Kayaçların bozunmalarında en etkili tahrip edici ve en yaygın olan etmenlerden biri tuz kristalizasyonudur. Su vasıtasıyla taşınıp kayacın gözeneklerine, çatlaklarına yerleşen tuzlar, ardından meydana gelen buharlaşma ile kılcal kanallarda ve taşın yüzeyinde birikir. Bu da osmos etkisi ile tuzun kayaç içerisinde sürekli birikmesine sebep olur (Topal, 1997). Kayacın içerisinde yer alan tuz, kristal hale geldiğinde fiziksel gerilme meydana gelir ve bu durum gözenekli kayaçlara zarar vermektedir (Herodotus, 420 MÖ; Luquer, 1895; Taber, 1916; Jutson, 1918). Sıcaklık yükselirse tuz çözeltisinin doyma noktası yükselir. Çevresindeki tuz kristalleri de çözünür. Düştüğünde ise tekrar kristalleşir. Tuzların hidrasyon dereceleri arttıkça hacimde büyür. Bu nedenle kayaçta meydana getirdiği tahribat daha büyük olacaktır (Arnold, 1999). Kristallenme sırasında kayacın gözeneklerinde basınç sürekli artar ve kayaçta kılcal çatlaklar meydana gelmeye

başlar. Kayacın içerisindeki boşluklarda meydana gelen tuz kristalleşmesine çiçeklenme adı verilir. Çiçeklenmenin devamında taş kabarıp, deformasyona uğrar ve tuz taşın yüzeyinde birikir (Küçükaya, 1995). $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (alçı taşı), Na_2SO_4 (sodyum sülfat), MgSO_4 (magnezyum sülfat), K_2SO_4 (potasyum sülfat) ve NaCl (sodyum klorür) çözülebilir tuzlardan en yaygın olanlarıdır (Arnold, 1999). Tuz, suda çözünerek kayaç içine gireceğinden birbiri ile ilişkili gözenekler arasında da hareket edebilir ve gözeneklerde tuz kristallenebilir. Tuz kristallenmesi kayacın durabilitesinin belirlenmesinde anahtar bir rol oynar. Kayaçlarda tuz kristallenmesi su ve nem hareketine bağlı olduğu gibi buharlaşma ve kapilarite yardımıyla suyun ve nemin kayaç içerisinde ilerleyebilmesi için kayacın görünür porozitesine de bağlıdır (Lucas, 1925; Mamillian, 1993). Tuz kristallenmesi deneyi yardımıyla mimaride yapıtaşı olarak kullanılacak taşların durabiliteleri, çevresel etkenlerin oluşturacağı tuz kristallenmesi ve oluşturacağı etkileri önceden belirlemeye çalışılır (Rossi-Doria, 1985; Topal, 1997). Bu çalışma kapsamında Buca yeşil andezit numuneleri üzerinde Na_2SO_4 ve MgSO_4 tuz kristallenmesi testleri uygulanmıştır. Tuz testleri sonuçları Buca yeşil andezitinin tuza duyarlı bir kayaç olduğunu açıkça göstermektedir (Çizelge 6).

7.2. Durabilite Değerlendirme Testleri

Durabilite, kullanılan yapıtaşının orijinal boyutunun, şeklinin, mukavemetinin ve görünüşünün zaman içerisinde bozunmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür (Bell, 1980, 1993; Sims, 1991; Topal ve Doyuran, 1997). Doğal taşın hem malzeme özellikleri hem de yapıtaşı olarak kullanıldığı çevreye ait ayrıştırıcı etkiler, taşın durabilitesi doğrudan ilişkilidir (Topal, 1997). Bu bölümde, Buca yeşil andezitinin durabilitesini belirlemek amacıyla, bazı yöntemler kullanılarak kayacın kuru ve doymun tek eksenli basınç oranı, doymunluk katsayısı, statik kaya durabilite indeksi, suda dağılmaya karşı duyarlılığı ve gözenek boyutu dağılımı belirlenmiştir.

7.2.1. Suya Doymun - Kuru Tek Eksenli Basınç Direnç Oranı

Kayaçların suya doymun ve kuru tek eksenli basınç direnci oranı, kayacın durabilitesinin belirlenmesinde kullanılabilir (Winkler, 1993). Laboratuvarda Buca

yeşil andeziti numuneleri üzerinde kuru ve suya doymun olarak tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Uygulanan deney sonrası kuru tek eksenli basınç direnci ile suya doymun tek eksenli basınç direnci değerleri arasında belirgin bir farklılığın bulunmadığı belirlenmiştir. Kayacın suya doymun-kuru tek eksenli basınç direnci oranı % 91,88'dir. Winkler (1993)'in sınıflandırmasına göre, Buca yeşil andeziti 'çok iyi durabiliteli kayaçlar' grubuna girmektedir (Çizelge 7).

7.2.2. Doymunluk Katsayısı

Kayacın belirli bir sürede atmosferik şartlar altındaki ağırlıkça su emme değerinin, vakum altında tutularak hesaplanan ağırlıkça su emme değerine oranı, kayacın doymunluk katsayısını verir (RILEM, 1980; TS 699 1987). Oran 0,8 den büyük ise, kayaç donma çözünme etkileri karşısında "düşük durabilitelidir" denir (TS 699, 1987; Topal ve Doyuran, 1997). Laboratuvarda vakumlu desikatör kullanılarak hesaplanmış Buca yeşil andezitinin doymunluk katsayısı TS 699'a uygun olarak yapılmıştır. Buca yeşil andezitinin doymunluk katsayısı 0,91'dir ve TS 699, 1987'ye göre Buca yeşil andeziti donma çözünme etkilerine karşı "hassastır/duyarlıdır" denebilir (Çizelge 7).

7.2.3. Statik Kaya Durabilite İndeksi (RDI_s)

Fookes vd. (1988), doğal taşların durabilitelerinin belirlenmesi için statik kaya durabilite indeksini (RDI_s) önermiştir. RDI_s , atmosferik basınç altında ağırlıkça su emme (%), nokta yükü dayanım indeksi ortalaması ($I_{s(50)}$), sodyum sülfat tuz kristallenmesi 5 çevrim sonrası kütle kaybı (%) ve doymun yüzey kuru birim hacim ağırlık gibi dört mühendislik parametreler belirlendikten sonra RDI_s eşitliği kullanılarak hesaplanır (Eşitlik 1).

$$RDI_s = \frac{(I_{s(50)} - 0.1(SST + 5WA))}{SGssd} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

RDI_s = Statik kaya durabilite indeksi

$I_s(50)$ = Kuru ve suya doymun nokta yükü dayanım indeksi ortalaması (kgf/cm^2)

SST= Na_2SO_4 tuz kristallenmesi deneyi 5 çevrim sonrası kütle kaybı (%)

WA= Ağırlıkça su emme (atmosferik basınç altında)
(%)

SGssd= Doygun yüzey kuru birim hacim ağırlık
(gr/cm³)

Fookes (1998)'e göre, Buca yeşil andezitinin statik kaya durabilite indeksi 2,11 olarak belirlendiğinden kayaç 'iyi durabiliteli kayaçlar' sınıfına girmektedir (Çizelge 7).

7.2.4. Suda Dağılmaya Karşı Duyarlılık (Slake Durability) İndeksi

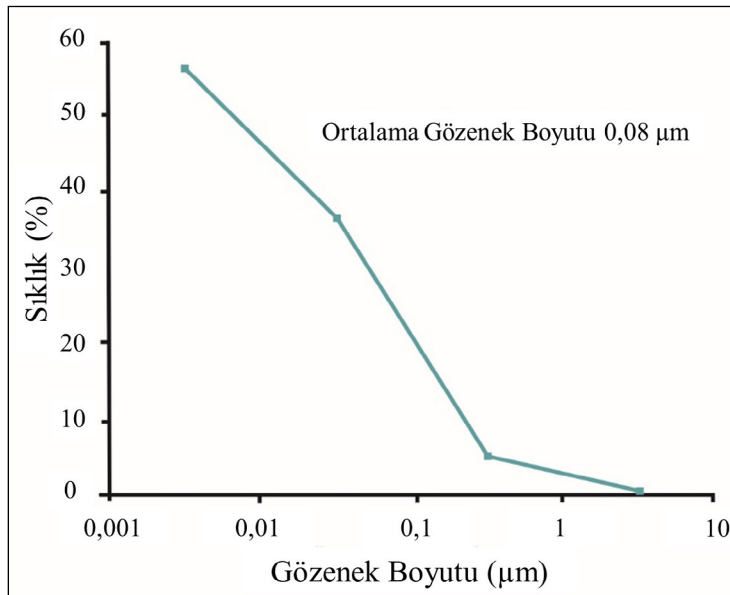
Deney, kayaç örneğinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği direncin belirlenmesi amacıyla uygulanmaktadır (ISRM, 1981). Bu çalışmada iki takım Buca yeşil andezit numunesi test edilmiş ve sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir. Buca yeşil andezitinin suda dağılmaya karşı duyarlılık indeksi 2. çevrimden sonra %98.88 olarak bulunmuştur. Buna göre Buca yeşili andeziti, ISRM tarafından önerilen suda dağılmaya karşı duyarlılık sınıflandırmasına göre 'orta derecede dayanıklı kaya' olarak sınıflandırılabilir (Çizelge 7).

7.2.5. Gözenek Boyutu

Doğal yapıtaşlarının durabilitesinin belirlenmesinde iklimsel etkilerden donma çözünme süreci ve tüm çevresel etkileşim süreçleri için, gözenek boyutu önemli bir rol oynamaktadır. Gözenek boyutunu 5 µm'den küçük olan kayaçlar gözenek suyunu kayacın dışına atamamaktadır (Larsen ve Candy, 1969). Donma çözünme süreçleri sonucunda kayacın durabilitesi açısından gözenek boyu dağılımı kritik bir değer taşır. Bu sebeple gözenek boyutu 5 µm'nin altında olan kayaçlar, donma ve çözünmeden daha fazla ve kolay etkilenirler (Topal ve Doyuran, 1997).

Yapılan tanımlamada kayacın gözenek boyu dağılımı, ortalama gözenek boyu ve ortalama gözeneklilik değerleri belirlenmiştir. Buca yeşil andezitinin görünür porozitesi % 5,54, ortalama gözenek boyutunun ise 0,08 µm olduğu belirlenmiştir (Şekil 7).

Buca yeşil andezitinin ortalama gözenek boyutunun 5 µm 'dan küçük olması nedeniyle kayacın donma çözünmeye karşı 'düşük durabiliteli' olduğunu gösterir (Çizelge 7).



Şekil 7- Buca yeşil andezitinin gözenek boyu dağılım grafiği.

7. Sonuçlar

Yeşil andezitler İzmir'in başta Buca ilçesi olmak üzere birçok tarihi binalarında ve tarihi yapılarında kullanılmıştır.

Buca yeşil andezitinin mineralojik ve kimyasal kompozisyonuna göre trakiandezit bileşiminde olduğu belirlenirken kayacın belirgin yeşil renginin ise kayacın volkanik hamurunun ve içerdiği minerallerin kloritleşmesinin ürünü olduğu tespit edilmiştir.

Buca yeşil andezitinin fiziksel özelliklerinden görünür porozitesi % 4,89, toplam porozitesi %17,8, kuru birim hacim ağırlığını $2,32 \text{ gr/cm}^3$, suya doymuş birim hacim ağırlığı $2,36 \text{ gr/cm}^3$, doymuşluk katsayısının 0,91, ağırlıkça su emmesinin % 2,12 ve boşluk oranının % 5,18 olduğu belirlenmiştir. Özgül ağırlığının ise 2,82 olduğu tespit edilmiştir. Buca yeşil andezitinin; Böhme yüzeysel aşınma kaybı $7,05 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$, kuru tek eksenli basınç dayanımı $899,08 \text{ kgf/cm}^2$, suya doymuş tek eksenli basınç dayanımı $826,04 \text{ kgf/cm}^2$, darbe direnci 52 kgf cm/cm^3 , kuru nokta yükü dayanım indeksi $80,04 \text{ kgf/cm}^2$, suya doymuş nokta yükü dayanım indeksi $46,34 \text{ kgf/cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Buca yeşil andezitinin donma çözünme deneyi sonucunda kütle kaybı % 1,15, ıslanma-kuruma deneyi sonrası kütle kaybı %1,28, MgSO_4 tuz kristallenmesi deneyi sonrası %2,03 ve Na_2SO_4 tuz kristallenmesi deneyi sonucunda % 2,31 oranında kütle kaybı olduğu belirlenmiştir. Kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinin önemli bir kısmı doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirliği açısından ilgili standartlara uygundur.

Buca yeşil andezitinin durabilitesi beş ayrı yöntemle incelenmiş ve kullanılan durabilite değerlendirme yöntemlerine göre farklılık sunduğu tespit edilmiştir. İncelemeler kayacın ortalama gözenek boyutu ve doymuşluk katsayısı yöntemleri bakımından 'düşük durabiliteli' olduğunu, suda dağılmaya karşı duyarlılık indeksi, doymuş-kuru tek eksenli basınç direnci oranı ve statik kaya durabilite indeksine göre ise 'iyi ve çok iyi durabiliteli' olduğunu göstermektedir.

Yapılan saha gözlemleri neticesinde, Buca yeşil andezitinin doğal yapıtaşı olarak kullanılmış olduğu

tarihi binaların dış cephelerinde, kayacın uzun dönem saha performansının yüksek olduğu ve yeşil andezitlerin iyi korunmuş olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum İzmir'de donma çözünme olayının sıkça rastlanmaması, iklimin ılıman olması ve ayrıca Buca ilçesinin sanayileşmenin İzmir şehir merkezine oranla daha bakir olmasıyla açıklanabilir. Bu nedenle, ılıman iklime sahip bölgelerde doğal yapıtaşı olarak kullanılacak kayalar için ortalama gözenek boyutu ve doymuşluk katsayısı, durabilite değerlendirme açısından önem arz etmektedir. Buca yeşil andeziti saha performansı dikkate alındığında 'yüksek durabiliteli bir kayaç' olarak tanımlanabilir.

8. Katkı Belirtme

Bu makale Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Bölümünde 2013 yılında tamamladığım yüksek lisans tezim kapsamında üretilmiştir. Yüksek lisans çalışmamda yardımlarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. A. Bahadır YAVUZ'a teşekkür ederim. Ayrıca başta Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi Baş editörü Doç. Dr. Selim ÖZALP olmak üzere Dr. Samet SAKA'ya, Doç. Dr. Tamer RIZAOĞLU'na ve Prof. Dr. Utku BAĞCI'ya teşekkür ederim.

Değinen Belgeler

- Anon, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping, Part 1. Rock and soil materials, Bulletin of the International Association Engineering Geology 19, 364-371.
- Akay, E. 2000. Magmatic and Tectonic Evolution of the Yuntdag Volcanic Complex Western Anatolia. Doktora Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Arık, M. 1980. Buca-Altındağ Yöresinin Hidrojeolojik İncelemesi, Bitirme Projesi, E. Ü. Yerbilimleri Fakültesi, İzmir, 48.
- Arnold, A. 1999. Methodology of the study on decay, weathering and conservation of monuments, ICCROM, 13th international course on the technology of stone conservation, Unpublish Lecture Notes, Venice.
- ASTM, 1990. Standard test method for soundness of aggregates by the use of sodium sulfate or magnesium sulfate, Annual book of ASTM standards, American Society for Testing and Materials 37-41.

- ASTM D 4404, 1984. Standarts Test Method for Determination of Pore Volume and Pore Volume Distribution of Soil and Rock by Mercury Intrusion Porosimetry, ASTM International.
- Bell, F. G. 1980. Engineering Geology and Geotechnics. Butter Worth and Co. Ltd. London, 497.
- Bell, F. G. 1993. Engineering Geology. Blackwell Scientific Publications, London.
- Deere, D. U., Miller, R. P. 1966. Engineering classification and index properties for intact rock: Report AFWL-TR-65-116, Air Force Weapons Laboratory (WLDC) Kirtland Air Force Base, New Mexico.
- Fookes P. G., Gourley C. S., Ohikere C. 1988. Rock weathering in engineering time. Quaterly Journal of Engineering 21, 33-57.
- Herodotus 420 BC. History : I Observed That salt exuded from the soil to such an extent as event to injure the pyramids 2, 12.
- ISRM, 1981. Rock Charakterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods, E. T. Brown, E. T. (Ed), Brown 211, Pergamon Press U.K.
- ISRM, 1985. Suggested method for determining poind load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts 22, 51-60.
- İzdar, E. 1975. Batı Anadolu'nun Tektonik Gelişimi ve Ege Denizine Ait Üniteler ile Karşılaştırılması 8.
- Jutson, J. T. 1918. The influence of salts in rock weathering in sub-arid western Australia. Royal society of Victoria, Proceedings 30, 165-172.
- Kıncal, C. 2005. İzmir İç Körfezi Çevresinde Yer Alan Birimlerin Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 342, İzmir.
- Knöfel, S. 1987. Physicochemical weathering reactions as a formulary for time-lapsing ageing tests, Materials and Structures 20, 127-145.
- Koca, M. Y. 1995. Slope Stability Assessment of the Abandoned Andesite Quarries in and Around the İzmir City Centre, PhD. Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applies Science, İzmir-Türkiye, 430.
- Koca, M. Y., Türk, N. 1999. Influenced of weathering on the engineering properties of andesitic rock in İzmir, Western Turkey. IESCA 1995, II.
- Küçükkaya, A. G. 1999. Taşların bozunma nedenleri koruma yöntemleri 43-95.
- Larsen, T., Candy, P. D. 1969. Identification of frost susceptible particles in concrete aggregates. National Cooperative Research Program, report 66. Highway research board, Washington, DC.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Journal of Petrology 27, 745-750.
- Lewin, S. Z. 1982. The mechanism of masonry decay through crystallization. In: Conservation of historic stone building and monuments. National Academy of Sciences, Washington, DC, 120-144.
- Lucas, A. 1925. Antiques, their restoration and preservation. Arnold E. and Co., London.
- Luquer, L. Mcl. 1895. The relative effects of frost and the sulfate of soda efflorescence tests on building stones. Transactions, American Society of Civil Engineers 33, 235-256.
- Mamillian, M. 1993. Méthodes d' evaluation de l' état d' alterations des pierres des monuments. In: Theiel, M.-J. (Ed.), Conservation of stone and other materials, Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress. RILEM Proceedings 21, 775-783.
- Miyashiro, A. 1978. Nature of alkalic rock series, Contrib. Mineral Petrology 66, 91 – 104.
- Ruedrich, J., Kirchner, D., Siegesmund, S. 2011. Physical weathering of building stones induced by freeze-thaw action: a laboratory long –term study, Environmental Earth Sciences 63, 1573-1586.
- RILEM. 1980. Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods, Comission 25-PEM. Material Structures 13, 175-253.
- Rossi-Doria, P. R. 1985. Laboratory tests on artistic stonework, the deterioration on conservation of stone. Studies and documents on the cultural heritage.
- Rossi-Manaresi, R. 1976. Causes of decay and conservation treatments of the tuff of Castel Dell'ova In Naples, Proc. 2nd. Int. Symp. On the deterioration of building stones. Athens 233-248
- Savaşçın, M. Y. 1974. Batı Anadolu 'Andezit Bazalt' Jenezi Sorununa Katkılar, TJK Bülteni 17, 87-171.
- Schaffer, R. J. 1932. The weathering of natural building stones. Special report no. 18, Building Research Establishment, Garston.

- Sims, I. 1991. Quality and durability of stone for construction. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 24, 67-73.
- Steinberger, E. 2003. Volcanic tuffs from Hesse (Germany) and their weathering behaviour, *Environmental Geology* 46, 378-390
- Stück, H., Siegesmund, S., Ruedrich, J. 2011. Weathering behaviour and construction suitability of dimension Stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany) *Environmental Geology* 63, 1763-1786.
- Taber, S. 1916. The growth of crystals under external pressure, *American Journal of Science* 41, 532-556.
- Topal, T. 1997. Accelerated weathering in the Cappadocian tuff, In: *Proceedings of the international symposium on geology and environment*, İstanbul 281-291.
- Topal, T., Doyuran, V. 1997. Engineering geological properties and durability assesment of the Cappadocian tuff, *Engineering Geology* 47, 175-187.
- Topal, T., Sözen, B. 2003. Deterioration mechanism of tuffs in Midas monument, *Engineering Geology* 68, 201-233
- Türk, N., Koca, M. Y. 1994. Engineering Geological Problems of the First Phase of the Izmir Metro *Proceedings Sevent International Congress International Association of Engineering Geology*, 5-9 September 1994, Lisboa, Portugal, 4259-4264.
- TS 13755. 2003. Doğal Yapı Taşları - Deney Metodları- Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 699. 1987. Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney metodları. (Methods of testing for natural building stones) Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 82 (in Turkish).
- TS 699. 2009. Doğal Yapı Taşları- İnceleme ve Laboratuvar Deney Metodları (Natural building stone-Methods of inspection and laboratory testing) Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 36 (in Turkish).
- TS EN 1341. 2004. Doğal Yapı Taşı -Aşınmaya Karşı Dayanıklılık Tayini, Türk standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14157. 2005. Doğal taş-Aşınma direncinin tayini (Natural stone- determination of the abrasion resistance) Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 21 (in Turkish).
- TS 1926. 2000. Doğal Yapı Taşları- Deney Metodları-Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1936. 2001. Doğal Yapı Taşları- Deney Metodları-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12370. 2001. Doğal Yapı Taşları- Deney Metodları-Tuz Kristallenmesinin Direncinin Tayini (Natural stone test methods-Determining of resistance to salt crystallisation. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (in Turkish).
- Yavuz, A. B. 2006. Deterioration of the volcanic kerb and pavement stones in a humid environment in the city centre of İzmir, Turkey. *Environmental Geology* 51, 211-227.
- Yavuz, H., Altındağ, R., Saraç, S., Uğur, I., Sengun, N. 2006. Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze-thaw and thermal and thermal shock weathering.
- Winkler, E. M. 1993. Discussion and Reply On “ The Durability of Sandstone As a Building Stone, Especially In Urban Environments”. *Bulletin of the Association Engineering Geology* 30, 99-101.
- Winkler, E. M. 1994. *Stone in architecture*, Springer- Verlag, Berlin.

