

## Sivaslı (Uşak) Yöresi Mermerlerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması

Haluk ÇELİK<sup>1</sup>, Ayşe Nur ALPEREN<sup>1</sup>, Metin BAĞCI<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Uşak.

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

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

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

Sorumlu yazar e-posta\*: mbagci@aku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1056-2854>

Geliş Tarihi: 29.03.2023

Kabul Tarihi: 29.03.2023

### Öz

Uşak ve çevresinde yer alan Menderes Masifinde bulunan metamorfik birimlerde Karahallı, Ulubey ve Sivaslı ilçelerinde önemli mermer potansiyeli bulunmaktadır. Menderes Masifinde yer alan metamorfik birimler çekirdek ve örtü birimlerden oluşmaktadır. Gnayslar çekirdek birimleri, Şist ve mermerler ise örtü birimleri oluşturmaktadır. Masifin en yaşlı kayaların oluşturan gnayslar genellikle gözlü ve bantlı gnayslar şeklinde görülmektedirler. Şistler ise bölgede çok geniş bir alanda bulunmaktadır. Genellikle şist ve mermerler yer yer birbirleriyle geçişli seviyeler göstermektedir. Bu çalışmada; Sivaslı İlçesinde işletilmekte olan üç mermer ocağından alınan mermer numunelerinin fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik analizleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin fiziksel özelliklerden olan birim hacim ağırlık değerlerinin 2.69 ile 2.80 gr/cm<sup>3</sup> arasında olduğu, ağırlıkça su emme oranlarının %0.17-0.32 arasında değiştiği, doluluk oranı değerlerinin ise %94.04-97.63 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sivaslı (Uşak) mermerlerinin mekanik özelliklerden olan tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 919.9-1051.1 kg/cm<sup>2</sup> arasında, hacimce sürtünme ile aşınma dayanımı değerlerinin ise 3.90 ile 4.67 cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup> arasında olduğu görülmüştür. Mineralojik-petrografik incelemeler neticesinde Sivaslı mermerlerinin CaO oranlarının %50.6-53.7 arasında değişim gösterdiği numunelerin granoblastik doku gösteren kalsit mineralleri ve daha az oranda dolomit mineralleri içerdikleri ve tane boyut dağılımlarına göre kalsit kristallerinin 68.8 µm ile 963.1 µm arasında tane boyutlarının değiştiği tespit edilmiştir.

### Anahtar Kelimeler

Doğaltaşlar;  
Mermer;  
Fiziko-mekanik özellikler;  
Sivaslı;  
Basınç dayanımı.

## Investigation of Engineering Characteristics of Marble In Sivaslı (Uşak) Region

### Abstract

In the metamorphic units in the Menderes Massif located in and around Uşak, there is an important marble potential in the districts of Karahallı, Ulubey and Sivaslı. The metamorphic units in the Menderes Massif consist of core and cover units. Gneiss forms core units, schists and marbles form cover units. The gneisses, which form the oldest rocks of the massif, are generally seen as augen and banded gneisses. Schists are found in a very large area in the region. Generally, schists and marbles show some transitional levels with each other. In this study; Physical, mechanical, chemical, mineralogical and petrographic analyzes of marble samples taken from three marble quarries operating in Sivaslı District were carried out. It was determined that the unit volume weight values, which are among the physical properties of the samples, were between 2.69 and 2.80 gr/cm<sup>3</sup>, the water absorption ratios by weight ranged between 0.17-0.32%, and the filling ratio values varied between 94.04-97.63%. It has been observed that the uniaxial compressive strength values, which are among the mechanical properties of Sivaslı (Uşak) marbles, are between 919.9-1051.1 kg/cm<sup>2</sup>, and the friction and abrasion resistance values by volume are between 3.90 and 4.67 cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup>. As a result of mineralogical-petrographic examinations, it has been determined that the CaO ratios of Sivaslı marbles vary between 50.6 and 53.7, they contain calcite minerals with granoblastic texture and lesser dolomite minerals, and according to their grain size distribution of calcite crystals vary between 68.8 µm and 963.1 µm.

### Keywords

Natural stones;  
Marble;  
Physico-mechanical properties;  
Sivaslı;  
Compressive strength.

## 1. Giriş

Çevre ile uyumlu, kendinden desenli doğal bir malzeme olması, dayanıklı ve geri dönüşümlü bir ürün olması yanında değişik beğenilere hitap eden türlerinin bulunması vb. gibi nedenlerden dolayı Türkiye’de ve Dünya’da doğal taşlara olan talep sürekli olarak artmaktadır. Artan talebe paralel olarak Ülkemizin doğal taş üretim miktarı 2013-2021 yılları arasında yaklaşık %22 artışla 18.250.681 ton miktarına ulaşmıştır (İnt. Kyn. 1); Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Ülkemizde genellikle kireçtaşı, mermer, traverten, oniks, kumtaşı, konglomera, breş, granit, siyenit, diyabaz, diyorit, serpantin, tüf, andezit ve bazalt olarak sıralanabilir. Ülkemizin mermer ve doğaltaş rezervi yaklaşık 5.1 milyar m<sup>3</sup> (13.9 milyar ton) düzeyinde olduğu belirtilmekte ve ülkemizin hemen hemen tüm coğrafi bölgelerinde mermer ve doğaltaş üretimi yapılmaktadır (Kalkınma Bakanlığı, 2018). Batı Anadolu’da Menderes Masifinde yer alan Uşak Karahallı, Sivaslı, Ulubey ve çevresinde mermer havzaları yer almaktadır. Uşak’ın toplam mermer potansiyelinin yaklaşık 1.600.000 m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilmektedir (Zafer Kalkınma Ajansı, 2012). Mezozoyik yaşlı birimler içerisinde yer alan bölge mermerleri ticari anlamda Uşak Yeşil ve Uşak Gri olarak tanımlanmaktadır (Çelik ve Kırılıveren, 2012).

Rezerv olarak bölgedeki en önemli saha Sivaslı yöresidir. Sivaslı ilçe merkezinin yaklaşık olarak 7 km doğusunda yer alan mermer yatakları yaklaşık 140 km<sup>2</sup>’lik bir alanı kaplamaktadır. Bölgedeki farklı mermer ocaklarında yılda ortalama 10.000 m<sup>3</sup> blok mermer üretimi gerçekleştirilmektedir.

Sivaslı bölgesi mermerleri renk, kristal boyutu, blok boyutu ve diğer teknolojik özellikleri bakımından Afyon İli mermerleriyle benzerlik göstermektedir. Sivaslı mermer ocaklarının Afyon mermer sanayi bölgesine sadece 130 km uzaklıkta olması da yöre mermerlerinin değerini arttırmaktadır (Aysal ve Korkanç, 2002).

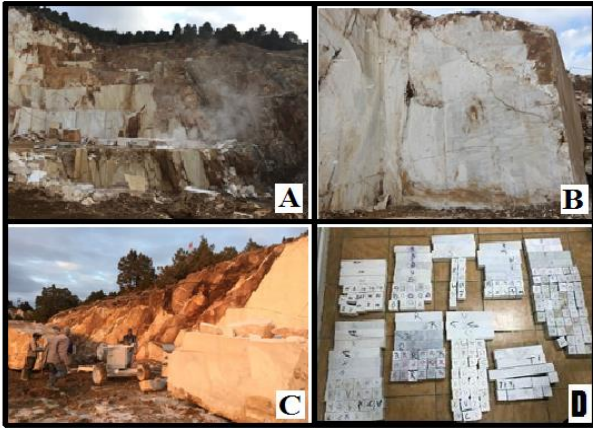
Mermerlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik benzer çalışmalar bulunmaktadır. Slovenya’nın farklı bölgelerine asit mermerlerdeki yaygın kayaç oluşturan mineral ve mineral topluluklarının belirlemek için enerji dağılımlı spektroskopi (SEM/EDS) ile taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelemeler yapılmıştır (Miller vd. 2019).

Antik çağda kullanılan Göktepe'nin (Muğla, Türkiye) beyaz ve siyah mermerlerinin orijinlerinin belirlenmesine yönelik petrografi ve mineraloji çalışmaları yapılmıştır (Brili vd. 2018). Gahirat/Pakistan Mermer yataklarının petrolojik, jeokimyasal ve jeoteknik özelliklerini değerlendirmiştir (Bukhari vd. 2023). Çalışmada, Gahirat Mermeri örneklerinin jeoteknik özelliklerini ve mermer örneklerinin petrografik analizlerini ve jeokimyasal özelliklerinin değerlendirmesini yapılmıştır. İscehisar mermerlerinin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Mermerler renk ve dokusal özelliklerine göre seviyelerine ayrılmıştır (Bağcı, 2020). Aynı şekilde antik dönemlere ait heykellerin yeniden inşasına yardımcı olacak dağınık mermer parçalarının arkeometrik sınıflandırması amacıyla, mermer parçalarının petrografik, katodoluminesans ve kararlı izotop analiz sonuçlarını kullanarak arkeolojik mermerlerin kaynak araştırmaları hakkında çalışmalar yapılmıştır (Casas vd. 2022).

Bu araştırmada; Uşak İli Sivaslı İlçesinde mermer üretimi yapılmakta olan 3 farklı mermer ocağından sağlanan numuneler mermer kesim atölyesinde TSE standartlarına uygun biçimde hazırlandıktan sonra, mermer numuneleri üzerinde yapılan bir dizi fiziko-mekanik, kimyasal ve mineralojik testlerle yöre mermerlerinin karakteristik mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ortaya konulan çıktıların bölgedeki mermer üreticilerine ve Sivaslı İlçesinde farklı lokasyonlarda mermer potansiyeli olan bölgelerde yeni yatırımların yapılması kaçınılmazdır. Bu aşamada yatırım yapacak ilgili firmalara faydalı olabilecek bilgiler sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

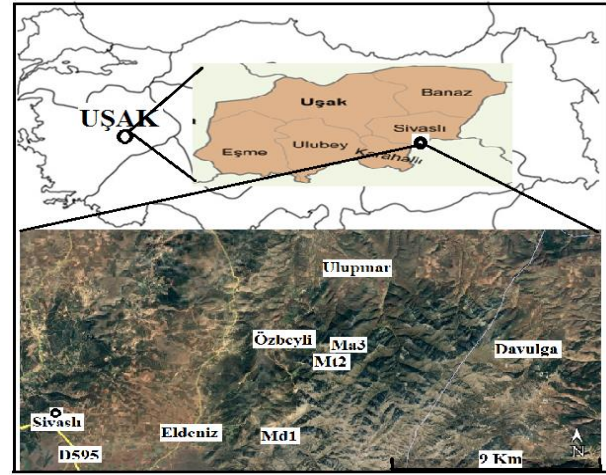
Bölgede halen üretim yapmakta olan 3 farklı mermer ocağından Md1, Mt2, Ma3 kodlu örnekler alınmıştır (Şekil 1). Bu mermer örneklerinden 1 m<sup>3</sup>'den küçük moloz parçaları şeklinde temin edilmiştir. Fiziksel ve mekanik testlerde kullanılacak şekilde ve standartlara uygun olarak küp (50x50x50 mm) ve kare prizması (50x50x300 mm) şeklinde numuneler hazırlanmıştır (Şekil 1D). Şekil 2.'de ise mermer ocaklarının yer bulduru haritası verilmiştir.



Şekil 1. Sivaslı (Uşak) mermer örneklerinin alındığı üç farklı mermer ocağına ait genel görüntüler boyutlandırılmış mermer numuneleri.

Sivaslı mermerlerinin fiziko-mekanik özellikleri TS EN standartlarına uygun yapılmıştır. Deneyler ve kullanılan standartlar Tablo 1.'de verilmiştir. Fiziksel ve mekanik testler (Tablo 1) kapsamında fiziksel ve mekanik özelliklerin her biri için altı (6) adet örnek üzerinde deneyler yapılmış, elde edilen

verilerden hesaplanan ortalama değerler sonuçların değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Fiziko-mekanik deneyler Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında yapılmıştır. P-Dalga hızı ölçümlerinde Proceq PL-200PE (54 kHz) deney cihazı kullanılmıştır. Kimyasal analizler Çanakkale 18 Mart Üniversitesinde Spectrox Sort Handheld X-Ray Spektrometresi kullanılmıştır. Mineralojik incelemeler ise TS EN 12407 (2008) standardına uygun olarak AKU Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Leica marka DM 2500P model (Çapraz Nikol (NX) 500 ve 1000 büyütme) mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD çekimleri Bruker Marka D8 Advance cihazı kullanılarak ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) elde edilmiştir.



Şekil 2. Yer bulduru haritası ve mermer örneklerinin alındıkları lokasyonlar.

Tablo 1. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen fiziko-mekanik testler ve kullanılan standartlar

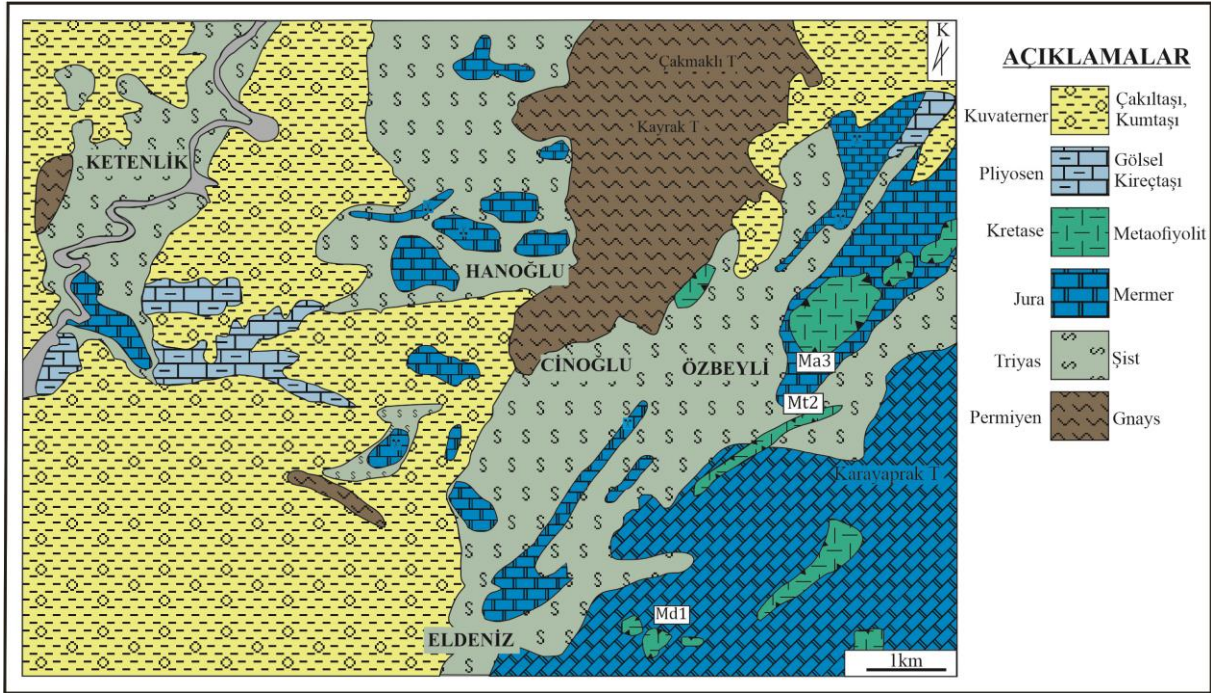
Fiziksel Testler		Mekanik Testler	
Birim hacim ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	TS EN 1936 (2010)	Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)	TS EN 1926 (2000)
Gerçek yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )		Eğilme dayanımı (Mpa)	TS EN 13161 (2009)
Görünür ve toplam porozite (%)		Darbe direnci (Mpa)	TS EN 14158 (2004)
Atmosfer basıncı altında su emme (%)	TS EN 13755 (2014)	Nokta yükleme dayanımı (Mpa)	ISMR, 1985
P-dalga hızı (km/sn)	TS EN 14579 (2006)	Schmidth sertlik	ISMR, 1981
		Böhme aşınma dayanımı (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )	TS EN 14157 (2005)

### 3. Bulgular

#### 3.1 İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanının temel kayaçlarını Menderes Masifinin çekirdek serisini oluşturan ince taneli gnayslar ile örtü serisini oluşturan şistler oluşturmaktadır. Mermerler bu birimlerin üzerinde yer alır. Masifin çekirdek serisi Paleozoyik yaşlı, örtü serisi ise Permiyen-Triyas yaşlıdır (Aysal ve Korkaç, 2002; Ketin, 1983). İnceleme alanında Jura yaşlı dolomitik kireçtaşları uyumsuz olarak örtü şistlerin üst seviyelerinde yer almaktadır. Tektonik dokanakla metaofiyolit birimler ise bu

formasyonların üzerine gelirler. Neojen ve karasal ortamlarda oluşan birimler inceleme alanının en genç stratigrafik birimlerini oluşturur. Sivaslı bölgesi mermerleri stratigrafik olarak aşağıda özellikleri verilen seviyelerinden oluşmaktadır. Eldeniz mermerleri; şist ve kuvarsitler içerisinde bant ve mercek formlarında bulunmaktadır. Mermerler kalın tabakalı ve oldukça masif görünümlüdür. Mermerler bölgede geniş alanlarda; Hanoğlu, Ketenlik ve Eldeniz çevresinde yayılım göstermektedir (Şekil 3; Şekil 4). Boduşdamı formasyonu içinde gözlenen mermerler gri, beyaz ve yeşil renklidir (Ayhan, 1973; Kibici vd. 1992).



Şekil 3. İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Aysal ve Korkaç, 2002'den değiştirilerek alınmıştır).

#### 3.2 Sivaslı Mermerlerinin Fiziksel Özellikleri

Akçakoca vd. (2003), mermerlerin birim hacim ağırlığı değerlerinin 2.2-3.2 gr/cm<sup>3</sup> arasında değiştiğini, gerçek mermerlerin ortalama 2.70 gr/cm<sup>3</sup> birim hacim ağırlığında olduğunu belirtmektedir. Tablo 2.'de görüleceği üzere Sivaslı mermerlerinin hacim hesaplama görüleceği üzere

Sivaslı mermerlerinin hacim hesaplama değerleri, nakliye işlemlerinde kullanılan ortalama birim hacim ağırlık değerleri olarak alınmakta ve bu değerler 2.69 gr/cm<sup>3</sup>-2.80 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişim göstermektedir.

Zaman	Devir	Birim	Litoloji	Açıklamalar
SENEZOYİK	Kuvaterner	Alüvyon		Alüvyon, kum, çakıl
	Pliyosen- Holosen	Asarteppe Formasyonu		Blok ve çakıl parçaları olan çakıltaşı, üstte doğru lokal kireçtaşı mercekleri
		Ulubey Formasyonu		Kireçtaşı, kum, silt ve yer yer kil, kum, silt ve linyit seviyeleri, gözlenmektedir.
MESOZOYİK	Kretase	Özbeyle Metaofiyoliti		Serpantin, metabazalt, tremolit-aktinolit şistleri oluşur.
	Jura	Burgazdağ Formasyonu		Gri, mavimsi-beyaz renkli dolomitik mermer, kireçtaşı
	Permiyen-Triyas	Boduşdamı Formasyonu	Kavacık şist-mermer	
Sivaslı Formasyonu		Eldeniz Mermer Üyesi		Fillat, kuvarsit-muskavitsit, serizitit, üst seviyelerine doğru mermer mercekleri ve blokları içermektedir. Beyaz renkli iri kristalli mermer
PALEOZOYİK	Permiyen Öncesi	Kayraktepe Formasyonu		İnce taneli, yer yer gözlü ve bantlı gnays

Şekil 4. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Aysal ve Korka, 2002'den değiştirilerek alınmıştır).

Tablo 2. Uşak-Sivaslı mermerlerinin fiziksel özellikleri

	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Gerçek Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Su Emme (Ağırlıkça) (%)	Görünür Porozite (%)	Doluluk Oranı (%)	P-Dalga Hız (km/sn)
<b>Md1</b>	2.69	2.758	0.32	0.87	97.42	4.18
<b>Mt2</b>	2.80	2.824	0.17	0.48	97.63	4.19
<b>Ma3</b>	2.77	2.891	0.27	0.74	94.04	4.17

Numunelerin gerçek yoğunluk değerleri piknometre yöntemi ile belirlenmiş ve 2.758 gr/cm<sup>3</sup> -2.891 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişim sunan bu değerler Sivaslı (Uşak) mermerlerinin gerçek yoğunluğunu temsil etmektedir. (Tablo 2). Doğal taşlarda su emme oranının yüksek olması porozite değerinin yüksek, gözenek ve çatlakların fazla, ayrışma miktarının fazla olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca, su emme değeri düşük olan kayaçların basınç direnci ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri daha büyük olmaktadır. Ayrıca, doğal taşların uygulamalarda yapıların dış cephe kaplama işlemlerinde kullanılabilmesi için su emme değerlerinin oldukça düşük seviyelerde olması istenmektedir. Sivaslı mermerlerinin ağırlıkça su emme oranları %0.17-0.32 arasında değişmektedir. Bilindiği gibi porozite oranı büyüdükçe doğal taşların ekonomik değeri (atmosferik etkilere karşı dayanım özelliğinin azalacağından dolayı) zıt olarak vektörel olarak azalmaktadır. Akçakoca vd. (2003), iyi kaliteli mermerlerin porozitelerinin %0,0002-0,5 arasında değiştiğini ifade etmektedirler. Sivaslı mermerlerinin % porozite oranı yükseldikçe su emme oranları vektörel anlamda paralel bir artış göstermektedir. Bu değerlendirmeler kapsamında görünür porozite değeri yüksek olarak belirlenen Md1 örneğinde su emme değeri de diğer iki örneğe göre en büyük değer olarak (%0.32) tespit edilmiştir (Tablo 2). Ayrıca, porozite oranı daha düşük olan Mt2 örneğinin (%0.17) tek eksenli basınç dayanımı değeri (1051.1kg/cm<sup>2</sup>; Tablo 5) diğer numunelere göre daha yüksektir. Moos ve Quervain (1948)'in Tablo 3.'de gösterilen mermer ve doğal taşların % porozite sonuçlarına göre Sivaslı mermerleri "Çok Kompakt" kayaç grubu sınıfında yer almaktadır.

**Tablo 3.** Doğaltaşların % porozite oranlarına göre sınıflandırılmaları (Moos ve 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

Doğal taşlarda doluluk oranı, 105°C'de sabit değişmez kütleye kadar kurutulmuş taşın gözenekleri hariç dolu hacminin, boşlukları dahil tüm hacmine oranı şeklinde hesaplanmaktadır. Tablo 2. 'de görüldüğü gibi hesaplardan elde edilen Sivaslı mermerlerinin doluluk oranı %94.04-97.63 arasında değişim göstermektedir. % 0.48 düşük Porozite değeri veren Mt2 kodlu mermerin doluluk oranı ise %97.63 değeri ile oldukça yüksektir. Sivaslı mermerlerinin P-dalga hızı değerleri 4.17-4.19 Km/sn arasında değişmektedir. Bilindiği üzere kayaçlarda sonik dalga hızı geçişleri kayaçların gözeneklilik (boşluk) oranlarıyla ilişkilidir. Porozitesi düşük olan mermerlerin P-dalga hızı yüksek olmaktadır. Çalışmada porozite değeri en düşük olan Mt2 kodlu numunenin P-dalga hızının en büyük olduğu (4.19 Km/sn) tespit edilmiştir. Matula vd. (1979)'ne göre P-dalga hızı değerlendirme ölçütlerine göre (Tablo 4) Sivaslı mermerleri 4-5 km/sn arasında değişen P-dalga hızı verilerine göre "Yüksek Hız" grubunda yer almaktadır.

**Tablo 4.** Kayaçların P-Dalga hızı değerlerine göre sınıflandırılmaları (Matula vd., 1979).

Sınıf	P-Dalga Hızı Değeri	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

Bir mineralin rengi ile yapı, doku ve kimyasal bileşim arasında çok yakın bir ilişki bulunmaktadır (Kibici ve diğ., 2001). Bu çalışmada, polarizan mikroskop incelemelerinde Mt2 kodlu mermerlerde koyu renkli epidot, hornblend gibi minerallerin varlığı tespit edilmiştir. Ma3 ve Md1 kodlu mermerlerde ise daha çok kalsit, az oranda dolomit gibi açık renkli mineraller belirlenmiştir. Koyu renkli minerallerin yoğun olduğu Mt2 kodlu mermerlerin Ma3 ve Md1 kodlu mermer örneklerine göre, birim hacim ağırlığı, doluluk oranı ve P-dalga hızı değerlerinin kısmen daha yüksek; görünür porozite ve su emme değerlerinin ise daha düşük olduğu gözlenmiştir.

### 3.3 Sivaslı Mermerlerinin Mekanik Özellikleri

Tek eksenli basınç dayanım değerlendirmeleri kayaların kırılmadan önce üzerine uygulanan basınca karşı dayanma yeteneğini yansıtmaktadır. Kayaların bu yeteneği kristal durumuna, poroziteye, CaCO<sub>3</sub> miktarına ve yabancı madde içeriğine göre farklılık göstermektedir (Aysal ve Korkanç, 2002). Porozitenin artması kayacın dayanım özelliğini azaltmaktadır. Tablo 5'te yer alan hesaplamalarda Sivaslı (Uşak) mermerlerinin

tek eksenli basınç dayanımı değeri 919.9-1051.1 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Porozite (boşluk) değeri en düşük olan Mt2 örneğinin tek eksenli basınç dayanımı diğer iki numuneye göre daha büyük değerler vermiştir. Deere ve Miller (1966) doğal taşları tek eksenli basınç dayanımı değerlerine göre sınıflandırılmışlardır (Tablo 6). Bu sınıflandırma ölçütleri dikkate alındığında Sivaslı mermerlerinden Ma3 "Orta Dirençli" kaya grubunda, Md1 ve Mt2 kodlu numuneler ise "Yüksek Dirençli" kaya grubunda yer almaktadır.

**Tablo 5.** Uşak-Sivaslı mermerlerinin mekanik özellikleri

	<b>Tek Eksenli Basınç Dayanımı</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>Eğilme Dayanımı</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>Darbe Dayanımı</b> (kg.cm/cm <sup>3</sup> )	<b>Nokta Yük Dayanımı</b> (Mpa)	<b>Schmidt Sertliği</b>	<b>Böhme Aşınma Dayanımı</b> (cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> )
<b>Md1</b>	1014.7	225.13	28.0	3.33	27.25	4.37
<b>Mt2</b>	1051.1	239.59	18.8	2.78	27.60	4.67
<b>Ma3</b>	919.9	193.93	12.4	1.89	26.20	3.90

Bilindiği üzere mermerlerin kullanımı genellikle belirli boyutlarda ve kalınlıklarda kesilen plakalar şeklinde uygulanmaktadır. Mermerlerin plaka kalınlığının ve boyutunun, destek noktaları arasındaki mesafe hesabında mermerlerin eğilme dayanımı değerleri kullanıldığından eğilme dayanımı verileri önemli bir parametredir (Şentürk vd., 1996). Tablo 5'te yer alan Sivaslı mermerlerinin eğilmeye karşı dayanım değerleri 193.93-239.59 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmekte ve eğilme dayanımları arttıkça basınç dayanımları da doğrusal olarak artış göstermektedir.

**Tablo 6.** Doğaltaşların tek eksenli basınç dayanım değerlerine göre sınıflandırılmaları (Deere ve Miller, 1966).

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

Doğal taşların, darbe dayanımı değerlerinin yüksek olması, onların zemin döşeme işlemlerinde ve iç-dış kaplama uygulamalarında kullanılmalarına olanak sağlanmaktadır. Mermerlerinin darbe dayanımı değerleri 12.4-28.0 kg.cm/cm<sup>3</sup> arasındadır. Md1 kodlu mermerin diğer iki mermer türüne göre darbelere karşı dayanım yönünden avantajlı olduğu görülmektedir. Sivaslı mermerlerinin, doğal taşların nokta yük değerlerine göre gruplandırılması veya tek eksenli basınç dayanım değerlerinin tahmin edilmesi için yapılan nokta yük dayanımı değerlerinin ortalaması 1.89-3.33 MPa arasında değişmektedir (Tablo 5). Bieniawski (1975), doğal taşları nokta yük dayanımı değerlerine göre gruplandırmıştır. Buna göre Ma3 mermeri "Düşük Dirençli" kaya sınıfında yer alırken, Md1 ve Mt2 mermerleri "Orta Dirençli" kaya sınıfındadır (Tablo 7). Ma3 kodlu numunenin nokta yük dayanımı değeri tek eksenli basınç dayanımı değeriyle uyumlu olarak diğer iki yöre mermerlerine göre daha düşüktür.

**Tablo 7.** Doğaltaşların nokta yük dayanımı değerlerine göre sınıflandırılmaları (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

Schmidt sertlik değerleri 26.20-27.60 arasında olup değerler birbirine yakındır. Mermerlerde SiO<sub>2</sub> miktarı arttıkça sertlik değerleri de yükselmektedir. Kimyasal analiz değerlendirme bölümü Tablo 9 verilerinde Sivaslı mermerlerinin SiO<sub>2</sub> içerikleri birbirine yakın ve %0.19-0.71 arasında değişim göstermektedir. SiO<sub>2</sub> içeriklerinin yakın olması Schmidt sertlik değerlerinin de (26.20-27.60) birbirine değerler göstermesine sebep olduğu düşünülmektedir. Tablo 8.'de verilen Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM, 1981) tarafınca ortaya konan değerlendirme ölçütlerine göre Sivaslı mermerleri "Yumuşak" kaya sınıfında yer almaktadır.

**Tablo 8.** Doğaltaşların schmidt sertlik değerlerine göre sınıflandırılması (ISRM, 1981).

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

**Tablo 9.** Sivaslı (Uşak) mermerlerinin kimyasal analiz sonuçları (%).

	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%K.K
<b>Md1</b>	53.7	2.06	0.16	0.71	0.063	0.026	0.015	0.14	0.047	43.02
<b>Mt2</b>	52.1	2.29	0.16	0.19	0.08	0.06	0.015	0.095	0.039	44.89
<b>Ma3</b>	50.6	1.76	0.13	0.49	0.11	0.04	0.015	0.14	0.038	46.67

Aşınma dayanımı, mermerlerin kalınlıklarında veya hacimlerinde aşındırıcı maddeler ile oluşturulmaya çalışılan kayba karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir. Yaya trafiğinin fazla olduğu taban döşemelerinde ve merdiven basamaklarında kullanılacak mermer plakalarında oluşabilecek aşınma kayıplarının önceden belirlenmesi için uygun kayaç seçimi açısından oldukça önemlidir. Mermerlerin aşınma dayanım değeri düştükçe, ekonomik değerleri o derecede artmaktadır (Akçakoca vd., 2003). Tablo 5.'den görüleceği gibi Sivaslı (Uşak) mermerlerinin hacimsel aşınma dayanımı değerlerinin ortalaması 3.90-4.67 cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup> arasında olup bu değer göz önüne alındığında Ma3 kodlu mermerin taban döşeme uygulamalarında avantajlı olduğu görülmektedir.

### 3.4 Sivaslı Mermerlerinin Kimyasal Özellikleri

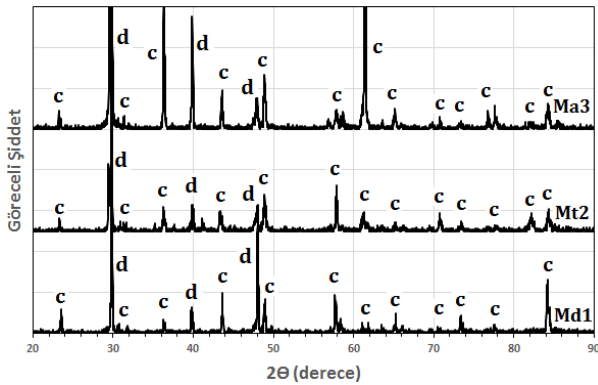
Sivaslı mermerlerinin kimyasal oksit içerikleri % oksit cinsinden belirlenmiş ve bu değerler Tablo 9'da verilmiştir. Yöre mermerlerinin kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde bariz bir bileşim farklılığının olmadığı görülmektedir. Numunelerin oksit içerikleri incelendiğinde en yüksek değerlerin CaO bileşimine ait olduğu görülmektedir. Mermerlerin CaO içeriklerinin %50.6-53.7 arasında değişim gösterdiği ve CaCO<sub>3</sub> bileşimlerinin de %90.31-95.84 arasında olduğu tespit edilmiştir.



### 3.5 Sivaslı Mermerlerinin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

#### 3.5.1 X-Işınları Difraktoğramı (XRD) Analizi

Sivaslı mermerlerinin XRD analiz sonuçları Şekil 5’de verilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre Sivaslı mermerlerinin esas mineral içeriği kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), olmakla beraber daha az oranda dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) içerdikleri görülmektedir. XRD sonuçları ile kimyasal analiz sonuçları uyumludur. Kimyasal analiz sonuçlarında belirlenmiş olan %1.76-2.06 arasındaki MgO içeriği mermerlerin dolomit ihtiva etmesinin bir göstergesidir.



Şekil 5. Uşak-Sivaslı mermerlerinin xrd analizleri(c:Kalsit; d:Dolomit).

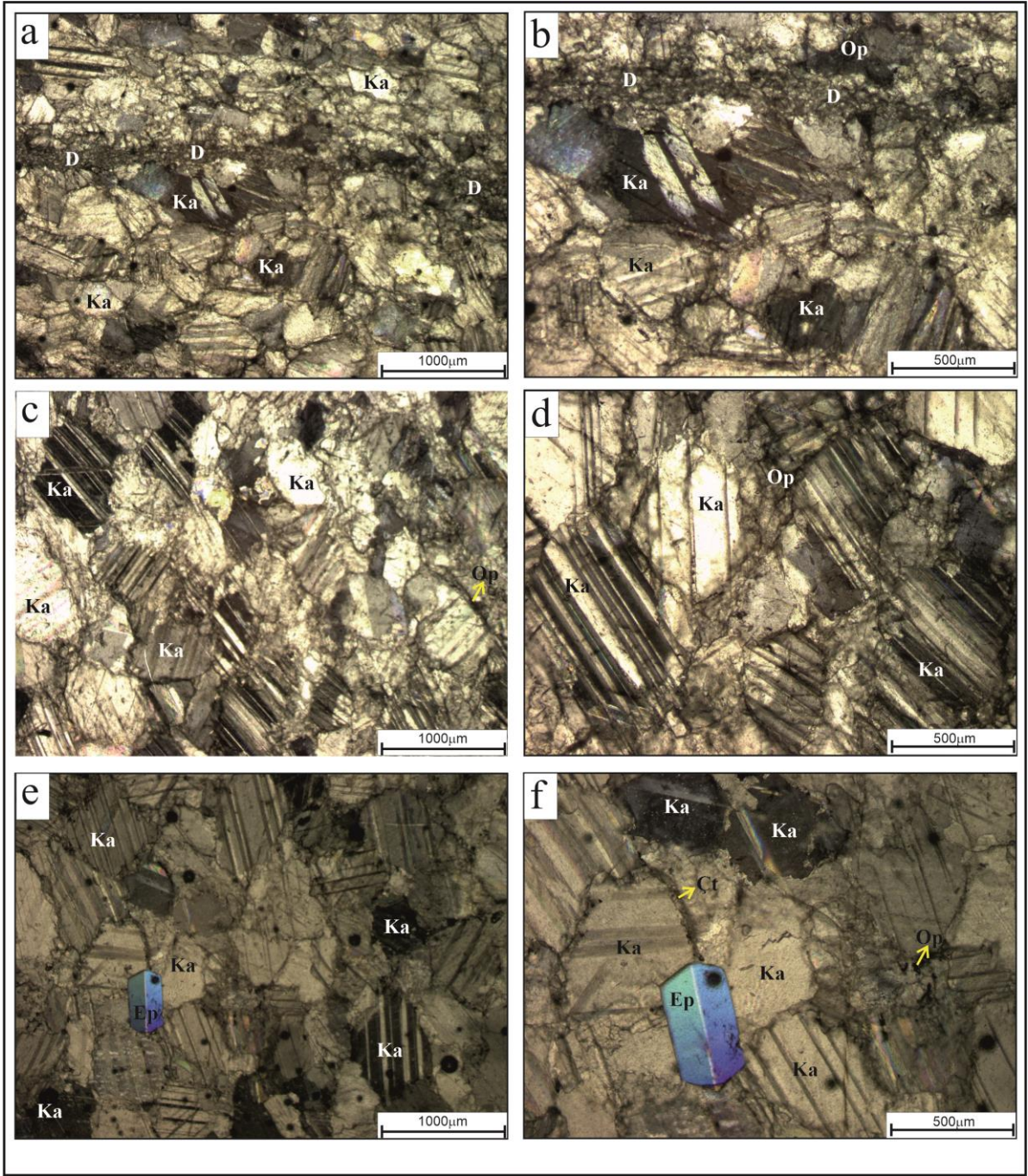
#### 3.5.2 Polarizan Mikroskop Analizi

Mermer numuneleri üzerinde gerçekleştirilen mineralojik-petrografik incelemelerle; Uşak-Sivaslı mermerlerinin ana mineral olarak granoblastik doku gösteren kalsit mineralleri yanında daha az oranda dolomit ve çok az oranda ise epidot mineralleri içerdiklerini görülmüştür. Polarizan mikroskop incelemeleri genel hatlarıyla XRD sonuçlarıyla uyumludur. Şekil 6a ve 6b’den görüleceği üzere Ma3 kodlu Sivaslı mermeri polisentetik ikizlenme gösteren kalsit minerallerinden oluşmaktadır. Ma3 mermerinde yer yer mikro kalınlıklara sahip ince tane boyutlu sekonder (ikincil) dolomit bantları gözlenmektedir. Kalsit tanelerinde çok düşük oranda alterasyon etkileri görülmekte olup ayrıca opak minerallerinin kılcal çatlaklara yerleştiği belirlenmiştir. Md1 kodlu Sivaslı mermerinin ana bileşen minerali

kalsittir. Kalsit kristalleri sınır hatlarının Ma3 örneğiyle kıyaslaması yapıldığında daha düzgün sınır hatlarına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum Md1 kodlu mermerin alterasyon süreçlerinden fazla etkilenmediği anlamına gelmektedir (Şekil 6c ve 6d).

Ayrıca, Md1 kodlu mermerde polisentetik ikizlenmenin çok iyi gelişmiş olduğu belirlenmiştir. Md1 numunesinin bazı kesimlerinde belirlenen mikro ölçek boyutunda gözlenen çatlakları opak mineralleri doldurmaktadır. Polarizan mikroskop incelemeleri ile Mt2 kodlu Sivaslı mermerinin ana mineralin kalsit ve çok az oranda epidot kristallerinden oluştuğu görülmektedir. Kalsit kristallerinin tane sınır ilişkileri incelendiğinde Md1 mermerine benzer şekilde tane sınır hatlarının oldukça düzgün olduğu görülmektedir. Mt2 mermerinde granoblastik doku baskın olup polisentetik ikizlenme iyi derecede gelişmiştir (Şekil 6e ve 6f). Genel olarak, Sivaslı (Uşak) bölgesinden alınan mermer örneklerinde kalsit tanelerinin ana bileşeni oluşturduğu polisentetik ikizlenmenin Mt2 kodlu mermerde daha iyi geliştiği, Md1 ve Mt2 kodlu mermerlerinin ayrışmadan fazla etkilenmediği ve bu mermerlerde taneler arasındaki sınır ilişkilerinin düzgün ve tane sınırlarının belirgin olduğu saptanmıştır. Md1 ve Mt2 kodlu mermerlerinin alterasyondan fazla etkilenmemiş olmasına bağlı olarak bu iki mermerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri diğer Ma3 mermerine nazaran daha yüksek değerler vermiştir.

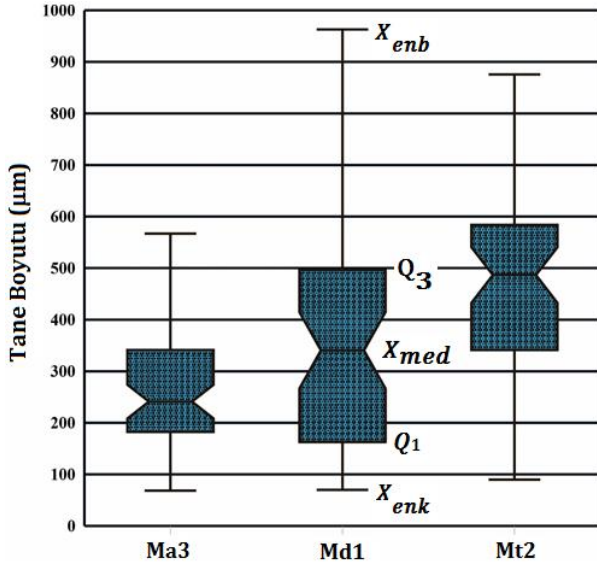
Bilindiği gibi kutu grafiği yönteminde elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan beş veri [ $X_{enk}$ (en küçük gözlem değeri),  $Q_1$ (birinci çeyrek),  $X_{med}=Q_2$ (medyan veya ikinci çeyrek),  $Q_3$ (üçüncü çeyrek),  $X_{enb}$ (en büyük gözlem değeri)] grafiksel olarak gösterilmektedir. Şekil 7.’de Uşak-Sivaslı mermerlerinde kalsit mineralinin tane büyüklüğü dağılımının kutu grafiği yöntemi ile gösterimi verilmiştir. Sivaslı mermerlerinin kutu grafiği çiziminde kullanılan 5 veri değerlerine göre hesaplanan kalsit tanelerinin aritmetik ortalaması ( $X_{A0}$ ) Tablo 10.’da görülmektedir.



Şekil 6. Polarizan Mikroskop görüntüleri (a-b) ma3 kodlu mermer, (c-d) md1 kodlu mermer, (e-f) mt2 kodlu mermer (Ca:Kalsit, Çt:Çatlak, Op:Opak Mineral, D:Dolomit, Ep:Epidot).

Tablo 10. Kutu grafiği çizimi için gerekli 5 veri ve aritmetik ortalama değerleri.

	$X_{enk}(\mu\text{m})$	$Q_1(\mu\text{m})$	$X_{med}=Q_2(\mu\text{m})$	$Q_3(\mu\text{m})$	$X_{enb}(\mu\text{m})$	$X_{AO}(\mu\text{m})$
<b>Ma3</b>	68.8	182.9	241.3	339.2	567.0	262
<b>Md1</b>	70.1	163.1	340.6	495.1	963.1	357
<b>Mt2</b>	89.7	344.3	486.7	583.9	875.6	457



Şekil 7. Sivaslı mermerlerinin kalsit tane boyu dağılımlarının kutu grafiği diyagramı.

Numunelerde kalsit tanelerinin tane iriliklerinin en büyük gözlem değeri ( $X_{enb}$ ) ile en küçük gözlem değeri ( $X_{enk}$ ) arasındaki farkla hesaplanan ( $R=X_{enb}-X_{enk}$ ) açıklık değerleri yani dağılım aralığı Ma3 için  $498.2\mu\text{m}$ , Md1  $893\mu\text{m}$  ve Mt2 için ise  $785.9\mu\text{m}$ 'dir. Buradan Ma3 kodlu numunede kalsit tanelerinin tane iriliklerinin birbirine daha yakın olduğu anlaşılmaktadır. Kutu grafiklerinde kutunun uzunluğu ( $Q_3-Q_1$ ) ile hesaplanmaktadır. Kutu ne kadar uzun olursa veriler o kadar çok dağılmış demektir. Şekil 7'de görüldüğü ve Tablo 10'da yer alan değerlerden hesaplanabileceği üzere kutu uzunluk sıralaması Ma3 ( $156.3\mu\text{m}$ ) <Mt2 ( $239.6\mu\text{m}$ ) <Md1 ( $332\mu\text{m}$ ) şeklindedir. Kutu uzunluğundan da Ma3 mermerinin kalsit taneleri irilik dağılımlarının daha homojen olduğu tespit edilmektedir. Kalsit tanelerinin medyan yani ortanca değerleri ( $X_{med}$ ) Ma3, Md1 ve Mt2 kodlu numuneler için sırasıyla;  $241.3\mu\text{m}$ ,  $340.6\mu\text{m}$  ve  $486.7\mu\text{m}$ 'dir. Tanelerin aritmetik ortalaması ise ( $X_{AO}$ ) Ma3, Md1 ve Mt2 örneklerinde sırasıyla  $262\mu\text{m}$ ,  $357\mu\text{m}$  ve  $457\mu\text{m}$  şeklindedir. Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi Ma3 kodlu numunenin daha ince kalsit tanelerine sahip olduğu görülmektedir. Kun (2000)'in kriterlerine göre Sivaslı mermerleri çok ince taneli ( $<100\mu\text{m}$ ) ve ince taneli ( $100-2000\mu\text{m}$  arasında) mermer sınıfında yer almaktadır. Kun (2000), çok ince taneli ( $<100\mu\text{m}$ ) mermerlere örnek olarak "Afyon Mermerlerini" ince taneli ( $100-2000\mu\text{m}$  arasında)

mermerlere ise "Muğla/Milas Mermerlerini (Avrupa Beyazı)" örnek vermiştir. Yapılan bu çalışmada ise Sivaslı bölgesi mermerlerinin tane boyutlarına göre Afyon ve Muğla/Milas mermerlerine benzerlik gösterdiği görülmüştür.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Sivaslı mermerlerinin hacim hesaplamalarında kullanılan ve önemli fiziksel özelliklerden biri olan birim hacim ağırlık değerleri  $2.69-2.80\text{ gr/cm}^3$  arasındadır. Mermerlerinin ekonomik değerinin göstergelerinden biri olan görünür porozite değeri  $\%0.48-0.87$  arasında olup uluslararası kullanılan sınıflandırma kriterlerine göre Sivaslı mermerleri "Çok Kompakt" kayaç grubunda yer almaktadır. Düşük poroziteli Sivaslı mermerlerinin doluluk oranı ise  $\%97$  değerine kadar ulaşmaktadır. Mt2 kodlu mermer örneklerinde yapılan polarizan mikroskop incelemelerinde özellikle kalsit kristal sınırları boyunca yer yer öz şekilli epidot kristallerinin varlığı gözlenmiştir (Şekil 5e-f). Buna bağlı olarak Mt2 mermerinin Sivaslı'da yer alan diğer iki mermer türüne göre birim hacim ağırlığı, doluluk oranı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi önemli fiziko-mekanik değerlerinin daha büyük; görünür porozite ve buna bağlı olarak su emme değerlerinin ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı değeri Sivaslı (Uşak) mermerleri için  $919.9-1051.1\text{ kg/cm}^2$  arasında değişmektedir. Beklendiği üzere porozite değeri en düşük olan Mt2 kodlu numunenin basınç dayanımı diğer iki bölge mermerine göre daha yüksektir. Doğal taşların tek eksenli basınç dayanımı değerlerine göre sınıflandırılma kriterleri dikkate alındığında yöre mermerlerinden Ma3 kodlu mermer "Orta Dirençli", Md1 ve Mt2 kodlu mermerler ise "Yüksek Dirençli" kaya grubu sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda, mermerlerin tane boyu değerleri ile tek eksenli basınç dayanım değerleri arasında genellikle, tane boyu ince olan mermerlerin tek eksenli basınç değerlerinin yüksek, tane boyutu iri olan mermerlerin ise tek eksenli basınç değerlerinin düşük olduğu belirtilmektedir (Gezen Z, 2013; Yavuz ve diğ.,

2002). Fakat mermerlerde gözlenen alterasyon etkisi ve mineralojik bileşimde gözlenen farklılıklarda tek eksenli basınç dayanım değerlerini düşürdüğü bilinmektedir. Sivaslı bölgesi mermerlerinde alterasyon etkisinin Ma3 kodlu mermer örneklerinde gözlenmiştir. Ayrıca Mt2 kodlu mermer örneklerinde ise kalsit minerallerinden başka kısmen epidot ve amfibol gibi minerallerin varlığı görülmüştür. Bu çalışmada, en düşük tane boyutuna sahip Ma3 (241.3µm) kodlu mermerlerin basınç dayanım değeri (919.9 kg/cm<sup>2</sup>) diğer mermer örneklerine göre (Mt2 (1051.1 kg/cm<sup>2</sup>, Md1 1014 kg/cm<sup>2</sup>) daha düşük olması alterasyon etkisinden kaynaklanmaktadır.

Sivaslı mermerlerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre en yüksek oksit değerleri %50.6-%53.7 arasında CaO'de görülmüştür. CaO değerlerinin yüksek çıkmasının sebebi Sivaslı mermerlerinin ana mineral bileşeni kalsit minerali (CaCO<sub>3</sub>) oluşturmasına bağlıdır. Mermerlerin sertliklerini bileşimlerinde bulunan silikat bileşimindeki mineral içerikleri yakından etkilemektedir. Sivaslı mermerlerinde SiO<sub>2</sub> değerleri %0.19-%0.71 arasında değişmektedir. SiO<sub>2</sub> değerlerinin mermer örneklerinde çok yakın olduğu görülmüştür. Mermer örnekleri üzerinde Schmidt sertlik deneyi yapılmıştır. Schmidt sertlik deney sonuçları incelendiğinde sonuçların 26.20-27.60 arasında değiştiği belirlenmiştir. Benzer şekilde Schmidt sertlik değerleri de birbirine yakın çıkmıştır. Buna göre SiO<sub>2</sub> içerikleri Schmidt sertlik değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermiştir. Sivaslı mermer örneklerinde özellikle Mt2 ve Md1 kodlu örneklerde kısmen dolomit varlığına işaret eden MgO içerikleri %1.76-%2.29 arasında değişmektedir. Ayrıca, mermerlerde % MgO oranı arttıkça % CaO oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Uşak ilinin faklı bölgelerinde işletilen Ulubey-Uşak mermerlerinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerlerini 873 kg/cm<sup>2</sup> Çelik vd. (2021) ve Karahallı-Uşak mermerlerinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerleri ise 938 kg/cm<sup>2</sup> olarak Alperen vd. (2022) belirlemişlerdir. İnce taneli mermer sınıfında yer alan Sivaslı-Uşak mermerlerinin tek eksenli basınç dayanımı

değerleri (üç ocağın ortalaması 995 kg/cm<sup>2</sup>) diğer iki (Karahallı ve Ulubey) Uşak İli İlçeleri mermerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma ile Sivaslı (Uşak) İlçesi mermerlerinin fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri ortaya konulmuştur. Bu bilgilerin, Uşak ilinin mermer üretimi gerçekleştirilen önemli ilçelerinden olan Sivaslı'da gerek üretim yapmakta olan gerekse yeni yatırım yapabilecek firmalara faydalı olacağı açıktır.

## 5.Kaynaklar

- Ayhan, M., 1973. Gördes Migmatitleri, *MTA Dergisi*, **81**,132-135.
- Alperen, A.N., Çelik, H., ve Bağcı, M., 2022. Uşak-Karahallı Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Mineralojik-Petrografik Özellikleri ile Birlikte Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **22** (4), 911-924.
- 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.
- Aysal, N. ve Korkanç, 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.
- Brilli, M., Lapuente Mercadal, M.P., Giustini, F., Royo Plumed, H., 2018. Petrography and mineralogy of the white marble and black stone of Göktepe (Muğla, Turkey) used in antiquity: New data for provenance determination. *J. Archaeol. Sci. Rep.*, **19**, 625-642.

- Bukhari, S.A.A., Basharat, M., Janjuhah, H.T., Mughal, M.S., Goher, A, Kontakiotis, G, vasilatos C., 2023. Petrography and Geochemistry of Gahirat Marble in Relation to Geotechnical Investigation: Implications for Dimension Stone, Chitral, Northwest Pakistan, *Appl. Sci.*, **13**, 1755.
- Casas, L, Difebo, R, Ruiz J.C, Brrili, M, Antonelli, F, Martin, J.D.M. 2022. Archaeometric classification of scattered marble fragments to help the reconstruction of statues, *Minerals*, **12**, 1614.
- Çelik, H., Alperen, A.N., ve Bağcı, M., 2021. Ulubey (Uşak) Beyaz Mermerlerinin Fiziko-Mekanik, Kimyasal ve Mineralojik-Petrografik Özelliklerinin Araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **23 (69)**, 857-866.
- 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. ve Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report, AFWLTR-65-116, University of Illinois.
- Gezen, Z., 2013. Kristal boyutunun mermerlerin malzeme özellikleri ile durabiliteleri üzerindeki etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, yayınlanmamış, İzmir, 185.
- 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.
- Ketin. İ., 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, İTÜ Yayınları. Sayı. 1259, İstanbul.
- 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., Mutlutürk, M., 2001. An Investigation on the Petrographical and Physico-Mechanical Properties of the Marbles from Karahallı, Uşak-Turkey, *4<sup>th</sup> International Symposium Eastern Mediterranean Geology, Isparta*, 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.
- Miller, M, Masera, T, Zupancic, N, Jarc, S., 2019. Characteristics of minerals in Slovenian marbles, *Geologija* **62/2**: 175-187.
- Moos, A. Ve 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.
- Şentürk A., Gündüz L., Tosun Y., İ. ve Sarıışık A., 1996. Mermer Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- Zafer Kalkınma Ajansı, 2012. TR33 Bölgesi Mevcut Maden Kaynakları ve Stratejiler, Kütahya.
- 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.

Yavuz, A.B, Türk, N, Koca, M.Y., 2002. Muğla yöresi  
mermerlerinin, mineralojik, kimyasal, fiziksel ve  
mekanik özellikleri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, **26**,  
**(1)**,1-18.

#### ***İnternet kaynakları***

1-[https:// www .enerji.gov.tr/](https://www.enerji.gov.tr/) (28.01.2023).