

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

UŞAK YÖRESİ DOĞAL YAPI TAŞLARININ FİZİKO-MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞE NUR ALPEREN

AĞUSTOS 2021

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

UŞAK YÖRESİ DOĞAL YAPI TAŞLARININ FİZİKO-MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞE NUR ALPEREN

UŞAK 2021

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

AYŞE NUR ALPEREN



UŞAK YÖRESİ DOĞAL YAPI TAŞLARININ FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ayşe Nur ALPEREN

UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2021

ÖZET

Bu çalışmada, Uşak İlinde bulunan Ulubey, Karahallı ve Sivaslı İlçelerinde işletilmekte olan 9 adet mermer ocağından alınan “Uşak Beyaz- Uşak Yeşil” mermerlerine ait blok boyutundaki numuneler önce mermer kesme atölyesinde TSE standartlarına uygun olarak hazırlanmış, sonrasında yine ilgili standartlara göre gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları ile fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik-petrografik özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu özelliklerin TS 1910, TS 2513 ve TS 10449 standart değerleri ile karşılaştırılması yapılarak doğal yapı taşı olarak kullanım yerleri belirlenmiş, kullanım yerlerine uygun olup olmadıkları saptanmıştır. Her bir fiziko-mekanik özellik için 5'er adet numune üzerinde deneyler yapılmış, elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları sonuçların değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Uşak mermerlerinde yapılan mineralojik-petrografik incelemelere göre mermerlerin granoblastik doku gösteren iyi gelişmiş polisentetik ikizlenmeye sahip kalsit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Kalsit minerallerinde yapılan tane boyut ölçümlerine göre tane boyutlarının 101,7 µm ile 2266,9 µm arasında değiştiği görülmüş olup, Uşak mermerlerinin ince-orta taneli sınıfta yer aldığını belirlenmiştir. Belirlenen fiziko-mekanik değerler standartlarda belirtilen sınır değerleri sağladığını ve Uşak mermerlerinin doğal yapı taşı ve kaplama taşı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Uşak, yapı taşı, mermer, fiziko-mekanik özellik

Sayfa Adedi : 95

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Haluk ÇELİK

DETERMINATION OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF NATURAL BUILDING STONES IN UŞAK REGION

(M.Sc. Thesis)

Ayşe Nur ALPEREN

UŞAK UNIVERSITY

GRADUATE EDUCATION INSTITUTE

August 2021

ABSTRACT

In this study, block-size samples of “Uşak White-Uşak Green” marbles taken from 9 marble quarries operating in Ulubey, Karahallı and Sivaslı districts in Uşak were first prepared in accordance with TSE standards in the marble cutting workshop, and then with physical, mechanical, chemical and mineralogical-petrographic properties were determined laboratory studies carried out according to the relevant standards. By comparing these determined features with TS 1910, TS 2513 and TS 10449 standard values, their places of use as natural building blocks were determined and it was determined whether they were suitable for the places of use. Experiments were carried out on 5 samples for each physico-mechanical property, and the arithmetic averages of the obtained results were used in the evaluation of the results. According to the mineralogical-petrographic examinations made in Uşak marbles, it was determined that the marbles were composed of calcite minerals with well-developed polysynthetic twinning showing granoblastic texture. According to the grain size measurements made in the calcite minerals, it was observed that the grain sizes ranged from 101.7 μm to 2266.9 μm , and it was determined that the Uşak marbles were in the fine-medium grain class. The determined physico-mechanical values show that it provides the limit values specified in the standards and that Uşak marbles can be used as natural building stones and facing stones.

Key Words : Uşak, building block, marble, physico-mechanical property

Number of Pages : 95

Adviser : Prof. Dr. Haluk ÇELİK

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Haluk ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca emeklerini unutamayacağım Maden Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Selçuk SAMANLI, Sayın Doç. Dr. Özcan ÖNEY ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yaşar CAN'a teşekkür ederim.

Laboratuvar deneylerinde yol gösteren ve her konuda yardımcı olan Uşak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Tahir GÖNEN'e ve tezin petrografik ve mineralojik incelemelerinde katkı veren Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Metin BAĞCI'ya teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan hayatım boyunca maddi, manevi desteğini benden esirgemeyen bu çalışmamın başından sonuna kadar yanımda olan başta babam Bekir ALPEREN'e, anneme, kardeşime ve arkadaşım Nilay CEYLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
RESİM LİSTESİ	x
1 GİRİŞ	1
2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
3 MERMERLER HAKKINDA BİLGİLER	7
3.1 Mermerin Tanımı	7
3.2 Bilimsel Tanımı	7
3.3 Endüstrideki Ticari Tanımı	7
3.4 Mermerlerin Sınıflandırılması	7
3.4.1 Metamorfik Kökenli Mermerler	8
3.4.2 Sedimanter Kökenli Mermerler	8
3.4.3 Magmatik Kökenli Mermerler	8
4 DOĞAL TAŞLARDA ARANAN ÖZELLİKLER	10
5 DOĞAL YAPI TAŞLARINDA KULLANILAN STANDARTLAR	11
6 TÜRKİYE DOĞAL TAŞ REZERVİ	14
6.1 Uşak Doğal Taş Rezervi	14
6.2 Türkiye'nin Dünya Doğal Taş Sektöründeki Yeri	15

7 BÖLGESEL JEOLJİ.....	17
7.1 Karahallı Bölgesi Jeolojisi.....	17
7.3 Ulubey Bölgesi Jeolojisi.....	19
8 MATERYAL VE METOD.....	22
8.1. Materyal.....	22
8.2 Metod.....	25
8.2.1 Mermerlerin Fiziksel Özelliklerini Belirlenmesinde Kullanılan Metodlar.....	25
8.2.2 Mermerlerin Mekanik Özelliklerini Belirlenmesinde Kullanılan Metodlar.....	31
8.2.3 Mermerlerin Kimyasal Özelliklerini Belirlenmesinde Kullanılan Metodlar.....	38
8.2.4 Mermerlerin Mineralojik ve Petrografik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Metodlar.....	39
9 ARAŞTIRMA BULGULARI.....	42
9.1 Karahallı Bölgesi Mermerlerinin Analiz Sonuçları.....	42
9.1.1 Karahallı Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	42
9.1.2 Karahallı Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	46
9.1.3 Karahallı Mermerlerin Kimyasal ve Mineralojik-Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	51
9.2 Sivashlı Bölgesi Mermerlerinin Analiz Sonuçları.....	58
9.2.1 Sivashlı Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	58
9.2.2 Sivashlı Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	62
9.2.3 Sivashlı Mermerlerin Kimyasal ve Mineralojik-Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	67
9.3 Ulubey Bölgesi Mermerlerinin Analiz Sonuçları.....	74
9.3.1 Ulubey Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	74

9.3.2 Ulubey Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	78
9.3.3 Ulubey Mermerlerin Kimyasal ve Minerolojik-Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi	83
10 SONUÇLAR.....	89
11 KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	95



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1 Türkiye doğal taş kaynakları	15
Şekil 7.1 Sivaslı bölgesi mermerlerinin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti	19
Şekil 7.2 Çamlıbel – Ulubey beyaz mermeri civarının stratigrafik sütun kesiti.....	20
Şekil 7.3 Çamlıbel – Ulubey beyaz mermerinin 1/500.000 jeolojik haritadaki konumu ve çamlıbel yöresinin jeoloji haritası.....	21
Şekil 9.1 Birim hacim ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	43
Şekil 9.2 Özgül ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	43
Şekil 9.3 Su emme değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	44
Şekil 9.4 Porozite oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması	45
Şekil 9.5 Doluluk oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması	45
Şekil 9.6 Sonik hız değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	46
Şekil 9.7 Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması...	48
Şekil 9.8 Eğilme dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	48
Şekil 9.9 Darbe dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	49
Şekil 9.10 Nokta yük dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	50
Şekil 9.11 Schmidt sertlik değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	50
Şekil 9.12 Böhme aşınma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	51
Şekil 9.13 Birim hacim ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	59
Şekil 9.14 Özgül ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	60
Şekil 9.15 Su emme değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	60
Şekil 9.16 Porozite oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması	61
Şekil 9.17 Doluluk oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması	61
Şekil 9.18 Sonik hız değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	62
Şekil 9.19 Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.	63
Şekil 9.20 Eğilme dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	64
Şekil 9.21 Darbe dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	65
Şekil 9.22 Nokta yük dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	65
Şekil 9.23 Schmidt sertlik değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	66

Şekil 9.24 Böhme aşınma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	67
Şekil 9.25 Birim hacim ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	75
Şekil 9.26 Özgül ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	75
Şekil 9.27 Su emme değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	76
Şekil 9.28 Porozite oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması	77
Şekil 9.29 Doluluk oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması	77
Şekil 9.30 Sonik hız değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	78
Şekil 9.31 Ulubey mermerlerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	79
Şekil 9.32 Ulubey mermerlerinin eğilme dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	80
Şekil 9.33 Ulubey mermerlerinin darbe dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	81
Şekil 9.34 Nokta yük dayanım değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması.....	81
Şekil 9.35 Schmidt sertlik değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması	82
Şekil 9.36 Böhme Aşınma Dayanımı Değerlerinin Standart Değerlerle Karşılaştırılması .	83

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1 Mermerlerin jeolojik oluşum bakımından sınıflandırılması.....	8
Çizelge 5.1 Kaplama olarak kullanılan doğal kayaçların sahip olması gereken fiziko-mekanik özelliklerinin sınır değerleri (TS 1910)	12
Çizelge 5.2 Kayaçların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerinin sınır değerleri (TS 2513).....	12
Çizelge 5.3 Mermer ve kalsiyum karbonat bileşimli kayaçların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerinin sınır değerleri (TS 10449).....	13
Çizelge 8.1 Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılmaları	30
Çizelge 8.2 Kayaçların sismik dalga hızlarına göre sınıflandırılmaları	31
Çizelge 8.3 Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması	32
Çizelge 8.4 Kayaçların nokta yük dayanımına göre sınıflandırılması.....	34
Çizelge 8.5 ISRM 1978'e göre kayaçların Schmidt sertlik çekicine göre sınıflandırılması	37
Çizelge 8.6 Mermerlerin tane boyutuna göre sınıflandırılması.....	41
Çizelge 9.1 Karahallı beyaz mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin.....	42
Çizelge 9.2 Karahallı beyaz mermerlerinin ortalama mekanik özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması.....	47
Çizelge 9.3 Karahallı mermerlerinin kimyasal analiz sonuçları	52
Çizelge 9.4 Sivaslı beyaz mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması.....	59
Çizelge 9.5 Sivaslı beyaz mermerlerinin ortalama mekanik özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması.....	62
Çizelge 9.6 Sivaslı mermer örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.....	67
Çizelge 9.7 Ulubey beyaz mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması.....	74
Çizelge 9.8 Ulubey (Uşak) beyaz mermerlerinin ortalama mekanik özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması.....	78
Çizelge 9.9 Ulubey beyaz mermer örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.....	83

RESİM LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 8.1 Numunelerin alındığı ilçelerin ilimize göre konumları.....	23
Resim 8.2 Numunelerin alındığı mermer ocakları ve mermer kesim atölyesinden görüntüler	24
Resim 8.3 Birim hacim ağırlık deneyi ve etüve ait görüntüler.....	26
Resim 8.4 Piknometre deney görüntüleri	27
Resim 8.5 Su emme deney görüntüleri.....	29
Resim 8.6 Pundit deney aleti	30
Resim 8.7 Tek eksenli basınç dayanım cihazı.....	32
Resim 8.8 Darbe dayanım cihazı.....	35
Resim 8.9 Eğilme dayanım cihazı	36
Resim 8.10 Schmidt çekici	37
Resim 8.11 Spectro XShort Handheld X-Ray Spectrometre cihazı	39
Resim 8.12 Bruker Model:D8 Advance cihazı.....	40
Resim 8.13 Mineralojik- Petrografik analizine ait deney görüntüleri	41
Resim 9.1 Ex mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları	53
Resim 9.2 Mx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları.....	54
Resim 9.3 Rx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları.....	55
Resim 9.4 Karahallı-Uşak Bölgesi Mermerlerin Polarizan Mikroskop Görüntüleri(a-b) Exnolu mermer, (c-d) Mx nolu mermer, (e-f) Rx nolu mermer (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, Mk: Mika, Ep: Epidot, Op: Opak mineral, Çt: Çatlak, Çapraz Nikol (NX) 1000 ve 500 büyütme).....	57
Resim 9.5 Dx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları.....	69
Resim 9.6 Tx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları	70
Resim 9.7 Ax mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları.....	71
Resim 9.8 Sivaslı-Uşak Bölgesi Mermerlerin Polarizan Mikroskop Görüntüleri (a-b) Ax kodlu mermer, (c-d) Dx kodlu mermer, (e-f) Tx kodlu mermerlere ait polarizan mikroskop görünümüleri (Ca: Kalsit, Çt: Çatlak, Op: Opak mineral, D: Dolomit, Ep: Epidot, Çapraz Nikol (NX) 1000 ve 500 büyütme).....	73

Resim 9.9 Sx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları	84
Resim 9.10 Cx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları.....	85
Resim 9.11 Hx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları	86
Resim 9.12 Ulubey Beyaz Renkli Mermerlerin Polarizan Mikroskop Görüntüleri (a-b) Sx nolu mermer, (c-d) Cx nolu mermer, (e-f) Hx nolu mermer (Ca: Kalsit, Çt: Çatlak, Op: Opak mineral, Çapraz Nikol (NX) 1000 ve 500 büyütme)	87



1 GİRİŞ

Mermer, madencilik piyasasının önemli bir sektörü olup, dış ülkelere yapmış olduğu ihracatla ekonomiye önemli katkıda bulunmaktadır. Türkiye çeşitli renk ve desenlerde, bir hayli zengin mermer rezervlerine sahiptir. Gelişen teknolojisi, sanayide kullanmış olduğu yöntemler ile de dünyanın önemli mermer üreticileri arasında bulunmaktadır.

Renk ve doku özelliklerine göre doğal bir yapı taşı; güzel bir görünüme, özel bir yapıya, fiziko-mekanik ve kimyasal etkilere karşı dirençli, şekillendirilebilecek ve süslenebilecek kadar yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Gösterişli renk, desen çeşidine sahip olan Türkiye doğal taş piyasası, ticari olarak devamlılığını sürdürmektedir.

Doğal yapı taşlarında genel olarak blok verme özelliği, renk özelliği ve desen, rahat kesilebilmesi, cila tutma özelliği, fiziksel ve mekanik özellikler, kimyasal dayanım gibi belirli özellikler önem arz etmektedir. Ege Bölgesinde yer alan Uşak yöresindeki mermerler bu özellikleri sağlayabilme potansiyeli ile dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, Uşak İli ve ilçelerinde (Ulubey, Sivaslı ve Karahallı) ticari olarak işletilmekte olan 9 adet mermer ocağından alınan numunelerin fiziksel, mekanik, kimyasal ve petrografik özellikler belirlenmiş, belirlenen değerlerin Türk standartlarına göre karşılaştırılması yapılmış ve kendi aralarında kıyaslanıp yorumlanmıştır. Bu çalışmayla gerek bölgemizdeki gerekse Ülkemizdeki yapı taşı kullanıcılarının kullanım amaçlarına uygun yapıtaşlarını seçerken, çalışmada elde edilen değerleri kullanabilecekleri düşünülmektedir.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Türkmenoğlu Z.F. (2007), Adana yöresinde yapıtaşı olarak kullanılan yerli mermerleri inceleme çalışmasında; Türkiye'nin, çeşitli ve yüksek oranda mermer rezervine sahip olduğunu ifade etmiştir. Türkiye'nin, üretiminde faydalandığı teknolojisi ile en mühim doğal taş üreticileri listesinde bulunduğunu göstermektedir. Bu rezervler Anadolu'dan ve Trakya'ya kadar geniş bölgede yer almaktadır. Bilecik, Afyon, Balıkesir, Elazığ, Denizli, Muğla, Diyarbakır, Amasya rezervlerin fazla olduğu şehirlerdir. Ülkemizde 80'den fazla farklı yapıda, 120'den fazla farklı renkler ve desenlerde mermerler bulunmaktadır. Mermer ve granitlere uygulanan deneyler sonucunda, Uşak Beyaz ve Afyon Beyaz mermerlerinin; özgül ağırlıklarının 2,698 ile 2,680 g/cm³, birim hacim ağırlıklarının 2,675 ile 2,660 g/cm³, porozitelerinin % 0,852 ile % 0,746, hacimce su emme değerlerinin % 0,235 ile % 0,274, dona dayanıklılık değerinin % 0,03 ile % 0,46, aşınma dayanımlarının 15 cm³ / 50 cm² ile 14,8 cm³ / 50 cm², eğilme dayanımlarının 12,8 MPa ile 12,7 MPa, Shore sertliklerinin ise 37 olduğu belirlenmiştir. Nero Zimbabwe ve Raw Silk granitlerinin; özgül ağırlıklarının 3,032 ile 2,641 g/cm³, birim hacim ağırlıklarının 2,982 ile 2,601 g/cm³, porozitelerinin % 1,649 ile % 2,641, hacimce su emme değerlerinin % 0,239 ile % 0,341, dona dayanıklılık değerinin % 0,34 ile % 0,43, aşınma dayanımlarının 4,8 cm³ / 50 cm² ile 3,5 cm³ / 50 cm², eğilme dayanımlarının 17,9 MPa ile 12,9 MPa, Shore sertliklerinin ise 94 olduğu belirlenmiştir [1].

Yılmaz H. ve Safel R. (2004), Çukurova yöresinde bulunan bazı mermerlere ait fiziko-mekanik özelliklerinin istatistiksel analiz çalışmasında; doğal taşların duvar gibi yapılarda kullanılmasıyla mimari açıdan farklı güzel görünüm elde edilebileceğini vurgulamıştır. Doğal taşlar renk ve doku gibi özellikleriyle çeşitli avantajlar kazanmasıyla, kaplama olarak da kullanılabilir [2].

Şentürk A. ve arkadaşları (1995), Yapıtaşı olarak kullanılan endüstriyel kayalara teknik bir bakış adlı çalışmalarında; doğal taşların, dekorasyonda kullanılması dünya doğal taş üretiminin artmasına sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Genellikle son 10 yılda görülen hızlı artış, doğal taş teknolojisindeki farkındalığı göstermektedir. Doğal yapı taşlarındaki

en önemli özellikler; renk, desen, blok verme özelliği fiziksel ve mekanik dayanım, kimyasal etkilere karşı direnç şeklinde sıralanabilmektedir [3].

Kuşçu (1990), “Belence Siyah Mermer Yataklarının Ekonomik Jeolojisi” adlı çalışmada; Belence Siyah Mermerlerini petrografik özelliklerini belirleyerek Türk standartlarına göre yorumlamıştır. Siyah Mermerlerin mikroskopik incelemeler sonucunda bütünüyle kalsit kristallerinden oluştuğunu, az miktarda kuvars ve opak mineral içerdiğini izlemişlerdir [4].

Erdoğan (2001), Çukurova Yöresindeki doğal taşların özelliklerini tespit etmiş ve yapı kaplamasındaki uygunluğunu incelemiştir. Bu nedenle 7 farklı yapı ve kaplama kayacı üzerinde fiziksel ve mekanik deneyleri gerçekleştirmiştir. Ayrıca kayaçların ısıya ve dona karşı dayanıklılıklarını test etmiştir. Bu amaçla 7 farklı yapı ve kaplama kayacı üzerinde birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, porozite, darbe direnci, eğilme dayanımı, aşınma dayanımı, shore sclerescope sertlik indeksi belirleme deneylerini uygulamıştır. Ayrıca kayaçlar ısıya dayanıklılık ve dona dayanıklılık deneyleri uygulamıştır. [5].

Yavuz ve arkadaşları (2002), yılında yapmış oldukları çalışmada; Muğla ili mermerlerinin fiziko-mekanik, kimyasal ve mineralojik özelliklerini incelemişlerdir. Mineralojik incelemelerde ince kesitler alıp, polarizan mikroskopa tabii tutmuşlardır. Kimyasal analiz sonuçlarında, MgO oranı yüksek olan dört numunenin XRD sonucunu irdelenmişlerdir. Düşük poroziteli, yüksek birim hacim ağırlığına sahip ve yüksek dirençli kayaçlar olup mineral boyutları 22- 769 μ arasında değişmektedir [6].

Kun (2000), Mermerin Jeolojisi ve Teknolojisi adlı çalışmada; Mermerin tanımı, oluşumu, özellikleri, üretimi, işlenmesi aşamalarını ele almıştır. Kullanım, sertlik ve kökenlerine göre mermerin sınıflarına ayırmıştır. Ülkemizde bulunan mermerlerin jeolojik konumlarından da bahsedilmiştir [7].

Gök (2004), Bucak mermerlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini deneyelemiştir. Çalışma neticesinde Bucak mermerlerinin yoğunluğu $2,72 \text{ gr/cm}^3$, su emme oranı %0,09, doluluk oranı %99,37, tek eksenli basınç dayanımı $71,90 \text{ kg/cm}^2$, Shore Selereskop sertliği 66,35 olarak belirlenmiştir [8].

Tonçer (2005), doktora çalışmada Diyarbakır Hani bölgesindeki mermer ocaklarının blok vermesi, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri yönünden

değerlendirilmesini deneylemiştir. Yapılan inceleme ve deney sonuçları TSE ve ASTM standartların da analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde değerlerin bir birine yakın olduğu sonucu elde edilmiştir. Buna göre yöredeki mermerlerin TS 69 standartlarına göre çoğunun sınır değerleri sahip oldukları tespit edilmiştir. Diyarbakır-Hani mermerlerinin yapısında % 90,67 oranında CaCO₃ bulunmuş ve Mohs sertlik cetvelinden sertliği 3,5, schmidt sertlik endeksi 48,5, don sonrası ağırlık kaybı %1,0, birim hacim ağırlığı 2,51 gr/cm³, ağırlıkça su emme oranı %1,36 ve porozitesi %3,40 olarak belirlenmiştir. CaCO₃ içerikli olup, önemli ölçüde detritik kuvars ve az miktarda da dolomitik olduğu ve eğilme dayanımının ortalaması alındığında 33,13 Mpa, darbe dayanımı 12,66 kg.cm/cm³ olarak irdelenmiştir [9].

Ertürk (1996), gerçekleştirdiği çalışmada Afyon-İncehisar Yöresindeki mermer rezervlerine uygun işletme yöntemlerini belirlemiş ve yörede bulunan mermerlerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar ele alarak yörede bulunan mermerlerin ulusal ve uluslararası yerini ve potansiyelini tespit eden bilgiler verilerek bölgenin jeolojisi hakkında ilgi verilmiştir. Çalışmada Afyon-İncehisar Yöresindeki mermer rezervlerin verimli işletme yöntemini tespit etmiş ve mermerlerin farklı özelliklerinin ataması gayesiyle gerçekleştirilen detaylı laboratuvar çalışmalarını değerlendirmeye almıştır. Mermerlerin Türkiye ve dünyadaki mevcut durumu hakkında bilgiler vererek araştırma alanın jeolojisini de sunmuştur. Değerlendirmiş olduğu alandaki rezervlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin tespiti için alanın özelliklerini bizlere sunan numuneler üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışmalar neticesinde bölgedeki mermerlerin renk ve boyutuna göre kategorilere ayırmıştır. Sahada gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde Afyon-İncehisar Bölgesi mermer rezervleri için gerek görülen araç gereç seçimleri sunularak çalışma alanda gerçekleştirilen ölçümler neticesinde sahanın hakim eklem ve çatlakları tespit edilmiştir. [10].

Çiftepala (2001), Meşebağları-Topluköy Diyarbakır mermerlerinin teknolojik ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesini amaçlayan çalışmasında, detaylı incelemeler gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak yoğunluğu 2,608-2,614 gr/cm³, eğilme dayanımı 214-242 kg/cm², Shore sertliği 47-54, ve basınç dayanımı 98-116 kg/cm olarak tespit edilmiştir [11].

Çavuşmirza ve arkadaşları (2002), Kırşehir yöresi mermerlerinin teknolojik özelliklerinin tespit edilmesini amaçlayan çalışmalarında, Mucur-Kırşehir'de kurulan mermer ocağı ve mermer fabrikasını incelemiştir. Deneyler sonucunda Mucur Beji ve Mucur Traverteninin eğilme dayanımı 213,967 kg/cm² ve 247,338 kg/cm², darbe dayanı 3,3 kgcm/cm³ ve 8 kgcm/cm³, tek eksenli basınç dayanımı 904 kg/cm² ve 492 kg/cm² olarak bulmuştur. Birim hacim ağırlığını 2,7 gr/cm³ ve 2,37 gr/cm³, ağırlıkça su emme oranını %2 ve %1,4, görünür porozitesini %0,54 ve %3,318, doluluk oranını %90 ve 87, Shore Selereskop sertliğini 55 ve 54 olarak bulmuştur. İncelemeler neticesinde Mucur Bejinin ve traverteninin standartlarını sağladığını ifade etmiştir [12].

Akçakoca ve arkadaşları (2003), Afyon, Bilecik ve Sivrihisar bej türü mermerleri üzerinde fiziko-mekanik özelliklerinin tespiti ile kaplama ürünü olarak kullanılabilirliğini tespit etmek amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda öncelikle mermerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilerek bu özelliklerin T.S.E. standartlarına göre kullanım alanları hakkında çalışılmıştır. Yapılan deneylerde örneklerin birim hacim ağırlıkları 2,57-2,69 g/cm³ değerleri arasında, porozite değerlerine bakıldığında sınır değer olan %2'den küçük olduğu, doluluk oranı %98,88 - 99,89 aralığında, aşınma dayanımı değerleri, yer döşemesi için en fazla 15cm³ /50cm², duvar kaplaması için ise en fazla 25cm³/50cm² olduğu elde edilen değerler incelendiğinde, Afyon beyaz, Bilecik Göl Beji, Bilecik Royal Bej ve Sivrihisar Bej yer döşemesi, merdiven basamağı ve duvar kaplaması olarak kullanılabilir vasıfların taşıdığı tespit edilmiştir [13].

Çınar (2007), Osmaniye Kırmızı mermerlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması isimli çalışmasında Amanos Kırmızı mermerlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini tespit ederek bu mermerlerin yapı malzemesi alanında kullanıma uygun özelliklerde olduğunu tespit etmiştir. Fiziksel özelliklerine göre mermer örneklerinin porozitesi göz önüne alındığında; %3.84 ile orta boşluklu kaya sınıfında, Na₂SO₄ çözeltisindeki don zayıtı açısından mermer örneklerinin %39.914 ile TSE 706'da istenen değerlerin çok çok altında olduğu saptanmıştır. Mekanik özelliklerine göre ise tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarına göre dayanımı 25 MPa'ın altında olan Amanos kırmızı mermerinin çok düşük dirençli kaya sınıfında yer aldığı, mermer örneklerinin üç eksenli basınç deneyleri sonucu kayma direnci parametreleri açısından f=37o ve C=3.93 MPa birim

değerlerine sahip olduğu, nokta yük dayanım indeksine göre Amanos kırmızı mermerlerinin 2.83 MPa ile orta dirençli kaya sınıfında yer aldığı belirlenmiştir [14].

Erdoğan ve Yavuz (2003), Diyarbakır ilindeki kireçtaşlarının blok üretimi için işletilip ihraç edildiği, deformasyona uğramamış ve yatay şekilde olan bu kireçtaşlarının paleontolojik incelemeler neticesinde Miyosen yaşında olduğu, rezerv alanının Ergani ve Hani bölgelerinden başlayarak Suriye sınırı ve Harran ovasına kadar uzandığı tespit edilmiştir. Lice havzası Miyosen platformunun güneyinde ise set ardı havza bulunmakta olup blok mermer üretimine uygun olmayan ince tabakalı killi ve kırıntılı kireçtaşları çökeltisi tespit edilse de ara ve yan yönlerde parça parça tespit edilen resiflerde blok mermer üretimine uygun kireçtaşı çökeltileri kısıtlı alanlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Siirt ilinden Adıyaman iline uzanan geniş alanın miyosen set resiflerinin gelişebileceği ve blok kayaç üretilen mermerlerin bulunabileceği bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir [15].

Karakuş (1999), çalışmasında Diyarbakır yöresinde bulunan işletilebilir mermer rezervlerinin kesilebilirliklerini inceleyerek Toprak Mermer ve Beta Mermer fabrikalarında çalışmalar yaparak daha yeni ve ileri teknolojiye sahip olan, Toprak mermer fabrikası makineleri hakkında bilgi vermiştir. Fabrikalarda bulunan ST kesme makinelerinin kesme işlemini yaparken yüklü ve yüksüz makine karakteristikleri kaydetmiştir. Ayrıca kesimi yapılan farklı mermer türlerinden numuneler alınarak jeomekanik özelliklerin belirlenmesi ve TS 699'a göre gerçekleştirmiş olduğu deneylerle mermerlerin jeomekanik özellikleri tespit edilmiştir. Araştırmacı laboratuvar çalışmaları neticesinde belirlenen numune özellikleri ve fabrika incelemeleri neticesinde elde edilen performans ölçüm verilerini kullanarak, korelasyon katsayıları yüksek analizler yapmıştır. Yapılan analizler neticesinde mermerlerin kesme eğrisinin, mermer nokta yükü dayanımı ile bağlantılı olduğu görülmüştür [16].

3 MERMERLER HAKKINDA BİLGİLER

3.1 Mermerin Tanımı

Yüksek sıcaklıkta bozulmaya uğramış kalkerler mermer olarak belirlenmektedir. Endüstriyel anlamda ise; işlenebilen, cilalanabilen, parlayan ve ebatlandırılabilen veya süsleyici emelli kullanılan tüm natürel taşlara mermer denilmektedir. Günümüzde özellikle endüstriyel anlamda mermerin yerine natürel taş terimi de kullanılmaktadır [17].

3.2 Bilimsel Tanımı

Mermer, ısı ve basınç etkisi altında kalker (CaCO_3) ve dolomit kireçtaşının ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) metamorfizması ile oluşan ve yeniden kristalleşme ile yeni bir yapı kazanan taşlardır [17].

3.3 Endüstrideki Ticari Tanımı

Onargan ve Arkadaşları (2005), endüstriyel alanda kesilip boyutlandırılabilen, dekoratif amaçlı kullanılan ve ticari değeri olan her türlü kayacı mermer olarak adlandırmaktadır [17].

3.4 Mermerlerin Sınıflandırılması

Köktürk U. (2000), Onargan T. ve Arkadaşları (2005), mermerleri jeolojik oluşum açısından 3 grupta ayırmaktadır [18]. Bu gruplandırmaya Mermerlerin jeolojik oluşum bakımından sınıflandırılması Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 Mermerlerin jeolojik oluşum bakımından sınıflandırılması [18]

I.GRUP	Metamorfik Kökenli mermerlerdir. Tam kristalleşmiş bilimsel gerçek mermer tanımına uygun doğal taşları içerir. Çoğunlukla iyi kristalleşmişlerdir. Renkleri genellikle beyaz ve açık gridir. Bileşimlerinde birçok yabancı madde taşırırlar.
II. GRUP	Sedimenter kökenli mermerleri içerir. Kireçtaşı, oniks mermerleri, kumtaşları ve travertenleri içerir. Karbonatlı olanlarda yapılarında yalnız CaCO ₃ vardır. Travertenler, toplu iğne başından birkaç cm ye varan boşluklar içerebilmektedirler. Kolay işlenebilmekte ve iyi cila kabul etmektedirler.
III.GRUP	Magmatik kökenli mermerleri içerir. Andezit, dasit, granit, siyenit, bazalt,diyabaz, gabro vb. gibi.

3.4.1 Metamorfik Kökenli Mermerler

Çeşitli kayaçların jeolojik ve tektonik olaylar sonucunda oluşan ısı ve basınç ile katı halde yapı, doku, mineral bileşimi gibi fiziksel özelliklerinin değişmesi olayına metamorfizma, bu olaylar sonucunda oluşan kayaçlara da metamorfik kayaçlar denilmektedir. Metamorfik kökenli kayaçlara örnek olarak; gerçek mermerler, şistler-kayağan (Arduaz) taşı (Kayrak Taşı) gibi kayaç oluşumları gösterilmektedir [7].

3.4.2 Sedimanter Kökenli Mermerler

Tortulaşma olayının çeşitli yolları ile oluşan kayaçlara tortul kayaçlar veya sedimanter kayaçlar adı verilir. Bu tür kayaçlar genellikle tabakalıdır ve çoğu kez fosil içerirler [7]. Sedimanter kökenli kayaçlara örnek olarak; kireçtaşları, traverten, oniks mermerleri, kumtaşları gibi kayaç oluşumlarını gösterebiliriz [7].

3.4.3 Magmatik Kökenli Mermerler

Mermer türlerinden bir diğeri de magmatik kökenli kayaçlardır. Ülkemizin çeşitli yerlerine dağılmış şekilde bulunmaktadır. Mermer olarak kullanılan bu kayaçlar,

sedimanter kayalara göre dayanımı fazla işlenmesi zordur. Magmatik mermerler kimyasal bileşim bakımından ise;

- % 66 > SiO₂ => Asidik,
- % 66 - % 52 SiO₂ => Nötr,
- % 52 - % 45 arası SiO₂ => Bazik,
- % 45 < SiO₂ => Ultra bazik,

kayaç grubundadır [1].

Magmatik kökenli kayalara örnek olarak; granit, diyabaz, serpantin, siyenit gibi kayaç oluşumlarını gösterebiliriz [7].



4 DOĞAL TAŞLARDA ARANAN ÖZELLİKLER

Doğal yapıtaőlarında aranan özellikler;

- Renk ve desen özelliği
- Blok verebilmesi
- Fiziksel ve mekanik özellikleri
- Kimyasal etkenlere dayanımıdır

Doğal yapıtaőları genelde dekorasyon amaçla kullanıldığı için renk en önemli fiziksel özelliğidir. Dekoratif taşlar, karışık ve tek renkli olabilmekte ayrıca çeşitli desenlere de sahiptirler [3].

Mermerin yapısında silikat fazlalığı sertliğini yükseltmektedir. Mermerin sertliğinin, kesilme ve cilalanma gibi özellikleri ile yakından ilgisi vardır. Sert mermerlerin üretimi yumuşak mermerlere göre zor olmaktadır. Fakat bu mermerler çok iyi cila kabul etmektedir. Sert mermerler, zor işlenmesine rağmen yıpranma oranı az olduğu için en çok tercih edilen mermer türüdür [1].

Mermerin sertliği, kesme ve cilalama işlemlerinde çok zaman ve emek harcanılan bir durumdur. Mermerin homojen yapıda olması, kesme ve cilalama işlemlerinde büyük zorluklar çıkarmaktadır. Çünkü mermerin belli bölgesi iyi cila kabul ederken öbür bölümler kabul etmemektedir bu nedenlerden dolayı pazar payını düşürmektedir [3].

Kayačların içerisinde boşluklar atmosferik dayanaklılığı azalttığı için tercih edilmeyen bir durumdur. Fakat bazı mermer cinslerinde boşluk olması kusur sayılmaz [17].

M.T.A (1996); Şentürk ve Arkadaşları (1995), ticari ürün olarak üretimi yapılan mermerlerde boşluk olması istenilmeyen durumlar arasındadır. Bazı cins doğal taşlarda boşluk olması durumu kusur sayılmaz. Ancak çatlakların açık olması ve solüsyonlu su ile doldurulup doldurulmayacağı önemlidir. Breő mermerlerinde bu durum sıkça gözlenmektedir [19, 3].

5 DOĞAL YAPI TAŞLARINDA KULLANILAN STANDARTLAR

Doğal taşlarda bir takım standart uygulamaları; ürünlerin hangi alanda kullanılabileceğini, hangi kalitede de olması gerektiğini belirlerken, fabrika ve ocakların üretim sürecine önemli katkılar sunmaktadırlar. Türk standartları, AB standartlarına uyumludur ve belirlenen standartlar laboratuvar ortamında yapılan test sonucu neticesinde uygun olduğu belirlenmiştir [20].

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Türkiye’de bulunan doğal taşlar ABD’nin standartlarını (ASTM) Türkiye’ye uyarlayarak mevcut kriterler ortaya çıkarmıŐtır [21]. Mermerlerin belirlenen fizikomekanik özelliklerinin standartlarla karşılaştırılmasında genelde kullanılan TS 1910 standardı TS EN 1469 ile, TS 2513 standardı TS EN 1467 ile ve TS 10449 standardı ise TS EN 1467, TS EN 1468, TS EN 12057 ve TS EN 12058 standartları ile deđiŐtirilmiŐtir [22].

Uygulamaya giren yeni standartları değerlendirmeye aldığımızda eski standartlara göre fizik ve mekanik limit verilere yer verilmediği görülmüştür. UŞak mermerlerinin kullanım yerlerine dair kalite durumlarının somut olarak ortaya konulabilmesi ve karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla bu çalışmada tespiti yapılan fiziksel ve mekanik özellikler somut değerler içerdiğinden eski standartlar ile (TS 2513, TS 1910 ve TS 10449) karşılaştırması yapılmıştır. Doğal kayaçların sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerin sınır değerleri TS 1910, TS 2513 ve TS 10449 standartları için sırasıyla Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Kaplama olarak kullanılan doğal kayaların sahip olması gereken fiziko-mekanik özelliklerinin sınır değerleri (TS 1910)

Fiziksel Özellikler	Sınır Değer	Mekanik Özellikler	Sınır Değer
Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	>2,55	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	>500
Ağırlıkça Su Emme (%)	<0,75	Eğilme Direnci (kg/cm ²)	>50
Porozite (%)	<2	Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm ³ / 50cm ²)	<15
Don Sonrası Ağırlık Kaybı (%)	<5		

Çizelge 5.2 Kayaların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerinin sınır değerleri (TS 2513)

Fiziksel Özellikler	Sınır Değer	Mekanik Özellikler	Sınır Değer
Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	>2,55	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	>500
Ağırlıkça Su Emme (%)	<1,80	Eğilme Direnci(kg/cm ²)	>50
Don Sonrası Ağırlık Kaybı (%)	<5	Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm ³ / 50cm ²)	<15
		Darbe Direnci (Kgf.cm/cm ³)	>6

Çizelge 5.3 Mermer ve kalsiyum karbonat bileşimli kayaçların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerinin sınır değerleri (TS 10449)

Fiziksel Özellikler	Sınır Değer	Mekanik Özellikler	Sınır Değer
Ağırlıkça Su Emme (%)	<0,4	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²) (Döşeme)	> 500
		Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²) (Kaplama)	> 300
Doluluk Oranı (%)	>98	Eğilme Direnci (kg/cm ²)	> 60
Don Sonrası Ağırlık Kaybı (%)	>1	Don Sonrası Basınç Direnci (kg/cm ²)	> 300
		Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm ³ / 50cm ²) (Döşeme)	< 15
		Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm ³ / 50cm ²) (Kaplama)	< 25
		Darbe Dayanımı (Kgf.cm/cm ³) (Döşeme)	> 6
		Darbe Dayanımı (Kgf.cm/cm ³) (Kaplama)	> 4

6 TÜRKİYE DOĞAL TAŞ REZERVİ

Türkiye konumu itibariyle madenler açısından verimli bir potansiyele sahiptir. Günümüzde Türkiye’de işletilebilir mermer rezervi; 3.872.000.000 m³, işletilebilir kireçtaşı rezervi 2.720.000.000 m³, işletilebilir traverten rezervi 995.300.000 m³, işletilebilir oniks rezervi ise 1.307.000 m³’dür. Türkiye, Dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %40’ına sahiptir [23].

Türkiye’de ve diğer ülkelerde mermere olan talep devamlı artış göstermekte olup, bu sektör popüler haline gelmektedir. Doğal taş kullanımında artışa neden olan mermerler dayanıklı ve farklı mekanlarda kullanıma elverişli olması sebebiyle avantajlı sayılmaktadır. Bu avantajdan dolayı artışın giderek artacağı düşünülmektedir [24].

Son dönemlerde şirketlerin yaptığı yatırımlarla beraber üretim yapan fabrikaların da sektöre el atması, işlenmiş mermer üretiminde büyük artışa sebep olmuştur. Gelişmiş üretim yöntemleri neticesinde, Türkiye dünya mermer sektöründe lider üreticiler arasında yer almaktadır [25].

Üretimin bir bölümü özel sektörler tarafından üretilen mermer sektöründe senelik blok yapımı 3.000.000 ton, plaka yapımı ise 13 milyon m² düzeyindedir. Mermer rezervi açısından önemli bir yer olan Türkiye, 400’e yakın renk ve desen niteliğine sahip ve pazarı açısından şanslı bir ülkedir. [26].

6.1 Uşak Doğal Taş Rezervi

Ege Bölgesinin İç batı Anadolu bölümünde yer alan Uşak ili Menderes masifinin yakınında bulunan volkanik kayalar hakimdir [27].

İlin önemli kaynaklarından biride mermerdir. 4 ayrı çeşitte bulunan mermer yatakları vardır. Karahallı ilçesinde bulunan Delihıdırlı civarındaki mermerlerin blok verebilme özelliği olduğu tespit edilmiştir [27].

Uşak ilinin toplam mermer rezervinin ise 1.600.000 m³ olduğu tahmin edilmektedir. [25]. Son dönemlerde üretiminin arttığı Uşak bölgesinde Karahallı, Ulubey

ve Sivaslı ilçeleri etrafında da büyük rezervler bulunmaktadır. Mermer ocakları içerisinde, Uşak Beyaz, Uşak Yeşil ve Uşak Gri en çok bilinen mermer örnekleridir [28].

6.2 Türkiye'nin Dünya Doğal Taş Sektöründeki Yeri

Alp - Himalaya Kuşağında bulunan ülkemiz mermer bakımından en zengin yerde yer almaktadır. MTA Genel Müdürlüğüne 1966 yılında yapılan çalışmaya göre, kaynağın 5.1 milyar m³ civarında olduğu belirtilmiştir (Şekil 6.1) [24].

Sektörde 2500 adet ruhsatlı mermer madeni olup, bunların 1500 tanesi aktif olduğunu göstermektedir. KOBİ niteliğinde, yaklaşık 9000 adet orta ve küçük işletme ile yaklaşık 200'ü büyük ocak faaliyetinde yer almaktadır. Çalışan personel sayısı yaklaşık 180 000 kişiden oluşmaktadır. Ülkemizde çeşitli renk ve desenlere sahip kireçtaşı, mermer, traverten, kum taşı, granit, siyenit, gibi kayaç grupları bulunmaktadır. Ağırlıklı olarak Menderes Masifinde, mermer yer almaktadır. Mermer rezervi genel olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi, Marmara, Akdeniz Bölgesi, sınırları içinde geniş alanlarda bulunmaktadır [24].

	m3	ton
Bilinen Kaynaklar	589.000.000	1.590.000.000
Muhtemel Kaynaklar	1.545.000.000	4.171.000.000
Mümkün Kaynaklar	3.027.000.000	8.172.000.000
Toplam Potansiyel	5.161.000.000	13.934.000.000

Şekil 6.1 Türkiye doğal taş (mermer) kaynakları [24]

Mermer ihracatımızda değeri yüksek işlenmiş doğal taşlara ağırlık vermek, dünya sektöründeki pazar için payımızı artırmamızı sağlayacaktır. Birkaç yıla kadar doğal taş ithalatının yerini alacak bir unsur olan granit üretimindeki artış oldukça dikkat çekmektedir. Ayrıca doğal taş ürünlerimizin mühim ihracatlar da gümrük engeli olmaması sektör için oldukça önemlidir [26].

Ülkemizin ihracattaki payının artmasının en önemli faktörlerinden birisi mermer ve doğal taş sektörüdür. 2015 yılında ülkemiz doğal taş konusunda ihracat pazarında pay

kaybına uğramıştır. 2014 yılında %12,1 oranındayken 2015 yılında %11,2 oranına gerilemiştir. 2015 yılında Türkiye, İtalya ve Çin'den sonra en fazla doğal taş ihraç eden üç ülke arasına girmiştir. 2016 yılında ise ülkemiz ham blok ihracatında, Dünya traverten ve mermer sektöründe ilk sıraya yerleşmiştir. Granit ham blok ihracatında Türkiye 11. sırada yerini almıştır. 179 ülkeye ihraç edilen doğal taş ve mermerlerimiz, sektör olarak yeni pazar arayışına gitmektedir [24].

2017 yılından sonra Türkiye'de 2,1 milyar dolar doğal taş ihracatı yapılmıştır. Ülkemiz, doğal taşlarının % 12' si ihracat hacmini kapsamaktadır ve ciro hacmi 17,3 milyar dolar olarak kayıtlara geçmiştir [24].

Granit ve sert taşlar sektöründe ithalat yönünden ülkemiz 2017 yılında 170 bin dolar civarında ithalat sağlamıştır. İthalatta ilk sıralarda yer alan ülkelerde İspanya, Hindistan, İtalya ve İran bulunmaktadır [24].

7 BÖLGESEL JEOLJİ

7.1 Karahallı Bölgesi Jeolojisi

Karahallı Bölgesinin jeolojisi ile ilgili detaylı çalışma Kibici ve Arkadaşları (1992) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Karahallı Bölgesinin en yaşlı kayaç biriminin Paleozoik yaşlı başkalaşım kayaçları olduğu ifade edilmektedir. Bu doğal taşlar, Uşak bölgesinde, çekirdekte gnaysların da bulunduğu yüksek ısı içeren başkalaşım kayaçları ve Menderes Masifinin güneydoğu bölgesinde yer alan düşük ısılu kalk şistlerin de yüzeylendiği başkalaşım kayaçlarının oluşturduğu başkalaşım birimi içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanındaki Menderes masifinin güneydoğu kanadında yer alan başkalaşım kayaçları Eşme Formasyonunda egemen olan gözlü-bantlı gnays, amfibollü şist, granatşist görünümünde olmayıp, düşük ısılu kloritleşmiş biyotitşist, kloritşist, kalkşist, grafitşist ve kuvarsit şeklindedir [21].

İnceleme alanında söz konusu yüksek ısılu başkalaşım kayaçlarına ve Mineral parajenezine rastlanmadığı ifade edilmektedir. Egemen kayaç toplulukları Yeşilşist fasiyesinin Barrow tipi başkalaşım kuşağının Kuvars-albit-muskovit-klorit ve kuvars-albitepidot-bivotit-alt fasiyeslerini karakterize etmektedir [21].

Başkalaşım fasiyeslerinden derlenen örneklerin mikroskopik incelemelerinde kuvars, albit, klorit, muskovit, biyotit ve epidot grubu minerallerden piedmontit ve pistaşit, amfibol grubu minerallerden aktinolit ve hornblend belirlenmiştir [21].

Çalışma sahasındaki üç renkteki mermerler, mineral parajenezi olarak epidot ve amfibol grubu minerallerden oluşmaktadır. Buna göre açık yeşil mermerlerde piedmontit ve pistaşit, koyu yeşil mermerlerde ise aktinolit ve hornblend hakim minerallerdir. Koyu renkli mineralere her iki mermer grubunda da rombohedral kalsit ve kısmen kuvars eşlik etmektedir [21].

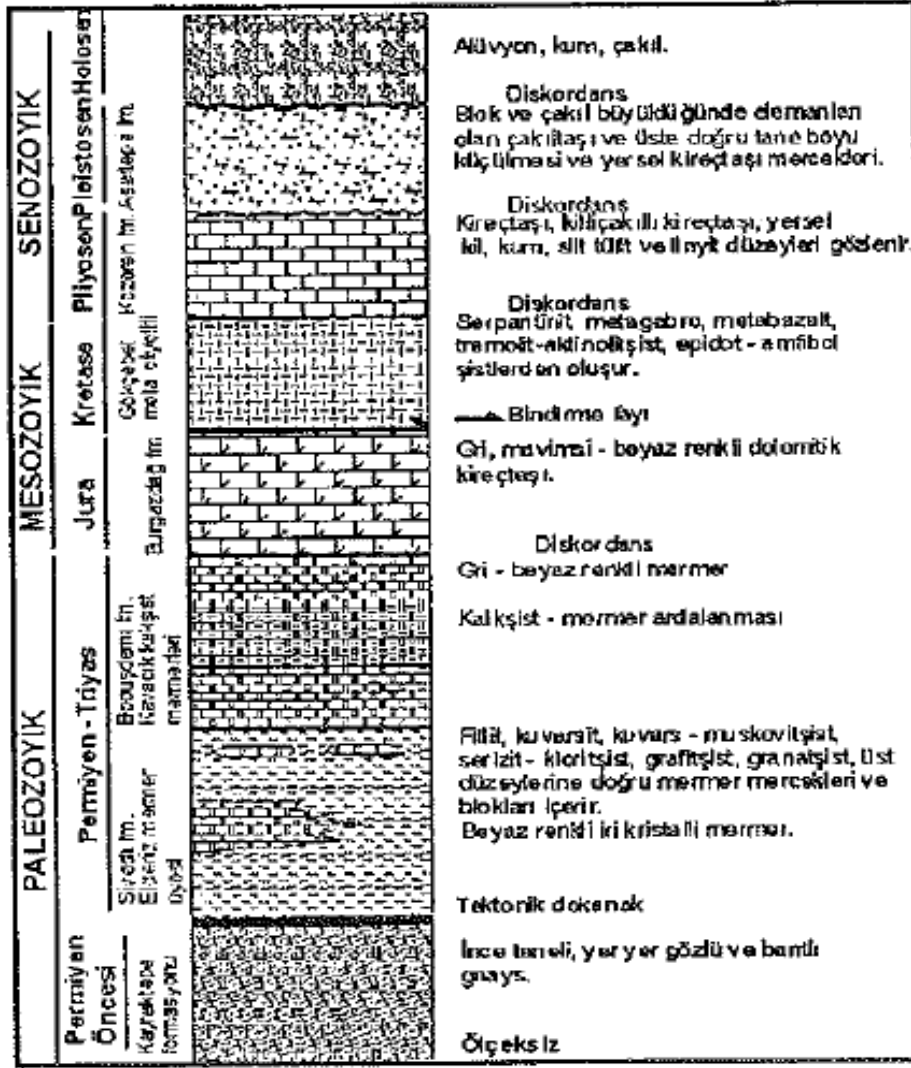
Külköy mermerleri sert kaya sınıfına girmekte olup beyaz mermerler, koyu renkteki ve açık yeşil renkteki mermerlere göre daha farklı bir dağılım göstermektedir. Açık ve koyu yeşil mermerlerin geri tepkime değerleri mineral parajenezine de bağlı olarak beyaz mermerlere göre biraz daha yüksektir [21].

7.2 Sivashlı Bölgesi Jeolojisi

Ayan (1973), inceleme alanında Menderes masifine dahil olan bölümler bulunduğunu belirtmektedir. Stratigrafik olarak yer alan en alttaki Menderes masifi çekirdek serisine ait gnays ve amfibolifler ile örtü serisine ait şistler ve mermerler bulunduğu ifade edilmektedir [29].

Ketin (1983), Menderes masifinin çekirdek serisinin Paleozoyik yaşlı, örtü serisinin ise Permian-Triyas yaşlı olduğunu ileri sürmektedir. Söz konusu sahada örtü şistleri üzerinde uyumsuz olarak Burgazdağ formasyonuna ait Jura yaşlı dolomitik kireçtaşları yer almaktadır. Bu birimler üzerine tektonik dokanakla Özbeyli metaofiyoliti gelmektedir. İnceleme sahasında tespit edilen Neojen ve bu gelişmeler sonucunda oluşan karasal havzalarda çökelen birimler en genç stratigrafik birimleri oluşturmaktadır. Sivashlı bölgesi mermerleri dört temel stratigrafik seviyeden elde edilmektedir. Bu seviyeler, Sivashlı formasyonu Boduşdamı formasyonu, Eldeniz üyesi ve Kavacık kalkışist ve mermer seviyesidir [30].

Eldeniz yöresi Boduşdamı formasyonundaki bu mermerler genellikle gri, beyaz, mor ve yeşil renk özelliği göstermekte ve ince-orta tabakalı olarak görülmektedir. Bölgede en fazla mermer üretimi bu formasyondan yapılmaktadır. Kalınlığı tespit edilememiştir [31]. Sivashlı bölgesi mermerlerinin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti Şekil 7.1'de verilmektedir.



Şekil 7.1 Sivashlı bölgesi mermerlerinin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti [31]

Sivashlı formasyonu, şistleri ve kuvarsitleri içerisinde bantlı yapı ve mercerler halinde bulunan birim genellikle; beyaz, gri bantlı mermerlerden oluşmaktadır. Kristal boyutu 5-7 mm arasında olup, masif görünümlüdür. Yüzeyde sık kırıklı ve çatlaklı yapıdadır. Sivashlı formasyonu, genellikle mineral olarak kalsit, dolomit, muskovit olup, dokusu granoblastik özelliğe sahiptir [31]

7.3 Ulubey Bölgesi Jeolojisi

Menderes masifine ait Ulubey ilçesi civarına ait bazı birimler bulunmaktadır. Stratigrafik olarak örtü serisine ait mermer ve şistler, Menderes masifi çekirdek serisine ait

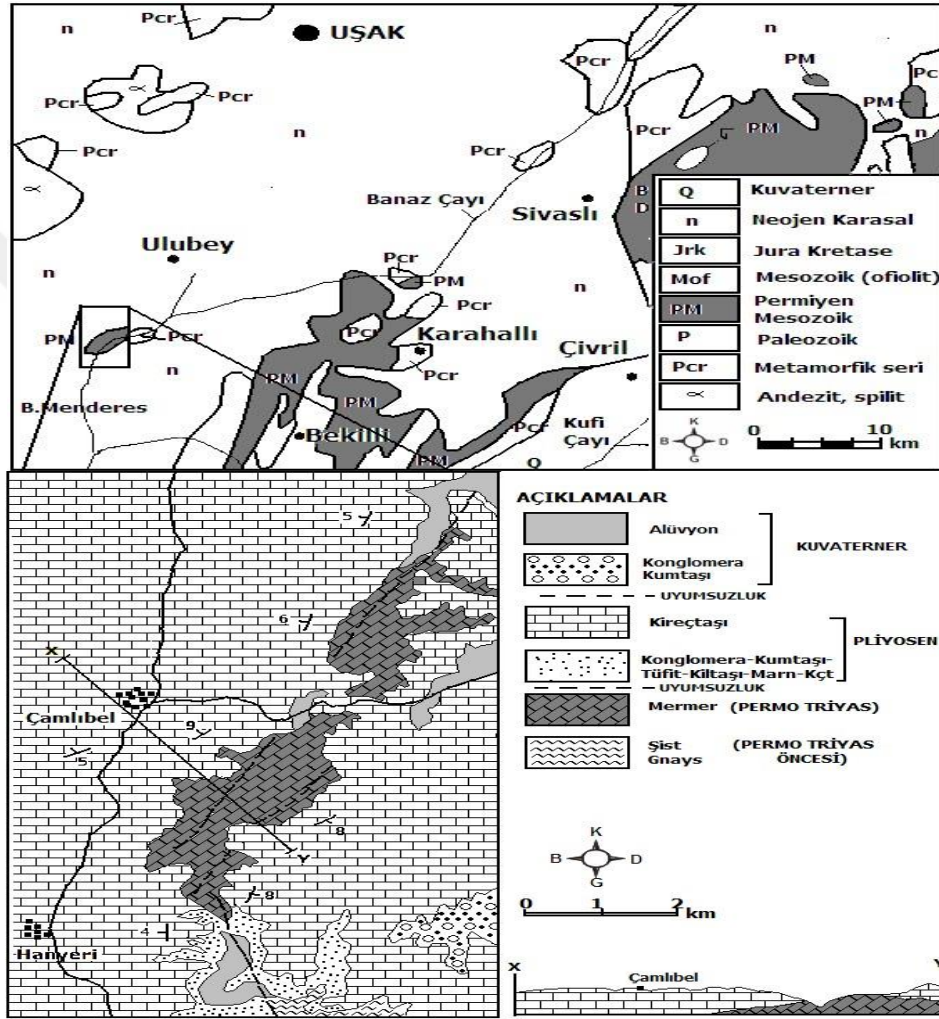
gnayslar da yer almaktadır. Araştırma sahasında Neojen ve sonrasında oluşan karasal havzalarda çökelti olarak görülen killi ve/veya kumlu kireçtaşları, genç stratigrafik bölümleri oluşturmaktadır. Kuvaterner yaşlı kırıntılı kayalar ile alüvyonlar bu birimlerin üzerine gelmektedir [28].

Paleozoik yaşlı Eşme formasyonu kayaları, bölgenin en yaşlı kayaç birimidir. Uşak yöresinde oluşan Menderes masifinin çekirdeğinde gnaysların bulunduğu yüksek ısı içeren başkalaşım kayaları ve Menderes Masifinin konum olarak güneydoğu bölgesinde yer alan düşük ısıli kalk şistlerin oluşturduğu başkalaşım birimi içinde yer almaktadır. Şekil 7.2’de stratigrafik olarak örtü serisine ait mermer ve şistler, Menderes masifi çekirdek serisine ait gnayslar gösterilmektedir [28].

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	GRUP	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN	—	—	—	—	Qal		Qal: Alüvyon, kum, çakıl
		PLEYİSTOSEN	ASARTEPE FORMASYONU			200 m	Qat	0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000	Qat: Blok ve çakıl büyüklüğünde elemanları olan çakıltaşı ve üstte doğru tane boyu küçülmüştür.
		TERSİYER	ÜST PİLİYÖSEN	ULUBEY FORMASYONU			225 m	Tp u	
MESOZOİK	PERMO TRIAS	—	BODUŞDAMI FORMASYONU			?	Pzb		Pzb: Gri-beyaz renkli mermer, kalker şist. Mermer ardalanması.
		—	EŞME FORMASYONU			?	Pze		Pze: Fillit, kuvarsit, kuvars-muskovit şist, serizit-klorit şist, grafit şist, granat şist, üst düzeylere doğru mermer mercikleri ve bloklar içerir.

Şekil 7.2 Çamlıbel - Ulubey (Uşak) beyaz mermeri civarının stratigrafik sütun kesiti [28]

Orta Pliyosen yaşı gölsel karakterli Ulubey formasyonu Boduşdamı formasyonunun üst kısmında yer almaktadır. Bu formasyonun taban kısmında başkalaşıma uğramış çakıl taşları ve bazı kireç taşları yer alır. Tavanında ise, kil taşı ve beyaz-açık sarı ve krem renk özelliği gösteren kireçtaşı bulunmaktadır. Kireçtaşları içerisinde erime boşlukları ve silisleşmeler mevcuttur [28].



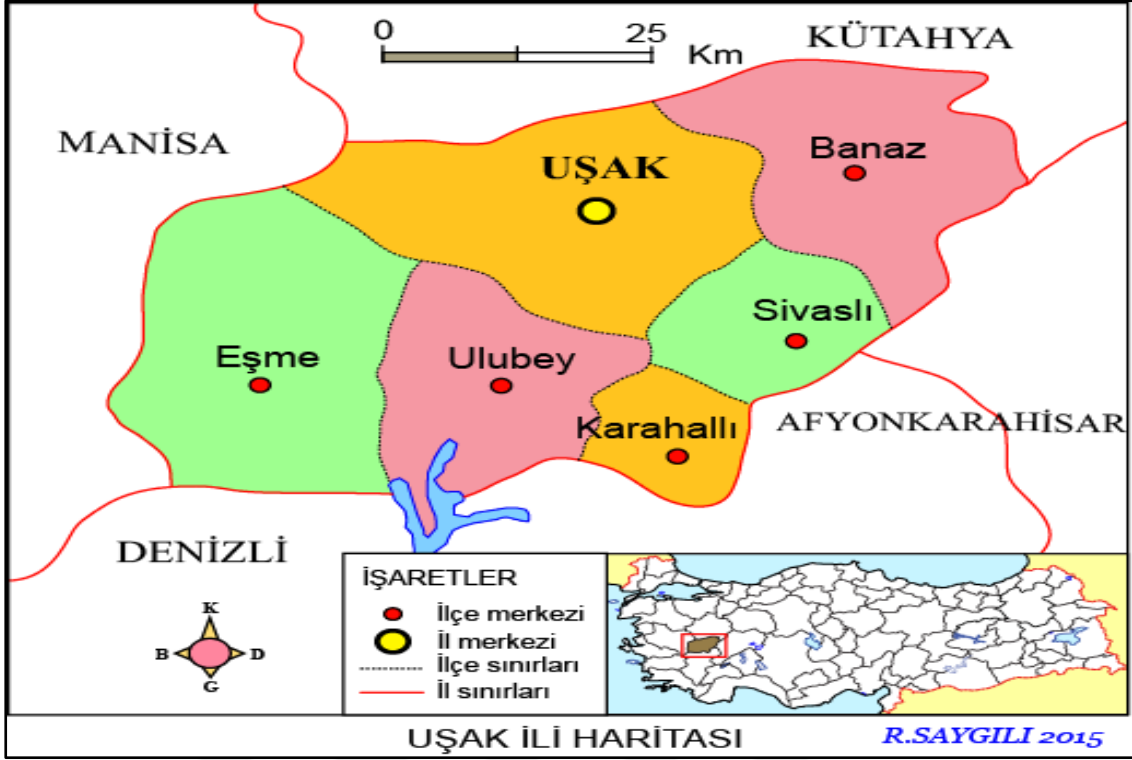
Şekil 7.3 Çamlıbel - Ulubey (Uşak) beyaz mermerinin 1/500.000 jeolojik haritadaki konumu ve Çamlıbel yöresinin jeoloji haritası (MTA, 1/50.000 jeolojik haritasından düzenlenmiştir) [28].

8 MATERYAL VE METOD

8.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında kullanılan mermerler Uşak yöresinde faaliyetlerine devam eden ocaklardan elde edilmiştir. Farklı ilçelerde (Sivaslı, Karahallı, Ulubey) yer alan toplam 9 adet mermer ocağının her birinden arazi çalışması yapılarak numuneler alınmış olup numuneler TSE standartlarına uygun halde küp (50x50x50 mm) ve dikdörtgen prizması (50x50x300 mm) boyutlarına Uşak İlinde faaliyet göstermekte olan bir mermer kesim atölyesinde getirilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan standartlara uygun deneyler sonucu mermerlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilip TSE standartlarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Türk Standartlarında değinilen limit değerlerini sağlayıp sağlamadıkları belirlenmiştir. Numunelerin alındığı ilçelerin Uşak İline göre konumlarının gösterildiği harita Resim 8.1’de verilmektedir.

Numunelerin bir bölümü Uşak’ın güneydoğusunda ve İl merkezine yaklaşık 47 km uzaklıkta yer alan Karahallı İlçesinde üretim yapan 3 farklı mermer ocağından (Ex, Mx ve Rx) temin edilmiştir. Bu mermerlerden Ex diye kodladığımız mermer Uşak Yeşil mermeri olup, diğer ikisi Uşak Beyazı olarak bilinmektedir. Bir diğer çalışma alanımız Uşak İlının 44 Km güneydoğusunda yer alan Sivaslı İlçesi olup işletilmekte olan 3 adet mermer madeninden (Dx, Tx ve Ax) alınan örnekler genellikle Uşak beyaz mermerleri sıfatını taşımaktadır. Son olarak, Uşak’ın 50 km güney batısında bulunan Ulubey İlçesinde yer alan 3 farklı mermer ocağından (Sx, Cx ve Hx) alınan numuneler Uşak beyazı olarak bilinmektedir.



Resim 8.1 Numunelerin alındığı ilçelerin ilimize göre konumları

Deneyde kullanılan Uşak mermerleri yörede aktif olarak çalışan toplam 9 adet mermer ocağından temin edilmiş olup ocaklar Sx, Cx, Hx, Dx, Tx, Ax, Rx, Ex ve Mx olarak kodlandırılmıştır. Ocaklara ait görseller Resim 8.2’ de verilmektedir. Arazi çalışması sonucu ocaktan alınan blok boyutundaki mermerler standartlara uygun küp (5cm x 5cm x 5cm) ve dikdörtgenler prizması (5cm x 5cm x 30cm) şeklinde ebatlar haline getirilmiştir (Resim 8.2). Çalışmada yapılan bütün testler beş adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçların ortalaması değerlendirilmelerde kullanılmıştır.



Resim 8.2 Numunelerin alındığı mermer ocakları ve mermer kesim atölyesinden görüntüler

8.2 Metod

8.2.1 Mermerlerin Fiziksel Özelliklerini Belirlenmesinde Kullanılan Metodlar

Mermerlerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla;

- Birim Hacim Ağırlık
- Özgül Ağırlık
- Su Emme Tayini
- Porozite (Gözeneklik Derecesi), Doluluk Oranı
- Sonik Hız (Pundit) Deneyle uygulanmıştır.

8.2.1.1 Birim Hacim Ağırlık

Mermer numunelerinin kütle birim hacim ağırlığını belirlemek için birim hacim ağırlık testi yapılır. Bu deneyde kumpas (0,1 mm hassasiyetinde), terazi (0,1 gram hassasiyette) ve fırın (105 ± 5 °C kapasiteli) kullanılmaktadır. İlk olarak, numunenin her bir boyutu dikey yönde ölçülür ve bu değerlerin ortalaması alınır. Test numunesinin hacmi, bulunan ortalama boyutuna göre hesaplanır. Kuru birim ağırlığı için numune 105 °C'ye ayarlanmış etüvde en az 12 saat kurutulur ve tartılır. Numunenin doymuş birim hacim ağırlığını belirlemek için önce numune 24 saat suda bekletilmiş yüzeydeki su partikülleri bir bez ile nazıkçe silindikten sonra tartılmıştır. Bu prosedürler her numune için 3 kez tekrarlandıktan sonra ortalaması alınmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak, numunenin doymuş ve kuru birim hacim ağırlığı (P) değerlerini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır [1].

$$P = \frac{W}{V} \quad (8.1)$$

Burada;

P : Birim hacim ağırlık, (gr/cm^3)

W : Örnek ağırlığı, (gr)

V : Hacim, (cm^3)



Resim 8.3 Birim hacim ağırlık deneyi ve etüve ait görüntüler

8.2.1.2 Piknometre ile Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlık tayini için alınan 2 kg temsili numune önce 0,2 mm elekten geçirilmiş, etüvde 105 °C'de sabit ağırlığa kadar kurutulmuş ve daha sonra desikatörde kurutulmuştur. Deneye başlamadan önce 0,01 gr hassasiyetle tartılan piknometre ağırlığı G_p olarak kaydedilir. Daha sonra piknometre oda sıcaklığında su ile doldurulup kapağı kapatıldıktan sonra üzerindeki su partiküllerini emici kağıt ile emdirilmiş, ağırlığı G_{ps} olarak belirlenmiştir. 250 gr kurutulmuş ve soğutulmuş öğütülmüş numune piknometreye koyulmuş ve 0,01 gr hassasiyetle tartılıp G_{pn} olarak kaydedilmiştir. Numuneyi içeren piknometre, numune seviyesini geçinceye kadar 1/4 hacim su ile doldurulmuş, 10-15 dakika kaynatılmış, oda sıcaklığındaki su banyosunda soğutulmuş ve ardından su ile kapatılmıştır. Piknometre kurularak 0,01 gr hassasiyetle tartılıp G_{pns} ağırlığı belirlenmiştir. Deney verileri ile mermerin özgül ağırlığı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [23].

$$d_0 = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p) - (G_{pns} - G_{ps})} \quad (8.2)$$

Burada;

d_0 : Özgül ağırlık, gr/cm^3

G_p : Piknometre ağırlığı, gr

G_{pn} : (Piknometre + deney örneği) ağırlığı, gr

G_{ps} : Su ile dolu piknometre ağırlığı, gr

G_{pns} : (Piknometre + deney örneği + su) ağırlığı, gr



Resim 8.4 Piknometre deney görüntüleri

8.2.1.3 Su Emme Tayini

Mermerin su emme tayini ağırlıkça su emme ve hacimce su emme olarak iki şekilde yapılmaktadır. Deney de beş adet numune kullanılmış ve hesaplanan değerlerin ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Deneyde 0,1 gr hassas terazi, $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ de etüv, desikatör ve 0,1 mm hassasiyette kumpas kullanılmıştır. Numuneler bir kaba koyularak $20^{\circ}C$ sıcaklıktaki su eklenerek 1 saat bekletilmiştir. Sonunda, su seviyesi artırılarak numunenin yarısı dolacak şekilde su ilavesi yapıp ve 1 saat bekletilmiştir. Bir saat sonunda numune tamamen suyun içinde kalacak şekilde tekrar su ilave edilip ve aynı şekilde 1 saat bekletilmiştir. Sonuç olarak su seviyesi numunenin üzerini (1,5 cm - 2 cm)

örtecek konuma gelecek şekilde tekrar su eklenip ve 48 saat bekletilmiştir. Bekleme süresi bittikten sonra sudan çıkartılıp, numuneler bekletilmeden nemli bez ile yüzeyindeki su damlacıkları alınarak hassas terazi ile tartılmıştır. Su ile doymuş hale gelen numuneler Arşimet terazisinde (0,1 gr) tartılarak su içerisindeki kütlesi belirlenmiştir. Daha sonra numuneler değişmez kütleye gelinceye kadar etüvde kurutup, oda sıcaklığına soğumaya bırakılıp daha sonra 0,1 gr hassasiyetle tartılarak kütlesi bulunmuştur [20].

Deneysel olarak bulunan değerlerden;

Kayacın hacimce su emmesi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$H_w = \left(\frac{W_d - W_k}{W_d - W_{ds}} \right) \times 100 \quad (8.3)$$

Burada;

W_d : Suda doyurulmuş örnek ağırlığı, (gr) p_1

W_k : Kuru örnek ağırlığı, (gr) p_0

W_{ds} : Doygun haldeki örneğin su içindeki kütlesi (gr) p_2

H_w : Hacimce su emme oranı, (%).

Taşın ağırlıkça su emme oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$A_w = \left(\frac{W_d - W_k}{W_k} \right) \times 100 \quad (8.4)$$

Burada;

W_d : Suda doyurulmuş örnek ağırlığı, (gr)

W_k : Kuru örnek ağırlığı, (gr)

A_w : Ağırlıkça su emme oranı, (%).



Resim 8.5 Su emme deney görüntüleri

8.2.1.4 Porozite (Gözeneklilik Derecesi) ve Doluluk Oranı

Porozite ve doluluk oranı deneyi, geometrik yapıya sahip kayaç örneklerinin gözenekliliğini ve boşluk oranını saptamak amacıyla yapılır. Özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık deneyleri yapıldıktan sonra veriler kullanılarak aşağıda bulunan formülden porozite derecesi hesaplanmıştır [23].

$$P = \left(1 - \frac{d_h}{d_o} \right) \times 100 \quad (8.5)$$

P : Porozite, (%)

d_h : Birim hacim ağırlık, gr/cm^3

d_o : Özgül ağırlık, gr/cm^3

Doluluk oranı, mermerin ortalama özgül ağırlığı ve hacim ağırlığı verilerinden aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$k (\%) = \frac{d_h}{d_o} \times 100 \quad (8.6)$$

k = Doluluk oranı (%)

d_o = Özgül ağırlık

d_h = Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1 Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılmaları [39]

Kayaç Sınıfı	Porozite (%)
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

8.2.1.5 Sonik (Pundit) Hız Deneyi

Kahraman S. (2002), P dalga hızını laboratuvarında dolaylı ve doğrudan hesaplanabilir olduğunu ifade etmektedir. Dolaylı yöntemlerin doğrudan yöntemlere göre daha basit olduğunu ifade etmiştir [32].

P dalga hızı kayaçların dinamik özelliklerinin tespitinde kullanılmaktadır. Deney silindir veya kübik olarak hazırlanan numuneleri üzerinde gerçekleştirilir. Ultrasonik test ölçümleri Proceq Inc. şirketi tarafından üretilen PROCEQ PL-200/PE aleti kullanılarak yapılmıştır (Resim 8.6). Numunelerin alt ve üst yüzeylerine jel (ultrason jeli) uygulanmış ve alıcı-verici olarak adlandırılan kısımlara yerleştirilmiştir. Sismik hız diye adlandırdığımız geçiş süresi ayarlanmış ve her iki uçlar arası P ve S dalga hızları ölçülmüştür. Otomatik cihaz dalga hızlarını hesaplayıp ekranda göstermiş olup herhangi bir formüller gerek duyulmamaktadır [23].



Resim 8.6 Pundit deney aleti

Kayaçların sismik dalga hızlarına göre sınıflandırılmaları aşağıda yer alan Çizelge 8.2'de verilmiştir.

Çizelge 8.2 Kayaçların sismik dalga hızlarına göre sınıflandırılmaları [40]

Sınıf	Dalga Hızı (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

8.2.2 Mermerlerin Mekanik Özelliklerini Belirlenmesinde Kullanılan Metodlar

Bu aşamada mermerlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla;

- Tek Eksenli Basınç Dayanımı
- Darbe Dayanımı
- Nokta Yük Dayanımı
- Shmitch Sertlik Tayini
- Eğilme Dayanımı
- Sürtünme Sonrası Böhme Aşınma Kaybı gibi deneyler uygulanmıştır.

8.2.2.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı, kayaç numunelerinin, uygulanan yüklere karşı kırılmadan önce dayanım yeteneğini ortaya koymaktadır. Basma dayanımı testi, kayaçların yapı malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek amacıyla yapılmıştır [33].

Mermer numunesi, UTEST MATERIAL TESTING EQUIPMENT UTR-0550 markalı otomatik basınç sistemli presin plakaları arasına yerleştirildikten sonra bilgisayar ortamında yükleme hızı ayarlanmıştır (Resim 8.7). Mermer numunesi belirli bir yüke karşı dayanım gösterdikten sonra kırılır. Numune kırıldıktan sonra deney tamamlanmış olur ve numune üstündeki yük otomatik kaldırılır. Numunenin kırıldığı anındaki yük değeri bilgisayar ortamında maksimum yük olarak belirlenmiş ve bu değer kullanılmıştır. Belirlenen maksimum değer, en yüksek yük değerini verdiği için dolayı

numunenin dayanıklılık sınırını vermektedir. Deneyleerde en az 5 adet numune kullanılmıştır. Numunenin tek eksenli basınç dayanımı aşağıdaki formülden hesaplanmıştır [33].

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (8.7)$$

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm^2

F : Örnek yenilme yük değeri, kg

A : Örnek yüzey alanı, cm^2



Resim 8.7 Tek eksenli basınç dayanım cihazı

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılmaları Çizelge 8.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.3 Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması [41]

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

8.2.2.2 Nokta Yük Dayanımı

Nokta yük dayanım testi, kayaçları sınıflandırmak ve tek eksenli basınç dayanımını kolayca belirlemek amacıyla kullanılır. Kayaçların nokta yük kuvvet indeksi genellikle 50 mm çapında numuneler kullanılarak belirlenir.

UTEST MATERIAL TESTING EQUIPMENT UTR-0580 markalı nokta yük cihazı (Resim 8.8) standart yükleme pompası, nokta yükleme aleti, yük göstergesi, konik başlıkları gövdesi ve ölçüm cetvelinden oluşmaktadır.

Deneylerde en az 5 adet deney örnekleri kullanılmıştır. Numuneler deney aletinin konik uçları arasına paralel şekilde yerleştirilip sabitlenerek deney örneği 10-60 saniye içinde kırılacak şekilde manuel olarak yük uygulanmıştır. Kırılma ve çatlama anındaki yükün değeri yük göstergesinde okunmuş kayaçların nokta yük dayanımı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [23].

$$I_s = \frac{P}{(D_e)^2} \quad (8.8)$$

I_s : Nokta yük dayanımı (MPa)

P : Yenilme yükü (kN)

D_e^2 : Karot Çapı (mm^2)



Resim 8.8 Nokta yük dayanım deney cihazı

Kayaçların nokta yük dayanımına göre sınıflandırılmaları Çizelge 8.4'de verilmiştir.

Çizelge 8.4 Kayaçların nokta yük dayanımına göre sınıflandırılması [35]

Kaya Sınıfı Nokta Yük Direnci (MPa)	
Çok Düşük Dirençli	< 1
Düşük Dirençli	1 – 2
Orta Dirençli	2 – 4
Yüksek Dirençli	4 – 8
Çok Yüksek Dirençli	> 8

8.2.2.3 Darbe Dayanımı

Darbe dayanımı; kayaçların belirli bir doğrultuda, darbelere karşı gösterdiği dirençtir. Kayacın kullanım alanlarının tanımlanmasında darbe dayanımının bilinmesi oldukça önem arz etmektedir. Kayacın darbe dayanımının belirlenmesi için, belirli boyutta (5cm x 5cm x 5cm) numuneler kullanılır. Darbe dayanımı deneyinde, numune düzende bulunan yuvasına yerleştirilmiş, üzerine çelik plaka konduktan sonra deney tokmağı yükseklikten numune üzerine bırakılmıştır [23];

$$H = 0,04 \times V \quad (8.9)$$

H: Tokmağın düşme yüksekliği, (cm)

V: Deney örneğinin hacmi, (cm³)

Birinci darbeden sonra her darbeye düşme yüksekliği, bir önceki yüksekliğin, ilk düşme yüksekliği (H) kadar arttırılmasıyla belirlenmiştir. Deney örneği darbe alıp kırılıncaya kadar işleme devam edilmiş ve darbe sayısı belirlenmiştir (Resim 8.8). Düşme yüksekliğinin artmasına rağmen geri sıçrama miktarı artmaz veya azalırsa, kırılma, zedelenme veya pullanma olursa deney örneği kırılmış sayılmıştır. Bu son darbe, darbe sayısının (n) hesaplanmasında dikkate alınmıştır. Darbe dayanımı (D_n) ise aşağıdaki formül ile belirlenmiştir [23].

$$D_n = n \times (n + 1) \quad (8.10)$$

Burada;

D_n : Kayacın darbe dayanımı, (kg cm/cm³)

n : Kırılmaya sebep olan darbe sayısı



Resim 8.8 Darbe dayanım cihazı

8.2.2.4 Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı; kayaçların eğilme gerilmelerine karşı mukavemetini göstermektedir. Doğal yapı taşlarının kullanımı plakalar halinde olduğundan eğilme direnci önemlidir. Eğilme dayanımının belirlenmesi için belirli boyutlarda (5cm x 5cm x 30 cm) numuneler hazırlanmıştır. UTEST MATERIAL TESTING EQUIPMENT UTC-5331 3000 kN Otomatik Dört Kolonlu Basınç Dayanım Deney Presine (Resim 8.9) numune uygun şekilde yerleştirilmiş, yükleme ortasından uygulanmıştır. Sonrasında yük artırılarak dakikada 450 kg'ı geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki yük değeri kaydedilmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıdaki formülle yerine koyularak eğilme dayanım değeri hesaplanmıştır [34].

$$\sigma_{eğ} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times (h)^2} \quad (8.11)$$

Burada;

σ_{eg} : Kayacın eğilme dayanımı, (kg/cm²)

P : Kırılmaya karşı olan en büyük yük, (kg)

L : Deney aletinin mesnetler arasındaki mesafesi, (cm)

b : Numunenin genişliği, (cm)

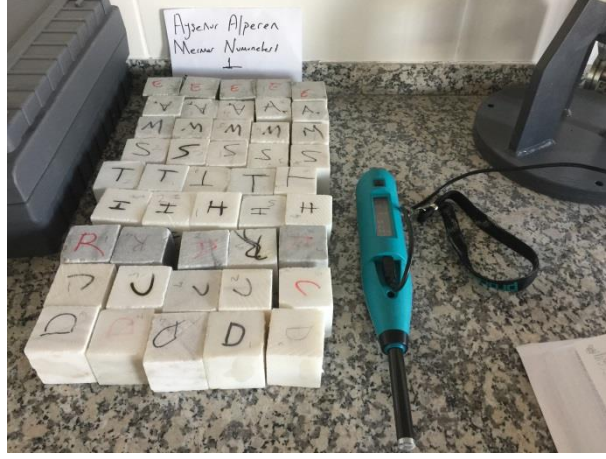
h : Numunenin kalınlığı, (cm)



Resim 8.9 Eğilme dayanım cihazı

8.2.2.5 Schmidt Çekici İle Sertlik Belirleme

Schmidt çekici, kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarını kolay tayin etmek için kullanılan kolay ve pratik bir cihazdır. Çekicinin numune üzerine dik olması gerekmektedir. Deneyde kullanılan PROCEQ SİLVER SCHMİDT ÇEKİCİ ile (TYPE N SH01-007-0548) (Resim 8.10), numunenin yüzeyinde 20 farklı noktada vuruş yapılmış, veriler arasında en küçük olan 10 tanesi iptal edildikten sonra, diğer 10 vuruşun ortalaması alınmıştır [33].



Resim 8.10 Schmidt çekici

Kayaçların Schmidt sertlik değerine göre sınıflandırılmaları Çizelge 8.5’de verilmiştir.

Çizelge 8.5 ISRM 1978’e göre kayaçların Schmidt sertlik çekicine göre sınıflandırılması

0-10	Yumuşak
11-20	Az yumuşak
21-40	Az sert
41-50	Sert
51-60	Oldukça sert
>60	Çok sert

8.2.2.6 Aşınma Dayanımı Tayini (Böhme)

Türk standartlarına uygun olarak en az 5’er adet olmak üzere numuneler (5cm x 5cm x 5 cm) hazırlanmıştır. İlk başta numuneler 105 °C de etüvde kurularak numunelerin kalınlıkları ölçülmüştür. Hazırlanan numuneler aşındırma cihazının numune tutucu kısmına yerleştirilmiştir. Her bir devirde 20 gr aşındırma tozu sürtünme şeridi üzerine dökülmüştür. Numune üzerine 30 kg’lık yük uygulanır ve disk çevrilmiştir. 22 devirin sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden aşındırma tozları ve numune artıkları temizlenmiştir. Her bir numune için 22 devirlik 20 aşınma periyodu, toplamda 440 devir uygulanmıştır. 440 devir

sonunda deney numuneleri sert bir fırça ile temizlendikten sonra kalınlıkları tekrar ölçülmüş aşınma miktarları hacimsel olarak hesap edilmiştir [1].

Deneylelerdeki ağırlık kaybından hareketle hacimlerinin azalması aşağıdaki formüller esas alınarak hesaplanmıştır.

$$\Delta_m = M_i - M_s \quad (8.12)$$

$$\Delta_m = \Delta_v / D_h \quad (8.13)$$

Burada;

Δ_m : 50 cm'lik yüzeyde meydana gelen aşınma oranı, (g/cm²)

M_i : Numunenin aşınma öncesi ağırlığı, (gr)

M_s : Numunenin aşınma sonrası ağırlığı, (gr)

D_h : Numunenin birim hacim ağırlığı, (g/cm³)

Δ_v : Numunenin 50 cm'lik yüzeyindeki hacim kaybı, (cm³/50cm²)

8.2.3 Mermerlerin Kimyasal Özelliklerini Belirlenmesinde Kullanılan Metodlar

8.2.3.1 XRF Analizi

Mermer örneklerinin kimyasal oksit içeriklerini belirlemek için yapılan bir analizdir. Mermerlerin kimyasal analiz sonuçlarına göre belirgin bir bileşim farklılığı bulunup bulunmadığı hakkında bize yön veren bu yöntem için el tipi XRF cihazı (Spectro XShort Handheld X-Ray Spectrometre) kullanılmıştır. Ortalama 250 mikron (μ) boyutuna öğütülüp, etüvde 24 saat süresince 105 °C' de kurutulmuş mermer numuneleri cihaza okutularak değerlendirilmiştir. (Resim 8.11)



Resim 8.11 Spectro XShort Handheld X-Ray Spectrometre cihazı

8.2.4 Mermerlerin Mineralojik ve Petrografik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Metodlar

8.2.4.1 XRD Analizi

X-ışını kırınımı, malzemenin kristal özelliklerini ve içerdiği fazları belirleyebilen analitik bir yöntemdir. Toz numunelere X-ışını kırınımı uygulandığından, tane boyutu özelliklerinin yanı sıra kristal yapısı da belirlenebilmektedir. Elde edilen veriler karşılaştırıp içerdiği fazlar miktar olarak yorumlanabilmektedir.

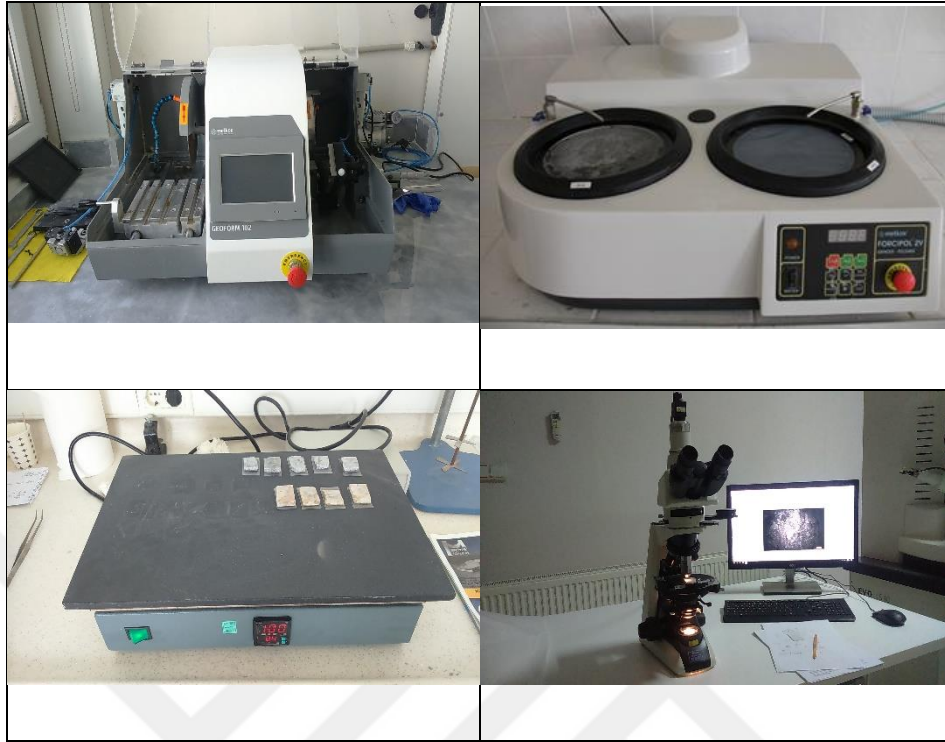
İlk olarak Bruker Model:D8 Advance cihazı (Resim 8.12) su soğutucusu açılıp 10 dakika beklenmiştir. Daha sonra tarama yapmak istediğimiz ortalama 250 mikron (μ) boyutuna öğütülmüş mermer numuneleri cihaz içerisine yerleştirilmiş veriler otomatik olarak sistem tarafından bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Mermer numunelerimizin içerdiği mineral fazları grafikler halinde yorumlanmıştır.



Resim 8.12 Bruker Model:D8 Advance cihazı

8.2.4.2 Petrografik İncelemelerde Kullanılan Yöntem

Numuneden kesilmiş olan ince levhanın bir tarafı 600' lük zımpara tozu ile aşındırılarak düzeltilmiştir. Kanada balsam yapıştırıcı ile ardından 1000' lik zımpara tozu dökülerek cam üzerindeki pürüzler iyice temizlenmiş, parlatılmış cam lama yapıştırılmıştır. Aynı işlem yapılarak kayacın bir diğer yüzü ise 0,03 mm kalınlığa ulaşana kadar aşındırılmıştır. Hazırlanmış olan ince kesitler, petrografi mikroskopunda (Leica M205 C) (Resim 8.13), içinde geçen ışının kazandığı özelliklerin saptanmasıyla adlandırılmıştır. Burada kayacı oluşturan minerallerin cinsleri, mineraller arasındaki ilişkileri, boyutları, bozuşma ürünleri, gözeneklilik ve dağılımları belirlenmeye çalışılmıştır [1]. (Kun, 2000)'e göre mermerlerin tane boyutuna göre sınıflandırılması Çizelge 8.6'da verilmektedir.



Resim 8.13 Mineralojik- Petrografik analizine ait deney görüntüleri

Çizelge 8.6 Mermerlerin tane boyutuna göre sınıflandırılması [7]

Tane Boyutu Tanım Değeri		Özellikleri	Örnek
Çok ince taneli mermer	<100 µm	Tane boyutu 100 mikrondan küçüktür. Mermeri oluşturan taneler gözle fark edilemez. Tane boyutunun çok küçük olmasından dolayı çok iyi cila kabul ederler.	Afyon Mermerleri
İnce taneli mermer	100-2000 µm	Tane boyutu 100 mikron ile 2000 mikron (2 mm) arasında olan mermerlerdir. İnce taneli mermerlerde taneler birbirine iyice kenetlenmiş durumdadır.	Muğla/Milas Mermerleri (Avrupa beyazı)
Orta taneli mermer	2-5 mm	Tane boyutu 2 mm ile 5 mm arasında olan mermerlerdir. Tane boyutunun büyüklüğünden dolayı kesme ve parlatma işlemlerinde problem meydana gelir. Genellikle kenarlardan tane düşmesi ve tane kopması sonucu iyi kenar kesme özelliği vermezler.	Bursa/Mustafa Kemalpaşa Beyazı
İri taneli mermer	>5 mm	Tane boyutu 5 mm'den daha fazla olan ve taneleri gözle görülebilen mermerlerdir. Kristalleri iri olduğundan mermer dişli ve kaba görünümlüdür.	Kırşehir Beyazı

9 ARAŞTIRMA BULGULARI

9.1 Karahallı Bölgesi Mermerlerinin Analiz Sonuçları

9.1.1 Karahallı Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

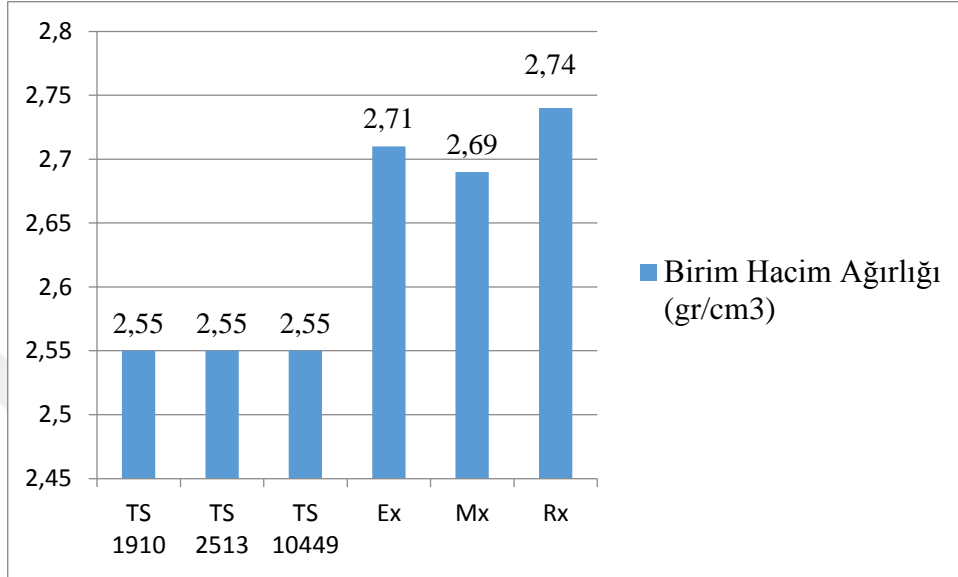
Karahallı (Uşak) mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin standart değerlerle karşılaştırılması Çizelge 9.1’de verilmektedir.

Çizelge 9.1 Karahallı beyaz mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması

	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (Ağırlıkça) (%)	Porozite Oranı (%)	Doluluk Oranı (%)	Sonik Hız (Km/sn)
TS 1910	>2,55		<0,75	<2		
TS 2513	>2,55		<1,80			
TS 10449	>2,55		<0,4		>98	
Ex	2,71	2,923	0,3	0,81	96,55	4,33
Mx	2,69	2,796	0,35	0,95	97,01	4,18
Rx	2,74	2,840	0,27	0,73	95,90	4,24

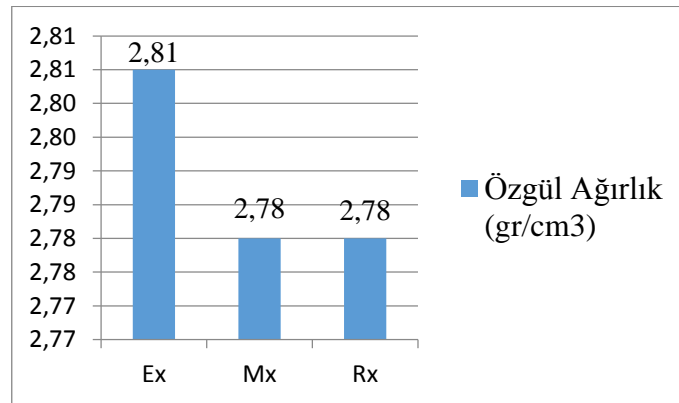
Mermerlerin birim hacim ağırlığı 2.2-3.2 gr/cm³ arasında değişir. Hakiki mermerler için bu değer ortalama 2.70 gr/cm³’tür [13]. Ex, Mx ve Rx mermerlerinin hacim hesaplamalarında ve nakliyesinde kullanılmakta olan ortalama birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 2.71; 2.69 ve 2.74 gr/cm³ olarak bulunmuştur (Resim 9.1). TS 1910, TS

2513 ve TS 10449'a göre mermerlerin yapılarda kullanılabilmesi için birim hacim ağırlığı $2,55 \text{ gr/cm}^3$ değerinden büyük olması istenmekte olup her üç mermer de bu limit değerlerini sağlamaktadır.



Şekil 9.1 Birim hacim ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

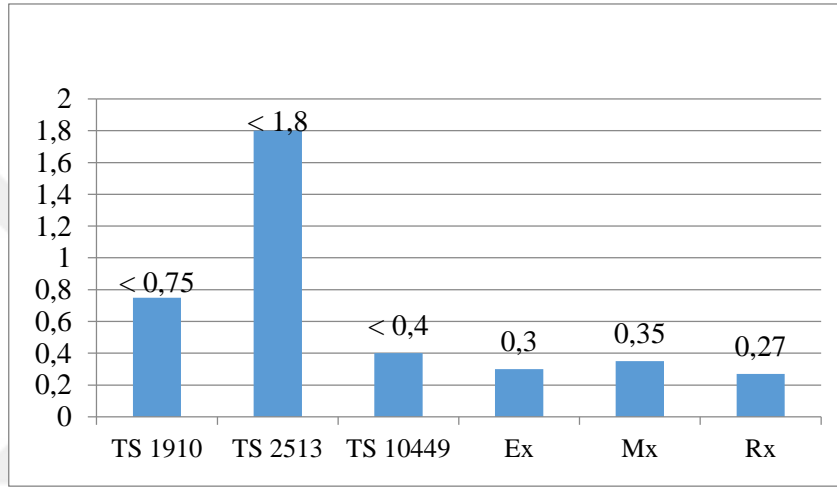
Mermer numunelerinin piknometre deneyi ile gerçekleştirilen özgül ağırlık deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir (Resim 9.2). Mermerlerin özgül ağırlık değerleri arttıkça ekonomik değerleri de artmaktadır. Numunelerin özgül ağırlık değerlerinin $2,78-2,81 \text{ gr/cm}^3$ arasında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9.2 Özgül ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

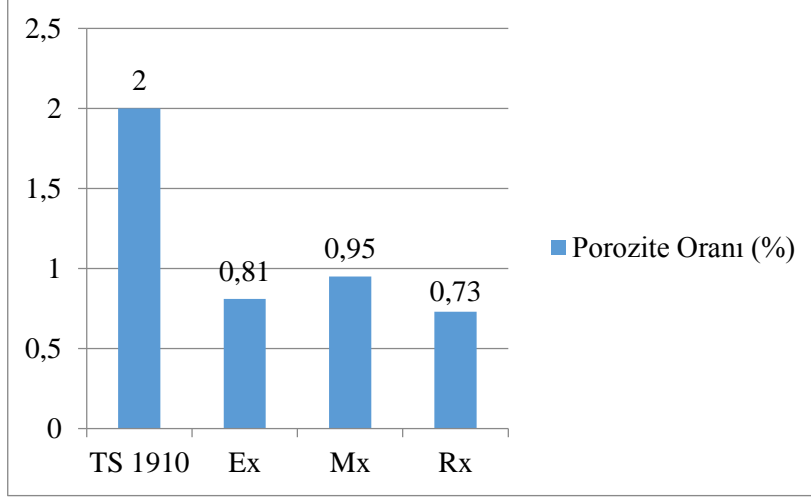
Doğal taşların binaların dış kaplamasında kullanılabilmesi için su emme oranının en düşük seviyede olması istenir. Kayaçalarda su emme miktarı ağırlıkça ve hacimce

yapılmaktadır. Genellikle su emme yüksek ise porozite fazla, çatlaklar ve boşluk çok, ayrışma miktarı yüksek demektir [13]. Çalışmalarda kullanılan mermerlerin ağırlıkça su emme oranlarının %0,27-0,35 arasında değiştiği belirlenmiştir (Resim 9.3). Bu değerlerin tüm ilgili TS standartlarında belirtilen sınır değerlerin altında olduğu görülmektedir. Porozite oranı diğerlerine göre daha fazla olan Mx kodlu numunenin su emme değeri de uyumlu bir şekilde diğer iki numuneye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Su emme değeri en düşük olan Rx numunesinin tek eksenli basınç dayanımı değeri uyumlu bir şekilde diğerlerine göre daha yüksektir.



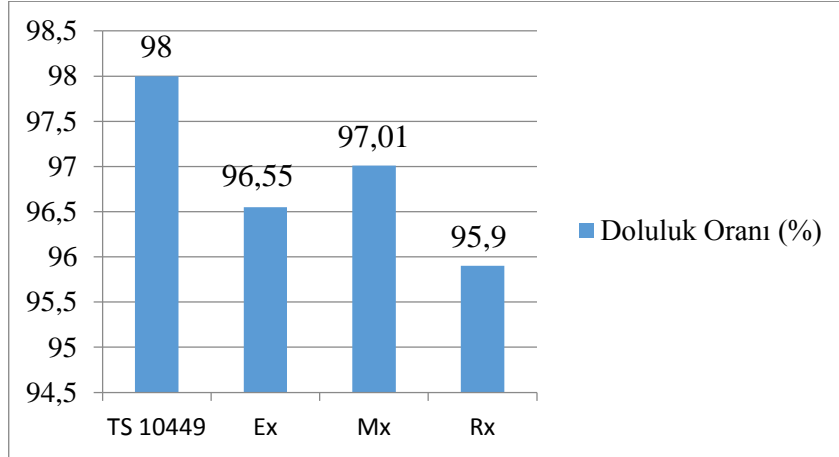
Şekil 9.3 Su emme değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Mermerlerde porozite oranı ne kadar büyürse ekonomik değeri o kadar azalmaktadır. Mermerin su emme kapasitesi porozite yüzdesi ile doğru orantılıdır. Şekil 9.4’ de görüldüğü üzere etkin (görünür) porozite değeri en düşük olan Rx numunesinin (%0,73) su emme değeri de en düşük değer olarak (%0,27) belirlenmiştir. TS 1910’a göre kaliteli olarak belirlenen bir mermerin porozitesi oranı en fazla %2 olmalıdır. Karahallı mermerlerinin belirlenen bu porozite değerine göre standardı sağladığı görülmektedir. Karahallı mermerleri “Çok kompakt” kayaç sınıfına girmektedir (Bakınız Çizelge 8.1).



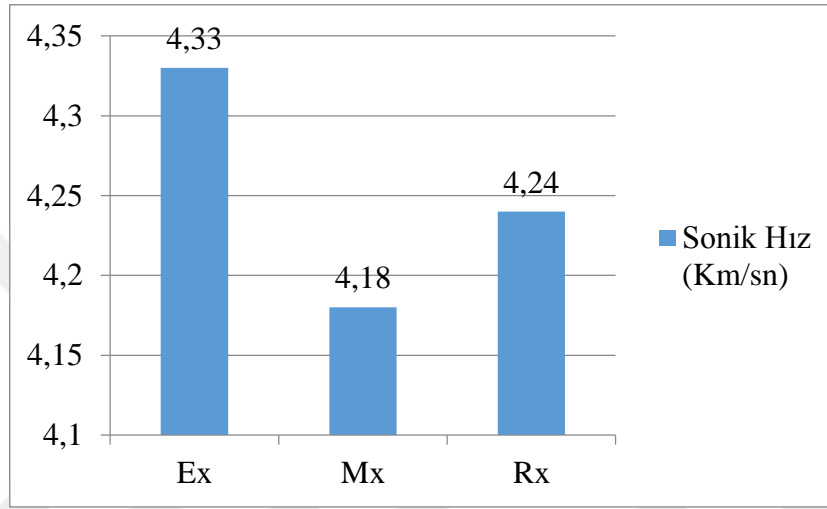
Şekil 9.4 Porozite oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması

Doluluk oranı, 105 °C'de kurutulmuş kayacın dolu hacminin, boşlukları dahil tüm hacmine oranıdır. Çalışma bölgesinde yer alan mermerlerin doluluk oranı değeri %95,9-97,01 arasında hesaplanmıştır (Şekil 9.5). TS 10449 standardına göre bu değer minimum %98 olmalıdır. Bölge mermerlerinin doluluk oranı değeri standart limitin altında olmakla birlikte bu değere oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9.5 Doluluk oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması

Yapılan deneyler sonucunda numunelerin P dalgası hızlarının 4,18-4,33 Km/sn arasında birbirlerine oldukça yakın olduğu bulunmuştur (Şekil 9.6). Genel olarak sonik dalgası hızı mermerin gözeneklilik değeriyle ilişkilidir. Porozitesi düşük olan mermerlerin sonik dalgası hızı yüksek olmaktadır. Çalışmada porozite değeri en yüksek olan Mx numunesinin sonik dalgası hızı en düşük olarak (4,18 Km/sn) belirlenmiştir. Mermer numuneleri, sonik hız değerlerine göre kayaların sınıflandırılmasına göre 4-5 Km/sn arasında yüksek hız sınıfında yer almaktadırlar (Bakınız Çizelge 8.2).



Şekil 9.6 Sonik hız değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

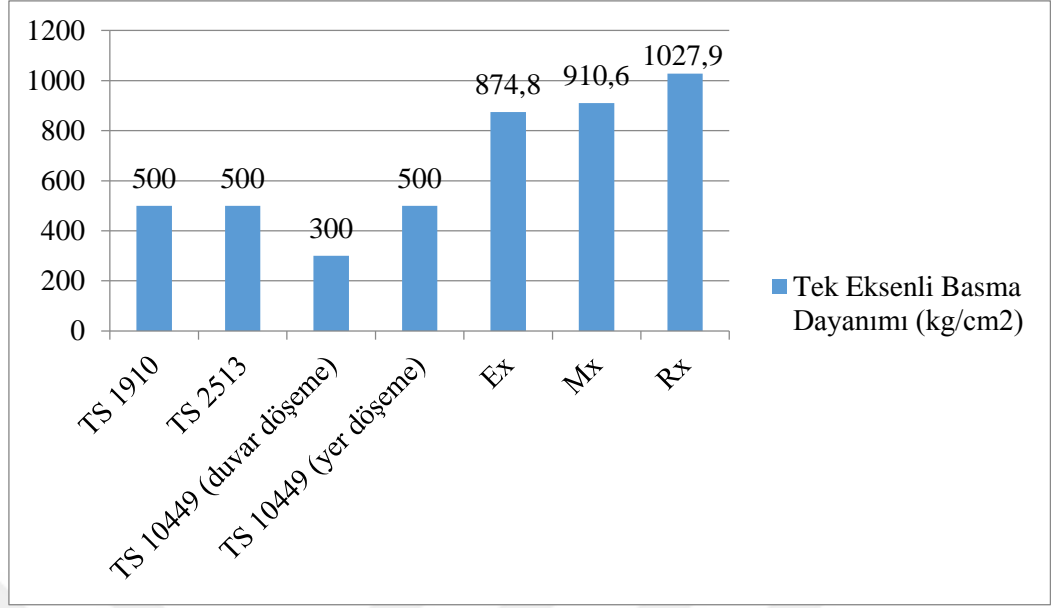
9.1.2 Karahallı Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Karahallı (Uşak) mermerlerinin ortalama mekanik özelliklerinin standart değerlerle karşılaştırılması Çizelge 9.2’de verilmiştir.

Çizelge 9.2 Karahallı beyaz mermerlerinin ortalama mekanik özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması

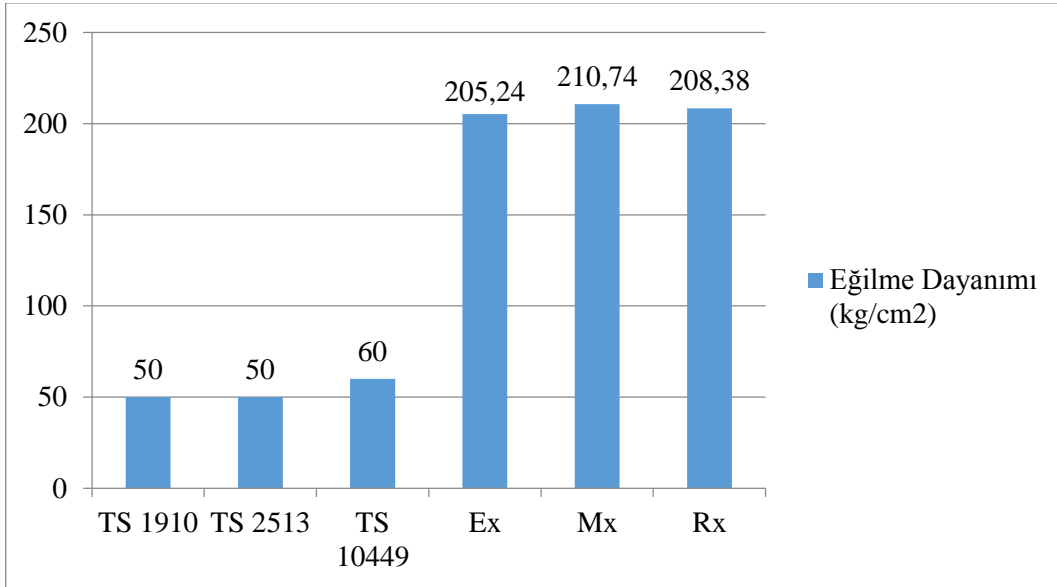
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Eğilme Dayanımı (kg/cm ²)	Darbe Direnci (Kg.cm/cm ³)	Nokta Yük Dayanımı (Mpa)	Schmidt Sertliği	Böhme Aşınma Dayanımı (cm ³ /50 cm ²)
TS 1910	>500	>50				<15
TS 2513	>500	>50	>6			<15
TS 10449	>300 (duvar kaplama) >500 (yer döşeme)	>60	>4 (duvar kaplama) >6 (yer döşeme)			<25 (duvar kaplama) <15 (yer döşeme)
Ex	874,8	205,24	27,2	2,92	27,39	5,50
Mx	910,6	210,74	13,6	1,86	25,30	4,23
Rx	1027,9	208,38	15,6	1,98	25,75	5,03

Tek eksenli basınç dayanımı, belli boyutlardaki mermerlerin tek eksenle etkiyen gerilmeler karşısındaki davranışları ve kırılmaya karşı gösterdikleri direnç olarak tarif edilebilir. Doğal taşların basınca karşı mukavemet verileri standartlarda da gösterildiği gibi, doğal taşın kullanılacağı yere göre farklılık gösterir. Çalışmanın konusu olan Karahallı mermerlerinin tek eksenli basınç dayanımı değeri 874,8-1027,9 kg/cm² arasında değiştiği saptanmıştır (Şekil 9.7). Porozite oranı daha düşük olan Rx mermerinin basınç dayanım değeri beklendiği üzere daha yüksektir. Belirlenen bu değerler TS 1910, TS 2513 ve TS 10449 standart değerlerinin oldukça üzerinde yer almıştır. TS 10449'a göre hem yer döşeme, hem de duvar kaplama malzemesi olarak kullanımlarının uygun olacağı bulunmuştur. Karahallı mermerlerinden Ex ve Mx orta dirençli sınıfta yer alırken, Rx kodlu numune yüksek dirençli kayaç sınıfındadır (Bakınız Çizelge 8.3).



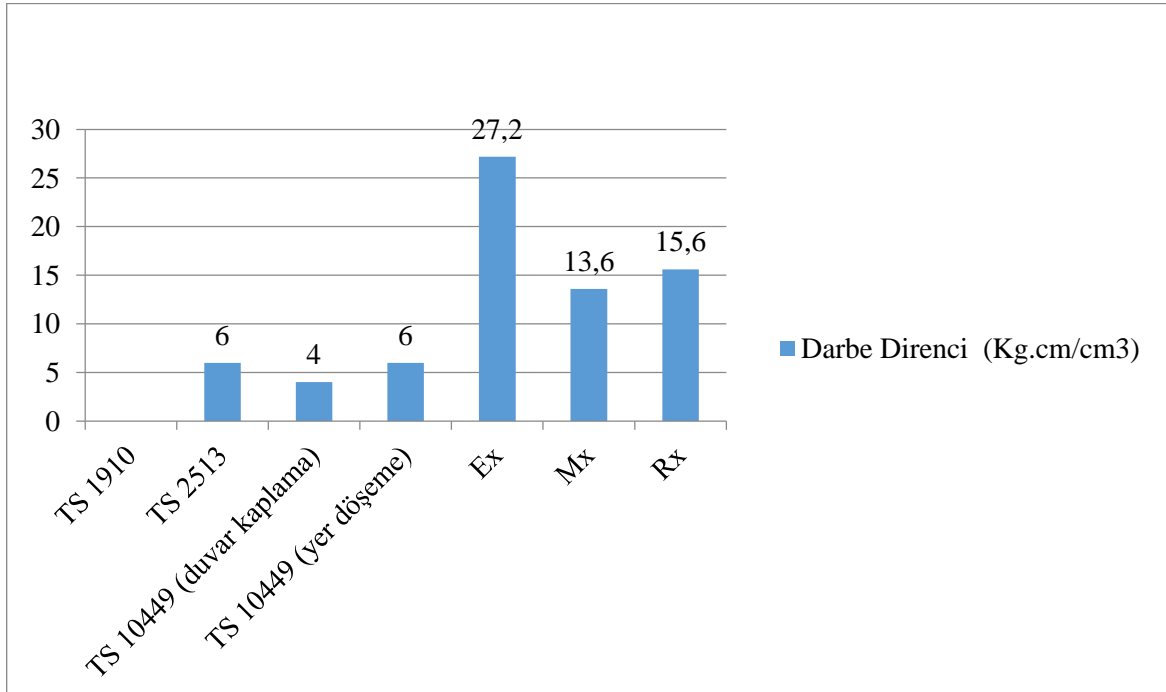
Şekil 9.7 Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Doğal yapı taşları genellikle belirli kalınlıklarda plakalar şeklinde kullanıldıklarından eğilme dirençleri önemli bir parametre olarak değerlendirmeye alınmaktadır. Mermerlerin eğilme dayanımın değerleri ile plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe tespit edilebilmektedir. Numunelerin eğilmeye karşı dayanımları 205,24-210,74 kg/cm² arasında değişmekte olup görüldüğü üzere standart değerlerin oldukça üstündedir (Resim 9.8).



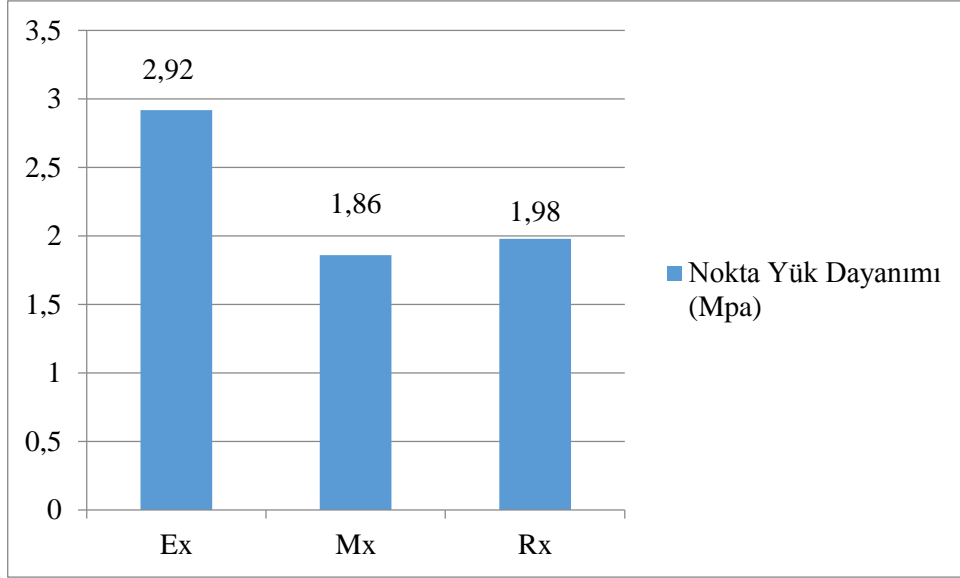
Şekil 9.8 Eğilme dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Standart boyutlardaki kayaç numunelerinin darbelere karşı gösterdiği direnci ifade eden darbe dayanımının kayaçların kullanım alanlarının belirlenmesinde önemli bir yeri vardır. Kayaçların darbeye karşı mukavemetinin artması zemin döşemesinde ve kaplama gibi uygulamalarında daha rahat kullanılmasına kolaylık sağlanmaktadır. Karahallı mermerlerinin darbe dayanımı değerleri 13,6-27,2 kg.cm/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir. Bu değerler TS 10449'a göre sınır değerleri (duvar kaplama için >4 kg.cm/cm³, yer döşeme için >6 kg.cm/cm³) ve TS 2513'e göre sınır değeri (>6 kg.cm/cm³) sağlamaktadır (Resim 9.9).



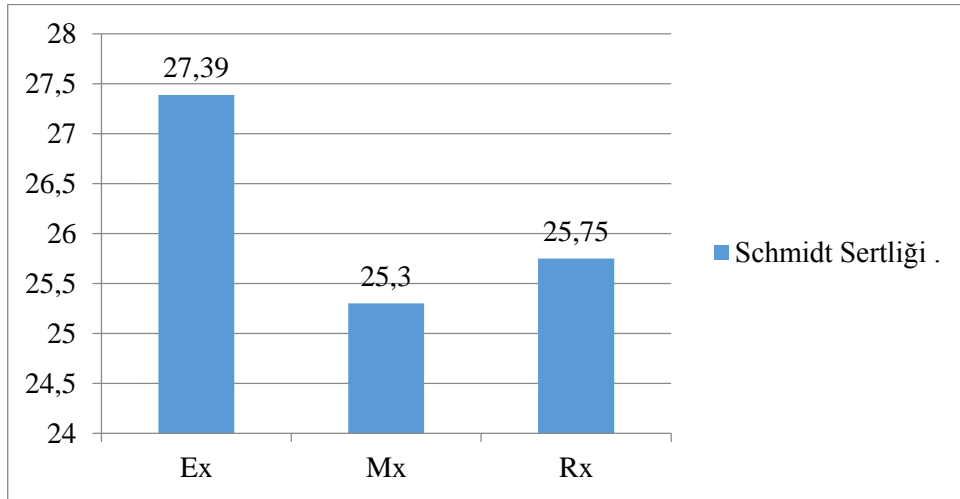
Şekil 9.9 Darbe dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Nokta yük dayanımı deneyi mermerlerin nokta yük indeksine göre sınıflandırılması veya tek eksenli basınç dayanımının tahmin edilmesi için uygulanmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan üç mermerin ortalama nokta yük dayanımlarının 1,86 ile 2,92 MPa arasında olduğu belirlenmiş olup numuneler düşük-orta dirençli kaya sınıfında yer almaktadırlar (Bakınız Çizelge 8.4) [36].



Şekil 9.10 Nokta yük dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

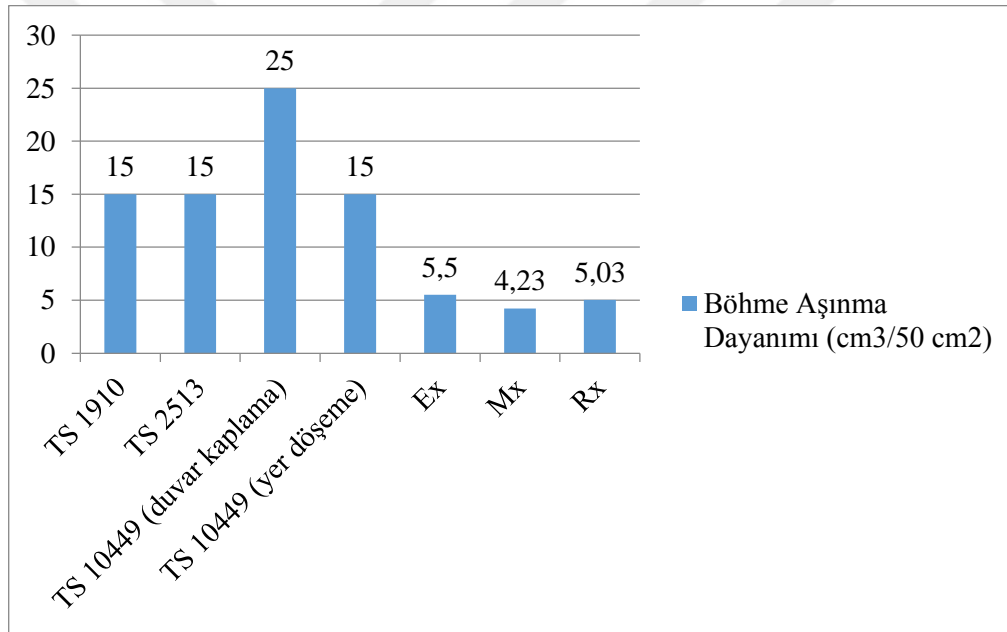
Yapılan çalışmada kayaların Schmidt sertlik değerlerinin 25,3-27,39 arasında olduğu belirlenmiş olup Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM, 1981) tarafından yapılan değerlendirmeye göre Karahallı mermerlerinin az sert kayaç sınıfına girdiği belirlenmiştir (Bakınız Çizelge 8.5).



Şekil 9.11 Schmidt sertlik değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Kaplama taşı olarak kullanılması hedeflenen mermerlerde sürtünme ile oluşacak aşınma kaybı değeri, Böhme aşındırma cihazı kullanılarak belirlenmektedir. Deneysel

sonucunda deney örneklerinde kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen kayıp miktarı ölçülerek hesaplama yapılmaktadır. Karahallı mermerlerinin ortalama hacimce sürtünme ile aşınma dayanımı değerlerinin 4,23 ile 5,5 $\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ arasında olduğu bulunmuştur. Bu değerler TS 10449'a göre mermerlerde sürtünmeden dolayı aşınma miktarı döşeme kaplaması, merdiven basamağı gibi yer döşemesi olarak kullanılacak mermerler için $15\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ 'den, duvar kaplamasında kullanılacak mermerlerde ise $25\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ 'den küçük olmaması gerektiği belirtilmektedir. TS 1910'a ve TS 2513'e göre sınır değer ise $<15\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ olarak belirtilmektedir. Karahallı bölgesi mermerlerinin her üç standartta verilen sürtünme ile aşınma dayanımı sınır değerlerini sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 9.12 Böhme aşınma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

9.1.3 Karahallı Mermerlerin Kimyasal ve Minerolojik-Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Karahallı (Uşak) mermerlerinin ortalama kimyasal özellikleri Çizelge 9.3'de verilmiştir.

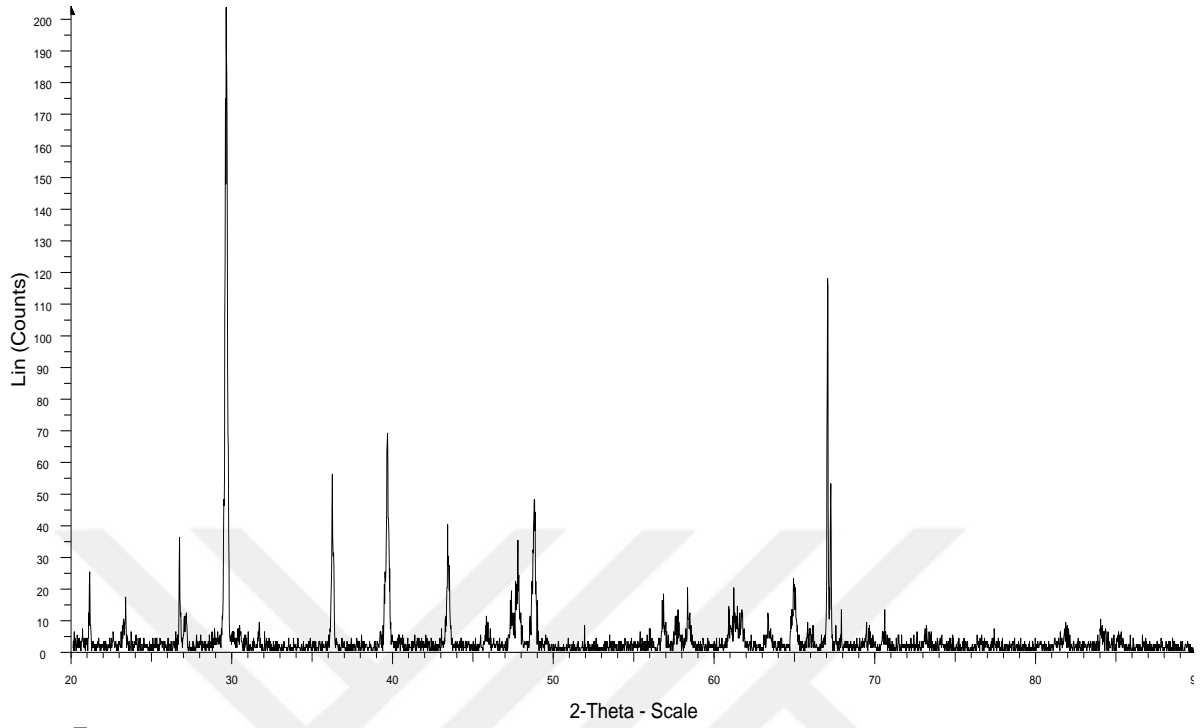
Kimyasal bileşim mermerlerin içindeki elementlerin oksit değerlerinin toplamıdır. Kimyasal bileşim mermerlerin fiziksel özelliklerine etki eder. Örneğin; SiO₂ oranı arttıkça kayaç daha sertleşirken, MgO oranı arttıkça kırılma güçleşir, Fe₂O₃ oranı arttıkça ise rengi koyulaşır [38]. Mermer örneklerinin kimyasal oksit içeriklerini belirlemek için yapılmış kimyasal analiz sonuçları Çizelge 9.3 de verilmektedir. Örneklerinin majör oksit değerleri ise beklendiği gibi en yüksek değeri CaO'nun verdiği, mermerlerin CaO oranlarının %52,9-55,4 arasında olduğu saptanmıştır. Buradan hesapla %94,42-98,88 oranında kalsit minerali (CaCO₃) içerdikleri belirlenmiştir. Uşak Yeşili Ex mermerinin diğer iki mermerden daha yüksek oranda SiO₂ (%5,06), TiO₂ (%0,16) ve Fe₂O₃ (%1,25) içerdiği görülmektedir.

Çizelge 9.3 Karahallı mermerlerinin kimyasal analiz sonuçları

	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	K.K(%)
Ex	52,9	2,16	0,17	5,06	0,16	1,25	0,015	0,35	0,049	37,88
Mx	54	2,03	0,15	0,17	0,061	0,008	0,015	0,034	0,043	43,47
Rx	55,4	2,24	0,17	0,2	0,076	0,01	0,015	0,072	0,046	41,71

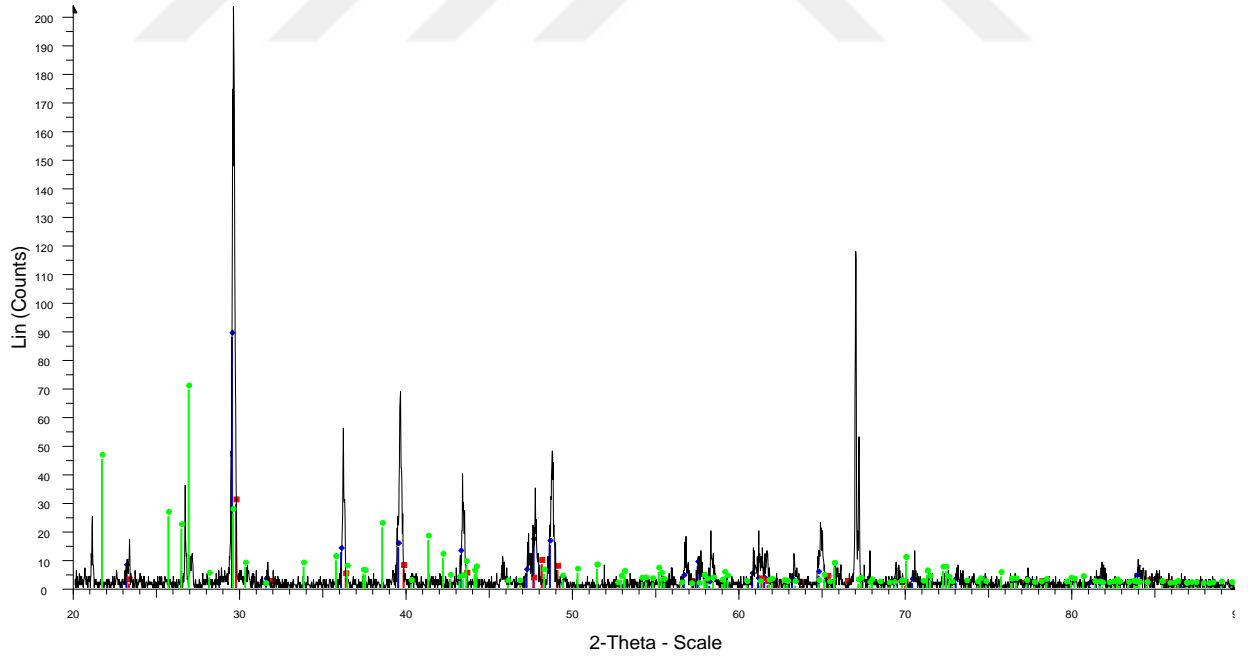
K.K: Kızdırma kaybı

Karahallı mermerlerine ait XRD analizleri sonucunda elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir (Resim 9.1, Resim 9.2, Resim 9.3). Grafiklerden görüldüğü üzere Ex kodlu numune kalsit (CaCO₃), dolomit (CaMg(CO₃)₂) ve kuvars (SiO₂) minerallerinden oluşurken, Mx kalsit minerali, Rx ise kalsit ile birlikte dolomit içermektedir. XRD sonuçlarının XRF ile uyumlu olduğu görülmektedir.



File: ex.raw - Start: 20.000 ° - End: 90.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.2 s - 2-Theta: 20.000 ° - WL1: 1.5406 - kA2 Ratio: 0.5 - Generator kV: 40 kV - Generator mA: 40 mA - X-Offset: 0.000 - Creation: 2/5/2021 12:3
Operations: Import

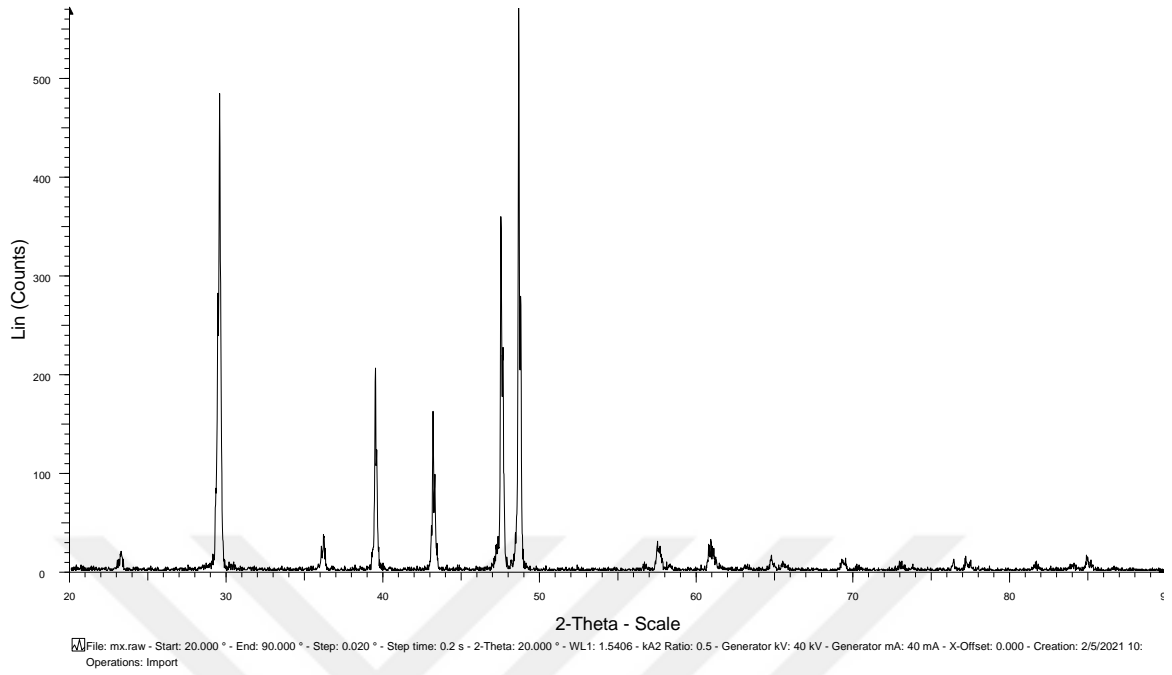
Silicon Oxide



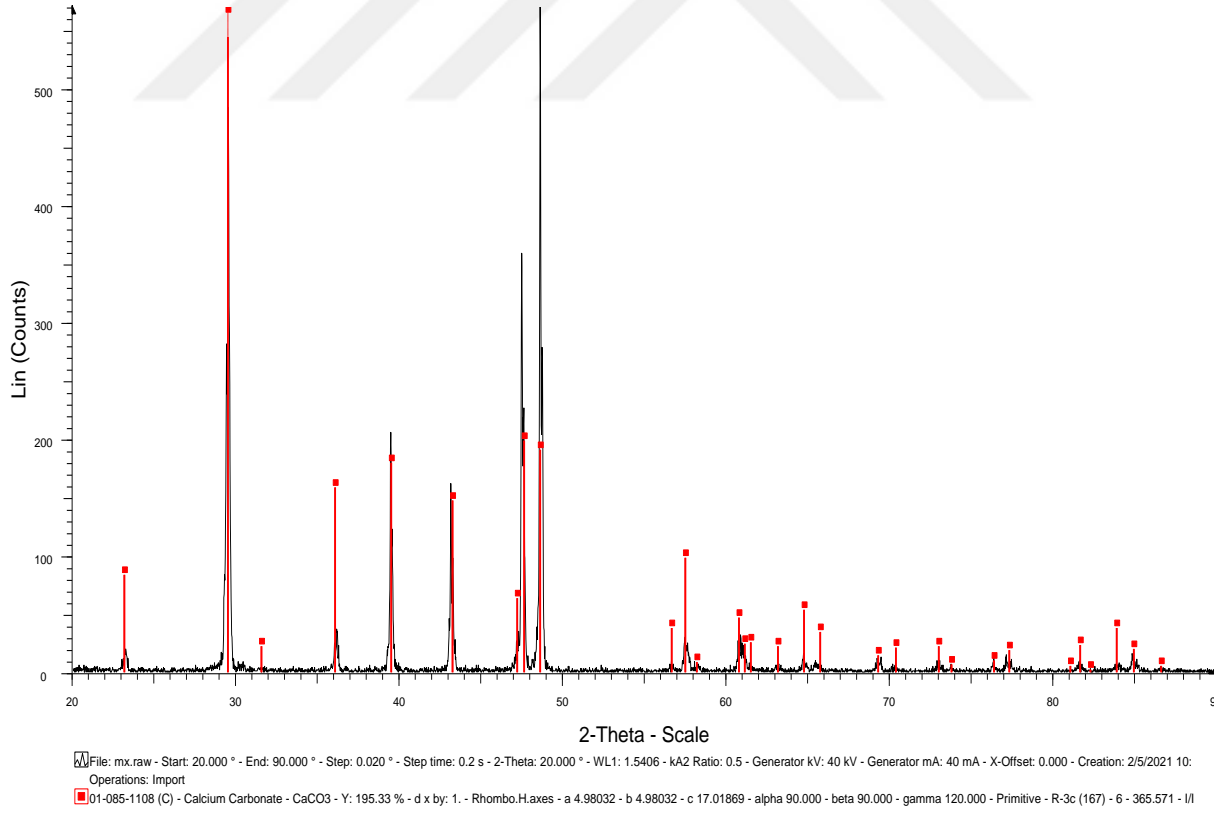
File: ex.raw - Start: 20.000 ° - End: 90.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.2 s - 2-Theta: 20.000 ° - WL1: 1.5406 - kA2 Ratio: 0.5 - Generator kV: 40 kV - Generator mA: 40 mA - X-Offset: 0.000 - Creation: 2/5/2021 12:3
Operations: Import

- 01-082-1563 (C) - Silicon Oxide - SiO₂ - Y: 65.38 % - d x by: 1. - Monoclinic - a 6.99790 - b 8.21220 - c 6.51060 - alpha 90.000 - beta 114.930 - gamma 90.000 - Base-centered - C2 (5) - 8 - 339.290 - I/Ic PDF 1.8 - S-
- 01-085-1108 (C) - Calcium Carbonate - CaCO₃ - Y: 43.16 % - d x by: 1. - Rhombo.H.axes - a 4.98032 - b 4.98032 - c 17.01869 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 365.571 - I/Ic
- 00-043-0697 (*) - Calcite, magnesian - (Ca,Mg)CO₃ - Y: 14.45 % - d x by: 1. - Rhombo.H.axes - a 4.94260 - b 4.94260 - c 16.85200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 356.527

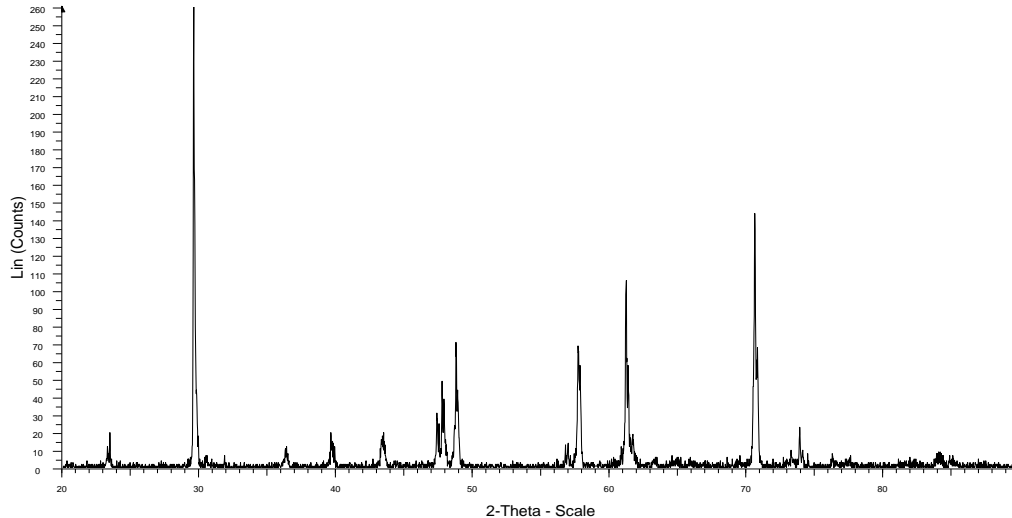
Resim 9.1 Ex mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları



Calcium Carbonate

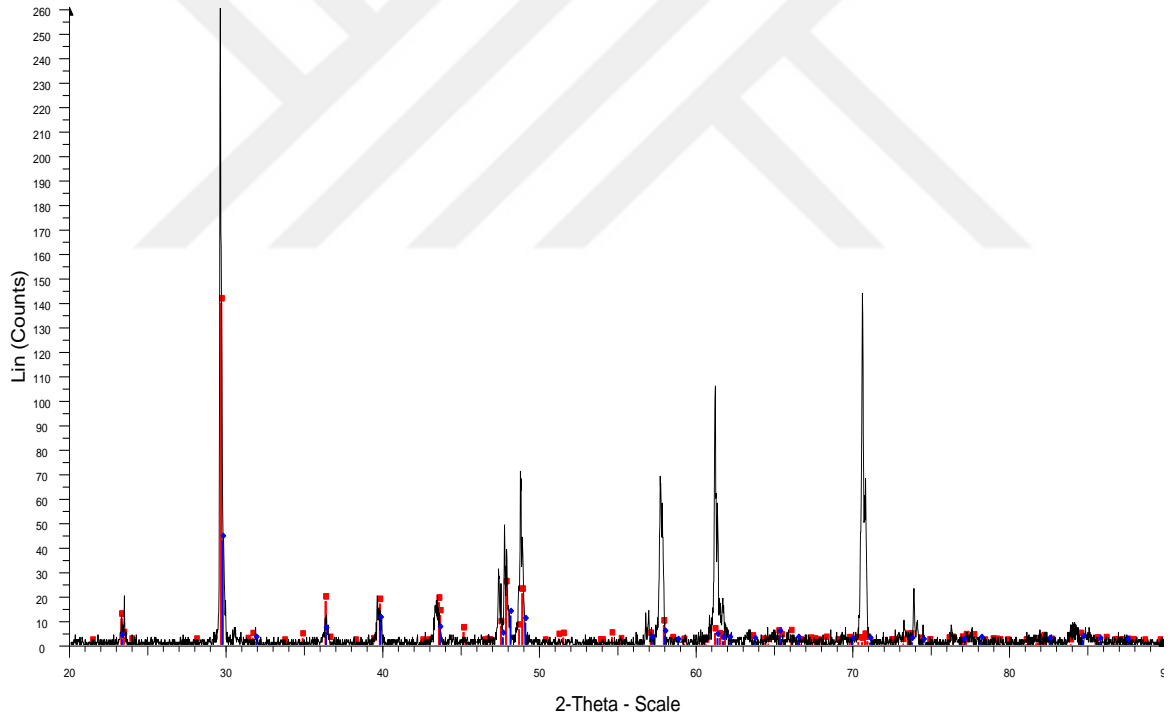


Resim 9.2 Mx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları



File: rx.raw - Start: 20.000 ° - End: 90.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.2 s - 2-Theta: 20.000 ° - WL1: 1.5406 - kA2 Ratio: 0.5 - Generator kV: 40 kV - Generator mA: 40 mA - X-Offset: 0.000 - Creation: 2/5/2021 9:25: Operations: Import

Calcium Carbonate



File: rx.raw - Start: 20.000 ° - End: 90.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.2 s - 2-Theta: 20.000 ° - WL1: 1.5406 - kA2 Ratio: 0.5 - Generator kV: 40 kV - Generator mA: 40 mA - X-Offset: 0.000 - Creation: 2/5/2021 9:25: Operations: Import

01-070-0095 (C) - Calcium Carbonate - CaCO₃ - Y: 53.71 % - d x by: 1. - Monoclinic - a 6.33400 - b 4.94800 - c 8.03300 - alpha 90.000 - beta 107.900 - gamma 90.000 - Primitive - P21/c (14) - 4 - 239.573 - I/lc PDF 2
 00-043-0697 (*) - Calcite, magnesian - (Ca,Mg)CO₃ - Y: 16.37 % - d x by: 1. - Rhombo.H.axes - a 4.94260 - b 4.94260 - c 16.85200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 356.527

Resim 9.3 Rx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları

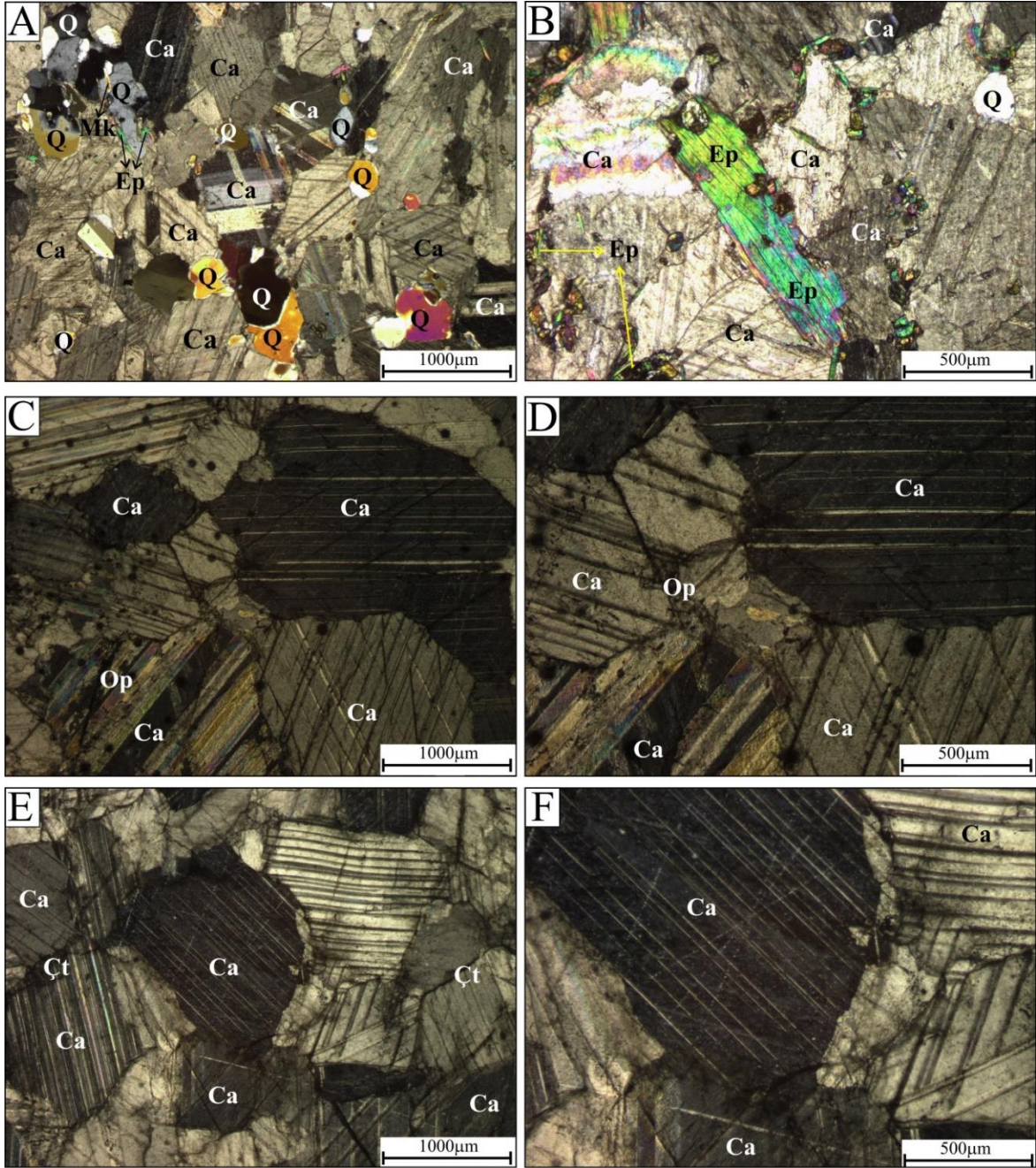
Karahallı bölgesinden alınan Ex, Mx ve Rx kodlu mermer örnekleri üzerinde yapılan mineralojik-petrografik incelemelere göre XRD sonuçları ile uyumlu olarak kalsit kristallerinin ana bileşen olduğu görülmüştür. Genel olarak mermer örneklerinde kalsit

mineralleri yaklaşık eş boyutlu, bazı seviyelerde yarı öz şekilli oldukları ve granoblastik doku özelliği gösterdikleri belirlenmiştir. Özellikle Resim 9.4'de görüldüğü üzere Ex kodlu yeşil, açık yeşil renkli mermerlerde kalsit kristallerinin birleşme sınır hatlarında az oranda kuvars, epidot ve mika grubu mineral türlerinin varlığı belirlenmiştir. Ex kodlu mermerlerde yer yer yuvarlak şekilli saçılmış taneler şeklinde kuvars kristalleri bulunmaktadır. Kuvars taneleri pürüzsüz yüzeylerinin dilinimsiz oluşu ile kalsit tanelerinden kolaylıkla ayrılmaktadırlar.

Mx ve Rx kodlu mermerlerde kalsit kristalleri birbirleriyle 120° lik açılar yapacak köşeler oluşturacak şekilde birleşmiş oldukları görülmektedir. Resim 9.4'de görüldüğü üzere Mx kodlu beyaz renkli mermerlerde kristal sınırları ve romboedrik dilinim izleri belirgin olup kristal sınırları boyunca yer yer opak minerallerin varlığı belirgindir. Granoblastik doku ve polisentetik ikizlenme Mx kodlu örneklerde belirgin şekilde gözlenmiştir. Benzer şekilde Rx kodlu mermer örneklerinde ise Mx kodlu örneklere göre kristal sınır hatları boyunca opak minerallerin varlığı daha az oranda belirlenmiştir. Ayrıca Resim 9.4'de bu kesimlerde stilolit şeklinde mikro yapılar belirgindir. Mermer örneklerin üzerinde yapılan tane boyut dağılımları inceleme sonuçlarına göre Ex kodlu mermerlerin $177,6 \mu\text{m}$ ile $1599,2 \mu\text{m}$ arasında, Mx kodlu mermerlerin $411,4 \mu\text{m}$ ile $2687,8 \mu\text{m}$ arasında ve Rx kodlu mermerlerin ise $80,5 \mu\text{m}$ ile $2116,6 \mu\text{m}$ arasında kalsit tanelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre Ex kodlu mermerler ince taneli mermer grubunda yer alırken, Mx ve Rx kodlu mermerler ince-orta taneli mermer grubunda yer almaktadırlar (Bakınız Çizelge 8.6) [6].

Kimyasal analiz sonuçlarına göre Uşak Yeşil mermeri (Ex) diğer iki mermere göre daha yüksek oranda SiO_2 (%5,06) içermektedir. Buna bağlı olarak Ex kodlu mermerin Schmidt sertlik değeri (27,39) diğer mermer örneklerine göre daha büyük olduğu görülmektedir.

Mineralojik-petrografik incelemelerle Uşak Yeşil mermerlerinde belirlenen yer yer yuvarlak şekilli saçılmış taneler şeklinde kuvars kristalleri, bu mermer örneğinin kimyasal analiz sonuçları ile uyumludur (%5,06 SiO₂).



Resim 9.4 Karahallı-Uşak Bölgesi Mermerlerin Polarizan Mikroskop Görüntüleri(a-b) Ex nolu mermer, (c-d) Mx nolu mermer, (e-f) Rx nolu mermer (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, Mk: Mika, Ep: Epidot, Op: Opak mineral, Çt: Çatlak, Çapraz Nikol (NX) 1000 ve 500 büyütme)

Ex kodlu Uşak yeşil mermeri diğer iki mermer numunesine göre yüksek oranda TiO_2 (%0,16) ve Fe_2O_3 (%1,25) içerdiğinden, diğer mermerler beyaz renkli iken Ex mermerinin rengi yeşilimsi ve daha koyudur. Bu mermer türünün içerdiği epidot ve mika grubu mineraller mermere açık yeşil renk vermektedir.

Ex Uşak yeşil mermerinin yüksek TiO_2 (%0,16) ve Fe_2O_3 (%1,25) gibi ağır mineral içerikleri bu mermer örneğinin özgül ağırlık değerinin ($2,8 \text{ gr/cm}^3$) de diğer mermer örneklerine göre daha büyük olmasını sağlamaktadır.

Ex kodlu Uşak yeşil mermerinde mineralojik-petrografik incelemelerle tespit edilen kuvars, epidot ve mika grubu mineral türlerinin varlığı, bu mermerin diğer mermer örneklerine göre kimyasal analiz ile uyumlu daha az kalsit (%94,42) içeriğine sahip olmasına neden olmaktadır. Bu minerallerin varlığı Ex mermerinin boşluk oranını düşürmüş, düşük porozite (%0,81) ve yüksek doluluk oranına (%96,55) neden olmuş, buna bağlı olarak da en yüksek sonik hız değerine ($4,33 \text{ Km/sn}$) ulaşılmasına sebep olmuştur.

Karahallı bölgesinden alınan her üç mermer örneği üzerinde yapılan mineralojik-petrografik incelemelere göre, kimyasal analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak kalsit kristallerinin ana bileşen olduğu görülmüştür. Mermerlerin CaO oranlarının %52,9-55,4 arasında olduğu ve hesapla %94,42-98,88 oranında kalsit minerali ($CaCO_3$) içerdikleri belirlenmiştir.

Diğer numunelere göre tane boyutunun daha iri olduğu belirlenen Mx kodlu örneğin ($411,4 \mu\text{m}$ ile $2687,8 \mu\text{m}$ arasında) porozite oranının da daha yüksek (%0,95) olduğu görülmektedir. Mx kodlu numunenin yüksek porozite değeriyle uyumlu olarak su emme değeri de (%0,35) diğer iki numuneye göre daha yüksektir.

9.2 Sivashlı Bölgesi Mermerlerinin Analiz Sonuçları

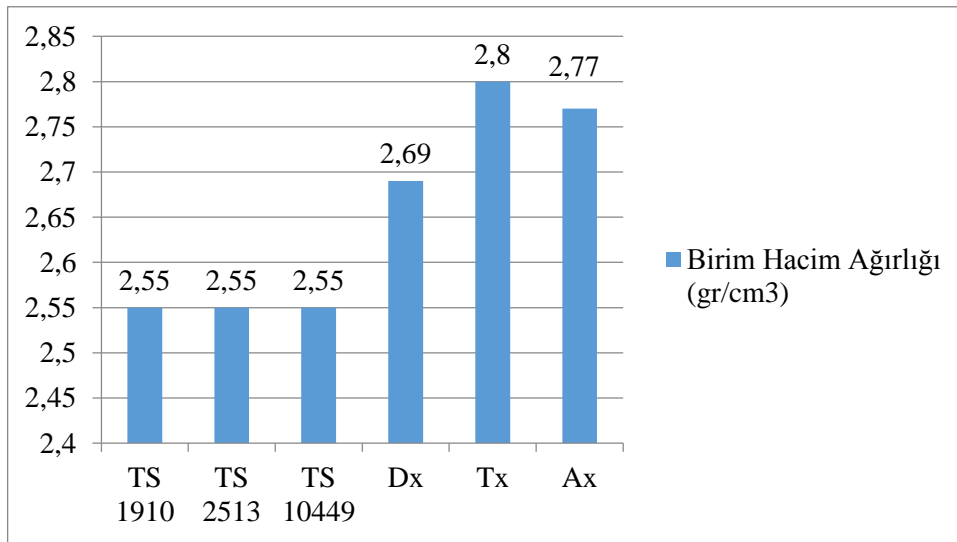
9.2.1 Sivashlı Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Sivashlı (Uşak) mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin standart değerlerle karşılaştırılması Çizelge 9.4' de verilmiştir.

Çizelge 9.4 Sivaslı beyaz mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması

	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (Ağırlıkça) (%)	Porozite Oranı (%)	Doluluk Oranı (%)	Sonik Hız (Km/sn)
TS 1910	>2,55		<0,75	<2		
TS 2513	>2,55		<1,80			
TS 10449	>2,55		<0,4		>98	
Dx	2,69	2,76	0,32	0,87	97,42	4,18
Tx	2,80	2,82	0,17	0,48	97,63	4,19
Ax	2,77	2,90	0,27	0,74	94,04	4,17

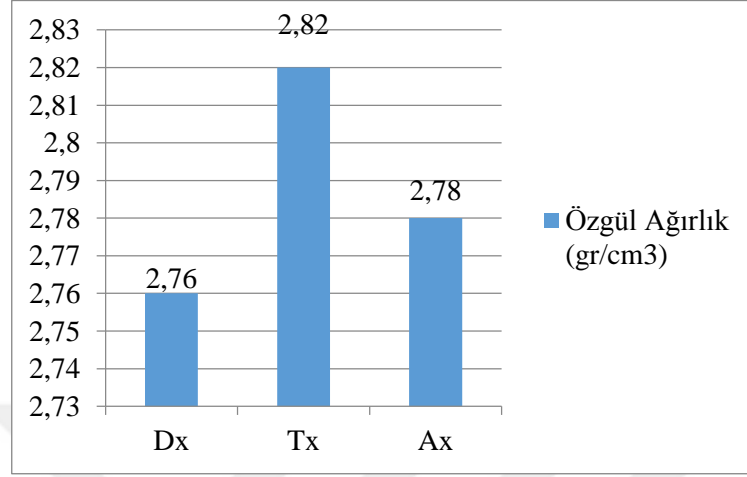
Mermerlerin birim hacim ağırlığı 2,2-3,2 gr/cm³ arasında değişmektedir ve gerçek mermerler için bu değer 2,70 gr/cm³tür [13]. Dx, Tx ve Ax mermerlerinin hacim hesaplamalarında, nakliyesinde kullanılmakta olan ortalama birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 2,69; 2,80 ve 2,77 gr/cm³ olarak bulunmuştur. TS 1910, TS 2513 ve TS 10449'a göre mermerlerin yapılarda kullanılabilmesi için birim hacim ağırlık değeri 2,55 gr/cm³ değerinden büyük olmalıdır. Her üç mermer de bu limit değerini sağlamaktadır.



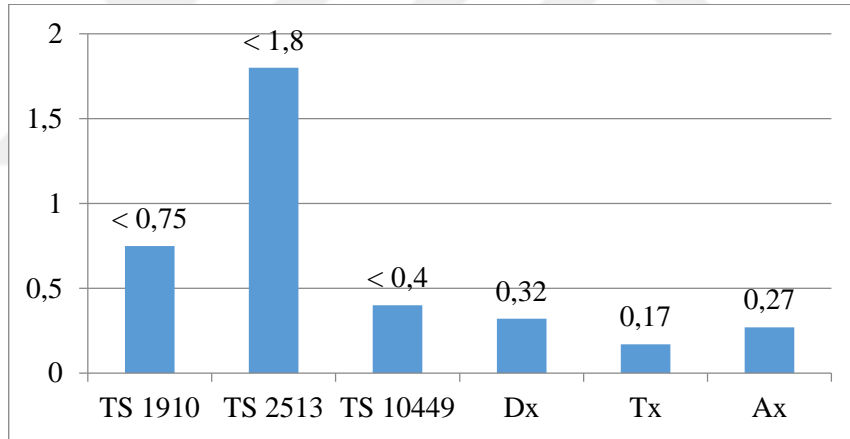
Şekil 9.13 Birim hacim ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Mermer numunelerinin piknometre deneyi ile gerçekleştirilen özgül ağırlık deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Mermerlerin özgül ağırlık değerleri arttıkça

ekonomik değerleri de artmaktadır. Numunelerin özgül ağırlık değerlerinin 2,76-2,82 gr/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir.

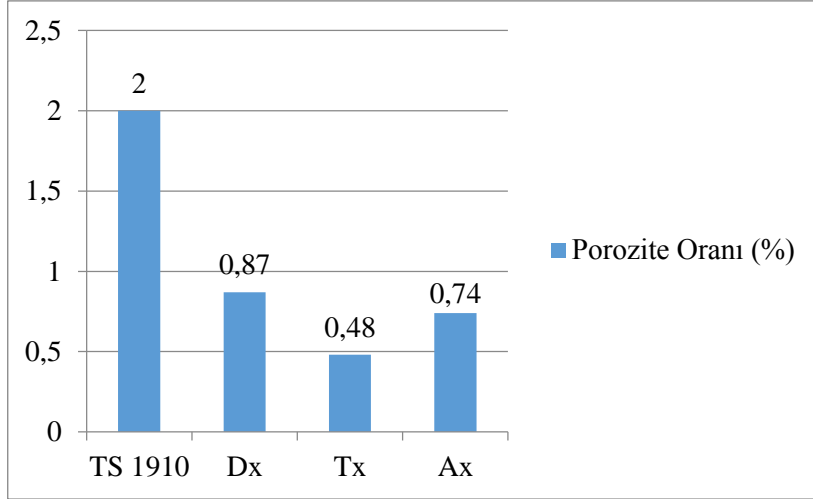


şekil 9.14 Özgül ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması



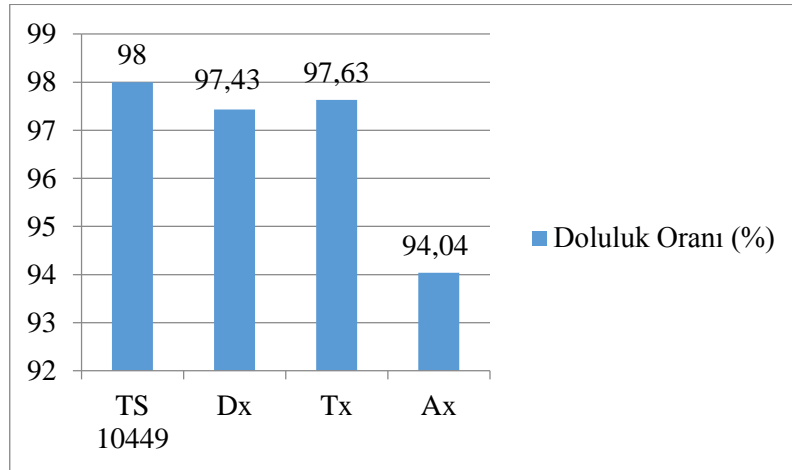
şekil 9.15 Su emme değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Mermerlerde porozite oranı ne kadar büyürse ekonomik değeri o kadar azalmaktadır. Görüldüğü üzere etkin (görünür) porozite değeri en büyük olan Dx numunesinin su emme değeri de en büyük değer olarak (%0,32) belirlenmiştir. Numunelerin porozite oranı arttıkça su emme değeri de artmaktadır. TS 1910'a göre uygun ve kaliteli sayılabilecek bir mermerin porozitesi en fazla %2 olmalıdır. Numuneler belirtilen sınır değeri sağlamaktadır. Sivashlı mermerleri "Çok kompakt" kayaç sınıfına girmektedir (Bakınız Çizelge 8.1).



Şekil 9.16 Porozite oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması

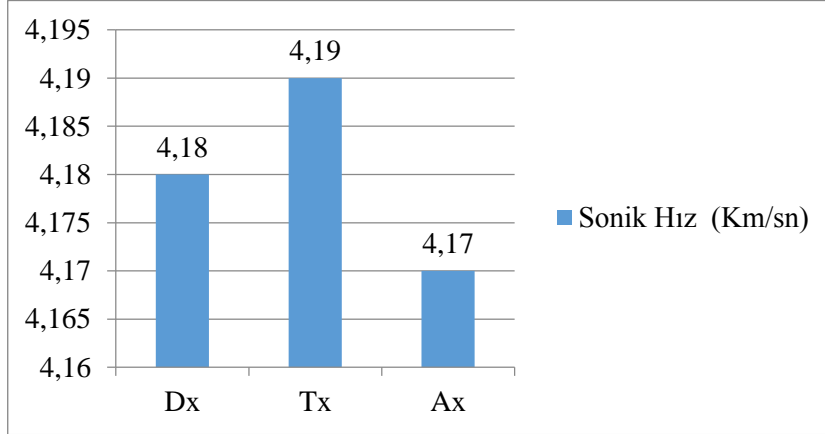
Mermerlerin doluluk oranı, birim hacim ağırlığın özgül ağırlığa oranı olarak tanımlanmaktadır. Çalışma bölgesinde yer alan mermerlerin doluluk oranı değeri % 94,04-97,63 arasında hesaplanmıştır. TS 10449 standardına göre bu değer minimum %98 olmalıdır. Sivaslı bölgesi mermerlerinin doluluk oranı değeri standart limitin altında olmakla birlikte bu değere oldukça yakın olduğu belirlenmiştir (Resim 9.17).



Şekil 9.17 Doluluk oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması

Yapılan deneyler sonucunda numunelerin P dalga hızı 4,17-4,19 Km/sn arasında olduğu bulunmuştur. Genel olarak sonik dalga hızı mermerin gözeneklilik değeriyle ilişkilidir. Porozitesi düşük olan mermerlerin dalga hızı yüksektir. Çalışmada porozite değeri en düşük olan Tx numunesinin sonik dalga hızı en büyük olarak (4,19

Km/sn) belirlenmiştir. Sivaslı mermerlerinin sismik dalga hızı sınıflandırılmasına göre yüksek hız sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Bakınız Çizelge 8.2).



Şekil 9.18 Sonik hız değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

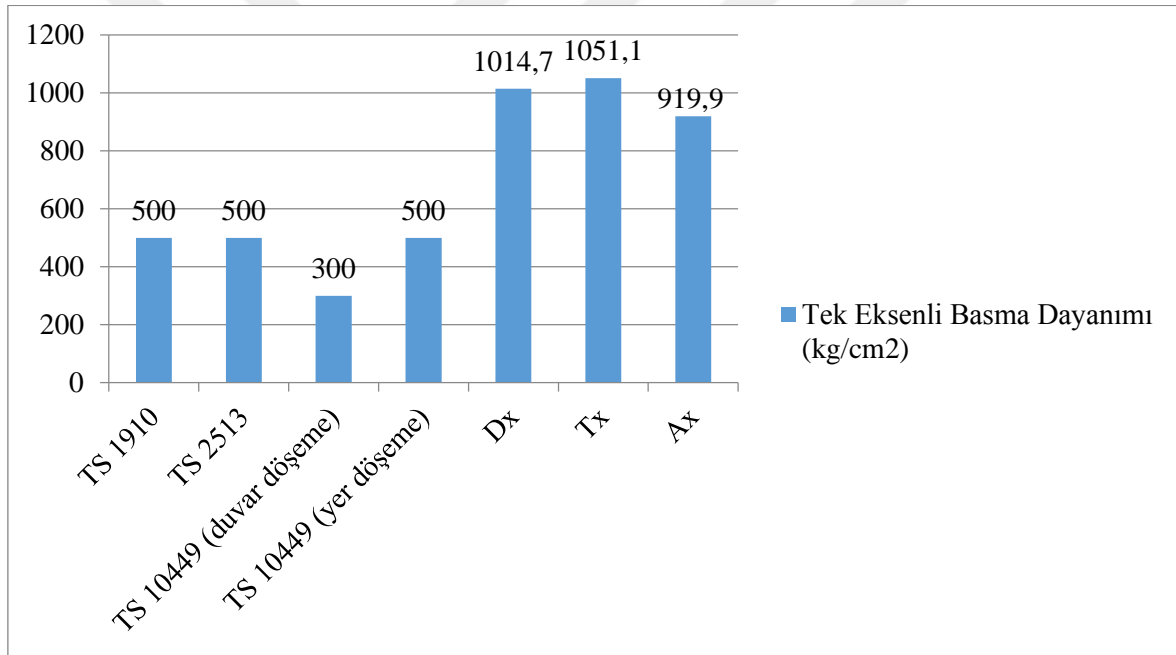
9.2.2 Sivaslı Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Sivaslı (Uşak) mermerlerinin ortalama mekanik özelliklerinin standart değerlerle karşılaştırılması Çizelge 9.5’de verilmiştir.

Çizelge 9.5 Sivaslı beyaz mermerlerinin ortalama mekanik özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması

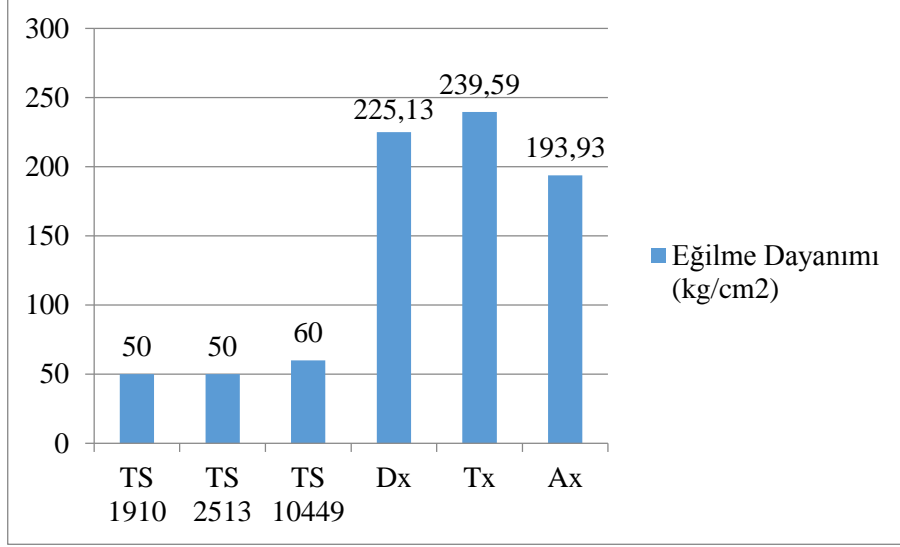
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Eğilme Dayanımı (kg/cm ²)	Darbe Direnci (Kg.cm/cm ³)	Nokta Yük Dayanımı (Mpa)	Schmidt Sertliği	Böhme Aşınma Dayanımı (cm ³ /50 cm ²)
TS 1910	>500	>50				<15
TS 2513	>500	>50	>6			<15
TS 10449	>300 (duvar kaplama) >500 (yer döşeme)	>60	>4 (duvar kaplama) >6 (yer döşeme)			<25 (duvar kaplama) <15 (yer döşeme)
Dx	1014,7	225,13	28	3,33	27,25	4,37
Tx	1051,1	239,59	18,8	2,78	27,60	4,67
Ax	919,9	193,93	12,4	1,89	26,20	3,90

Tek eksenli basınç dayanımı, kayacın üzerine uygulanan basma yüklerine karşı kayaların kırılmadan önce dayanma yeteneğini göstermektedir. Sivaslı mermerlerinin tek eksenli basınç dayanımı değeri 919,9-1051,1 kg/cm² arasında değiştiği saptanmıştır. Görüldüğü üzere belirlenen bu değerler, TS 2513, TS 1910 ve TS 10449 standart değerlerinin üzerinde yer almıştır. TS 10449'a göre hem yer döşeme, hem de duvar kaplama malzemesi olarak kullanımlarının uygun olacağı bulunmuştur. Doğal taşlarda boşlukları artması kayacın dayanıklılığını azaltmaktadır. Çalışmada porozite değeri en düşük olan Tx numunesinin basınç dayanımı değerinin en büyük olduğu belirlenmiştir. Sivaslı mermerleri basınç dayanımı değerleri ile orta-yüksek dirençli sınıfta yer almaktadır (Bakınız Çizelge 8.3).



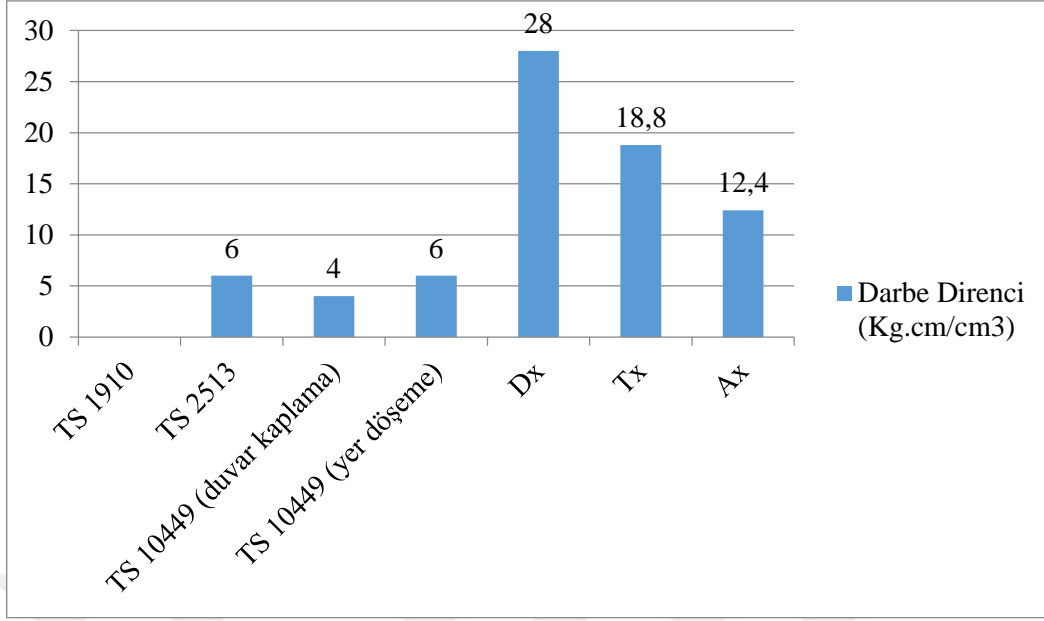
Şekil 9.19 Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Mermerlerde eğilme dayanımı standart orandaki plaka mermerlerinin belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri mukavemettir. Mermerlerin genellikle belirli plaka şeklinde olduğundan eğilme dayanımı önemli bir parametre sayılmaktadır [20]. Numunelerin eğilmeye karşı dayanımları 193,93-239,59 kg/cm² arasında değişmekte olup Şekil 9.20'de görüldüğü üzere standart değerlerin oldukça üstündedir. Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değeri arttıkça eğilme dayanımı değeri de artmaktadır.



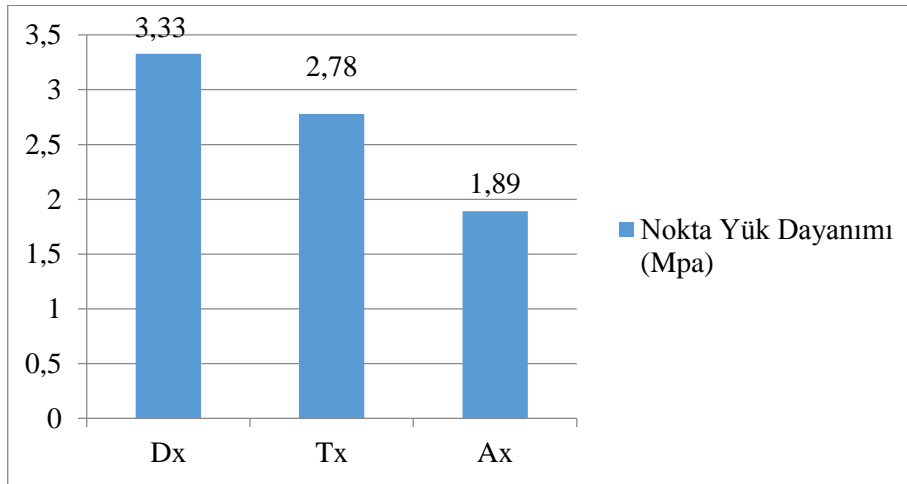
Şekil 9.20 Eğilme dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Standart boyutlardaki kayaç numunelerinin belirli bir doğrultuda darbelere karşı gösterdiği direnci ifade eden darbe dayanımının kayaçların kullanım alanlarının belirlenmesinde önemli bir yeri vardır. Şekil 9.21’de görüldüğü üzere Sivashlı mermerlerinin darbe dayanımı değerlerinin 12,4-28 kg.cm/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir. Bu değerler TS 10449’a göre sınır değerleri (duvar kaplama için >4 kg.cm/cm³, yer döşeme için >6 kg.cm/cm³) ve TS 2513’e göre sınır değeri (>6 kg.cm/cm³) sağlamaktadır.



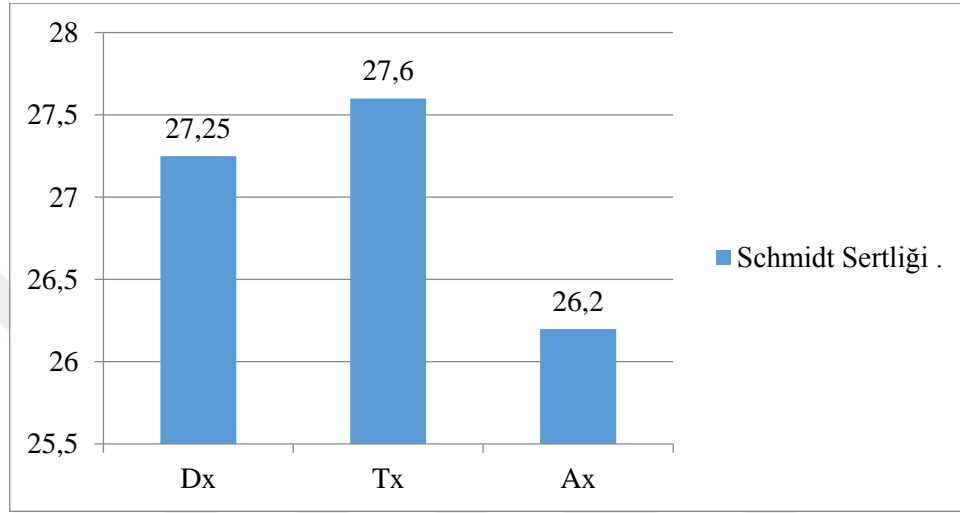
Şekil 9.21 Darbe dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Nokta yük dayanımı, kayaların tek eksenli basınç dayanımının tahmin edilmesi için uygulanmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan üç mermerin ortalama nokta yük dayanımlarının 1,89 ile 3,33 MPa arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.22). Çalışmalarda kullanılan mermer örneklerinin nokta yük dayanımı değerleri arttıkça tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin de doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Sivashlı mermerlerinden Dx ve Tx nokta yük değerlerine göre sınıflandırıldığında orta dirençli kayaç sınıfında yer alırken, Ax mermerinin ise düşük dirençli sınıfa girdiği belirlenmiştir (Bakınız Çizelge 8.4).



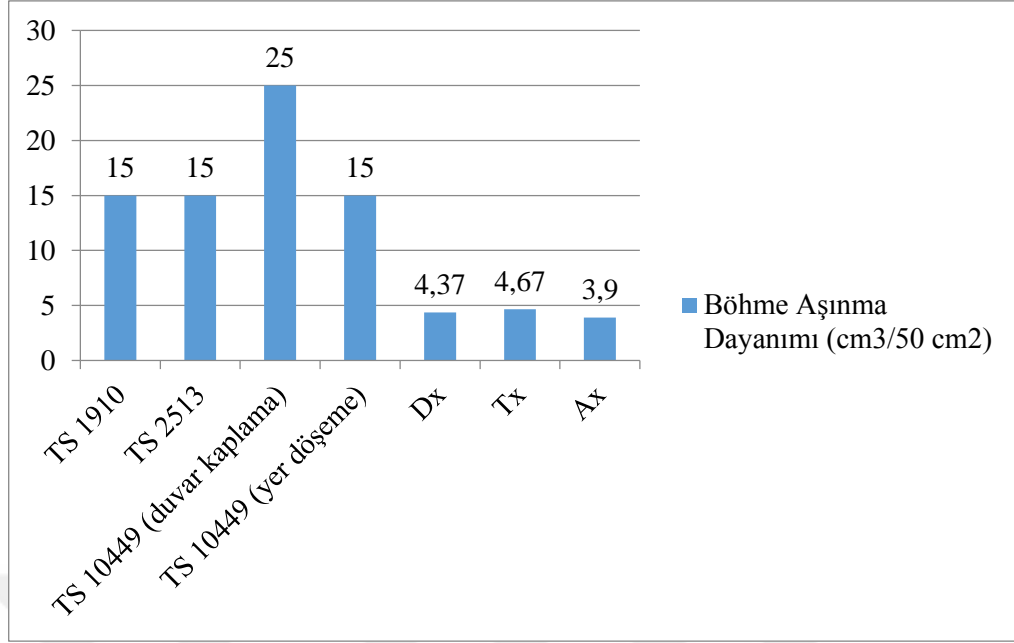
Şekil 9.22 Nokta yük dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Yapılan çalışmada kayaların Schmidt sertlik değerlerinin 26,20-27,60 arasında olduğu belirlenmiş (Şekil 9.23) olup Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM, 1981) tarafından yapılan değerlendirmeye göre Sivashlı mermerlerinin az sert kayaç sınıfına girdiği belirlenmiştir (Bakınız Çizelge 8.5).



Şekil 9.23 Schmidt sertlik değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Aşınma dayanımı, kayaların yüzeyindeki aşındırıcı maddeler ile oluşturulan aşınmaya karşı gösterdiği dayanımıdır. Taban ve merdiven basamaklarında kullanılacak mermer plakalarında meydana gelebilecek aşınma kayıplarının önceden laboratuvarında belirlenmesi, uygun doğal taş seçimine olanak sağlamaktadır. Aşınma dayanım değerleri ne kadar düşük değerde olursa, mermerler o kadar ekonomik olmaktadır [13]. Sivashlı mermerlerinin ortalama hacimce sürtünme ile aşınma dayanımı değerlerinin 3,90 ile 4,67 $\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ arasında olduğu bulunmuştur. Numuneler standartlardaki sınır değerlerini sağlamaktadır (Şekil 9.24).



Şekil 9.24 Böhme aşınma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

9.2.3 Sivashlı Mermerlerin Kimyasal ve Minerolojik-Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

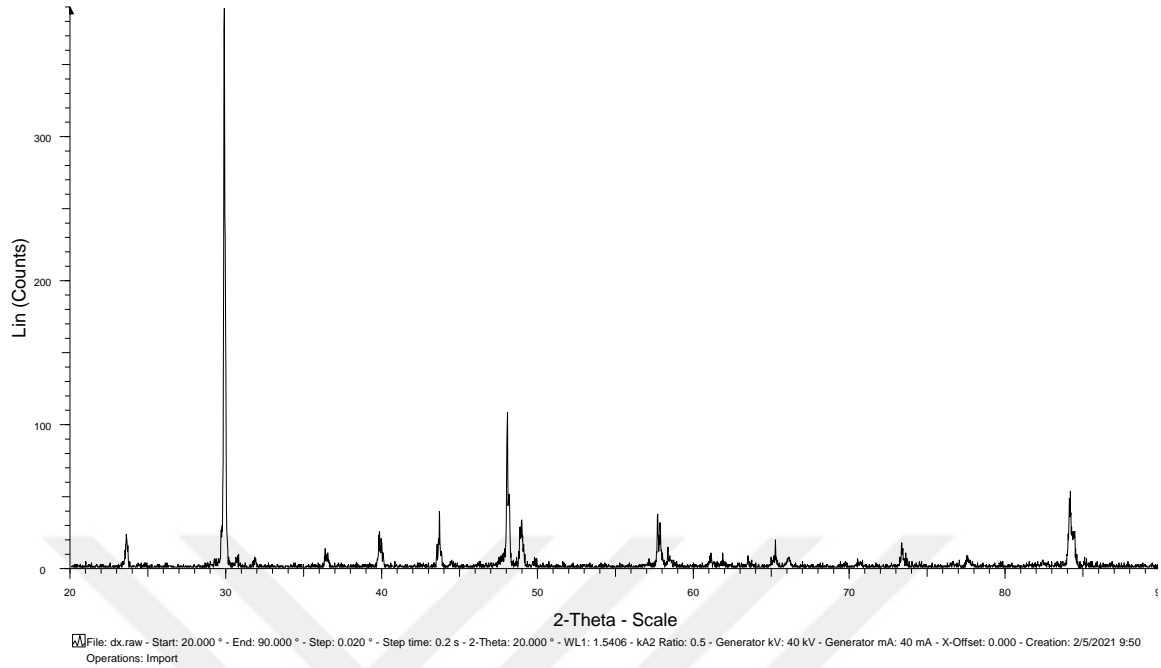
Sivashlı (Uşak) mermerlerinin ortalama kimyasal özellikleri Çizelge 9.6' da verilmiştir. Mermerlerin kimyasal analiz sonuçlarına göre belirgin bir bileşim farklılığı bulunmamaktadır. Örneklerinin majör oksit değerleri incelendiğinde beklendiği gibi en yüksek değeri CaO'nun verdiği görülmektedir. Her üç mermerin de CaO oranı %50'nin üzerindedir. Sx numunesinin CaO ve MgO oranı diğerlerine göre azda olsa daha yüksek olduğu belirlenmiştir. %90,31-95,84 oranında kalsit minerali (CaCO₃) içerdikleri belirlenmiştir.

Çizelge 9.6 Sivashlı mermer örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

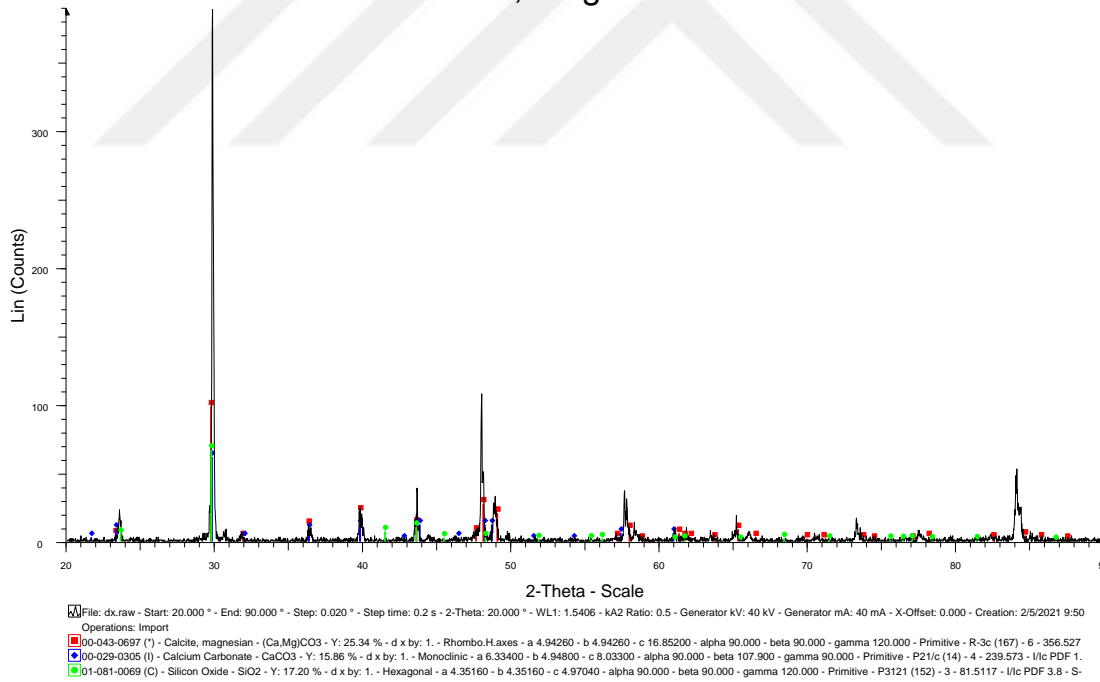
	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	K.K
										(%)
Dx	53,7	2,06	0,16	0,71	0,063	0,026	0,015	0,14	0,047	43,02
Tx	52,1	2,29	0,16	0,19	0,08	0,06	0,015	0,095	0,039	44,89
Ax	50,6	1,76	0,13	0,49	0,11	0,04	0,015	0,14	0,038	46,67

Sivaslı mermerlerine ait XRD analizleri sonucunda elde edilen grafikler Resim 9.5, 9.6 ve 9.7 'de verilmektedir. Her üç mermerde başta kalsit minerali olmak üzere dolomit minerali içermektedir. Dx kodlu mermerde ayrıca kuvars (SiO_2) mineraline ait pikler de görülmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarını incelediğimizde Dx'in diğer iki numuneye göre daha çok SiO_2 (%0,71) içerdiği anlaşılmaktadır.

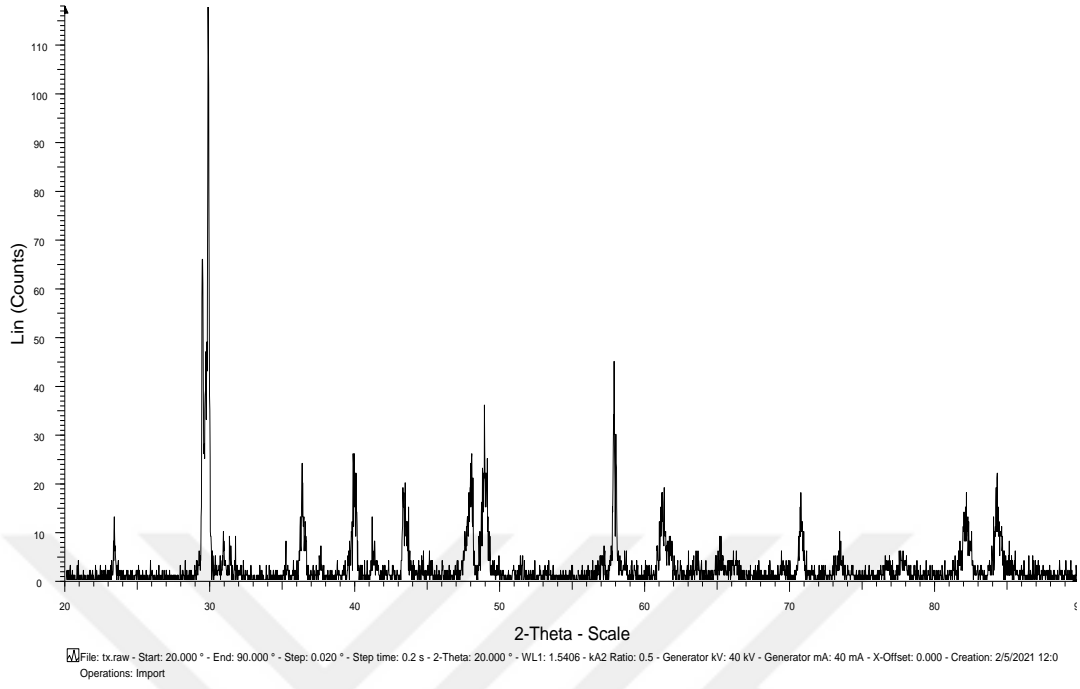




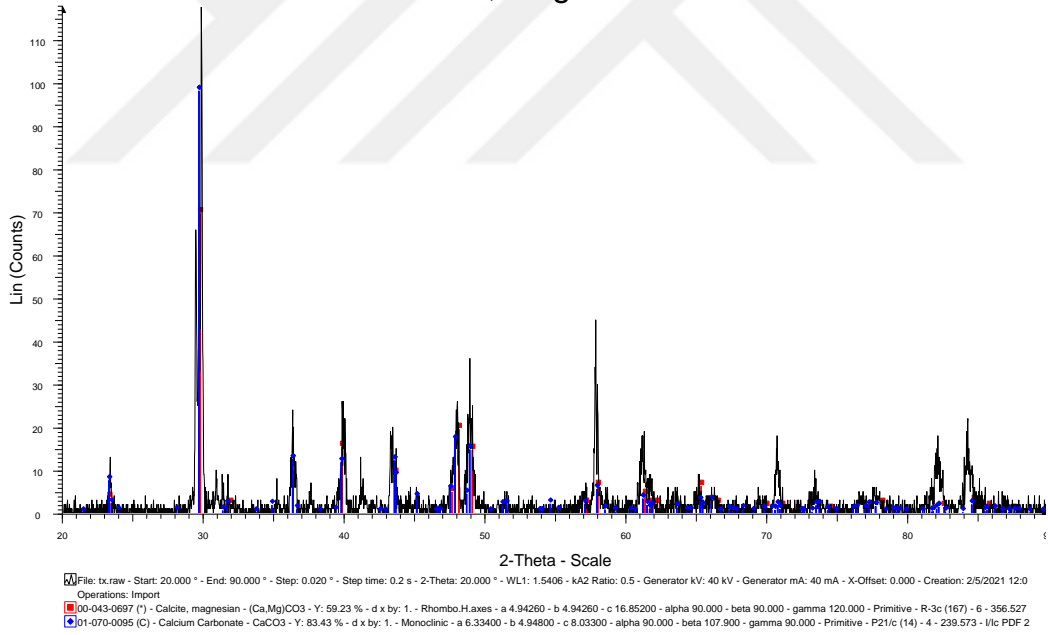
Calcite, magnesian



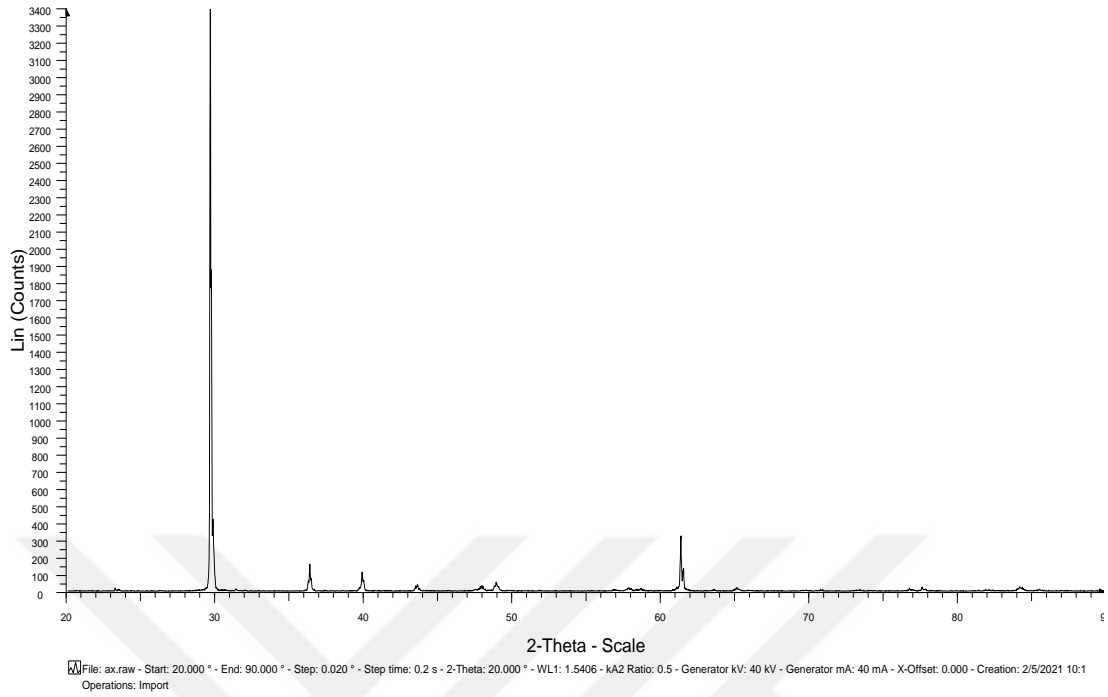
Resim 9.5 Dx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları



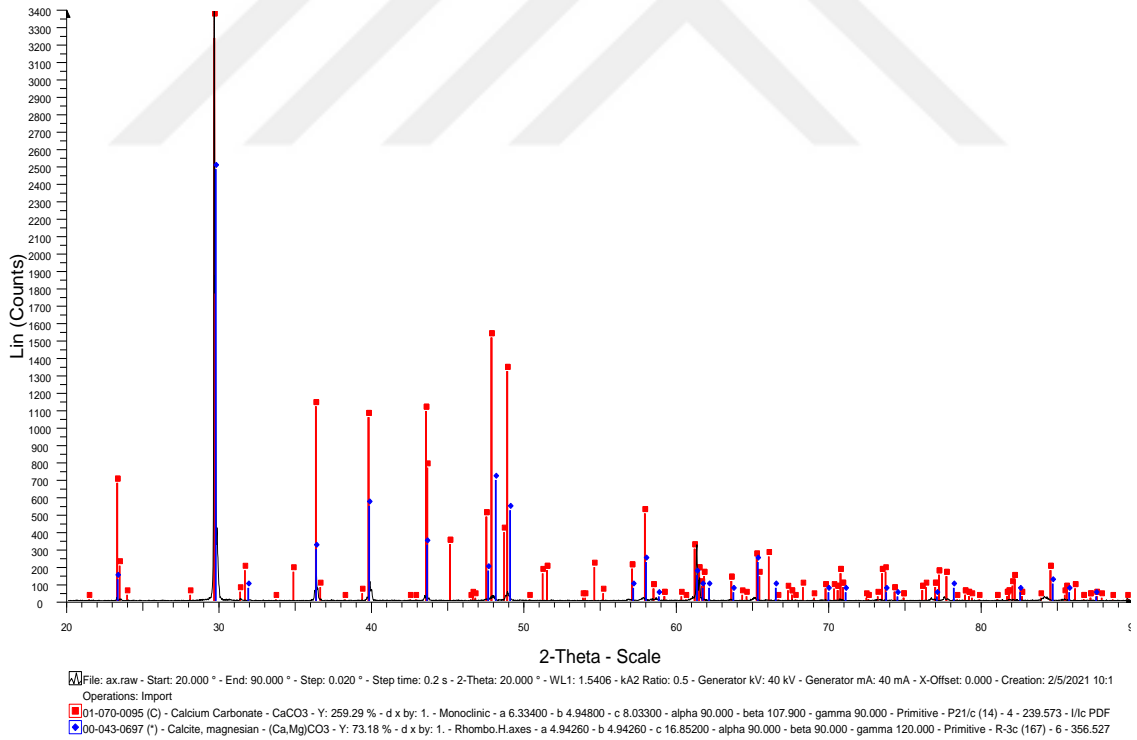
Calcite, magnesian



Resim 9.6 Tx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları

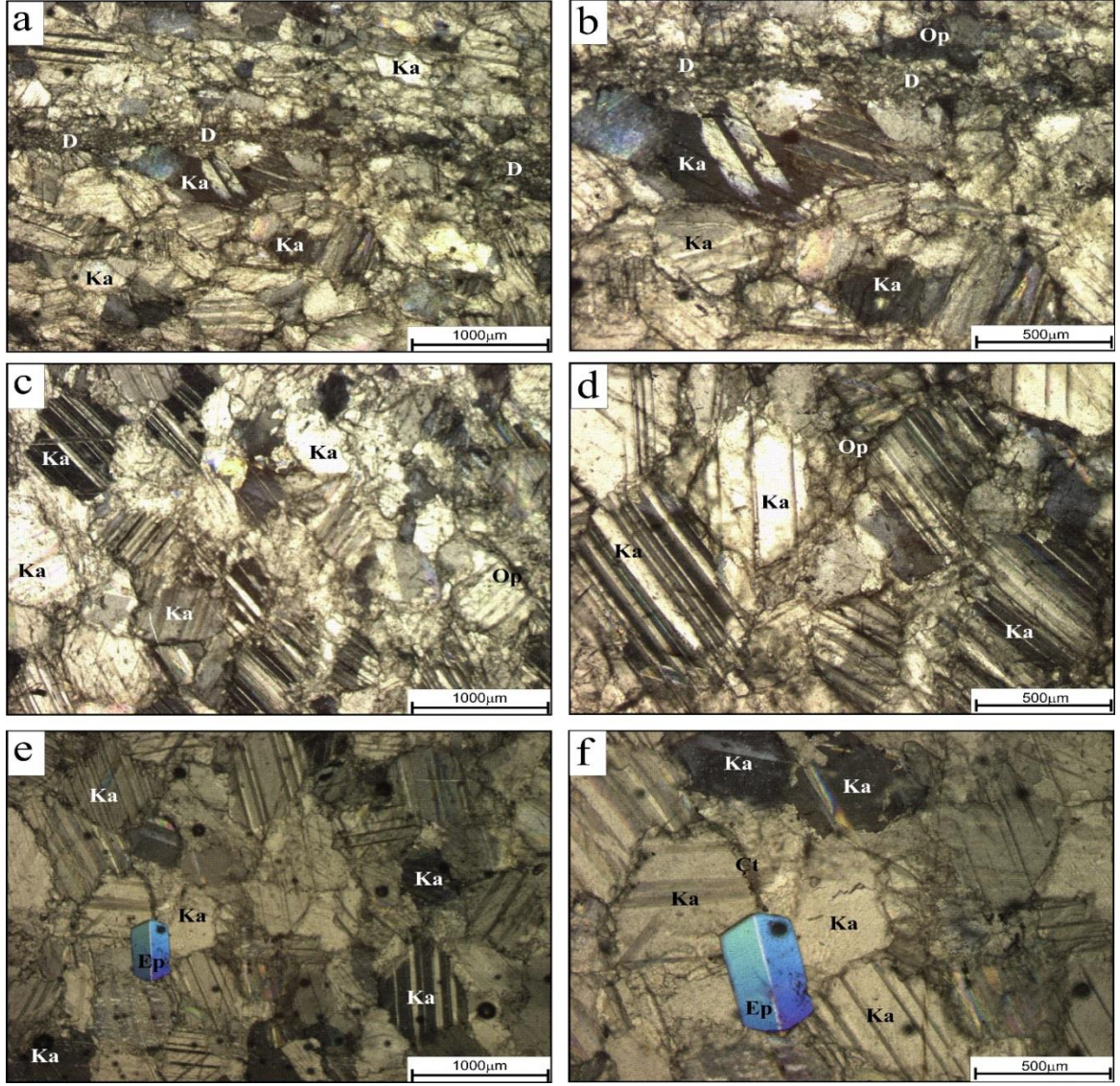


Calcium Carbonate



Resim 9.7 Ax mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları

Uşak-Sivaslı mermerlerinde yapılan mineralojik petrografik incelemelere göre, mermerlerin genel olarak granoblastik doku gösteren kalsit mineralleri ve daha az oranda dolomit ve çok az oranda epidot mineralleri içerdikleri belirlenmiştir. Resim 9.8'de polarizan mikroskop incelemelerine göre Ax kodlu mermer örneklerinin polisentetik ikizlenme gösteren kalsit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Ax kodlu mermer örneklerinde yer yer mikro kalınlıklara sahip ince taneli dolomit bantları gözlenmektedir. Kalsit tanelerinde yer yer çok düşük derecede alterasyon etkilerine rastlanılmıştır. Ayrıca örneklerde opak minerallerin mikro çatlaklara yerleştiği görülmektedir. Yapılan tane boyut ölçümlerine göre Ax kodlu beyaz mermerlerin tane boyutlarının 68,8 µm ile 567,0 µm arasında değiştiği belirlenmiştir. Dx kodlu mermer örneklerinin ana bileşenini kalsit kristalleri oluşturmaktadır. Resim'de kalsit kristallerinin sınırlarının Ax kodlu örneklere göre oldukça düzgün olması Dx kodlu mermerlerin alterasyondan fazla etkilenmediğini göstermektedir. Dx kodlu mermer örneklerinde polisentetik ikizlenme çok iyi gelişmiştir. Mermer örneklerinin bazı kesimlerinde görülen mikro çatlaklara opak minerallerin doldurduğu gözlenmiştir. Yapılan tane boyut ölçüm değerleri 70,1 µm ile 963,1 µm arasında değişmektedir. Son olarak Tx kodlu mermer örneklerinin kalsit ve çok az oranda epidot kristallerinden oluşmaktadır. Kalsit tane sınır ilişkileri incelendiğinde tane sınırlarının Dx kodlu örneklerde olduğu gibi tane sınırlarının oldukça düzgün olduğu görülmektedir. Tx kodlu örneklerde granoblastik doku baskındır. Kalsit tane sınırları arasındaki geometrik olarak sınırlar düzgün görülmektedir. Tx kodlu mermer örneklerinde tane boyut dağılımı 89,7 µm ile 875,6 µm arasında değişmektedir. Resim görüldüğü üzere polisentetik ikizlenme Tx kodlu mermer örneklerinde çok iyi gelişmiş olduğu görülmektedir. Genel olarak, Sivaslı bölgesinden alınan mermer örneklerinin XRD sonuçları ile uyumlu olarak kalsit minerallerinden oluştuğu, polisentetik ikizlenmenin Tx kodlu örneklerde çok iyi geliştiği görülmüştür. Ayrıca Dx ve Tx kodlu mermerlerinin alterasyondan fazla etkilenmediği ve tane sınır ilişkilerinin düzgün ve tane sınırlarının belirgin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, Kun (2000)'e göre Sivaslı mermerlerinin tane boyut dağılımları açısından çok ince taneli (<100 µm) ve ince taneli (100-2000 µm arasında) mermer sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir (Bakınız Çizelge 8.6).



Resim 9.8 Sivasslı-Uşak Bölgesi Mermerlerin Polarizan Mikroskop Görüntüleri (a-b) Ax kodlu mermer, (c-d) Dx kodlu mermer, (e-f) Tx kodlu mermerlere ait polarizan mikroskop görünümüleri (Ca: Kalsit, Çt: Çatlak, Op: Opak mineral, D: Dolomit, Ep: Epidot, Çapraz Nikol (NX) 1000 ve 500 büyütme)

9.3 Ulubey Bölgesi Mermerlerinin Analiz Sonuçları

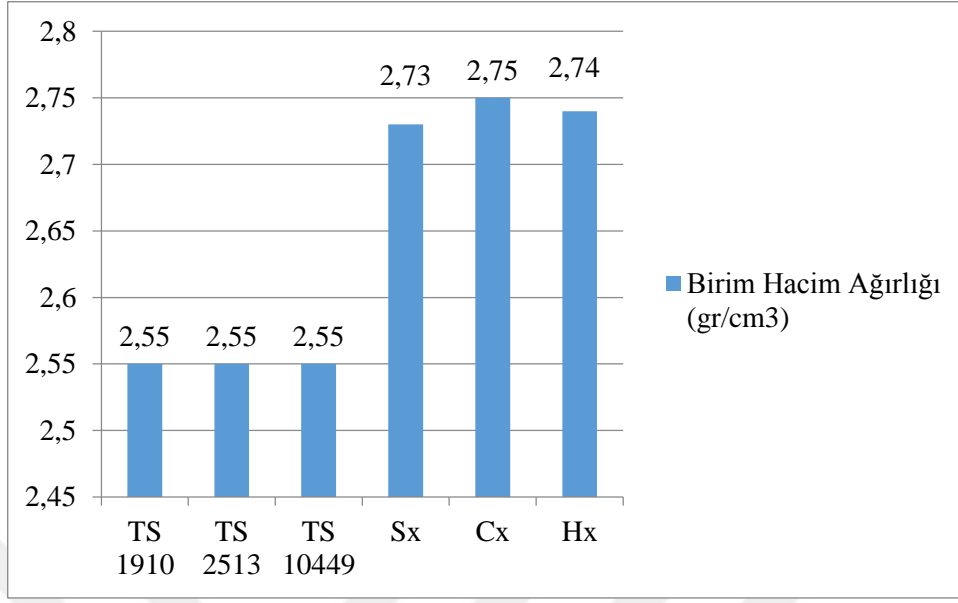
9.3.1 Ulubey Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Ulubey (Uşak) mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin standart değerlerle karşılaştırılması Çizelge 9.7’de verilmiştir.

Çizelge 9.7 Ulubey beyaz mermerlerinin ortalama fiziksel özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması

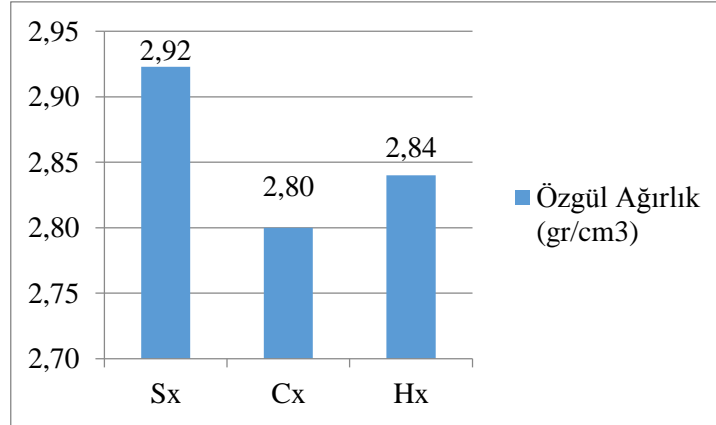
	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (Ağırlıkça) (%)	Porozite Oranı (%)	Doluluk Oranı (%)	Sonik Hız (Km/sn)
TS 1910	>2,55		<0,75	<2		
TS 2513	>2,55		<1,80			
TS 10449	>2,55		<0,4		>98	
Sx	2,73	2,923	0,21	0,60	94,21	4,18
Cx	2,75	2,796	0,23	0,64	97,38	4,22
Hx	2,74	2,840	0,20	0,59	95,52	4,36

Mermerlerin birim hacim ağırlığı 2,2-3,2 gr/cm³ arasında değişir. Gerçek mermerler için bu değer ortalama 2,70 gr/cm³’tür [13]. Sx, Cx ve Hx mermerlerinin hacim hesaplamalarında, nakliyesinde kullanılmakta olan ortalama birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 2,73; 2,75 ve 2,74 gr/cm³ olarak bulunmuş olup değerler birbirine oldukça yakındır (Şekil 9.25). TS 1910, TS 2513 ve TS 10449’a göre mermerlerin yapılarda kullanılabilmesi için birim hacim ağırlık değeri 2,55 gr/cm³ değerinden büyük olmalıdır. Her üç mermerler de bu limit değerini sağlamakta olup buna göre doğal yapı taşı olarak yapıların iç ve dış döşemesinde kullanılabileceği saptanmıştır.



Şekil 9.25 Birim hacim ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

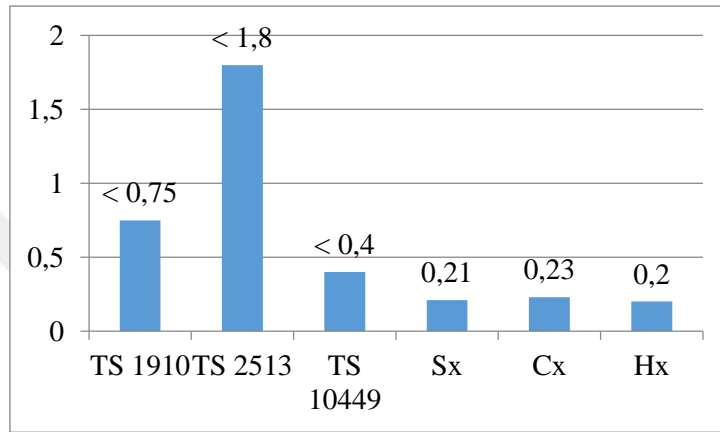
Mermer numunelerinin piknometre deneyi ile gerçekleştirilen özgül ağırlık deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 9.26' da verilmiştir. Mermerlerin özgül ağırlık değerleri arttıkça ekonomik değerleri de artmaktadır. Numunelerin özgül ağırlık değerlerinin 2,80-2,92 gr/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9.26 Özgül ağırlık değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

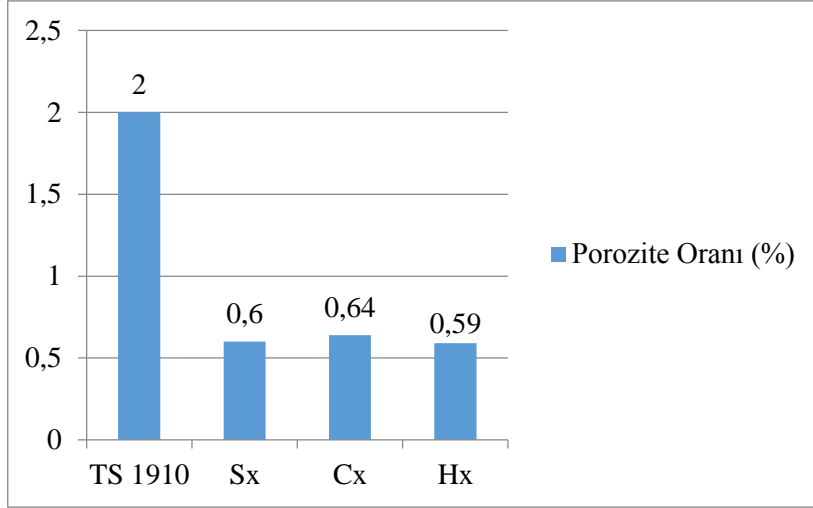
Doğal taşların binaların dış kaplamasında kullanılabilmesi için su emme oranının en düşük seviyede olması istenir. Kayaçlarda su emme miktarı ağırlıkça ve hacimce yapılmaktadır. TS 1910'a göre doğal taşların atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme

oranı %0,75'den az olmalıdır. TS 2513'e göre doğal yapı taşlarında ağırlıkça su emme oranı %1,8 den büyük olmamalıdır. TS 10449'a göre mermerlerin atmosfer basıncında ağırlıkça su emmesi %0,4'den küçük olmalıdır. Çalışmalarda kullanılan mermerlerin ağırlıkça su emme oranlarının %0,20-0,23 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 9.27). Bu değerlerin tüm ilgili TS standartlarında belirtilen sınır değerlerin altında olduğu görülmektedir.



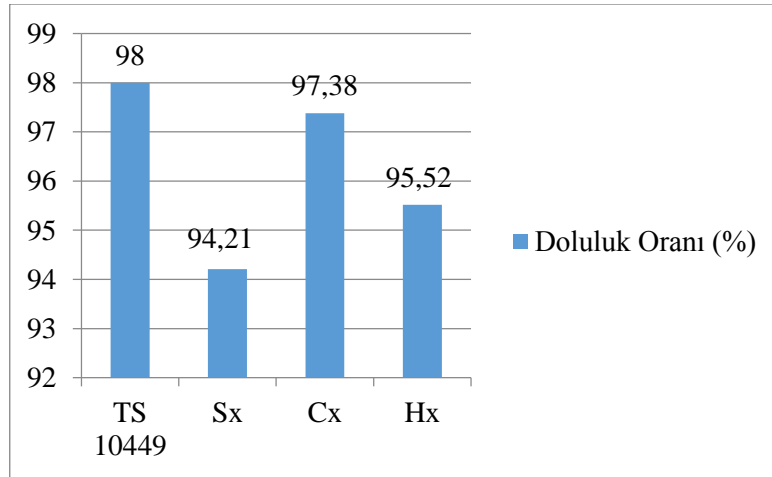
Şekil 9.27 Su emme değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Mermerlerde porozite oranı ne kadar büyürse ekonomik değeri o kadar azalmaktadır. Çizelge 9.7' de görüldüğü üzere etkin (görünür) porozite değeri en büyük olan Cx numunesinin su emme değeri de en büyük değer olarak (%0,23) belirlenmiştir. TS 1910 standardına göre uygun ve kaliteli sayılabilecek mermerin porozitesi en fazla %2 olmalıdır. Ulubey beyaz mermerlerinin belirlenen bu porozite değerine göre standardı sağladığı görülmektedir (Şekil 9.27). Ulubey mermerleri “Çok kompakt” kayaç sınıfına girmektedir (Bakınız Çizelge 8.1).



Şekil 9.28 Porozite oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması

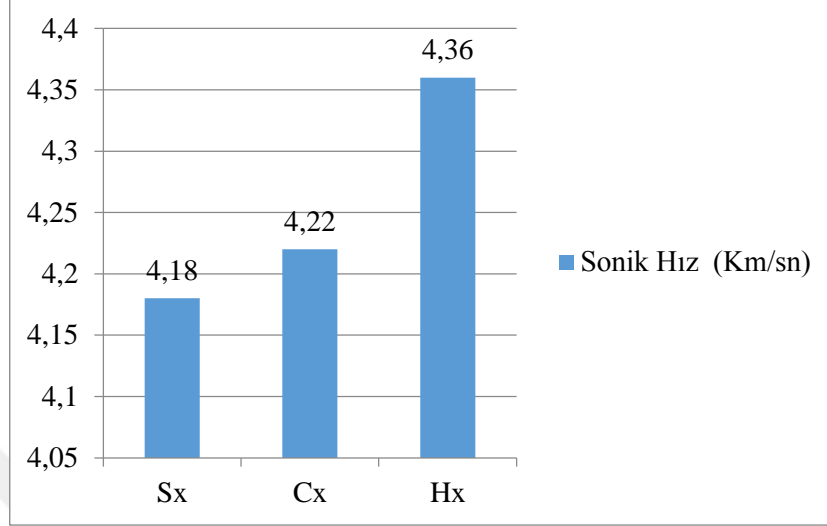
Mermerlerin doluluk oranı birim hacim ağırlığın özgül ağırlığa oranı olarak tanımlanmaktadır. Çalışma bölgesinde yer alan mermerlerin doluluk oranı değeri %94,21-97,38 arasında hesaplanmıştır. TS 10449 standardına göre bu değer minimum %98 olmalıdır. Bölge mermerlerinin doluluk oranı değeri standart limitin altında olmakla birlikte bu değere oldukça yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.29).



Şekil 9.29 Doluluk oranı değerlerinin standart değerle karşılaştırılması

Yapılan deneyler sonucunda numunelerin P dalga hızı 4,18-4,36 Km/sn arasında olduğu bulunmuştur. Genel olarak sonik dalga hızı mermerin gözeneklilik değeriyle ilişkilidir. Porozitesi düşük olan mermerlerin dalga hızı yüksektir. Çalışmada

porozite değeri en düşük olan Hx numunesinin sonik dalga hızı en büyük olarak (4,36 Km/sn) belirlenmiştir. Kayaçların sonik dalga hızlarına göre sınıflandırılma kriterleri (Bakınız Çizelge 8.2) Ulubey mermerlerinin yüksek hız sınıfına girdiğini göstermektedir.



Şekil 9.30 Sonik hız değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

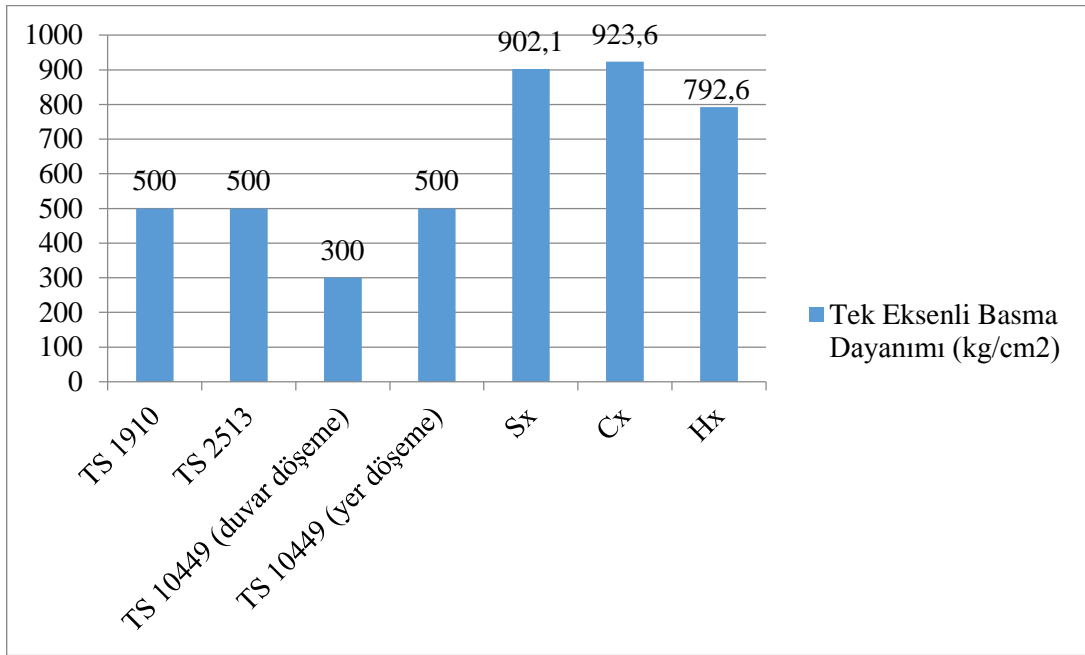
9.3.2 Ulubey Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Çizelge 9.8’ de deneysel çalışmalarda kullanılan Uşak-Ulubey mermerlerinin belirlenen mekanik özellikleri ve bu değerlerin standart değerler ile karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 9.8 Ulubey (Uşak) beyaz mermerlerinin ortalama mekanik özelliklerinin standartlar ile karşılaştırılması

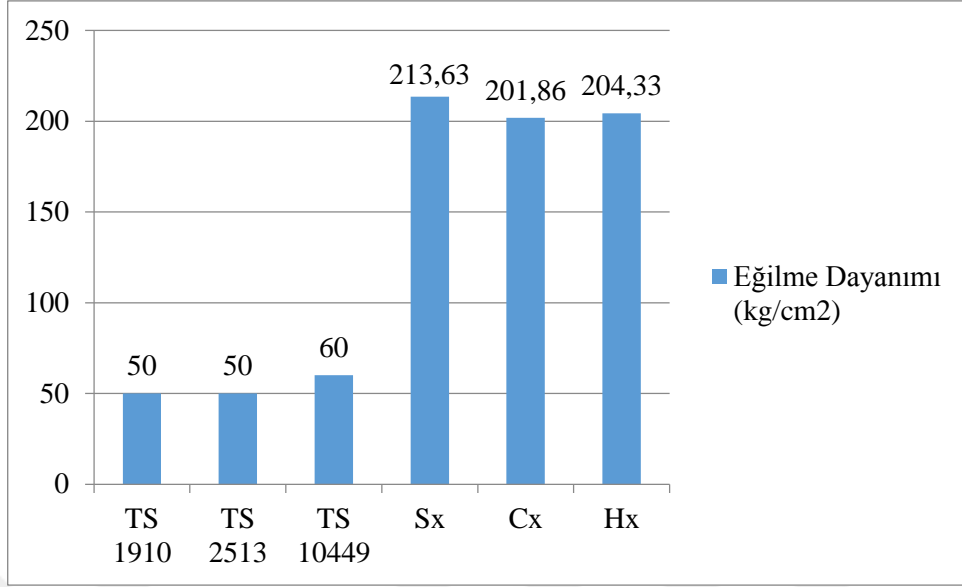
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Eğilme Dayanımı (kg/cm ²)	Darbe Direnci (Kg.cm/cm ³)	Nokta Yük Dayanımı (Mpa)	Schmidt Sertliği	Böhme Aşınma Dayanımı (cm ³ /50 cm ²)
TS 1910	>500	>50				<15
TS 2513	>500	>50	>6			<15
TS 10449	>300 (duvar kaplama) >500 (yer döşeme)	>60	>4 (duvar kaplama) >6 (yer döşeme)			<25 (duvar kaplama) <15 (yer döşeme)
Sx	902,1	213,63	20,4	2,91	29	3,533
Cx	923,6	201,86	16	2,83	26,7	4,4
Hx	792,6	204,33	10,8	2,87	26,35	6,067

Tek eksenli basınç dayanımı, kayacın üzerine uygulanan basma yüklerine karşı kayaçların kırılmadan önce dayanma yeteneğini göstermektedir. Çalışmanın konusu olan Ulubey mermerlerinin tek eksenli basınç dayanımı değeri 792,6-923,6 kg/cm² arasında değiştiği saptanmıştır. Belirlenen bu değerler TS 1910, TS 2513 ve TS 10449 standart değerlerinin üzerinde yer almıştır. TS 10449'a göre hem yer döşeme, hem de duvar kaplama malzemesi olarak kullanımlarının uygun olacağı bulunmuştur. Ulubey mermerleri orta dirençli kayaç sınıfında yer almaktadır. (Bakınız Çizelge 8.3)



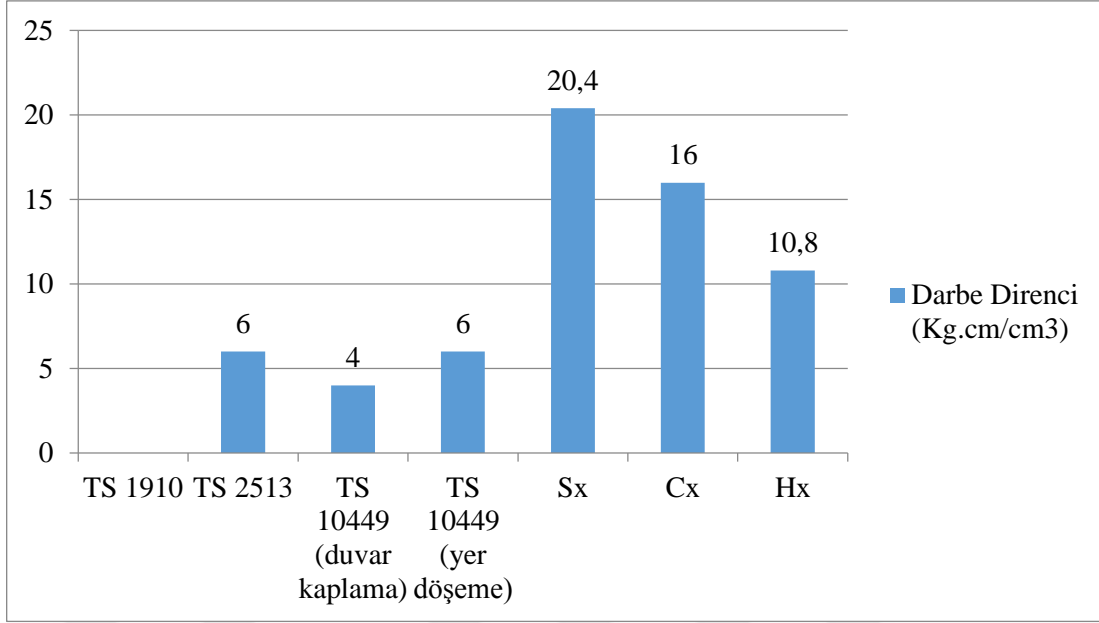
Şekil 9.31 Ulubey mermerlerinin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Doğal yapı taşları genellikle belirli kalınlıklarda plakalar şeklinde kullanıldıklarından eğilme dirençleri önemli bir parametre olarak değerlendirmeye alınmaktadır. Numunelerin eğilmeye karşı dayanımları 201,86-213,63 kg/cm² arasında değişmekte olup şekilde görüldüğü üzere standart değerlerin oldukça üstündedir.



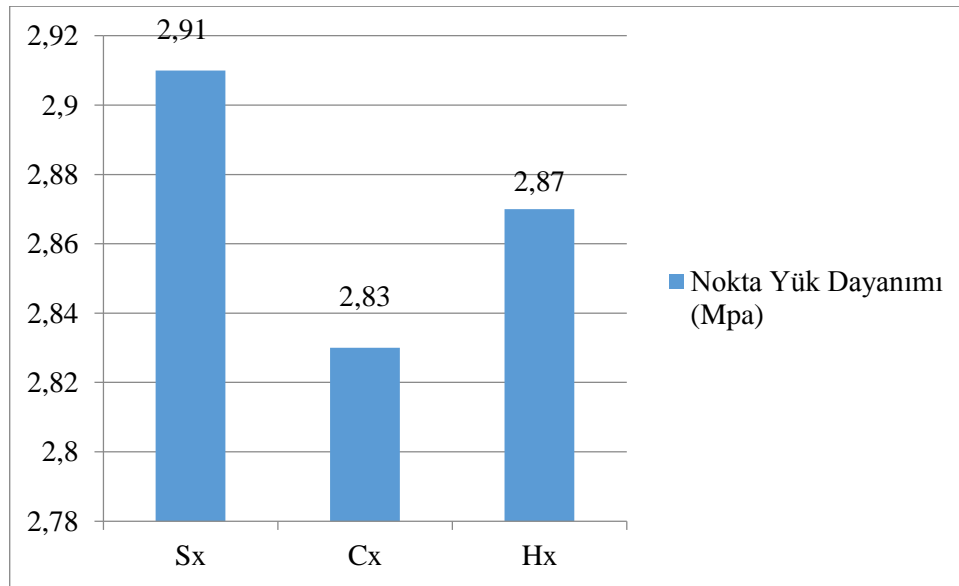
Şekil 9.32 Ulubey mermerlerinin eğilme dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Standart boyutlardaki kayaç numunelerinin belirli doğrultuda darbelere karşı gösterdiği direnci ifade eden darbe dayanımının kayaçların kullanım alanlarının belirlenmesinde önemli bir yeri vardır. Ulubey mermerlerinin darbe dayanımı değerleri 10,8-20,4 kg.cm/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir. Bu değerler TS 10449'a göre sınır değerleri (duvar kaplama için >4 kg.cm/cm³, yer döşeme için >6 kg.cm/cm³) ve TS 2513'e göre sınır değeri (>6 kg.cm/cm³) sağlamaktadır (Bakınız Şekil 9.33).



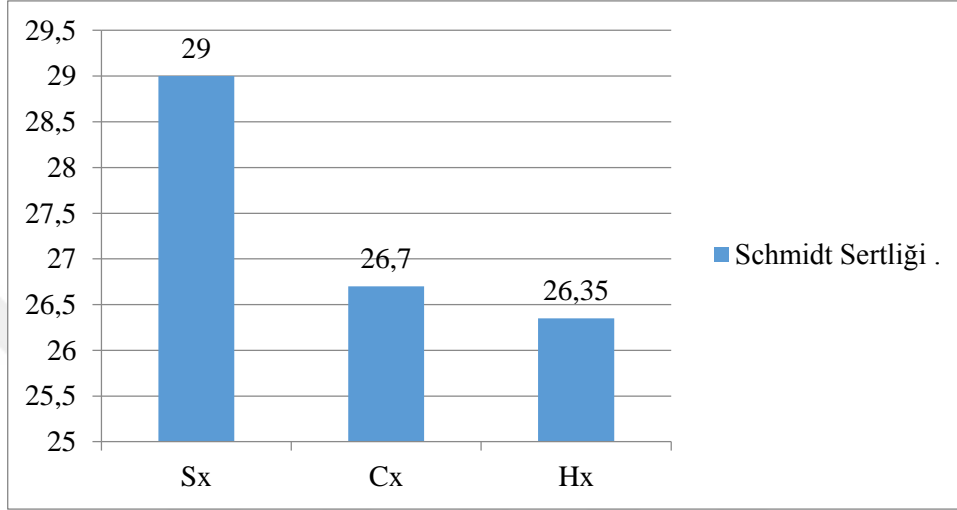
Şekil 9.33 Ulubey mermerlerinin darbe dayanımı değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Nokta yük dayanımı deneyi, mermerlerin tek eksenli basınç dayanımının tahmin edilmesi için uygulanmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan üç mermerin ortalama nokta yük dayanımlarının 2,83 ile 2,91 MPa arasında olduğu belirlenmiş olup numuneler orta dirençli kaya sınıfında yer almaktadırlar (Bakınız Çizelge 8.4).



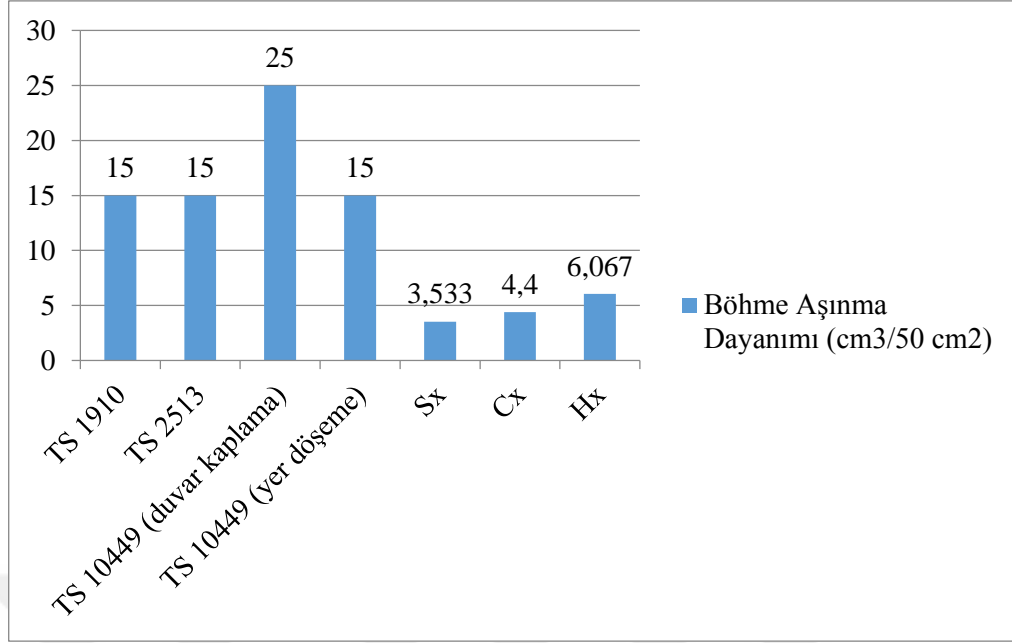
Şekil 9.34 Nokta yük dayanım değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Yapılan çalışmada kayaçların Schmidt sertlik değerlerinin 26,35-29 arasında olduğu belirlenmiş olup Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM, 1981) tarafından yapılan değerlendirmeye göre Ulubey mermerlerinin az sert kayaç sınıfına girdiği belirlenmiştir (Bakınız Çizelge 8.5).



Şekil 9.35 Schmidt sertlik değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması

Ulubey mermerlerinin ortalama hacimce sürtünme ile aşınma dayanımı değerlerinin 3,533 ile 6,067 $\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ arasında olduğu bulunmuştur. Bu değerler TS 10449'a göre mermerlerde sürtünmeden dolayı aşınma miktarı döşeme kaplaması, merdiven basamağı gibi yer döşemesi olarak kullanılacak mermerler için $15\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ 'den, duvar kaplamasında kullanılacak mermerlerde ise $25\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ 'den küçük olmaması gerektiği belirtilmektedir. TS 1910'a ve TS 2513'e göre sınır değer ise $<15\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ olarak belirtilmektedir. Çalışmanın konusu olan mermer numunelerinin her üç standartta verilen sürtünme ile aşınma dayanımı sınır değerlerini sağladığı belirlenmiştir (Şekil 9.36).



Şekil 9.36 Böhme Aşınma Dayanımı Değerlerinin Standart Değerlerle Karşılaştırılması

9.3.3 Ulubey Mermerlerin Kimyasal ve Minerolojik-Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Ulubey (Uşak) mermerlerinin ortalama kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 9.9 'da verilmiştir.

Çizelge 9.9 Ulubey beyaz mermer örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

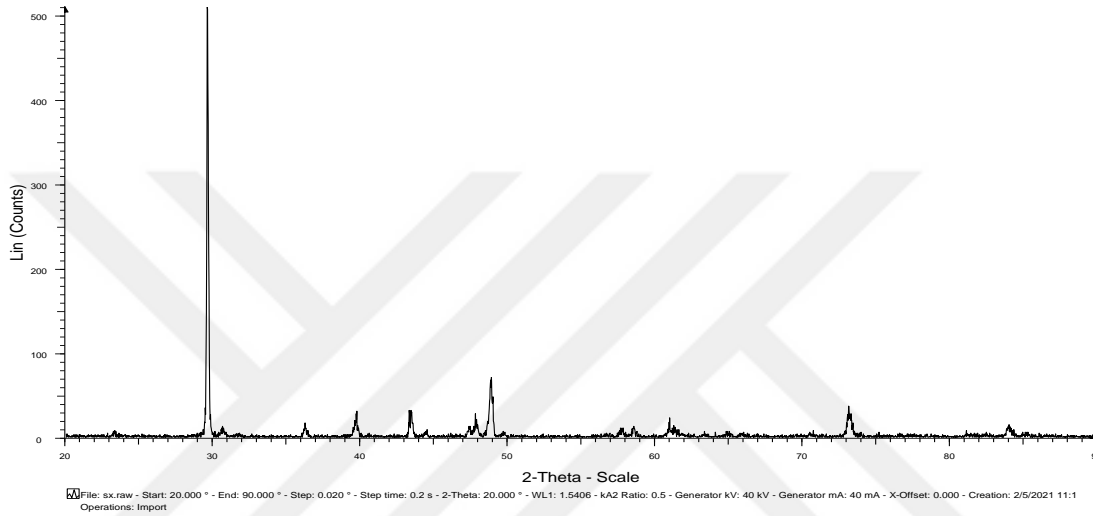
	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	K.K(%)
Sx	54,00	2,03	0,15	0,17	0,061	0,008	0,015	0,034	0,043	43,49
Cx	51,20	1,84	0,15	0,29	0,059	0,015	0,015	0,200	0,039	46,18
Hx	51,70	1,65	0,15	0,58	0,076	0,013	0,015	0,066	0,037	45,62

K.K: Kızdırma kaybı

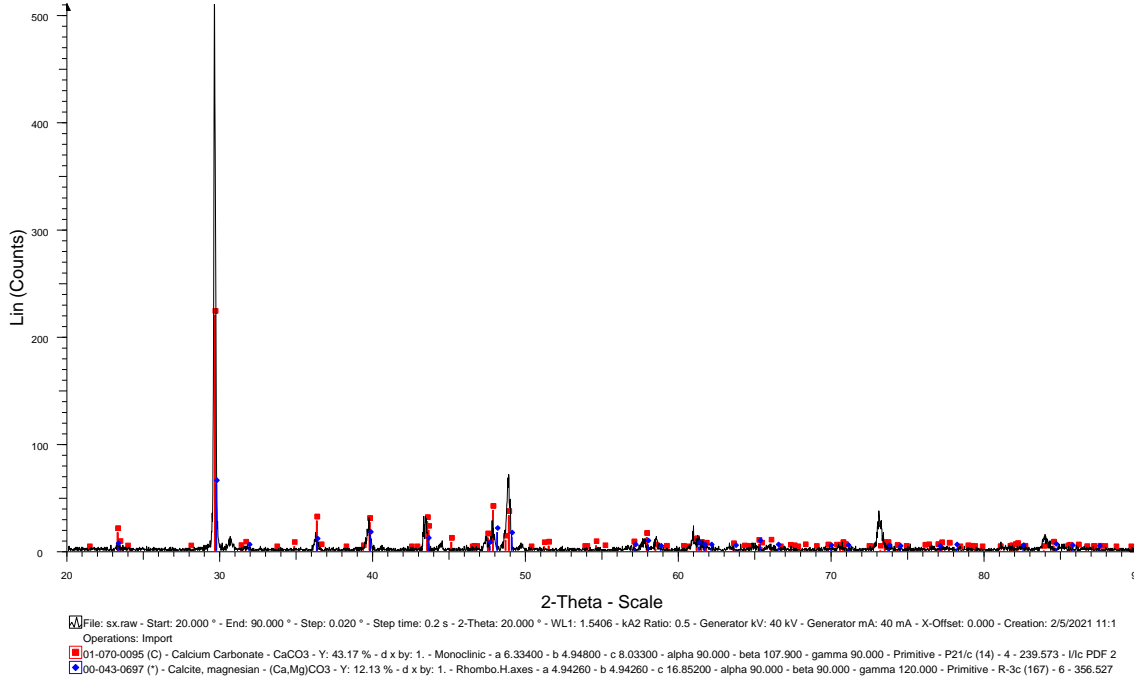
Mermerlerin kimyasal analiz sonuçlarına göre belirgin bir bileşim farklılığı bulunmamaktadır. Örneklerinin majör oksit değerleri incelendiğinde beklendiği gibi en yüksek değeri CaO'nun verdiği görülmektedir. Her üç mermerinde CaO oranı %50'nin üzerindedir. Sx numunesinin CaO ve MgO oranı diğerlerine göre azda olsa daha yüksek

olduğu belirlenmiştir. Buradan hesapla %91,43-96,43 oranında kalsit minerali (CaCO_3) içerdikleri belirlenmiştir.

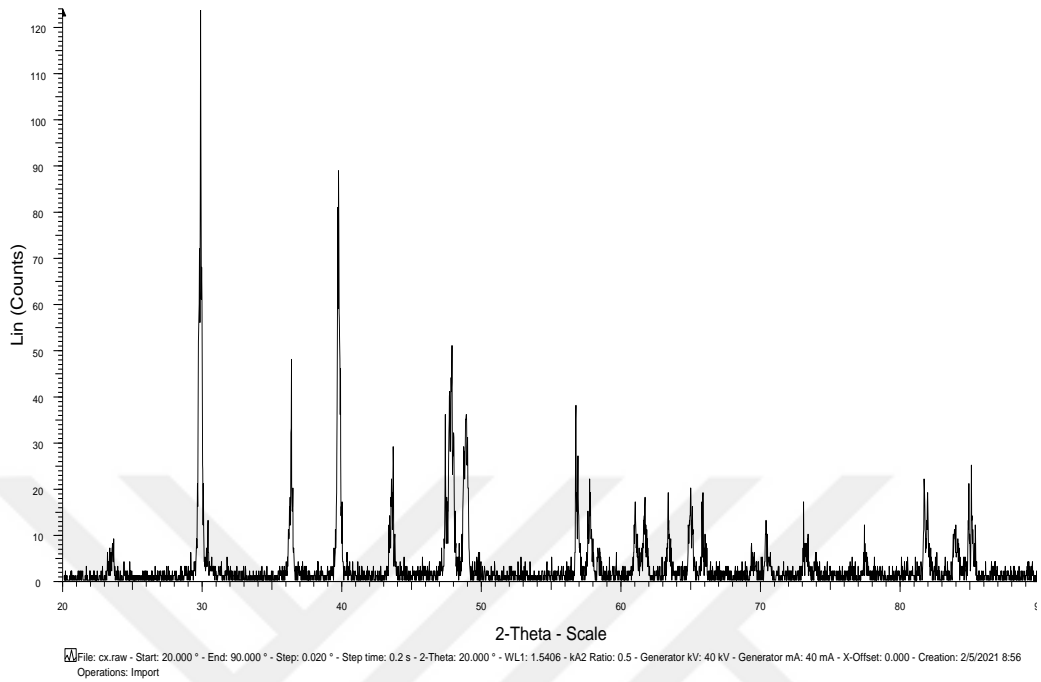
Ulubey mermerlerine ait XRD analizleri sonucunda elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere Sx, Cx ve Hx mermerleri kalsit ve dolomit minerallerinden oluşmaktadır. XRD sonuçları XRF ile belirlenen oksit içeriği sonuçları ile uyumludur.



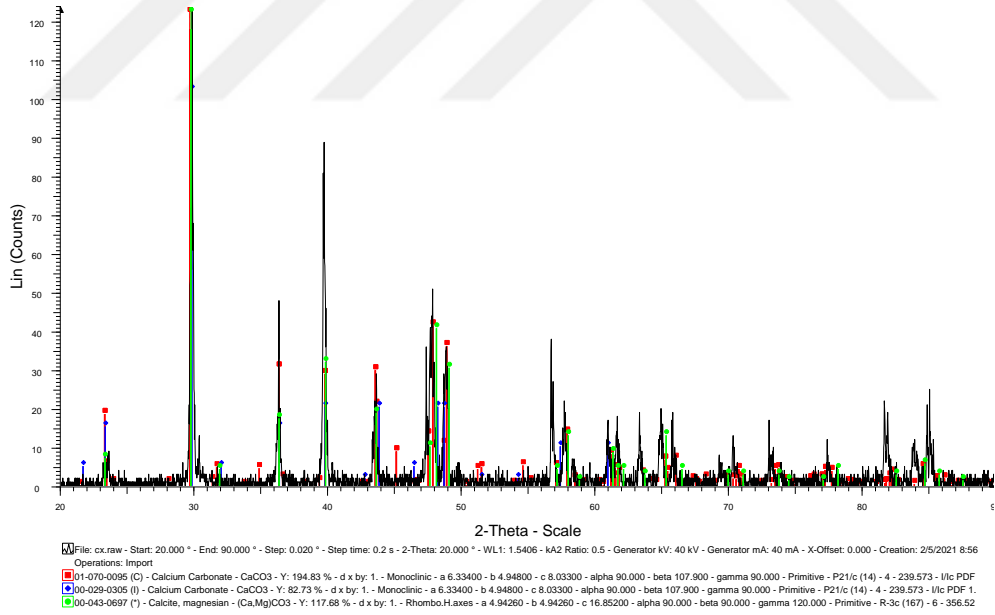
Calcium Carbonate



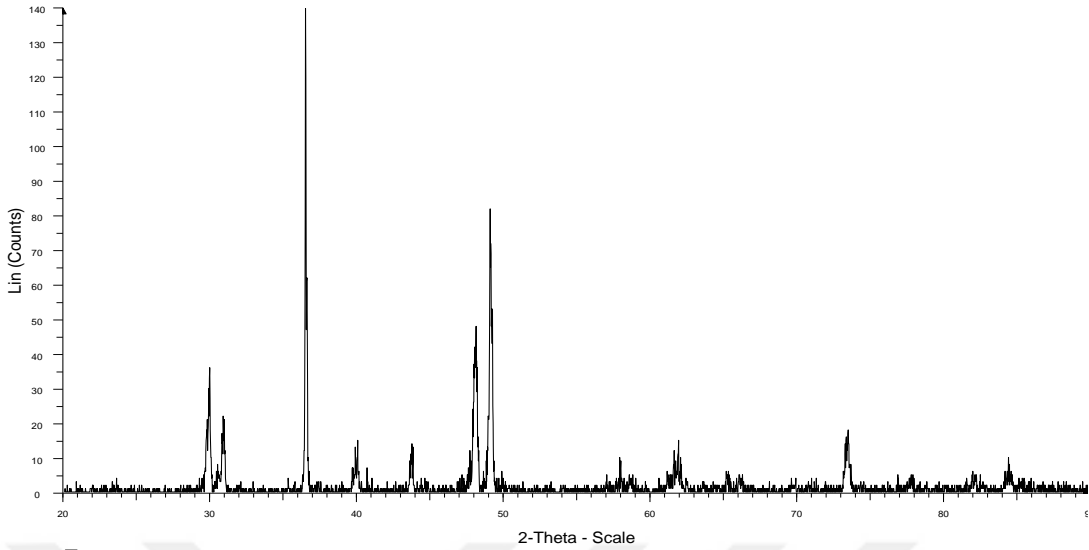
Resim 9.9 Sx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları



Calcium Carbonate

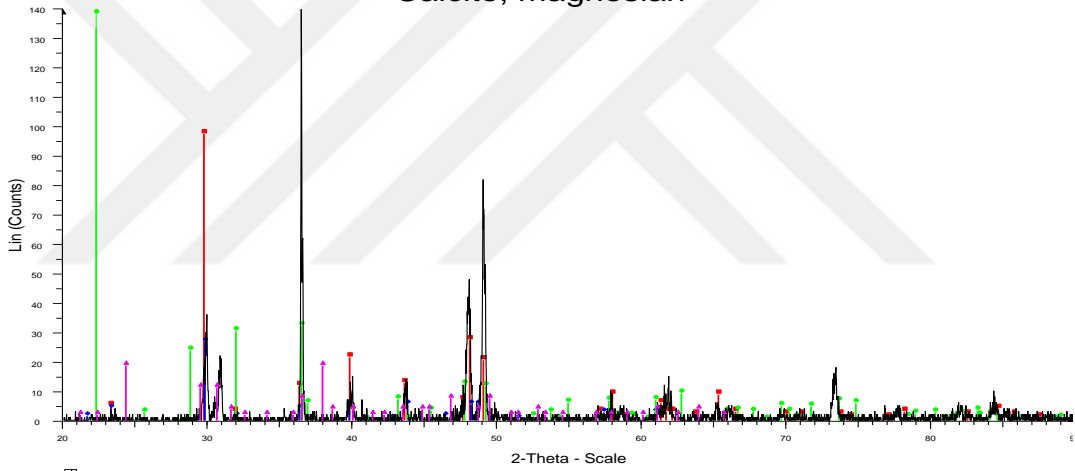


Resim 9.10 Cx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları



File: hx.raw - Start: 20.000 ° - End: 90.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.2 s - 2-Theta: 20.000 ° - WL1: 1.5406 - kA2 Ratio: 0.5 - Generator kV: 40 kV - Generator mA: 40 mA - X-Offset: 0.000 - Creation: 2/5/2021 11:4
Operations: Import

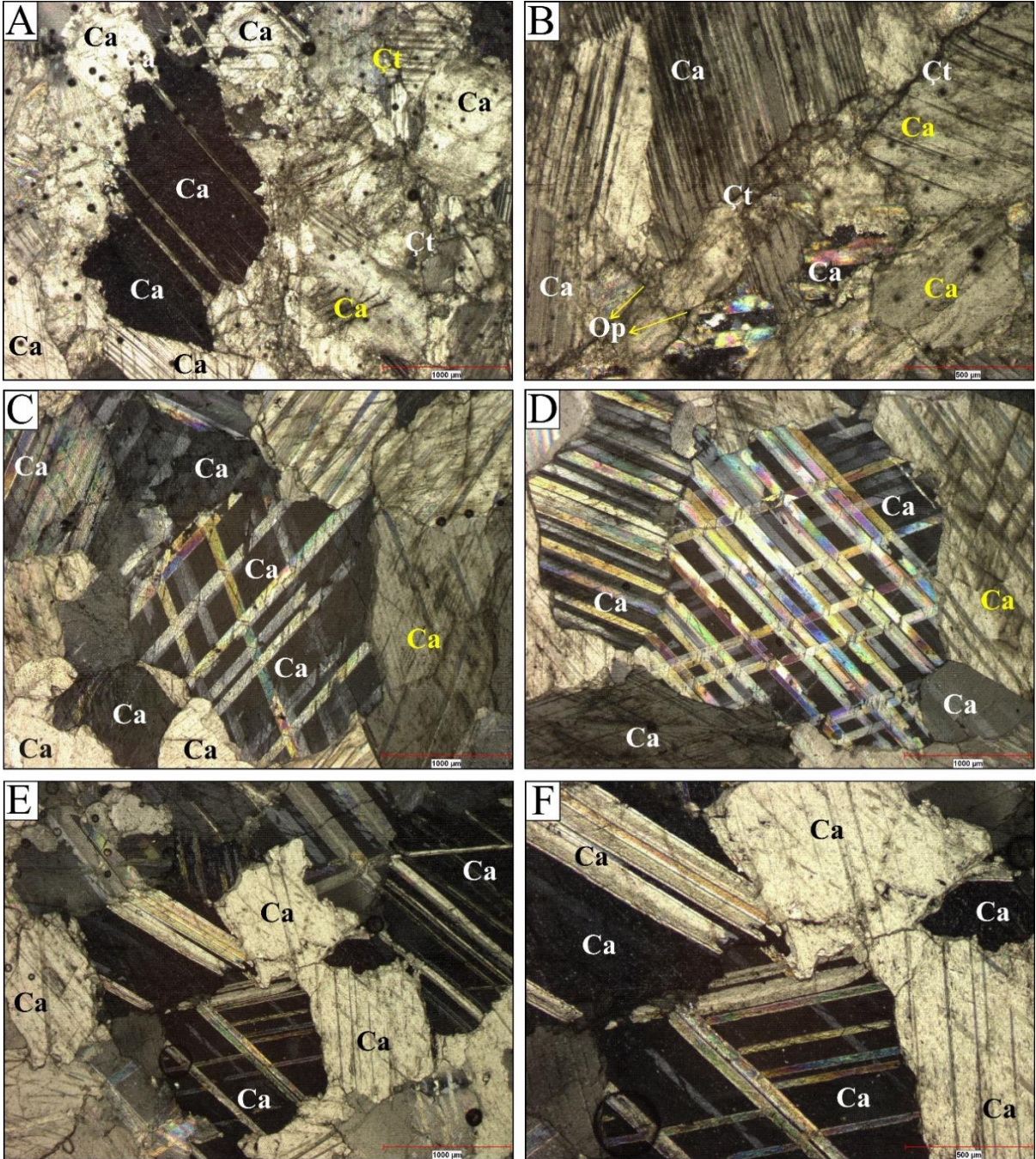
Calcite, magnesian



File: hx.raw - Start: 20.000 ° - End: 90.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.2 s - 2-Theta: 20.000 ° - WL1: 1.5406 - kA2 Ratio: 0.5 - Generator kV: 40 kV - Generator mA: 40 mA - X-Offset: 0.000 - Creation: 2/5/2021 11:4
Operations: Import
00-043-0697 (*) - Calcite, magnesian - (Ca,Mg)CO₃ - Y: 69.63 % - d x by: 1. - Rhombo.H.axes - a 4.94260 - b 4.94260 - c 16.85200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 356.527
00-029-0305 (I) - Calcium Carbonate - CaCO₃ - Y: 19.07 % - d x by: 1. - Monoclinic - a 6.33400 - b 4.94800 - c 6.03300 - alpha 90.000 - beta 107.900 - gamma 90.000 - Primitive - P21c (14) - 4 - 239.573 - I/c PDF 1.
01-062-1406 (C) - Cristobalite alpha, syn - SiO₂ - Y: 158.41 % - d x by: 1. - Tetragonal - a 4.92260 - b 4.92260 - c 6.81730 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - P41212 (92) - 4 - 165.197 - I/c PD
00-021-0838 (N) - Calcium Oxalate - alpha-C₂CaO₄/CaC₂O₄ - Y: 13.32 % - d x by: 1. - Monoclinic - a 9.79400 - b 14.74500 - c 6.30600 - alpha 90.000 - beta 107.100 - gamma 90.000 - 8 - 870.408 - I/c PDF 1. - S-Q

Resim 9.11 Hx mermer numunesine ait XRD analizi sonuçları

Polarizan mikroskop incelemelerine göre Sx kodlu mermer örneklerinin kalsit kristallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Kalsit tanelerinde yer yer çok düşük derecede alterasyon etkilerine rastlanılmıştır. Ayrıca örneklerde mikro çatlaklar görülmektedir. Yer yer opak minerallerin bu mikro çatlakları doldurduğu gözlenmiştir. Yapılan tane boyut ölçümlerine göre Sx kodlu beyaz mermerlerin tane boyutları 155,9 µm ile 2670,7 µm arasında değişmektedir. Resim 9.12 (A-B)' de görüldüğü üzere Sx kodlu mermerlerin granoblastik doku gösteren iyi gelişmiş polisentetik ikizlenmeye sahip kalsit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.



Resim 9.12 Ulubey Beyaz Renkli Mermerlerin Polarizan Mikroskop Görüntüleri (a-b) Sx nolu mermer, (c-d) Cx nolu mermer, (e-f) Hx nolu mermer (Ca: Kalsit, Çt: Çatlak, Op: Opak mineral, Çapraz Nikol (NX) 1000 ve 500 büyütme)

Cx kodlu mermer örnekleri de kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Kalsit kristallerinin sınırlarının oldukça düzgün olması mermerlerin alterasyondan fazla etkilenmediğini göstermektedir. Bu tespit Cx kodlu mermerlerin tek eksenli basınç

dayanım değerinin diğer numunelerden daha fazla olması ile tutarlıdır. Ayrıca Cx kodlu mermer örneklerinde polisentetik ikizlenme çok iyi gelişmiştir. Yapılan tane boyut ölçüm işlemine göre Cx numunesinin tane iriliği dağılımının 208,2 µm ile 3150,0 µm arasında olduğu belirlenmiştir. Son olarak Hx kodlu Ulubey Beyaz renkli mermerleri de kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Kalsit tane sınır ilişkileri incelendiğinde tane sınırlarının Cx kodlu örneklerde olduğu gibi tane sınırlarının oldukça düzgün olduğu görülmektedir. Hx kodlu mermer örneklerinde tane boyut dağılımı 147,7 µm ile 1657,0 µm arasında değişmektedir. Resimde polisentetik ikizlenme Hx kodlu mermer örneklerinde çok iyi gelişmiş olduğu görülmektedir. Genel olarak Ulubey Beyaz renkli tüm mermer örneklerinin kalsit minerallerinden oluştuğu, polisentetik ikizlenmenin Cx ve Hx kodlu örneklerde çok iyi geliştiği görülmüştür. Ayrıca Cx ve Hx kodlu mermerlerinin alterasyondan fazla etkilenmediği ve tane sınır ilişkilerinin düzgün ve tane sınırlarının belirgin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, Kun (2000)'e göre Ulubey-Uşak mermerlerinin tane boyut dağılımları açısından ince-orta taneli mermer sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir (Bakınız Çizelge 8.6).

10 SONUÇLAR

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

- Yöre mermerleri TS 1910, TS 2513 ve TS 10449 standartlarında belirtilen fiziksel limit değerlerini doluluk oranı hariç sağlamaktadır. TS 10449 standardına göre doluluk oranı minimum %98 olmalıdır. Çalışma bölgesinde yer alan mermerlerin doluluk oranı değerlerinin ise %95,9-97,01 arasında olduğu hesaplanmıştır. Bölge mermerlerinin doluluk oranı değeri standart limitin altında olmakla birlikte bu değere oldukça yakın olduğu görülmektedir.
- Karahallı (Uşak) yöresi mermerleri üç standartta değinilen mekanik özelliklere ait limit değerlerinin tümünü sağlamaktadır.
- Karahallı (Uşak) mermerlerinin fiziko-mekanik özelliklerinin standartlarda belirtilen sınır değerleri genel olarak sağladığı, doğal yapı taşı ve kaplama taşı (duvar kaplama, yer döşeme) olarak kullanılabilirleri belirlenmiştir.
- Uşak Yeşil mermerinin diğer iki mermerden daha yüksek oranda SiO_2 (%5,06), TiO_2 (%0,16) ve Fe_2O_3 (%1,25) içerdiği belirlenmiş olup; SiO_2 içeriği mermere diğer örnekler göre sert bir yapı verirken, epidot ve mika grubu minerallerden gelen TiO_2 ve Fe_2O_3 içeriklerinin ise mermere açık yeşil bir renk vermekte olduğu saptanmıştır.
- Yöre mermerlerin CaO oranlarının %52,9-55,4 arasında olduğu ve hesapla %94,42-98,88 oranında kalsit minerali (CaCO_3) içerdikleri belirlenmiştir.
- Karahallı (Uşak) bölgesi mermer örnekleri üzerinde yapılan mineralojik-petrografik incelemelere göre eş boyutlu, bazı seviyelerde yarı öz şekilli ve granoblastik doku özelliği gösteren kalsit mineralinin ana bileşen olduğu görülmüştür.
- Kalsit minerallerinin tane boyut dağılımlarının 80,5-2687,8 μm arasında olduğu belirlenmiş olup yöre mermerlerinin ince ve orta taneli mermer grubunda yer aldıkları saptanmıştır.

Sivaslı yöresinde aktif olarak işletilmekte olan 3 adet mermer ocağından alınan blok boyutlu numunelerden standartlara uygun biçimde hazırlanan örnekler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik-petrografik özelliklerin tespitine yönelik testlerin sonucunda elde edilen sonuçların değerlendirilmesi aşağıda sıralanmıştır.

- Sivaslı mermerleri TS 1910, TS 2513 ve TS 10449 standartlarında belirtilen fiziksel limit değerlerini doluluk oranı hariç sağlamaktadır. TS 10449 standardına göre mermerlerde doluluk oranı minimum %98 olmalıdır. Yapılan çalışma ile mermerlerin doluluk oranı değerlerinin standart değere oldukça yakın, %94,04-97,63 arasında olduğu hesaplanmıştır.

- Sivaslı (Uşak) yöresi mermerlerinin üç standartta değinilen mekanik özelliklere ait limit değerlerinin tümünü sağladığı belirlenmiştir.

- Sivaslı mermerleri ilgili standartlarda belirtilen fiziko-mekanik özelliklere ait sınır değerleri sağladığından; doğal yapı taşı ve kaplama taşı (duvar kaplama, yer döşeme) olarak kullanılacakları yapılan çalışma ile ortaya konmuştur.

- Sivaslı mermerlerinin CaO oranı %50,6-53,7 arasındadır. Buradan hesapla mineralojik-petrografik incelemelerle uyumlu olarak %90,31-95,84 oranında kalsit minerali (CaCO_3) içerdikleri belirlenmiştir.

- Kalsit minerallerinin tane boyut dağılımlarının 68,8 μm ile 963,1 μm arasında olduğu belirlenmiş olup yöre mermerlerinin tane boyut dağılımları açısından çok ince taneli (<100 μm) ve ince taneli (100-2000 μm) mermer sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir.

- Mineralojik-petrografik incelemelere göre Uşak-Sivaslı mermerlerinin genel olarak granoblastik doku gösteren kalsit mineralleri, daha az oranda dolomit ve çok az oranda epidot mineralleri içerdikleri belirlenmiştir.

- Alterasyondan fazla etkilenmediği belirlenen Dx ve Tx kodlu mermerlerinin özellikle tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, nokta yük dayanımı gibi mekanik özelliklerinin Ax kodlu numuneye göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Ulubey yöresinde 3 farklı mermer sahasından blok boyutlu temin edilen numuneler üzerinde standartlara uygun olarak gerçekleştirilen testler ile mermerlerin fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik-petrografik özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Ulubey yöresinden alınan numunelerin fiziksel özelliklerinin bu çalışmada karşılaştırması yapılan üç standartta belirtilen sınır değerleri doluluk oranı hariç sağladığı belirlenmiştir. TS 10449 standardına göre doluluk oranı minimum %98 olmalıdır. Çalışma bölgesinde yer alan mermerlerin doluluk oranı değeri ise %94,21-97,38 arasında olduğu hesaplanmıştır. Bölge mermerlerinin doluluk oranı değeri standart limitin altında olmakla birlikte bu değere oldukça yakın olduğu söylenebilir.

- Mermer numunelerinin her üçünün de tüm mekanik özelliklerinin standartlarda değinilen limit değerlerini karşıladığı saptanmıştır.

- Mermerlerin kimyasal analiz sonucunda CaO oranlarının %51,20-54,00 arasında olduğu buradan hesapla %91,43-96,43 oranında kalsit minerali (CaCO_3) içerdikleri belirlenmiştir.

- Ulubey Beyaz mermerlerinde yapılan mineralojik-petrografik incelemelerde tane boyut ölçümlerine göre kalsit minerallerinin tane boyutlarının 147,7 μm ile 3150 μm arasında değiştiği ve tane boyut dağılımları açısından ince-orta taneli mermer sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir.

- İki numunede polisentetik ikizlenmenin çok iyi geliştiği, diğerinde ise ikizlenmenin iyi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca iki numunenin alterasyondan fazla etkilenmediği ve tane sınır ilişkilerinin düzgün ve tane sınırlarının belirgin olduğu gözlenirken, diğer numunede yer yer çok düşük derecede alterasyon etkilerine rastlanılmış ve yer yer opak minerallerinin doldurduğu mikro çatlaklara sahip olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak Uşak yöresi beyaz ve yeşil mermerlerinin standartlarda belirtilen fiziksel ve mekanik limit değerleri sağladığı; duvar kaplama taşı, yer döşeme taşı ve doğal yapı taşı olarak kullanılabilceği yapılan çalışmalar neticesinde ortaya konmuştur. Bu tez çalışmasının gerek akademik çevreye ve gerekse mermerlerin üreticileri ve kullanıcılarına başvuru kaynağı olarak katkısının olacağı düşünülmektedir.

11 KAYNAKLAR

- [1] Türkmenoğlu, Z.F., 2007, “Yapı Taşı Olarak Kullanılan Bazı Kayaçların Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 58.
- [2] Yılmaz, H., Safel, R., 2004, “Mermer Sektörü. Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. İktisadi Araştırmalar ve Mevzuat Yönetmeliği”, *Sektör Araştırmaları Serisi* No:31.
- [3] Şentürk, A., Gündüz, L., Sarıışık, A., 1995, “Yapı Taşı Olarak Kullanılan Endüstriyel Kayaçlara Teknik Bir Bakış”, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 333-334.
- [4] Kuşcu, M., 1990, “ Belence (Eğridir-Isparta) Siyah Mermer Yataklarının Ekonomik Jeolojisi”, *Jeoloji Mühendisliği*, 36: 11–17.
- [5] Erdoğan, Y., 2001, “ Çukurova Bölgesinde Yüzeyleyen Kayaçların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenerek Yapı ve Kaplamacılıkta Kullanılabilirliğinin Araştırılması” *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Yüksek Mühendislik Tezi*, Adana.
- [6] Yavuz, A.B., Türk, N., Koca, M.Y., 2002 “ Muğla Yöresi Mermerlerinin Mineralojik, Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ” *Jeoloji Mühendisliği. Araştırma Makalesi* 28(1): 1-18.
- [7] Kun, N., 2000, “Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi”, Tezer Matbaası, İzmir.
- [8] Gök, T., 2004, “ Bucak (Kozan-Adana) Mermerlerinin Mühendislik, Jeomekanik Özelliklerinin İncelenmesi Ve Mermer Kesme Verimini Etkileyen Faktörler”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- [9] Tonçer, M., 2005, “ Diyarbakır Hani Yöresindeki Mermer Ocaklarının Blok Alma Olanakları, Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi ” Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Adana.
- [10] Ertürk, A., 1996, “ Mermerlerin Jeomekanik Özelliklerine Bağlı Olarak İşletme Yönetimi Seçiminin Araştırılması “ Yüksek Mühendislik Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [11] Çiftepala, M., 2001, “Meşebağları (Toplu Köy-Çermik, Diyarbakır) Mermerlerinin Jeomekanik ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi” Yüksek Mühendislik Tezi , *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- [12] Çavumirza, M., Kılıç, Ö., Anıl, M., 2003, “ Mucur (Kırşehir) Yöresi Kireçtaşı Mermerleri ve Travertenlerinin Fiziko-mekanik Özellikleri”, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 119-120, Afyon.
- [13] Akçakoca, H., Uysal, Ö., Topal, İ., 2003, “ Mermerlerin Kalite Kontrol Süreci Açısından Tekno-Mekanik Özelliklerinin Önemi ” *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, MERSEM, 475-497, Afyon.
- [14] Çınar, S.M. 2007, “ Mermer Kesme Makinelerinde Enerji Tüketimi Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.

- [15] Erdoğan, B., Yavuz, A., B., 2003, “ Güneydoğu Anadolu’nun Miyosen Paecocoğrafyası İle Mermer Yataklarının İlişkisi “ *Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Ekonomik Maden Potansiyeli Sempozyumu*, Diyarbakır, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 80:1-16.
- [16] Karakuş, A., 1999, “ Diyarbakır Yöresinde İşletilebilir Nitelikteki Mermerlerin Kesilebilirlik Parametrelerinin İncelenmesi ” Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- [17] Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı, A., 2005, “Mermer”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, (Geliştirilmiş III. Baskı), 2005 Basım Ünitesi, İzmir, 2011, 324.
- [18] Köktürk, U., 2002, “Mermerlerin Jeolojik Oluşum Bakımından Sınıflandırılması”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, İzmir.
- [19] M.T.A., (1966), “Türkiye Mermer Envanteri”, *M.T.A. Yayını*, Yayın No: 134, Ankara.
- [20] Bakır, M.F., 2014, “ Lice-Kulp (Diyarbakır) Bölgesi Mermerlerinin Özellikleri Ve Kullanım Alanlarının Belirlenmesi “, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ 83.
- [21] Kibici, Y., Mutlutürk, M., Karagüzel, R. ve A. Bilgin, 1992, "Karahallı (Uşak) Yöresinin Jeolojisi ve Yöre Mermerlerinin Mühendislik Özellikleri," *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, Ankara, 165-178.
- [22] İnternet: Türk Standartları Enstitüsü (TSE),2021, “Standart Arama”
<http://https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/StandardAra.aspx>, (Erişim Tarihi: 19.06.2021).
- [23] Fırat, B., 2012, “Cihanbeyli-Kozanlı (Konya) Mermerlerinin Tektomekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-89.
- [24] On Birinci Kalkınma Planı(2019-2023) Madencilik Politikaları, Özel İhtisas Komisyonu Raporu
- [25] Büyüksağış İ.S., Gürcan, S., 2005, “ASTM ve TSE Doğal Taş Standartlarının Karşılaştırılması”, *Madencilik*, 44(1): 33-41.
- [26] İnternet: TMMOB: Maden Mühendisleri Odası
https://www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=120&tipi=5&sube=0
- [27] Zafer Kalkınma Ajansı, 2012, “TR33 Bölgesi Mevcut Maden Kaynakları ve Stratejiler”, *Kütahya*, 45-49.
- [28] Çelik, M.Y., Kırılıveren, S., 2012, “ Çamlıbel-Ulubey (Uşak) Beyaz Mermerinin Jeolojik ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Araştırılması ” *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1): 44-53.
- [29] Ayan,M. 1973, Gördes Migmatitleri, MTA Dergisi, 81:132-135.

- [30] Ketin, I., 1983, Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, İTÜ Yayınları, 1259, İstanbul.
- [31] Aysal, N. ve Korkanç, M., 2002, “Sivaslı (Uşak) Mermer Yataklarının Jeolojik ve Mühendislik Özellikleri”, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi*, 15 (2), 1-10.
- [32] Kahraman, S., 2002, “Estimating the P-Wave Velocity Value of intact Rock From İndirect Laboratory Measurements”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 39, 723-728.
- [33] Baran, Ç., 2007, “Osmaniye Çağşak Amanos Kırmızı Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-57.
- [34] Aydın, K., Yaşar S., Yaşar, O., 2016, “Uluslararası Karadeniz Madencilik ve Tünelcilik Sempozyumu, Trabzon.
- [35] Bieniawski, Z.T., 1975, “The Point-Load Test in Geotechnical Practice” *Engineering Geology* 9(1), 1-11.
- [36] İnternet: http://cografyaharita.com/turkiye_mulki_idare_haritalari.html
- [37] Sarıcı, D.E., 2011 “Akçadağ(Malatya) Batısındaki EOSEN Yaşlı Mermerlerin Optimum İşleme Koşullarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [38] Arık, S., Kuşcu, M., “Finike (Antalya) Beydağları Formasyonu’nun Mermer Olarak Kullanılabilirliğin ve Ekonomik Önemi ” Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta 1-88.
- [39] Moos, A.V., Quervain, F.D., 1948. Technische Gesteinkunde, Verlag Birkhauser, Basel.
- [40] Matula, M., Dearman, W.R., Golodkovskaja, G.A., Pahi, A., Radbruch-Hall, Dorothy H., 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1: Rock and soil materials, Bull. Int. Assoc. Engng. Geol, 19, 364-371.
- [41] Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock, Air Force Weapons Lab. Tech. Report, AFWLTR-65-116, Univ. of Illinois, Urbana.
- [42] ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring, International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALPEREN, Ayşe Nur

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri :

Medeni hali : Bekar

e-mail

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Niğde Üniversitesi / Maden Mühendisliği	2015
Lise	Necati Özen Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-2018	Bertur Mad.San.Tic.ve Ltd.Şti.	Maden Mühendisi
2018-2019	Umpaş Holding	ARGE-Maden Mühendisi
2021-	Deva Mad.San.Tic.ve Ltd.Şti	Maden Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okumak, Spor yapmak