

Uşak-Karahallı Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Mineralojik-Petrografik Özellikleri ile Birlikte Değerlendirilmesi

Ayşe Nur ALPEREN¹, Haluk ÇELİK^{1*}, Metin BAĞCI²

¹ Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Uşak.

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

*Sorumlu yazar e-posta: haluk.celik@usak.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9964-1566>

e-posta: ayse91nur@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7604-1085>

e-posta: metbagci@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1056-2854>

Geliş Tarihi: 23.05.2022

Kabul Tarihi: 23.08.2022

Öz

Bu makalede Uşak İli Karahallı İlçesinde üç farklı mermer ocağından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen bir dizi deneysel çalışmalar ile yöre mermerlerinin özellikleri belirlenmiştir. Numunelerin standartlara uygun biçimde saptanan fiziksel ve mekanik özellikleri; kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri ile değerlendirilmiştir. Karahallı mermerlerinin birim hacim ağırlığı 2.69 gr/cm³ ile 2.74 gr/cm³ arasında değişim göstermektedir. Atmosfer basıncında ağırlıkça su emme değerleri ise %0.27-0.35 arasındadır. Karahallı mermerlerinde yapılan mekanik deneylerden tek eksenli basınç dayanımlarının 874.8 kg/cm² ile 1027.9 kg/cm² arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. Böhme aşınma dayanım değerleri ise 4.23 cm³/50 cm² ile 5.50 cm³/50 cm² arasındadır. Yöre mermerlerinin CaO oranları %52.9-55.4 arasındadır. Uşak Yeşil Mermeri diğer bölge mermerlerine göre daha yüksek oranda SiO₂ (%5.06), TiO₂ (%0.16) ve Fe₂O₃ (%1.25) içermektedir. Uşak Yeşil Mermerinin yüksek SiO₂ içeriği mermerlere sert bir yapı kazandırmıştır. Opak mineraller, epidot ve mika minerallerin bileşimlerinde bulunan TiO₂ ve Fe₂O₃ ana oksit değerlerindeki kısmi zenginleşmenin bu mermere açık yeşil renk verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Mermer; Uşak beyazı; Uşak yeşili; Fiziko-mekanik özellik; Yapı taşı; Karahallı

Evaluation of Physico-Mechanical Properties of Uşak-Karahallı Marbles with Their Mineralogical-Petrographic Properties

Abstract

In this article, the characteristics of the local marbles were determined by a series of experimental studies carried out on the samples taken from three different marble quarries in the Karahallı District of Uşak. The physical and mechanical properties of the samples determined in accordance with the standards evaluated together with their chemical, mineralogical and petrographic properties. Unit volume weight varies between 2.69 gr/cm³ and 2.74 gr/cm³ while water absorption values by weight at atmospheric pressure are between 0.27-0.35 % in Karahallı marbles. Uniaxial compressive strength values from the mechanical tests performed on Karahallı marbles are determined between 874.8 kg/cm² and 1027.9 kg/cm². Böhme abrasion resistance values are between 4.23 cm³/50 cm² and 5.50 cm³/50 cm². The CaO ratios of the marbles of the region are between 52.9-55.4%. The Uşak Green Marble contains a higher percentage of SiO₂ (5.06%), TiO₂ (0.16%) and Fe₂O₃ (1.25%) compared to other region marbles. The high SiO₂ content of the Uşak Green Marble gives this marble a hard structure. It was determined that partial enrichment in TiO₂ and Fe₂O₃ main oxide values in the compositions of opaque minerals, epidote and mica minerals gave this marble a light green color.

Keywords

Marble; Uşak white, Uşak green; Physico-mechanical property; Building stone; Karahallı

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Doğal taşlar tarih boyunca güzelliği, rengi, deseni ve dayanıklılıkları sebebiyle yapılarda ve sanat eserlerinde kullanılmışlardır. Günümüzde artan nüfus ve şehirleşme ile doğal taşlara olan talep

artarak devam etmektedir. Türkiye doğal taş rezervi ve çeşitliliği bakımından önemli bir konumda olmasından dolayı dünya doğal taş sektöründe önde gelen ülkelerden birisidir. Doğal taş sektöründe ticari olarak sürekliliğini kanıtlamış

olan Türkiye, çeşitli renk ve desenlerde mermer, kireçtaşı, oniks, traverten, konglomera, granit, siyenit, diyabaz, gibi 250'nin üzerindeki doğal taş türünü piyasaya sürebilme potansiyeline sahiptir. Ülkemiz doğal taşlarının yaklaşık 100 kadarı dünya piyasalarınca yakından bilinmekte ve alıcı bulabilmekte olup, bu mermerlerden bazıları Süpren, Elaziğ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Ege Bordo, Milas Leylak, Gemlik Diyabaz, Afyon Şeker, Burdur Bej'dir (Bilim ve Dündar 2019, DPT 2001, Kalkınma Bakanlığı 2018, Karahan 2018, Çelik ve Kırılıveren 2012).

Türkiye, dünyanın en zengin mermer rezervlerinin bulunduğu Alp-Himalaya kuşağında bulunmakta olup sahip olduğu 5.1 milyar m³ (13.9 milyar ton) muhtemel mermer potansiyeli ile 15 milyar m³ olduğu tahmin edilen dünya mermer potansiyelinin yaklaşık %33'ünü elinde bulundurmaktadır. Ülkemizde rezervler Anadolu'dan Trakya'ya oldukça geniş bir coğrafyaya yayılmıştır. Ülkemiz mermer potansiyelinin bölgelere göre dağılımını incelediğimizde ise Ege Bölgesi'nin %32 ile ilk sırada yer alırken; %26 oranında Marmara Bölgesi, % 11 oranında İç Anadolu Bölgesi, %31 oranında Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz Bölgesi mermer rezervine sahip bulunmaktadır. Ülkemiz doğal taş sektörü; çeşitliliği ve rezerv zenginliği, sektör deneyiminin fazla oluşu, deniz ulaşımına bağlı nakliye işlemlerindeki kolaylık, doğal taş sektörünün sahip olduğu dinamik yapısı, sektörde kullanılan teknolojilerin yeni oluşu ve taşların geniş renk skalasına sahip olması ile dünya doğal taş pazarında önemli bir konuma sahiptir (İnt Kyn. 1).

Uzun yıllardan beri mermer üretiminin yapıldığı Uşak ili genelinde beyaz, gri, koyu yeşil ve açık yeşil olmak üzere 4 farklı renk çeşitliliğine sahip mermer yatakları bulunmaktadır. Bölgede toplam ruhsat alanı 4330 hektar olan ruhsatlı 31 adet mermer sahası yer almaktadır. Uşak ilinin toplam mermer potansiyelinin 1.600.000 m³ olduğu bildirilmektedir (Zafer Kalkınma Ajansı 2012). Mermer üretiminde son dönemlerde artış

gerçekleşen Uşak ilinde Karahallı, Sivaslı ve Ulubey ilçelerinde önemli mermer potansiyelleri bulunmaktadır. Uşak İli mermerleri genellikle Mezozoik yaşlı karbonatlar içerisinde yer almakta olup Uşak Yeşili, Uşak Beyazı ve Uşak Grisi mermer piyasasında en çok bilinen türlerdir (Çelik ve Kırılıveren 2012).

Doğal taşların kullanım alanlarını ve bu alana uygun olup olmadıklarını saptamak maksadıyla belirli standartlara göre yapılan deneylerle doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri tespit edilmektedir. Standartlara uyan doğal taşlar ticari olarak pazarlanabilirken, uymayanlar ise pazardan çekilmekte veya geniş kullanım fırsatı bulamamaktadırlar. Kalitesi ve mukavemeti yüksek olan doğal taşlar renkleri ve desenleri gibi benzerliklerinden dolayı standartlara uymayan doğal taşlardan ayrılmakta ve gereksiz rekabetin önüne geçilmektedir. TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ABD'nin doğal taş standartlarından (ASTM) bazılarını ülkemizdeki doğal taşlar için uyarlayarak mevcut düzenlemeleri gerçekleştirmiştir (Büyüksağış ve Gürcan 2005). Mermerlerin deneylerle saptanan fiziksel özelliklerin belirlenmesinde TS EN 13755, TS EN 1936 ve TS EN 14579; mekanik özelliklerinin belirlenmesinde ise çoğunlukla TS EN 1926, TS EN 13161, TS EN 12372, TS EN 14157 ve petrografik incelemeler için TS EN 12407 nolu standartlarının kullanıldığı görülmektedir (Gürcan 2012). Çeşitli tarihlere uygulamaya giren bu yeni standartlarda yerini aldıkları eski standartlardaki gibi fiziksel ve mekanik özelliklere ait alt limit verilerine yer verilmemektedir. Bu çalışma kapsamında sadece Karahallı (Uşak) mermerlerinin fiziksel ve mekanik deneylerle belirlenen özelliklerine ait sonuçlara yer verilmiştir.

Bölgede benzer çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Çamlıbel-Ulubey (Uşak) beyaz mermerinin, mermer olarak kullanılabilirliği irdelenmiş ve yöre mermerleriyle karşılaştırılmaları yapılmıştır (Çelik ve Kırılıveren 2012). Sivaslı (Uşak) mermer yataklarının jeolojik ve mühendislik özelliklerinin incelenmesi kapsamında bölgede 3 farklı mermer düzeyi

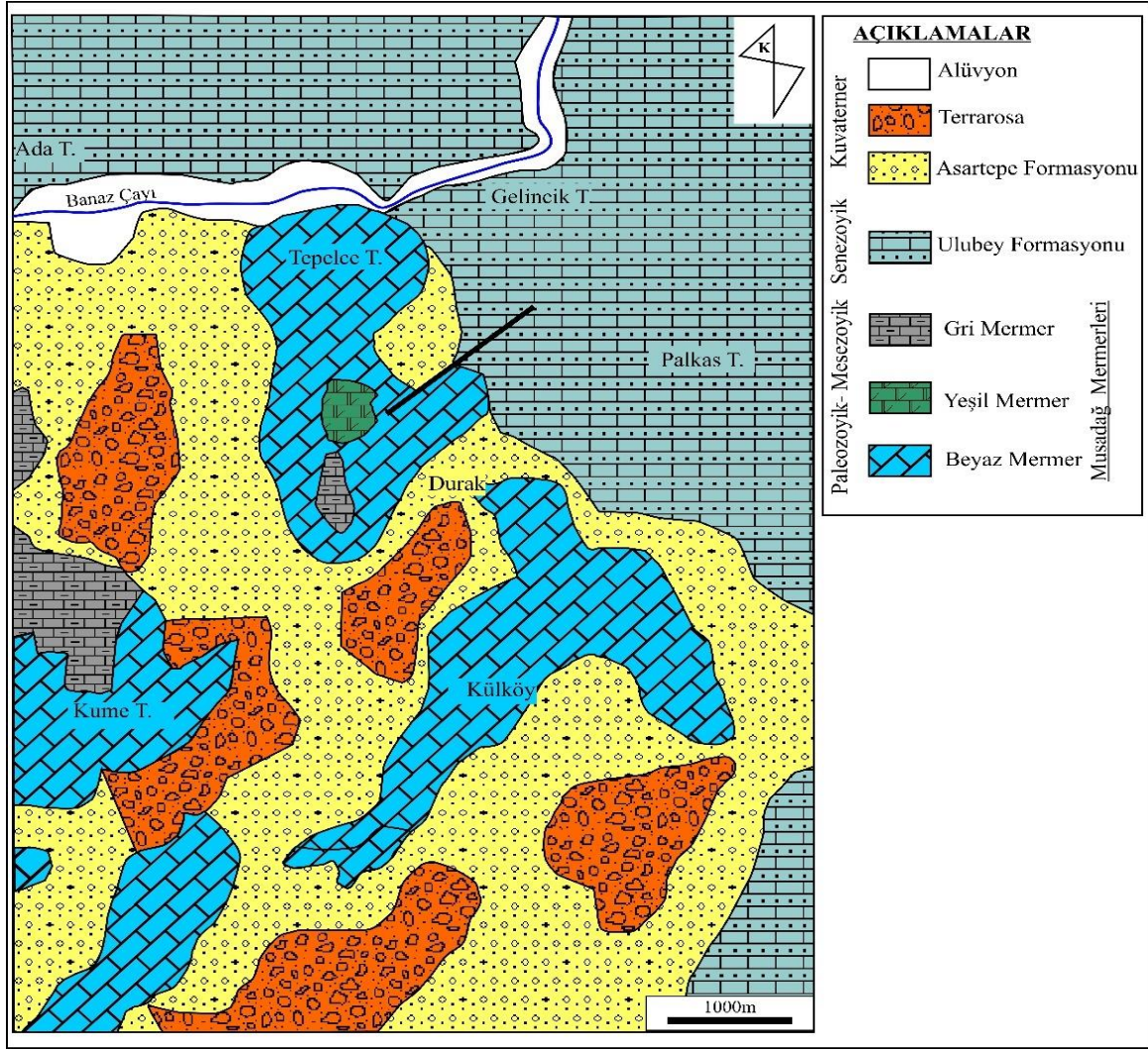
belirlenmiştir. Sırasıyla bu seviyeler Boduşdamı, Kavacık ve Eldeniz mermerleridir. Çalışmada en verimli mermer sahaları Kavacık ve Boduşdamı mermerleri olarak belirlenmiştir (Aysal ve Korcaç 2002). Gürcañ vd. (2012) parlatma deneyleri sonucunda azalan abrasif serisine bağlı olarak pürüzlülüğün azaldığını ve parlaklığın arttığını ifade etmişlerdir. Mermer örneklerinde bulunan karbonat dıőı minerallerin ve bunların dağılımlarının pürüzlülüğ ve parlaklık özelliklerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmışlardır. Kibici vd. (2001) mermerlerin renklerinin koyulaşması artıkça mermerlerin dayanım değerlerinin kısmen arttığını ve koyu yeşil renkli Karahallı mermerlerin açık yeşil renklilere göre daha izotrop özellikler gösterdiklerini belirtmişlerdir. Renkli İncehisar mermerlerinin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin araştırıldığı çalışmada ise mermerler mineralojik içerik ve kimyasal bileşimlerine göre 3 seviyeye ayrılmış olup; bu seviyeler sırasıyla tabanda kalsitçe zengin mermerler, ara seviye/geçiş mermerleri ve en üstte ise dolomitik mermerler olarak sıralanmıştır (Bağcı 2020).

Bu çalışmada Uşak İli Karahallı İlçesinde halen üretim yapılan 3 adet mermer ocağından numuneler alınmış, TSE standartlarına uygun biçimde mermer kesim atölyesinde hazır durumu getirilen numunelerin fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Üç mermer yatağından alınan numunelere ait fiziksel ve mekanik özelliklerin; kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklerle birlikte yorumlanması yapılmıştır. Mermer ocak işletmelerinin açılması ve üretimin devam

edebilmesinde mermerlerin jeolojik, mineralojik, petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerinin etkisi olumlu veya olumsuz yönde etki yaptığından, çalışma sonucunda elde edilen sonuçların bölgede üretim yapmakta olan ve ileride muhtemel yeni yatırım yapacak olan işletmelere önemli bilgiler sağlayacağı düşünölmektedir.

1.1. İnceleme alanının jeolojisi

İnceleme alanının en yaşıli birimini Paleozoik yaşıli klorit-muskovit-kuvars şistlerden oluşan Eşme formasyonu oluşturur. Paleozoik yaşıli başkalaşım kayaçlarının üzerinde Musadağ mermerleri yer almaktadır. Musadağ Mermerleri; beyaz, gri, yeşilin koyu ve açık tonlarında değişen renklerde yayılım göstermektedirler (Şekil 1). İnceleme alanındaki mermerlerin ana bileşen minerali kalsittir. Daha az oranda özellikle yeşil renkli mermerlerde epidot ve amfibol grubu mineraller gözlenmektedir (Kibici vd. 1992, Kibici vd. 2001). Musadağ Mermerlerinin üzerine Orta Pliyosen yaşıli Ulubey Formasyonu gelmektedir. Bu birimin üzerinde ise kumtaşı-kumlu kireçtaşı seviyeleri bulunur. Ulubey Formasyonuna ait kayaçlar Banaz Çayı kuzeyinde Tepelçe Tepe çevresinde yayılım sunar. Ulubey Formasyonunun üzerinde Kuvaterner yaşıli Asartepe Formasyonu uyumsuz olarak yerleşir. Formasyon farklı renklerde kırmızımsı turuncu yer yer beyaz renkli kireçtaşı, kumtaşı-kiltaşı ardalımalı sedimanter birimlerden oluşur. Asartepe Formasyonu Duraklı, Kùlköy ve Karahallı kuzeyinde geniş alanlarda yayılım sunar. Terra-rosa birimleri ise genellikle koyu kırmızı renklerde Asartepe Formasyonunun



Şekil 1. İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Kibici vd. 1992 den değiştirilerek alınmıştır).

üzerinde yer almaktadır. Bu birimler karbonatlı kayaların alterasyonu sonucunda oluşmuşlardır. Kum, çakıl ve kil içeren Alüvyon birimleri genellikle dere yatakları ve yakın çevresinde yayılım göstermektedir (Kibici vd. 1992, Kibici vd. 2001).

2. Malzeme ve Yöntem

2.1 Malzeme

Bu çalışmada kullanılan mermer numuneleri Şekil 2'de genel görünümü verilen ve Uşak'ın 47 km güneydoğusunda yer alan Karahallı İlçesinde üretim yapan 3 farklı mermer ocağından (Me1, Mm2 ve Mr3) temin edilmiştir (Şekil 3). Bu mermerler sırasıyla; Uşak Yeşil mermeri (Me1), Uşak Beyaz mermeri (Mm2) ve Açık Gri renkli (Mr3) mermerdir (Şekil 3A, 3B ve 3C). Mermer ocaklarından 1 m³'den küçük moloz parçalarından alınan örneklerden, Uşak'ta çalıştırılmakta olan

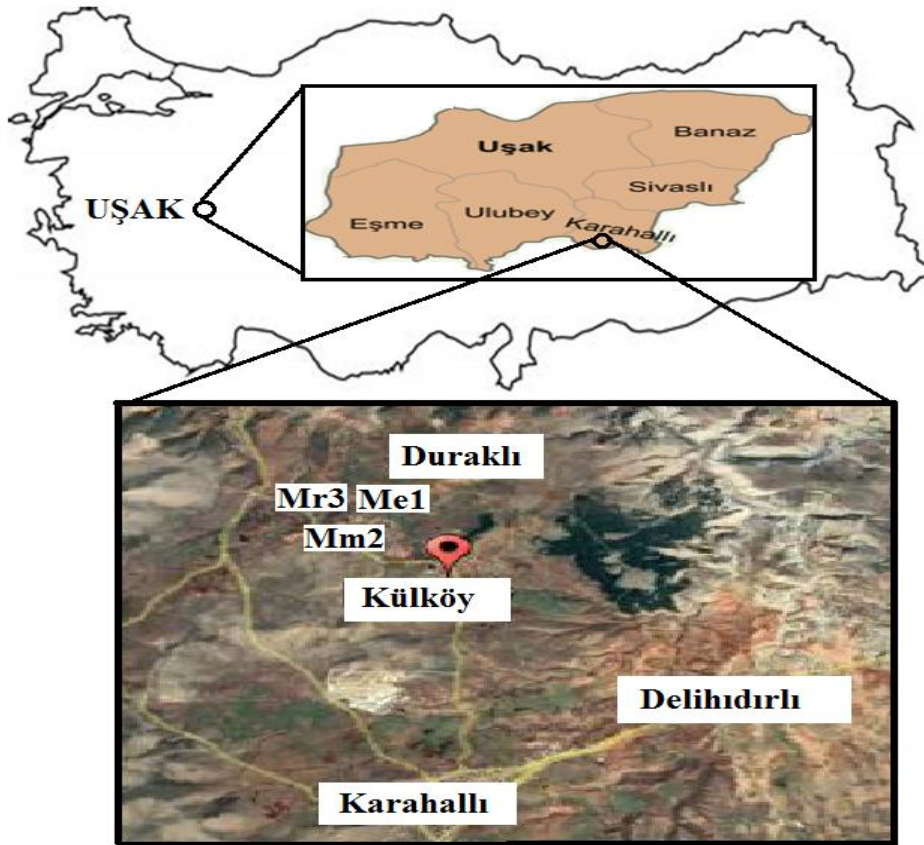
mermer kesim atölyesinde fiziko-mekanik deneyler için standartlara uygun olarak 50x50x50 mm boyutunda küp ve 50x50x300 mm boyutunda kare prizması şeklinde numuneler hazırlanmıştır (Şekil 2D).

2.2 Yöntem

Uşak-Karahallı mermer numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla TS EN standartlarına uygun olarak; birim hacim ağırlığı (gr/cm³), gerçek yoğunluk (gr/cm³), görünür ve toplam porozite (%) (TS EN 1936), atmosfer basıncı altında su emme (%) (TS EN 13755), P-dalga hızı (km/sn) (TS EN 14579), tek eksenli basınç dayanımı (Mpa) (TS EN 1926), eğilme dayanımı (Mpa) (TS EN 13161), darbe direnci (Mpa) (TS EN 14158), nokta yükleme dayanımı (Mpa) (ISMR 1985), Schmidth sertlik (ISMR 1981), Böhme aşınma dayanımı (cm³/50cm²) (TS EN 14157) testleri



Şekil 2. Uşak-Karahallı ilçesinde mermer numunelerin alındığı mermer ocaklarından genel görüntüler ve ebatlandırılmış mermer numuneleri



Şekil 3. Uşak-Karahallı ilçesinde numunelerin alındığı mermer ocaklarının yer bulduru haritası

yapılmıştır. Her bir fiziksel ve mekanik özellik için 6'şar adet numune üzerinde testler yapılmış olup bulunan değerlerin aritmetik ortalaması yorumlamalarda kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen

testlerle ilave olarak numuneler üzerinde gerçekleştirilen kimyasal, mineralojik ve petrografik incelemelerle Karahallı mermerlerinin mineral türleri, dağılımı, dokusal özellikleri ve

kimyasal bileşimleri saptanmıştır. Fiziksel ve mekanik testler Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan laboratuvarlarda yapılmıştır. P-Dalga hızı ölçümlerinde Proceq PL-200PE (54 kHz) cihazı kullanılmıştır. Kimyasal analizler Çanakkale 18 Mart Üniversitesinde (Spectro xSort Handheld X-Ray Spektrometresi), mineralojik ve petrografik araştırmalar ise Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde (Leica Dm 2500P model polarizan mikroskopu) yapılmıştır. Numunelerin XRD pikleri Bruker Marka D8 Advance cihazı ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) ile elde edilmiştir.

3. Bulgular

3.1 Karahallı mermerlerinin fiziksel özellikleri

Çizelge 1.'de Uşak-Karahallı mermerlerinin saptanan fiziksel özelliklerine ait ortalama değerlere yer verilmiştir. Mermerlerin birim hacim ağırlığı 2.2-3.2 gr/cm³ arasında değişir. Gerçek mermerler için bu değer ortalama 2.70 gr/cm³'tür (Akçakoca vd. 2003). Me1, Mm2 ve Mr3 mermerlerinin hacim hesaplamalarında, nakliyesinde kullanılmakta olan birim hacim ağırlık değerlerinin ortalaması sırasıyla 2.71; 2.69 ve 2.74 gr/cm³ olarak bulunmuştur.

Uşak-Karahallı mermerlerinin piknometre yöntemi ile belirlenen gerçek yoğunluk değerlerinin 2.796-2.923 gr/cm³ arasında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Doğal taşların yapıların dış kaplamasında kullanılabilmesi için ağırlıkça su emme oranının

düşük seviyelerde olması istenir. Kayaçalarda ağırlıkça su emme değerinin yüksek olması porozitenin fazla olduğunu, boşluk ve mikro çatlakların yüksek olduğunu göstermektedir. Buna karşılık ağırlıkça su emme değerinin düşük olmasına bağlı olarak mekanik özelliklerden olan basınç direnci değeri büyük olmaktadır (Akçakoca vd. 2003). Karahallı mermerlerin ağırlıkça su emme değerleri %0.27-0.35 arasında değişim göstermektedir (Çizelge 1). Porozite oranı diğerlerine göre daha fazla olan Mm2 kodlu numunenin ağırlıkça su emme değerinin porozite değerlerine uyumlu bir şekilde diğer iki örneğe göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Porozite değeri ne kadar büyükse mermerin ağırlıkça su emme değeri de yükselmektedir. Ayrıca kristal boyutu da gözeneklilik değerine etki etmekte olup iri kristalli mermerlerde porozitenin daha yüksek olduğu bilinmektedir (Öztank ve Bacakoğlu 2001). Çizelge 1.'den görüldüğü üzere etkin (görünür) porozite değeri en düşük olarak belirlenen Mr3 kodlu örneğin (%0.73) atmosfer basıncında ağırlıkça su emme değeri de uyumlu bir şekilde diğerlerine göre en düşüktür (%0.27). Ayrıca, porozite değeri en düşük olan Mr3 numunesinin (%0.73) tek eksenli basınç dayanımı değeri (1027.9 kg/cm²) uyumlu bir şekilde diğerlerine göre daha yüksektir. Moos ve Quervain (1948)'in Çizelge 2.'de verilen doğal taşların %porozite değerlerine göre sınıflandırma ölçütlerine göre Karahallı mermerleri "Çok Kompakt" kayaç sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 1. Karahallı (Uşak) mermerlerinin deneysel çalışmalar ile belirlenen fiziksel özellikleri

| | Birim Hacim Ağırlığı | Gerçek Yoğunluk | Su Emme (Ağırlıkça) | Görünür Porozite Oranı | Doluluk Oranı | P-Dalga Hız |
|-----|-----------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|---------------|-------------|
| | (gr/cm ³) | (gr/cm ³) | (%) | (%) | (%) | (km/sn) |
| Me1 | 2.71 | 2.923 | 0.30 | 0.81 | 96.55 | 4.33 |
| Mm2 | 2.69 | 2.796 | 0.35 | 0.95 | 97.01 | 4.18 |
| Mr3 | 2.74 | 2.840 | 0.27 | 0.73 | 95.90 | 4.24 |

Çizelge 2. Doğal taşların % porozite oranlarına göre sınıflandırılmaları (Moos and Quervain 1948)

| Kayaç Sınıfı | Porozite Değeri (%) |
|--------------------|---------------------|
| Çok Kompakt | <1 |
| Az Boşluklu | 1-2.5 |
| Orta Boşluklu | 2.5-5 |
| Oldukça Boşluklu | 5-10 |
| Çok Boşluklu | 10-20 |
| Çok Fazla Boşluklu | >20 |

Doluluk oranı, 105 °C’de sabit kütleyle kadar kurutulmuş taşın boşlukları hariç dolu hacminin, boşlukları dahil tüm hacme oranıdır. Çalışma bölgesinde yer alan mermerlerin doluluk oranı değerlerinin %95.9-97.01 arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1).

Bilindiği üzere doğal taşlardaki mineralojik yapı, doku, porozite, yapılarındaki mikro ve makro çatlaklar ile diğer süreksizlikler gibi fiziksel özellikler P-dalga hızlarının geçişini etkilemektedir. Numunelerin P-dalga hızlarının 4.18-4.33 km/sn arasında olduğu bulunmuştur. Porozitesi daha az olan mermerlerin P-dalga hız değeri daha yüksek olmaktadır. Çalışmada porozite değeri en yüksek olan Mm2 örneğinin P-dalga hızının en düşük olduğu (4.18 km/sn) saptanmıştır. P-dalga hız değerlerine göre kayaçların sınıflandırılmasına göre Karahallı mermerleri 4-5 km/sn arasında “Yüksek Hız” sınıfında yer almaktadırlar (Çizelge 3).

Çizelge 3. Kayaçların P-dalga hızı değerlerine göre sınıflandırılmaları (Matula *et al.* 1979)

| Sınıf | P-Dalga Hızı Değeri (km/sn) | Tanımlama |
|-------|-----------------------------|----------------|
| 1 | <2.5 | Çok düşük hız |
| 2 | 2.5-3.5 | Düşük hız |
| 3 | 3.5-4 | Orta hız |
| 4 | 4-5 | Yüksek hız |
| 5 | >5 | Çok yüksek hız |

Çizelge 4. Karahallı (Uşak) yöresi mermerlerinin deneysel çalışmalar ile belirlenen mekanik özellikleri

| | Tek Eksenli Basınç Dayanımı | Eğilme Dayanımı | Darbe Dayanımı | Nokta Yük Dayanımı | Schmidt Sertliği | Böhme Aşınma Dayanımı |
|------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|------------------|--|
| | (kg/cm ²) | (kg/cm ²) | (kg.cm/cm ³) | (Mpa) | | (cm ³ /50 cm ²) |
| Me1 | 874.8 | 205.24 | 27.2 | 2.92 | 27.39 | 5.50 |
| Mm2 | 910.6 | 210.74 | 13.6 | 1.86 | 25.30 | 4.23 |
| Mr3 | 1027.9 | 208.38 | 15.6 | 1.98 | 25.75 | 5.03 |

3.2 Karahallı mermerlerinin mekanik özellikleri

Çizelge 4.’de Uşak-Karahallı mermerlerinin deneysel çalışmalarla elde edilen mekanik özelliklerine ait ortalama değerler verilmiştir.

Tek eksenli basınç dayanımı, belirli boyutlardaki mermerlerin tek eksenli etkiyen gerilmeler karşısındaki davranışları ve kırılmaya karşı gösterdikleri direnç olarak tarif edilebilir. Doğal taşların basınca karşı mukavemet değerleri doğal taşın kullanılacağı yere (döşeme, zemin, merdiven basamağı vb.) göre farklılık gösterir. Çalışmanın konusu olan Karahallı (Uşak) mermerlerinin tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 874.8-1027.9 kg/cm² arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 4). Porozite oranı daha düşük olan Mr3 mermerinin basınç dayanım değeri beklendiği üzere daha yüksektir. Deere ve Miller (1966)’in kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması ölçütlerine göre Karahallı mermerlerinden Me1 ve Mm2’nin “Orta Dirençli” kayaç sınıfında, Mr3 kodlu numunenin ise “Yüksek Dirençli” kayaç sınıfında yer almakta olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5).

Doğal taşlar çoğunlukla belirli ebat ve kalınlıklarda levhalar biçiminde kullanıldıklarından eğilme dayanımları önemlidir. Mermerlerin eğilme dayanımı değerleriyle plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe tespit edilebilmektedir. Numunelerin eğilmeye karşı dayanımları 205.24-210.74 kg/cm² arasında değişim göstermektedir (Çizelge 4).

Çizelge 5. Doğal taşların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (Deere and Miller 1966)

| Tanım | Basınç Dayanımı Değeri (kg/cm ²) |
|---------------------|--|
| Çok yüksek dirençli | >2000 |
| Yüksek dirençli | 2000-1000 |
| Orta dirençli | 1000-500 |
| Düşük dirençli | 500-250 |
| Çok düşük dirençli | <250 |

Kayaçların darbe dayanımı standart ebatlardaki numunelerin belirli bir doğrultuda darbelere karşılık gösterdiği mukavemeti ifade etmekte olup bu değer kayaçların kullanım alanlarının belirlenmesinde önem arz etmektedir. Kayaçların darbeye karşı dayanımlarının artması gerek zemin döşemesinde gerekse iç ve dış kaplama uygulamalarında daha rahat kullanılmasına kolaylık sağlanmaktadır. Karahallı mermerlerinin darbe dayanımı değerlerinin 13.6-27.2 kg.cm/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir.

Nokta yük dayanımı testleri doğal taşların nokta yük ölçütlerine göre sınıflandırılması veya tek eksenli basınç dayanımlarının tahmin edilebilmesi için gerçekleştirilmektedir (ISMR 1985). Karahallı (Uşak) mermerlerinin nokta yük dayanımlarının ortalaması 1.86 ile 2.92 MPa arasında olduğu saptanmış olup numuneler Çizelge 6.'dan görülebileceği üzere "Düşük-Orta Dirençli" kayaç sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 6. Doğal taşların nokta yük dayanımı değerlerine göre sınıflandırılması (Bieniawski 1975)

| Kaya Sınıfı | Nokta Yük Dayanımı Değeri (MPa) |
|---------------------|---------------------------------|
| Çok Düşük Dirençli | <1 |
| Düşük Dirençli | 1-2 |
| Orta Dirençli | 2-4 |
| Yüksek Dirençli | 4-8 |
| Çok Yüksek Dirençli | >8 |

Numunelere tamamen zarar vermeden kolayca ve pratik bir şekilde yapılan Schmidt sertlik tayini testi, gerek arazi çalışmaları esnasında ve gerekse laboratuvarlarda doğal taşların sertlik değerlerinin belirlenmesinde ve tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin dolaylı yoldan hesaplanabilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Atıcı 2017). Yapılan çalışma ile numunelerin Schmidt sertlik

değerlerinin 25.30-27.39 arasında olduğu belirlenmiştir. Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin (ISRM 1981) ölçütlerine göre Karahallı mermerleri "Yumuşak" kayaç sınıfına girmektedir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Doğal taşların Schmidt sertlik değerlerine göre sınıflandırılması (ISRM 1981)

| Kaya Sınıfı | Schmidt Yüzey Sertlik Değeri |
|-------------------|------------------------------|
| Fevkalade Yumuşak | 16-20 |
| Çok Yumuşak | 20-24 |
| Yumuşak | 24-30 |
| Sert | 30-45 |
| Çok Sert | 45-60 |
| Fevkalade Sert | >60 |

Yaya trafiğinin fazla olduğu yerlerde kaplama taşı olarak kullanılacak mermerlerde sürtünme ile oluşacak aşınma kaybı değeri, Böhme yüzey aşındırma cihazı kullanılarak belirlenmektedir. Deney sonucunda deney numunelerinde kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen kayıp miktarı ölçülerek hesaplama yapılmaktadır. Karahallı (Uşak) mermerlerinin ortalama hacimce sürtünme ile aşınma dayanımlarının 4.23 ile 5.50 cm³/50cm² arasında olduğu belirlenmiştir.

3.3 Karahallı mermerlerinin kimyasal özellikleri

Doğal taşların ihtiva ettikleri elementlerin oksitlerinin toplam ifadesi olan kimyasal bileşim doğal taşların fiziksel özelliklerine etki etmektedir. SiO₂ miktarı arttıkça kayaçlar daha sertleşirken, MgO oranı yükseldikçe kırılma dayanımında, Fe₂O₃ oranının artmasına bağlı olarak ise renkleri koyulaşmaktadır (Arık ve Kuşçu 2011).

Mermer numunelerinin kimyasal oksit içeriklerini belirlemek için yapılmış kimyasal analiz sonuçları Çizelge 8.'de verilmektedir. Numunelerin oksit değerlerini incelediğimizde beklenildiği gibi en yüksek değer CaO'ya ait olup numunelerin CaO oranlarının %52.9-55.4 arasında olduğu saptanmıştır. Buradan hesapla %94.42-98.88 oranında kalsit minerali (CaCO₃) içerdikleri belirlenmiştir. Uşak Yeşil mermerinin (Me1) diğer iki mermerden daha yüksek oranda SiO₂ (%5.06), TiO₂ (%0.16) ve Fe₂O₃ (%1.25) içerdiği görülmektedir.

Çizelge 8. Karahallı (Uşak) mermerlerinin kimyasal analiz sonuçları

| | Me1 | Mm2 | Mr3 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| CaO | 52.9 | 54.0 | 55.4 |
| MgO | 2.16 | 2.03 | 2.24 |
| Al ₂ O ₃ | 0.17 | 0.15 | 0.17 |
| SiO ₂ | 5.06 | 0.17 | 0.20 |
| TiO ₂ | 0.16 | 0.061 | 0.076 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.25 | 0.008 | 0.01 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| SO ₃ | 0.35 | 0.034 | 0.072 |
| P ₂ O ₅ | 0.049 | 0.043 | 0.046 |
| K.K(%) | 37.88 | 43.47 | 41.71 |

K.K: Kızdırma kaybı, Me1: Uşak Yeşil, Mm2: Uşak Beyaz, Mr3: Uşak Açık Gri.

3.4 Karahallı mermerlerinin mineralojik ve petrografik özellikleri

3.4.1. X-Işınları difraktometre (XRD) analizi

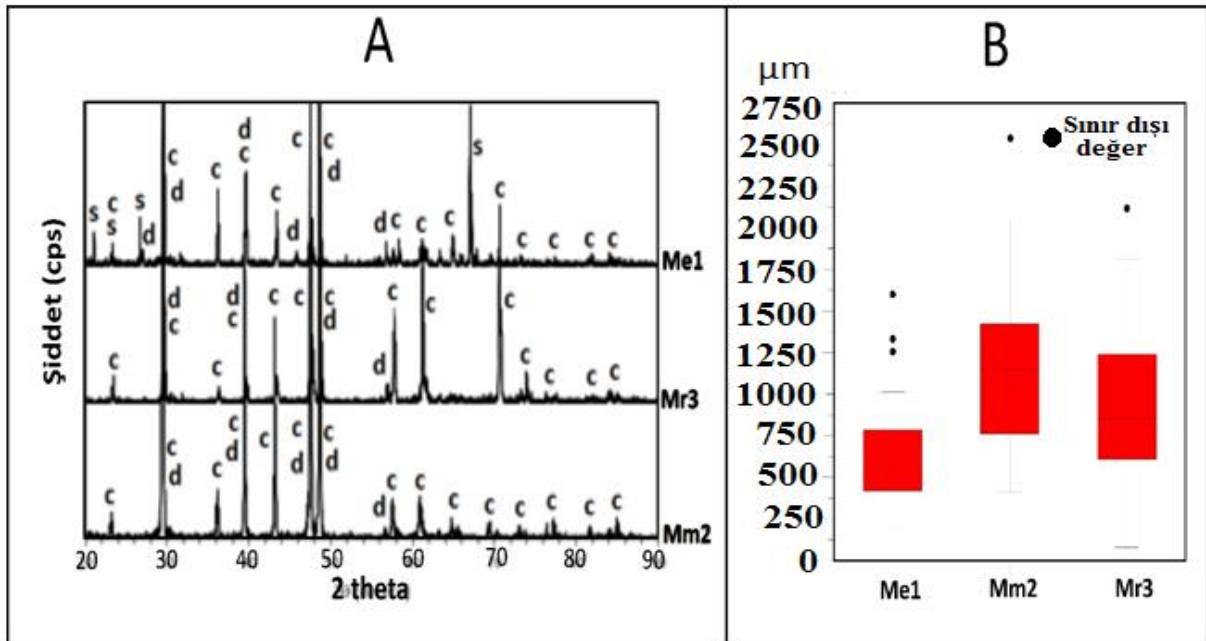
Karahallı mermerlerine ait XRD analizlerine ait grafikler Şekil 4A'da verilmektedir. Grafiklerden görüldüğü üzere tüm mermer numunelerinde ana mineral kalsit (CaCO₃) olmak üzere, dolomit (CaMg(CO₃)₂) de içermektedir. Me1 kodlu numune ise kimyasal analiz sonuçları ile uyumlu olarak ayrıca kuvars (SiO₂) minerali de ihtiva etmektedir. Kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde % MgO değerleri açık

yeşil renkli (Me1) mermerde %2.16, beyaz renkli (Mm2) ve açık gri renkli (Mr3) mermerlerde ise sırasıyla %2.03 ve %2.24'dür. Ayrıca, %SiO₂ değerlerinde ise %5.06 ile en yüksek değer açık yeşil renkli (Me1) mermerde gözlenmiştir. Beyaz renkli (Mm2) ve açık gri renkli (Mr3) mermerlerde %SiO₂ değerleri %0.17-%0.20 arasındadır. Bu sonuçlara göre, XRD sonuçlarının kimyasal analiz sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

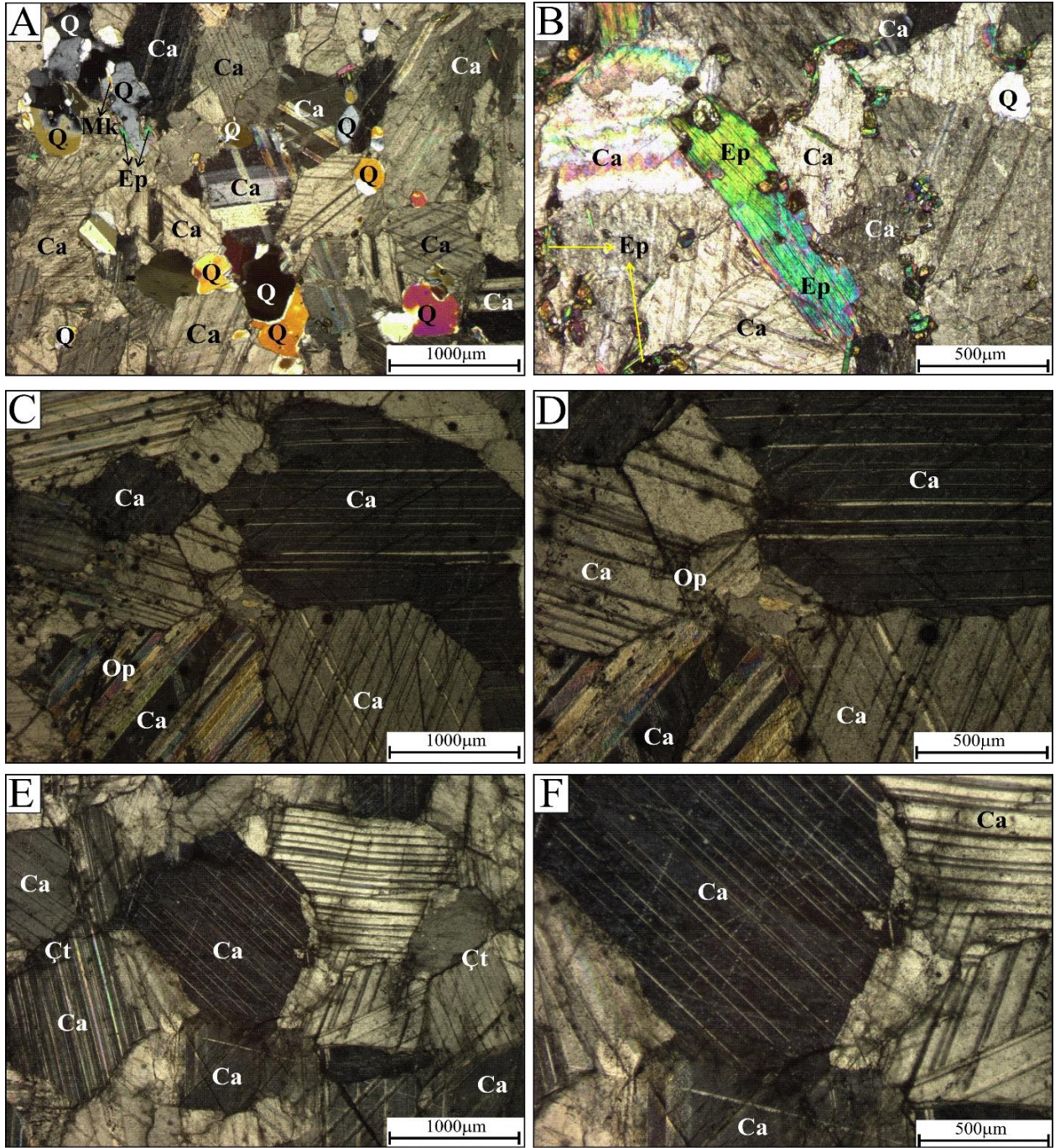
3.4.2. Polarizan mikroskop incelemeleri

Karahallı (Uşak) bölgesinden alınan mermer numuneleri üzerinde gerçekleştirilen mineralojik ve petrografik incelemelere göre XRD sonuçlarıyla uyumlu olarak kalsit kristallerinin ana bileşen olduğu saptanmıştır. Genel olarak numunelerde kalsit minerallerinin yaklaşık eş boyutlu, bazı seviyelerde yarı öz şekilli oldukları ve granoblastik doku özelliği gösterdikleri görülmüştür.

Özellikle yeşil/açık yeşil renkli mermerde (Me1) kalsit kristallerinin birleşme sınır hatlarında az oranda kuvars, epidot ve mika mineral türleri görülmüştür (Şekil 5 A ve B). Bu bulgular Gürçan vd. (2012)'nin saptamaları ile uyumludur. Gürçan vd. (2012) yaptıkları çalışmada Uşak Yeşil mermerinde CaO oranının %43.59 olduğunu; diğer yandan MgO



Şekil 4. A. Uşak-Karahallı mermerlerinin XRD grafikleri (c:kalsit; d:dolomit; s:kuvars), B. Karahallı (Uşak) mermerlerinin tane boyut dağılımı grafiği



Şekil 5. Karahallı-Uşak Bölgesi mermerlerin polarizan mikroskopa belirlenen görüntüleri (A-B Me1 nolu mermer; C-D Mm2 nolu mermer; E-F Mr3 nolu mermer) (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, Mk: Mika, Ep: Epidot, Op: Opak mineral, Çt: Çatlak, Çapraz Nikol (NX) 1000 ve 500 büyütme)

içeriğinin %1.14, SiO₂ içeriğinin %12.31, Al₂O₃ içeriğinin %3.10, Fe₂O₃ içeriğinin %1.76 olmasını da Uşak Yeşil mermerinde epidot mineralinin varlığından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Karahallı mermerlerinde amfibol grubu minerallerden hornblend ve aktinolit in çoğunlukta olduğu mermerlerin koyu yeşil renkte, epidot minerallerinin hakim olduğu mermerlerin ise açık yeşil renkte

olduğu belirtilmektedir (Kibici vd. 1992). Me1 kodlu numunede yer yer yuvarlak şekilli saçılmış taneler şeklinde kuvars kristalleri bulunmakta olup kuvars taneleri pürüzsüz yüzeylerinin dilinimsiz oluşu ile kalsit tanelerinden kolay bir şekilde ayrılmaktadır. Mm2 ve Mr3 kodlu mermerlerde ise kalsit kristallerinin birbirleriyle 120°'lik açılar yapacak köşeler oluşturacak şekilde birleşmiş oldukları

görülmektedir. Mm2 kodlu beyaz renkli mermerlerde kristal sınırları ve romboedrik dilinim izleri belirgin olup kristal sınırları boyunca yer yer opak minerallerinin varlığı belirgindir (Şekil 5 C ve D). Granoblastik doku ve polisentetik ikizlenme Mm2 kodlu numunelerde belirgin şekilde gözlenmiştir. Benzer şekilde Mr3 kodlu mermer örneğinde Mm2 kodlu örneğe göre kristal sınır hatları boyunca opak minerallerin varlığı daha az oranda olup ayrıca bu kesimlerde mikro yapılar belirgindir (Şekil 5 E ve F).

Mermer numunelerinin üzerinde yapılan tane boyut dağılımları inceleme sonuçlarına göre Me1 kodlu açık yeşil renkli mermerde toplam 55 adet ölçümün sonuçlarına göre minimum 177.6 µm, maksimum 1599.2 µm ve ortalama tane boyut değerinin ise 632.5 µm olduğu belirlenmiştir. Mm2 kodlu beyaz renkli mermerde toplam 30 adet ölçümün sonuçlarına göre minimum 411.4 µm, maksimum 2687.8 µm ve ortalama tane boyut değerinin 1171.3 µm olduğu; Mr3 kodlu açık gri renkli mermerde ise toplam 38 ölçüm sonucuna göre minimum 80.5 µm, maksimum 2116.6 µm ve ortalama tane boyut değeri 921.8 µm olan kalsit tanelerine sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4B). Bu sonuçlara göre Me1 kodlu mermerler ince taneli mermer grubunda yer alırken, Mm2 ve Mr3 kodlu mermerler ince-orta taneli mermer grubunda yer almaktadırlar (Kun 2000).

3.5 Karahallı mermerlerinin fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklerinin birlikte irdelenmesi

Kimyasal analiz sonuçlarına göre Uşak Yeşil mermeri diğer iki mermer türüne göre daha fazla miktarda SiO₂ (%5.06) içermektedir. SiO₂ içeriğinin Polarizan mikroskopta ve XRD çekimlerinde belirlenen kuvars (SiO₂) ve silikat minerallerinin (epidot (Ca₂(Al,Fe)₃Si₃O₁₂(OH) ve biyotit (siyah mika) (K(Mg,Fe)₃(Al,Fe)Si₃O₁₀(OH,F)₂)) varlığına bağlı olduğunu söyleyebiliriz. Yüksek SiO₂ içeriğine bağlı olarak Me1 kodlu mermerin Schmidt sertlik değeri (27.39) diğer mermer numunelerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Me1 mermerinin yüksek silis içeriğine bağlı olarak aşınma dayanımı değeri de daha yüksektir (Çizelge 4). Sertlik

mermerlerin ocaktan üretilme aşamasından atölyede kesilip cilalanma aşamasına kadar olumsuz bir parametre iken, pazarlanmaları aşamasında ise sert mermerler aşınmaya karşı dayanımlarının fazla olması, iyi cila almaları ve cilalarını uzun süre kaybetmemeleri nedenleriyle tercih edilmektedir (Şentürk vd. 1996).

Mineralojik-petrografik incelemelerle Uşak Yeşil mermerlerinde kuvars kristallerinin varlığı bu mermerlerde SiO₂'nin nispeten zenginleşmesine (%5.06 SiO₂) neden olmuştur. Bu bulgular XRD sonuçlarıyla uyumludur.

Me1 kodlu Uşak yeşil mermeri diğer iki mermer numunesine göre yüksek oranda TiO₂ (%0.16) ve Fe₂O₃ (%1.25) içerdiğinden, diğer mermerler beyaz renkli iken Me1 mermerinin rengi yeşilimsi ve daha koyudur. Bu mermer türünün içerdiği epidot ve mika mineral içerikleri mermere açık yeşil renk vermektedir. Mikalar, belirgin bir camsı veya inci parlaklığı ile opak ve yarı saydamdır. Farklı mika mineralleri, beyazdan yeşile veya kırmızıdan siyaha kadar değişen renkler gösterir (Nesse, 2000). Ayrıca, Me1 Uşak yeşil mermerinin diğerlerine göre nispeten daha yüksek oranda TiO₂ ve Fe₂O₃ ana oksit içeriğine sahip olması bu mermer örneğinin gerçek yoğunluk değerinin (2.923 gr/cm³) de diğer mermer numunelerine göre daha büyük olmasını sağlamaktadır.

Karahallı (Uşak) bölgesi mermerlerinin tek eksenli basınç dayanımı (TEB) ve eğilme dayanımı (ED) değerleri incelendiğinde bu değerlerin genel olarak düşük; darbe dayanımı ve nokta yükleme dayanımı değerlerinin ise yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, Me1 kodlu numuneye ait polarizan mikroskop incelemeleri neticesinde kalsit, kuvars, epidot (Piemontid, Pistasit) mineralleri tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan kimyasal analiz sonuçlarında SiO₂ ve Fe₂O₃ değerlerinin diğer mermer örneklerine (Mm2, Mr3) göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Me1 numunesinin kimyasal bileşim ve mineralojik içerik bakımından farklı olması bu duruma neden olmuştur.

Mermer numunelerinin darbe dayanım sonuçları incelendiğinde 27.2 kg.cm/cm³ ile 13.6 kg.cm/cm³

arasında değişim gösterdikleri görülmektedir. Mermer numunelerinde gözlenen farklılık mermerlerin hem mineralojik içeriklerinin hem de kimyasal bileşimlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Mm2 ve Mr3 kodlu mermerlerin petrografik özellikleri birbirlerine çok benzerlik göstermektedir. Mermerler iri kalsit tanelerinden oluşmuş olup, tane sınır ilişkileri keskin dokanaktır. Fakat Me1 kodlu mermerlerde ise kalsit tanelerinin sınırları boyunca epidot, kuvars ve az oranda mika minerallerinin yerleşmiş oldukları belirlenmiştir. Mermer örneklerinde gözlenen bu farklılıklar fiziksel ve mekanik değerlerin farklı olmasına neden olmuştur.

Mermerlerde sürtünmeden dolayı oluşan aşınma kaybı değerlerinin yüksek veya düşük olmasında, mermerlerin yüzey sertlik değerleri, petrografik özellikleri, mineralojik içerikleri ve kimyasal bileşimleri etkili olmaktadır. Bu kapsamda Schmit sertlik değerleri ile Böhme aşınma dayanım değerleri karşılaştırıldığında Schmit sertlik değerleri düşük olan mermer numunelerinde Böhme aşınma dayanım değerlerinin biraz daha düşük oldukları görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan mermer numuneleri incelendiğinde, Böhme aşınma kaybı değerleri Karahallı açık yeşil mermerinde (Me1) $5.50 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, Karahallı beyaz mermerinde (Mm2) $4.23 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ ve Karahallı açık gri mermerinde ise (Mr3) $5.03 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ bulunmuştur. Mermerlerin Böhme aşınma kaybı değerleri arasında çok yüksek bir fark olmamakla beraber, beyaz ve açık gri renkli mermerlere göre açık yeşil renkli mermerin Böhme aşınma kaybı değerleri kısmen daha yüksek çıkmıştır. Açık yeşil renkli (Me1) mermerde doluluk oranı değeri diğer mermerlere göre %96.55 kısmen düşüktür. Ayrıca açık yeşil renkli Me1 mermerinin tek eksenli basınç dayanım değerinin 874.8 kg/cm^2 daha düşük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, doluluk oranı ve tek eksenli basınç dayanım değerleri ile Böhme aşınma kaybı değerlerinin arasında doğrusal bir korelasyon olduğu gözlenmektedir. Açık yeşil renkli (Me1) mermerlerin bileşimlerinde epidot ve özellikle mika mineralinin varlığı Böhme aşınma kaybı değerlerinin yüksek çıkmasında önemli rol oynamıştır. Ayrıca kalsit tanelerinde gözlenen düşük alterasyonun da Böhme aşınma kaybı değerlerinin yüksek çıkmasına etki yapmıştır.

Mermer numunelerinin darbe dayanım sonuçları incelendiğinde 27.2 kg.cm/cm^3 ile 13.6 kg.cm/cm^3 arasında değişim gösterdikleri görülmektedir. Mermer numunelerinde gözlenen farklılık mermerlerin hem mineralojik içeriklerinin hem de kimyasal bileşimlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Mm2 ve Mr3 kodlu mermerlerin petrografik özellikleri birbirlerine çok benzerlik göstermektedir. Mermerler iri kalsit tanelerinden oluşmuş olup, tane sınır ilişkileri keskin dokanaktır. Fakat Me1 kodlu mermerlerde ise kalsit tanelerinin sınırları boyunca epidot, kuvars ve az oranda mika mineralinin yerleşmiş olduğu belirlenmiştir. Mermer örneklerinde gözlenen bu farklılıklar fiziksel ve mekanik değerlerin farklı olmasına neden olmuştur.

Karahallı (Uşak) mermerlerinin petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada; mermerlerin renklerinin koyulaşması artıça mermerlerin dayanım değerlerinin kısmen artığı ve koyu yeşil renkli Karahallı mermerlerinin açık yeşil renkli mermerlere göre daha izotrop özellikler gösterdikleri belirtilmektedir (Kibici vd. 2001).

Açık yeşil renkli (Me1) mermerinde SiO_2 değerinin %5.06 olduğu tespit edilmiştir. Mineralojik-petrografik ve XRD incelemelerinde tespit edilen kuvars ve silikat minerallerinin varlığı Me1 kodlu mermerde SiO_2 'nin nispeten zenginleşmesine neden olmuştur. Me1 kodlu açık yeşil renkli mermerinde mineralojik-petrografik incelemelerle tespit edilen kuvars (SiO_2), mika ve epidot mineralinin varlığı Me1 kodlu açık yeşil renkli mermerlerin düşük porozite (%0.81) ve kısmen yüksek doluluk oranına (%96.55) neden olmuştur. Buna bağlı olarak da yüksek P-dalga hız değerine (4.33 km/sn) ulaşılmasına sebep olmuştur.

Karahallı (Uşak) bölgesinden alınan her üç mermer örneği üzerinde yapılan mineralojik-petrografik incelemelere göre, kimyasal ve XRD analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak kalsit kristallerinin ana bileşen olduğu görülmüştür. Numunelerin CaO oranlarının %52.9 ile %55.4 arasında olduğu ve hesapla %94.42 ile %98.88 oranında kalsit minerali (CaCO_3) içerdikleri belirlenmiştir. Diğer numunelere göre tane boyutunun daha iri olduğu belirlenen

Mm2 kodlu örneğin (411.4 µm ile 2687.8 µm arasında) literatürle (Öztank ve Bacakoğlu, 2001) uyumlu olarak porozite oranının da daha yüksek (%0.95) olduğu görülmektedir. Mm2 kodlu numunenin yüksek porozite değeriyle uyumlu olarak atmosfer basıncında ağırlıkça su emme değeri de (%0.35) diğer iki numuneye göre daha yüksektir.

4. Tartışma ve Sonuç

Karahallı (Uşak) yöresine ait 3 adet mermer ocağından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik-petrografik özelliklerin tespitine yönelik testlerin sonucunda ulaşılan genel sonuçların değerlendirilmesi aşağıda sıralanmaktadır.

1- Karahallı (Uşak) bölgesi mermerleri üzerinde yapılan fiziko-mekanik deney sonuçları ile mineralojik petrografik özellikler ve kimyasal bileşim değerleri karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

2- Karahallı mermerlerinin doluluk oranı değerlerinin %95.9-97.01 arasında olduğu belirlenmiştir.

3- Diğer iki mermer numunelerine göre Uşak Yeşil mermerinin daha fazla miktarda SiO₂ (%5.06), TiO₂ (%0.16) ve Fe₂O₃ (%1.25) içerdiği belirlenmiştir. SiO₂ içeriği yüksek olan Me1 mermerinin yüzey sertlik değerinin diğer numunelere göre yüksek olduğu görülmüştür. Genellikle yeşilimsi renk, metamorfizma sırasında büyüyen klorit veya epidottan kaynaklanmaktadır. Açık yeşil renkli Me1 mermerinin bileşimlerinde bulunan epidot ve kısmen biyotit türü mika mineral içeriklerinin mermerlere açık yeşil renk vermekte olduğu tespit edilmiştir.

4- Yöre mermerlerinde CaO'nun oransal olarak %52.9 ile %55.4 arasında olduğu ve hesapla %94.42-98.88 oranında kalsit minerali (CaCO₃) içerdikleri belirlenmiştir.

5- Mineralojik-petrografik incelemelerle Karahallı (Uşak) bölgesi mermerlerinde kalsitin ana mineral olduğu ve kalsit tanelerinin eş boyutlu ve bazı seviyelerde yarı öz şekilli oldukları ayrıca granoblastik doku özelliği gösterdikleri görülmüştür.

6- Karahallı (Uşak) mermerlerinde yapılan tane boyut ölçüm sonuçlarına göre açık yeşil renkli Me1

mermerinin minimum 177.6 µm, maksimum 1599.2 µm ve ortalama tane boyut değerinin ise 632.5 µm olduğu, beyaz renkli Mm2 mermerinde minimum 411.4 µm, maksimum 2687.8 µm ve ortalama tane boyut değerinin 1171.3 µm olduğu ve açık gri renkli (Mr3) mermerde ise minimum 80.5 µm, maksimum 2116.6 µm ve ortalama tane boyut değerinin 921.8 µm olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, yöre mermerlerinin ince ve orta taneli mermer grubunda yer aldıkları saptanmıştır.

5. Kaynaklar

Akçakoca, H., Uysal, Ö. ve Topal, İ., 2003. Mermerlerin Kalite Kontrol Süreci Açısından Tekno-Mekanik Özelliklerinin Önemi. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı, 18-19.

Arık, S., 2011. Finike (Antalya) Beydağları formasyonunun mermer olarak kullanılabilirliği ve ekonomik önemi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 88.

Atıcı, Ü., 2017. Gümüşler (Niğde) kalsitinin fiziko-mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **6 (1)**, 151-157.

Aysal, N. ve Korkaç, M., 2002. Sivaslı (Uşak) mermer yataklarının jeolojik özellikleri ve mühendislik özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, **15**, 1-10.

Bağcı, M., 2020. Mineralogical, petrographic, and geochemical characterization of colored İsehisar marbles (Afyonkarahisar, W-Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, **29**, 946-975.

Bieniawski, Z.T., 1975. The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, **9 (1)**, 1-11.

Bilim, N. ve Dündar, S., 2019. Dünya Doğal Taş Sektörü İçerisinde Ülkemizin Konumu. Türkiye 10. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 137-142.

Büyüksağış, İ.S. ve Gürcan, S., 2005. ASTM ve TSE doğal taş standartlarının karşılaştırılması, *Madencilik*, **44 (1)**, 33-41.

Çelik, M.Y. ve Kırılıveren, S., 2012. Çamlıbel-Ulubey (Uşak) beyaz mermerinin jeolojik ve fiziko-mekanik özelliklerinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **8 (1)**, 44-53.

- Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report, AFWLTR-65-116, University of Illinois.
- DPT 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri II (Mermer-Granit-Yapı Taşları-Arduvaz (sleyt)) Çalışma Grubu Raporu, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Yayın No: DPT:2616-ÖİK:627, Ankara.
- Gürcan, S., 2012. Doğaltaş standartlarının incelenmesi ve CE işareti, *Madencilik*, **51 (1)**, 35-41.
- Gürcan, S., Yıldız, A. ve Göktan, R.M., 2012. Mermerlerin parlatılmasında mineralojik özelliklerin etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **28 (4)**, 280-286.
- ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring, International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford.
- ISRM, 1985. Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, **22 (2)**, 51-60.
- Kalkınma Bakanlığı 2018. Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu. 11. Kalkınma Planı (2019-2023), Ankara.
- Karahan, D.S., 2018. Dünyada Ve Türkiye’de Doğal Taşlar. MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Mart 2018, Ankara.
- Kibici, Y., Mutlutürk, M., Karagüzel, R. ve Bilgin, A., 1992. Karahallı (Uşak) yöresinin jeolojisi ve yöre mermerlerinin mühendislik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, **7**, 165-178.
- Kibici, Y., Karagüzel, R. and Mutlutürk, M., 2001. An investigation on the petrographical and physico-mechanical properties of the marbles from Karahallı, Uşak-Turkey. 4th. International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Isparta, Turkey, 359-369.
- Kun, N., 2000. Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi. Tezer Matbaası, İzmir, 149.
- Matula, M., Dearman, W.R., Golodkovskaja, G.A., Pahi, A., Radbruch-Hall, and Dorothy H., 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. part 1: Rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, **19**, 364-371.
- Moos, A. and Quervain, F., 1948. Technische Gesteinskunde. Part of the Book Series: Lehrbücher und Monographien aus dem Gebiete der exakten Wissenschaften (LMW, V.15), Verlag Birkhauser, Basel.
- Nesse, W.D., 2000. Introduction to Mineralogy XIII. Edition. Oxford University Press, New York, Oxford, 442.
- Öztank, N. ve Bacakoğlu, T.F., 2001. Mermer-Kireçtaşı ve Konglomeraların Yapılarda Kullanımını Denetleyen Parametreler. Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 123-131.
- Şentürk A., Gündüz L., Tosun Y., İ. ve Sarıışık A. 1996. Mermer Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- TS EN 13755, 2014. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. TSE, Ankara, 10.
- TS EN 1936, 2010. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. TSE, Ankara, 10.
- TS EN 14579, 2006. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Ses Hızı İlerlemesinin Tayini. TSE, Ankara, 14.
- TS EN 1926, 2000. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini. TSE, Ankara, 10.
- TS EN 13161, 2009. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımının Tayini. TSE, Ankara, 17.
- TS EN 14157, 2005. Doğal Taş-Aşınma Direncinin Tayini. TSE, Ankara, 21.
- TS EN 12407, 2008. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Petrografik İnceleme. TSE, Ankara, 20.
- TS EN 14158, 2004. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Kopma Enerjisinin Tayini. TSE, Ankara.
- Zafer Kalkınma Ajansı, 2012. TR33 Bölgesi Mevcut Maden Kaynakları ve Stratejiler. Kütahya.

İnternet Kaynağı

- 1- Ticaret Bakanlığı, 2020. Doğal Taşlar Sektör Raporu. Ankara. (Erişim Tarihi: 10.04.2022). <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%C4%9Fal%20Ta%C5%9Flar%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202021.pdf>