

**METAMORFİK KÖKENLİ MERMERLERİN
PARLATILMASINDA MİNERALojİK VE
PETROGRAfİK ÖZELLİKLERİN ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Sevgi GÜRCAN

DANIŞMANLAR

**Doç. Dr. Ahmet YILDIZ
Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Eylül 2011**

Bu tez çalışması AKU BAPK-10 MUH 11 numaralı proje ile desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

METAMORFİK KÖKENLİ MERMERLERİN
PARLATILMASINDA MİNERALojİK VE PETROGRAfİK
ÖZELLİKLERİN ETKİSİ

Sevgi GÜRcAN

DANIŞMANLAR

Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Eylül, 2011

TEZ ONAY SAYFASI

Sevgi GÜRCAN tarafından hazırlanan “Metamorfik Kökenli Mermerlerin Parlatılmasında Mineralojik ve Petrografik Özelliklerin Etkisi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 30/09/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

İkinci Danışmanı : Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN

Başkan : Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN
Eskişehir Osmangazi Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Ahmet YILDIZ
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ
Dumlupınar Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY
Selçuk Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ
Süleyman Demirel Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Hürriyet AKDAŞ
Eskişehir Osmangazi Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Enstitü Müdürü

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/09/2011

Sevgi GÜRCAN

ÖZET
Doktora Tezi

**METAMORFİK KÖKENLİ MERMERLERİN PARLATILMASINDA
MİNERALOGİK VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİN ETKİSİ**

Sevgi GÜRCAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanlar: Doç. Dr. Ahmet YILDIZ, Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN

Bu çalışma, metamorfik kökenli mermerlerin parlatılabilirlik özellikleri üzerine mineralojik-petrografik özellikler ve kimyasal bileşimin etkisinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

Bu amaçla, Türkiye'nin değişik yörelerinde ticari olarak üretimi yapılan altı mermer örneği kullanılmıştır. Polarizan mikroskop, taramalı elektron mikroskop (SEM) ve x-ışınları difraktometresi (XRD) analizleri yardımıyla mermer örneklerinin mineralojik-petrografik özellikleri belirlenmiştir. Örneklerin jeokimyasal özelliklerini ortaya koyabilmek için kimyasal analizleri ve fiziko-mekanik testler uygulanmıştır. Parlatma deneyleri, 60x30x2 cm boyutlarındaki mermer örneklerinde aynı abrasiv serisi, sabit bant hızı ve kafa basıncında laboratuvar ölçekli cila makinasında yapılmıştır. Parlatılmış örnekler üzerinde pürüzlülük ve parlaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Parlatma deneyleri sonucunda, azalan abrasiv serisine bağlı olarak pürüzlülüğün azaldığı ve parlaklığın arttığı gözlenmiştir. Bazı mermer örneklerinde kalsit kristallerinin düşük küresellik değerine sahip olması, pürüzlülük değerini artırdığını göstermektedir. Mermer örneklerde bulunan karbonat dışı minerallerin ve bunların dağılımlarının pürüzlülük ve parlaklık özelliklerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Karbonat dışı mineral olarak başlıca mika, klorit, kuvars, feldspat, epidot, hornblend ve hematit mineralleri belirlenmiştir. Bu mineraller mikro çatlaklar boyunca

gözenmiş ve hacimsel yüzdeleri şu şekilde sıralanmıştır: Uşak Yeşili'nde %40, Afyon Şekeri'nde, %15.30, Akşehir Siyahı'nda %10.33, Afyon Kaplan Postu'nda %8.50'dir. Yapılan incelemeler sonucunda, mermerlerin pürüzlülük ve parlaklık performansları üzerinde mikro çatlak yoğunluğunun ve kalsit kristallerinin mikroyapı özelliklerinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, çalışmanın ana hedefi olmamasına rağmen, fiziko-mekanik özelliklerin mermerlerin pürüzlülük ve parlaklık değerlerine etkisi incelenmiştir.

2011, xv+160 Sayfa

Anahtar kelimeler: Mermer, parlaklık, pürüzlülük, mineralojik-petrografik özellikler, kimyasal bileşim

ABSTRACT
PhD Thesis

THE EFFECT OF MINERALOGICAL AND PETROGRAPHICAL PROPERTIES IN
POLISHING OF METAMORPHIC ORIGINATED MARBLES

Sevgi GÜRCAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisors: Assos. Prof. Dr. Ahmet YILDIZ, Prof. Dr. R. Mete GOKTAN

In this study, polishing properties of metamorphic origin marble have been investigated to determine the effects of mineralogical-petrographic features and chemical compounds.

To achieve this goal, six different marble samples commercially available in the market were studied. Mineralogical-petrographical properties were determined by polarizing microscope, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffractometer (XRD) analysis. Geochemical characteristics of the samples that reveal major oxides, trace and rare earth element (REE) analysis and physico-mechanical tests were determined. Using a laboratory-scale polishing machine, polishing experiments were applied under constant band speed, abrasive head pressure and abrasive head rotation for samples having 60x30x2 cm dimension. Roughness and brightness measurements were carried out on pre-determined surfaces of the marble samples.

Polishing experiments showed that, with a few exceptions, brightness increased with decreasing roughness. Marble types having low sphericity exhibited relatively high roughness values. It was also concluded that the amount of non-carbonate minerals present in the samples, as well as their distribution, greatly affected brightness and roughness properties of the tested marble varieties. The common non-carbonate minerals were mainly mica, chlorite, feldspar, epidote, hornblende and hematite. These

minerals were usually observed along micro-cracks and their volumetric percentages were as follows: 40% Uşak Green, 15.30% Afyon Sugar, 10.33% Akşehir Black and 8.50% Afyon Kaplanpostu. Other parameters influencing the brightness and roughness values of the tested marbles were micro-fracture frequency and micro-structural properties of the calcite minerals. Finally, although it was not the main objective of the present study, the effects of physico-mechanical properties on roughness and brightness of the marble varieties were examined.

2011, xv+160 Pages

Keywords: Marble, brightness, roughness, mineralogical-petrographical properties, chemical compound.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamda tez danışmanlığımı kabul ederek çalışmalarımı yönlendiren ve her zaman olumlu katkıları olan Sayın Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN ve Sayın Doç. Dr. Ahmet YILDIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimin hayata geçirilebilmesi için mermer sektörü ile görüşmelerde yardımcı olan Sayın Öğr. Grv. Liyaddin YEŞİLKAYA'ya ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliğinde bulunan laboratuvar olanaklarından yararlanmamı sağlayan Sayın Prof. Dr. Eyüp SABAH'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, mineralojik ve petrografik tanımlamalarda bilgilerine başvurduğum Sayın Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer ELİTOK'a, çalışmalarımda yol göstererek yardımcı oldukları için teşekkür ederim.

Çalışmalarımda yardımcı olan Maden Mühendisliği öğrencisi Gökhan GEÇER'e, Sayın Maden Yük. Müh. Filiz ORUÇ ŞAPÇI, Sayın Maden Yük. Müh. Selçuk ÖZGEN'e, Sayın Arş.Grv. Can BAŞARAN'a ve Sayın Arş.Grv. İbrahim DUMLUPUNAR'a, çalışmada kullanılan mermerleri sağlayan A.Ş.K Mermer, Blue and Black Stone, Gençler Mermer, Ceylan Mermer, Mersan ve Başoğlu Mermer fabrikalarına teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanı sıra, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine de teşekkür ederim.

Ayrıca tüm hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen rahmetli babam Yılmaz GÜRCAN'a, annem Mürüvvet GÜRCAN'a ve diğer aile fertlerime şükranlarımı sunarım.

Sevgi GÜRCAN
AFYONKARAHİSAR, 2011

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1 GİRİŞ	1
2 GENEL BİLGİLER	3
2.1 Doğal Taşlar	3
2.1.1 Doğal Taşın Tanımı	3
2.1.2 Doğal Taşların Sınıflandırılması	3
2.1.2.1 Kökensel Sınıflandırma	3
2.1.2.2 Mineral tane boyutuna göre sınıflandırma	4
2.1.2.3 Yapı ve dokularına göre sınıflandırma	5
2.1.2.4 Ticari şartlara göre sınıflandırma	6
2.2 Doğal Taş Parlatma Yöntemleri, Makinaları, Abrasivler ve Özellikleri	6
2.2.1 Doğal Taş Parlatma Yöntemleri	6
2.2.2 Doğal Taş Parlatma İşleminde Kullanılan Makinalar	9
2.2.2.1 Plaka Yüzey Cilalama Makinaları	9
2.2.2.2 Doğal Taş Cila Makinaları	11
2.2.2.3 Plaka Kenar Cila Makinaları	12
2.3 Abrasivler	13
2.3.1 Abrasiv Ürün Çeşitleri	14
2.3.1.1 Serbest Aşındırıcılar	14
2.3.1.2 Bağlı Aşındırıcılar	15
2.3.1.3 Kaplanmış Aşındırıcılar	15
2.3.2 Abrasivlerin Sınıflandırılması	15
2.3.2.1 Şekline Göre Abrasivler	15
2.3.2.2 Aşındırıcı Cinsine Göre Abrasivler	16

2.3.2.3 Bağlayıcı Cinsine Göre Abrasivler	17
2.3.2.4 Aşındırıcı Grain (Mesh) Numarasına Göre Abrasivler	18
2.3.2.5 Doğal Taşlara Göre Abrasivler	19
2.4 Doğal Taş Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi	19
2.4.1 Pürüzlülük Ölçümü	20
2.4.2 Parlaklık Ölçümü	22
2.5 Mermer Parlatma İşlemindeki Problemler ve Çözüm Yöntemleri	23
2.6 Literatür Çalışması	25
2.6.1 Aşındırma ve Parlatma Mekanizmaları	25
2.6.2 Silim Hattı Çalışmaları	29
2.6.3 Dokusal ve Mineralojik Özelliklerin Parlatmaya Etkisi	36
2.7 Literatür Tartışması	39
3 MATERYAL ve METOT	41
3.1 Materyal	41
3.2 Metot	41
3.2.1 Mineralojik İncelemeler	41
3.2.1.1 Mikroskobik İncelemeler	43
3.2.1.2 X-Işını Difraksiyonu (XRD) İncelemeleri	46
3.2.2 Çatlak ve Damarların Gözle Tayini	48
3.2.3 Jeokimyasal İncelemeler	48
3.2.4 Parlatma İşlemi	49
3.2.4.1 Cila Makinasının Özellikleri	49
3.2.5 Parlatma Deney Prosedürü	53
3.2.6 Pürüzlülük Ölçümleri	56
3.2.7 Parlaklık Ölçümleri	56
3.2.8 Fiziksel ve Mekanik Testler	58
3.2.8.1 Özgül Ağırlık (Gerçek yoğunluk) Tayini	58
3.2.8.2 Su Emme Testi	59
3.2.8.3 Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini	59
3.2.8.4 Ses Hızı İlerlemesinin Tayini	61
3.2.8.5 Basınç Dayanım Deneyi	61
3.2.8.6 İndirek Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi	62

3.2.8.7 Shore Sertliği (SH)	63
3.2.8.8 Knoop Sertlik İndeksi Ölçümü	64
3.2.8.9 Schmidt Çekici Sertliği Deneyi	65
3.2.8.10 Aşınma Dayanımı Testi	66
4 BULGULAR	68
4.1 Mineralojik İncelemeler	68
4.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri	68
4.1.1.1 Kalitatif Analiz	68
4.1.1.2 Kalsit Kristallerinin Mikroyapı Özellikleri	77
4.1.2 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri	77
4.1.3 X-Işınları Difraktometresi (XRD) İncelemeleri	84
4.1.4 Çatlak ve Damarların Gözle Tayini	91
4.1.5 Jeokimyasal İncelemeler	91
4.2 Pürüzlülük İncelemeleri	94
4.3 Parlaklık İncelemeleri	95
4.4 Fiziksel ve Mekanik Testler	95
5 TARTIŞMALAR	98
5.1 Abrasiv Numarası-Pürüzlülük Değişiminin İncelenmesi	98
5.2 Abrasiv Numarası-Parlaklık Değişiminin İncelenmesi	100
5.3 Pürüzlülük-Parlaklık Değişimlerinin İncelenmesi	101
5.3.1 Afyon Şeker Mermeri	101
5.3.2 Uşak Beyaz Mermeri	103
5.3.3 Muğla Beyaz Mermeri	105
5.3.4 Afyon Kaplan Postu Mermeri	106
5.3.5 Uşak Yeşil Mermeri	108
5.3.6 Akşehir Siyahı Mermeri	111
5.4 Mermer Yüzey Yapılarındaki Aşınma Mekanizmalarının İncelenmesi	115
5.5 İstatistiksel Değerlendirme	118
5.6 Pürüzlülük/Parlaklık ile Mineralojik-Petrografik, Kimyasal Bileşim ve Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler	121
5.6.1 Pürüzlülük/Parlaklık ile Mineralojik-Petrografik Özellikler Arasındaki İlişki	121

5.6.2 Pürüzlülük/Parlaklık ile Kimyasal Bileşim İlişkisi	122
5.6.3 Pürüzlülük/Parlaklık ile Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki	122
6 SONUÇLAR	124
7 KAYNAKLAR	127
ÖZGEÇMİŞ	134
EKLER	136

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

μm	Mikrometre
$^{\circ}$	Derece
D/D	Devir/dakika
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
Ra	Aritmetik Ortalama yüksekliği
Rq	Karekök Ortalama Pürüzlülüğü
Rz	On Nokta Yüksekliği
MPa	Megapascal

Kısaltmalar

AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
DAL	Doğal Taş Analiz Laboratuvarı
MTA	Maden Tetkik Arama
TUAM	Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işınları Difraksiyonu
EDX	Enerji
MÖ	Milattan Önce
SH	Shore Sertliği
Ka	Kalsit
D	Dolomit
Q	Kuvars
Epd	Epidot

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Kalibratör ve plakaların konumu 8
Şekil 2.2	Lap lap makinası 10
Şekil 2.3	Köprülü cila makinası 11
Şekil 2.4	Yer silme makinası 11
Şekil 2.5	Geniş bantlı cila makinası 13
Şekil 2.6	Abrasiv türlerine ait görüntü 16
Şekil 2.7	Abrasivlerin aşındırma kapasitelerinin ve sertliklerinin zamana göre değişimi 18
Şekil 2.8	Pürüzlülük ölçme cihazı 20
Şekil 2.9	Işık Yansımaları 22
Şekil 2.10	Parlaklık ölçme cihazı 23
Şekil 2.11	Sünek malzemelerde talaş oluşumu 26
Şekil 2.12	Gevrek malzemelerde malzeme talaş oluşumu 27
Şekil 2.13	Çentik sırasında oluşan çatlak ve deformasyon yapısı 28
Şekil 2.14	Bazı doğal taşlarda parlaklığın yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değişimi 32
Şekil 2.15	Farklı kafa basınçlarında, pürüzlülüğün abrasiv serisine bağlı olarak değişimi 33
Şekil 2.16	Yüzey aşınma sonucu oluşan mekanizma 35
Şekil 2.17	Farklı tane boyutlarında elmas ile yüzeyi parlatılan granit örneğinin SEM görüntüleri 36
Şekil 3.1	Örneklerin alındığı yerleri gösteren yer bulduru haritası 42
Şekil 3.2	Polarizan mikroskop görüntüsü 43
Şekil 3.3	Clemex görüntü analiz yazılımı yardımıyla kalsit kristallerinin mikro yapısal özelliklerinin belirlenmesi 45
Şekil 3.4	Clemex yazılımında ölçülen parametreler 46
Şekil 3.5	XRD analizinde kullanılan mermerlerin örnekleme yerleri 47
Şekil 3.6	Çatlak ve damarların ölçümü 48
Şekil 3.7	Deneylerde kullanılan cila makinasının genel görünümü 49
Şekil 3.8	Cila makinası motorları 50

Şekil 3.9	Cila makinası redüktörleri	50
Şekil 3.10	Cila makinası enerji analizörleri	51
Şekil 3.11	Kumanda kontrolünü ve iletişimini sağlayan yazılım programının ana menüsü	52
Şekil 3.12	Kumanda kontrolünü ve iletişimini sağlayan yazılım programının manuel yardımcı menüsü	53
Şekil 3.13	Kullanılan abrasivlerin makinadaki yerleşimi	55
Şekil 3.14	Kalibrasyon işlemi	55
Şekil 3.15	Pürüzlük ölçer ve pürüzlülük ölçümü	57
Şekil 3.16	Glossmetre ve parlaklık ölçümü	57
Şekil 3.17	Quantachrome Helyum piknometresi	58
Şekil 3.18	Ultrases cihazı	61
Şekil 3.19	Basınç dayanım deneyi	62
Şekil 3.20	İndirekt çekme dayanımı uygulanmış örnekler	63
Şekil 3.21	Shore sertlik ölçüm cihazı	64
Şekil. 3.22	Knoop sertlik ölçüm cihazı	65
Şekil 3.23	Knoop sertlik ölçümü	65
Şekil 3.24	Schmidt sertlik ölçüm cihazı	66
Şekil 3.25	Aşınma dayanımı test cihazı	67
Şekil 3.26	Aşınma sonucu oluşan oyuk	67
Şekil 4.1	Afyon Şeker mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri	70
Şekil 4.2	Uşak Beyaz ve Muğla Beyaz mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri	72
Şekil 4.3	Afyon Kaplan Postu mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri	73
Şekil 4.4	Uşak Yeşil mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri	75
Şekil 4.5	Akşehir Siyahı mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri	76
Şekil 4.6	Afyon Şeker mermerine ait SEM-EDX sonuçları	80
Şekil 4.7	Uşak Beyaz ve Muğla Beyaz mermerlerine ait SEM-EDX sonuçları	81
Şekil 4.8	Afyon Kaplan Postu mermerine ait SEM-EDX sonuçları	82
Şekil 4.9	Uşak Yeşil mermerine ait SEM-EDX sonuçları	83

Şekil 4.10	Akşehir Siyah mermerine ait SEM- EDX sonuçları	85
Şekil 4.11	Afyon Şeker mermerine ait XRD grafiği	87
Şekil 4.12	Uşak Beyaz mermerine ait XRD grafiği	88
Şekil 4.13	Muğla Beyaz mermerine ait XRD grafiği	88
Şekil 4.14	Afyon Kaplan Postu mermerine ait XRD grafiği	89
Şekil 4.15	Uşak Yeşil mermerine ait XRD grafiği	90
Şekil 4.16	Akşehir Siyahı mermerine ait XRD grafiği	92
Şekil 5.1	Pürüzlülük-abrasiv numarası ilişkisi	99
Şekil 5.2	Parlaklık-abrasiv numarası ilişkisi	100
Şekil 5.3	Afyon Şeker mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük- parlaklık değerlerinin değişimi.	101
Şekil 5.4	Farklı abrasivlerle parlatılmış Afyon Şeker mermerine ait SEM görüntüleri	103
Şekil 5.5	Uşak Beyaz mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük- parlaklık değerlerinin değişimi	104
Şekil 5.6	Farklı abrasivlerle parlatılmış Uşak Beyaz mermerine ait SEM görüntüleri	105
Şekil 5.7	Muğla Beyaz mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük- parlaklık değerlerinin değişimi	106
Şekil 5.8	Afyon Kaplan Postu mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük-parlaklık değerlerinin değişimi	107
Şekil 5.9	Farklı abrasivlerle parlatılmış Afyon Kaplan Postu mermerine ait SEM görüntüleri	107
Şekil 5.10	Uşak Yeşil mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük- parlaklık değerlerinin değişimi	108
Şekil 5.11	Uşak Yeşil mermerine ait SEM görüntüsü	109
Şekil 5.12	Uşak Yeşil mermerindeki mineraller	110
Şekil 5.13	Uşak Yeşil mermerindeki epidot mineralinin SEM görüntüsü	110
Şekil 5.14	Akşehir Siyah mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük- parlaklık değerlerinin değişimi	112
Şekil 5.15	Farklı abrasivlerle parlatılmış Akşehir Siyahı mermerine ait SEM görüntüleri	113
Şekil 5.16	Akşehir Siyahı mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük- parlaklık değerlerinin değişimi	114

Şekil 5.17	Yönlenme düzlemine dik doğrultudaki mineralin ince kesit görüntüsü	115
Şekil 5.18	SEM görüntüleri	116
Şekil 5.19	SEM görüntüleri	117
Şekil 5.20	Afyon Şeker mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi	119
Şekil 5.21	Uşak Beyaz mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi	119
Şekil 5.22	Muğla Beyaz mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi.	119
Şekil 5.23	Afyon Kaplan Postu mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi	120
Şekil 5.24	Uşak Yeşil mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi	120
Şekil 5.25	Akşehir Siyah mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi	120
Şekil 5.26	Pürüzlülük-Kalsit tanesi en/boy oranı ilişkileri	121
Şekil 5.27	Pürüzlülük-CaO ilişkisi	122
Şekil 5.28	Pürüzlülük-Knoop sertliği ilişkileri	123
Şekil 5.29	İndirekt Çekme dayanımı – Parlaklık ilişkileri.	123

ÇİZELGELER LİSTESİ

		Sayfa
Çizelge 2.1	Mermerin tane boyutuna göre sınıflandırılması	5
Çizelge 2.2	Parlatma mekanizmasında etkili olan parametreler	7
Çizelge 2.3	Endüstriyel abrasivlerin yapı ve türleri	14
Çizelge 2.4	Grain numarasına göre tane büyüklüğü	19
Çizelge 3.1	Deneylerde kullanılan mermer örnekleri ve örneklerin alındığı firmalar	41
Çizelge 4.1	Mermerlerin mineralojik ve petrografik özellikleri	69
Çizelge 4.2	CLEMEX görüntü analiz programı verileri	78
Çizelge 4.3	Mermer örneklerine ait yarı kantitatif XRD sonuçları	86
Çizelge 4.4	Mermerlere ait kimyasal analiz sonuçları	93
Çizelge 4.5	Mermerlerin pürüzlülük değerleri	96
Çizelge 4.6	Mermerlerin parlaklık değerleri	96
Çizelge 4.7	Çalışmada kullanılan mermerlere ait fiziko-mekanik test sonuçları	97

1. GİRİŞ

Doğal taş sektörü Türkiye’de son yirmi yılda önemli gelişmeler göstermiş, özellikle 90’lı yıllardan itibaren çok hızlı bir gelişme trendi yakalayan doğal taş sektörü, gerek üretim potansiyeli gerekse ihracat ve istihdam açısından ülke ekonomisine önemli katkı sağlamıştır. Bu artışa paralel olarak, özellikle son dönemde büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlar, uygulamaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri ve giderek mükemmel hale getirilen işleme teknikleri sayesinde, işlenmiş mermer üretiminde büyük artışlar kaydedilmiştir. 2002 yılında, 219 milyon \$ olan işlenmiş mermer, 2005 yılında 603 milyon \$’a, 2009 yılında ise 700 milyon \$’a ulaşmıştır (İnt Kyn 1).

Türkiye’nin işlenmiş mermer ihracatı sürekli artmakla birlikte, uluslararası piyasada henüz istenilen seviyeye ulaşmadığı görülmektedir. Doğal taşların işlenmesinde parlatma işlemi, birim maliyetin %40’ı oranında bir paya sahiptir (Çapık vd. 2010). Özellikle uygun makine parametrelerinin belirlenmesi, abrasiv serilerinin taşa uygun seçilmesi ve doğal taşların fiziko-mekanik, petrografik ve kimyasal özelliklerinin tanımlanması ile parlatmadaki olumsuz etkilerin ortadan kaldırılabilmesi bilinmektedir. Bu nedenle, çok çeşitli renk ve dokuya sahip doğal taşların etkin bir şekilde parlatılabilmesi Türkiye doğal taş sektörüne büyük yararlar sağlayacaktır.

Mermerlerin silim hattında parlatılmasında etkili olan parametreler, birçok araştırmanın konusu olmuştur. Bunlar incelendiğinde, parlatma işleminin birçok parametreden etkilenen oldukça karmaşık bir mekanizmaya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu parametrelerin genel olarak; makina parametreleri; aşındırma tipi, baskı kuvveti, bant hızı, silim ve cila taşlarının takıldığı disk, disklerin devir sayısı, hareket yönü ve hızıdır. Aşındırıcı parametreleri ise; aşındırıcı tane özellikleri, sertliği, tane boyutu, aşındırma elemanı içindeki dağılımı ve yüzdesi, tanelerin matris ile bağ yapısı, bağlayıcı matris özellikleri, aşındırıcı başlığın geometrik şekli ve parlatılan malzeme ile ilgili özellikler başlıkları altında incelemek mümkündür.

Yapılan çalışmalarda; makinanın bant hızı, abrasiv kafalara uygulanan basınç, abrasiv kafaların devir hızları gibi parametreler tanımlanarak, farklı doğal taş gruplarında

parlaklık ve pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Yine, makine parametreleri her doğal taş için optimize edilmemiş, çalışmalar genellikle farklı abrasiv serilerinde, bant hızında ve kafa basınçlarında yürütölmüştür. Bunun yanısıra, kayaç yapılarına ilişkin olarak sadece mineralojik özellikler tanımlanmış, kayaçta farklı minerallerin varlığı ve bu minerallerin boyut dağılımının parlaklık ve pürüzlülüğe etkisi incelenmemiştir. Bu nedenle, aynı abrasiv serisinde, sabit bant hızı ve kafa basıncında farklı mermer türlerinin parlatma performanslarını belirlemeye yönelik çalışmaların yapılması oldukça önem taşımaktadır. Doğal taşların parlatılması üzerine günümüze kadar yapılan çalışmalardaki eksiklikler göz önüne alınarak planlanan bu çalışmada, metamorfik kökenli mermerlerden seçilen örneklerin mineralojik ve petrografik özellikleriyle birlikte kimyasal bileşiminin parlatma işlemine etkileri araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Doğal Taşlar

2.1.1. Doğal Taşın Tanımı

Ocaktan bloklar halinde çıkartılarak, plaka haline getirildikten sonra değişik teknikler kullanılarak yüzeyi işlenebilen, güzel görünümlü magmatik, sedimanter ve metamorfik kökenli kayalara “Doğal Taş” denilmektedir. Mermer tanımlamasının eksik ve yanlış olmasından dolayı zamanla karmaşayı önlemek için mermer yerine doğaltaş tanımlaması kullanılmaya başlanmıştır. Bu tanımlama şekli hem daha geniş bir kayaç grubunu kapsaması ve hem de kayaların kullanım alanını yansıtması açısından son derece uygundur (Yıldız 2010).

2.1.2 Doğal Taşların Sınıflandırılması

Doğal taşlar magmatik, sedimanter ve metamorfik kökenli doğal taşlar olarak üç gruba ayrılmaktadır.

2.1.2.1 Kökensel Sınıflandırma

a) Magmatik Kökenli Doğal Taşlar: Magmatik kökenli doğal taşlar, kökeni magma olup, yerin derinliklerinde akkor haldeki magmanın yerin içinde veya yüzeye yakın derinliklerde ya da yüzeyde soğuyarak katılaşması ile oluşurlar. Magmatik kayalar; yapıları, mineral içerikleri ve oluşumlarına göre sınıflandırılabilir. Magmatik kayaların yapıları, ince ve kaba kristalli olabileceği gibi amorf yapıda olanları da vardır. Lav şeklinde yeryüzüne çıkmaya çalışan magma, yer kabuğunun derin bölümlerinde soğuduğunda, derinlik kayaları, yeryüzüne ulaşip kristalleşirse yüzey kayaları meydana gelir (Kibici 2006). Doğal taş sektöründe magmatik kökenli doğal taşlardan en çok granit, diyorit, andezit kullanılmaktadır.

b) Sedimanter Kökenli Doğal Taşlar: Sedimanter kökenli doğal taşlar; mevcut kayaların zamanla atmosferik koşulların etkisiyle ufalanmaları, taşınmaları sonradan birbiri ile karışarak doğal bir bağlayıcı ile yeniden sertleşmesi sonucu

oluşan kayaçlardır. Bu tip kayaçlar, sedimentasyon olayı sonucu meydana gelir ve mineral ve taş parçalarının değişik yollarla taşınarak bir yerde çökmesi ile oluşurlar. Sedimanter kayaçlar tabakalar halinde oluşur ve içlerinde organik maddeler, fosiller bulunabilir. Özellikle kalker, dolomit, arduaz ve traverten sedimanter doğal taşlara örnek olarak verilebilir (Kibici 2006).

c) Metamorfik Kökenli Doğal Taşlar: Metamorfik kökenli doğal taşlar; magmatik ve sedimanter kayaçların sıcaklık, basınç, gerilme (stress basıncı) ve kimyasal aktivitesi olan sıvıların etkisi altında kalarak değişmeleri sonucu oluşur. Kristalsiz bir yapıya sahip olan tortul kayaçlar ısı ve basınç etkisiyle kristal bir yapıya dönüşürler. Bu tip kayaçlara en iyi örnek sedimanter kayaçların metamorfizması sonucu oluşan kireçtaşı ve dolomit gibi mermerlerdir (Kibici 2006). Bu doğaltaş türü sektörde “hakiki mermer” olarak bilinmektedir.

2.1.2.2 Mineral tane boyutuna göre sınıflandırma

Mineral tane boyutuna göre sınıflandırma, çoğunlukla hakiki mermerlerde kullanılmaktadır. Hakiki mermerlerde büyük önem taşıyan mineral tane boyutu cila alma, basınç dayanımı, su emme ve ayrışma gibi özelliklere doğrudan etki etmektedir. Ayrıca, hakiki mermerlerde tane boyutu ile bunların ekonomik değeri arasında ters orantılı bir ilişki vardır (Çelik 2004). Mineral tane boyutuna göre, mermerlerin sınıflandırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Mermerin tane boyutuna göre sınıflandırılması (Kun 2000).

Tane Boyutu		Özellikleri	Örnek
Tanım	Değer		
Çok İnce 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. Bu nedenle iyi parlatılır. Bu özellik de mermerin daha değerli olmasını sağlar.	Afyon Mermerleri
İnce Taneli Mermer	100-2000 µm	Tane boyutu, 100 mikron ile 2000 mikron arasında olan mermerlerdir. İnce taneli mermerlerde taneler birbirine iyice kenetlenmiş durumdadır.	Muğla-Milas Mermerleri
Orta Taneli Mermer	2 mm-5mm	Tane boyutu, 2-5 mm arasında olan mermerlerdir. Tane boyutunun büyümesi, kesme ve parlatma işlemlerinde probleme neden olmaktadır. 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 iri olan ve taneleri gözle görülebilen mermerlerdir. Kristaller iri olduğundan mermer dişli ve kaba görünümlüdür.	Kırşehir Beyazı

2.1.2.3 Yapı ve dokularına göre sınıflandırma

Yer kabuğunu oluşturan magmatik, sedimanter ve metamorfik kayaların kendine has yapısal ve dokusal özellikleri bulunmakta olup, yapı ve dokularına göre doğal taşlar aşağıda sınıflandırılmıştır.

- a) **Masif Mermer:** Kompakt görünümlü, ince ve iri taneli olabilen, çatlaksız sağlam bir mermer türüdür.
- b) **Laminalı Mermer:** Laminalı bir yapı gösterirler. Renkli şerit görünümündedir ve ince taneli tabakalardan meydana gelir.
- c) **Şisti Mermer:** Bileşiminde bol miktarda mika pulcukları içeren mermerlerdir. Bileşimindeki bu mika pulcuklarından dolayı yapraksı bir yapı gösterirler.

d) Breşik Mermer: Dinamik metamorfizma sonucu oluşan yönlü ve kesme kuvvetlerinin etkisiyle sert ve sağlam kayaçlar kırılarak küçük parçacıklara ayrılır. Daha sonra ikincil olaylar ile bu kırıkların arası başka cins ve renkteki minerallerce doldurulur ve kırılan kayaç tekrar sağlam bir yapıya kavuşur. Bu olay sonucu meydana gelen yapıya “kataklastik yapı” adı verilir. Kataklastik olayı sonucu oluşan mermerlere; breşik mermer adı verilir (Çelik 2004).

2.1.2.4 Ticari şartlara göre sınıflandırma

Ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan veya yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri (malzeme özellikleri) kaplama taşı normlarına uygun olan her türden kayaç (magmatik, sedimanter ve metamorfik) ticari dilde mermer olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca; granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik, kalker, traverten, kumtaşı gibi sedimanter; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik kayaçlar da mermer olarak isimlendirilmektedir. Ticari tanımlamada mermer sözcüğü taş türünü belirtmediği için bu eksikliği gidermek amacıyla taş adının sonuna mermer takısı eklenerek litolojik farklılık vurgulanmaya çalışılmaktadır (DPT 2001).

2.2. Doğal Taş Parlatma Yöntemleri, Makinaları, Abrasivler ve Özellikleri

2.2.1 Doğal Taş Parlatma Yöntemleri

Doğal taşların sahip olduğu renk ve dokuları en iyi ön plana çıkaran yöntem, parlatma-cilalama işlemidir. Parlatma işleminde, küçükten büyüğe doğru sıralanan abrasiv serisi kullanılarak, yüzey pürüzsüzleştirilerek ışığı yansıtır bir yüzey elde edilmektedir. Doğal taşların cila kalitesi; kimyasal, mineralojik, fiziksel ve mekanik özelliklere bağlı olduğu gibi, parlatma işleminin doğru bir şekilde yapılmasında cila kalitesini oldukça etkilemektedir. Doğal taşların parlatılma mekanizmasında etkili olan parametreler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Parlatma mekanizmasında etkili olan parametreler (Kulaksız 2007, Güzel ve Gündüz 2001).

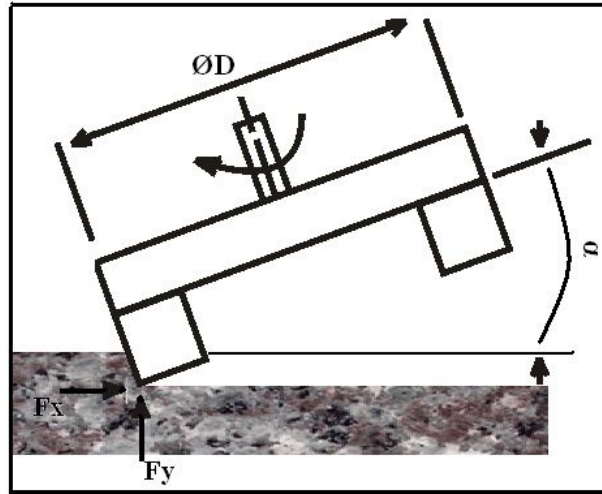
Makine ile İlgili Faktörler	Abrasiv ile İlgili Faktörler	Parlatılan Malzeme ile İlgili Faktörler	Ekonomik Faktörler
<ul style="list-style-type: none"> • Aşındırma tipi • Baskı kuvveti • Bant hızı • Silim ve cila taşlarının takıldığı disk, disklerin devir sayısı, hareket yönü ve hızı • Kapasitesi • Gücü ve enerji tüketimi • Beslenen su miktarı ve basıncı 	<ul style="list-style-type: none"> • Aşındırıcı tane özellikleri <ul style="list-style-type: none"> - Sertliği - Tane boyutu - Hız, ısı ve yük altındaki davranışı - Aşındırma elemanı içindeki dağılımı ve yüzdesi - Tanelerin matriks ile bağ yapısı - Aşındırıcının ömrü • Bağlayıcı matriks özellikleri <ul style="list-style-type: none"> - Sertliği - Aşınma özellikleri - Gözenekliliği - Elastisite özellikleri - Basınç ve çekme dayanımları • Aşındırıcı başlığın geometrik şekli • Aşındırıcı başlığın yüzey şekli 	<ul style="list-style-type: none"> • Kayaç yapısı ve dokusu <ul style="list-style-type: none"> - Kristal tane boyutları - Kristal kenetlenmeleri - Kristal geometrisi ve sınıfı - Tek ve çok bileşenli mineral veya mineral topluluğu oluşu - Bağlayıcı malzeme özellikleri • Mineral / kayaç sertliği • Kayaçtaki dolgu / dolgusuz süreksizlikler • Kayaç / minerallerde alterasyonlar <ul style="list-style-type: none"> • Suda erime / çözünme özellikleri • Kayacın aşınma özelliği 	<ul style="list-style-type: none"> • İstenilen yüzey kalitesi • Birim yüzey alanı • Aşındırma maliyeti

Doğal taşların parlatılmasında ilk basamağı, levha ya da fayansların kalınlık ayarının yapıldığı ve kesim işlemi sırasında oluşan testere izlerinin uzaklaştırıldığı, kalibrasyon aşaması oluşturur. Cila makinasında ilk aşamayı oluşturan kalibratörler, bazen cila kafalarının oluşturduğu hattan ayrı ya da birlikte çalışabilirler. Kalibrasyon aşamasında, iri elmas tanelerini içeren soketlerin lehimlendiği kalibratör diskleri bulunmaktadır. Kullanılan cihaz özelliğine göre kalibratör sayısı değişmektedir. Doğal taşların aynı kalınlıkta kalibre edilmesi için, kalibratör disklerinin eğim ayarının belirli bir açıda yapılması gerekmektedir (İnka 2005). İlerleme yönü dikkate alınarak Şekil 2.1'deki gibi belirli bir açı ayarı yapılmalıdır.

Kalibrasyon aşamasından sonra doğal taş parlatma hattında, parlatma işlemini gerçekleştiren abrasivlerin yer aldığı kafalar bulunur. Her bir abrasiv bir önceki

abrasivin izini silmektedir. Bu yüzden, seçilen abrasivlerin kendinden önceki abrasivin bıraktığı izi silebilecek özellikte olması gerekmektedir. Bu aşamada, mermer yüzeyindeki pürüzler tamamen giderilerek cila aşamasına geçilir. Cila aşaması mermer ve sert taşlar için farklılık gösterir. Mermer, oksalik asit içeren cila taşları kullanılarak kimyasal olarak parlatılır. Son aşamada kullanılan su miktarı azaltılarak malzeme üzerinde fazla ısınma ile yüzeyde kimyasal reaksiyonun oluşması sağlanır. Cila aşamasında oksalik asit ile tepkimeye giren kalsiyum karbonatın birleşmesiyle oluşan kalsiyum oksalat en önemli rolü oynamaktadır.

Aşınma işleminde kafalara uygulanan baskı kuvveti, kullanılan makine özelliğine bağlı olarak 1 ile 10 bar arasında değişmektedir. Baskı kuvveti parlatma kalitesine ve mermer türüne göre ayarlanmalıdır. Ayrıca her abrasiv kafada bulunan abrasiv adetine göre bu baskı kuvveti ayarlanmalıdır (İnka 2005).



Şekil 2.1 Kalibratör ve plakaların konumu (İnka 2005).

Parlatma işleminde kullanılan su miktarı, mermer parçacıklarının ve aşındırıcı tanelerin yüzeyden uzaklaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Su miktarının azaltılması sonucu mermer tanecikleri yüzeyden uzaklaştırılamadığı için, parlatmayı engelleyerek yüzeyin çizilmesine neden olur. Suyun fazla miktarda kullanılması ise, su maliyetini arttırmaktadır. Bu yüzden uygun miktarda su kullanılmalıdır.

Sert taşların parlatılmasındaki işlemler, mermerlerdeki çalışma prensibiyle benzerlik göstermesine rağmen; kalibratör yapısı, silim taşlarının yapısı ve parlatma aşamasındaki işlemlerden dolayı farklılık gösterir. Sert taşların parlatılmasında kullanılan kalibratörler, mermerlerdeki gibi dairesel disk şeklinde değil, silindir şeklindedir. Kullanılan abrasivlerin yapı ve çalışma prensibi farklıdır. Mermerlerin parlatılmasında kullanılan son aşamadaki oksalik asit içeren cila taşlarının yerine, sert taşlarda çok ince taneli abrasiv içeren silim taşları kullanılmaktadır (Kulaksız 2007).

2.2.2 Doğal Taş Parlatma İşleminde Kullanılan Makinalar

Doğal taşın parlatılması amacıyla değişik tipte makinalar kullanılmaktadır. Bunlar, temel olarak doğal taş yüzeylerinin parlatılması veya doğal taş kenar köşelerinin istenen profil şekline getirilip daha sonra parlatılması işlemlerinden birini yerine getirirler. Dolayısıyla, bu makinalar plaka/levha yüzey cila makinaları ve plaka kenar cila makinaları olmak üzere iki grupta incelenebilir.

2.2.2.1 Plaka Yüzey Cilalama Makinaları

a) Lap - Lap: Doğal taş cilalama makinasının en basit şeklidir. Cila makinasında, ardışık dizilmiş başlıklarda, gittikçe azalan aşındırıcı tane boyutuna sahip abrasivler kullanılarak cilalama işlemi yapılmaktadır. Bu makinada, tek bir başlıkta gittikçe azalan aşındırıcı tane boyutuna sahip abrasivler belli zaman aralıklarında sırasıyla takılıp çıkartılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmektedir. Plaka yüzey cilalama makinalarından tek farkı sağa-sola ve ileri-geri hareketin insan gücüyle yapılmasıdır. Hareket alanı 2x2.5m arasındadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Lap lap makinası (Gürmaş katalog).

b) Köprülü Cilalama Makinaları: Köprülü cilalama makinalarında yüzeyi parlatma işlemi, yatay bir tabla üzerine yerleştirilmiş doğal taş levha ve plakalarının üzerine, belirli baskı ve devirde, diske takılı abrasivlerin taş yüzeyine temas etmesiyle gerçekleştirilmektedir. Diskin ileri-geri ve sağa-sola hareketi bir köprü ünitesi ve motor aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu makinalar, tam köprülü ve yarım köprülü olarak ikiye ayrılmıştır (Şekil 2.3).

c) Yer silme makinaları: Bina zeminine parlatılmadan döşenmiş doğal taşların, karoların veya mozaikle karıştırılarak dökülmüş betonların yüzeylerini yerinde silmek ve parlatmak amacıyla kullanılmaktadır. Parlatma işlemleri sırasında gerekli baskı makinanın kendi ağırlığı ile, makinanın hareketi ise operatör tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.3 Köprülü cila makinası (İnt Kyn 2).



Şekil 2.4 Yer silme makinası (İnt Kyn 3).

2.2.2.2 Doğal Taş Cila Makinaları

Doğal taş cila makinaları; fayans, levha ve plakalarının sürekli hareket halinde bulunan bir bant üzerinde kalınlıklarının ayarlandığı, yüzey pürüzlülüğünün ortadan kaldırıldığı ve parlaklık kazandırıldığı birden çok kafalı otomatik makinalardır. Eni 40-70 cm boyutundaki plakaların cilalanması için dar bant cila makinası, eni 250 cm'ye kadar olan levhaların cilalanması için geniş bant cilalama makinası kullanılır.

a) Dar bant cila makinası: S/T, baş kesme ve /veya yan kesme makinaları kullanılarak plaka, levha veya fayans boyutlarına getirilen mermerlerin parlatılması için dar bant cila makinası kullanılır. Dar bant cila makinası; ayaklar üzerine oturtulmuş çelik

şase, bu şaseye bağlı bant ile kalibre, aşındırıcı ve cila kafalarının dönmesini sağlayan elektrik motorları ve kafaların aşağı yukarı hareketi sağlayan pnömatik ünitelerden oluşmaktadır. Bu makine, sabit köprülü cila makinası olarak isimlendirilmektedir. Makinada bir, iki ya da üç adet kalibratör kafa bulunmaktadır. Kalibratör kafalar, makinanın tipine göre mekanik veya pnömatik sistemler yardımıyla yukarı aşağı hareket kabiliyetine sahiptir (Uğur ve Gündüz 2003). Kalibratör kafalardan sonra, 5 ve 12 adet arasında değişen abrasiv kafalar yer almaktadır. Abrasiv kafalar manuel ya da otomatik olarak sadece plaka veya fayans geldiğinde inmekte ve çıkışta yukarı kalkmaktadır (Ersoy 2000).

b) Geniş bant cila makinası: Bu makineler katraktan alınan, ebatları 1.80-2.30 m genişliğinde ve 5 cm kalınlığındaki levhaların cilalanmasında kullanılır (Şekil 2.5). Geniş mermer levha/plakalarının parlatılması için hareketli köprü üzerine yerleştirilmiş daha küçük çapa sahip abrasiv kafalar kullanılarak bunların mermer üzerinde ileri-geri hareketi ile tüm mermer yüzeyinin işlenmesi sağlanmaktadır. Bu yüzden köprülü cila makinası kullanılmaktadır. Motor güçleri 60-80 kW, su tüketimleri 250-300 lt/dk kadardır (Ersoy 2000).

2.2.2.3 Plaka Kenar Cila Makinaları

Bu tip makineler, plakaların kenar ve köşelerinde yapılan aşındırma, parlatma, profil verme, oluk açma, delik açma vb. işlemlerin yapılması amacıyla kullanılmaktadır (Kulaksız 2007).



Şekil 2.5 Geniş bantlı cila makinası (İnt Kyn 4).

2.3 Abrasivler

Doğal taşların cilalanması işleminde, abrasiv (aşındırıcı) adı verilen malzemeler kullanılmaktadır. Abrasivler, genellikle sürtme ya da darbe etkisiyle, yüzeylerden malzeme kopartarak, yüzeyin pürüzsüz hale dönüştürülmesini sağlamaktadır. Abrasivler ile ilgili yapılan araştırmalarda, MÖ 4000 yıllarında Mısır'da bazı öğütme malzemeleri ile taşların kesildiğine ilişkin izler bulunmuştur (İnt Kyn 5).

Abrasivler doğal ve sentetik olarak iki genel sınıfa ayrılmaktadır. Doğal aşındırıcılar kırma, boyutlandırma ve birbirine bağlama dışında hiçbir fiziksel ve kimyasal işleme tabi tutulmamış minerallerdir. Sentetik aşındırıcılar ise, 1891 yılında Acheson'un elektrik fırını yöntemini kullanarak, yüksek kaliteli silisyum karbür yapması ile önem kazanmıştır. Günümüzde sentetik aşındırıcılar, modern endüstri için büyük öneme sahiptir. Sentetik aşındırıcıların fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri çeşitli ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde üretilmektedir (Wellborn 1996).

Aşındırıcıların en önemli fiziksel özellikleri; sertlik, tıkHzlık, tane şekli, tane boyutu ve saflığıdır. Sentetik aşındırıcılarda bu özelliklere ek olarak, yüksek sıcaklık altında kararlılık ve tane yüzeylerindeki karakteristik bağlar yer almaktadır. Abrasiv seçiminde kalite ve çalışma miktarı önemli olup, birim maliyet dikkate alınmaktadır. Doğal

aşındırıcılara göre sentetik aşındırıcıların başlangıç maliyeti yüksektir. Ancak bu aşındırıcılar daha uzun süreli kullanılabilirdiği için, maliyet daha düşüktür. Bu yüzden, sentetik aşındırıcılar daha çok kullanılmaktadır (Wellborn 1996). Aşındırıcıların kimyasal özellikleri ise, aşındırıcının saflığı, tane yüzeylerinin bağ kurma özelliği, yüksek ısıda özelliğini korumasıdır. Çizelge 2.3’de endüstriyel olarak kullanılan en önemli abrasivler, yapı ve türlerine göre sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.3. Endüstriyel abrasivlerin yapı ve türleri (Wellborn 1996).

Doğal Abrasivler			Endüstriyel Abrasivler		
Sertlik (>7 Mohs)	Orta Sertlik (5.5-7 Mohs)		Düşük Sertlik (< 5.5 Mohs)		
Elmas (10)	Silika Bazlı	Diğer	Apatit	Bor karbür	Kireç
Korund (9)	Silika Kumu	Bazalt	Kalsit	Bor Nitrid	Silisyum karbür
Zımpara Taşı (7-9)	Kumtaşı	Feldispat	Kil	Kalsiyum Fosfat	Zirkonyum oksit
Garnet (6.5-7.5)	Kuars	Granit	Diyatomit	Krom oksit	Tungusten karbür
Stavrolit (7-7.5)	Kalsedon	Mika şist	Dolomit	Elmas	Titanyum karbür
		Perlit	Demir Oksit	Erimiş alümina	Zirkonyum silikat
		Pomza	Kireçtaşı	Demir oksit	
			Talk	Metalik abrasivler	

2.3.1 Abrasiv Ürün Çeşitleri

2.3.1.1 Serbest Aşındırıcılar

Aşındırıcı taneler, aşındırıcı özelliğine sahip malzemelerin istenilen boyutta kırılıp öğütülmesi ile üretilir. Aşındırıcı taneler serbest aşındırıcı taneler olarak kullanılmasının yanında; bağlı aşındırıcı, kaplanmış aşındırıcı, cila, temizleyici ve aşındırma pastaların yapımında da önemli bir yere sahiptir. Aşındırıcı malzemelerde sertliğin yanında, tane şekli, tane boyutu, saflık ve özgül ağırlık önemli fiziksel özelliklerdir.

2.3.1.2 Bağlı Aşındırıcılar

Aşındırıcı taneler; abrasivler, aşındırıcı çarklar, eskitme taşlarının üretilmesinde kullanılmak üzere bağlayıcı malzemelerle birlikte preslenmekte veya kalıplanmaktadır. Bağlı aşındırıcıların yapımında korondum ya da zımpara taşı kullanılmaktadır. Son yıllarda, silisyum karbür ve alüminyum oksitin kullanılmasıyla doğal aşındırıcıların kullanımı azalmıştır. Bağ yapma tipi ve üretim metoduna bağlı olarak beş temel tip bağlı aşındırıcı vardır (Wellborn 1996).

2.3.1.3 Kaplanmış Aşındırıcılar

Kaplanmış aşındırıcılar, belli tane boyutuna sahip aşındırıcı tanelerin kağıt veya bez üzerine kaplanmasıyla oluşurlar. Bu kaplama işleminde, yapıştırıcı veya sentetik reçine kullanılır. Zımpara kağıtlarının yapımında kuvars, granat, alüminyum oksit, silisyum karbür ya da sol-jel alümina kullanılmaktadır. Granat ve kuvars içerikli zımpara kağıtları ve bezleri çoğunlukla ahşap, deri ve plastik gibi malzemelerin aşındırılması ve parlatılması amacıyla kullanılmaktadır. Alüminyum oksit, silisyum karbür kaplı bezler ise metal endüstrisinde çokça kullanılmaktadır (Kulaksız 2007).

2.3.2 Abrasivlerin Sınıflandırılması

2.3.2.1 Şekline Göre Abrasivler

Sahip oldukları geometrik şekle göre abrasivler Frankfurt tipi, sektör tipi, terzago tipi, cassani tipi vs. şeklinde formlarına göre adlandırılırlar. En yaygın kullanılan form şekli Frankfurt Verona (Pençe) tipidir (İnka 2005). El perdah makinalarında en çok tercih edilen simit tipi abrasivlerdir (Görgülü 1998). Değişik şekildeki silim taşlarının görünümü Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Abrasiv türlerine ait görüntü.

2.3.2.2 Aşındırıcı Cinsine Göre Abrasivler

Elmas en önemli aşındırıcı türüdür. Endüstriyel anlamda; bort, karbonado, ballas ve kristal taneleri olmak üzere dört çeşit elmas bulunmaktadır. Karbonado sadece Brezilya'da Bahia'da, ballas çoğunlukla Brezilya'da üretilmektedir. Bort kusurlu, mücevher için uygun olmayan elmas taneleridir. Tüm elmas üreticilerinde bulunmaktadır.

Silisyum karbür (Eşitlik 2.1); kuvars kumu, petrokok, reaksiyonu hızlandırmak için sodyum klorür ve hızar tozu ilave edilerek elektrik fırınında 2100°C' de eritilerek elde edilmektedir (Sağlam 1996).



Silisyum karbürün kalitesi, beslenen hammaddenin kalitesine ve fırının doğru şekilde kontrol edilmesine bağlıdır. Tanelerin kompaktlığına göre değişik tipte malzeme elde edilmektedir. Ticari olarak dört tip silisyum karbür bulunmaktadır. Sertliği yaklaşık 9.5 Mohs'dur. Çarpmalara ve kırmalara karşı duyarlıdır (Sağlam 1996).

Alüminyum oksit; doğal ve sentetik alüminyum oksit olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Doğal alüminyum oksit, tabiatta birçok değişik şekilde bulunmaktadır. Yapısında

genellikle alüminyum oksitle beraber silikatları, toprak alkali oksitleri, demir oksitleri bulundurabilir. Doğal bir aşındırıcı olarak, zımpara ve korund olmak üzere iki türü kullanılmaktadır. Zımpara; esas olarak korund, manyetit veya hematit karışımından oluşan, yoğunluğu $2.7 \text{ gr/cm}^3 - 4.3 \text{ gr/cm}^3$ ve sertliği 7-9 arasında değişen, siyah veya grimsi renklerde taneli görünümlü kayadır. Korund ise, sertliği 9 Mohs, $3.93 \text{ gr/cm}^3 - 4.10 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğunda kristal sistemi hekzagonal olan ve tabiatta mavi, yeşil, gri, kahverengi, siyah renklerde bulunan bir mineraldir (Sağlam 1996).

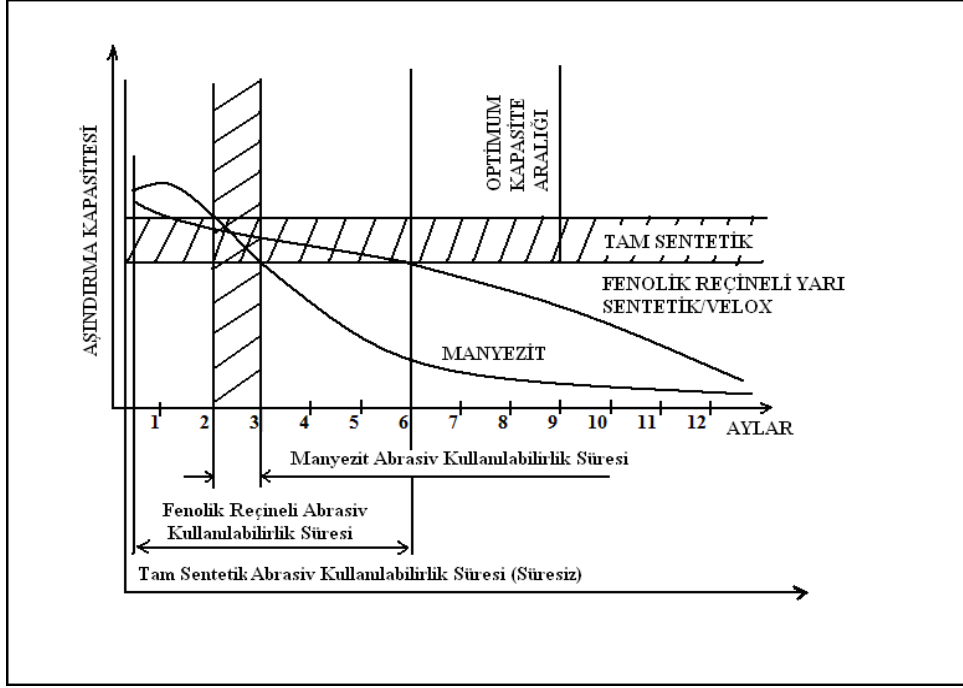
Oksalik asit; 5 ekstra ve 10 ekstra cila taşları içinde oksalik asit kimyasal aşındırıcı olarak kullanılır (İnka 2005).

2.3.2.3 Bağlayıcı Cinsine Göre Abrasivler

Aşındırıcı malzemeyi bir arada tutan bağlayıcı malzeme özelliğine göre abrasivler, manyezit, yarı sentetik ve tam sentetik olarak isimlendirilir (İnka 2005).

Manyezit bağlı aşındırıcılar, bünyelerindeki silisyum karbürü sıkı bir şekilde tutarlar ve silisyum karbür taneciklerinin mermer yüzeyini aşındırmasını sağlarlar. Manyezit bağlı abrasivler genel olarak; magnezyum oksit, magnezyum yapıştırıcı çözeltisi, çeşitli sıklık ve boyuttaki aşındırıcı malzemeler, dolgu maddeleri ve boya tozundan oluşur (Ersoy 2000). Manyezit bağ, sert ve kırılman olan silisyum karbürü sıkı ve esnek bir şekilde tutarak kırılmasını, kopmasını engellemektedir. Sentetik bağlı abrasivlerde ise aynı görevi polyester üstlenmektedir.

Manyezit abrasivler ilk üretildiklerinde gereğinden fazla yumuşaktır, bu aşamada kullanılmaları halinde çok fazla aşınarak, istenilen işlemleri yapamayabilirler. Çok çabuk tükendikleri için çok taze manyezit abrasivlerin kullanımı ekonomik değildir. Üretim tarihinden yaklaşık iki ay sonra, optimum sertlik derecesine ulaşan manyezit abrasivler, 3. aydan itibaren gereğinden fazla sert olmaya başlarlar. Bu nedenle, manyezit abrasivlerin verimli kullanımı için çok iyi bir planlama gereklidir (İnka 2005). Abrasivlerin sertliklerinin zamana göre değişimi Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7 Abrasivlerin aşındırma kapasitelerinin ve sertliklerinin zamana göre değişimi (İnka 2005).

Sentetik bağlı abrasivler; silisyum karbür, sodyum klorür, kalsiyum karbonat, polyster reçinesi, boya tuzu gibi maddeler içermektedir. Polyester reçine bağlayıcılı tam sentetik abrasivler, üretildikten birkaç gün sonra kür süresini çok büyük oranda tamamlarlar ve dengeli hale gelirler, sıcaklık ve nemden etkilenmezler. Sentetik bağlı abrasivlerin diğer abrasivlerden farkı zamanla özelliğini kaybetmemesi ve yumuşak mermerlerde daha verimli çalışılabilmesidir.

2.3.2.4 Aşındırıcı Grain (Mesh) Numarasına Göre Abrasivler

Abrasivlerin 60, 80, 220, 320, 500, 800, 1500 gibi numaraları, grain (mesh) numaralarını gösterir. Örneğin 24 grain bir abrasivden söz edildiğinde takribi aşındırıcı tane büyüklüğü 0.85 mm' dir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Grain numarasına göre tane büyüklüğü (İnka 2005).

Grain No (Mesh)	Tane Büyüklüğü (mikron)	Grain No (Mesh)	Tane Büyüklüğü (mikron)
24	600...850	280	40...50
36	425...600	320	28...40
46	300...425	3/4	15...35
60	212...300	400	14...20
80	150...212	500	10...14
100	106...150	600	8...10
120	90...125	800	6...8
180	63...90	1000	4...6
220	53...75	1200	2...4
240	50...63	1500	1...2

2.3.2.5 Doğal Taşlara Göre Abrasivler

Abrasivlerin; mermer abrasivi, granit abrasivi, seramik abrasivi gibi isimlendirilmesi ne tür bir malzemeyi aşındırmaya uygun olduklarını göstermektedir. Yumuşak taşlar, genellikle abrasivleri daha fazla tüketirler. Örneğin, traverten yumuşak bir doğal taş olmasına rağmen abrasivi çok tüketmektedir. Bu tür yumuşak taşlar için, maliyet bakımından sert abrasivler tercih edilmelidir. Ancak, nispeten yumuşak ve koyu renkli bir taşın cilalanmasında normal sertlikte, hatta yumuşak bir abrasiv de kullanılabilir. Sert taşlar için yumuşak abrasivler kullanılmalıdır.

2.4 Doğal Taş Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi

Doğal taş fabrikalarında levha haline getirilmiş ve boyutlandırılmış mermerlerin pazar değeri, bu malzemelerin parlatılabilme özelliği ile yakından ilgilidir (Göktan ve Yılmaz 2006). Türkiye’de doğal taşların parlatma işlemi sonrası yüzey özelliklerinin belirlenmesi için herhangi bir standart ya da sistem kullanılmamaktadır. Son yıllarda; metal, cam, seramik ve talaşlı üretim sektörlerinde yüzey kalitesini belirleyen cihazlar doğal taş sektöründe de kullanılarak yüzey özellikleri belirlenmeye başlanmıştır. Bu

amaçla; farklı prensip ve çalışma özelliğine sahip pürüzlülük ve parlaklık ölçme cihazları kullanılmaktadır.

2.4.1 Pürüzlülük Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğü, ürünlerin teknolojik kalitesinin belirlenmesinde önemli bir parametredir (Çaydaş ve Hasçalık 2008, Ersoy 2000). Malzemelerin yüzeyindeki yükselti değişiminin mikro ölçekte belirlenmesi amacıyla birçok sektörde pürüzlülük cihazı kullanılmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Pürüzlülük ölçme cihazı.

Yüzey pürüzlülük parametreleri; genişlik parametreleri, alan parametreleri ve karma parametreler olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Yüzey topografyasının karakterizasyonunda en önemli parametre genişlik parametresidir (Gadelmawla *et al.* 2002). Genişlik parametresi olarak Ra, Rq ve Rz ifadeleri kullanılmaktadır.

a) Aritmetik Ortalama Yüksekliği (Ra): Ra parametresi, ölçülen uzunluktaki orta çizgi üzerinde kalan düzensiz pürüzlüklerin mutlak ortalaması olarak tanımlanır. Kalite kontrol için çok sıklıkla kullanılmakta ve merkez çizgi ortalaması olarak da isimlendirilmektedir. Bu parametre çok kolay tanımlanır ve ölçülür. Ancak profildeki küçük değişimlere duyarlı değildir ve dalga boyu uzunluğu hakkında herhangi bir bilgi vermemektedir. Aritmetik ortalama yüksekliği (Ra) parametresi aşağıda verilen eşitlikten bulunur (Eşitlik 2.2). Burada; n ölçülen uzunluktaki pik sayısıdır.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |yi| \quad (2.2)$$

b) Karekök Ortalama Pürüzlülüğü (Rq): Bu parametre (Rq), yüzey yükseklikleri dağılımının standart sapmasını göstermektedir. Bu yüzden, istatistiksel yöntemlerle yüzey pürüzlülüğünün açıklanmasında kullanılabilir en önemli parametredir. Bu parametre, aritmetik ortalama yüksekliği (Ra) değerine göre daha hassastır. Matematiksel tanımlamalar (Eşitlik 2.3-2.4) aşağıda verilmiştir (Gadelmawla *et al.* 2002). Burada; l ölçüm yapılan uzunluğu, y ortalama çizgi üzerinde kalan pürüzlülük piklerini, n ise pürüzlülük piklerini ifade etmektedir.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \{y(x)\}^2 dx} \quad (2.3)$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n yi^2} \quad (2.4)$$

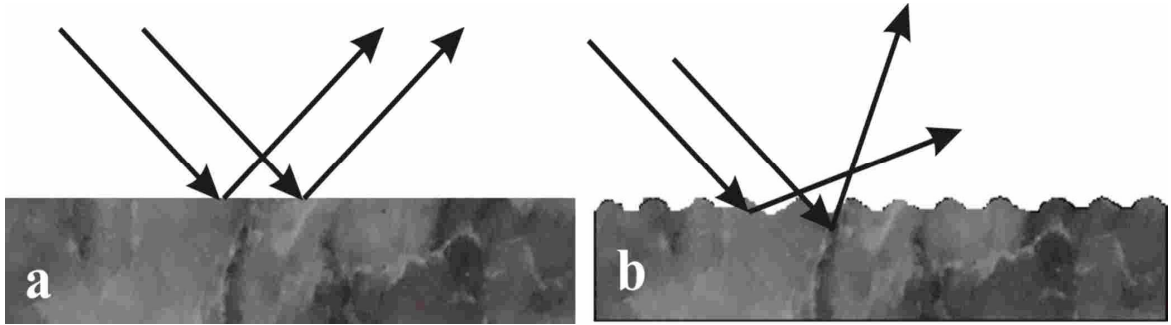
c) On Nokta Yüksekliği (Rz): Bu parametre, ölçümü yapılan pürüzlü malzeme yüzeyinde bulunan yüksek noktalar (tepe) ve düşük noktalar (vadiler) arasındaki ilişkiyi kapsamasından dolayı, Ra parametresine göre daha hassas bir değere sahiptir. Bu parametre ile ilgili olarak, ISO ve DIN standartlarında tanımlamalar yapılmıştır. Uluslararası ISO sisteminde Rz; birim uzunlukta ölçülen en yüksek beş tepenin değerleri toplamı ile en derin beş çukurun değerleri toplamı arasındaki farkın, beşe bölümüyle elde edilen sayıdır. Alman DIN sisteminde ise, birim uzunlukta ölçülen en yüksek beş tepenin değerleri toplamının ve en derin beş çukurun değerleri toplamının ortalamasıyla elde edilen sayıdır (Gadelmawla *et al.* 2002). Her iki sistemde tanımlanan Rz değerinin matematiksel formülü aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2.5-2.6). Burada; n pürüzlülük piklerinin sayısını, pi tepe piklerini, vi ise vadi piklerini ifade etmektedir.

$$Rz_{(ISO)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n pi - \sum_{i=1}^n vi \right) \quad (2.5)$$

$$Rz_{(DIN)} = \frac{1}{2n} \left(\sum_{i=1}^n pi + \sum_{i=1}^n vi \right) \quad (2.6)$$

2.4.2 Parlaklık Ölçümü

Bir yüzeyin parlaklığı, yüzeye gelen ışın yoğunluğunun, yüzeyden yansıyan ışın yoğunluğuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Işığın yansımaya kabiliyeti yüzeyin özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Bir malzeme yüzeyine düşen ışık demeti, çok belirgin bir yansıtma veriyorsa buna düzgün yansıtma denir. Yüzey pürüzlülüğü ve düzensizlikleri ışığın düzgün yansıtmasını engeller, ışık demeti bütün yönlere dağılıyorsa, bu yansımaya da dağınık yansıtma denir (Şekil 2.9). Yüzeydeki mikro ve makro seviyedeki pürüzlülükler gelen ışığı değişik açılarda yansıtması durumunda, cismin yüzeyinin donuk gözükmesine sebep olurlar (Sarı ve Yavuz 2001).



Şekil 2.9 Işık Yansıtması (a) Düzgün yansıtma, (b) Dağınık yansıtma.

Metal, kağıt, boya kaplamalı malzemeler üzerinde yapılan parlaklık ölçümleri ile ilgili çalışmalar 1936 yılından itibaren başlanmıştır. Araştırmalar dikkate alındığında, 40°, 60° ve 80° lik açı kullanılarak yapılan parlaklık ölçümlerinin en uygun sonuçları yansıttığı tespit edilmiştir. Bu konuda yapılan en son standart çalışması 1994 yılında ASTM (American Society for Testing Material) tarafından yapılmıştır. Bu standart,

geçmişte parlaklık ile ilgili yapılan tüm standart çalışmalarını kapsamaktadır. Bu standartta kalibrasyon amacıyla yansıma indeks değeri 1.567 olan düz bir cam kullanılmıştır. Bu indeks değerine sahip düz bir cam üzerinde yapılan kalibrasyon ölçümlerinde bulunacak nicel parlaklık ölçme değerleri, sırasıyla 89.2, 93.6 ve 99.4 olmalıdır (Sarı ve Yavuz 2001, Dönmez ve Sarı 2005). Ölçüm yapılan açı dikkate alınarak referans kabul edilen bu değerler, ölçüm işlemine başlanmadan doğruluğu test edilmeli ve daha sonra parlaklık ölçümü yapılacak malzemede ölçüm yapılmalıdır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Parlaklık ölçme cihazı.

2.5 Mermer Parlatma İşlemindeki Problemler ve Çözüm Yöntemleri

Mermerin parlatılmasında makine, numune, aşındırıcı ve operatörden kaynaklı problemlerin meydana geldiği bilinmektedir. Parlatma işlemi sırasında, mermer yüzeyinde çizik-matlık oluşabilir. Bunun yanısıra, mermer ya da abrasiv kırılabilir. Bu problemlerle ilgili bilgiler ve çözüm yöntemleri aşağıda verilmiştir (Özkahraman ve Çobaner 1999).

a) Mermer yüzeyinde çizikler: Katrak ya da S/T ile kesim sırasında bıçak gerilim farkından kaynaklanan aşırı derinlikteki izlerin giderilememesinden dolayı mermer yüzeyinde çizikler meydana gelmektedir. Kaba silim olarak isimlendirilen kalibratör kafalarda bu testere izlerinin giderilmesi gerekmektedir. Bu süreçte, izler giderilmemişse, parlatma işleminin sonuna kadar yüzeyde bu izler görülecektir. Bu

yüzden, öncelikli olarak Katrak ve S/T'de izlerini azaltmaya yönelik bakımlar yapılmalıdır. Kalibratör kafalarında bulunan soketlerin düzgün yerleştirilmiş olmasına ve eğim ayarlarının düzgün olup olmadığı kontrol edilmelidir. Mermer yüzeyindeki çiziklerin diğer bir nedeni ise, abrasivlerden kaynaklanmaktadır. Abrasivler mermerlerin sertliklerine göre seçilmelidir. Ayrıca, kullanılan suyun temizliği, miktarı ve basıncıda önemlidir. Su ile taşınan tozlar, abrasivler ve mermerler arasında kalarak yüzeyi çizmektedir. Bunun için bol su kullanılması gerekmektedir.

b) Mermer yüzeyinde matlık: Parlatma işleminde kullanılan abrasivlerin sert olmasından dolayı yüzeyde mat bir görüntü görülmektedir. Bu problemin giderilmesi için, ince abrasivlerin (300/400 nolu) daha yumuşak seriden seçilmesi gerekmektedir. Bunun yanısıra, kullanılan su temiz olmalıdır. Mermer yüzeyindeki matlık, hareket yönünde ve ortada bir şerit halinde ise, kalibrede eğim hatası vardır. Bu yüzden, kalibredeki eğim hatasının giderilmesi ve basıncın artırılması gerekmektedir.

c) Mermerin kırılması: Kalibratördeki soketlerin sertliklerinin mermer için uygun olmaması, kalibratör ve abrasiv kafalarının çalışması sırasında denge ayarlarının bozuk olmasından dolayı mermerler kırılabilir. Bu yüzden, kalibratördeki soketlerin uygun sertlikte seçilmesi, abrasiv kafaların denge ayarlarının yapılması gerekmektedir. Cila makinasında bulunan abrasiv kafalardaki basınç ayarının mermerlere göre seçilmesi gerekmektedir. Eşit kalınlıkta olmayan levhalar/plakalar arka arkaya beslendiğinde aralarındaki kalınlık farkı cila anında kırılmalara sebep olmaktadır.

d) Abrasivlerin kırılması: Abrasivler, parlatılan mermerin aralıklı beslenmesi ve plaka/levhalardaki kalınlık farkından dolayı kırılmaktadır. Bu durumda, mermerin beslenmesi düzgün yapılmalı ve kalınlıkların eşit olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, abrasivler düzgün takılmadığında, takıldığı yerinde hareket ederek kırılmaktadır. Dolayısıyla, cilalama öncesi abrasivlerin gireceği naylon yuvalar kontrol edilmeli, aşınmış ve kırık olanlar değiştirilmelidir. Abrasiv kafalardaki basınç yüksek olduğunda ya da yüzeyde kırık malzeme olduğunda da abrasivler kırılabilmektedir.

e) **Mermer yüzeyinde yanık lekelerin oluşması:** Cila taşında çözünen bir parça asit, mermer yüzeyinin farklı bölgelerini etkileyerek lekelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için cila kafalarına verilen su miktarının çok iyi ayarlanması gerekmektedir.

2.6 Literatür Çalışması

Mermerlerin parlatılma işleminde yüzey oluşumunu etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Yüzey parlaklığı; parlatma yöntemi, abrasivlerde bulunan aşındırıcı tane boyutu ve dağılımı, talaş oluşum mekanizması ve parlatılan malzemenin fiziksel, kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalar; aşındırma ve parlatma mekanizmaları, cila makine parametrelerinin parlatmaya etkisi, mineralojik ve petrografik özelliklerin parlatmaya etkileri olarak gruplandırılabilir. Bununla ilgili literatürde yer alan çalışmalar başlıklar halinde özetlenmiştir.

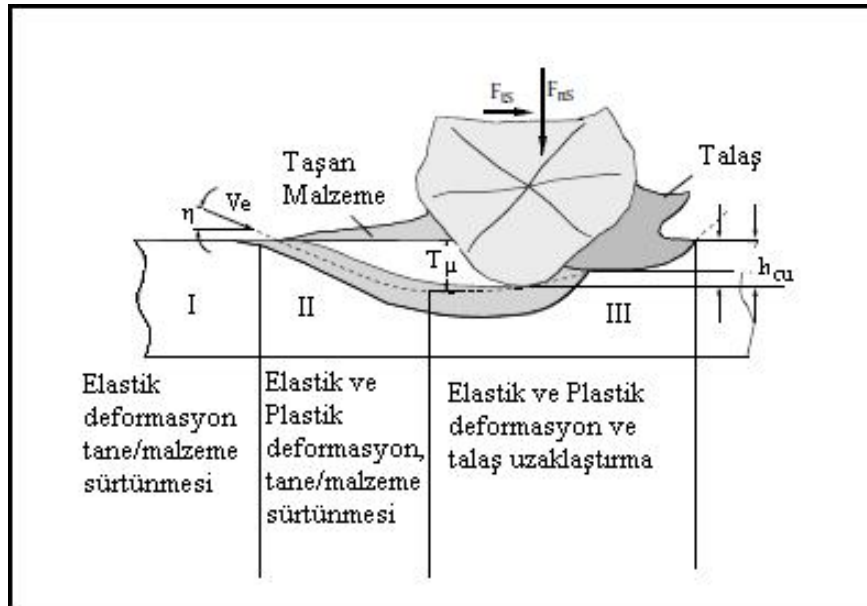
2.6.1 Aşındırma ve Parlatma Mekanizmaları

Aşınma, sürtünen yüzeylerde şekil değişmesine bağlı gelişen malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Aşınma mekanizmaları, adesif aşınma, abrasif aşınma, korosif aşınma ve yüzey yorulması sonucunda gelişen aşınma olarak 4 grupta incelenmektedir. Adesif aşınmada, iki malzeme birbirine sürtündüğünde temas noktalarındaki gerilmeler akma sınırına ulaşmakta ve yanal kuvvetlerin makaslama etkisiyle, yumuşak malzeme yüzeyinden kalıcı bir şekil değiştirme ile sert malzemeye yapışmaktadır (Kulaksız 2007). Sert bir malzeme veya sert bir parçacık, malzeme yüzeyini çizerek veya kazıyarak parça kopartıyor ise, bu işleme abrasif aşınma ismi verilmektedir. Aşındırıcı tane üzerinde herhangi bir şekil değişikliğinin olmadığı, sadece yumuşak malzemeyi kazıyarak geçtiği düşünülerek geliştirilen basit bir modeldir. Abrasif aşınma sonucu, yüzey sürtünme yönüne paralel uzun yarıklar oluşmaktadır. Korosif aşınma ise, küçük salınımlarla birbirine sürtünen yüzeylerde mikron boyutundaki tanelerin kopmasıyla oluşan aşınmadır. Yüzey yorulmasıyla oluşan aşınmada, birbiri üzerinde yuvarlanan malzemelerin temas noktalarında oluşan kalıcı şekil değişme sonucunda, sıkılaşıma

olmakta ve malzeme gevrekleşmektedir. Gevrekleşen malzeme, üzerinden geçen tekrarlı kuvvet etkisiyle çatlama ve bu çatlaklar zamanla yayılarak yüzeyden pul şeklinde malzeme kopmasına neden olmaktadır. Yüzey yorulmasıyla oluşan aşınmada yüzeyden daha büyük parçalar uzaklaşmaktadır. Bu tip yüzeylerde çukurlaşmalar ve oyulmalar gözlenmektedir (Kulaksız 2007).

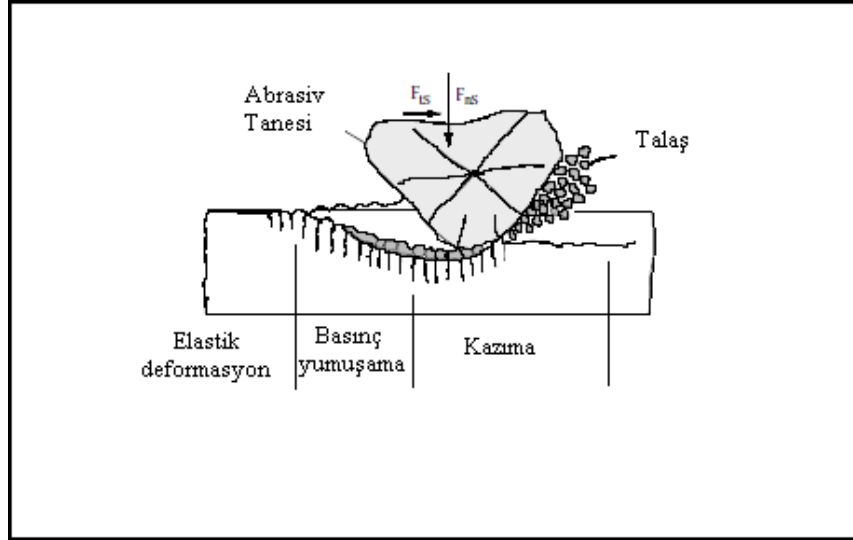
Mermer yüzeyindeki aşınma, her bir abrasiv tanesinin oluşturduğu deformasyon ve baskı kuvvetlerinin toplam etkisiyle gerçekleşmektedir. Parlatılan (aşındırılan) malzeme yüzeyinde, malzemenin özelliklerine ve işlem yöntemine bağlı olarak mikro deformasyon veya mikro çatlak mekanizmaları farklılık göstermektedir.

Aşındırma (öğütme) işlemi sırasında, kesici uç ile malzeme nüfuzunda çok kısa bir elastik deformasyon fazı oluşur, sonra malzemede plastik bir akış gerçekleşir. Kesme ucu ve malzeme yüzeyi arasındaki açı çok küçük olduğu için, başlangıçta talaş oluşmaz. Sünek malzeme kesimi sırasında oluşan talaş formu Şekil 2.11’de verilmiştir. Burada; η aşındırıcı uçun batma açısı, V_e ilerleme hızı, T_μ kritik kesme derinliği, h_{cu} talaş kalınlığı, F_{nS} normal kuvvet ve F_{tS} ise teğetsel kuvvettir.



Şekil 2.11 Sünek malzemelerde talaş oluşumu (Marinescu et al. 2007).

Gevrek ve sert malzemelerin aşınma işleminde, gevrek kırılma ve elasto plastik deformasyon oluşur. Bu durumda, gevrek kırılma ile malzeme uzaklaştırma mikro çatlak oluşumuyla gerçekleşir. Aşınma sırasında, çatlak oluşumu için gerekli olan yenilme enerjisi yeterli değildir ve malzeme plastik deformasyon gösterir. Bu yüzden, gevrek ve sert malzemelerin sünek davranışı ihmal edilebilir (Şekil 2.12).

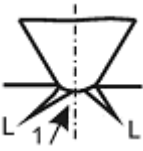
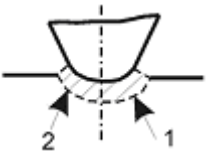
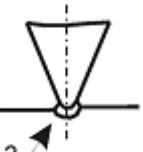
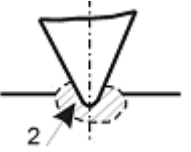

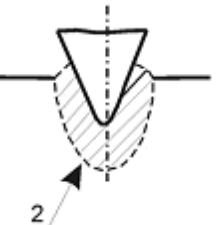


Şekil 2.12 Gevrek malzemelerde malzeme talaş oluşumu (Marinescu et al. 2007).

Tanovic vd. (2009), mermer parlatma işleminde mikro kesme mekanizmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada, mermer yüzey parlatma mekanizmasının karışık bir işlem olduğu, özellikle talaş yapma mekanizması, parlatma metodu, abrasivlerdeki aşındırıcı tane dağılımı ve abrasiv yapılarının bu süreçte önemli olduğu tespit edilmiştir. Mermer yüzeylerindeki malzeme uzaklaştırma işleminin gevrek kırılma ile gerçekleştiği, bazı mermer türlerinde mikro yapı ve porozite miktarına bağlı olarak talaş kesit alanının azaldığı belirtilmiştir. Çalışmada, yüzey özelliklerinin tanımlanmasında mermerlerin yapı ve doku özellikleri (homojenlik, izotropi), fiziksel ve mekanik özellikler (özgül ağırlık, porozite, nem, su geçirgenliği, sertlik, dayanıklılık ve aşınma) ile mineralojik ve petrografik (tane boyutu, tipi, bileşenlerin içeriği) özelliklerin etkili olduğu belirlenmiştir. İki mermer numunesinde yapılan mikro kesme deneyinde, elmas tanelerinin talaş kaldırma mekanizması aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Tanovic et al. 2009):

- Elmas tanesi, düşük kesme derinliğinde, düşük yoğunluklu yanal ve radyal çatlaklı plastik deformasyona neden olan bir iz oluşturmuştur.
- Oluşan çatlaklar, hem talaş kaldırma işleminden hem de yapıdaki gözeneklerden kaynaklanmaktadır.
- Mermer mikro kesme işleminde, kritik kesme derinliğine ulaşıktan sonra başlangıçtaki sünek akış ilerleme boyunca gevrek kırılmaya dönüşmüştür.

Inasaki (1987) ve Brook (2002) oval uçlu indentörü kullanarak gevrek ve sünek malzemelerde çentik sırasında oluşan çatlak ve deformasyon yapılarını test etmişlerdir. Uygulanan kuvvet ve oval ucun çapına bağlı olarak, gerilim zonu, oluşan çatlak ve deformasyon yapısı Şekil 2.13’de verilmiştir. Burada; 1 Elastik deformasyonu, 2 plastik deformasyonu, 3 çatlak yapısını, R Merkezden yayılan çatlağı ve L yanal çatlağı ifade etmektedir.

Malzeme		Gevrek Malzeme	Plastik Malzeme
Büyük Etki Alanı			
Küçük Etki Alanı	Küçük Yük		
	Büyük Yük		

Şekil 2.13 Çentik sırasında oluşan çatlak ve deformasyon yapısı (Tanovic *et al.* 2009).

Uç çapının artmasıyla, bölgedeki gerilim deformasyon durumu, kritik seviyeyi geçer ve dairesel etki bölgesinde deformasyon ve çatlaklar oluşur. Başlıca iki çatlak sistemi (yanal ve merkez çatlaklar) plastik bölgeden yayılır. Genellikle merkezdeki çatlaklar, dayanımı küçültme, yanal çatlaklar malzeme uzaklaştırma olarak tanımlanır. Oval uç çapı ve yük küçüldüğü zaman, gevrek ve plastik malzemelerdeki çatlaklarda değişim olmamaktadır. Yükün artması ile çatlaklar artarak, yanal çatlaklar şeklinde yayılır ve yüzeye ulaşır.

Tanovic vd. (2009), bir grup araştırmacının mermerleri de içeren çeşitli malzemelerde tek elmas tanesi ile mikro kesme işlemi yaptıklarını belirtmiştir. Bununla beraber hipotezlerinde talaş yapı evresinin çok farklı olduğunu sıklıkla göz önünde bulundurmışlardır. Tek elmas tanesinin kesme karakteristiği işleminde; tanelerin fiziksel, kimyasal özellikleri, geometrik parametreleri, abrasiv bağ koşulları ve sertliği yanında tane ile çalışma parçası arasındaki kinematik ve termodinamik koşulların da tanımlanması gerektiğini belirtmiştir.

Tek bir aşındırıcı tanenin darbesi, malzeme uzaklaştırılmasında en temel olay olarak kabul edilmektedir. Bu olayı açıklamak için birçok araştırmacı farklı yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Meng ve Ludema (1995)'ya göre, temelde bir tanenin malzeme yüzeyinden talaş kaldırmasında; kesme, yorulma, gevrek kırılma ve ergime olmak üzere dört temel mekanizma söz konusudur (Tanovic *et al.* 2009). Bu mekanizmalar genellikle birlikte etkili olmaktadır. Hangi mekanizmanın etkili olacağı, darbe açısı, tanenin kinetik enerjisi, tane şekli, malzeme özellikleri ve çevresel koşullar gibi etkilere bağlıdır. Aşındırıcı tanenin oluşturduğu aşınma, malzeme türüne bağlı olduğundan sünek ve gevrek malzemeler için ayrı ayrı aşınma mekanizmalarını incelenmesinin uygun olacağı belirtilmiştir (Tanovic *et al.* 2009).

2.6.2 Silim Hattı Çalışmaları

Son zamanlarda gelişen endüstriyel çalışmalara bağlı olarak, gerek makine dizaynı gerekse abrasiv çeşitliliğine bağlı olarak doğal taş parlatma işlemlerinde iyileştirmeye yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Konu ile ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Kanbalta (1992), sorunlu mermerlerin parlatılma özelliklerini araştırırken, farklı özelliklere sahip cila hatları kullanarak parlaklık değişimlerini gözlemsel olarak incelemiştir. Çalışmada, kullanılan mermerlerin içerdiği mineraller, mineralin kristal yapısı ve dokusu incelenerek, parlatmaya etkisi araştırılmıştır. Buna göre, dolgusuz açık çatlak sistemlerine sahip mermerlerde parlatma zorluğu yaşandığı gözlenmiştir. Makine parametreleri dikkate alınarak varılan sonuçlar aşağıda sıralandırılmıştır:

- Kalibratör ve abrasiv kafa sayısı arttıkça, kafalara uygulanan basınç daha düşük olmalı, bant hızı artırılmalıdır.
- Kalibratör sayısı bir adet olduğunda taşın kaba perdahi iyi alınamamakta ve abrasiv kafalara daha fazla iş düşmekte, bu yüzden yüzey parlaklığını olumsuz etkilemektedir.
- Abrasiv kafalarının sayısı azaldığında ise, mermer yüzeyini yeterince parlatılamamaktadır.
- Abrasiv kafalarının sayısı azaldığında, fazla basınç uygulanırsa parlatılan taş yüzeyinde çizgiler oluşmaktadır.
- Taşın fazla aşınmasını önlemek için kalibratör ve kafa sayısı arttırıldığında bant hızı da arttırılmalıdır. Böylece hızlı ilerleyen bant üzerinde taş, daha az basınç etkisinde kalır ve fazla aşınma önlenmiş olur.
- Parlatma sırasında verilen su miktarı cila taşlarında 1/3-1/4 oranında kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

Bu çalışmada parlaklık ölçümü gözleme dayalı olarak yapıldığından, taş yüzeyindeki parlaklık dağılımını net olarak belirlememektedir.

Görgülü (1998), laboratuvarında oluşturulan aşındırma düzeneği ve mermer fabrikalarında kullanılan cila makinasında yedi farklı mermer örneğine parlatma işlemi uygulamıştır. Görgülü'nün mermer fabrikalarında yaptığı bu çalışmada, iki farklı cila makinası kullanılmıştır. Emmioğlu Mermer Fabrikasındaki cila makinasında, klasik aşındırıcı ve elmaslı aşındırıcı kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Klasik aşındırıcılarla yapılan parlatma deneyinde; 120, 220, 320, 600 (800) nolu abrasiv serisinde, 1.1 m/dk bant hızında, aşındırıcı ve cila disklerine sırası ile 2.2 kg/cm² ve 1.5

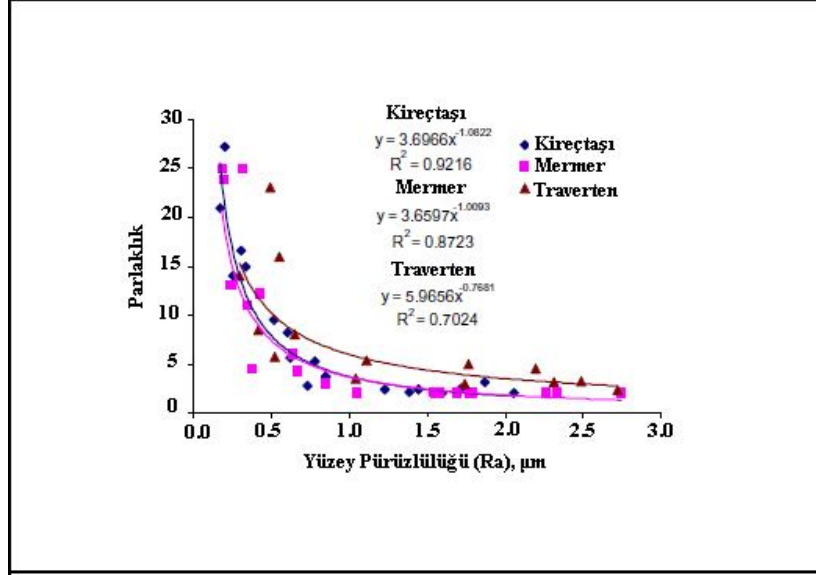
kg/cm² basınç uygulanmıştır. Aynı cila makinasında elmaslı aşındırıcılarla yapılan çalışmada ise; 60, 120, 220, 400, 600, 800 nolu abrasiv ve cila taşından oluşan abrasiv serisi seçilmiş, aşındırıcı disklerde 1 kg/cm² basınç, cila diskinde ise 1.5 kg/cm² basınç uygulanmış ve bant hızı 0.70 m/dk olarak seçilmiştir. Akün Mermer Fabrikasında kullanılan cila makinasında, klasik aşındırıcı ve elmaslı aşındırıcı ile yapılan parlatma deneyinde; 80, 120, 280, 400 nolu abrasiv ile cila taşından oluşan abrasiv serisi kullanılmıştır. Kafalara uygulanan basınç 1 kg/cm², bant hızı 0.60 m/dk iken, elmaslı aşındırıcılarda 0.5 kg/cm² basınç ve 0.65 m/dk bant hızında yapılan parlatma işlemi sonucunda numunelerin parlaklık ve pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmada, fabrikalarda uygulanan parlatma işleminde aynı özelliğe sahip makine kullanılmadığı, makine parametrelerinin ve abrasiv serilerinin farklı olduğu görülmektedir.

Sarı ve Yavuz (2001) çalışmalarında, İtalyan marka 12 kafalı cila makinası kullanmışlardır. Mermer numuneleri 60, 80, 120, 220, 320, 380, 400, 600 ve 800 nolu abrasiv serisinde parlatılmıştır. 10x10 cm ebatlarındaki mermer plakaları üzerinde 1x1 cm'lik kare şekilli bölgeler oluşturulmuş ve bu bölgelerde 60°'de parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, aynı silim hattından alınan mermer örneklerinin parlaklık değerlerinin homojen bir dağılım göstermediği, bazı örneklerin parlaklık açısından yeterli düzeyde olmadığı belirlenmiştir. Isparta Limra, Eskişehir Bordo, Bursa Bej gibi örneklerde homojen bir parlaklık dağılımının olmadığı gözlemlenmiş ve bu nedenle, çalışmada kullanılan örneklerin mineralojik ve petrografik özelliklerinin tespit edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Cila makinalarında gereğinden yüksek bir hızda çalışma yapıldığında parlatma ve cilalama işleminde arzu edilen performans sağlanamadığı gibi, yüzeyde çizikler kalabileceği belirtilmiştir (Uğur ve Gündüz 2003).

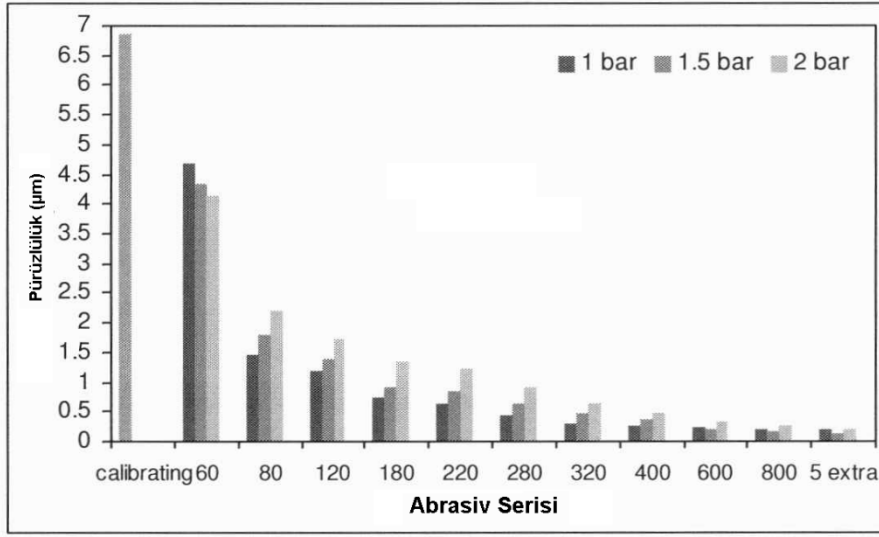
Yavuz vd. (2010 a, b) tarafından yapılan çalışmada, karbonat kökenli doğal taşlar kullanılarak endüstriyel çapta cila makinası ile aşındırıcı disklerin dönme hızı ve basınçları sabit tutularak farklı bant hızlarında parlatma işlemi yapılmıştır (Şekil 2.14). Cila kalitesinin belirlenmesi için parlaklık ve pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve mineral bileşimi açısından homojen olan, sağlam ve sert bir yapı gösteren mikritik dokulu

kireçtaşı plakalarının daha iyi cila aldığı, fakat kil mineralleri içeren kireçtaşı ile heterojen yapıdaki gözenekli travertenlerin iyi cila almadığı belirlenmiştir.



Şekil 2.14 Bazı doğal taşlarda parlaklığın yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değişimi (Yavuz vd. 2010 a).

Karaca (2008) tarafından yapılan bir araştırmada, 3 kalibre ve 12 aşındırıcı diskten oluşan endüstriyel ölçekli bir pnömatik cila makinasında sırayla; 60, 80, 120, 180, 220, 280, 320, 400, 600, 800 nolu abrasiv ile 5 ekstra cila taşı kullanılmıştır. 60 ile 280 nolu abrasivler manyezit bağlı, 320 ile 800 nolu abrasiv sentetik bağlı abrasiv olarak seçilmiştir. Aşındırıcı diskler sırası ile 1.0, 1.5 ve 2.0 bar basınç uygulanmıştır. Kalibre kafaların devir hızı 900 D/D, aşındırıcı disklerin devir hızı ise 380 D/D olarak belirlenmiş, bant hızı 1.70 m/dk olarak tüm işlemlerde sabit tutulmuştur. Bu çalışmada; Afyon Beyaz, Karahalli Yeşil, Belevi Siyah Verde Rosa ve Giallo Anticato mermerlerinin fiziksel, mekanik ve mineralojik özellikleri belirlenmiş, bu mermerler yukarıda belirtilen parametrelerde parlatma işlemine tabi tutulmuş ve uygulanan aşındırıcı başlıkların basıncına ve mermer karakterlerine göre yüzey pürüzlülüğünün değiştiği tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün, numunenin sahip olduğu porozite ve tane boyutuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Abrasiv serisine bağlı yüzey pürüzlülüğünün karşılaştırıldığı grafik incelendiğinde, kafa basıncındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Farklı kafa basınçlarında, pürüzlülüğün abrasiv serisine bağlı olarak değişimi (Karaca 2008).

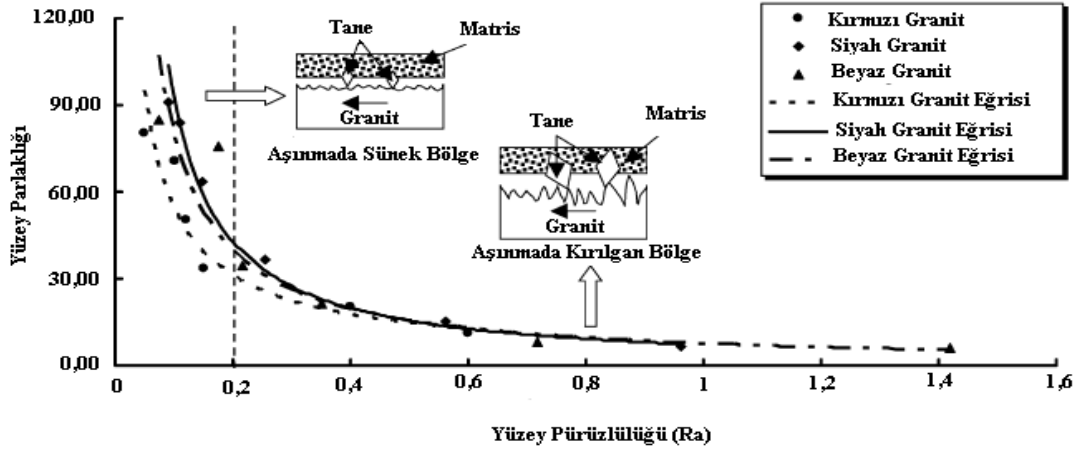
Sabit basınç altında yapılan parlatma işlemi sonucunda, yüzey pürüzlülüğünün mineral sertliğinden bağımsız olduğu belirtilmiş, bunun yanısıra, petrografik, kimyasal ve fiziksel özelliklerin yüzey pürüzlülüğünde önemli rol oynadığı, mermerlerin tane boyutu arttıkça pürüzlülük (Ra) değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Amaral *et al.* (2004), granit ve silisli örnekler üzerinde, geleneksel abrasivler ve elmas abrasivleri kullanarak parlatma işlemi gerçekleştirmiş ve parlatılmış yüzeylerin kalitesi, parlaklık ve pürüzlülük parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Bu parametreler kullanılarak, elmaslı abrasivlerin parlatma performans sonuçlarıyla, geleneksel abrasivlerin parlatma performans sonuçları karşılaştırılmış ve elmas abrasivler ile abrasiv sayısı azaltılarak daha verimli bir parlatma yüzeyi elde edileceği tespit edilmiştir.

Fabrikalarda kullanılan cila makinaları dışında, laboratuvar ölçekli parlatma cihazlarında granit ve seramik örneklerde parlatma işlemi yapılmıştır. Bu çalışmalarda, mineralojik bileşimin aşınma mekanizmasına etkisi araştırılmış, diğer çalışmalarda ise pürüzlülük ve parlaklık ölçümlerinin yanısıra yüzeydeki aşınma mekanizmaları taramalı elektron mikroskobu (SEM)'de incelenmiştir (Dai *et al.* 2006, Shen *et al.* 2006, Li *et al.* 2006; Xu *et al.* 2003). Bunun yanısıra çeşitli granit ve seramik örneklerinde, parlatma

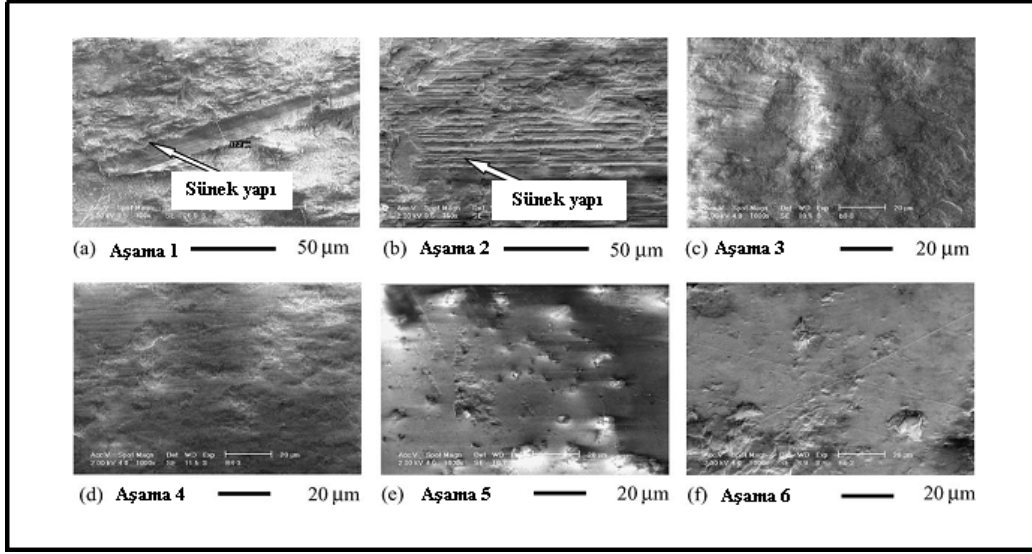
parametreleri ve aşınma sonrası yüzey özellikleri arasındaki ilişki birçok kez araştırılmış ve yüzey pürüzlülüğü artışına bağlı olarak parlaklık değerinin azaldığı belirtilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, seramik örneklerinin parlaklık değerinin daha yüksek olmasının küçük tane boyutundan kaynaklandığı belirtilmiştir. Granitler sert ve gevrek bir yapıda olmasına rağmen, SEM incelemelerinde granit yüzeyinde sünek bir yapı olduğu gözlenmiş (Şekil 2.16) ve bu yapı, aşındırıcı tane boyutu azaldıkça artmıştır (Xu *et al.* 2003, Huang *et al.* 2002, Huang and Xu 2003). Ayrıca SEM incelemeleri dikkate alındığında, düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeylerde daha çok sünek davranış izlendiği tespit edilmiştir.

Huang ve Xu (2003), elmaslı aşındırıcı kullanarak granit örneklerde aşınma mekanizmasını incelemiştir. İki bölümden oluşan araştırmanın ilk bölümünde; kaba abrasivden ince abrasive doğru ilerleyen seride parlatma işlemi yapılmış ve granit yüzeylerindeki değişim SEM ile incelenmiştir. Buna göre araştırmacılar; yüzeyde aşınma ile uzaklaştırılan malzemeyi ve parlatma mekanizmasını tanımlamaya çalışmışlardır. İkinci bölümde ise üç farklı parlatma yöntemi karşılaştırılmalı olarak ele alınmıştır; bunlar ikisi manuel, biri dik konumda dönen bir silindir aşındırıcıdan ibaret olup, belirlenen pürüzlülük değerlerinin aşınma metotlarından bağımsız olarak değerinin azaldığı ve parlaklık değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Huang ve Xu (2003)'nun ilgili araştırmasında; disk hızı ve basınç parametrelerine bağlı olarak granit yapısındaki minerallerin yüzeysel değişimleri incelenmiş, aynı şartlarda yapılan deney sonuçlarına göre; granit yapısında bulunan biyotit ve feldispat minerallerinin SEM görüntülerinden farklı topografik yüzey ve pürüzlülük değerine sahip olduğu, diskin devir hızı ve basıncındaki artışa bağlı olarak parlaklık değerinin yükseldiği belirlenmiştir.



Şekil 2.16 Yüzey aşınması sonucu oluşan mekanizma (Huang and Xu 2004).

Huang ve Xu (2004), siyah granit örneğini altı farklı elmas aşındırıcı ile parlatmış ve yüzey özelliklerinde meydana gelen değişimi SEM ile incelemiştir. Çalışma sonucunda, kullanılan granitler sert ve gevrek kayaç grubunda olmasına rağmen granit yüzeyinde sünek akış olduğu (Şekil 2.17) ve sünek akış alanı ve miktarının azalan elmas tane boyutuna bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Bu durum, Şekil 2.17-a'da görülmekte ve 150 numaralı aşındırıcı ile parlatma yapıldığında yüzeyde gevrek kırılmanın yerini sünek yapı almaktadır. Şekil 2.17-b'de ise, elmas diskin tane boyutu 300 μm 'ye düştüğünde yüzeyde sünek akış artışı ile dar ve sık bir yapının olduğu görülmektedir. Sünek akış, elmas tane boyutunun küçülmesi ile daha büyük alana yayılmaktadır (Şekil 2.17-c - Şekil 2.17-f).



Şekil 2.17 Farklı tane boyutlarında elmas ile yüzeyi parlatılan granit örneğinin SEM görüntüleri (Huang and Xu 2004).

Shen ve Xu (2007) tarafından yapılan bir başka çalışmada; çeşitli parlatma teknikleri ile farklı kimyasal yapıya sahip üç mineral parlatılmış ve bu minerallerin yüzey özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, 1200 mesh tane boyutunda alüminyum oksit içerikli abrasiv ile yapılan parlatma işleminde, kalsit ve fluorit minerallerinde sünek bir yapının oluştuğu, buna karşın kuvars mineralinin yüzeyinde gevrek yapıdan kaynaklanan çatlaklar meydana geldiği gözlenmiştir. Diğer taraftan, 4000 meshlik aşındırıcı ile yapılan işlem sonrası ise yüzeylerin düzgün olduğu, ancak kuvars mineralinin yüzeyinde çiziklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Kuvarların sertliğinin kalsit ve fluorite göre daha yüksek olmasından dolayı, kuvars mineralinin yüzeyinin parlatılmadığı, mineral özellikleri ve uygulanan parlatma yöntemine bağlı olarak kalsit ve fluorit minerallerinin yüzey özelliklerinin değiştiği gözlenmiştir.

2.6.3 Dokusal ve Mineralojik Özelliklerin Parlatmaya Etkisi

Kayaçların dokusal ve mineralojik özellikleri, mermerlerin ocak ve işleme tesisleri projelendirilmesinde ve kullanım alanlarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken en önemli özelliklerdir (Özçelik 2005).

Polat (2002)'ye göre, işletmeye alınacak mermer ocağındaki jeolojik yapı ve eklem sistemlerinin yanı sıra, kayacın dokusu ve mineralojik bileşimi, mermer üretiminde ve kullanılacak makine ve teçhizatın seçiminde dikkate alınmalıdır. Zira, değişik sertliklerde homojen olmayan kristal yapısı ve mineral içeriği, ocak işletme ile blok işleme aşamasında kesme verimini, cila işlemlerinde parlaklık değerini etkilemektedir.

Kekeç vd. (2006) çalışmalarında, kayaçların mekanik davranışlarının belirlenmesinde, kayaç kesme, delme ve parlatma ekipmanlarının performans tahminlerinde kayacın dokusal özelliklerinin en büyük faktör olduğunu belirtmektedir.

Bir mermer dokusunu oluşturan başlıca unsurlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Mermer yatağının kristalizasyonundan önceki litolojik yapı, doku ve bileşimi
- Metamorfizmanın görüntüsü olan kristalizasyon esnasındaki etkenler
- Kristalizasyon ve başkalaşım tamamlandıktan sonra meydana gelen tektonik hareketler, eklem ve çatlakların oluşup gelişmesi ve atmosferik etkiler.

Gökay ve Gündoğdu (2008), İnt.Kyn.5; her iki çalışmada da boyut dağılımı ve yapı gibi özellikler ile kimyasal bileşimin, mermerlerin görünümünü ve dokusal özelliğini etkilediği ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra, araştırmacılara göre, kayaç bileşimindeki karbonat dışı minerallerin miktarı ve türü ile metamorfizma olayı mermerlerin son renklerinin oluşmasında etkilidir. Örneğin, orijinal kayaç kütlelerinde bulunan demir oksit miktarı, mermerin sarı veya kırmızımsı renklerde olmasını sağlar. Aynı şekilde, orijinal kayaç kütlelerinde bulunan karbonat dışı mineraller ve manganez oksit ise, menekşe, siyah ve koyu mavi renkler vermektedir. Nitekim, bu özellikler parlaklık değerini de etkilemektedir.

Gökaltun (1997) tarafından yapılan çalışmada, fiziksel ve kimyasal yapıları ile yüzey dokuları açısından farklılık gösteren kireçtaşlarının parlaklık kaybı araştırılmış ve kireçtaşlarının farklı renklerde olmasını sağlayan demir içerikli bileşenlerinin oranları ile parlaklık değişimi arasında bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir.

Benavente *et al.* (2003), binalarda kullanılan doğal taşlardaki renk değişiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Erdoğan'a (2000) göre; porozite, farklı kristal sınırları, dilinimler, mikro çatlaklardaki dolgular, kristal yönelme ve kesme düzlemi arasındaki eğiklik gibi faktörler yüzey parlaklığını negatif yönde etkilemektedir. Ayrıca, magmatik kayalardaki mika içeriğinin artması yüzeyin yansıtma kapasitesini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Güneş (2005) tez çalışmasında, mermerlerin kesme ve işleme performansı ile mineralojik ve petrografik özellikler arasındaki ilişkileri incelemiştir. Mineralojik ve petrografik tanımlamalar sonucunda, mermerlerdeki sertliğinin mineral bileşimindeki toplam SiO₂'den (Kuvars + Silikat mineralleri) kaynaklandığı, ancak toplam CaO (Kalsit + Diğer mineraller) içeriğinin sertliği düşürdüğü ve kolay kesilmeyi sağladığı tespit edilmiştir. Bu perspektiften hareketle, toplam SiO₂ ve CaO oranlarını içeren matematiksel model türetilmiştir. Ayrıca, bu konuda çalışma yapacak diğer araştırmacılara, sertliğe etki eden ve dolayısıyla mermerlerin kesiminde etkili olan parametreler arasında minerallerin dokusal ve tane özelliklerini dikkate almaları gerektiği vurgulanmıştır.

Uğur ve Gündüz (2003) ile Karaca (2008) tarafından yapılan çalışmalarda, mermerlerde gözeneklilik dağılımının parlatmaya etki eden parametrelerden biri olduğu belirlenmiştir. Çelik ve Kavuşan (2001) ise, parlaklık ve ışık yansımalarının, doğrudan mermerlerin kristal yapısından kaynaklandığını ve taşın gözenekli bir yapıda olmasının cilalama işleminin kalitesini etkilemediğini öne sürmüşlerdir. Parlatılan mermer yüzeyinde boşlukların izole edilmesinden dolayı genellikle gözenek olmadığı, bu özelliğin atmosferik ve kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı olmasını sağladığı tespit edilmiştir. Ancak yoğun insan ve taşıt trafiğinin olduğu yerlerde, yeterli bakım yapılmazsa mermerlerin parlaklık özelliğini kaybettiği belirtilmiştir.

Ribeiro *et al.* (2007), mineralojik olarak benzerlik gösteren, ancak kesme işlemi sırasında farklı performans gösteren iki granit örneğinde Knoop sertliği, aşınma ve petrografik özelliklerinin etkilerini saptamak için araştırmalar yapmışlardır. Araştırmacılar çalışma sonucunda, granit kesim hızının düşük oluşunun; mineral

bileşimlerine, mineral dağılımına, heterojen tanelerin fazla olmasına, feldispat içine kuvars kristallerinin yerleşmesine ve feldispatlardaki mikro çatlak derecesinin düşmesine bağlı olduğunu belirlemişlerdir.

Xie ve Tamaki (2007), farklı mineral bileşimine sahip granitlerin mikro sertliği ile parlatma makinası parametrelerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada, elmas testere ömrü ile granit mikro sertliği arasında lineer bir ilişkinin bulunduğunu, ancak mikro sertlik ile parlatılmış yüzey değeri arasında bir ilişki olmadığını tespit etmişlerdir.

Mermerlerin cila alma kapasitesi mineralojik yapısı ve tane boyutu ile yakından ilişkilidir (Kun 2000). Wright ve Rouse (1993)'e ait çalışmada, parlatma işleminde parlatma kafalarının basıncı, devir hızı, besleme hızı, seçilen abrasivler ve yapıları gibi birçok faktörün etkili olduğunu, pürüzlülüğün granitlerin tane sınırları geçişlerinde ve mineral kristallerinin özelliklerindeki farklılaşmaya bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, granit tane boyutunu sınıflandırmış ve küçük taneli granitlerin büyük tanelilere göre daha iyi parlatıldığını belirtmişlerdir.

2.7 Literatür Tartışması

Son zamanlarda, elmas abrasivler kullanılarak yapılan parlatma işlemi literatürde birçok araştırmacının konusu olmuştur. Buna ilişkin araştırmalar incelendiğinde, yüzey parlaklığının birçok parametreden etkilenen oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu ve doğal taşların aşınma mekanizmasının ortaya konulması için makine, aşındırıcı, aşındırılan malzeme, matriksle ilgili parametrelerin ve ekonomik faktörlerin optimize edilmesinin gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, aşındırılan malzemelerin parlatılmasını etkileyen fiziko-mekanik özelliklerin istatistiksel yaklaşımlar ortaya konulduğu çalışmalar da mevcuttur.

Görgülü (1998), Ersoy (2000) ve Karaca (2008) tarafından yapılan çalışmalarda parlatma makinalarının bant hızı, abrasiv kafalara uygulanan basınç, abrasiv kafaların devir hızları gibi parametreler tanımlanarak, farklı mermer gruplarında parlaklık ve pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Abrasiv numarası artışına bağlı olarak parlaklığın

arttığı, ancak pürüzlülük değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Literatür özetlerinde ortaya konulan araştırmalarda, kayaç yapılarına ilişkin olarak sadece mineralojik özellikler tanımlanmış, kayaçta farklı minerallerin varlığı ve bu minerallerin boyut dağılımının parlaklık ve pürüzlülüğe etkisi incelenmemiştir. Bunun yanısıra, makine parametreleri her taş için optimize edilmemiş, çalışmalar genellikle farklı abrasiv serilerinde, bant hızında ve kafa basınçlarında yürütülmüştür. Aynı abrasiv serisinde, sabit bant hızı ve kafa basıncında farklı mermer türlerinin aşınma performanslarını ortaya koyacak çalışmaların sayısı oldukça yetersizdir. Ayrıca aynı aşındırıcı serilerinde yüzey pürüzlülüğü ve parlaklığının belirlenmesine yönelik çalışmalar da çok az sayıdadır. Bu durumda, mermerlerin parlak ve pürüzlülük değerlerini kendi içinde kıyaslamak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, farklı mermer türlerinde, aynı makina parametreleri ve aşındırıcı serilerinde çalışma koşullarının belirlenmesi ile bir yandan mermerlerin parlaklık değerleri tespit edilebilecek, diğer yandan mineralojik ve petrografik özelliklerin parlatmaya olan etkisi belirlenerek işleme maliyetleri önemli oranda düşürülebilecektir.

Bu araştırmalara ilaveten yapılacak çalışmalarda, metamorfik mermerlerin yanı sıra sedimanter ve magmatik kökenli mermer gruplarının parlatma şartlarının optimizasyonu üzerinde durulması, mineralojik ve petrografik özelliklerin yanında minerallerin boyut dağılımının parlatma ve pürüzlülük üzerine etkilerinin ortaya konulması, üretim kalitesinin artmasına fayda sağlayacaktır.

3. MATERYAL ve METOD

3.1 Materyal

Deneysel çalışmalarda, pazar payı yüksek, mineralojik özellikler açısından farklılık gösteren metamorfik kökenli altı adet mermer örneği kullanılmıştır. Bunun için Afyonkarahisar'da faaliyet gösteren mermer fabrikalarından 60x30x2 cm boyutunda plakalar temin edilmiştir. Kullanılan mermerlerin, kodları ve ticari adları ile firmaları Çizelge 3.1'de , örneklerin alındığı yerleri gösteren yer bulduru haritası ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

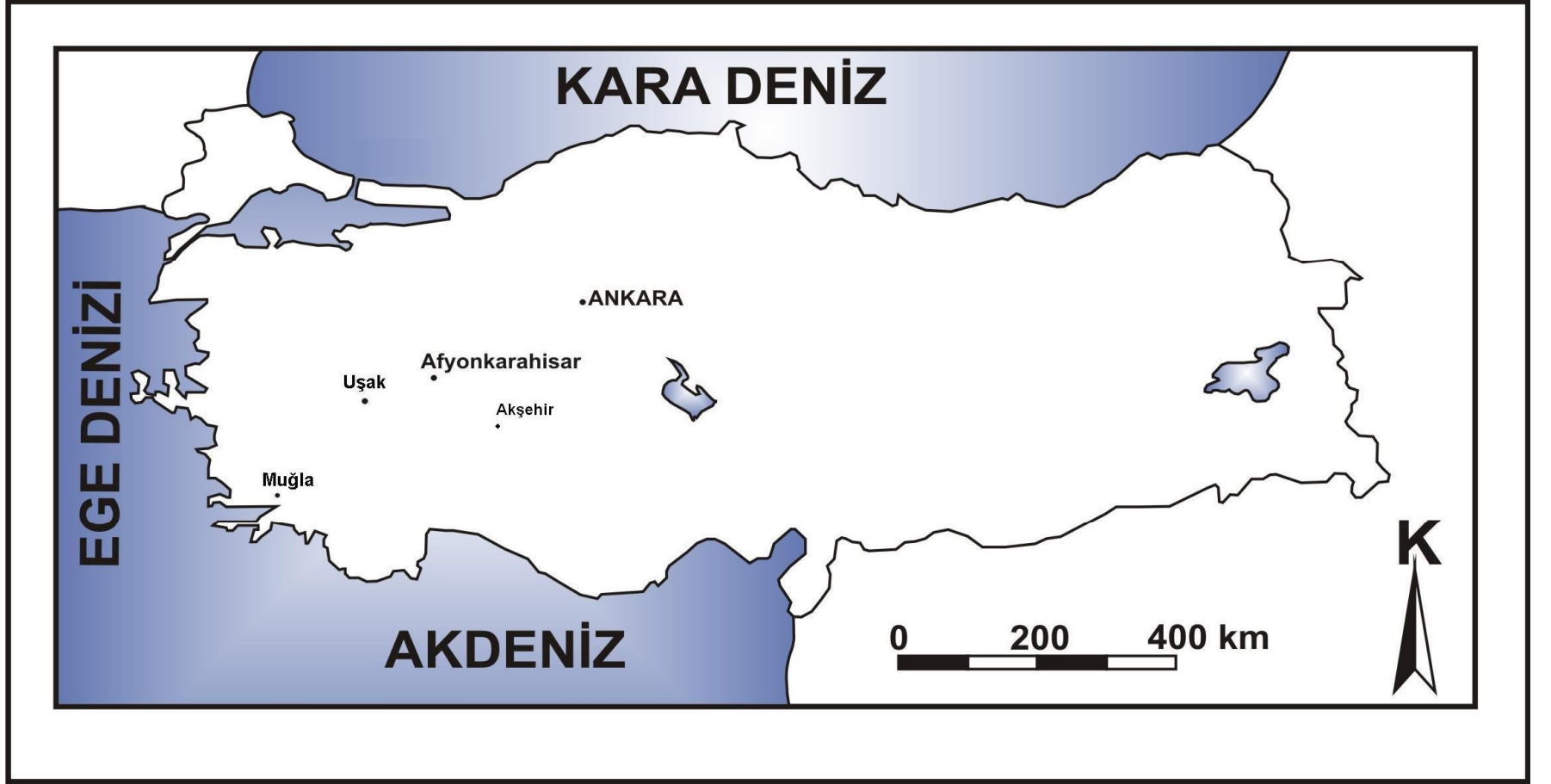
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan mermer örnekleri ve örneklerin alındığı firmalar.

Örnek Kodu	Mermerin Ticari İsmi	Firma	Mevki
AŞ	Afyon Şeker	Gençler Mermer	Afyon-İscehisar
UB	Uşak Beyaz	Ceylan Mermer	Uşak-Uluğbey-Küçükkayalı
MB	Muğla Beyaz	Mersan Mermer	Muğla-Hamursuz
KP	Afyon Kaplan Postu	Başoğlu Mermer	Afyon-İscehisar
UY	Uşak Yeşili	A.Ş.K. Mermer	Uşak-Banaz-Karahallı
AKS	Akşehir Siyahı	Blue & Black Stone	Akşehir-Mevlütü

3.2 Metod

3.2.1 Mineralojik İncelemeler

Mineralojik incelemeler; mikroskobik ve X-ışını difraksiyonu (XRD) incelemeleri olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Örneklerin alındığı yerleri gösteren yer bulduru haritası.

3.2.1.1 Mikroskobik İncelemeler

Mineralojik bileşim ve yüzey morfolojilerinin belirlenmesi için mermer örnekleri polarizan mikroskop ve taramalı elektron mikroskop (SEM)'unda incelenmiştir.

a) Polarizan mikroskop incelemeleri: Mermer örneklerinin polarizan mikroskop incelemeleri için gerekli olan x, y, z doğrultularındaki ince kesitler, MTA Mineraloji laboratuvarında yaptırılmıştır. Polarizan mikroskop incelemeleri ise AKÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Doğal Taş Analiz Laboratuvarı (DAL)'da bulunan Nikon Eclipse 2V100POL marka polarizan mikroskopta gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2).

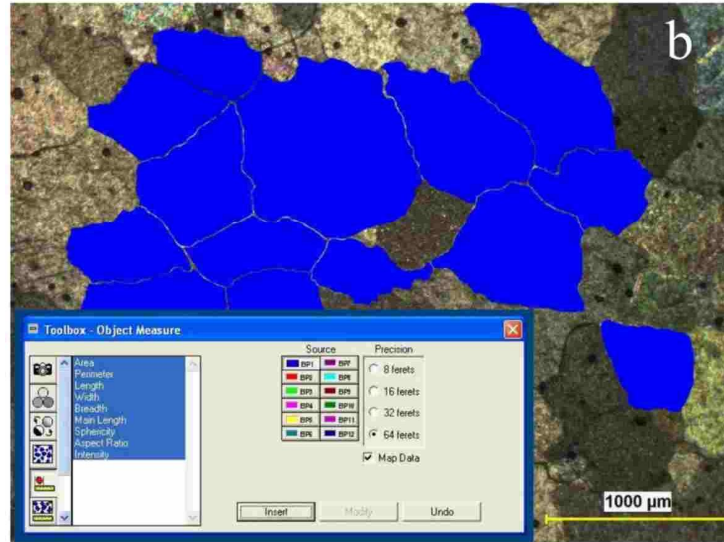
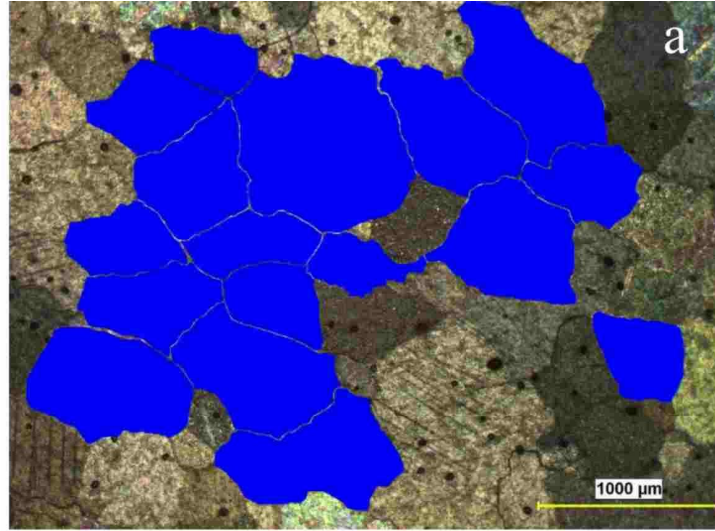


Şekil 3.2 Polarizan mikroskop görüntüsü.

Mermer örneklerinin mineralojik tanımlamalarının yanı sıra, aynı mikroskopta bulunan Clemex görüntü analiz yazılımı yardımıyla kalsit minerallerinin mikro yapısal özellikleri incelenmiştir. Bunun için, ilk olarak 400 adet kalsit tanesinin sınırları çizilmiş (Şekil 3.3.a), programın menüsünde ki parametreler seçildikten sonra (Şekil 3.3.b), sınırları çizilmiş her bir taneye ait boy, en, genişlik, enlilik, yuvarlaklık, pürüzlülük gibi tane boyutu ve morfolojik parametreler hesaplanmıştır

(Şekil 3.3.c). Bu parametrelere ait tanımlamalar aşağıda verilmiştir (Şekil 3.4).
Bunlar;

- **Ortalama Feret (Feret Average):** Farklı açılarda ölçülen feret çaplarının ortalamasıdır.
- **Uzunluk (Length):** En uzun feret çapı değeridir.
- **Genişlik (Width):** Farklı açılarda ölçülen feret çaplarının en kısa olanıdır.
- **Ana Uzunluk (Mainlength):** En kısa feret çapına dik olan feret çapıdır.
- **Enlilik (Breadth):** Enlilik, en uzun Ferete (yani uzunluğa, Length) dik olan feret çapıdır. Tanenin şekline bağlı olarak genişlik ve en ölçümleri eşit olabilir.
- **Çevre (Perimeter):** 3 noktayı hesaba katarak ölçülen çevredir.
- **Konveks Çevre (Convex perimeter):** Girinti ve çıkıntılardan oluşan çevre uzunluğudur.
- **Pürüzlülük (Roughness):** Girinti ve çıkıntılardan oluşan çevre uzunluğunun (Convex Perimeter) çevre uzunluğuna (Perimeter) oranıdır.
- **En/Boy Oranı (Aspect Ratio):** Genişliğin uzunluğa oranıdır.



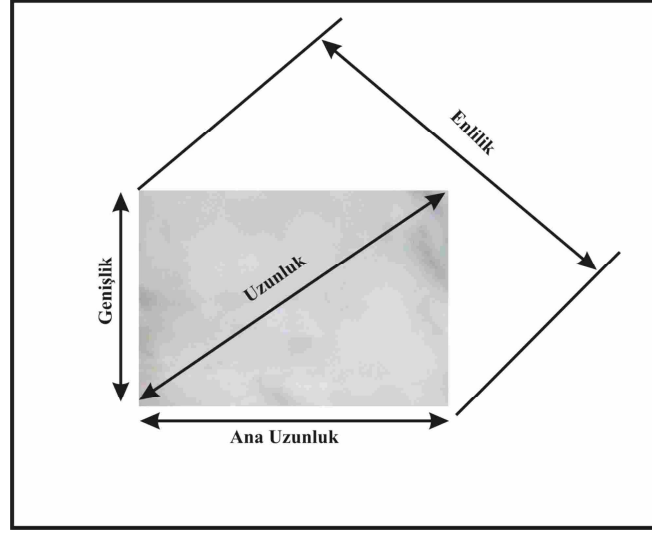
Data Browser

File Edit Options

OBJM2 μm^2

FidNo (n)	Objid (n)	Cat (n)	Area (μm^2)	Perimeter (μm)	Length (μm)	Width (μm)	Breadth (μm)	MainLen (μm)	Sphericity	AspRatio	Intensity (%)
1	1	1	418982.5	3055.5	1128.7	587.1	611.5	1119.3	0.56	1.92	27.89
2	1	2	160022.4	1668.2	636.4	348.6	350.6	635.2	0.72	1.83	22.61
3	1	3	750420.9	3564.0	1121.3	942.2	1014.2	1025.1	0.74	1.19	25.50
4	1	4	382063.4	2737.2	1020.7	580.6	582.5	1020.3	0.64	1.76	53.83
5	1	5	232377.5	2056.8	784.7	486.8	526.3	701.8	0.69	1.61	24.98
6	1	6	308542.9	2352.5	831.6	575.7	689.0	743.4	0.70	1.44	61.82
7	1	7	212326.1	2031.1	682.0	475.5	501.1	678.9	0.65	1.43	46.54
8	1	8	399336.9	2658.0	886.9	662.9	671.9	862.7	0.71	1.34	58.67
9	1	9	194468.5	1892.2	703.0	409.3	466.0	659.6	0.68	1.72	34.55
10	1	10	188622.3	1972.7	791.5	370.1	387.0	787.8	0.61	2.14	65.49
11	1	11	135356.2	1878.8	676.5	341.9	382.0	643.1	0.48	1.98	64.69
12	1	12	259849.2	2282.1	823.4	525.0	527.9	823.4	0.63	1.57	49.49
13	1	13	190463.9	1805.6	672.4	430.8	477.9	649.4	0.73	1.56	25.30
14	1	14	3.7	1.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.00	1.00	22.75
15	1	15	415613.0	2752.7	979.2	617.3	675.7	956.5	0.69	1.59	37.00
16	1	16	191046.7	1757.2	653.5	458.6	499.1	623.6	0.78	1.43	43.73
17	1	17	443902.8	2686.3	941.3	641.2	655.7	937.9	0.77	1.47	44.25
18	1	18	418425.9	3063.9	1064.0	687.6	687.6	1064.0	0.56	1.55	56.82

Şekil 3.3 Clemex görüntü analiz yazılımı yardımıyla kalsit kristallerinin mikro yapısal özelliklerinin belirlenmesi.



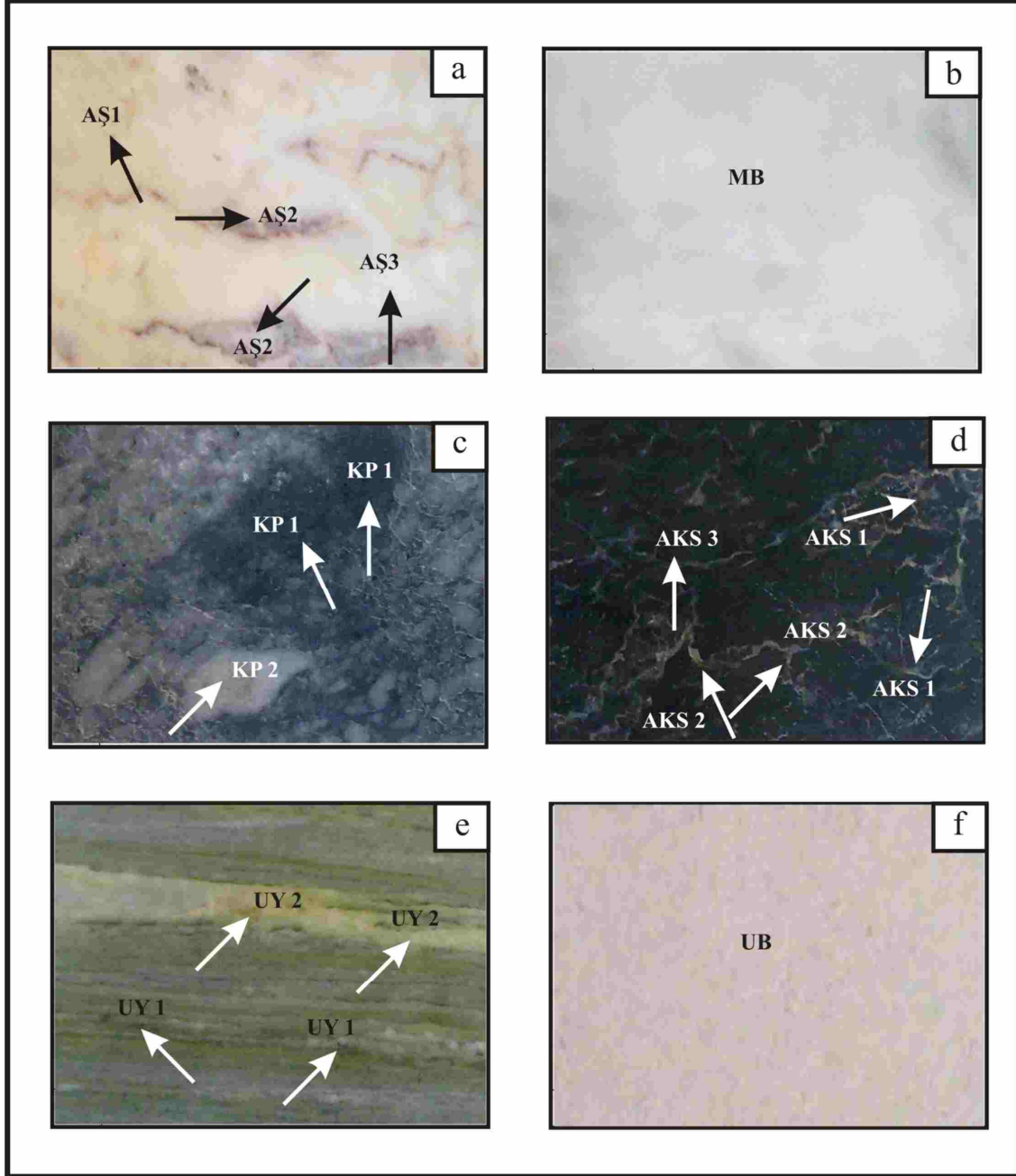
Şekil 3.4 Clemex yazılımında ölçülen parametreler (Clemex 2007).

b) Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri: Mermer örneklerinin yüzey morfolojisini incelemek, örneklerdeki karbonat dışı minerallerin kalsit mineraliyle ilişkilerini açıklayabilmek ve minerallerin mikro kimyasal analizini yapabilmek için gerekli olan taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri, AKÜ Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'nde bulunan LEO marka, 1431-VP model SEM'de gerçekleştirilmiştir. SEM incelemeleri için iki farklı numune hazırlanmış; öncelikle, morfolojik özelliklerin tanımlanması amacıyla mermerlerin damarlı ve damarsız bölgelerinden numuneler alınarak kırık yüzeyler incelenmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan abrasiv serisinde parlatılan her bir örnekten yaklaşık 1x1x1 cm boyutlarında parçalar kesilmiş ve bu örnek yüzeylerinde aşınma mekanizmalarının incelemeleri yapılmıştır.

3.2.1.2 X-Işını Difraksiyonu (XRD) İncelemeleri

X-Işını Difraksiyonu (XRD) analizi için, örneklerin dokusal özellikleri ve renkleri dikkate alınarak her örneği temsil eden farklı renkte damarlı ve damarsız bölgelerden parça numuneler alınarak, bu örnekler -100 µm tane boyutuna öğütülmüştür (Şekil 3. 5). Örneklerin XRD analizleri AKÜ Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'da bulunan Shimadzu marka XRD-6000 model cihazda gerçekleştirilmiştir. Bakır (Cu) X ışını tüpüne sahip olan bu cihazda, 1.544Å dalga boyuna sahip Cu-K α X-ışınları kullanılmaktadır. Analizlerde 40 kV (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri

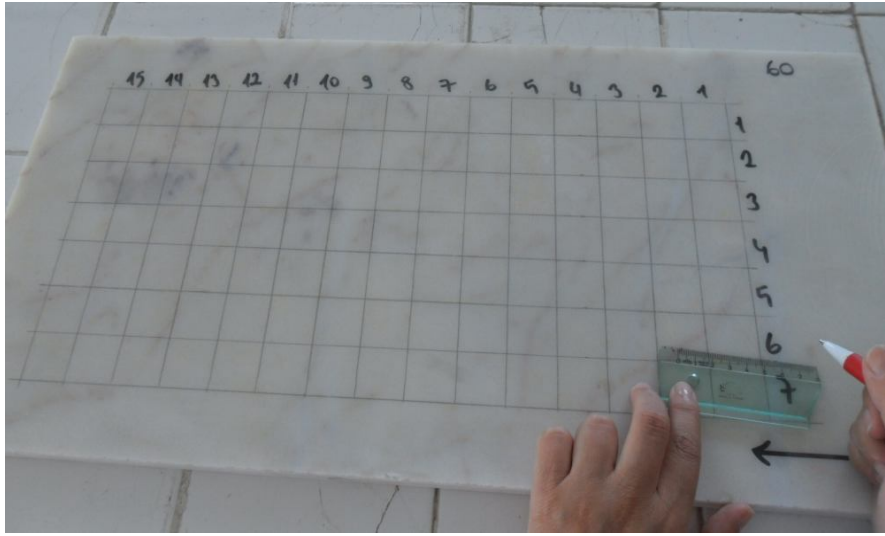
seçilmiştir. Örnekler $2^\circ/\text{dk}$ 'da taranarak $2^\circ-90^\circ$ (2Θ) ganiometre kırınım açısı aralığında ve 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda analiz edilmiştir.



Şekil 3.5 XRD analizinde kullanılan mermerlerin örnekleme yerleri (a) AŞ 1: Afyon Şeker Sarı damar, AŞ 2: Afyon Şeker Koyu damar, AŞ 3 Afyon Şeker Normal, (b) MB: Muğla beyaz, (c) KP 1: Afyon Kaplan Postu Koyu damar, KP 2: Afyon Kaplan Postu Açık damar, (d) AKS 1: Akşehir Siyahı Koyu damar, AKS 2: Akşehir Siyahı Sarı damar, AKS 3: Akşehir Siyahı Normal, (e) UY 1: Uyak Yeşil Koyu damar. UY 2: Uşak Yeşil Açık damar (f) UB:Uşak beyaz.

3.2.2 Çatlak ve Damarların Gözle Tayini

Çatlak ve damarların gözle tayini, parlatma işleminde kullanılan mermer plakaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bunun için her plaka yüzeyi, kenar uzunluğu 3 cm olan kare şeklindeki bölgelere ayrılmıştır. Çatlak yoğunluğu, plaka üzerindeki çatlakların bulunduğu, bölgelerin sayısının plaka üzerindeki toplam bölge sayısına oranı şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca, bölgedeki çatlakların kalınlığı ölçülerek, çatlak dolgu renkleri ayrıntılı olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Çatlak ve damarların ölçümü.

3.2.3 Jeokimyasal İncelemeler

Çalışmada kullanılan mermerlerin farklı renkteki bölgelerinden alınarak hazırlanan örneklerin ana, iz ve nadir toprak element tayini ICP yöntemiyle ACME laboratuvarında (Kanada) yaptırılmıştır. ICP-MS yöntemi ile kimyasal analiz işleminde 0.1 gr ağırlığındaki örneklerin lityum metaborat/tetraborat ve seyreltik nitrik asit eritişinden sonra ana ve iz element bollukları ICP-emisyon spektrometri cihazıyla belirlenmektedir. Ateş kaybı 1000 °C'deki ısı işlem sonucunda örnekte meydana gelen ağırlık kaybına göre hesaplanmaktadır.

3.2.4 Parlatma İşlemi

3.2.4.1 Cila Makinasının Özellikleri

Parlatma işleminde kullanılan cila makinasını üç bölümde incelemek mümkündür. Bunlar;

- Makinanın mekanik tasarımı
- Makinanın elektrik ve elektronik tasarımı
- Makinanın otomasyon tasarımı şeklindedir.

a) Mekanik Tasarımı: Deneyleerde kullanılan tam otomatik bilgisayar kontrollü cila makinası, iki kalibre ve dört adet abrasiv kafadan oluşan bir makinadır. Makinanın kalibre genişliği 500 mm, abrasiv genişliği ise 400 mm'dir. Mekanik olarak düşey düzlemde yukarı-aşağı hareket eden kalibratör, düşey düzlemde yukarı-aşağı hareket ve köprü aracılığıyla yatay düzlemde sağa-sola hareket eden abrasiv hareketi bulunmaktadır (Şekil 3.7).



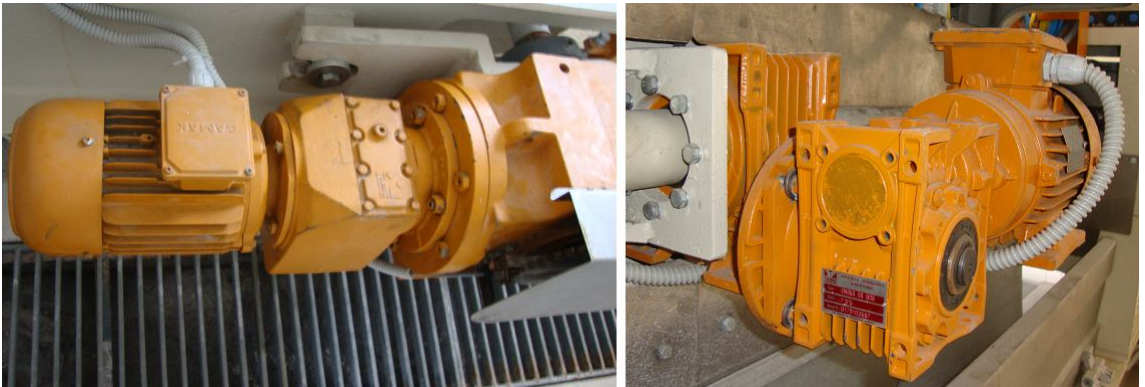
Şekil 3.7 Deneyleerde kullanılan cila makinasının genel görünümü.

Cila makinasında yedi adet AC (Alternatif Akım) motor bulunmaktadır. Bunlardan, iki tanesi kalibre hareketini, dört tanesi abrasivlerin aşağı-yukarı hareketini, bir tanesi de bantın ileri-geri hareketini sağlamaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Cila makinası motorları.

Kalibratörleri aşağı yukarı hareket ettiren motor 0.55 kW, dönme hareketini sağlayan motor 15 kW gücünde olup, bantın ileri-geri hareketini sağlayan motor 1.5 kW'lık, abrasiv kafaların hareketini sağlayan motor ise 7.5 kW'lık bir güce sahiptir. Motordan gelen tahrik gücünün, silim hattındaki bantın ileri geri hareketi ve köprünün hareketine aktarılabilmesi için redüktörler kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Cila makinası redüktörleri.

b) Elektrik ve Elektronik Tasarımı: Cila makinasının elektrik ve elektronik tasarımı, cila uygulaması için gerekli olan işletme parametrelerinin makinarya aktarılmasını doğru ve hassas şekilde sağlamakta olup, enerji analizörü ve yaklaşım sensöründen oluşmaktadır.

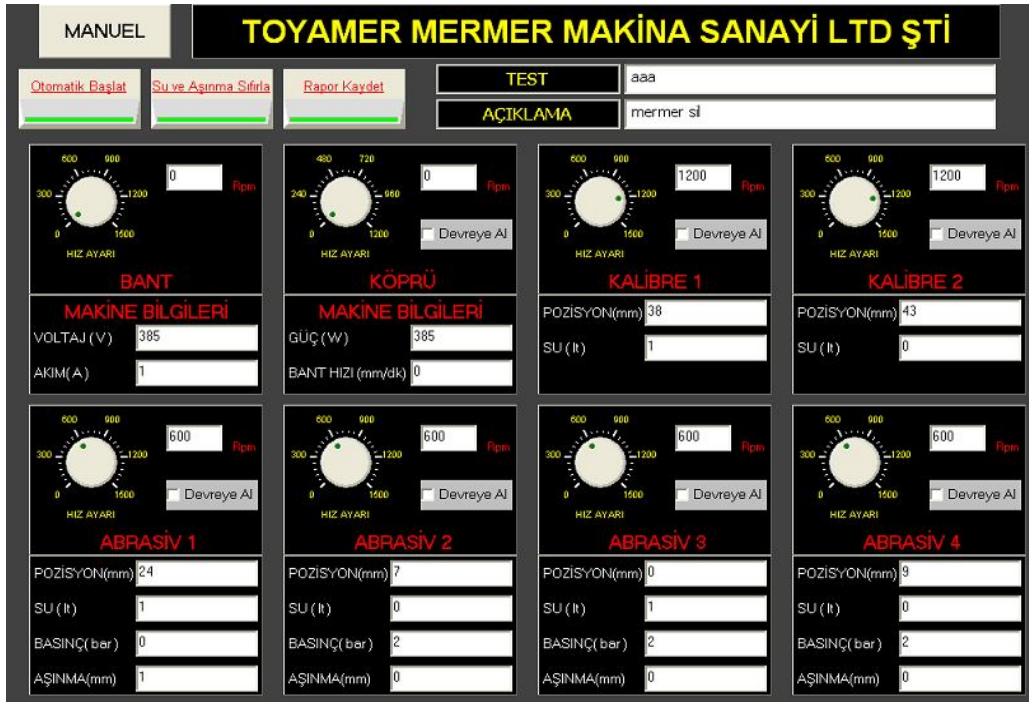
Makinadaki elektrik şebekesine ait tüm parametreleri ölçmek amacıyla ENTES marka MPR-53 S tipinde mikroişlemcili bir enerji analizörü kullanılmıştır (Şekil 3.10). Parametreler analizör ekranından beş ayrı gösterge ile izlenebilmekte ve seri haberleşme özelliğiyle istenen parametreler bilgisayar ortamına aktarılabilir. Yaklaşım sensörü; kalibre kafalardan çıkan numunelerin abrasiv kafalarına yaklaşması sırasında abrasiv kafalarının devreye girmesi amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.10 Cila makinası enerji analizörleri.

c) Otomasyon Tasarımı: Bütün mekanik ve elektronik donanımın bilgisayar ile iletişimini ve kumanda kontrolünü sağlayan ve ana menüsü Şekil 3.11’de gösterilen yazılım programıdır. Cila sırasında bant, köprü, kalibreler ve abrasivlerin hız ayarlarının, kalibreler ve abrasivlerin konumlarının, basınç ve aşınma miktarlarının durumu eş zamanlı olarak ana menüde gözlenebilmektedir. Ayrıca, deneylerde

kullanılacak parametreler ana menü yardımıyla düzenlenebilmektedir. Deney sırasında bir bölümü devreye alabilmek için, ana menü üzerindeki ilgili bölüme ait “devreye al” kutucuğunun işaretlenmesi gerekmektedir. Ana menüye bağlı manuel kontrol ve veri menüleri bulunmaktadır. Manuel kontrol yardımcı menüsünde bant, köprü, kalibreler ve abrasivlerin konumu mouse yardımıyla istenilen noktaya getirilebilmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.11 Kumanda kontrolünü ve iletişimini sağlayan yazılım programının ana menüsü.

“Rapor kaydet” yardımcı menüsünde ise makinanın otomatik olarak başlatılmasıyla birlikte, ana menüde seçilen parametrelerin sayısal değerleri Excel dosyası olarak kaydedilebilmekte ve istenildiğinde test dosyasına kaydedilerek geri çağırılabilir. Ana menüdeki diğer bir yardımcı buton ise “Su ve Aşındırma Sıfırla” butonudur. İstenilen parametrelerde çalışma tamamlandıktan sonra, su ve aşındırma verilerini sıfırlamada kullanılır.



Şekil 3.12 Kumanda kontrolünü ve iletişimini sağlayan yazılım programının manuel yardımcı menüsü.

3.2.5 Parlatma Deney Prosedürü

Değişik dokudaki mermerlerin cila alma özelliklerinin birbirleri ile karşılaştırmalı olarak incelenebilmesi için, parlatma deneylerinin standart deney koşullarında yapılması gerekir. Ancak, mermerlerin yapısal farklılıklarından dolayı herhangi bir cilalama deney prosedürü bulunmamaktadır. Bu nedenle, metamorfik kökenli mermerler için uygun deney şartlarının belirlenmesi amacıyla ön parlatma deneylerinde literatürde yer alan araştırma sonuçlarından yararlanılmıştır.

Ön testlerde Akşehir Siyahı mermeri kullanılmıştır. Görgülü ve Ceylanoğlu (2008) tarafından yapılan çalışmada, mermerlerin kalibre çıkışındaki yüzey pürüzlülüğü 4-7 μm arasında ölçüldüğünden, bu değer aralığına ulaşmak için; bant hızı, kalibratör kafalarının dönme hızı (D/D) gibi parametreler değiştirilmek suretiyle toplam 10 adet farklı deney şartının denemesi yapılmıştır. Parametre aralıkları;

Bant hızı = 0.60 m/dk – 0.80 m/dk

Kalibratör dönme hızı = 800 – 900 – 1000 – 1100 – 1200 D/D

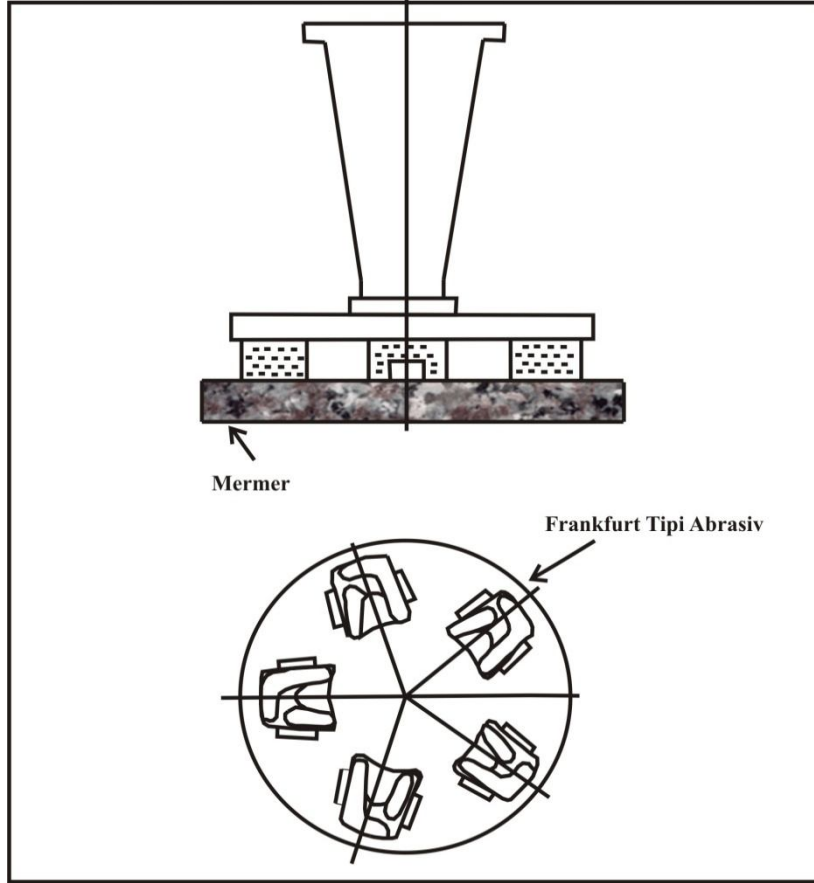
Abrasiv kafa basıncı = 2 bar

olup, bu parametrelere göre pürüzlülük ölçümleri yapılarak cilalama için gerekli olan sabit parametrelerin seçimi yapılmıştır. Görgülü ve Ceylanoğlu (2008) ile İnka (2005)'nin çalışmaları dikkate alındığında, mermer grubu için en uygun bant hızının 0.80 m/dk olduğu ve bu değerın esas alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Kalibrasyon dönme hızına bağlı pürüzlülük değerleri incelendiğinde, kalibrasyon için uygun devir hızının 1200 D/D olacağı anlaşılmıştır. Ön testlerde belirlenen bu parametrelere göre, kalibrasyon sonrası yüzey pürüzlülük değerinin ortalaması 4 µm'dir.

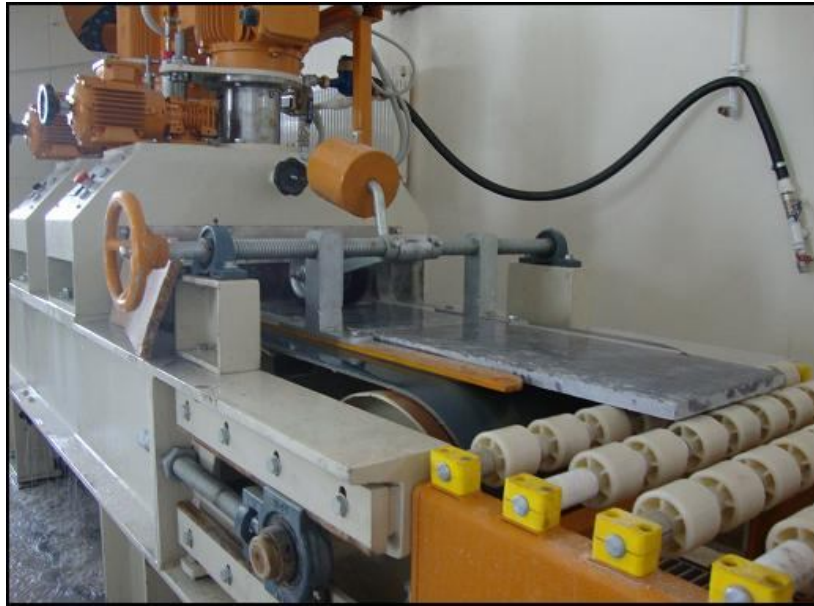
Parlatma işlemi su akışı, temizleme ve soğutma işlevlerini içerir. Parlatma esnasında abrasivler numuneden malzeme kopartır, oluşan parçalar su akışı ile temizlenir ve aşınma sırasında oluşan sıcaklık yükselmesini azaltmak için yüksek su akışına ihtiyaç vardır (Amaral *et al.* 2004). İnka'nın (2005) yazdıkları dikkate alınarak, parlatma işlemi sırasında açığa çıkan ısı ve atıkları ortamdan uzaklaştırmak için kafa başına en uygun 50 lt/dk su miktarı esas alınmıştır.

Mermer fabrikalarındaki şartlara uyumlu bir çalışma yapılabilmesi için, her bir abrasiv numarasında 60x30x2 cm boyutundaki plakalardan beş adet kullanılmıştır. Plakaların parlatılacak yüzeyleri belirlendikten sonra parlatma işleminde kullanılacak abrasivler tespit edilmiştir. Bu amaçla, mermerlerin temin edildiği fabrikalardaki aşındırıcı serileri dikkate alınarak en uygun seri belirlenmiştir. Deneyleerde, Frankfurt tipi 60 nolu, 80 nolu, 120 nolu, 220 nolu, 320 nolu manyezit bağlı, 400 nolu, 600 nolu, 800 nolu sentetik abrasivler ve 5-ekstra cila taşı kullanılmıştır. Kullanılan cila makinasının özellikleri dikkate alınarak her aşındırıcı kafada beş adet abrasiv kullanılmış ve abrasiv kafaların dönme hızı 500 D/D olarak belirlenmiştir (Şekil 3.13).

Ön testler sonucu belirlenen bant ve kalibre dönüş hızları dikkate alınarak, tüm mermer örnekleri kalibrasyona tabi tutulmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.13 Kullanılan abrasivlerin makinadaki yerleşimi.



Şekil 3.14 Kalibrasyon işlemi.

Kalibre işleminden sonra, abrasiv serisindeki her abrasiv numarası için beş adet örnek kullanılmıştır. Aşındırıcılarla ilk temas ve son temas eden plakalar ölçüm dışı bırakıldığından, bu plakalar üzerinde herhangi bir ölçüm yapılmamıştır. Diğer üç plaka temiz su ile yıkanarak kurumaya bırakılmış, bu işlemler her örnek ve abrasiv numarası için tekrarlanmıştır. İşlemi tamamlanan plakaların yüzeylerinde, pürüzlülük ve parlaklık ölçümleri yapılmıştır.

3.2.6 Pürüzlülük Ölçümleri

Abrasiv serisi dikkate alınarak yapılan parlatma işlemi sonrası, mermer numunelerinin pürüzlülük değerleri AKÜ Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan PHYNIX Manuel TR200 marka pürüzlülük ölçer ile yapılmıştır. Pürüzlülük cihazı, elektronik aksamın bulunduğu gövde, buna bağlı bir kol ve kolun ucunda özel imal edilmiş hassas uçtan oluşur. Hassas uçtaki iğne bir düzlem boyunca yüzeyde hareket ederek, yüzeyin pürüzlülük profilini çıkarmaktadır (Wright and Rouse 1993). Ölçüm, kolun belirli bir mesafe boyunca ileri-geri gitmesi sırasında ucun pürüzlü yüzeyler üzerinde iniş ve çıkışları algılaması şeklinde gerçekleşir. Cihazın dijital göstergesi üzerinden Ra, Rq, Rz parametreleri okunur.

Pürüzlülük ölçümlerinde, her bir abrasiv numarasında parlatılan üç adet mermer plakası kullanılmıştır. Plakaların yüzeyleri 3x3 cm boyutlarında kare şeklindeki 105 bölgeye ayrılmış, her bölgenin orta noktasından Ra, Rq ve Rz pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Pürüzlülük ölçümlerinde, ölçüm uzunluğu 2.5 mm ve cut-off değeri ise 0.8 olarak alınmıştır (Şekil 3.15).

3.2.7 Parlaklık Ölçümleri

Abrasiv serisi dikkate alınarak parlatılan mermer örneklerinin parlaklık değerleri, AKÜ Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Novo Gloss Trio marka glossmetre ile ölçülmüştür (Şekil 3.16). Mermer türlerinde ortalama parlaklık değerinin belirlenmesi amacıyla, parlatma işlemi yapılan tüm mermerlerde abrasiv numaraları

dikkate alınarak, parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Her plaka yüzeyinde 45 adet noktadan 60°'lik açıda parlaklık değeri elde edilmiştir.



Şekil 3.15 Pürüzlülük ölçer ve pürüzlülük ölçümü.



Şekil 3.16 Glossmetre ve parlaklık ölçümü.

3.2.8 Fiziksel ve Mekanik Testler

Parlatma deneylerinde kullanılacak mermerlerden alınan örneklerin fiziko-mekanik testleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm laboratuvarında yapılmıştır. Yapılan testler ile ilgili bilgiler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.2.8.1 Özgül Ağırlık (Gerçek yoğunluk) Tayini

Mermerlerin özgül ağırlıklarının (gerçek yoğunluklarının) hassas olarak belirlenmesi için, örnekler 100 µm altına öğütülmüş, daha sonra etüvde 105°C' de 8 saat kurutulmuş ve kurutma işlemi sonrasında özgül ağırlıkları ASTM D-5550-06 standardına göre belirlenmiştir. Mermerlerin özgül ağırlık tayininde, AKÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Doğal Taş Analiz Laboratuvarı (DAL)'da bulunan Quantachrome Ultrapycnometer 1000 marka helyum piknometresi kullanılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Quantachrome Helyum piknometresi.

3.2.8.2 Su Emme Testi

Deneyleerde kullanılan mermer örneklerinin su emme oranları TS EN 13755 standardına göre belirlenmiştir. Bunun için; 70x70x70 mm boyutlarında altı adet mermer numunesi 70±5°C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuş, 0.01 gr hassasiyetle tartılmıştır (G_k). Sonra, numunelerin bulunduğu kap yüksekliğinin yarısına kadar 20°C ± 10°C sıcaklıkta su ilave edilmiş ve kap, 1 saat sonra numunelerin yüksekliğinin $\frac{3}{4}$ 'ü su içerisinde kalacak şekilde su ile doldurulmuştur. Bu işlemden 2 saat sonra numuneler 25 mm derinlikte kalacak şekilde kaba su ilave edilerek 48 saat beklenmiş ve numunelerin tartımları alınmıştır. Sabit tartıma gelen numuneler arşimet terazisinde 0.1 gr hassasiyetle tartılarak, su içerisindeki kütleleri bulunmuştur (G_{ds}). Daha sonra numuneler değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Tüm bu işlemler sonrasında su emme oranları eşitlik (3.1)'e göre hesaplanmıştır.

Doğal taşın kütlece su emme oranı;

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} 100 \quad (3.1)$$

S_k = Mermerin kütlece su emme oranı (%),

G_d = Mermerin doygun haldeki kütlesi (g),

G_k = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş mermerin kütlesi (g),

G_{ds} = Doygun haldeki mermerin su içindeki kütlesi (g).

3.2.8.3 Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini

Deneyleerde kullanılan mermer örneklerinin görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini TS EN 1936 standardına göre tespit edilmiştir. Bu deneyleerde sırasıyla şu işlemler gerçekleştirilmiştir: Daha önce kurutulmuş numunelerin sabit kütleleri tartılmış (m_d), numuneler su emme için uygun bir kaba yerleştirilerek 20 ± 5°C' deki saf su ilavesi ile 24 ± 2 saat su içinde muhafaza edilmiştir. Daha sonra, her bir

numune su içerisinde tartılmış ve sudaki kütlesi (m_h) ve suya doymuş numunenin kütlesi (m_s) tartılarak kaydedilmiştir.

Görünür yoğunluk, P_b (kg/m^3), kuru numune kütlesinin görünür hacmine oranı şeklinde 3.2 no'lu eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$P_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} P_{rh} \quad (3.2)$$

Açık gözeneklilik, P_o (%), numunenin açık gözeneklerinin hacminin görünür hacmine oranı olarak, eşitlik (3.3) göre belirlenmiştir.

$$P_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} 100 \quad (3.3)$$

Toplam gözeneklilik, P (%), numunenin toplam gözeneklerinin (açık ve kapalı) hacminin görünür hacmine oranı şeklinde eşitlik 3.4'e göre hesaplanmıştır.

$$P = \left(1 - \frac{P_b}{P_r} \right) 100 \quad (3.4)$$

m_d : Kuru numune kütlesi, g

m_h : Su içerisine batırılmış numunenin kütlesi, g

m_s : Doygunlaştırılmış numune kütlesi, g

P_b : Numunenin görünür yoğunluğu, kg/m^3

P_r : Numunenin gerçek yoğunluğu, kg/m^3

P_{rh} : Suyun yoğunluğu, kg/m^3

P : Numunenin toplam gözenekliliği, %

P_o : Numunenin açık gözenekliliği, %

3.2.8.4 Ses Hızı İlerlemesinin Tayini

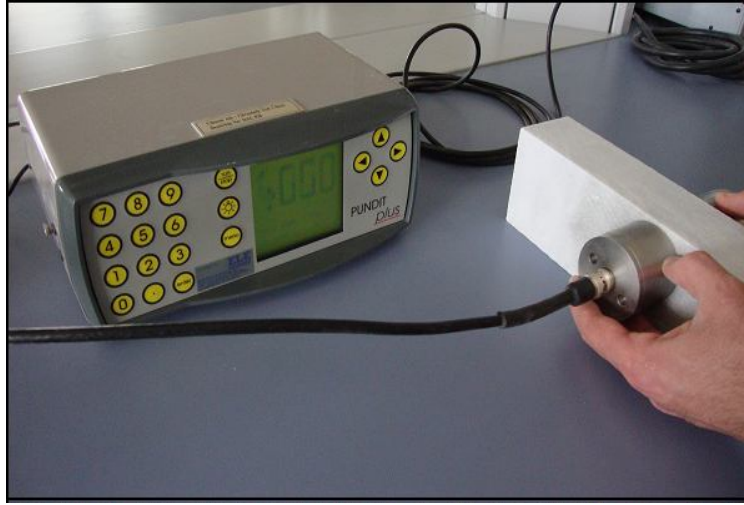
Ses hızı ilerlemesi tayininde TS EN 14579 standardı kullanılmıştır. Buna göre, 300x75x50 mm boyutlarında altı adet numunenin iki yüzeyi arasındaki mesafe (L) kumpas yardımıyla ölçülür, ölçüm yapılacak iki yüzey gres yağı ile kaplandıktan sonra numune propların arasına yerleştirilir (Şekil 3.18). ELE marka ultrases cihazının dijital ekranındaki değer okunur ve ses hızı eşitlik 3.5 yardımıyla 0.01 m/s yaklaşımla hesaplanır:

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.5)$$

V: Ses yayılma hızı, m/s

L: Numune uzunluğu (Hat uzunluğu), m

T: Alıcı ve verici uçlar arasında geçen süre, s



Şekil 3.18 Ultrases cihazı.

3.2.8.5 Basınç Dayanım Deneyi

Basınç dayanım deneyi TS EN 1926 standardına göre yapılmıştır. Bunun için, 70x70x70 mm boyutlarında 10 adet mermer numunesi 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur. Test öncesi numune boyutları kumpasla

ölçülmüş ve numune hidrolik pres tablaları arasında yerleştirilmiştir. Hız kontrolü otomatik olarak gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanımı cihazında numune üzerine saniyede 1 ± 0.5 MPa/s olacak şekilde hız uygulanmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Basınç dayanım deneyi.

Numunenin tek eksenli basınç dayanım değeri (σ_b), yenilme yükünün (F) uygulanan numune yüzey alanına (A) bölünmesiyle 3.6 no'lu eşitliğe göre hesaplanır.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

σ_b : Basınç dayanımı, MPa

F: Uygulanan yük, N

A: Alan, mm²

3.2.8.6 İndirek Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi

Kayacın indirek çekme dayanımı (σ_t) değerleri ISRM (1981)'e göre yapılmıştır. Her kayacık örneği için 2.7 cm boyunda, 5.4 cm çapında altı adet örnek kullanılmıştır. Numunelerin kırılma yük değerleri çok düşük olduğundan nokta yük dayanım indeksi

deney aparatında yapılan bir düzenek vasıtasıyla Brazilian çekme dayanımı deneyi yapılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 İndirekt çekme dayanımı uygulanmış örnekler.

Kırılma yükü (F) kaydedilir. Endirekt çekme dayanımı (σ_t) Eşitlik 3.7 yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma_t = \frac{0.636F}{Dt} \quad (3.7)$$

σ_t : Endirekt çekme dayanımı, MPa

F: Örneğin yenilme anında uygulanan yük, N

D: Örnek çapı, mm

t: Örnek kalınlığı, mm.

3.2.8.7 Shore Sertliği (SH)

Shore sertliği deneyi Altındağ ve Güney (2006) tarafından önerilen ISRM standardına göre yapılmıştır. Shore sertliği testlerinde her kayaç için 7x7x7 cm boyutlarında 1'er adet örnek alınarak bir yüzeyi 200 numaralı zımpara yardımıyla düzeltilmiş ve pürüzsüz hale getirilmiştir. Shore sertliklerinin belirlenmesinde C-2 tipi Shore Scleroscope'u

kullanılmıştır (Şekil 3.21). Pürüzsüz yüzeyde 20 adet okuma yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması hesaplanarak Shore sertliği değerleri hesaplanmıştır (Altındağ ve Güney 2006).



Şekil 3.21 Shore sertlik ölçüm cihazı.

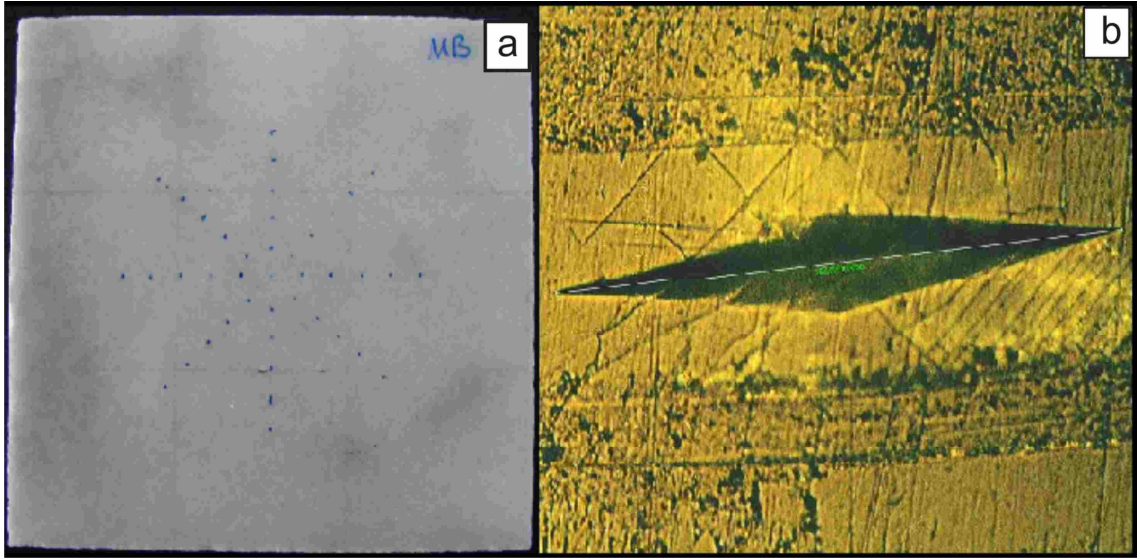
3.2.8.8 Knoop Sertlik İndeksi Ölçümü

Knoop sertlik indeksi ölçümleri; 50x50x20 mm boyutta bir yüzeyi parlatılmış numune yüzeyinde, SHIMADZU HMV marka mikro sertlik cihazında (Şekil 3.22) gerçekleştirilmiş ve ölçümlerde TS EN 14205 numaralı Standard esas alınmıştır.

TS EN 14205'e göre tüm kayaç türleri için uygulanacak yük 1.96 N, yük için tavsiye edilen hız ise 40 saniyedir. Belirtilen yük ve hız değerlerinde numune yüzeyine bırakılan iz mikroskop yardımıyla odaklanır ve en uzun diagonal uzunluk ölçülür; belirtilen izler arası mesafe en az 2 mm olacak şekilde 40 adet ölçüm alınır (Şekil 3.23).



Şekil. 3.22 Knoop sertlik ölçüm cihazı.



Şekil 3.23 Knoop sertlik ölçümü (a) Ölçüm yapılan noktalar, (b) Knoop izi genel görünümü.

3.2.8.9 Schmidt Çekici Sertliği Deneyi

Schmidt çekici sertliği deneyi ISRM (1981)'e göre yapılmıştır. Öncelikle, üretici firma tarafından sağlanan örs ile Schmidt çekicinin kalibrasyonu yapılmalıdır (Şekil 3.24) (Aydın 2009). Ölçüm için, örneklerin petrografik olarak homojen, çatlaksız ve

yüzeyinin düz ve tozdan arınmış olması gerekir. Ölçümü yapılacak numune bloğunun alanı 268 cm^2 ve kalınlığı 10 cm olmalıdır (Aydın 2009). Çekicinin ucu örnek yüzeyine dik konumda olacak şekilde tutulmalıdır (Ulusay vd. 2005). Belirlenen boyutlardaki her bir kayaç numunesi için 20 adet okuma yapılmış ve okunan değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 3.24 Schmidt sertlik ölçüm cihazı.

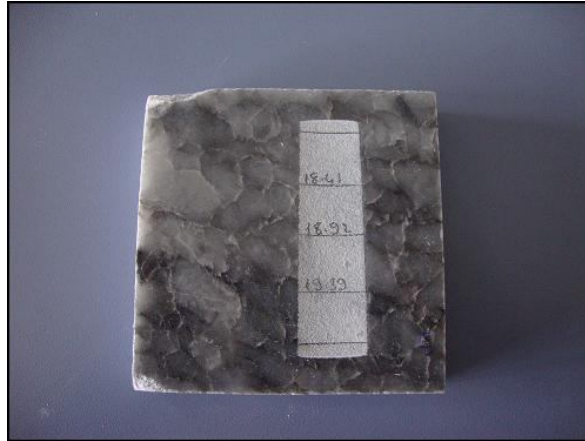
3.2.8.10 Aşınma Dayanımı Testi

Aşınma dayanımı testi, TS EN 1341 EK C standardına göre yapılmıştır. Şekil 3.25'deki aşınma dayanımı test cihazının aşındırma tozu silosu, aşındırma tozu ile doldurulur. Deney esnasında numune tutma kızıağı, geniş aşındırma diskinden uzağa çekilir. Numune, tutucu kızak üzerine numunenin herhangi bir kenarı en az 15 mm uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilir ve numune, aşındırma tozunun alt tarafa geçmesine izin verecek şekilde sabitlenir. Aşındırma tozunun toplanacağı kap, geniş aşındırma diskinin alt kısmına yerleştirilir. Numune yüzeyi, geniş aşındırma diskinin altına temas edecek şekilde yaklaştırılır. Aşınma tozu kontrol vanası açılır ve aynı anda motor, geniş aşındırma diski 60 ± 3 saniye sürede 75 devir yapacak şekilde çalıştırılır. Disk 75 devir yaptıktan sonra, aşındırma tozu akışı ve disk durdurulur (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Aşınma dayanımı test cihazı.

Numune yüzeyinde oluşan oyuğun her iki uzun kenarının (l_1 ve l_2) sınırları, kurşun kalem ve cetvel kullanılarak çizilir. Daha sonra, oyuk uzun kenarlarının orta noktaları birleştirilerek, boyuna eksene dik doğrultuda (AB) doğrusu çizilir. Dijital kumpasın ölçme uçları, uzun kenar l_1 ve l_2 sınırlarının iç kısmına, A ve B noktalarına oyuk içine doğru yerleştirilir ve boyut ± 0.1 mm yaklaşımla ölçülerek kaydedilir. Kalibrasyon amacıyla ölçme işlemleri, oyuk uçlarından 10 ± 1 mm mesafedeki noktalarda tekrarlanır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Aşınma sonucu oluşan oyuk.

4. BULGULAR

4.1 Mineralojik İncelemeler

Bu bölümde, çalışmada kullanılan mermerlerin mineralojik petrografik özellikleri polarizan mikroskop, taramalı elektron mikroskop (SEM) ve X-ışınları difraktometresi ile jeokimyasal özellikler ise majör, iz ve nadir toprak analizi ile belirlenmiş, sonuçlar Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

4.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

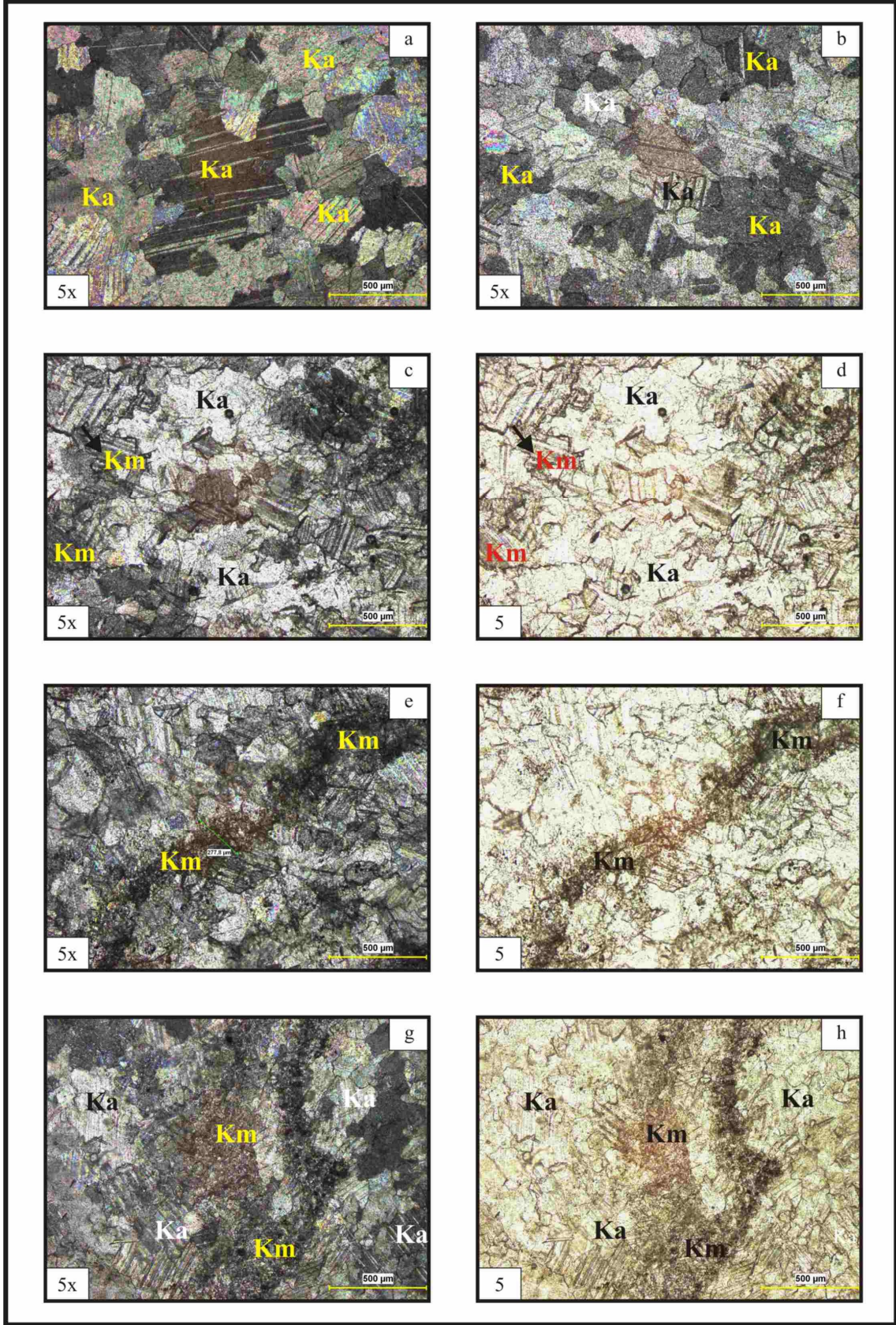
4.1.1.1 Kalitatif Analiz

Bu bölümde; mermerlerde bulunan minerallerin türleri, tane büyüklükleri, birbirlerine göre durumları, kristal şekilleri ile dokusal özellikler, gözeneklilik, kılcal çatlak, damar, bozuşma ve dolgu kısımları belirlenmiştir.

a) Afyon Şeker Mermeri: Kayaç, mikrokristalen kalsit (Ka) minerallerinden meydana gelmiştir. Kristal sınırlarının belirgin olduğu kalsit minerallerinde mükemmel dilinimlenme gözlenmekte (Şekil 4.1 a; b) ve kayacın bazı bölümlerinde mikro tektonizmayı yansıtan faylanmalar bulunmaktadır. Kayaca şekerimsi doku kazandıran renkli mineraller (Km) kırık hatlarına, foliasyon düzlemlerine, kalsit kristallerinin sınırlarına ve dilinim düzlemlerine yerleşmiştir (Şekil 4.1 c; d; e; f). Limonit ve mangan, kayaçtaki renkli mineralleri oluşturmaktadır. Kristal sınırlarında bulunan renkli mineraller çoğunlukla küçük boyutlu kalsit kristallerinin yüzeylerine yerleşmiş olup, kırık hatlarında sıvama şeklinde bulunurlar (Şekil 4.1 g; h). Bu mineraller foliasyon düzlemlerinde ise serizit ve kloritlerle (K) ilişkili olarak oluşmuştur.

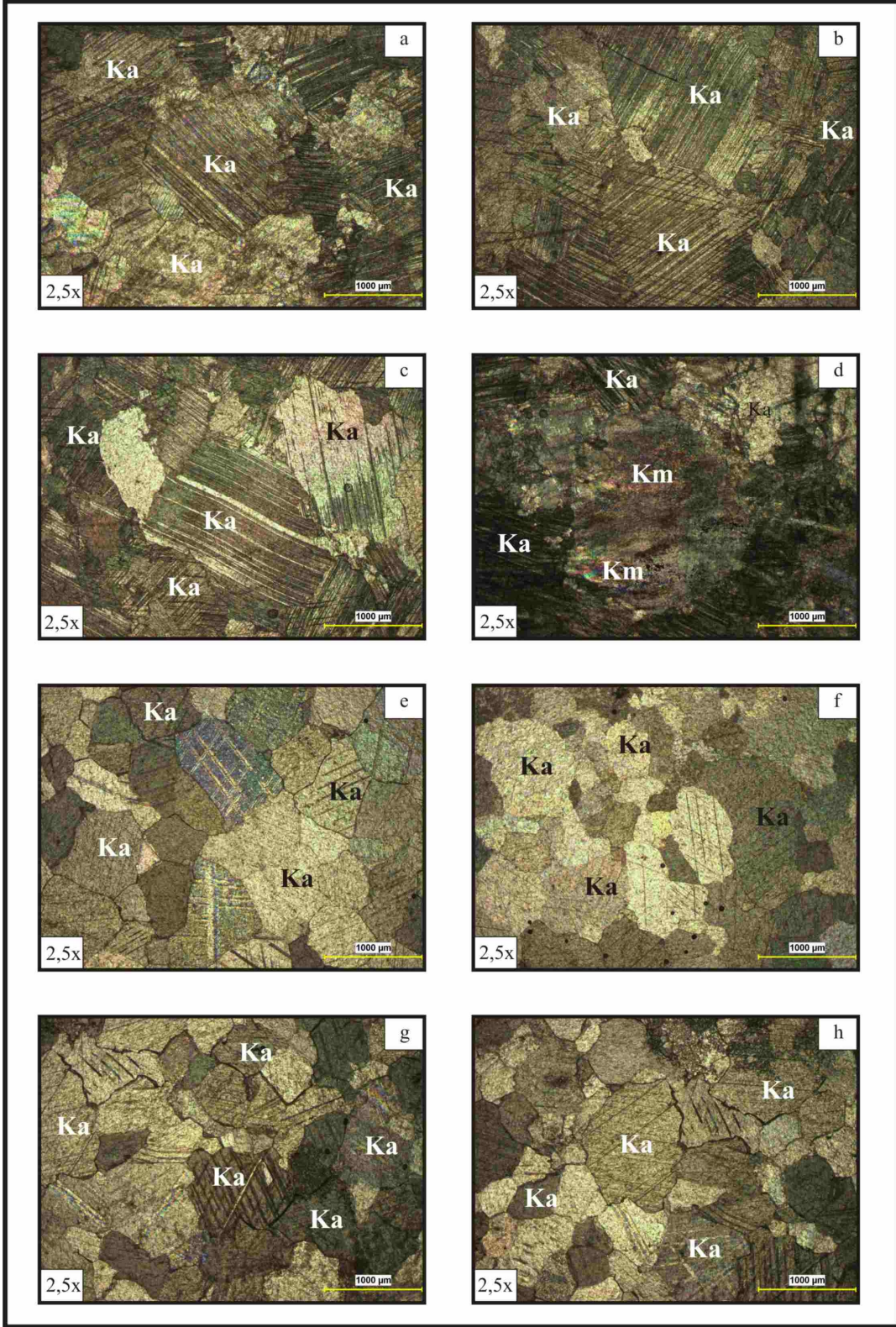
Çizelge 4.1 Mermerlerin mineralojik ve petrografik özellikleri.

Numune İsmi	Doku	Başlıca Mineraller	Karbonat Dışı Mineraller	Kalsit Kristallerinin Ortalama Mikro yapı Özellikleri			Süreksizlikler		
				Uzunluk (µm)	Küresellik (%)	Pürüzlülük (%)	Yoğunluğu (%)	Kalınlığı (mm)	Durumu
Afyon Şeker	Granoblastik	Kalsit (% 84.70)	Mika, Kuvars, Klorit (% 15.30)	352.14	0.62	0.90	10.42	1-3	Sarı renkli dolgulu, çatlaklar boyunca ve kalınlığında yerleşmiştir.
Uşak Beyaz	Granoblastik	Kalsit (% 100)	-	1710.43	0.60	0.88	0.32	-	Kılcal çatlaklı
Muğla Beyaz	Granoblastik	Kalsit (% 100)	-	694.43	0.71	0.94	6.93	1-2	Kılcal çatlaklı, gri renk dolgulu
Afyon Kaplan Postu	Granoblastik	Kalsit (% 91.50)	Mika, Kuvars, opak mineral (% 8.50)	511.65	0.64	0.92	29.31	1	Kılcal çatlaklı
Uşak Yeşili	Granoblastik	Kalsit (% 60.00)	Mika, Kuvars, Feldspat, Hornblend, Epidot, Hematit (% 40.00)	573.46	0.65	0.93	7.83	1-4	Kılcal çatlaklı, sarı ve kırmızı renkli dolgulu
Akşehir Siyahı	Granoblastik	Kalsit (% 89.63)	Mika, Kuvars, Klorit (%10.33)	581.13	0.54	0.88	34.28	1-3	Yoğun çatlaklı, sarı, yeşil ve beyaz renkli dolgulu

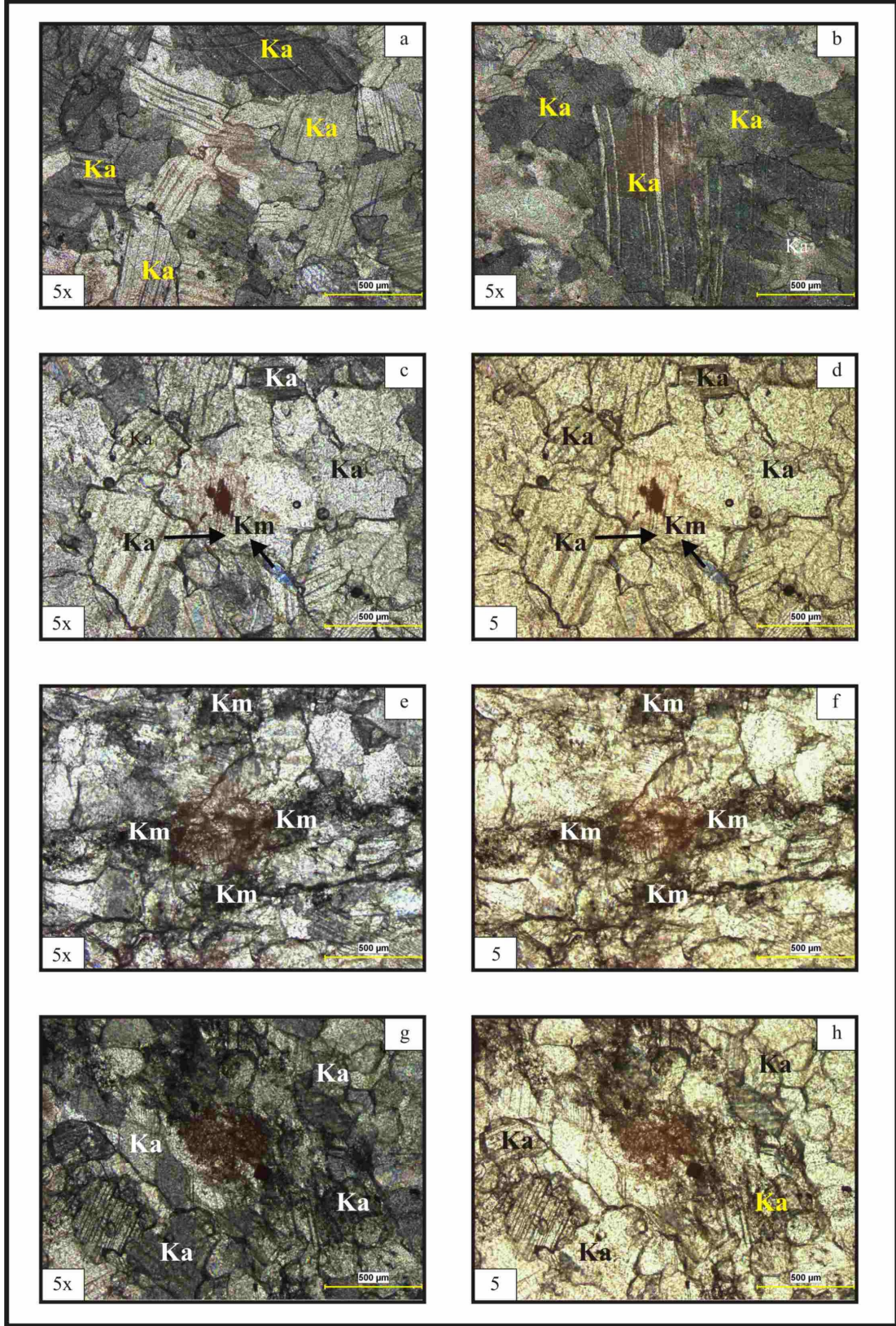


Şekil 4.1 Afyon Şeker mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri.

- b) Uşak Beyaz Mermeri:** Çok iri boyutlu kalsit (Ka) kristallerinden oluşmaktadır. Mükemmel dilinimlenme özelliğine sahip olan kristallerde dilinim düzlemleri arasındaki mesafe oldukça küçüktür (Şekil 4.2 a; b). Kalsit kristallerinin sınırları dantel örgü şeklinde olup, sınırlar çok belirgin değildir; polisentetik ikizlenmeyle birlikte kristal çokuzları da gözlenmektedir. Bazı bölgelerde kayacın erime boşluklarında sekonder kalsit kristalleriyle birlikte koyu renkli mineraller (Km) kristalleşmiştir (Şekil 4.2 c; d).
- c) Muğla Beyaz Mermeri:** Kayaç genelde monomineralik olup, mükemmel dilinimli kalsit kristallerinden meydana gelmiş (Şekil 4.2 e; f) ve renk verici mineraller hemen hemen hiç gözlenmemiştir. Polisentetik ikizlenmenin görüldüğü kalsit kristalleri öz şekilli olup, kristal sınırları belirgin ve düzgündür. Bazı bölümlerde mikro faylanmalar göze çarpmaktadır. Granoblastik doku sunan kayacın bazı bölümlerinde alterasyon izlerine rastlanmıştır (Şekil 4.2 g; h).
- d) Afyon Kaplan Postu Mermeri:** Kayacın genelini poligonal kalsit kristalleri oluşturmaktadır. Polisentetik ikizlenme sunan kalsit kristalleri, kayaca mozaik dokusu kazandırmıştır (Şekil 4.3a). C-eksenine paralel kristallerde mikrotektonizmanın etkisiyle oluşmuş bükülmeler gözlenmektedir (Şekil 4.3 b). Kayaçta koyu renkli minerallerin (Km) oranı düşük olup, kalsit kristallerinin dilinim düzlemlerine ve çoğunlukla da kristal sınırlarına yerleşmiş olarak bulunmaktadır (Şekil 4.3 c, d). Demir ve mangan bakımından zengin olduğu düşünülen koyu renkli mineraller, küçük boyutlu kalsit kristallerin yüzeyine yerleşmişlerdir. Ayrıca kayacın içinde değişik doğrultularda bulunan çatlak ve şistozite düzlemleri, koyu renkli minerallerin çatlak dolgusu olarak yerleştiği bir başka bölüm olarak göze çarpmaktadır (Şekil 4.3 e, f). Koyu renkli minerallerin, hematit (Hm) türünde demir ile rodokrozit ve piroluzit türünde mangan mineralleri olduğu düşünülmektedir. Bazı bölgelerdeki opak mineraller özşekilli olup, kübik sistemde kristallenmiştir (Şekil 4.3 g, h).



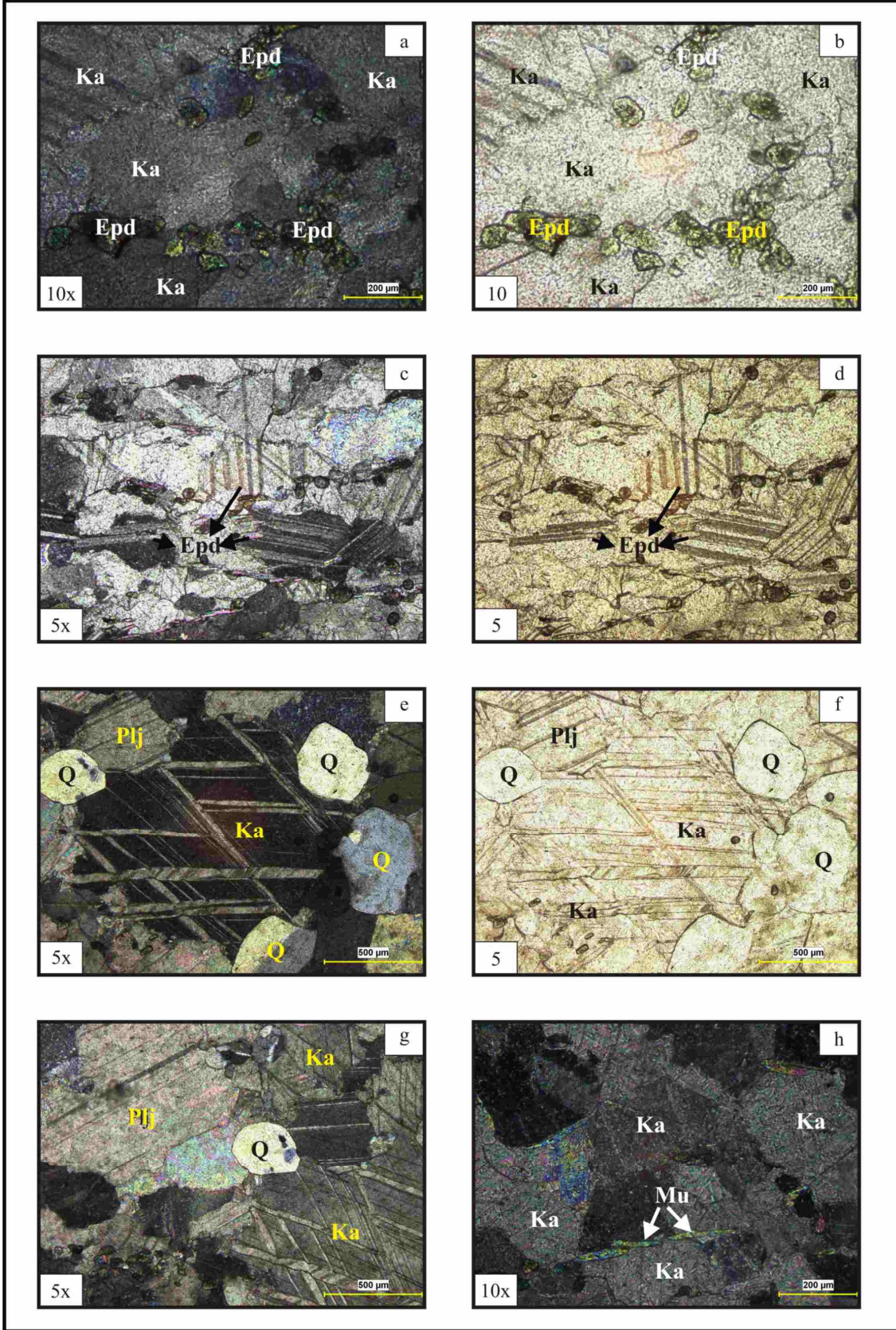
Şekil 4.2 Uşak Beyaz ve Muğla Beyaz mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri.



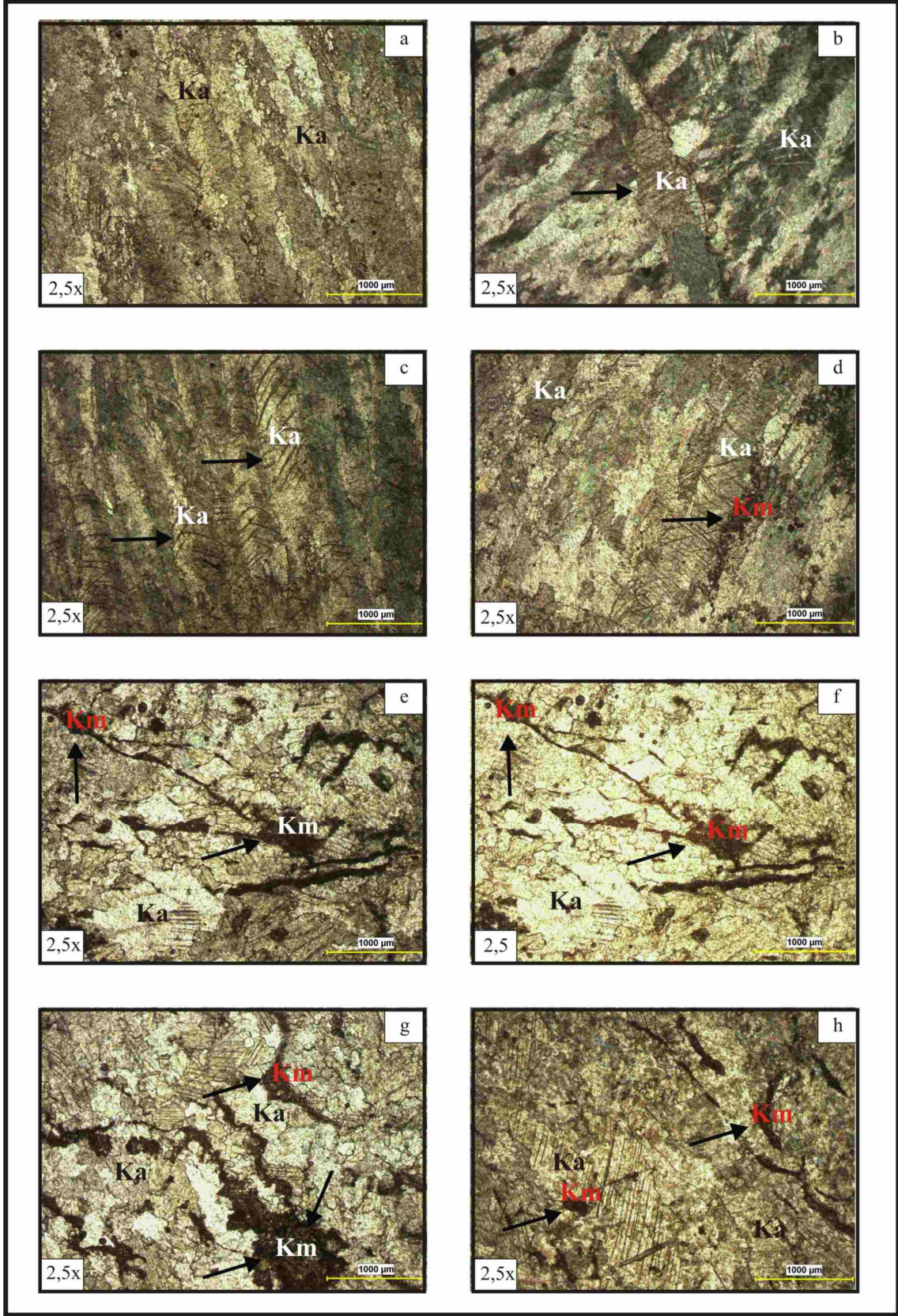
Şekil 4.3 Afyon Kaplan Postu mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri.

e) Uşak Yeşil Mermeri: Granoblastik doku sunan kayaçta başlıca mineraller kalsit (Ka) ve epidottur (Epd) (Şekil 4.4 a, b). Poligonal kalsit kristallerinde dilinim belirgin olup, heterojen tane boyutuna sahiptir. Pistaşit ve piemontit (Pie) kayaçta gözlenen en önemli epidot mineralleri (Epd) olup, sekonder olarak kayacın şistozite düzlemlerine uyumlu ve kalsit kristallerinin sınırları boyunca oluşmuştur (Şekil 4.4 c, d). Pistaşit, yeşil ve açık yeşil renkli olup, kayacın yeşil renginin gözleendiği bölümlerde yoğunlaşmıştır. Kayaçta gözlenen diğer bir epidot minerali piemontittir. Manganez bakımından zengin olan bu mineralin miktarı kayacın renginin koyulaşmasını sağlamakta, sarımsı yeşil ve mor iç yansıma göstermektedir. Poligonal kalsit tanelerinin arasında çok ince taneli kalsit ve ksenomorf kuvars (Q) kristalleri izlenmektedir (Şekil 4.4 e, f). Hornblend, plajiyoklas, amfibol ve muskovit kayaçta az oranda gözlenen diğer minerallerdir. Özşekli olarak bulunan plajiyoklas, kayaçta post-jenetik olarak oluşmuştur (Şekil 4.4 g). Amfiboller aktinolitik karakterlidir. Muskovit mineralleri çok küçük boyutlu olup, aktinolitlerle birlikte bulunurlar. Levhamsı kristaller halinde olan muskovitlerin kayaçtaki dağılımı şistozite düzlemlerine uyumludur (Şekil 4.4 h).

f) Akşehir Siyah Mermeri: Kayacın en önemli minerali, belirgin yönlenme sunan kalsit (Ka)'dir (Şekil 4.5 a, b). Kalsit kristallerine yer yer dolomit (D) minerali ve az oranda da mikronize kuvars (Q) kristalleri eşlik etmektedir. Yer yer dilinimlenme sunan kalsit kristallerinin bazı kristallerdeki dilinim düzlemleri bükülmüştür (Şekil 4.5 c, d). Ayrıca kayacın bazı bölümlerinde kalıntı halde köken kayaca ait olduğu düşünülen kireçtaşı parçaları gözlenmiştir. Kalsit kristallerinde basınç ikizlenmeleri belirgin, dantel örgü şeklinde olan kalsit kristallerinin sınırları ise çok belirgin değildir. Kayaçta yoğun bir şekilde görülen renkli mineraller çoğunlukla küçük boyutlu kalsit kristallerinin yüzeylerine, az oranda da iri boyutlu kalsit minerallerinin dilinim düzlemlerine yerleşmişlerdir (Şekil 4.5 e, f, g, h). Ayrıca, değişik doğrultularda kayacı kat eden ve kalınlıkları 2 mm'ye kadar ulaşan çatlak düzlemlerini sekonder mangan veya bitümlü malzeme doldurmuştur. Kalsit kristallerinin belirgin yönlenme sunması ve mikritik dokunun kısmen korunması, kayacın kristalize kireçtaşı olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 4.4 Uşak Yeşil mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri.



Şekil 4.5 Akşehir Siyahı mermerine ait ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri.

4.1.1.2 Kalsit Kristallerinin Mikroyapı Özellikleri

Kalsit kristallerinin mikro yapısal özellikleri CLEMEX görüntü analiz programı ile belirlenmiş ve elde edilen verilere ait aritmetik ortalamalar Çizelge 4.2’de verilmiştir. İncelenen örnekler içerisinde Afyon Şeker mermerinin en küçük boyutlu kalsit kristallerinden (0.269-0.424 mm); Uşak Beyaz mermerinin ise en büyük boyutlu kalsit kristallerinden (1.57-1.86 mm) oluştuğu görülmektedir. Kalsit kristallerinin küresellik değerleri 1.0 μm ’ye yaklaştıkça artarken, bu değerden uzaklaştıkça azalmaktadır. Çalışmada kullanılan mermerlerde kalsit kristallerinin küresellik değerleri incelendiğinde, Akşehir siyah mermerinin en düşük küresellik değerine (0.53-0.55 μm), Muğla Beyaz mermerinin ise en yüksek küresellik değerine (0.70-0.71 μm) sahip olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan tüm mermer örneklerinin polarizan mikroskopta belirlenen pürüzlülük değerleri 0.87-0.94 μm arasında değişirken, en düşük pürüzlülük değeri (0.87-0.88 μm) Akşehir Siyah mermerinde, en yüksek pürüzlülük değeri (0.94 μm) ise Muğla beyaz mermerinde ölçülmüştür.

4.1.2 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri

SEM görüntülerinde, Afyon Şeker mermerinde en önemli karbonat dışı mineralin mika (Mi) olduğu ve karbonat dışı minerallerin büyük oranda kayaçtaki çatlaklar ve az oranda da kalsit kristallerinin yüzeyleri boyunca oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 4.6 a, b). Ayrıca düşük oranda kuvars ve klorit (Kl) minerallerinin varlığı (Şekil 4.6 b, c) tespit edilmiştir. Çatlakların yoğun olduğu bölgelerde yapılan EDX ölçümlerinden elde edilen analiz değerleri (Na_2O : %0.75-4.68, Al_2O_3 : %2.42-33.33, SiO_2 : %1.41-42.24 ve K_2O : %0.52-9.52), muskovit minerali bileşimini ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$) işaret etmektedir (Şekil 4.6 a, b, c, d). Bunların dışındaki bazı bölgelerde MgO ’in %21.79 gibi yüksek bir değere ulaşması, çatlaklarda sekonder dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.6 b). %42.24’lük SiO_2 oranı ise kayaçtaki sekonder kuvars mineraliyle ilişkilidir (Şekil 4.6 a). Ayrıca, %0.66-10.86 arasında değişen Fe_2O_3 , bir yandan çatlaklardaki sekonder demir minerallerini işaret ederken, diğer yandan, varlığı XRD grafiklerinde de ispat edilen ve $(\text{Fe},\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ bileşimindeki klorit (Kl) mineraliyle ilişkilendirmek mümkündür (Şekil 4.6 b, c).

Çizelge 4.2 CLEMEX görüntü analiz programı verileri.

	Alan (μm^2)	Çevre (μm)	Konveks Çevre (μm)	Uzunluk (μm)	Genişlik (μm)	Enlilik (μm)	Köşegen Uzunluğu (μm)	Ortalama Feret (μm)	Küresellik (%)	En/boy Oranı (%)	Pürüzlülü k (μm)
Afyon Şeker X	34686.48±20285.50	833.11±293.95	740.94±226.05	277.89±86.99	183.42±60.05	198.45±66.32	268.63±84.61	235.80±71.94	0.61±0.11	1.51±0.30	0.90±0.05
Afyon Şeker Y	93577.74±67647.06	1347.87±596.59	1182.68±447.86	438.37±170.39	299.08±112.56	325.91±127.71	423.70±165.90	376.38±142.53	0.62±0.13	1.49±0.27	0.90±0.07
Afyon Şeker Z	64363.33±49249.41	1124.73±575.99	994.25±369.65	375.07±152.12	245.29±83.33	261.25±89.91	364.07±151.90	316.42±117.64	0.63±0.12	1.53±0.29	0.91±0.06
Uşak Beyaz X	1337462.40±1133921.83	5105.93±1878.19	4397.79±1539.30	1613.86±560.65	1139.71±434.60	1214.47±456.32	1566.39±549.29	1399.58±489.88	0.58±0.09	1.45±0.21	0.87±0.05
Uşak Beyaz Y	1872207.17±1203895.72	5960.20±2163.39	5200.90±1728.23	1937.28±631.46	1325.60±485.47	1438.81±564.50	1861.70±591.09	1655.16±550.00	0.61±0.07	1.49±0.24	0.88±0.04
Uşak Beyaz Z	1620879.85±1156771.32	5488.29±2261.73	4766.78±1859.07	1768.65±706.64	1242.31±487.06	1329.64±533.77	1703.20±688.21	1517.01±591.64	0.61±0.09	1.43±0.22	0.88±0.05
Mugla Beyaz X	242444.90±170593.52	1982.50±711.00	1861.30±640.93	691.24±240.68	471.23±172.63	505.02±186.81	669.68±234.84	592.35±203.97	0.71±0.08	1.50±0.25	0.94±0.02
Mugla Beyaz Y	247703.96±164110.34	2021.61±684.23	1894.96±613.39	700.53±228.56	481.87±170.81	520.24±182.26	676.30±224.39	603.06±195.21	0.70±0.09	1.49±0.27	0.94±0.03
Mugla Beyaz Z	299078.80±199379.44	2202.24±732.55	2066.78±653.18	764.17±242.08	526.76±179.25	568.30±195.23	737.32±237.12	657.74±207.87	0.71±0.08	1.48±0.23	0.94±0.03
Afyon Kaplan Postu X	109875.79±78773.86	1402.64±523.59	1288.08±435.11	483.89±169.14	317.78±109.36	348.67±125.55	465.29±162.48	409.93±138.47	0.66±0.10	1.54±0.27	0.93±0.04
Afyon Kaplan Postu Y	157020.28±133624.40	1761.72±832.16	1558.71±597.55	599.43±241.60	370.13±139.10	394.16±149.79	583.42±240.97	496.05±190.17	0.60±0.12	1.63±0.34	0.90±0.05
Afyon Kaplan Postu Z	108831.44±61507.21	1423.20±451.95	1310.57±386.64	500.21±158.04	314.82±91.25	340.93±102.94	486.23±157.48	417.08±123.05	0.65±0.10	1.61±0.34	0.93±0.03
Uşak Yeşil X	157885.52±110717.89	1748.55±641.47	1610.44±545.77	647.86±231.74	343.65±120.89	367.35±129.48	634.89±230.75	512.52±173.69	0.61±0.10	1.94±0.52	0.93±0.04
Uşak Yeşil Y	181248.42±150650.07	1791.83±781.54	1641.02±657.35	631.07±264.00	385.95±150.49	418.91±173.96	610.10±256.43	522.25±209.20	0.65±0.10	1.65±0.38	0.93±0.04
Uşak Yeşil Z	123172.80±78088.03	1451.84±472.87	1343.40±411.99	492.48±155.24	349.52±112.41	376.84±122.74	475.38±150.72	427.53±131.11	0.69±0.09	1.43±0.22	0.93±0.03
Akşehir Siyahı X	169504.77±155926.46	1930.11±1021.28	1679.62±859.03	682.29±393.14	339.56±135.33	364.83±146.40	670.04±392.16	534.53±273.38	0.53±0.12	1.98±0.63	0.88±0.05
Akşehir Siyahı Y	174703.55±387407.40	1822.32±1033.31	1588.19±884.26	630.13±354.35	343.36±200.65	370.20±214.80	615.66±353.65	505.43±281.41	0.53±0.11	1.91±0.66	0.88±0.05
Akşehir Siyahı Z	101105.46±80833.76	1468.43±659.27	1252.18±508.88	472.62±197.34	306.89±128.34	331.60±140.39	457.68±193.57	398.50±161.95	0.55±0.12	1.57±0.34	0.87±0.06

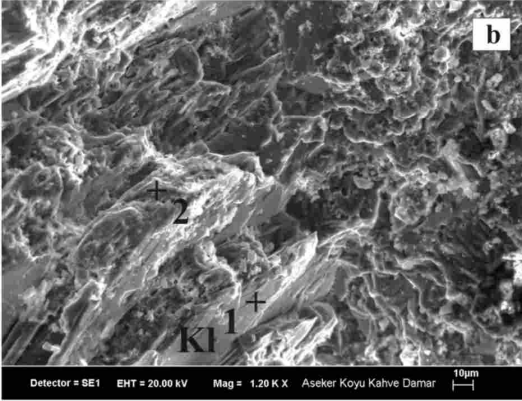
Uşak Beyaz (Şekil 4.7 a, b) ve Muğla Beyaz (Şekil 4.7 c, d) örneklerinde, çatlaklar boyunca kayacı kat etmiş damarlar hiç gözlenmezken, bu iki mermerin tamamen kalsit (Ka) mineralinden oluştuğu gözlenmiştir. Nitekim, bu örneklere ait EDX incelemelerinde ölçülen CaO oranları %100'dür.

Afyon Kaplan Postu mermerine ait SEM incelemeleri, karbonat dışı minerallerin (KDM) çoğunlukla kalsit kristallerinin yüzeyinde oluştuğunu göstermiş (Şekil 4.8 a, b, c, d) ve kalsit kristallerinde CaO oranı %100 olarak ölçülmüştür. Örneğin koyu renkli kısımlarında bulunan kristal yüzeylerinde tespit edilen Na₂O: %0.76-6.66, MgO: 0.64-0.89, Al₂O₃: %1.20-89.53, SiO₂: %0.10-16.79, K₂O: %0.40-3.84 ve Fe₂O₃: %76.98 değerleri, karbonat dışı minerallerin başlıca mika, kuvars ve demir minerallerinden oluştuğunu, bazı bölgelerde ölçülen %8.85'lik Cr₂O₃ oranı ise kromit mineraliyle ilişkili olduğunu göstermektedir.

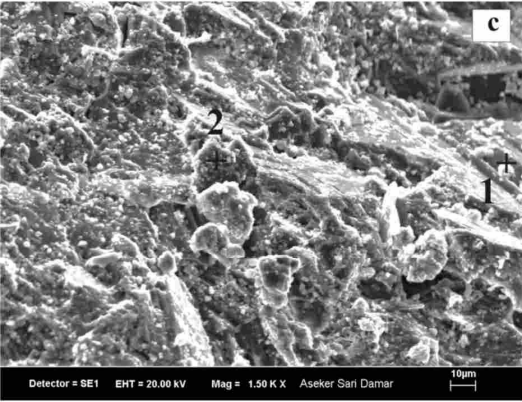
Uşak Yeşili örneğinde kalsit (Ka), kuvars (Q) ve epidot (Epd) minerallerinin ritmik olarak tekrarlanma sunduğu ve epidot minerallerinin çoğunlukla kalsit kristallerinin sınırları boyunca ve özşekilli olarak oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 4.9 a, b). Özşekilli epidot minerallerinde yapılan EDX incelemelerinde Na₂O: %2.87-5.19, MgO: 14.51-15.35, Al₂O₃: %2.51-3.35, SiO₂: %58.37-62.05, CaO: %10.77-12.23 ve Fe₂O₃: %3.61-5.83 oranları belirlenmiştir (Şekil 4.9 a, c). Bu değerler epidot mineralinin Mg ve Fe bakımından zengin olduğunu ve örneğin çoğunlukla pistaşit [Ca₂(Al₂Fe³⁺)Si₃O₁₂(OH)] türünde epidot mineralinden meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca kayacın bazı bölümlerinde özşekilsiz silis mineralleriyle mika (Mi) birlikteliği izlenmiş (Şekil 4.9 d), muskovit mineralinde Na₂O: %1.13, MgO: %3.04, Al₂O₃: %21.92, SiO₂: %60.33, K₂O: %9.15, CaO: %0.81 ve Fe₂O₃: %3.61 değerleri elde edilmiştir.



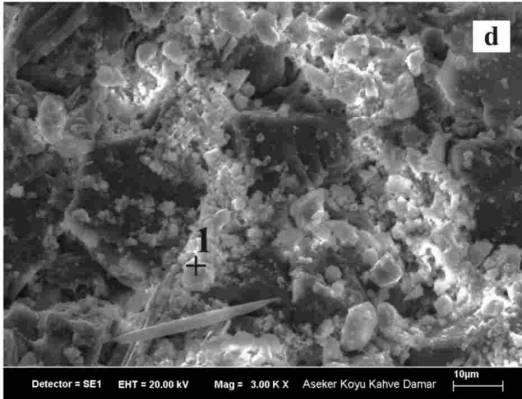
Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2	Spektrum: 3
Na ₂ O	0.75	1.97	-
MgO	0.70	1.50	0.66
Al ₂ O ₃	2.42	33.33	-
SiO ₂	5.23	42.24	-
K ₂ O	1.21	9.52	-
CaO	87.37	9.05	99.34
Fe ₂ O ₃	2.31	2.40	-



Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2
Na ₂ O	4.68	1.17
MgO	2.98	21.79
Al ₂ O ₃	5.88	28.34
SiO ₂	6.45	32.84
K ₂ O	1.09	-
CaO	68.06	1.24
TiO ₂	-	3.83
Fe ₂ O ₃	10.86	10.79

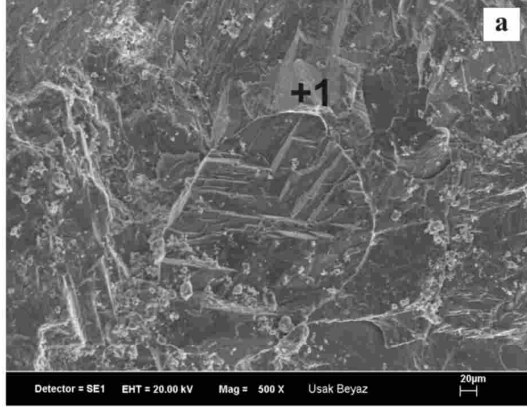


Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2
MgO	1.99	19.40
Al ₂ O ₃	1.38	-
SiO ₂	1.41	-
K ₂ O	0.52	-
CaO	92.95	76.33
TiO ₂	1.08	-
Fe ₂ O ₃	0.66	4.27

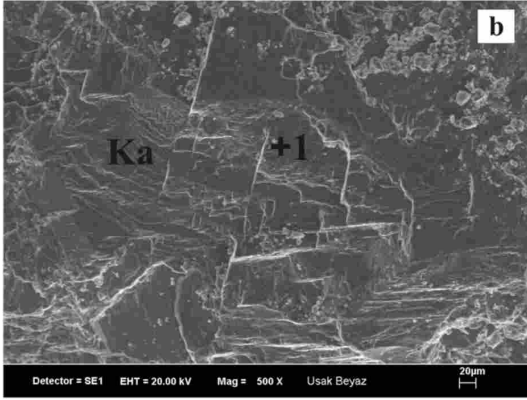


Oksitler (%)	Spektrum: 1
Na ₂ O	3.72
MgO	1.78
Al ₂ O ₃	4.40
SiO ₂	5.21
K ₂ O	1.59
CaO	82.25
CuO	1.05

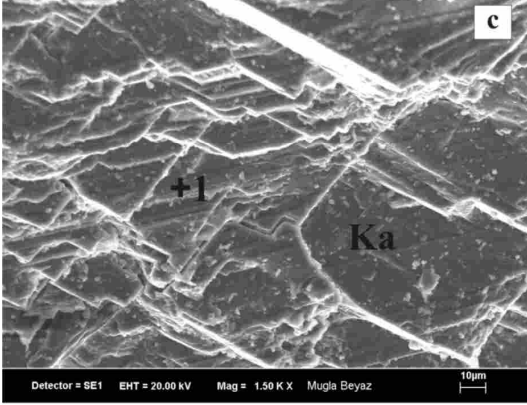
Şekil 4.6 Afyon Şeker mermerine ait SEM-EDX sonuçları.



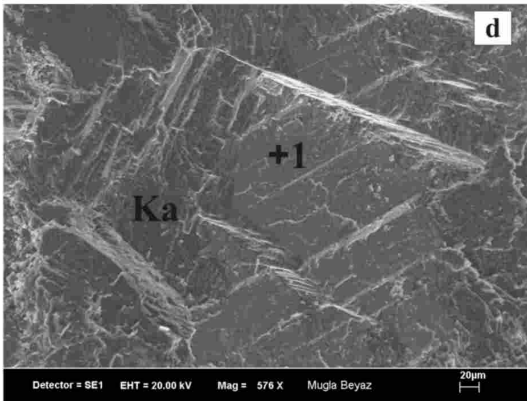
Oksitler (%)	Spektrum: 1
CaO	100.00



Oksitler (%)	Spektrum: 1
CaO	100.00

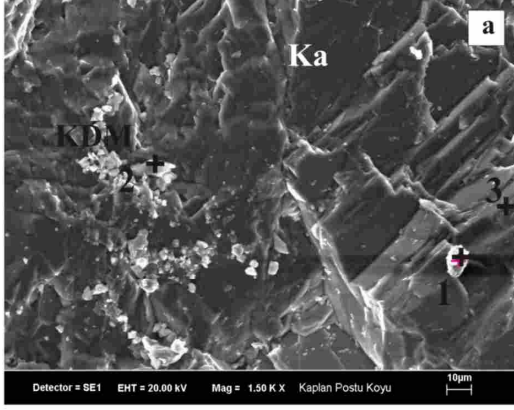


Oksitler (%)	Spektrum: 1
CaO	100.00

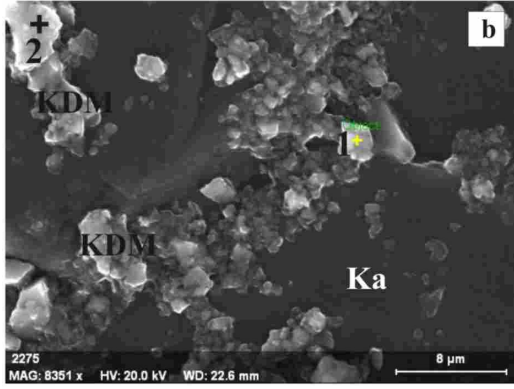


Oksitler (%)	Spektrum: 1
CaO	100.00

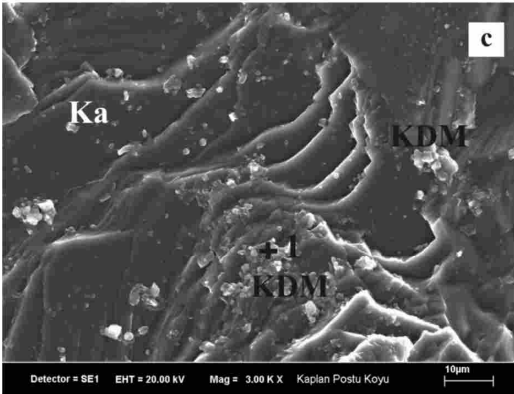
Şekil 4.7 Uşak Beyaz ve Muğla Beyaz mermerlerine ait SEM-EDX sonuçları.



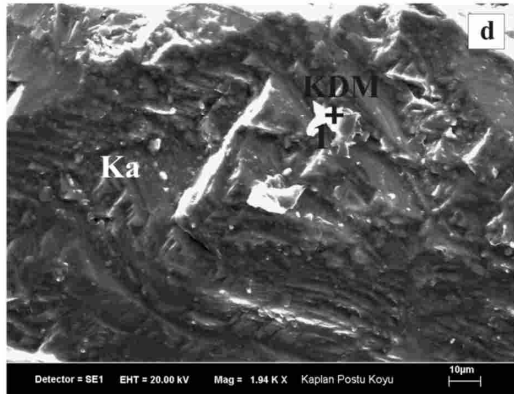
Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2	Spektrum: 3
Na ₂ O	0.76	1.50	–
MgO	–	0.89	–
Al ₂ O ₃	–	89.53	–
SiO ₂	0.10	0.89	–
Cl	6.95	–	–
CaO	6.36	7.19	100.00
Cr ₂ O ₃	8.85	–	–
Fe ₂ O ₃	76.98	–	–



Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2
Na ₂ O	6.29	–
MgO	0.64	0.77
Al ₂ O ₃	6.51	5.07
SiO ₂	16.79	–
K ₂ O	0.40	–
CaO	69.37	94.15
Fe ₂ O ₃	–	–

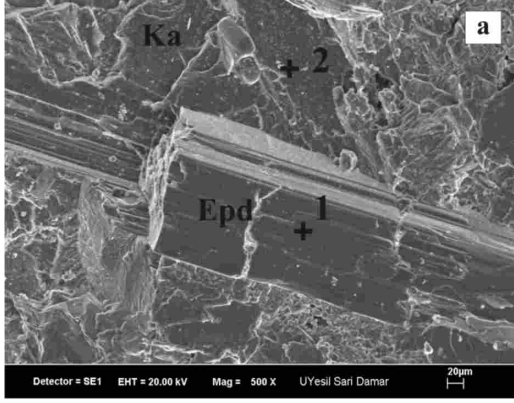


Oksitler (%)	Spektrum: 1
Na ₂ O	2.12
Al ₂ O ₃	1.20
SiO ₂	0.85
K ₂ O	0.45
CaO	95.38

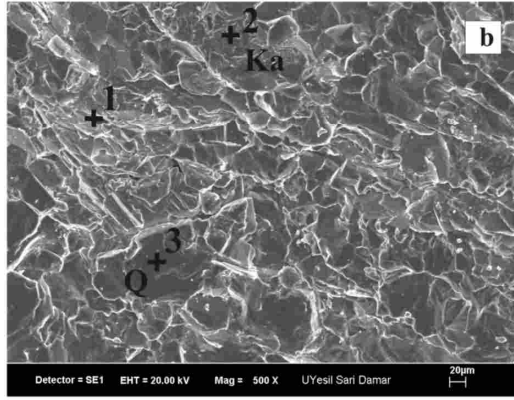


Oksitler (%)	Spektrum: 1
Na ₂ O	6.66
Al ₂ O ₃	1.56
SiO ₂	3.51
SO ₃	3.64
Cl	2.67
K ₂ O	3.84
CaO	78.13

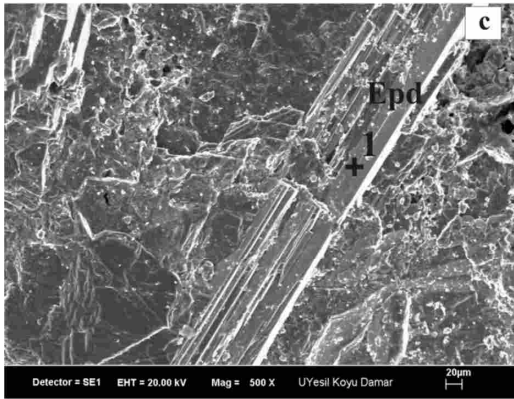
Şekil 4.8 Afyon Kaplan Postu mermerine ait SEM-EDX sonuçları.



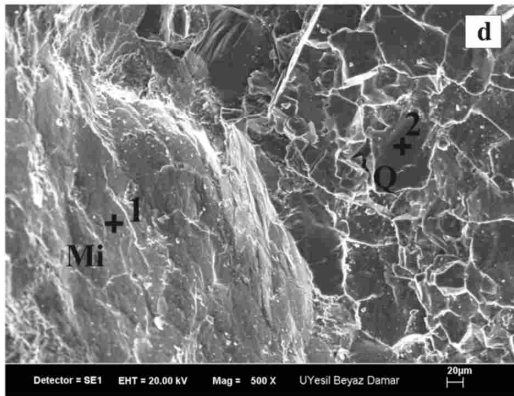
Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2
Na ₂ O	2.87	—
MgO	14.51	—
Al ₂ O ₃	2.51	—
SiO ₂	62.05	0.51
CaO	12.23	99.49
Fe ₂ O ₃	5.83	—



Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2	Spektrum: 3
MgO	3.16	—	—
Al ₂ O ₃	27.68	—	—
SiO ₂	52.14	—	100.00
K ₂ O	11.20	—	—
CaO	—	100.00	—
Fe ₂ O ₃	5.82	—	—



Oksitler (%)	Spektrum: 1
Na ₂ O	5.19
MgO	15.35
Al ₂ O ₃	3.35
SiO ₂	58.37
CaO	10.77
Fe ₂ O ₃	6.98



Oksitler (%)	Spectrum: 1	Spectrum: 2
Na ₂ O	1,13	—
MgO	3,04	—
Al ₂ O ₃	21,92	—
SiO ₂	60,33	100,00
K ₂ O	9,15	—
CaO	0,81	—
Fe ₂ O ₃	3,61	—

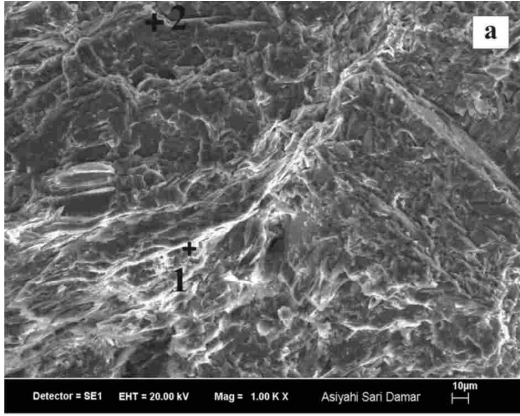
Şekil 4.9 Uşak Yeşil mermerine ait SEM-EDX sonuçları.

Akşehir Siyahı mermerine ait SEM analizleri, kayacın sarı ve yeşil damarlı bölümlerinde gerçekleştirilmiş, sarı renkli damarların egemen olduğu bölümlerde MgO: %1.04-3.62, Al₂O₃: %1.16-30.16, SiO₂: %38.48-52.71, K₂O: %8.22-11.81, CaO: %0.38-8.73 ve Fe₂O₃: %0.80-1.16 değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.10 a;b;d). Bu veriler, sarı renkli damarlarda demir ve mika minerallerinin birlikteliğine işaret etmektedir. Diğer yandan, yeşil renkli damarlarda yapılan SEM incelemelerinde elde edilen analiz değerleri Na₂O: %0.02, MgO: %6.43-8.93, Al₂O₃: %21.64-22.36, SiO₂: %33.43-35.26, K₂O: %2.92-5.28, CaO: %5.28-10.95, TiO₂: %1.76 ve Fe₂O₃: %19.77-25.97 olup (Şekil 4.10 c), bu veriler yeşil renkli damarların büyük oranda klorit [(Fe, Mg, Al)₆(Si, Al)₄O₁₀(OH)₈], (Kl) az oranda mika, demir minerali ve kuvarstan oluştuğunu göstermektedir. EDX verileri, Çizelge 4.3’de verilen XRD sonuçlarını teyit etmektedir.

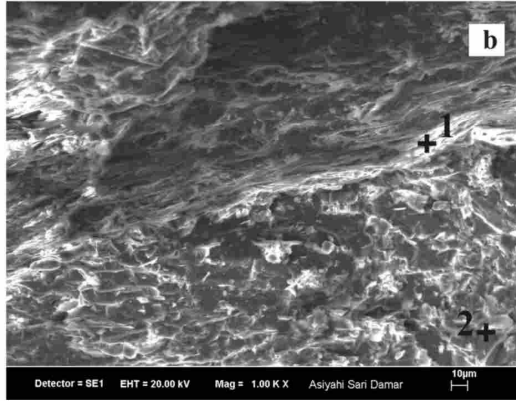
4.1.3 X-Işınları Difraktometresi (XRD) İncelemeleri

Mermer örneklerinin parlatılabilme özelliklerinin etkileyen en önemli faktörlerden birisi kayacın içindeki karbonat dışı minerallerin türü ve miktarı olduğundan, bu bölümde mermer örneklerinde ki, karbonat dışı minerallerin ayırt edilmesine yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

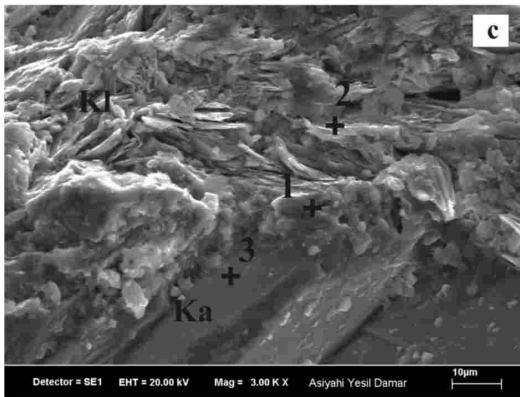
Mermer örneklerinin XRD difraktogramları incelendiğinde, örneklerdeki başlıca mineralin kalsit olduğu görülmüştür. Sadece Akşehir Siyahında, kalsite, karbonatlı mineral olarak dolomit eşlik etmektedir. Afyon Şeker ve Kaplan Postu örneklerinde mika ve kuvars, karbonat dışı mineraller olarak gözlenirken, Uşak Yeşil örneğinde kuvars, feldspat, mika, hornblend, piemontit ve hematit mineralleri dikkat çekmiştir (Çizelge 4.3).



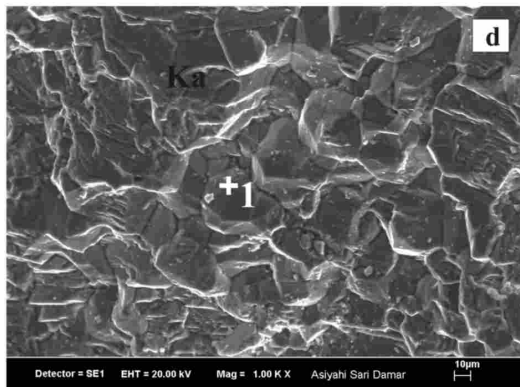
Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2
MgO	3.62	0.03
Al ₂ O ₃	30.16	–
SiO ₂	38.48	–
K ₂ O	8.22	–
CaO	8.73	99.97
Fe ₂ O ₃	0.80	–



Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2
MgO	1.04	–
Al ₂ O ₃	1.16	0.90
SiO ₂	52.71	1.15
K ₂ O	11.81	0.65
CaO	0.38	97.30
Fe ₂ O ₃	1.16	–



Oksitler (%)	Spektrum: 1	Spektrum: 2	Spektrum: 3
Na ₂ O	0.02	–	–
MgO	6.43	8.93	–
Al ₂ O ₃	22.36	21.64	–
SiO ₂	33.43	35.26	–
K ₂ O	5.28	2.92	–
CaO	10.95	5.28	100.00
Ti ₂ O	1.76	–	–
Fe ₂ O ₃	19.77	25.97	–



Oksitler (%)	Spektrum: 1
CaO	100.00

Şekil 4.10 Akşehir Siyah mermerine ait SEM-EDX sonuçları.

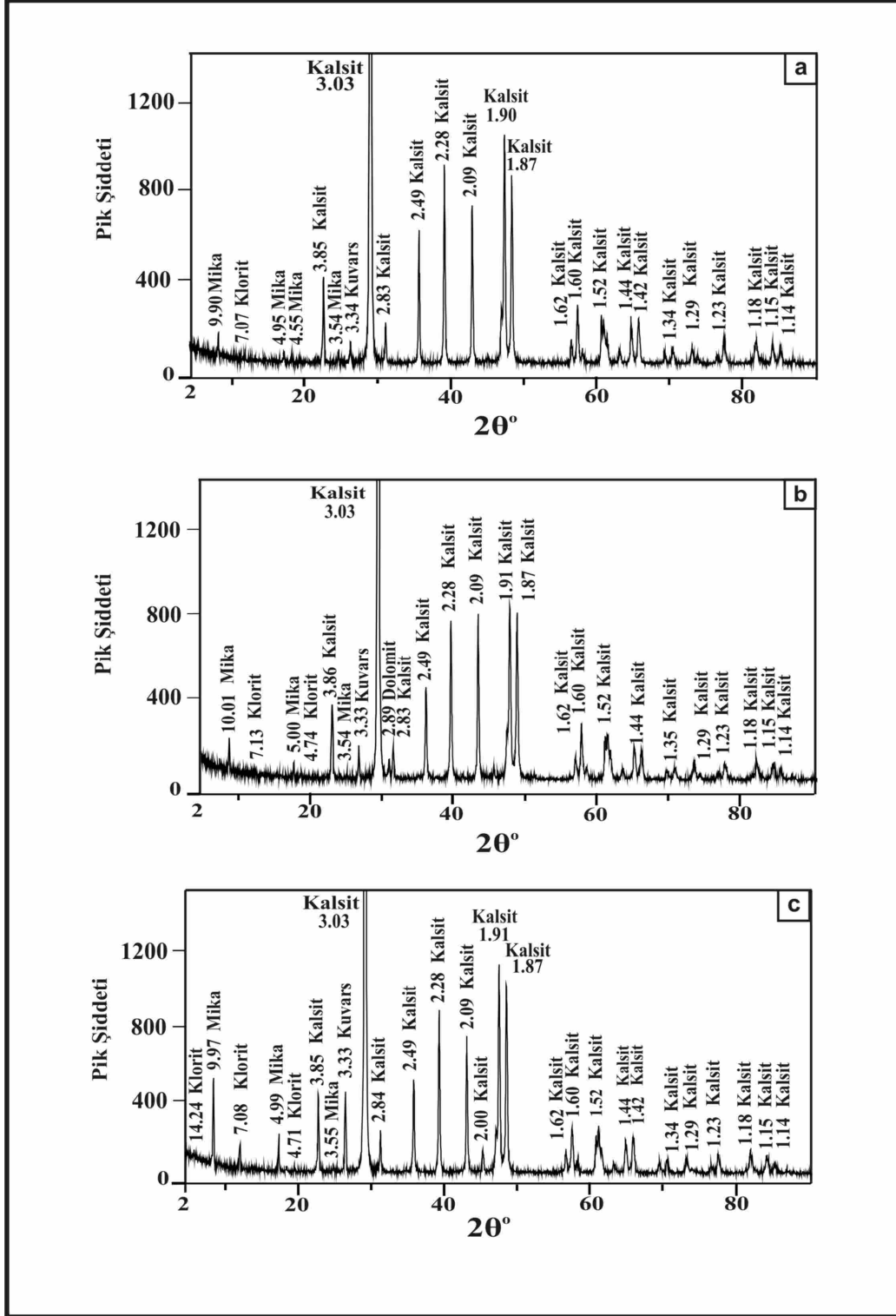
Çizelge 4.3. Mermer örneklerine ait yarı kantitatif XRD sonuçları.

Örnek Adı	Ka (%)	D (%)	Q (%)	Fld (%)	Mi (%)	Kl (%)	Hn (%)	Epd (%)	Hm (%)
Afyon Şeker (Damarsız)	94	-	1	-	5	-	-	-	-
Afyon Şeker (Sarı Damarlı)	81	3	1	-	15	-	-	-	-
Afyon Şeker (Kahve renkli Damarlı)	79	-	1	-	20	14	-	-	-
Uşak Beyaz	100	-	-	-	-	-	-	-	-
Muğla Beyaz	100	-	-	-	-	-	-	-	-
Afyon Kaplan Postu (Açık)	94	-	1	-	5	-	-	-	-
Afyon Kaplan Postu (Koyu)	89	-	1	-	10	-	-	-	-
Uşak Yeşili (Açık)	58	-	13	2	17	-	-	10	-
Uşak Yeşili (Koyu)	62	-	1	1	31	-	3	5	2
Akşehir Siyahı	99	1	-	-	-	-	-	-	-
Akşehir Siyahı (Sarı Damarlı)	94	-	1	-	5	-	-	-	-
Akşehir Siyahı (Yeşil Damarlı)	76	-	1	-	11	12	-	-	-

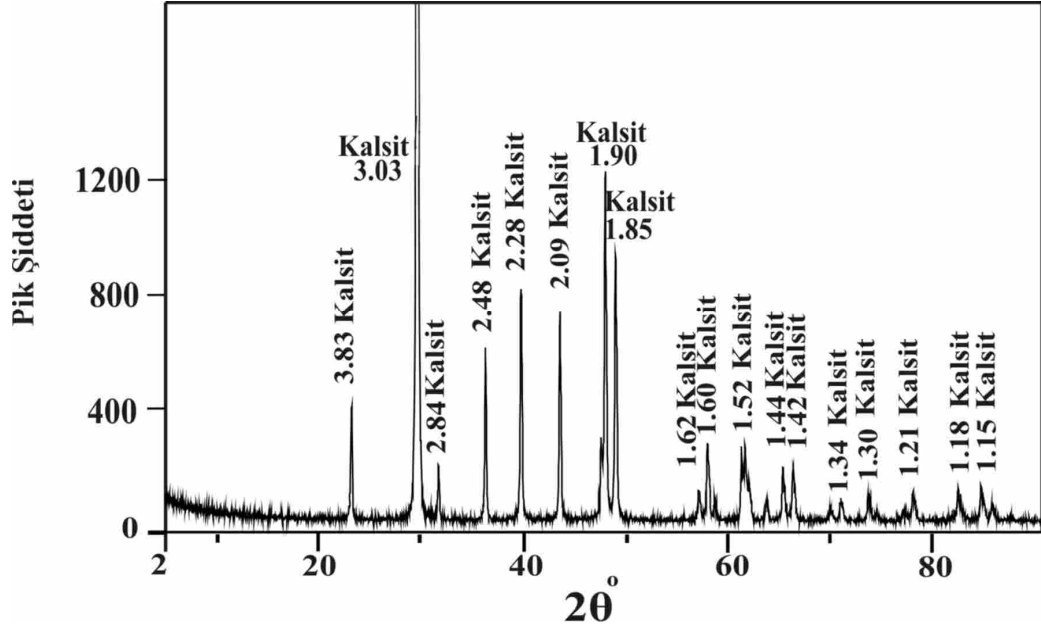
Not: (Ka): Kalsit, (D): Dolomit, (Q): Kuvars, (Mi): Mika, (Fld): Feldspat, (Kl): Klorit, (Hn): Hornblend, (Epd): Epidot ve (Hm): Hematit.

Mermerlerde makroskobik olarak gözlenen değişik renkli damar, bant ve bölgelerden ayrıca örnekler alınarak XRD analizleri yapılmış, bunlar arasındaki mineralojik farklılıklar ortaya konmuştur. Afyon Şeker mermerinin damarsız ve damarlı bölümlerinde yapılan XRD incelemelerine göre, kayada artan damar oranına bağlı olarak dolomit, klorit, mika ve kuvars minerallerinin miktarında artışlar gözlenmiştir (Şekil 4.11). Muğla Beyaz ve Uşak Beyaz mermerlerinde ise sadece kalsit minerali tespit edilmiştir. Bu mineral dışında ikincil bir minerale rastlanmamıştır (Şekil 4. 12 ve Şekil 4.13). Afyon Kaplan Postu mermerinin açık ve koyu renkli bölümlerine ait XRD sonuçları, kayadaki renk koyulaşmasına bağlı olarak mika ve kuvars minerallerinin miktarının az da olsa arttığını ve renk koyulaşmasının bu minerallerle ilişkili olarak gerçekleştiğini göstermiştir (Şekil 4.14). Uşak Yeşil mermerinde ritmik olarak tekrarlanma sunan açık ve koyu yeşil renkli seviyelerin, renk koyulaşmasına bağlı olarak mika ve piemontit miktarının arttığı buna karşın kuvars miktarının ise azaldığı görülmüştür. Açık seviyelerden farklı olarak, koyu renkli seviyelerde hornblend ve hematit gibi koyu renkli mineraller belirlenmiş olup, bu seviyelerdeki ton

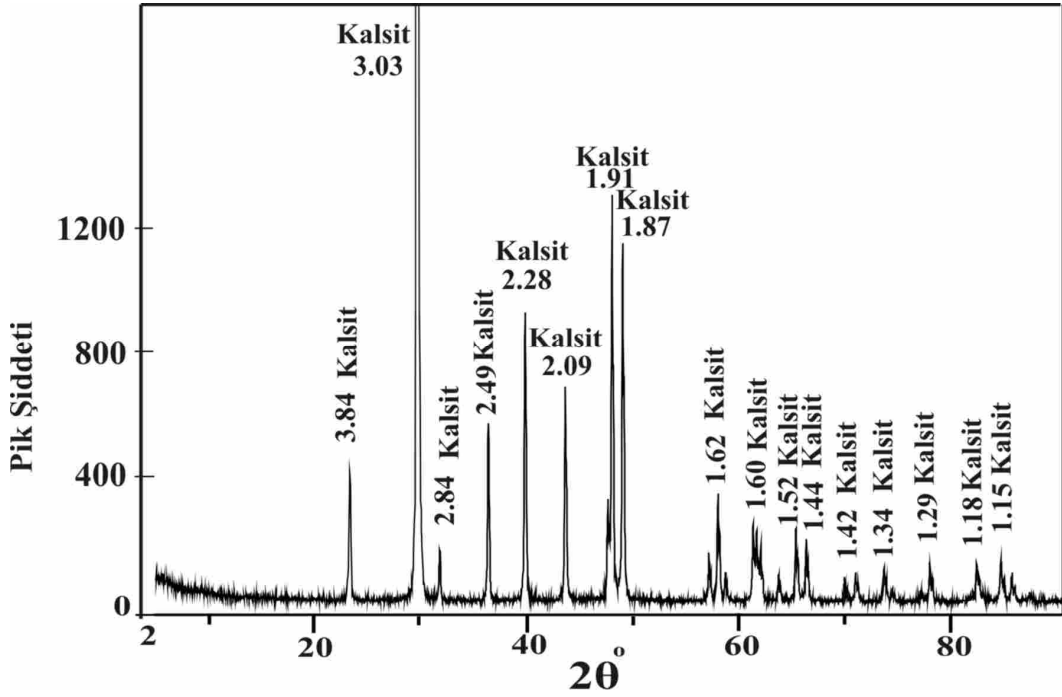
farklılıklarının yukarıda anlatılan minerallerin miktarlarındaki değişim ile koyu renkli minerallerin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.15).



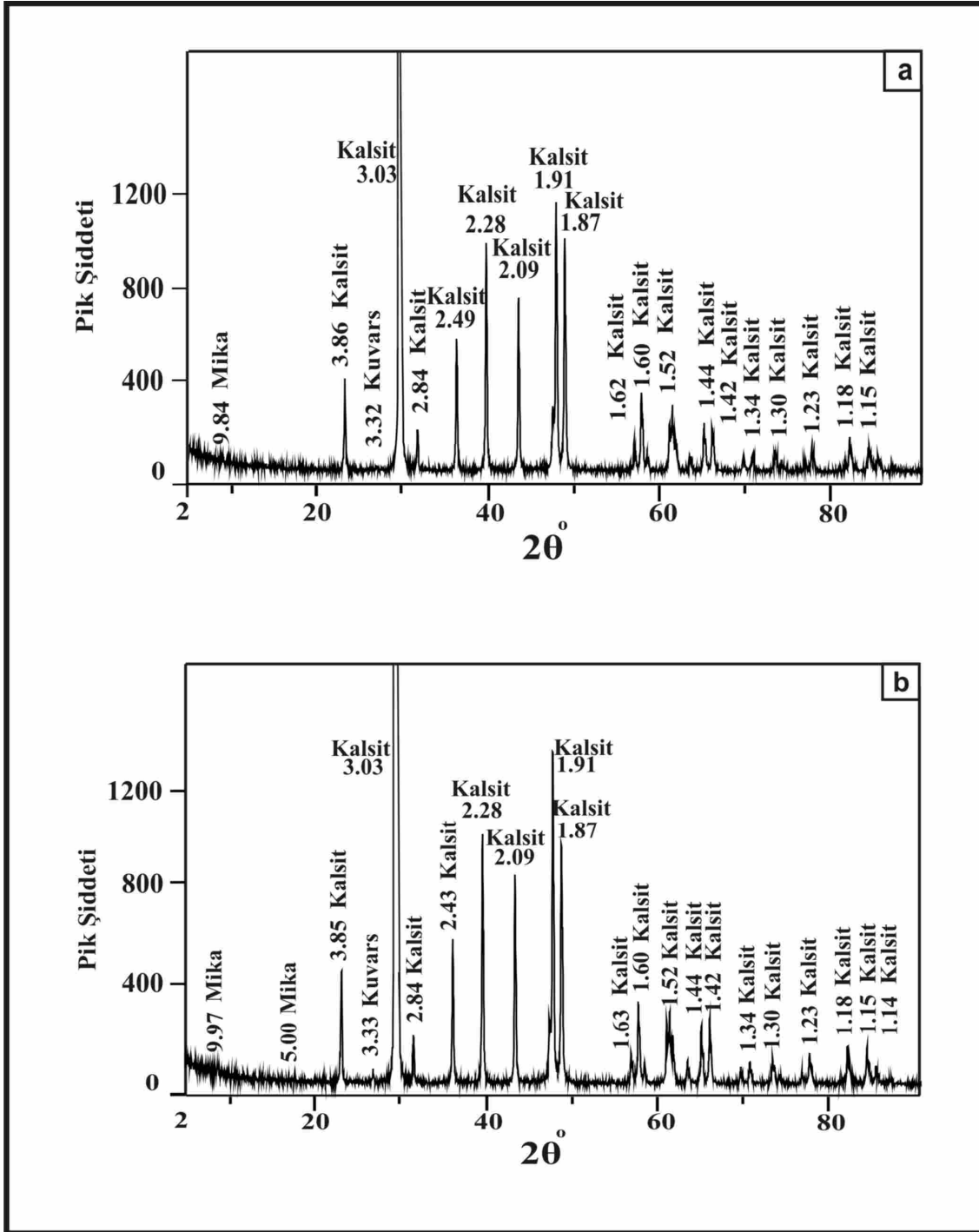
Şekil 4.11 Afyon Şeker mermerine ait XRD grafiği; (a) Tüm mermer, (b) Sarı damar, (c) Koyu kahve damar.



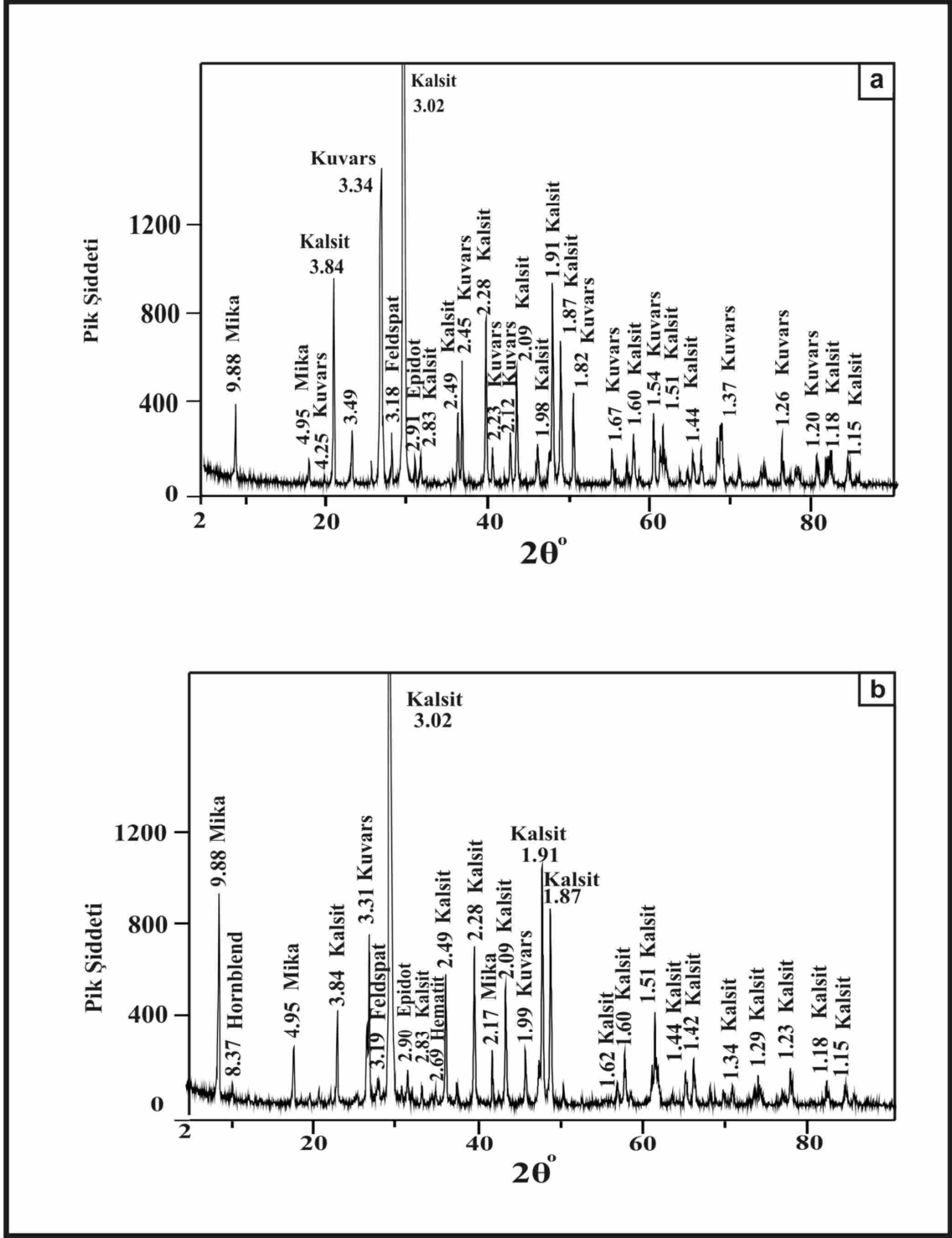
Şekil 4.12 Uşak Beyaz mermerine ait XRD grafiği.



Şekil 4.13 Muğla Beyaz mermerine ait XRD grafiği.



Şekil 4.14 Afyon Kaplan Postu mermerine ait XRD grafiği; (a) Açık damar, (b) Koyu damar.



Şekil 4.15 Uşak Yeşil mermerine ait XRD grafiği; (a) Açık damar, (b) Koyu damar.

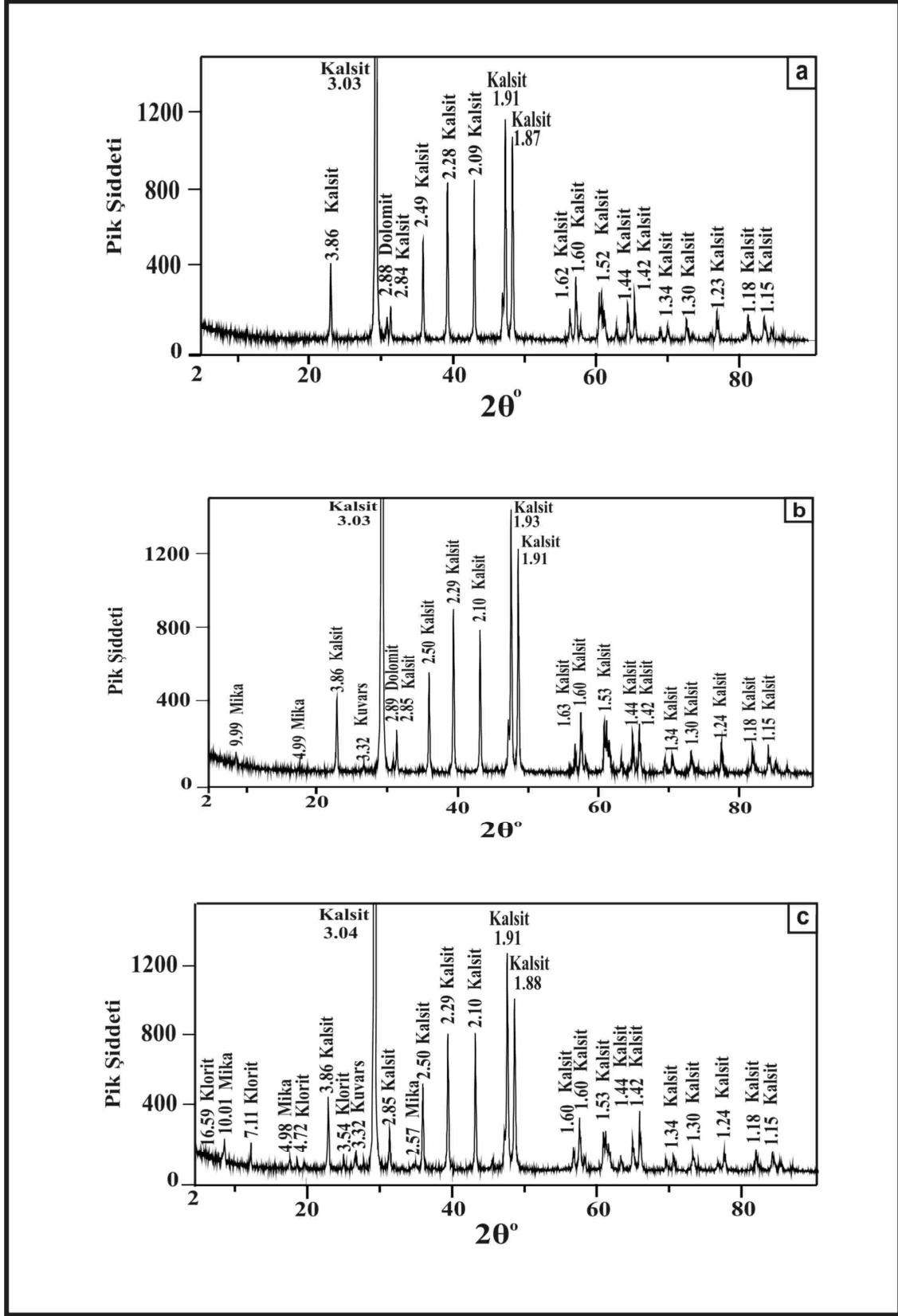
Akşehir Siyah mermerindeki yaygın sarı ve yeşil renkli damarlara ait XRD sonuçları incelendiğinde, kayacın diğer bölümlerinden farklı olarak, damarların bulunduğu bölgede kalsitle birlikte klorit, mika ve kuvars mineralleri gözlenmiştir. Sarı damarların olduğu bölümlerde mika, kuvars ve dolomit mineralleri görülürken, yeşil damarlı bölümlerde dolomit hiç gözlenmemiş, mika ve kuvars minerallerinin miktarı artmış ve bunlara klorit minerali eşlik etmiştir (Şekil 4.16).

4.1.4 Çatlak ve Damarların Gözle Tayini

İncelenen örnekler içerisinde, Akşehir Siyahı en yoğun çatlak ve damara sahip mermerdir. %34.28 çatlak yoğunluğuna sahip örnekteki çatlaklar sarı ve yeşil renkli sekonder dolgular içermektedir. Uşak Beyaz mermeri ise az miktarda kılcal çatlak içermektedir. Bu mermerin çatlak yoğunluğu ise %0.32'dir. Afyon Kaplan Postu mermerinin çatlak yoğunluğu %29.31 olarak tespit edilmiştir. Bu mermeri sırası ile, Afyon Şeker (%10.42), Uşak Yeşili (%7.83) ve Muğla Beyazı (%6.93) izlemektedir.

4.1.5 Jeokimyasal İncelemeler

Mermer örneklerinin kimyasal analiz sonuçları büyük oranda mineralojik bileşimlerini yansıtmaktadır. Çoğunlukla kalsit mineralinden meydana gelen Afyon Şeker, Uşak Beyaz, Muğla Beyaz ve Afyon Kaplan Postu örneklerinin CaO oranları birbirine oldukça yakın olup, %54.02-56.17 arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Uşak Yeşil örneğinde tespit edilen CaO oranı ise %43.59'dur. Örneklerde dolomitin varlığına işaret eden MgO oranları; Afyon Şeker, Uşak Beyaz, Muğla Beyaz ve Afyon Kaplan Postu'nda %0.15-0.8 arasında değişmektedir. Uşak Yeşil örneğinde maksimum %1.14'e ulaşan MgO değeri kayadaki epidot mineralinden kaynaklanmaktadır. Saf mermer örneklerinde SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri oldukça düşükken, karbonat dışı minerallerin artan miktarlarına bağlı olarak bu oksitlerin oranları da yükselmektedir. Nitekim, bu oksitlerin toplamı Uşak Yeşil örneğinde %16.64 iken, Afyon Şeker, Uşak Beyaz, Muğla Beyaz ve Afyon Kaplan Postu örneklerinde ise %0.18-1.49 arasında değişmektedir.



Şekil 4.16 Akşehir Siyahı mermerine ait XRD grafiği; (a) Tüm mermer, (b) Sarı damar, (c) Yeşil damar.

Çizelge 4.4. Mermerlere ait kimyasal analiz sonuçları.

	Birim	Afyon Şeker	Uşak Beyaz	Muğla Beyaz	Afyon Kaplan	Uşak Yeşili	Akşehir Siyahı
SiO ₂	%	0.89	0.23	0.12	0.51	12,31	0.55
Al ₂ O ₃	%	0.45	<0.01	<0.01	0.16	3.1	0.16
Fe ₂ O ₃	%	0.16	0.04	<0.04	0.07	1.76	0.07
MgO	%	0.7	0.8	0.36	0.15	1.14	0.32
CaO	%	54.02	55.45	56.17	55.5	43.59	55.03
Na ₂ O	%	0.01	0.03	0.03	0.03	0.38	0.04
K ₂ O	%	0.12	<0.01	<0.01	0.05	0.81	0.06
TiO ₂	%	0.02	<0.01	<0.01	0.01	0.13	<0.01
P ₂ O ₅	%	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.06	<0.01
MnO	%	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.19	<0.01
Cr ₂ O ₃	%	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.006	<0.002
Ni	%	<20	<20	<20	<20	58	<20
Sc	ppm	<1	<1	<1	<1	5	<1
A.Z.	%	43.6	43.4	43.3	43.4	36.4	43.7
Sum	%	99.96	99.95	99.97	99.97	99.83	99.96
Ba	ppm	15	2	<1	4	91	6
Be	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	ppm	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	20.3	<0.2
Cs	ppm	0.1	<0.1	<0.1	0.1	1.4	<0.1
Ga	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	3.5	<0.5
Hf	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	<0.1
Nb	ppm	0.7	<0.1	<0.1	0.3	2.1	<0.1
Rb	ppm	3.3	0.2	<0.1	0.5	26.5	2.3
Sn	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	ppm	139	178.3	155.7	86.4	861.6	193.4
Ta	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Th	ppm	0.5	<0.2	<0.2	0.2	2.5	0.2
U	ppm	<0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.7
V	ppm	<8	<8	<8	<8	38	<8
W	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	%	6	1.9	3.5	5.4	21.6	3.5
Y	ppm	2.8	0.3	0.2	2.8	14.3	1
La	ppm	2.1	0.1	0.1	1.3	14.9	0.9
Ce	ppm	3.4	0.1	<0.1	2	19.4	1.4
Pr	ppm	0.51	<0.02	<0.02	0.28	4.14	0.17
Nd	ppm	2	<0.3	<0.3	1.2	16.9	0.6
Sm	ppm	0.48	<0.05	<0.05	0.26	3.66	0.16
Eu	ppm	0.1	<0.02	<0.02	0.06	0.82	0.04
Gd	ppm	0.46	<0.05	<0.05	0.27	3.31	0.17
Tb	ppm	0.07	<0.01	<0.01	0.04	0.49	0.03
Dy	ppm	0.39	<0.05	<0.05	0.26	2.69	0.14
Ho	ppm	0.08	<0.02	<0.02	0.05	0.48	0.03
Er	ppm	0.19	<0.03	<0.03	0.2	1.31	0.09
Tm	ppm	0.03	<0.01	<0.01	0.03	0.19	0.01
Yb	ppm	0.17	<0.05	<0.05	0.14	1.11	0.06
Lu	ppm	0.03	<0.01	<0.01	0.02	0.16	<0.01
Mo	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.2
Cu	ppm	0.4	<0.1	<0.1	50.4	40.1	0.3
Pb	ppm	1.5	0.7	0.3	0.9	5.7	1.5
Zn	ppm	3	<1	<1	<1	9	1
Ni	ppm	<0.1	0.1	0.9	1.7	18.5	1.2
As	ppm	9.7	5.2	5.4	8.5	5.5	6
Cd	ppm	0.2	0.1	0.3	0.1	1.8	0.3
Sb	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
Bi	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ag	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Au	ppb	1.8	0.6	<0.5	1.2	<0.5	<0.5
Hg	ppm	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Tl	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Se	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Sr içeriği, mermerlerdeki sekonder ayrışmayı ve Ca içeriğini yansıması açısından oldukça önemlidir (Kuznetsow 2003; Brilli et al. 2005; Bağcı et al. 2010). İyon yarıçapı 1.12 Å olan Sr ile Ca'un iyon yarıçapı (0.99 Å) birbirine oldukça yakındır. Mermer örneklerinin Sr içerikleri dikkate alındığında, CaO miktarıyla doğru orantılı olarak değiştii görülmektedir.

Uşak Yeşil mermeri diğer mermerlere göre yüksek Sr içeriğine (861.6 ppm) sahip olup, bu durum kalsite eşlik eden feldspattan kaynaklanmaktadır. Ba ve Rb genellikle K ile birlikte bulunduğundan, örneklerin K₂O oranı değişimine bağlı olarak Ba ve Rb elementlerinin miktarları da değişmektedir. Mermer örneklerinde belirlenen K₂O ise, kalsite eşlik eden muskovit mineralleriyle ilişkilidir.

Zr, mermerlerde aksesuar mineraller olarak bilinen zirkon, allanit ve rutil gibi minerallerin bileşiminde yer almakta ve TiO₂ içeriğiyle doğru orantılı olarak kayaç bileşiminde değişim sunmaktadır (Bağcı et al. 2010).

Nadir toprak elementlerinin (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) oranı, mermerlerde bulunan karbonat dışı minerallerin varlığıyla ilişkili olarak değişmektedir. Çünkü yüksek sıcaklık ve nadir toprak elementleri (REE: Rare Earth Element) bakımından zengin akışkanlar, metamorfizma olayı boyunca mermerlerin köken kayacına etki ederek bunların REE bakımından zenginleşmesine neden olmaktadır (Boulvais et al. 2000, Kuznetsow 2003, Bağcı et al. 2010). Kullanılan mermer örneklerinin toplam REE içerikleri, Uşak yeşil mermeri için 69,56 ppm ve Afyon Şeker, Uşak Beyaz, Muğla Beyaz, Afyon Kaplan Postu ve Akşehir Siyah mermerleri için ise 0.82-10.01 ppm arasında olup, yukarıda verilen literatür verileri ile uyumludur (Çizelge 4.4).

4.2 Pürüzlülük İncelemeleri

Pürüzlülük incelemeleri Bölüm 3.2.6'da anlatıldığı gibi yapılmış olup, her bir numune üzerinde 105 farklı noktadan Ra, Rq, Rz ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük ölçüm değerlerine ait aritmetik ortalamalar Çizelge 4.5'de verilmiştir. Yapılan ölçümler

sonucunda pürüzlülük parametrelerinden Ra en düşük pürüzlülük değerine sahip iken, bunu sırası ile Rq ve Rz değeri izlemektedir. Rz değeri en yüksek tepe ve en düşük çukur bölgeleri ölçtüğü için pürüzlülük değeri diğer parametrelere göre görece daha yüksektir. Cilalı yüzeyde yapılan pürüzlülük ölçümleri dikkate alındığında, en düşük pürüzlülük değerine Uşak Beyaz mermeri sahiptir. Pürüzlülük değeri en yüksek mermer ise Uşak Yeşil mermeridir.

4.3 Parlaklık İncelemeleri

Parlaklık incelemeleri Bölüm 3.2.7’de anlatılan prosedüre göre yapılmıştır. Bu değerlere ait aritmetik ortalamalar Çizelge 4.6’da verilmiştir. Çizelge 4.6 incelendiğinde; en yüksek parlaklık değeri Muğla Beyaz mermerinde elde edilirken, bu örneği sırasıyla Afyon Kaplan Postu, Afyon Şeker, Uşak Beyaz, Akşehir Siyahı ve Uşak Yeşil mermeri izlemiştir.

4.4 Fiziksel ve Mekanik Testler

Bu çalışmada kullanılan mermerlerin, özgül ağırlık, su emme, görünür yoğunluk, ses hızı ilerlemesi, basınç dayanımı, indirekt çekme dayanımı, Shore sertliği, Schmidt sertliği, Knoop sertliği ve aşınma dayanım testi Bölüm 3.2.8’de belirtilen standartlara uygun olarak yapılmıştır. Fiziko-mekanik testlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelge 4.7 incelendiğinde, tane boyut dağılımı genelde ince ve tane sınırının da girift olması mermerlerin dayanımını arttırmaktadır. Kalsit kristalleri küçük taneli olan Afyon Şeker mermeri ve Uşak Beyaz mermerinin basınç dayanımının diğer mermerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine aynı şekilde su emme miktarı da en düşük düzeylerde yer almıştır. Akşehir Siyah mermerindeki kalsit tanelerinde basınçtan dolayı eğilme ve bükülmeler bulunmaktadır. Yapı içindeki çatlaklar sekonder dolgular ile dolmuştur. Bundan dolayı diğer mermerlere göre daha düşük bir basınç mukavemeti değerine sahiptir.

Mermerler içindeki karbonat dışı sekonder dolgular ise sertlik parametrelerinin değişmesinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Uşak Yeşil mermerindeki epidot

minerallerinin fazlalığı knoop sertliğinin diğer mermerlere göre daha yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.5. Mermerlerin pürüzlülük değerleri.

Örnek/Abrasiv Serisi	Ölçüm Parametresi	60	80	120	220	320	400	600	800	Cila
Afyon Şeker (µm)	Ra	1.901	1.850	0.793	0.551	0.613	0.241	0.196	0.172	0.113
	Rq	2.477	2.304	1.091	0.743	0.786	0.401	0.314	0.281	0.200
	Rz	12.441	11.473	6.125	4.365	4.830	2.897	2.405	2.227	1.639
Uşak Beyaz (µm)	Ra	1.807	2.294	1.037	0.828	0.664	0.446	0.266	0.195	0.073
	Rq	2.366	2.890	1.324	1.066	0.893	0.629	0.396	0.273	0.116
	Rz	11.950	13.660	6.890	5.620	5.080	3.730	2.540	1.660	0.820
Muğla Beyaz (µm)	Ra	2.173	2.107	1.483	1.014	0.672	0.327	0.254	0.223	0.089
	Rq	2.909	2.685	1.897	1.315	0.922	0.480	0.373	0.343	0.143
	Rz	14.814	13.371	9.702	6.973	5.435	3.111	2.253	2.162	1.000
Afyon Kaplan Postu (µm)	Ra	2.313	1.893	1.241	0.858	0.612	0.341	0.334	0.243	0.119
	Rq	2.977	2.426	1.631	1.157	0.872	0.545	0.500	0.395	0.222
	Rz	14.426	12.190	8.635	6.202	5.429	3.700	3.256	2.824	1.771
Uşak Yeşili (µm)	Ra	2.742	2.118	1.712	1.094	0.931	0.800	0.676	0.599	0.499
	Rq	3.612	2.797	2.303	1.514	1.371	1.220	1.044	0.925	0.796
	Rz	17.689	14.341	12.189	8.338	8.268	7.532	6.465	5.786	5.061
Akşehir Siyahı (µm)	Ra	2.049	2.352	1.605	1.043	0.748	0.561	0.352	0.519	0.237
	Rq	2.615	2.964	2.049	1.350	1.029	0.812	0.530	0.781	0.398
	Rz	12.869	14.355	10.389	7.339	6.007	4.882	3.309	4.568	2.681

Çizelge 4.6. Mermerlerin parlaklık değerleri (Gloss).

Örnek/Abrasiv Serisi	60	80	120	220	320	400	600	800	Cila
Afyon Şeker	2.06	2.61	2.94	3.35	3.01	8.74	21.69	31.19	71.33
Uşak Beyaz	2.38	2.84	3.00	3.43	4.36	5.16	21.52	23.82	68.98
Muğla Beyaz	2.08	2.28	2.17	2.84	3.57	8.47	21.40	28.32	76.96
Afyon Kaplan Postu	1.20	1.62	1.79	2.19	2.53	7.97	13.85	30.57	73.98
Uşak Yeşili	1.92	2.11	2.04	3.00	2.14	4.89	15.91	21.57	63.84
Akşehir Siyahı	1.10	1.45	1.44	1.76	1.80	4.77	18.25	14.23	68.49

Çizelge 4.7. Çalışmada kullanılan mermerlere ait fiziko mekanik test sonuçları.

Numune İsmi	Yoğunluk (gr/cm³)	Su Emme (%)	Toplam Gözeneklilik (%)	Ultrases hızı (m/s)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Endirekt Çekme Dayanımı (MPa)	Shore Sertliği (SH)	Knoop Sertliği (HK)	Schmidt Sertliği (R)	Aşınma Dayanımı (mm)
Afyon Şeker	2.742±0.004	0.08±0.00	1.57±0.09	5275.33±198.12	71.72±6.92	5.63±0.57	45.05±2.37	149.18±18.55	35.60±8.11	18.25±0.25
Uşak Beyaz	2.733±0.018	0.07±0.01	1.54±0.04	5205.17±491.76	64.42±7.94	4.96±0.94	42.92±3.33	137.90±16.19	35.96±5.30	18.18±0.52
Muğla Beyaz	2.725±0.019	0.13±0.02	1.54±0.09	5337.50±195.95	42.21±5.90	3.96±0.50	27.00±3.92	134.55±18.94	34.28±6.59	19.98±2.44
Afyon Kaplan Postu	2.770±0.101	0.10±0.02	2.87±0.02	5317.33±227.43	56.51±2.12	4.61±1.07	42.46±5.13	140.40±21.48	41.16±6.54	19.29±0.53
Uşak Yeşili	2.778±0.008	0.11±0.02	2.70±0.27	3921.00±347.02	57.61±10.01	6.38±1.36	43.16±5.78	176.10±155.56	42.44±5.72	17.03±0.63
Akşehir Siyahı	2.770±0.003	0.13±0.02	2.95±0.11	5668.33±238.06	55.17±11.21	7.07±0.75	48.27±5.02	145.50±26.06	40.44±4.94	19.94±0.38

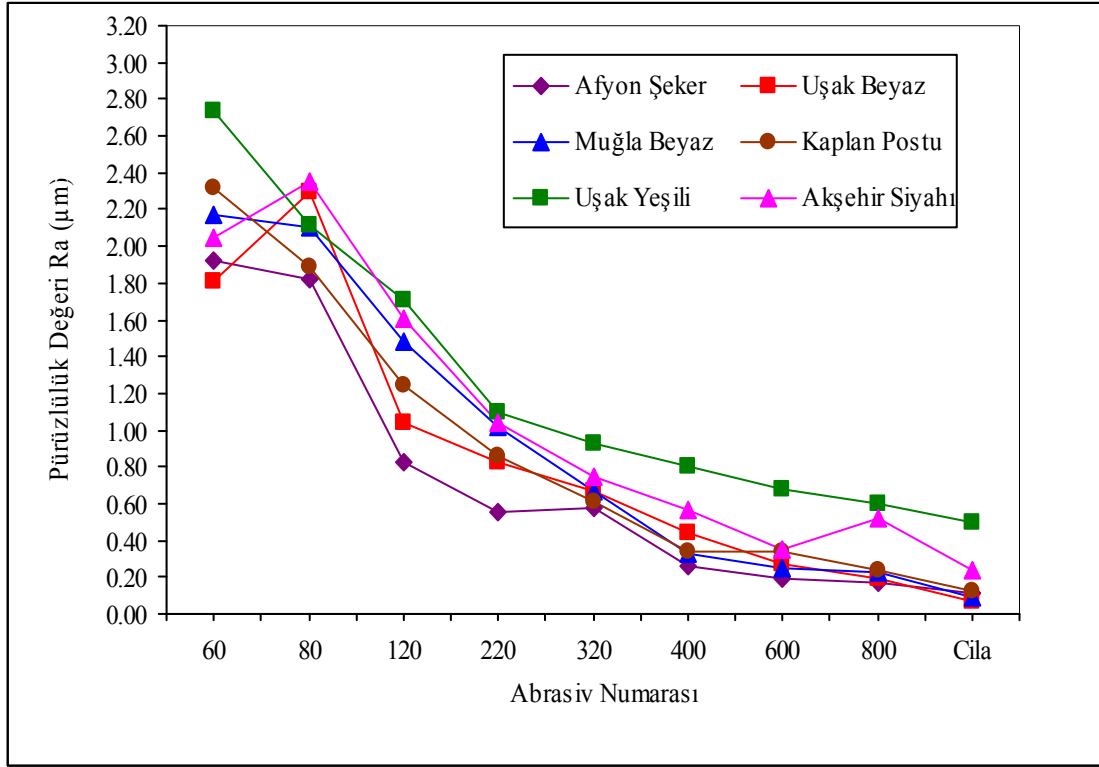
5. TARTIŞMA

Belirlenen abrasiv numaraları ile parlatılan mermerlerin pürüzlülük (Ra, Rq ve Rz) değerleri ölçülmüş ve abrasiv numarası değişiminin pürüzlüğe etkisi Ek 1.1 ve Ek 1.6'da verilmiştir. Literatürde daha çok pürüzlülük değerlerinin yorumlanmasında Ra değeri kullanıldığı için, bu çalışmada yapılan yorumlarda Ra değeri dikkate alınmıştır.

5.1 Abrasiv Numarası-Pürüzlülük Değişiminin İncelenmesi

Çalışmada kullanılan tüm mermer örneklerinin abrasiv numarası-pürüzlülük ilişkilerinin verildiği Şekil 5.1 incelendiğinde, 60 nolu abrasiv ile parlatılan mermerlerin yüzey pürüzlülük değerlerinin 1.80 µm ile 2.80 µm arasında değiştiği görülmektedir. Uşak Beyaz ve Akşehir Siyahı dışında, artan abrasiv numarasına bağlı olarak örneklerin pürüzlülük değerlerinde azalma gözlenmiştir. 80 nolu abrasivde Uşak Beyaz ve Akşehir Siyahı; 800 nolu abrasivde ise Akşehir Siyahı mermerinin pürüzlülük değerleri artış göstermektedir. Söz konusu abrasiv numaralarının Uşak Beyaz ve Akşehir Siyahı mermerlerinde kullanılmaması, bu örneklerde parlatmanın hem daha az abrasivde hemde daha etkili yapılması açısından önemlidir. Bu mermer örneklerinde parlatma davranışlarının diğer örneklerden farklı olmasının nedeni, küresellik değerlerinin düşük olması ve çatlak düzlemlerinde bulunan demir, mika, klorit ve kuvars minerallerinin varlığıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Değişik abrasiv numaralarına bağlı olarak en düşük pürüzlülük değerleri Afyon Şeker mermerinde elde edilmiştir. Polarizan mikroskop çalışmaları sırasında ölçülen en, boy, çevre, alan vb. mikroyapı özelliklerinin Afyon Şeker mermerindeki düşük pürüzlülük değerlerinin en önemli etken olduğu düşünülmektedir. Pürüzlülük değerleri Uşak Beyazı, Muğla Beyazı, Afyon Kaplan Postu, Akşehir Siyahı ve Uşak Yeşil mermerlerinde birbirini izleyecek şekilde artışlar göstermiştir (Çizelge 4.5). Pürüzlülük değerlerindeki bu değişimin mermerleri oluşturan kalsit kristallerinin mikroyapısal özelliklerinin yanısıra, örneklerdeki çatlak yoğunluğu, çatlak dolgularındaki sekonder minerallerin türü ve mermerlerdeki karbonat dışı minerallerin miktarının etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.1 Pürüzlülük-abrasiv numarası ilişkisi.

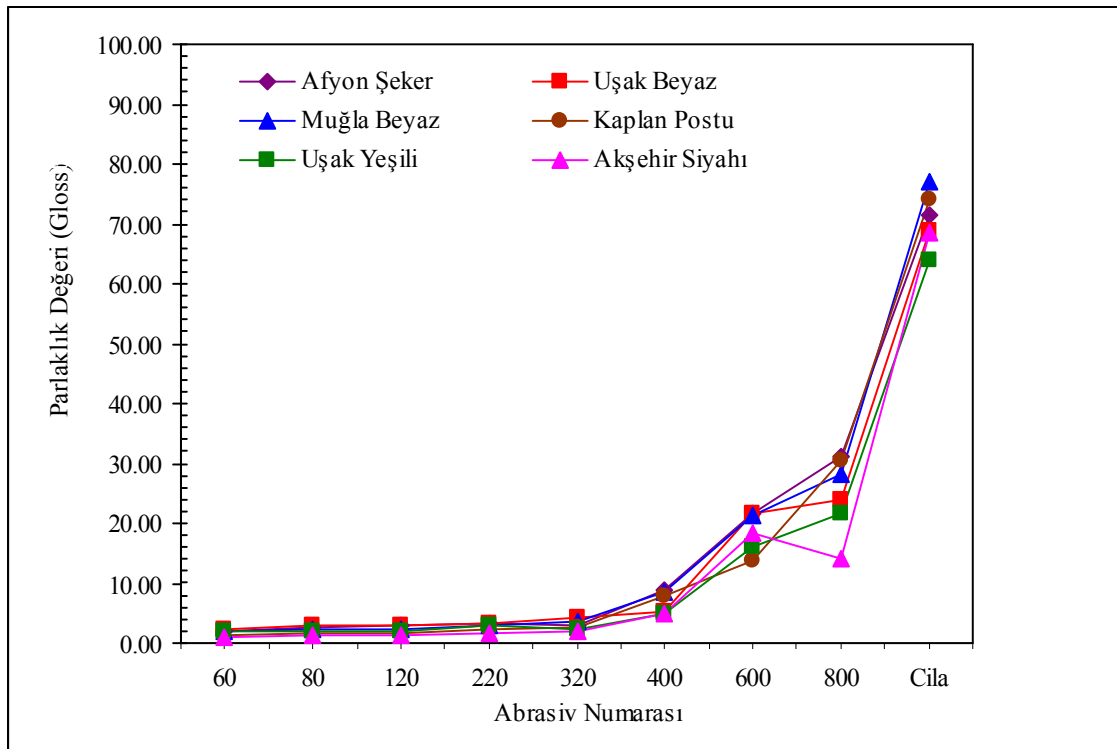
Düşük pürüzlülük değerlerinin belirlendiği Uşak Beyaz mermerinin çatlak yoğunluğu %0.32 iken, yüksek pürüzlülük değerlerine sahip Akşehir Siyahı mermerinin çatlak yoğunluğu %34.28 olarak ölçülmüştür. Uşak Yeşil mermerindeki yüksek pürüzlülük değerlerinin nedeni ise, bu örneğin bileşimindeki mika, kuvars, feldspat, hornblend, piemontit ve hematit gibi karbonat dışı minerallerin varlığıdır. Gerek Akşehir Siyahı mermerindeki çatlakları oluşturan dolomit, mika, klorit ve kuvars gibi sekonder mineraller ve gerekse Uşak Yeşil mermerinin bileşimindeki yukarıda bahsedilen sertliği yüksek mineraller yüzey parlatma işleminde abrasivlerin malzeme koparma mekanizmasını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, sert ve yumuşak minerallerin sınırları boyunca oluşan farklı kopma mekanizmaları, mermerlerin yüzey yapısında farklılıklar meydana getirmekte, sonuçta yüzey pürüzlülük değerleri yükselmektedir (Xu *et al.* 2003; Huang and Xu 2003; Shen *et al.* 2007).

Çalışmada incelenen mermerlerin 60 ile 400 nolu abrasivlerle parlatılan yüzeylerinin pürüzlülük değerlerinde hızlı bir azalma elde edilirken, 400 ve 800 nolu abrasivlere ait

pürüzlülük değerleri arasındaki farkın aynı eğilimi göstermediği görülmektedir (Şekil 5.1).

5.2 Abrasiv Numarası-Parlaklık Değişiminin İncelenmesi

Parlaklık değerleri incelendiğinde, mermer örneklerinin parlaklıklarının 63.84-76.96 gloss arasında değiştiği gözlenmiştir (Şekil 5.2). En yüksek parlaklık değeri Muğla Beyaz mermerinde (76.96 gloss) elde edilirken, bu örneği sırasıyla Afyon Kaplan Postu (73.98 gloss), Afyon Şeker (71.33 gloss), Uşak Beyaz (68.98 gloss), Akşehir Siyahı (68.49 gloss) ve Uşak Yeşil mermeri (63.84 gloss) izlemiştir (Çizelge 4.6). Çalışmada kullanılan örneklerde parlaklık değerlerinin bu şekilde bir değişim göstermesinde kalsit kristallerinin uzunlukları, mermerlerin bileşimindeki karbonat dışı minerallerin oranı ve mermerlerdeki süreksizliklerin yoğunluğunun etkili olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.2 Parlaklık-abrasiv numarası ilişkisi.

Şekil 5.2'den de görüleceği üzere, artan abrasiv numarasına bağlı olarak mermerlerin parlaklık değerlerinde üstel bir artış değişimi gözlenmiştir. Parlaklık değerlerinin 60-

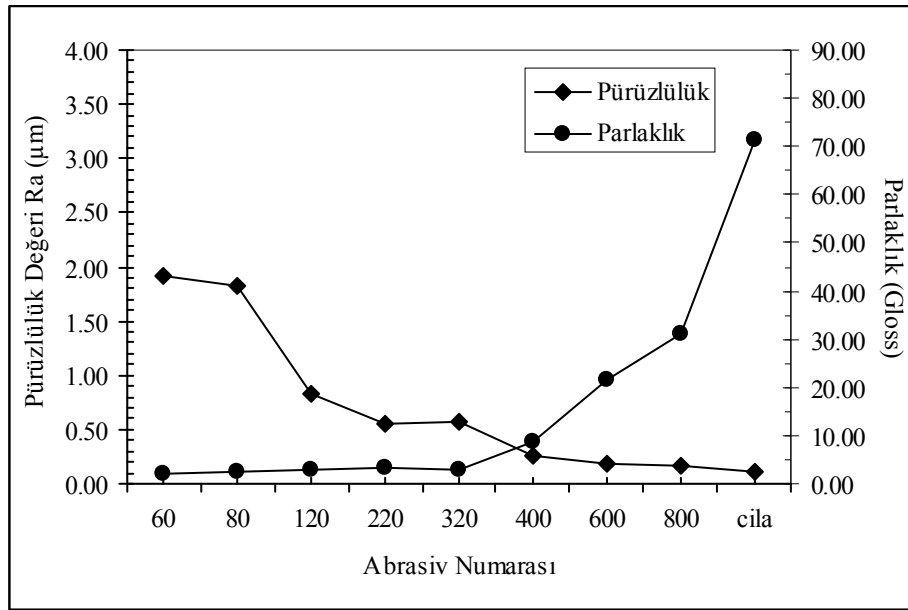
320 nolu abrasivlerde çok az oranda (%11-46) değiştiği, 400 nolu abrasivle cila arasında hızlı bir şekilde (%716-1335) arttığı görülmüştür (Çizelge 4.6).

5.3 Pürüzlülük-Parlaklık Değişimlerinin İncelenmesi

Değişik abrasiv numaralarına bağlı olarak çalışmada kullanılan mermer örneklerinin pürüzlülük-parlaklık değişimleri aşağıda verilmiştir.

5.3.1 Afyon Şeker Mermeri

Afyon Şeker mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve parlaklığının değişimi Şekil 5.3’de verilmiştir.



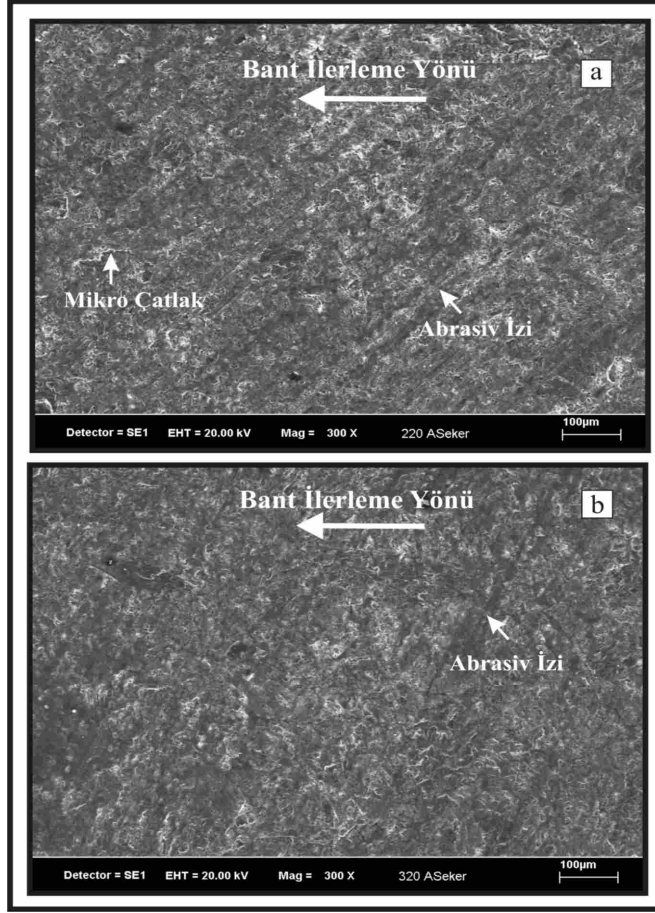
Şekil 5.3 Afyon Şeker mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük-parlaklık değerlerinin değişimi.

Afyon Şeker mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve parlaklığının değişimini gösteren Şekil 5.3 incelendiğinde, abrasiv tane boyutunun küçülmesine bağlı olarak pürüzlülük değerlerinin azaldığı, buna karşın parlaklık değerlerinin ise arttığı görülmüştür. Sadece 320 nolu abrasivde bir önceki abrasive göre pürüzlülük değeri artmıştır. Farklı abrasivlerle parlatılan mermer örnekleri üzerinde

yapılan SEM incelemelerinde, 220 ve 320 nolu abrasivlerle parlatılan örneklerde benzer abrasiv izleri ve mikro çatlakların oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 5.4 a;b).

Afyon Şeker mermerinin mineralojik incelemelerinde karbonat dışı mineral olarak mika, klorit ve kuvars mineralleri belirlenmiş, ayrıca bu minerallere dolomit eşlik etmiştir. Kayaçtaki çatlaklar boyunca sekonder olarak oluşmuş olan söz konusu mineraller yüzey parlatma işlemlerini olumsuz olarak etkilemektedir (Huang and Xu 2003, Tanovic *et al.* 2009). Çünkü birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan bu mineraller parlatma işlemi sırasında farklı aşınma mekanizmaları sergileyebilmektedir. Bunun yanı sıra, sekonder minerallerden dolomit 4 mohs sertliğine sahipken, diğer sekonder mineral olan mika ise 2-2.5 mohs sertliğinde olup, tek yönlü mükemmel dilinimlenme göstermektedir.

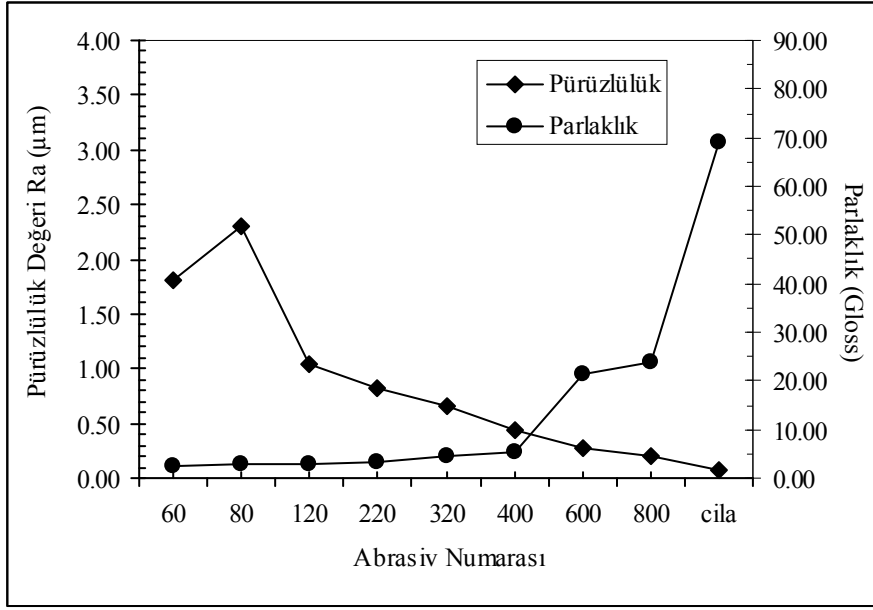
Wright ve Rouse (1993) ve Erdoğan (2000) tarafından yapılan çalışmalarda mermerleri oluşturan kalsit kristallerinin tane boyutunun mermerlerin parlatılmasında oldukça etkili olduğu ve küçük kristal boyutuna sahip mermerlerin daha iyi parlatıldığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada kullanılan örnekler içerisinde Afyon Şeker mermeri en küçük kalsit kristaline sahip mermer türü olmasına rağmen, bu örneğin parlaklık değeri 71.33 olarak ölçülmüş ve Muğla Beyaz mermerinden sonra en iyi parlatma değerine sahip üçüncü mermer türü olmuştur. Parlaklık değerinin Muğla Beyaz mermerinden daha düşük olmasının en önemli sebebi, Afyon Şeker mermerinde karbonat dışı minerallerin oranı ve süreksizlik yoğunluğunun Muğla Beyaz mermerine göre daha yüksek olmasıdır. Erdoğan (2000) tarafından yapılan çalışmada, mermerlerin parlaklığının özellikle kayacın porozitesine, kristal sınırlarına, mikro çatlaklardaki dolgulara ve kristal yönelmelerine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle kalsit kristal boyutu küçük olmasına rağmen yüksek karbonat dışı mineral miktarı ve süreksizlik yoğunluğundan dolayı Afyon Şeker mermerinin parlaklık değeri Muğla Beyaz mermerine göre daha düşük ölçülmüştür.



Şekil 5.4 Farklı abrasivlerle parlatılmış Afyon Şeker mermerine ait SEM görüntüleri (a) 220 nolu abrasiv, (b)320 nolu abrasiv.

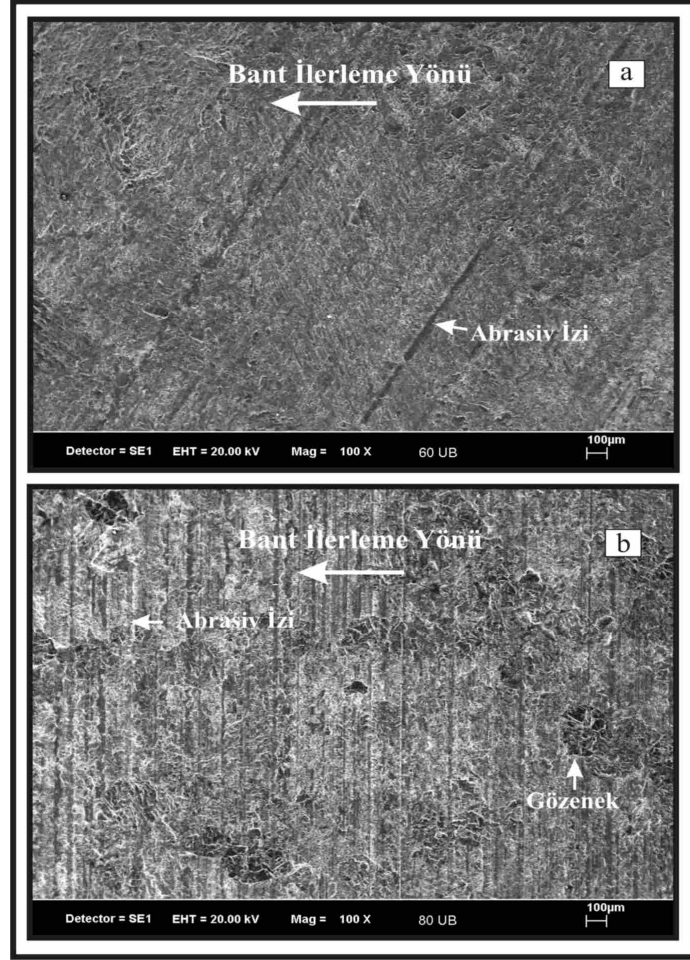
5.3.2 Uşak Beyaz Mermeri

Uşak Beyaz mermerinde yüzey pürüzlülüğünün ve parlaklığının abrasiv numarasına bağlı değişiminin verildiği Şekil 5.5 incelendiğinde, 60 nolu abrasiv sonrası elde edilen pürüzlülük değeri 1.807 μm , 80 nolu abrasivde bu değer ise 2.294 μm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.5 Uşak Beyaz mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük-parlaklık değerlerinin değişimi.

60 ve 80 nolu abrasivlerde gözlenen bu farklılık nedenini belirlemek için, Uşak Beyaz mermeri yüzeyinde SEM analizleri yapılmıştır (Şekil 5.6). Şekil 5.6-a'da abrasiv izlerinin bant ilerleme doğrultusuna göre belirli bir açıda olduğu, Şekil 5.6-b'de ise, bant ilerleme yönüne dik doğrultuda ve daha yoğun olduğu görülmektedir. Şekil 5.6-b incelendiğinde, 80 nolu abrasivle parlatılan yüzeyde abrasiv izlerinin ve mermer yapısındaki gözeneklerin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında, 80 nolu abrasivin bıraktığı izlerin diğer abrasivler tarafından azaltmasının zor olacağı anlaşılmaktadır. Bu yüzden, Uşak Beyaz mermerinin parlatılması işleminde, 80 nolu abrasivin seriden çıkarılması yararlı olacaktır. Karbonat dışı mineralin hemen hemen hiç gözlenmediği Uşak Beyazında 60 ve 80 nolu abrasivlerde gözlenen davranış farklılığının en önemli sebebinin kalsit kristallerinin, diğer örneklerle göre düşük küresellik değerleri (% 0.58-0.61) olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 5.5 incelendiğinde, parlaklık değerinin 400 nolu abrasivden sonra yükselmeye başladığı görülmektedir. Uşak Beyaz mermeri görece iri tane boyutuna sahip olması nedeniyle, Afyon Şeker ve Muğla Beyaz mermerleri arasında parlaklık değeri en düşük olan mermerdir.

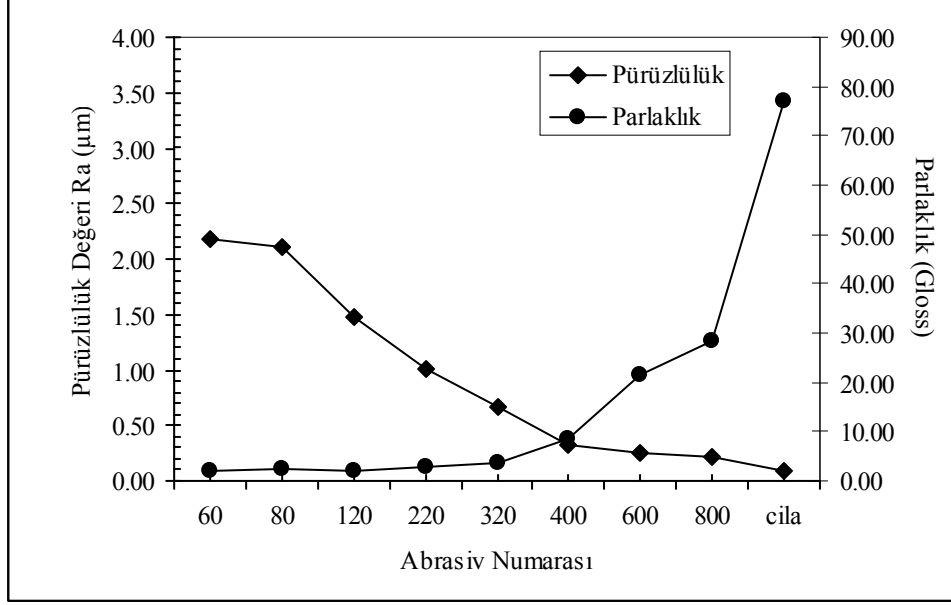


Şekil 5.6 Farklı abrasivlerle parlatılmış Uşak Beyaz mermerine ait SEM görüntüleri (a) 60 nolu abrasiv, (b) 80 nolu Abrasiv.

5.3.3 Muğla Beyaz Mermeri

Muğla Beyaz mermerinin abrasiv numarasına bağlı pürüzlülük ve parlaklık değerleri Şekil 5.7’de verilmiştir. Şekil 5.7 incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğünün abrasiv numarasının artışına bağlı olarak azaldığı, parlaklık değerinin ise arttığı görülmüştür. Muğla Beyaz mermerinin XRD’de elde edilen mineralojik analiz sonuçlarında bu örneğin tamamen kalsit mineralinden oluştuğu ve karbonat dışı mineral içermediği görülmüştür (Şekil 4.12). Ayrıca gözeneklilik oranında düşük olmasından dolayı pürüzlülük ve parlaklık değerlerinde herhangi bir sapma olmadığı görülmektedir. Görgülü ve Ceylanoğlu (2001) tarafından yapılan çalışmada, bu tür mermerlerin parlatılması sırasında gereğinden fazla sayıda abrasiv kullanılmasının yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir. Karbonat dışı mineral içermeyen mermerlerin

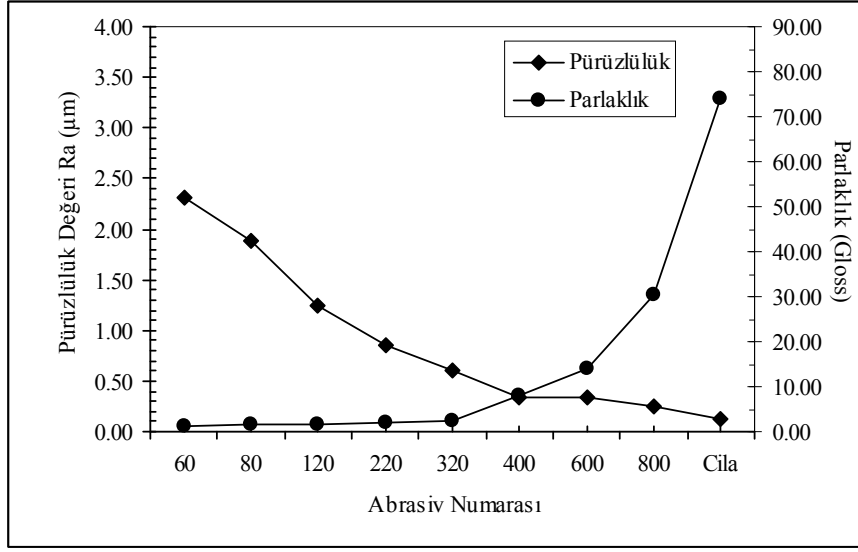
parlatılmasında, farklı abrasiv serileri denenerek, parlatma kalitesi üzerinde etkili bir rol oynamadığı belirlenen abrasivlerin seriden çıkartılması sağlanabilir.



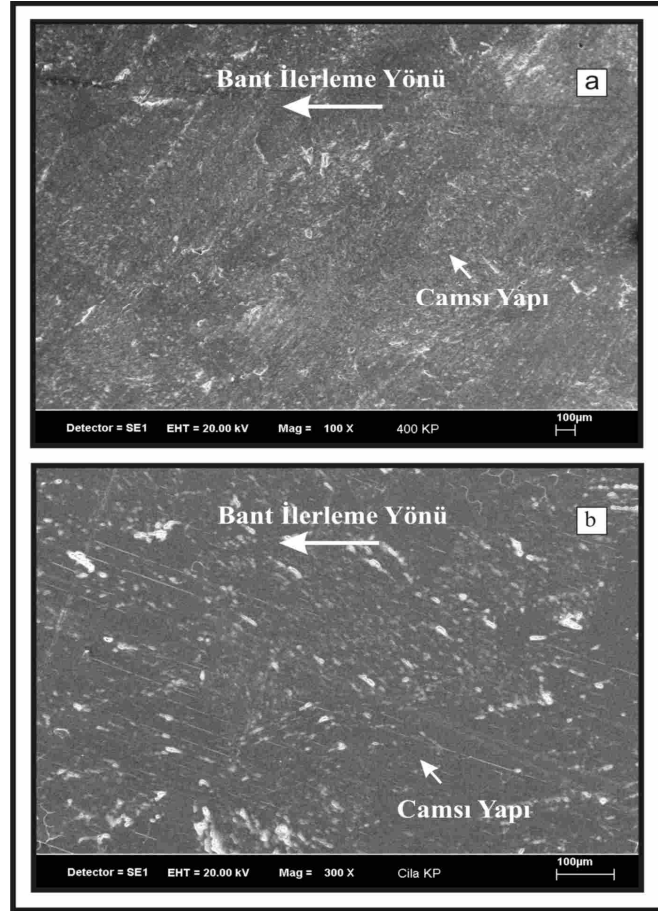
Şekil 5.7 Muğla Beyaz mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük-parlaklık değerlerinin değişimi.

5.3.4 Afyon Kaplan Postu Mermeri

Afyon Kaplan Postu mermeri plakalarında ölçülen yüzey pürüzlülüğü ve parlaklık değerlerine ait değişimler Şekil 5.8’de verilmiştir. Artan abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük değerlerinde azalmalar görülmekle birlikte, 400 ve 600 nolu abrasivlerle parlatılan plaka yüzeyindeki pürüzlülük değerleri birbirine çok yakındır. Kaplan Postu mermerinin yüzey yapısını incelemek için yapılan SEM analizleri sonucunda, mermer yüzeylerinde camsı yapının 400 nolu abrasivde oluşmaya başladığı gözlenmiştir (Şekil 5.9-a). Bu camsı yapının, çalışmada kullanılan diğer mermer örneklerinde 800 nolu abrasivde ve cila aşamasında meydana geldiği görülmektedir. Afyon Kaplan Postunun parlatılması sırasında yüzeyden uzaklaşan malzemeler abrasiv izlerini doldurarak, yüzey pürüzlülüğünü azaltmış ve böylece camsı bölgenin oluşmasını sağlamıştır.



Şekil 5.8 Afyon Kaplan Postu mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük-parlaklık değerlerinin değişimi.

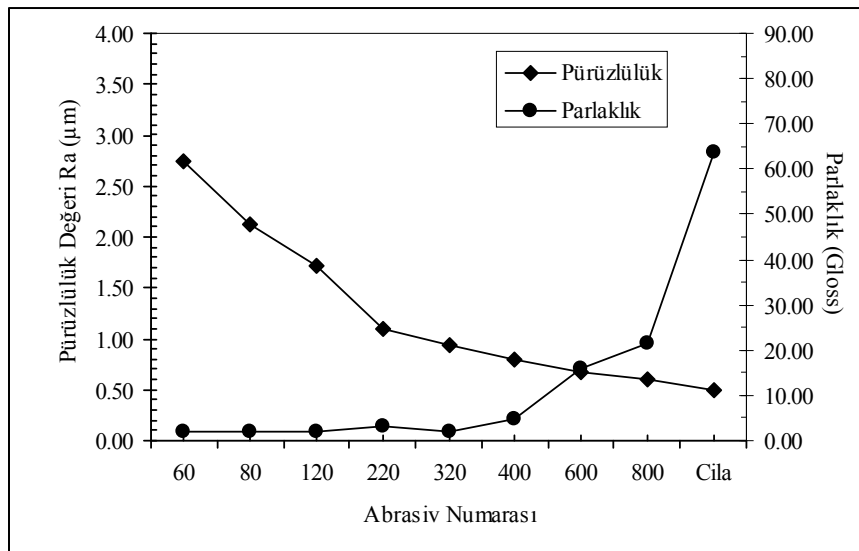


Şekil 5.9 Farklı abrasivlerle parlatılmış Afyon Kaplan Postu mermerine ait SEM görüntüleri (a) 400 nolu abrasiv, (b) cila.

Afyon Kaplan Postu mermerinde yapılan mineralojik incelemelerde, değişik doğrultularda bulunan çatlak ve şistozite düzlemlerine koyu renkli minerallerin çatlak dolgusu olarak yerleştiği görülmektedir. Afyon Kaplan Postu mermerinde gerek mikro çatlakların bulunması gerekse kalsit mineral yüzeylerinde opak minerallerin oluşması nedeniyle, pürüzlülük değeri artmaktadır. Çatlaklarda ve kalsit kristal yüzeyinde oluşmuş ve Mohs sertliği 4-5 olan opak minerallerin sertliğinin kalsit kristallerine göre yüksek olması nedeniyle, Afyon Kaplan Postu mermerinin pürüzlülüğünün artacağı söylenebilir.

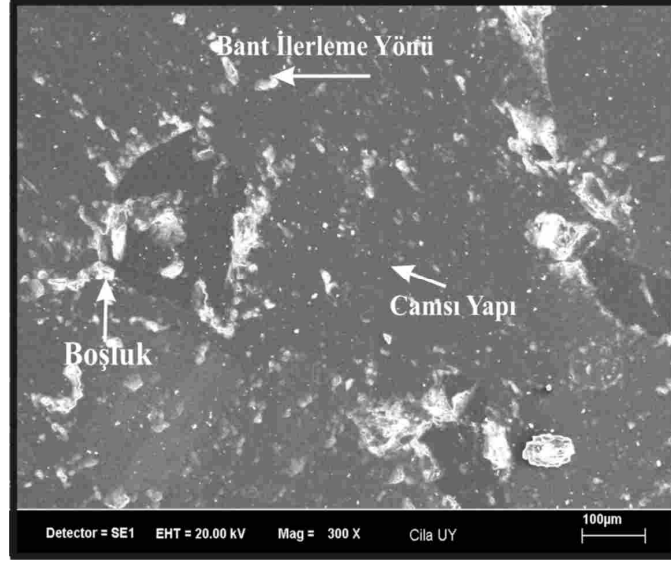
5.3.5 Uşak Yeşil Mermeri

Uşak Yeşil mermerinde yapılan parlatma işlemi sonucunda elde edilen pürüzlülük-parlaklık değerleri, abrasiv numarasına bağlı olarak Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, artan abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük değeri azalmıştır. Ancak, Uşak Yeşil mermerinde diğer mermerlere kıyasla dikkat çeken en önemli durum, parlatma sonrası pürüzlülük değeri en yüksek olan mermer olmasıdır. Örneğin, Muğla Beyaz mermerinin cila sonrası pürüzlülük değeri $0.089 \mu\text{m}$ iken, Uşak Yeşil mermerinde cila sonrası ölçülen pürüzlülük değeri $0.499 \mu\text{m}$ 'dir (Şekil 5.10).



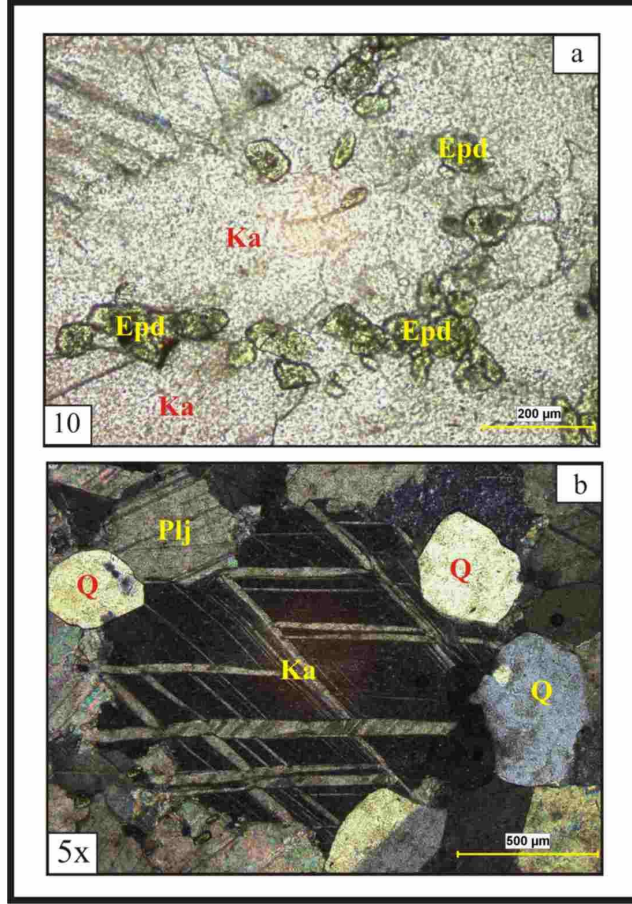
Şekil 5.10 Uşak Yeşil mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük-parlaklık değerlerinin değişimi.

Uşak Yeşil mermerinin cila sonrası SEM fotoğrafları incelendiğinde, Uşak Yeşil mermerinin yüzey yapısında gözeneklerin ve mikro çatlakların olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.11).

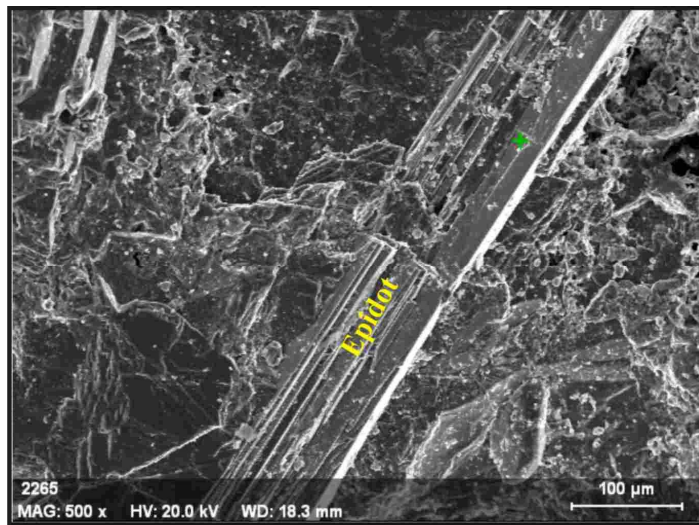


Şekil 5.11 Uşak Yeşil mermerine ait SEM görüntüsü.

Yapılan mineralojik incelemelerde, Uşak Yeşil mermerinde kalsit sınırları boyunca kuvars ve epidot minerallerinin bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 5.12). Epidot minerallerinin Mg ve Fe elementleri bakımından zengin olduğu (Şekil 4.4 ve Şekil 4.9-a) ve aynı zamanda çubuksu ve öz şekilli bir yapı sergilediği bilinmektedir (Şekil 5.13). Diğer yandan, Mohs sertliği 3 olan kalsit minerali ile tane sınırlarında yer alan kuvars ve epidot minerallerinin Mohs sertliği 7'dir. Uşak Yeşil mermerinde farklı sertliğe sahip minerallerin bulunmasından dolayı, parlatılan yüzeylerde farklı pürüzlülük değerlerinin elde edileceği söylenebilir. Örneğin; özellikle prizmatik kristal sistemine sahip epidot mineralleri koparak yüzeyde boşluklar oluşturacak ya da parlatma aşamasında koparak diğer mineral yüzeylerini çizerek yüzeyde derin izler bırakabilecektir. Daha önceki çalışmalarda da, birden fazla farklı sertlikte minerallere sahip granitlerin parlatma veriminde, kayacı oluşturan minerallerin farklı sertliğe sahip olmasının kayacın parlatma özelliğini olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Xie and Tamaki 2007).



Şekil 5.12 Uşak Yeşil mermerindeki mineraller (a) Kalsit(Ka) sınırlarındaki epidot (Epd) mineralleri. (b) Kalsit (Ka) sınırlarındaki kuvars (Q) mineralleri.



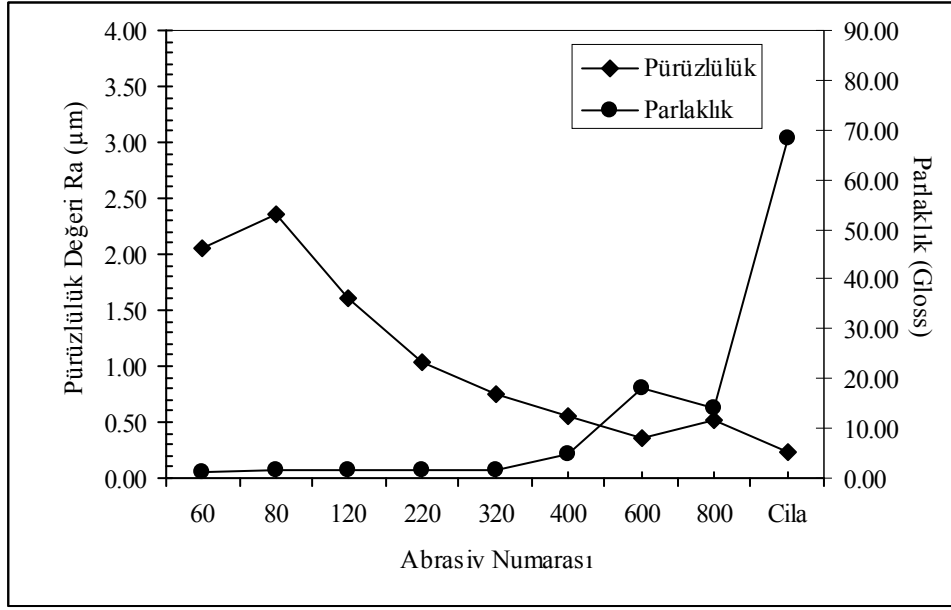
Şekil 5.13 Uşak Yeşil mermerindeki epidot mineralinin SEM görüntüsü.

Uşak Yeşil mermerinin kimyasal analizi incelendiğinde, diğer mermer örneklerine göre farklılıklara sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4). Örneğin; mermerlerin en önemli bileşeni olan CaO oranı diğer örneklerde %54.02 – 56.17 arasında değişirken, Uşak Yeşil mermerinde %43.59'dur. Diğer yandan MgO içeriğinin %1.14, SiO₂ içeriğinin %12.31, Al₂O₃ içeriğinin %3.10, Fe₂O₃ içeriğinin %1.76 olması da Uşak Yeşili'nde epidot mineralinin varlığından kaynaklanmaktadır. Daha önceki çalışmalarda, MgO oranının artmasıyla birlikte pürüzlülük ve parlaklık değerinin olumsuz yönde değiştiği belirtilmiştir (Karaca 2008). Bu değerlendirmeler doğrultusunda, Uşak Yeşil mermerinin mineralojik bileşimiyle ilişkili olan kimyasal bileşiminden dolayı, pürüzlülük değerinin arttığı buna karşı parlaklık değerinin azaldığı söylenebilir.

Uşak Yeşil mermerinin yapısındaki açık ve koyu yeşil renkli damarlar XRD analizi ile incelenmiş, açık yeşil renkli damarda kalsit yanında mika, kuvars, feldispat ve piemontit minerallerine rastlanmıştır. Koyu yeşil renkli damarda ise, açık renkli damardaki minerallerin yanında, hornblend ve hematit mineralleri tespit edilmiştir. Bu tür minerallerin sertliği, kristal sistemi ve element içerikleri gibi mineralojik ve kimyasal özelliklerinden dolayı, parlatma işleminde de farklılıklar meydana gelmiş, konu ile ilgili yapılan çalışma sonuçlarına benzer şekilde (Erdoğan 2000, Kanbalta 1992), Uşak Yeşil mermerinde yüksek pürüzlülük ve düşük parlaklık (63.84 gloss) değerleri elde edilmiştir.

5.3.6 Akşehir Siyahı Mermeri

Akşehir Siyahı mermerinde yapılan parlatma işlemi sonrası, pürüzlülük - abrasiv numarası grafiği incelendiğinde; 60 nolu abrasivle parlatılan yüzeyin pürüzlülük değeri 2.049 µm, 80 numaralı abrasiv ile parlatılan yüzeyin pürüzlülük değeri ise 2.352 µm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.14). Artan abrasiv numarasına bağlı olarak, pürüzlülük değerinin azalması gerekirken, 80 nolu abrasivde meydana gelen pürüzlülük artışı Akşehir Siyahı mermerinin küresellik değerinin düşük olmasından (%0.53-0.55) kaynaklanmaktadır.



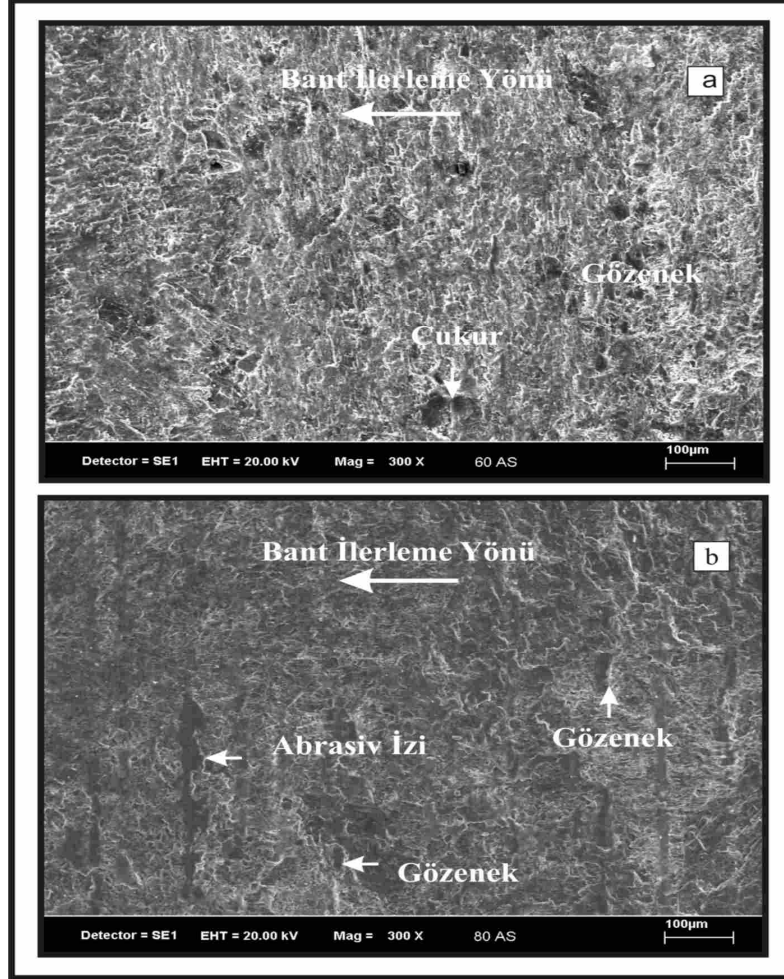
Şekil 5.14 Akşehir Siyah mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük-parlaklık değerlerinin değişimi.

Yapılan SEM incelemesinde, Akşehir Siyahı mermerinin yüzey yapısındaki farklılıklar tespit edilmiştir (Şekil 5.15 a, b). Şekil 5.15-b’de görüldüğü gibi, 80 nolu abrasiv ile parlatılan yüzeyde, 60 nolu abrasive göre daha derin aşındırıcı izlerin ve gözeneklerin bulunduğu görülmektedir. Bu durum, 600 ve 800 nolu abrasivlerle parlatılan yüzeylerde de gözlenmektedir.

Akşehir Siyahı mermerine ait pürüzlülük-parlaklık değişim grafiği (Şekil 5.14) incelendiğinde, parlaklık değerinin 60-400 nolu abrasivler arasında 1.10 ile 4.77 gloss arasında değiştiği görülmektedir. 600 nolu abrasivde parlaklık değeri 18.25 gloss değerine sahip iken, 800 nolu abrasivde bu değer 14.23 gloss olarak ölçülmüştür. Cila sonrası Akşehir Siyah mermerinin parlaklık değeri 68.49 gloss’dur. 800 nolu abrasivdeki pürüzlülük değerinin artmasına bağlı olarak parlaklık değeri azalmıştır.

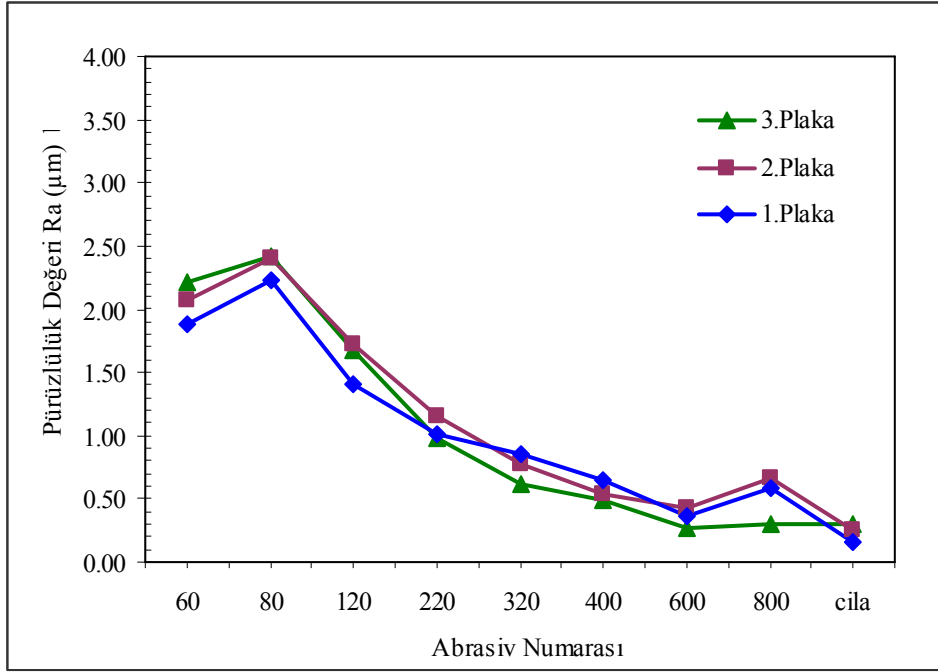
Parlatma işleminde, çalışma parametreleri yanısıra, kayaç özelliklerinin de etkili olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Kanbalta 1992, Tanovic *et al.* 2009, Sarı ve Yavuz 2001, Yavuz vd. 2010 a, b). Deneysel bulgular dikkate alındığında, Akşehir Siyahı mermerinde bulunan yeşil ve sarı damarlı bölgelerdeki muskovit, demir, klorit ve kuvars minerallerinin varlığının parlatma işleminde etkili olduğu düşünülebilir. Ayrıca,

kayacın çatlaklı bölümlerinde SiO_2 oranı %38.48 - %52.71 arasında, Fe_2O_3 ise %19.77 - %25.97 arasında değişmektedir. Doğal taşların kimyasal bileşimindeki SiO_2 ve Fe_2O_3 'in kesim ve aşındırma işlemlerinde zorluklara neden olduğu önceki çalışmalarda da vurgulanmıştır (Riberio *et al.* 2007).



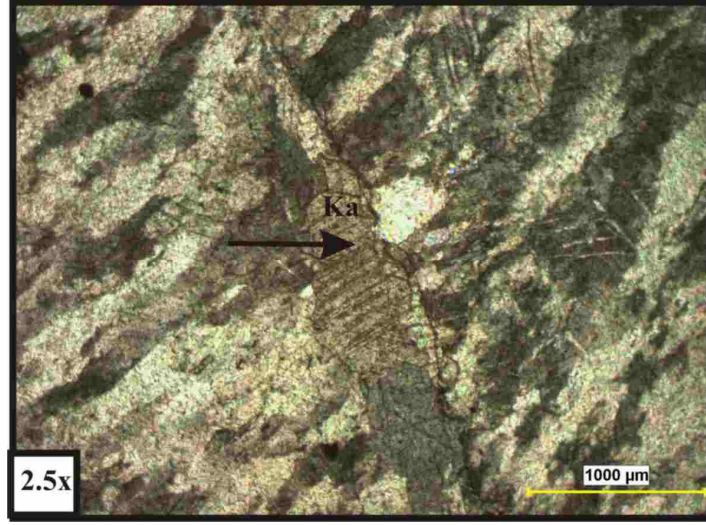
Şekil 5.15 Farklı abrasivlerle parlatılmış Akşehir Siyahı mermerine ait SEM görüntüleri (a) 60 nolu abrasiv, (b) 80 nolu abrasiv.

Parlatma yapılan plakalardaki bu bileşime sahip alanların dağılımına bağlı olarak, bu bölgelerde pürüzlülük değerlerinde değişim gözlenmektedir. Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, 800 nolu abrasiv ile parlatılan Akşehir siyah mermerinin pürüzlülük değeri 1. plakada $0.589 \mu\text{m}$, 2. plakada $0.660 \mu\text{m}$ iken, 3. plakada ise $0.308 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bir seride aynı plaka kullanılmadığı için, pürüzlülük değerlerinde bu tür farklılıkların gözlenmesi doğal karşılanmaktadır.



Şekil 5.16 Akşehir Siyahı mermerinde abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülük-parlaklık değerlerinin değişimi.

Akşehir Siyahının 600 nolu abrasivdeki pürüzlülük değeri 0.352 iken, 800 nolu abrasivde bu değer 0.519'dur. Bu değer artan abrasiv numarasına göre azalması beklenirken, artış göstermiştir. Bu artış, plaka yüzeyindeki sarı ve yeşil damarların dağılımı ile oluşan doku farklılığından, çatlaklar boyunca sekonder olarak oluşan demir, mika, klorit ve kuvars gibi karbonat dışı minerallerden, mineral sınırlarının belirgin olmamasından ve bazı kristallerin farklı yönelmelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, tane şekil/morfolojik özelliklerden biri olan küresellik dikkate alındığında (Çizelge 4.2), Akşehir Siyahı mermerinin en küçük küresellik değerine (0.54) sahip olduğu görülmektedir. Bu değer dikkate alındığında, Akşehir Siyah mermerindeki kalsit minerallerinin küresellikten uzaklaştığı söylenebilir. Bu nedenden dolayı, pürüzlülük ölçümünde tane sınırlarındaki bu değişim, ölçüm sonucunu etkilemektedir. Bunun yanısıra, Akşehir siyahına ait ince kesit fotoğrafları incelendiğinde bazı bölümlerde farklı doğrultularda yönelmiş kalsit kristalleri gözlenmiş olup, bu tür mineral yönelmelerindeki farklılık pürüzlülüğü etkileyecektir (Şekil 5.17).

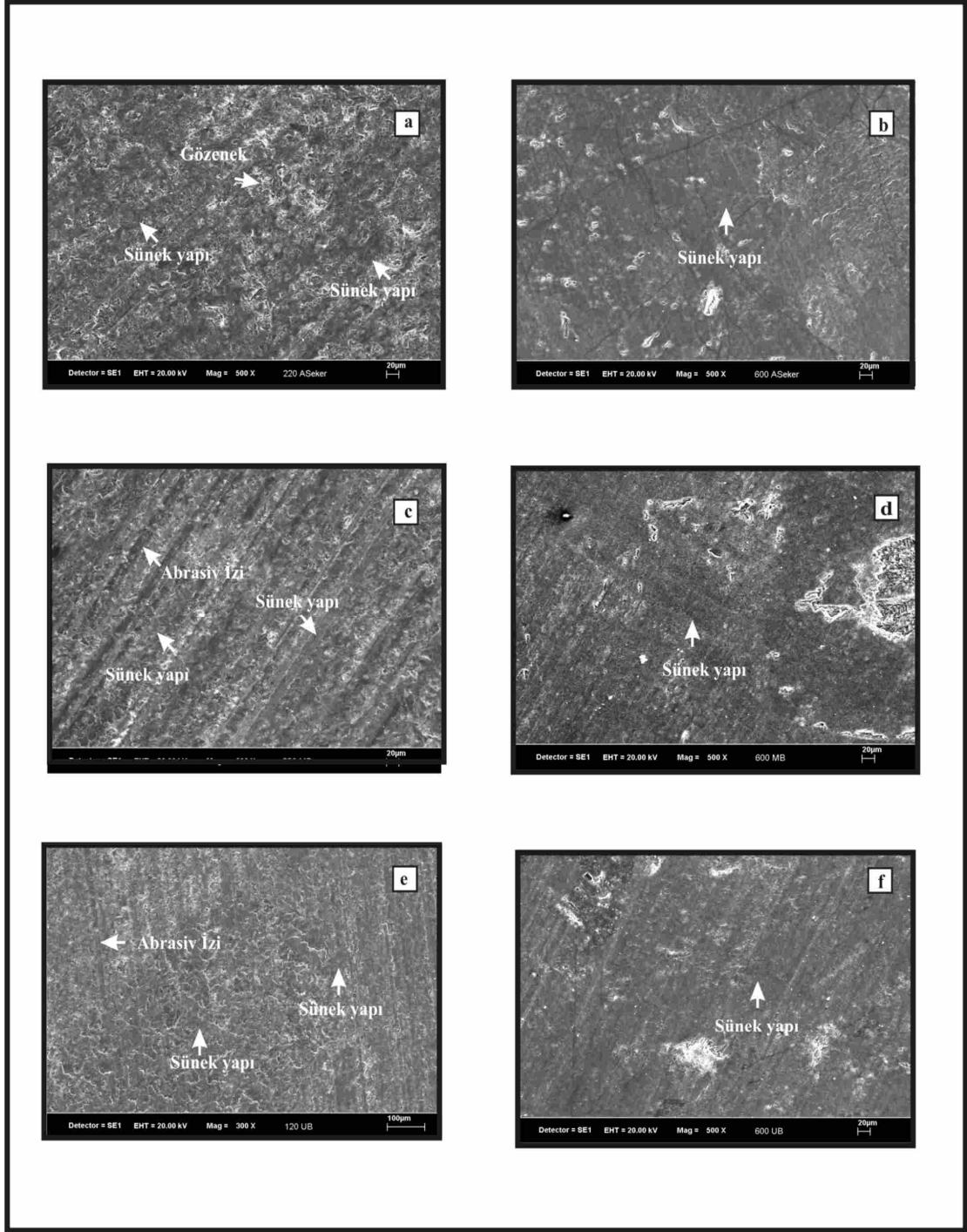


Şekil 5.17 Yönlenme düzlemine dik doğrultudaki mineralin ince kesit görüntüsü.

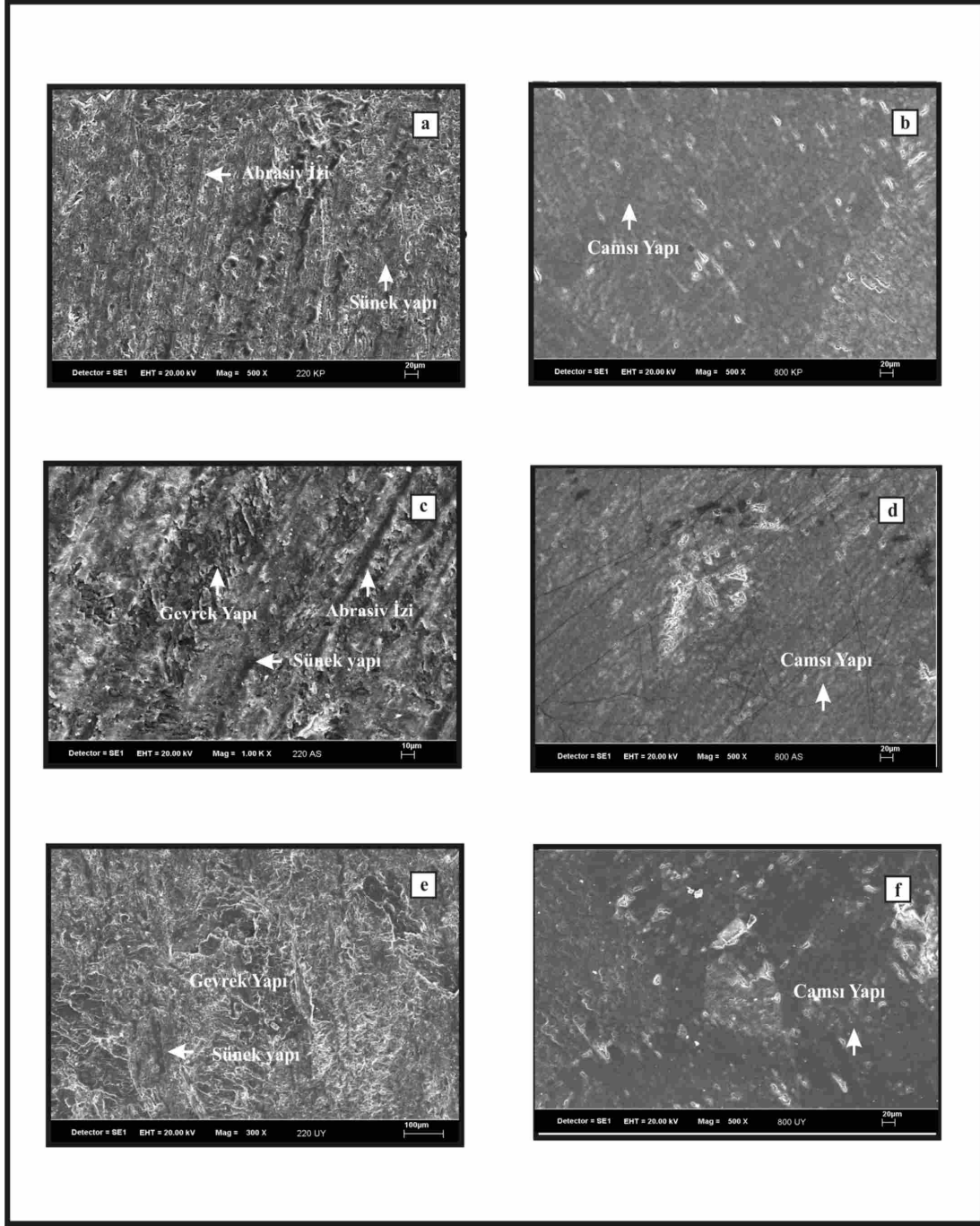
5.4 Mermer Yüzey Yapılarındaki Aşınma Mekanizmalarının İncelenmesi

Çalışmada kullanılan mermerlerin parlatma işlemi sonucunda yüzey yapılarının incelenebilmesi için, parlatılmış mermer örnekleri taramalı elektron mikroskobu (SEM)'nda incelenmiştir. 220 nolu abrasivle parlatılmış Afyon Şeker ve Muğla Beyaz mermerleriyle, 120 nolu abrasivle aşındırılmış Uşak Beyaz mermerinin yüzeylerinde abrasiv izleri ve sünek yapıların başlangıçları izlenmiştir (Şekil 5.18 a, c, e). Diğer abrasiv numaralarında sünek yapı örneklerin tüm yüzeyine yayılırken, 600 nolu abrasivle parlatma sonucunda Afyon Şeker, Muğla Beyaz ve Uşak Beyaz mermerlerinin yüzeylerinde parlatmayı işaret eden camsı yapının olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.18 b, d, f). Parlatılan örnek yüzeylerinde oluşan sünek ve camsı yapıların dağılımı ve kalınlıkları mermeri oluşturan kalsit kristallerinin boyutları, mermerlerin kimyasal bileşimleri ve kayadaki sekonder minerallerin miktarına bağlı olarak değişmektedir.

220 nolu abrasivle parlatılan Afyon Kaplan Postu, Akşehir Siyahı ve Uşak Yeşil mermerlerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde, bu mermerlerin yüzey yapısında derin abrasiv izleri, gözenekler ve gevrek yapılar daha belirgin olarak görülmektedir (Şekil 5.19 a, c, e). Bununla birlikte, Afyon Kaplanpostu ve Uşak Yeşil mermerlerine göre Akşehir Siyah mermerinde gevrek yapı daha yoğun bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 5.18 SEM görüntüleri (a) Afyon Şeker 220 nolu abrasiv, (b) Afyon Şeker 600 nolu abrasiv, (c) Muğla Beyaz 220 nolu abrasiv, (d) Muğla Beyaz 600 nolu abrasiv, (e) Uşak Beyaz 120 nolu abrasiv, (f) Uşak Beyaz 600 nolu abrasiv.



Şekil 5.19 SEM görüntüleri (a)Afyon Kaplan Postu 220 nolu abrasiv, (b) Afyon Kaplan Postu 800 nolu abrasiv, (c) Akşehir Siyah 220 nolu abrasiv, (d) Akşehir Siyah 800 nolu abrasiv, (e) Uşak Yeşil 220 nolu abrasiv, (f) Uşak Yeşil 800 nolu abrasiv.

Akşehir Siyah mermerindeki çatlaklar boyunca sekonder olarak oluşmuş demir, mika, klorit ve kuvars minerallerinin etkisiyle mermer yüzeyinde bu tür yapıların oluşması mümkündür. Çünkü bu minerallerin bileşiminde yer alan SiO_2 ve Fe_2O_3 gibi oksitlerin

oranına bağlı olarak yüzey aşınma mekanizması ve dolayısıyla yüzey pürüzlülük ve parlaklık değerleri değişebilmektedir.

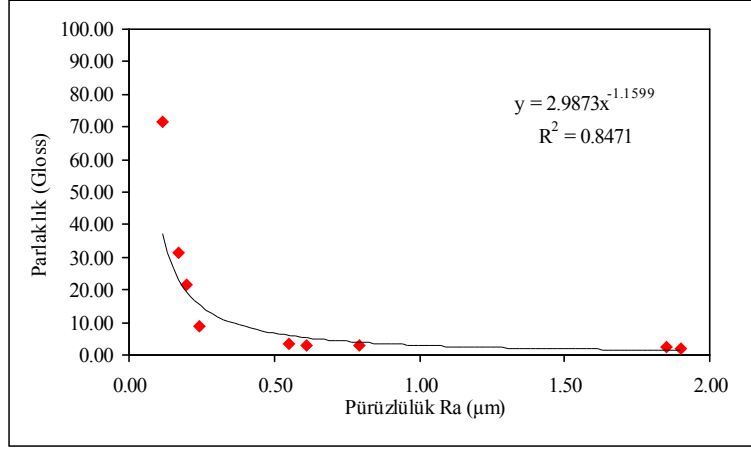
Afyon Kaplan Postu, Akşehir Siyahı ve Uşak Yeşil mermerlerinin yüzeylerinde camsı yapı çoğunlukla 800 nolu abrasivle aşındırma sonucu ve cila aşamasında oluşmaktadır (şekil 5.19 b, d, f). Gerek sünek ve gevrek yapılar ve gerekse camsı yapının örnekler üzerindeki dağılımı ve yoğunluğu mermerlerin kimyasal ve mineralojik-petrografik özelliklerine bağlı olarak değişim sunmaktadır.

5.5 İstatistiksel Değerlendirme

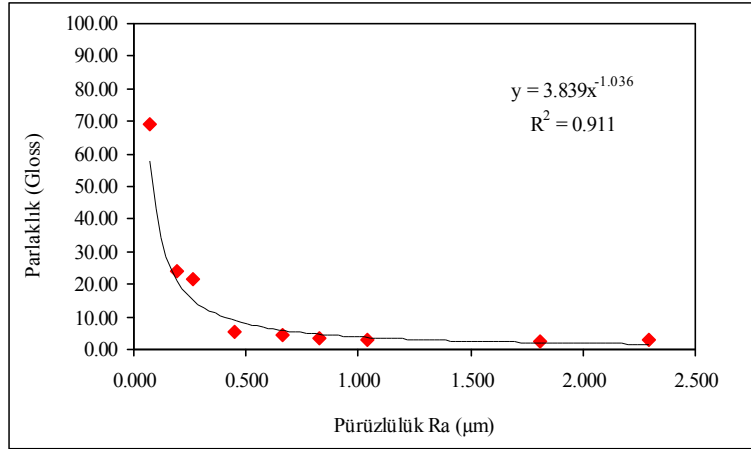
Çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda mermerlerin parlaklık ve pürüzlülük özelliklerinin yanı sıra, mineralojik ve petrografik özellikler ve fiziko-mekanik özellikler incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler basit regresyon analizleri ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Afyon şeker mermerinde parlaklık ile pürüzlülük ilişkileri incelendiğinde, $R^2=0.85$ gibi üstel bir ilişkinin olduğu görülmüştür (şekil 5.20). Parlaklık ile pürüzlülük arasında Uşak Beyaz mermeri ve Muğla Beyaz mermerindeki ilişkiler incelendiğinde ise sırasıyla; $R^2=0.91$, $R^2=0.93$ gibi yüksek korelasyonlu anlamlı ilişkiler belirlenmiştir (şekil 5.21; şekil 5.22). Buna göre, parlaklık değeri arttıkça pürüzlülük değerinin azaldığı gözlenmektedir. Bu zellik dikkate alındığında, parlaklık ile pürüzlülük arasında bir yaklaşımda bulunabileceği gözlenmiştir.

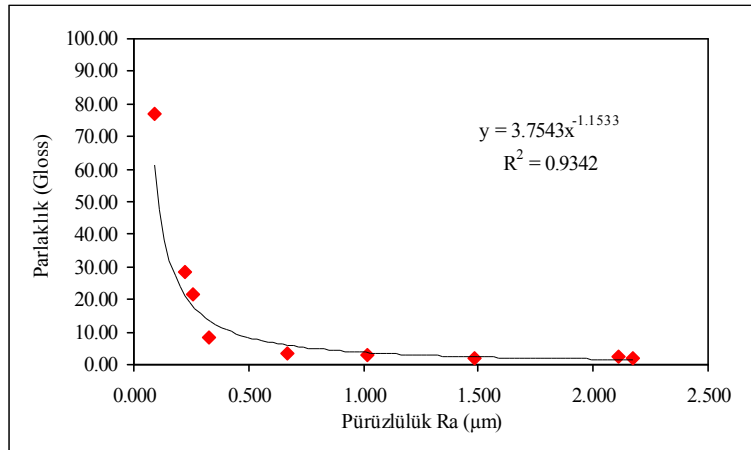
Yine aynı şekilde, Kaplan Postu mermerinin $R^2=0.91$, Uşak Yeşil mermerinin $R^2=0.70$ ve Akşehir Siyah mermerinin R^2 =gibi yüksek korelasyonlu üstel bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan tüm mermer örneklerinin parlaklık ile pürüzlülük ilişkilerinin yüksek korelasyonlu ve üstel bir ilişki sergilediği görülmektedir (şekil 5.23; şekil 5.24; şekil 5.25).



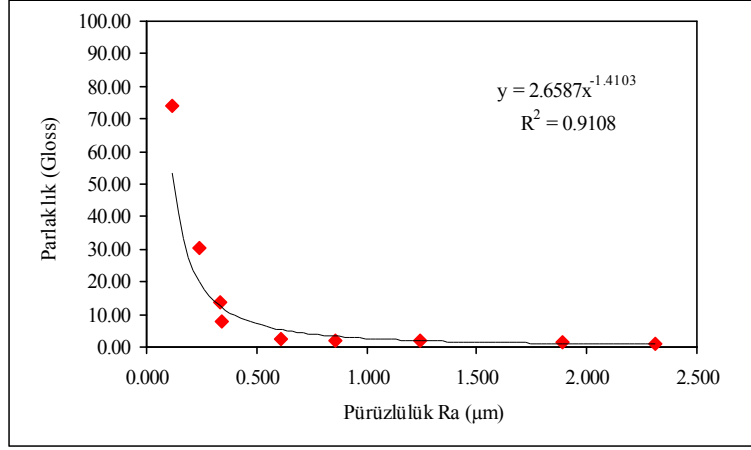
Şekil 5.20 Afyon Şeker mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi.



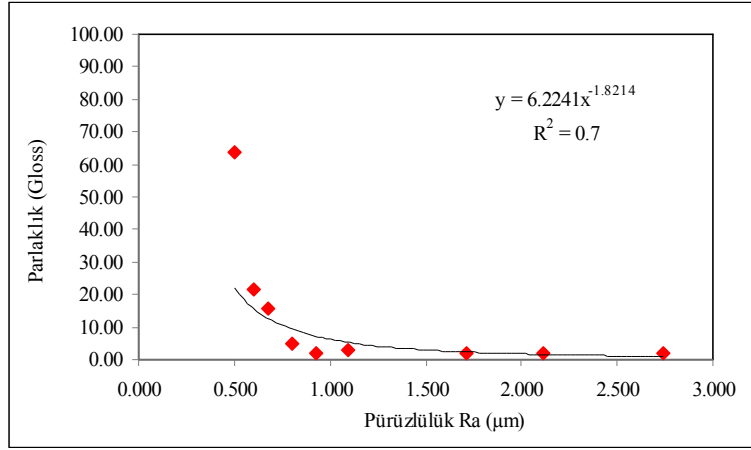
Şekil 5.21 Uşak Beyaz mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi.



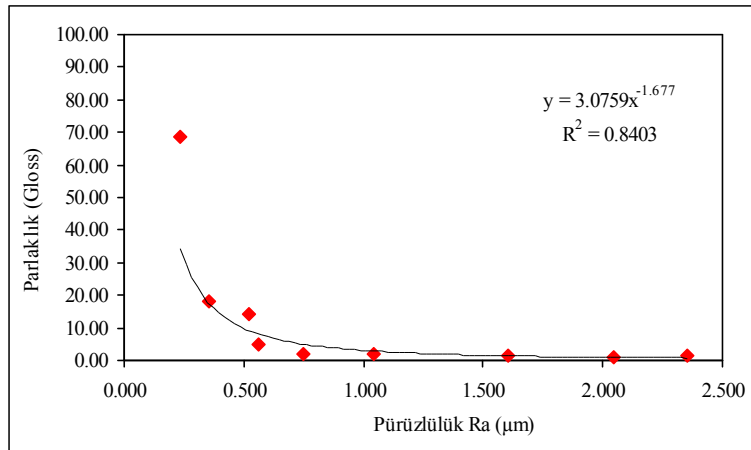
Şekil 5.22 Muğla Beyaz mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi.



Şekil 5.23 Afyon Kaplan Postu mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi.



Şekil 5.24 Uşak Yeşil mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi.

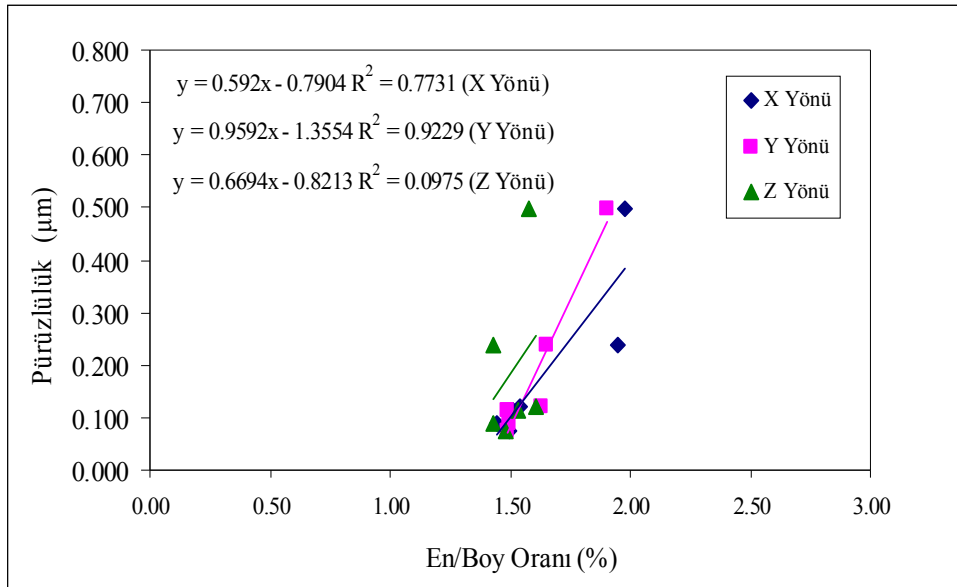


Şekil 5.25 Akşehir Siyah mermerinde parlaklık-pürüzlülük ilişkisi.

5.6 Pürüzlülük/Parlaklık ile Mineralojik-Petrografik, Kimyasal Bileşim ve Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler

5.6.1 Pürüzlülük/Parlaklık ile Mineralojik-Petrografik Özellikler Arasındaki İlişki

Pürüzlülük/parlaklık ile bağımsız değişkenlerden kalsit kristallerinin mikro yapısını oluşturan her bir parametre arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla basit doğrusal regresyonlar incelenmiştir. Pürüzlülük değeri ile kalsit kristali en/boy oranı arasındaki ilişki incelendiğinde $R^2=0.93$ pozitif korelasyonlu lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.26). Pürüzlülük ve parlaklık parametreleri ile kalsit çevresi, en, boy, enlilik, pürüzlülük, küresellik, ortalama feret gibi kristal mikro yapı özellikleri arasında Ek 2.1, Ek2.4-Ek2.2.10 arasında üstel bir ilişki, Ek 2.2-Ek 2.3, Ek 2.12, Ek 2.13 ve Ek 2.21 grafiklerinde negatif yönlü düşük bir ilişki ve Ek 2.11, Ek 2.14-Ek 2.20 pozitif yönlü düşük ilişkiler gözlenmiştir.

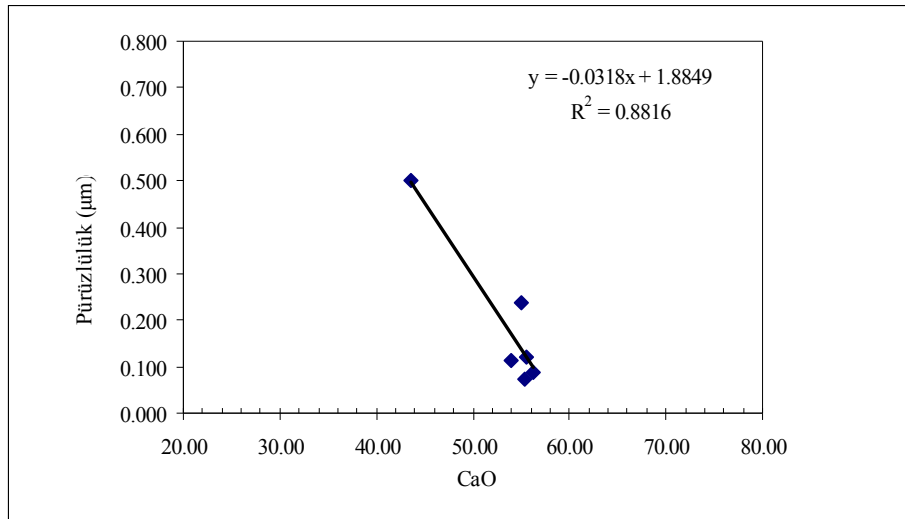


Şekil 5.26 Pürüzlülük-Kalsit tanesi en/boy oranı ilişkileri.

5.6.2 Pürüzlülük/Parlaklık ile Kimyasal Bileşim İlişkisi

Pürüzlülük/parlaklık ile kimyasal bileşim arasındaki ilişkinin varlığı basit doğrusal regresyon ile incelenmiştir. Bu çalışmada, pürüzlülük ile mermerlerin CaO oranı arasındaki ilişkinin $R^2=0.88$ gibi yüksek korelasyon değerine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.27). Şekil 5.27’de görüldüğü gibi, CaO oranının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Bunun yanısıra, pürüzlülük ile K_2O , Al_2O_3 , SiO_2 ve Top REE arasında yüksek korelasyonlu lineer artan ilişkilerin olduğu görülmektedir (Ek 3.1-3.4).

Parlaklık ile kimyasal bileşim arasında düşük korelasyonlu bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Elde edilen grafikler Ek 3.5-3.9’de verilmiştir.

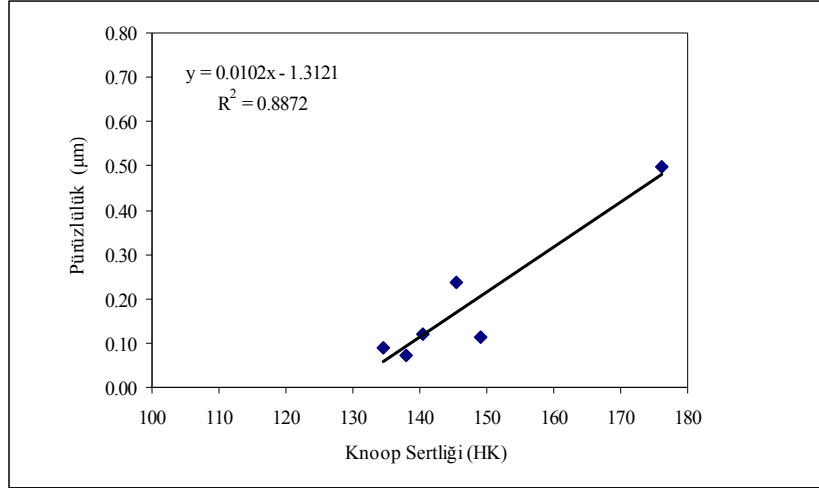


Şekil 5.27 Pürüzlülük-CaO ilişkisi.

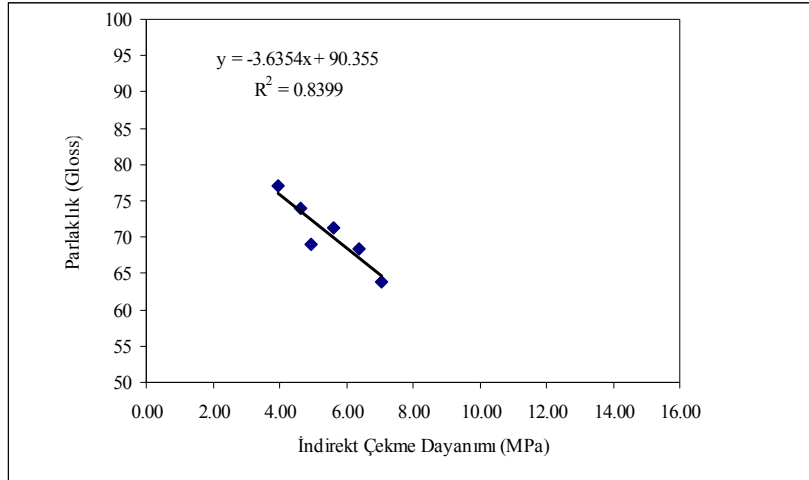
5.6.3 Pürüzlülük/Parlaklık ile Fiziko-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki

Çalışmada kullanılan mermerlerin pürüzlülük/parlaklık ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla her bir parametrenin basit doğrusal regresyon grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, pürüzlülük ile Knoop sertliği arasında $R^2=0.89$ gibi pozitif korelasyonlu lineer bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 5.28). Ancak, pürüzlülük ile yoğunluk, su emme, toplam gözeneklilik, ultrases, basınç dayanımı, endirekt çekme dayanımı, Shore sertliği, Schmidt sertliği ve aşınma

dayanımı parametreleri arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı söylenebilir (Ek 4.1-4.9). Parlaklık ile fiziko-mekanik özellikler incelendiğinde ise, indirekt çekme dayanımı ile parlaklık arasında yüksek korelasyonlu lineer azalan bir ilişkinin ($R^2=0.84$) olduğu Şekil 5.29'da görülmektedir. Diğer parametreler ile parlaklık arasında anlamlı bir korelasyon değerinin olmadığı gözlenmiştir (Ek 4.10-4.18).



Şekil 5.28 Pürüzlülük-Knoop sertliği ilişkileri.



Şekil 5.29 Parlaklık-İndirekt Çekme dayanımı ilişkileri.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada; aynı abrasiv serisinde, sabit bant hızı ve kafa basıncında metamorfik kökenli altı adet mermer türünün parlatma performansları araştırılmıştır. Ayrıca, mermerlerin mineralojik-petrografik özellikleri ve kimyasal bileşimlerinin pürüzlülük-parlaklık özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş olup, çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Yapılan parlatma deneyleri sonucunda, genel bir eğilim olarak, parlatılan mermerlerin azalan abrasiv numarasına bağlı olarak pürüzlülüğün azaldığı ve parlaklığın arttığı gözlenmiştir. Ancak, her mermer türünde gözlenmemekle birlikte, serilerdeki bazı abrasiv numaralarında bu genel eğilimin dışında davranışlar da belirlenmiştir. Bu durumun, özellikle Afyon Şeker, Afyon Kaplan Postu, Uşak Yeşili ve Akşehir Siyah mermerlerinde bulunan karbonat dışı minerallerin etkisinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Afyon Şeker mermeri üzerinde yapılan parlatma işlemlerinde, abrasivin tane boyutu küçüldükçe, pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, mineralojik incelemelerde karbonat dışı mineral olarak tespit edilen mika, klorit ve kuvars mineralleri ile bunlara eşlik eden dolomit mineralleri, farklı aşınma mekanizmaları sergileyerek yüzey parlatma işlemini olumsuz etkilemiştir.

Uşak Beyaz mermerinde 80 nolu abrasivin bıraktığı izler diğer abrasivler tarafından etkili bir şekilde uzaklaştırılamamaktadır. Bu tür bir gözlem, Uşak Beyaz mermerinin parlatılması işleminde 80 nolu abrasivin seriden çıkartılmasının yararlı olacağı kanaatini oluşturmuştur. 60 ve 80 nolu abrasivlerde gözlenen bu tür farklı davranışların, Uşak Beyaz Mermeri'ni oluşturan kalsit kristallerinin görece düşük küresellik değerlerinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Uşak Beyaz mermeri görece iri tane boyutuna sahip olması nedeniyle, Afyon Şeker ve Muğla Beyaz mermerleri arasında parlaklık değeri en düşük olan mermer olduğu belirlenmiştir.

Muğla Beyaz mermeri gibi tamamen kalsit mineralinden oluşan mermerlerde parlatma işleminin daha başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu tür mermerlerin parlatılmasında kullanılan abrasiv serisinden bazı abrasivlerin çıkartılarak, parlatma işleminin daha az maliyetle ve daha kısa sürede gerçekleştirilmesi söz konusu olabilecektir.

Afyon Kaplan Postu mermer plakalarında ölçülen yüzey pürüzlülüğüne ait değişimler incelendiğinde, 400 ve 600 nolu abrasivlerle parlatılan plaka yüzeyindeki değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle, uygulamada, bu abrasivlerden biri çıkartılarak daha az abrasiv sayısı ile çalışmak mümkün olabilir. Çatlak ve kristal yüzeyleri boyunca oluşan ve kalsit mineraline göre daha sert olan opak minerallerden dolayı, Afyon Kaplan Postu mermerinde görece yüksek pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

Uşak Yeşil mermeri, incelenen diğer örneklerle göre oldukça farklı mineralojik ve kimyasal bileşime sahip olup bileşimindeki epidot, kuvars gibi farklı kristal yapısına sahip minerallerden dolayı, diğer mermer örnekleri kadar etkili bir parlatma işlemi gerçekleştirilememiştir. Bu nedenden dolayı, Uşak Yeşil mermerinde yüksek pürüzlülük (0.499 μm) ve düşük parlaklık (63.84 gloss) değerleri elde edilmiştir.

Akşehir Siyahı mermerinde bulunan yeşil ve sarı renkli damarların gözlemlendiği zonlarda sekonder olarak oluşan demir, mika, klorit ve kuvars gibi karbonat dışı minerallerin varlığı, bazı kalsit kristallerinin farklı yönelmeleri ve kalsit kristallerinin düşük küresellik değerleri, bu örnekte elde edilen parlatma işlemini olumsuz yönde etkilemiştir.

Elde edilen deneysel bulgular ışığında, pürüzlülük ve kalsit kristallerinin en/boy oranı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. Buna göre, en/boy oranı arttıkça pürüzlülük değeri de artmaktadır. Mermer örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri açısından yapılan istatistiksel incelemelerde, pürüzlülük ve Knoop sertliği arasında pozitif korelasyonlu lineer bir ilişkinin olduğu, indirek çekme dayanımı ve parlaklık değeri arasında ise negatif korelasyonlu lineer ilişki bulunmuştur.

Çalışmada kullanılan mermer örneklerinin parlatma performansı üzerinde mineralojik-petrografik ve kimyasal özelliklerinin etkisi genel olarak değerlendirildiğinde, mermerlerin bileşimindeki karbonat dışı minerallerin miktarı ve kayaç içindeki dağılımının pürüzlülük ve parlaklık değerleri üzerinde olumsuz yönde etkili olduğu gözlenmiştir. Bu parametreleri, sırasıyla, kayaçtaki çatlak yoğunluğu ve kalsit kristallerinin mikro yapı özellikleri izlemiştir.

Sonuç olarak, mineralojik özelliklerin önceden belirlenmesiyle, mermer işleme tesislerinin parlatma işlemlerini daha verimli bir şekilde organize edebilecekleri anlaşılmıştır. Bu tür bir yaklaşım, özellikle enerji tüketimi ve üretim hızı açısından uygulamada önemli yararlar sağlayacaktır.

Bu çalışmada, proses parametreleri sabit tutularak, metamorfik kökenli altı farklı mermere ait mineralojik-petrografik ve kimyasal özelliklerin parlatma işlemi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda, benzer bir çalışma yönteminin sedimanter ve magmatik kökenli doğal taşlar için uygulanması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Altındağ, R., Güney, A. (2006). ISRM Suggested Method for Determining the Shore Hardness Value of Rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **43**: 19-22.
- Amaral, P.M., Rosa, L.G., Pinto, S., Pozo, D. (2004). New Line of Diamond Tools Raise Productivity in Polishing Stone. *Industrial Diamond Review*, Report.
- ASTM D-5550-06. Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer. American Society for Testing and Materials, 14.05.2009.
- Aydın, A. (2009). ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **46**: 627-634.
- Bağcı, M., Kibici, Y., Yıldız, A., Akıncı, Ö. (2010). Petrographical and Geochemical Investigation of the Triassic Marbles Associated with Menderes Massif Metamorphics, Kavaklıdere, Muğla, SW Turkey. *Journal of Geochemical Exploration*, **107**: 39-55.
- Benavente ,D., Martí´nez-Verdu´, F., Bernabeu, A., Viqueira, V., Fort, R., Garcı´a del Cura, M.A. and Illueca, C. (2003). Influence of Surface Roughness on Color Changes in Building Stones. *Color Research and Application*, **28**: 343-351.
- Boulvais, P., Fourcade, S., Moine, B., Gerard Gruau, G., Cuney, M. (2000). Rare-earth Elements Distribution in Granulite-facies Marbles: a Witness of Fluid–rock Interaction. *Lithos* **53**: 117-455.
- Brilli, M., Cavazzini, G., Turi, B. (2005). New Data of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratio in Classical Marble: An Initial Database for Marble Provenance Determination. *Journal of Archaeological Science*, **32/10**: 1543-1551.
- Clemex Intelligent Microscopy, Visin PE&Vision Lite 5.0, User Guide, 2007.
- Çapık, M, Çavuşoğlu, İ., Yılmaz, A.O. (2010). Türkiye Doğaltaş Sektörüne Genel Bir Bakış. *MERSEM 7. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi*, 107-116.

- Çaydaş, U. and Hasçalık, A. (2008). A Study on Surface Roughness in Abrasive Waterjet Machining Process Using Artificial Neural Networks and Regression Analysis Method. *Journal of Materials Processing Technology*, **202**: 574-582.
- Çelik, M.Y. ve Kavuşan, G. (2001). Doğal Taş ve Mermerlere Uygulanan Yüzey Şekillendirme Teknikleri. *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 77-86.
- Dai, L.Q., Qin, Q.C. and Xu, X.P. (2006). Study on the Dependence of Glossiness on the Micro-uneven of Natural Granite Surface. *Key Engineering Materials*, **304-305**: 305-309.
- Dönmez, S. ve Sarı, D. (2005). Sayısal Görüntü Analizi Tabanlı Bir Yüzey Parlaklık Ölçüm Sistemi. *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **11(3)**: 401-405.
- DPT (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu: Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri II. (Mermer-Granit-Yapı taşları-Arduvaz (sleyt)). *Çalışma Grubu Raporu*, Ankara.
- Erdogan, M. (2000). Measurement of Polished Rock Surface Brightness by Image Analysis Method. *Engineering Geology*, **57**: 65-72.
- Ersoy, M., (2000). Mermerlerin Mekanik Özellikleriyle Parlatılabilirlik Arasındaki İlişkinin Araştırılması. *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Gadelmawla, E.S., et al. (2002). Roughness Parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, **123**: 133-145.
- Gürmas Gürel Makine Sanayi A.Ş. Mermer, Granit&Doğaltaş İşleme Makinaları Kataloğu. 2008.
- Güneş, A. N., (2005). Türkiye'deki Bazı Mermerlerin Mineralojik ve Petrografik Özelliklerine Göre Kesilebilme ve İşlenebilme Parametrelerinin Matematiksel Modellemesi. *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.
- Güzel, Ö. ve Gündüz, L., (2001). Mermer Silim Hatlarında Kullanılan Silim Taşları- Alternatif Matriks Form Analizi. *Türkiye 3. Mermer Sempozyumu*, 249-263.

- Gökaltun, E. (1997). Atmosferik Kirleticilerin Kuru ve Islak Çökeltme Mekanizmalarının Kireçtaşlarındaki Parlaklık Kaybına Etkisi. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Gökay, M.K. and Gündoğdu I.B. (2008). Color Identification of Some Turkish Marbles. *Construction and Building Materials*, **22**: 1342-1349.
- Göktaş, R.M. ve Yılmaz, N. (2006). Mermer Üretim ve İşleme Teknikleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Eskişehir (Yayımlanmamış).
- Görgülü, K. and Ceylanoğlu, A. (2008). Evaluation of Continuous Grinding Tests on Some Marble and Limestone Units with Silicon Carbide and Diamond Type Abrasives. *Journal of Materials Processing Technology*, **204**: 264–268.
- Görgülü, K. (1998). Bazı Mermer Birimleri İçin Optimum Aşındırma-Cilalama Koşullarının Araştırılması ve Malzeme Özellikleri ile İlişkilendirilmesi. *Doktora Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Sivas.
- Görgülü, K. ve Ceylanoğlu, A. (2001). Bazı Mermer Birimlerinde Değişik Aşındırıcılarla Yerde Gerçekleştirilen Yüzey Aşındırma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi. *Madencilik Dergisi*, 11-27.
- Huang, H., Li, Y., Shen, J.Y., Zhu, H.M. and Xu, X.P. (2002). Micro Structure Detection of a Glossy Granite Surface Machined by the Grinding Process. *Journal of Materials Processing Technology* **129**: 403-407.
- Huang, H. and Xu, X.P. (2003). Material Removal Mechanisms in Diamond Grinding of Granite, Part 2: Formation of Gloss on Granite Surface. *Key Engineering Materials* **250**: 222-227.
- Huang, H. and Xu, X.P. (2003). Material Removal Mechanisms in Diamond Grinding Of Granite, Part 3: Factors Influencing the Formation of Surface Gloss. *Key Engineering Materials*, **250**: 228-232.
- Huang, H. and Xu, X.P. (2004). Interfacial Interactions Between Diamond Disk and Granite During Vertical Spindle Grinding. *Wear*, **256**: 623–629.
- İnka (2005). Mermer-Traverten-Granit Yüzey İşleme Güçlendirme Dolgu Koruma&Atık Su Arıtma Sistemleri. TÜMMER. Ankara.

- ISRM (1981). Rock Characterization, Testing and Monitoring –ISRM Suggested Methods. Pergamon Pres. **211**.
- Kanbalta, E. (1992). Sorunlu Mermerlerin Parlatılabilme Özelliklerinin Saptanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.
- Karaca, Z. (2008). Effect of Head Pressure and Abrasive Series on Surface Roughness of Marbles. *Surface Modification Technologies XXII*, University West. 289-296.
- Kecec, B., Unal, M., Sensöğüt, C. (2006). Effect of the Textural Properties of Rocks on Their Crushing and Grinding Features. *Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material*, **13**: 385-392.
- Kibici, Y. (2006). Doğaltaş Atlası. Kubilay Ofset Repro, İzmir.
- Kulaksız, S. (2007). Doğaltaş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşletme Teknolojileri. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını. Ankara.
- Kun, N. (2000). Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi. Tezer Matbaası. İzmir.
- Kusnetzow, A.B., Melezhik, V.A., Gorokhov, I.M., Mel'nikov, N.N. and Fallick, A.E. (2003). Sr Isotope Composition in Palaeoproterozoic Carbonates Extremely Enriched in ¹³C: Kaniapiskkau Supergroup, the Labrador Trough of the Canadian Shield. *Stratigraphy and Geological Correlation*, **11**: 209-219.
- Li, Y., Huang, H. and Xu X.P. (2006). Gloss Formation and its Relationship with Roughness in Granite Grinding. *Key Engineering Materials*, **304-305**: 413-416.
- Marinescu, D.I., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B., Inasaki I. (2007). Handbook of Machining with Grinding Wheels. CRC Pres. 598.
- Özcelik, Y. (2005). Effect of Mineralogical and Petrographical Properties of Marble on Cutting by Diamond Wire. *CIM Bulletin*, **98**: 1-6.
- Özkahraman, H.T. ve Çobaner, K. (1999). Mermer Sektöründe Cilalama İşleminde Silim Problemleri ve Çözüm Yolları. *Türkiye Taş Dünyası, Taş ve Taş Teknolojileri Dergisi*, Sayı 12.
- Polat, E. (2002). Mermerlerin Elmas Tel İle Kesiminde Dokusal Özelliklerin Etkisinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

- Ribeiro, P.R., Paraguassu, A.B., Rodrigues, E.J. (2007). Sawing of Bloks of Siliceous Dimension Stone: Influence of Texture and Mineralogy. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **66**: 101–107.
- Sağlam, A.İ. (1996). Mermer Plaka Yüzeylerinin Parlatılmasında Kullanılan Abrasivlerin İyileştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Sarı, D., ve Yavuz H. (2001). Mermer Parlaklığının Nicel Tanımı. *Türkiye 3. Mermer Sempozyumu*, 265-275.
- Shen, J.Y. and Xu, X.P. (2007). Study on Polishing Rock Minerals of Natural Stone. *Advanced Materials Research*, **24-25**: 183-188.
- Shen J., Lin W., Ohmori H. and Xu X. (2006). Surface Roughness Characteristics of Finely Ground Ceramics. *Materials Science Forum*, **532-533**: 416-419.
- Tanovic, L.J., Bojanic, P., Puzovic, R., Klimenko S. (2009). Experimental Investigation of Microcutting Mechanisms in Marble Grinding. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, **131**: doi: 10.1115/1.4000619
- TS EN 1936. (2001). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 13755. (2003). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Atmosfer Basıncında Su Emme Tayin. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 14205. (2004). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Knoop Sertliğinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 14579. (2006). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Ses Hızı İlerlemesinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1926. (2000). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Basınç Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1341 Ek C. (2004). Dış Zemin Döşemeleri İçin Tabii Kaplama Taşları - Özellikler ve Deney Metotları. Türk Standartları Enstitüsü.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A. (2005). Kaya Mekaniği Laboratuar DeneYleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: **58**.

- Uğur, İ. ve Gündüz, L. (2003). Mermer İşleme Fabrikalarında Dar Silim - Geniş Silim ve Honlama İşlemlerinde Silim Karakteristiklerinin İrdelenmesi. *IV.Mermer Sempozyumu*, 99-116.
- Wright, D.N., and Rouse C. (1993). Stone Polishing-Measurement of Surface Finish. *Industrial Diamond Rev.* 10-13.
- Wellborn, W. W. (1996). Abrasives—Synthetics Cut Natural Products Down to Size. *Industrial Minerals*, **347**: 31-45.
- Yavuz, H., Ozkahraman, T. and Demirdag, S. (2010)a. Polishing Experiments on Surface Quality of Building Stone Tiles. *Construction and Building Materials*, **25**: 1707–1711.
- Yavuz, H., Ozkahraman, T., Demirdağ, S. (2010)b. Doğaltaş Plakalarının Yüze Kalitesine Bazı Silim Parametrelerinin Etkisi. *7. Uluslararası Mermer Sempozyumu*, 419-426.
- Yıldız, A. (2010). Endüstriyel Hammadde Ders Notları. Afyon Kocatepe Üniversitesi. Afyonkarahisar. (Yayımlanmamış).
- Xie, J. and J.Tamaki (2007). Parameterization of Micro-hardness Distribution in Granite Related to Abrasive Machining Performance. *Journal of Materials Processing Technology*, **186**: 253-258.
- Xu, X.P., Huang, H. and Li, Y. (2003). Material Removal Mechanisms in Diamond Grinding of Granite, Part 1: The Morphological Changes of Granite from Sawing to Grinding. *Key Engineering Materials*, **250**: 215-221.
- Xu, X.P., Huang, H., Gao, Y., Xu, H.J. (2003). Processes for the Generation of Glossiness on Ground Granites and Ceramics. *Key Engineering Materials*, **238-239**: 99-104.

7.1 İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1-<http://www.dogaltassektoru.com>.

10.04.2011

2- www.senmakina.com/pdf/klvz_silme.pdf

15.12.2010

- 3- www.senmakina.com/pdf/klvz_silme.pdf 15.12.2010
- 4- www.simec.it 15.12.2010
- 5- <http://www.aucegypt.edu/Business/econ/Documents/marble.pdf> 15.12.2010

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sevgi GÜRCAN
Doğum Yeri : Senirkent / ISPARTA
Doğum Tarihi : 01.01.1976
Medeni Durumu : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Senirkent Lisesi 1993
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Maden Mühendisliği Bölümü - 2001
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Maden Mühendisliği Bölümü - 2006

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Afyon Kocatepe Üniversitesi 2003-...

Yayınları

A. Sariisik, S.Gurcan, A. Senturk, 2007, "Description of Slipping Test Methods and Application Study on Travertine by Ramp Slip Meter", Building and Enviroment, Volume 42, Issue 4, pp. 1707-1710.

Büyüksağış, S., S.Gürcan, 2005, "ASTM ve TSE Doğaltaş Standartlarının Karşılaştırılması", Madencilik,TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, Cilt: 44, Sayı: 1, 33-41.

M.S. Başpınar, S.Gürcan, 2009, "Afyonkarahisar Andezitlerinin Isıl Modifikasyonu ve Mühendislik Özelliklerine Olan Etkisi", 21. Uluslararası Madencilik Kongresi, Antalya.

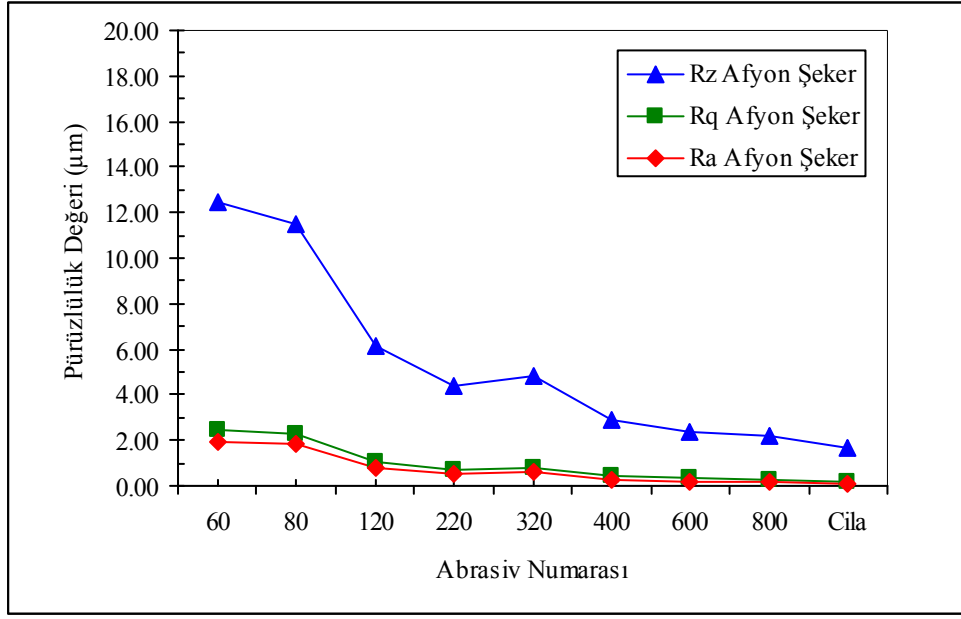
S.Gürcan, E.Sabah, 2003, "Türkiye ve Afyon'da Mermer Sektörünün Gelişim Trendi", Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Afyon.

- Çelik, M.Y., Sarıışık, A., S.Gürcan, 2003, “Mermer ve Taş Ocaklarının Çevreye Olan Görsel Etkisi”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Afyon.
- Sarıışık, A., Çelik, M.Y., ve Gürcan, S., 2003; “Karbonat Kökenli Mermerlerin Mineralojik-petrografik Özelliklerinin Fiziko-mekanik Parametrelere Olan Etkileri” Süleyman Demirel Üniversitesi 20 Yıl Mühendislik Sempozyumu, Isparta.
- B.Ersoy, A. M. Alptekin, A.Sarıışık, Z.Erkan, S.Gürcan, 2005, “Doğal Taş İşleme Tesisi Atık Sularından Bulanıklığın Giderilmesine Farklı Yöntemlerin ve Farklı Koagülantların Etkisi”, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara.
- S.Gürcan, Sarıışık A., Şentürk A., Alptekin A.M., Ersoy B., 2006, “Doğaltaşlarda Kayma Direncinin Belirlenmesi”, Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, s.161-169, Afyon.
- Alptekin A.M., Ersoy B., Sarıışık A., Cengiz İ.,S.Gürcan, 2006, “Poliakrilamid Esaslı ve Farklı Mol Ağırlıklı Anyonik Polimerlerle Mermer Atıksularının Flokülasyonu”, Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, s.439-445, Afyon.
- Gürcan S.,Yeşilkaya L., Aydemir A, 2010, “Doğaltaşlarda Eskitme Yöntemini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi”, Türkiye VII. Uluslararası Mermer&Doğaltaş Kongre, Afyonkarahisar.
- M.Bağcı, A.Yıldız, Y. Kibici, N. İlbeyli, M. Demirbilek, S. Gürcan ve İ.Dumlupınar, 2011, Günyüzü (Sivrihisar, Eskişehir) Granitlerinin Petrografisi ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” 64. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.

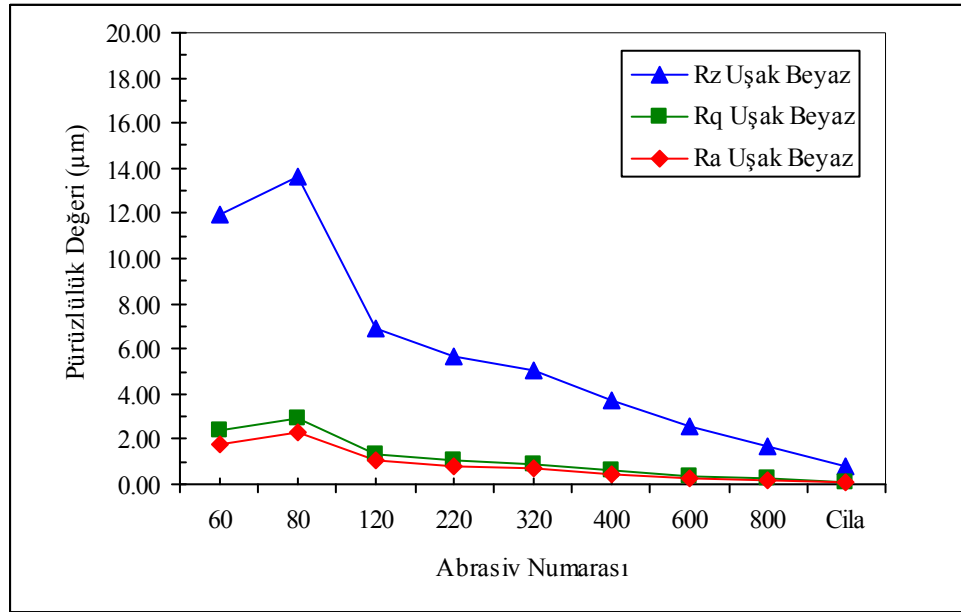
EKLER LİSTESİ

	Sayfa
Ek 1.1 Afyon Şeker mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq ve Rz) abrasiv serisine bağlı değişimi	138
Ek 1.2 Uşak Beyaz mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq ve Rz) abrasiv serisine bağlı değişimi.	138
Ek 1.3 Muğla Beyaz mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq ve Rz) abrasiv serisine bağlı değişimi	139
Ek 1.4 Kaplan Postu mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq ve Rz) abrasiv serisine bağlı değişimi	139
Ek 1.5 Akşehir Siyah mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq ve Rz) abrasiv serisine bağlı değişimi	140
Ek 1.6 Uşak Yeşil mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq ve Rz) abrasiv serisine bağlı değişimi	140
Ek 2.1 Kalsit tane alanı-pürüzlülük ilişkileri	141
Ek 2.2 Kalsit tane küreselliği-pürüzlülük ilişkileri	141
Ek 2.3 Kalsit tane pürüzlülüğü-pürüzlülük ilişkileri	142
Ek 2.4 Kalsit tane çevresi-pürüzlülük ilişkileri.	142
Ek 2.5 Kalsit tane conv çevresi-pürüzlülük ilişkileri	143
Ek 2.6 Kalsit tane köşegen uzunluğu-pürüzlülük ilişkileri	143
Ek 2.7 Kalsit tane genişliği-pürüzlülük ilişkileri.	144
Ek 2.8 Kalsit tane enliliği-pürüzlülük ilişkileri	144
Ek 2.9 Kalsit tanesinin ana uzunluğu-pürüzlülük ilişkileri	145
Ek 2.10 Kalsit tanesi ortalama feret-pürüzlülük ilişkileri	145
Ek 2.11 Kalsit tane alanı-parlaklık ilişkileri	146
Ek 2.12 Kalsit tane küreselliği-parlaklık ilişkileri	146
Ek 2.13 Kalsit tane pürüzlülüğü-parlaklık ilişkileri	147
Ek 2.14 Kalsit tane çevresi-parlaklık ilişkileri	147
Ek 2.15 Kalsit tanesinin conv çevresi-parlaklık ilişkileri	148
Ek 2.16 Kalsit tane köşegen uzunluğu-parlaklık ilişkileri	148
Ek 2.17 Kalsit tane genişliği-parlaklık ilişkileri	149
Ek 2.18 Kalsit tane enliliği-parlaklık ilişkileri	149

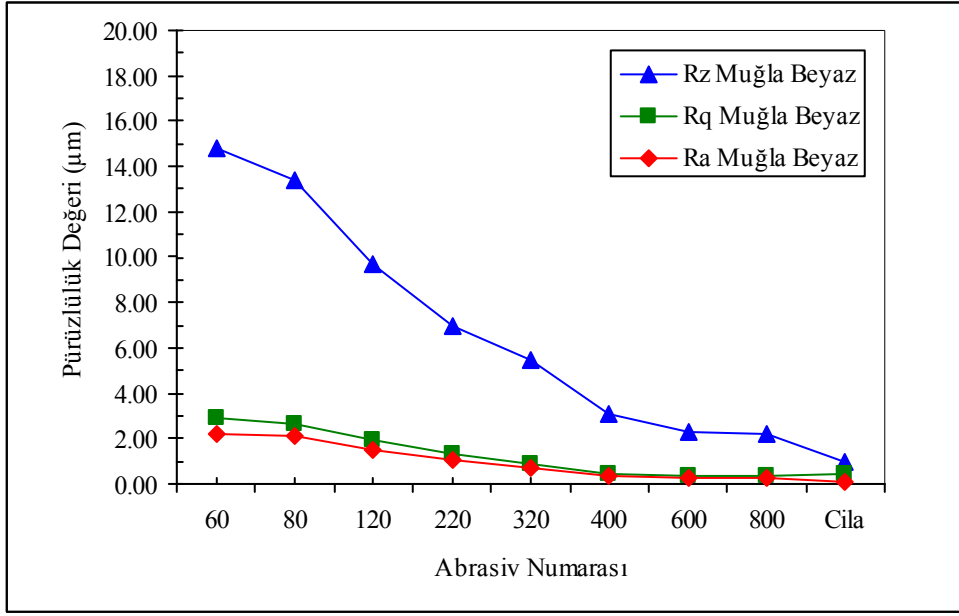
Ek 2.19	Kalsit tane ana uzunluğu-parlaklık ilişkileri	150
Ek 2.20	Kalsit tanesi ortalama feret-parlaklık ilişkileri	150
Ek 2.21	Kalsit tane en/boy oranı-parlaklık ilişkileri	151
Ek 3.1	K ₂ O-Pürüzlülük ilişkisi	152
Ek 3.2	Al ₂ O ₃ -Pürüzlülük ilişkisi	152
Ek 3.3	SiO ₂ -Pürüzlülük ilişkisi	152
Ek 3.4	Top REE-Pürüzlülük ilişkisi	153
Ek 3.5	K ₂ O-Parlaklık İlişkisi	153
Ek 3.6	CaO-Parlaklık İlişkisi	153
Ek 3.7	Al ₂ O ₃ -Parlaklık İlişkisi	154
Ek 3.8	SiO ₂ -Parlaklık İlişkisi	154
Ek 3.9	Top REE-Parlaklık İlişkisi	154
Ek 4.1	Yoğunluk – pürüzlülük ilişkileri	155
Ek 4.2	Su emme – pürüzlülük ilişkileri	155
Ek 4.3	Toplam gözeneklilik – pürüzlülük ilişkileri	155
Ek 4.4	Ultrases hızı – pürüzlülük ilişkileri	156
Ek 4.5	Basınç dayanımı – pürüzlülük ilişkileri	156
Ek 4.6	Endirekt çekme dayanımı – Pürüzlülük ilişkileri	156
Ek 4.7	Shore sertliği – pürüzlülük ilişkileri	157
Ek 4.8	Schmidt sertliği – pürüzlülük ilişkileri	157
Ek 4.9	Aşınma dayanımı – pürüzlülük ilişkileri	157
Ek 4.10	Yoğunluk – parlaklık ilişkileri	158
Ek 4.11	Su emme – parlaklık ilişkileri	158
Ek 4.12	Toplam gözeneklilik – parlaklık ilişkileri	158
Ek 4.13	Ultrases hızı – parlaklık ilişkileri	159
Ek 4.14	Basınç dayanımı – parlaklık ilişkileri	159
Ek 4.15	Shore sertliği – Parlaklık ilişkileri	159
Ek 4.16	Knoop sertliği – parlaklık ilişkileri	160
Ek 4.17	Schmidt sertliği – parlaklık ilişkileri	160
Ek 4.18	Aşınma dayanımı – parlaklık İlişkileri	160



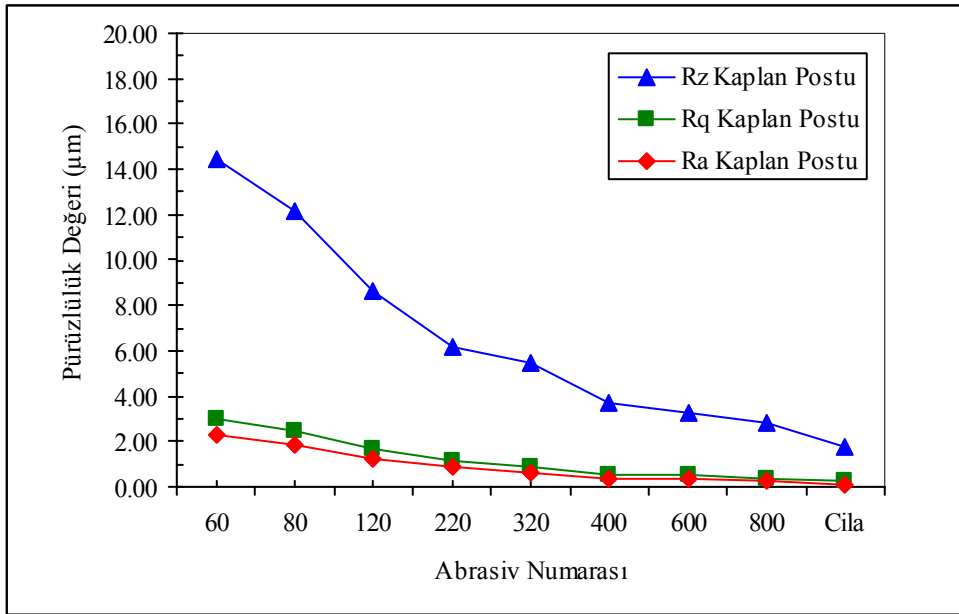
Ek 1.1 Afyon Şeker mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq veRz) abrasiv serisine bağlı değişimi.



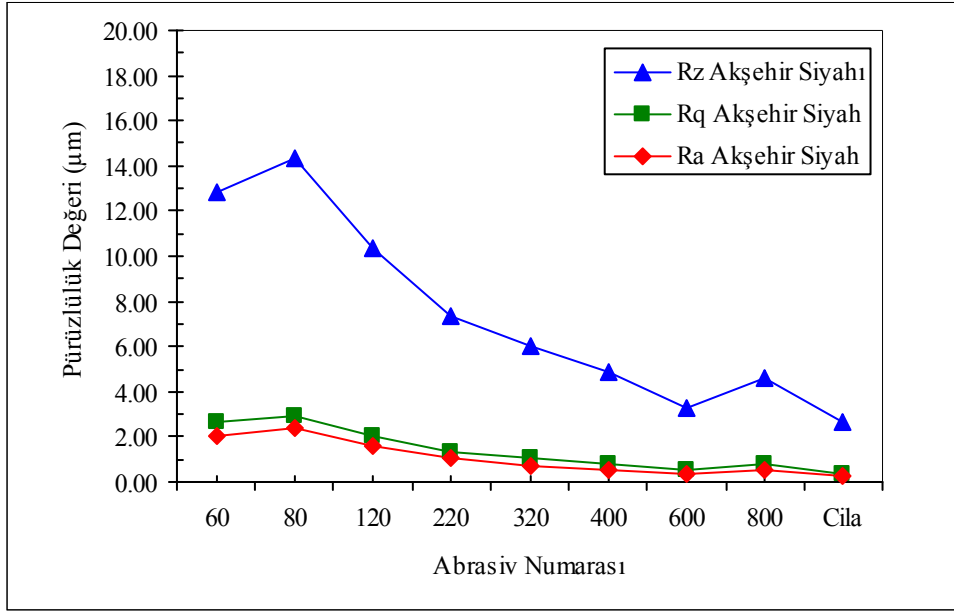
Ek 1.2 Uşak Beyaz mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq veRz) abrasiv serisine bağlı değişimi.



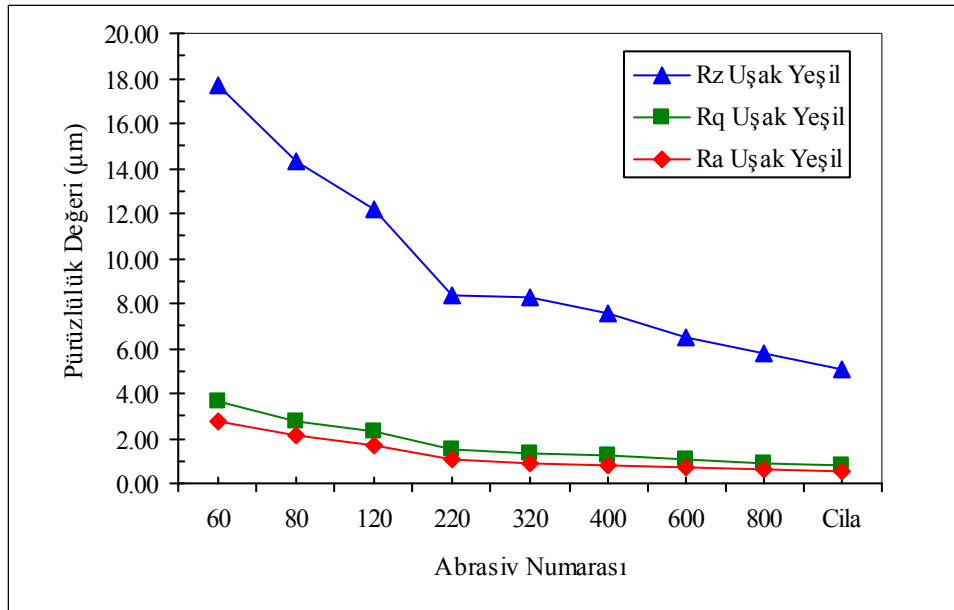
Ek 1.3 Muğla Beyaz mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq veRz) abrasiv serisine bağlı değişimi.



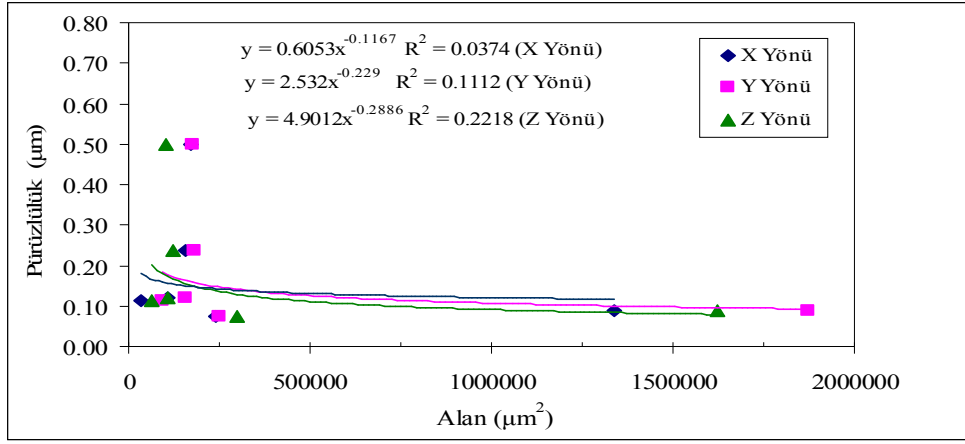
Ek 1.4 Kaplan Postu mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq veRz) abrasiv serisine bağlı değişimi.



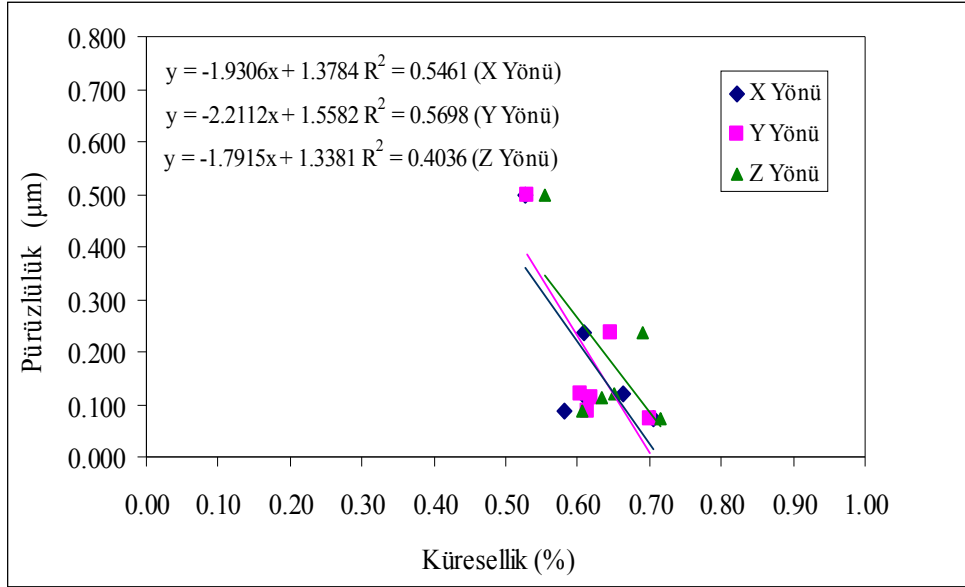
Ek 1.5 Akşehir Siyah mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq veRz) abrasiv serisine bağlı değişimi.



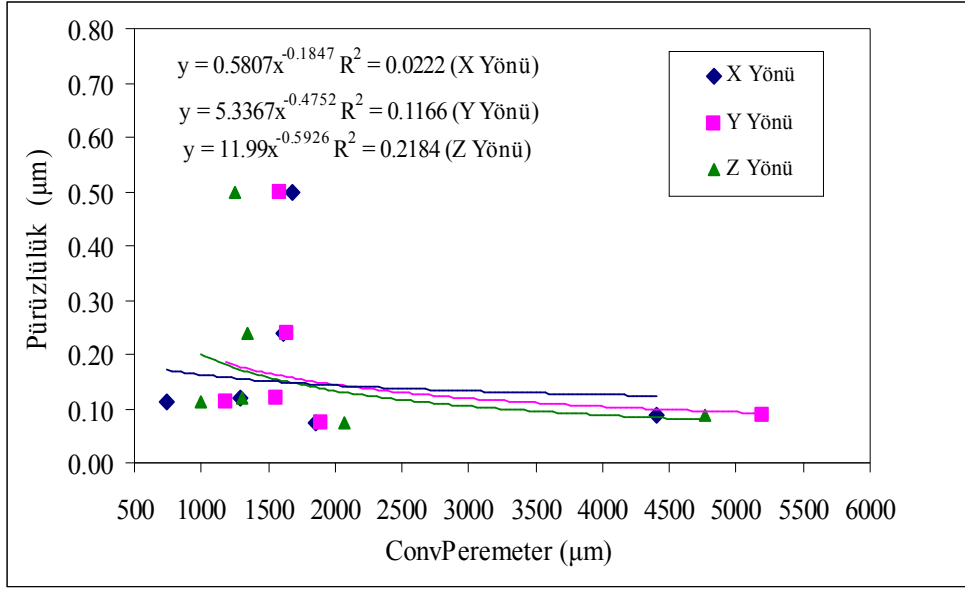
Ek 1.6 Uşak Yeşil mermerine ait pürüzlülük parametrelerinin(Ra, Rq veRz) abrasiv serisine bağlı değişimi.



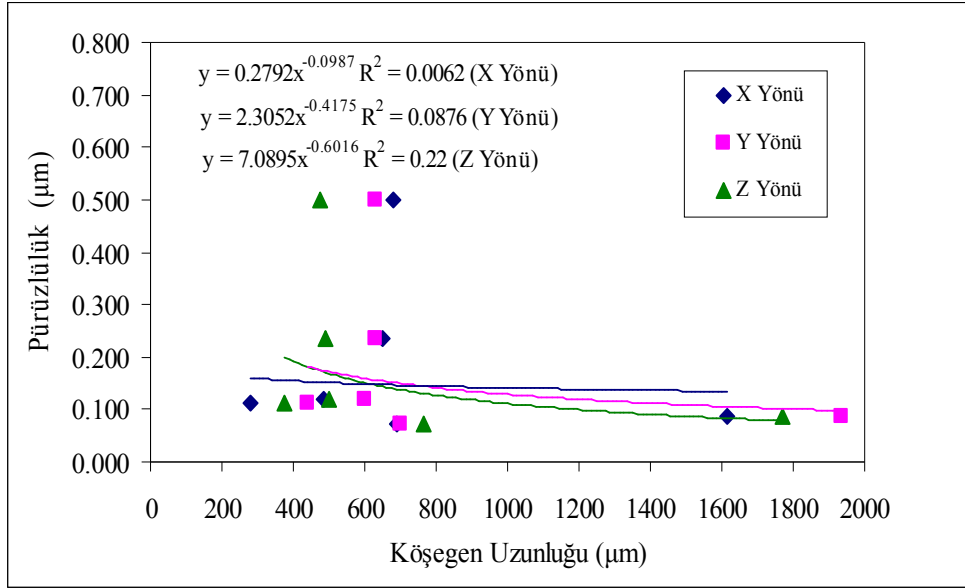
Ek 2.1 Kalsit tane alanı-pürüzlülük ilişkileri.



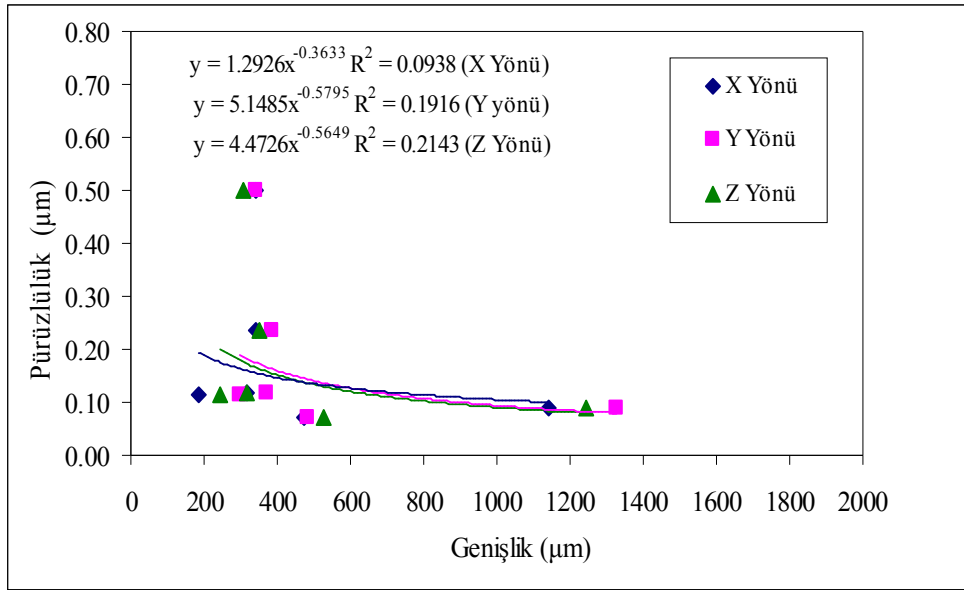
Ek 2.2 Kalsit tane küreselliği-pürüzlülük ilişkileri.



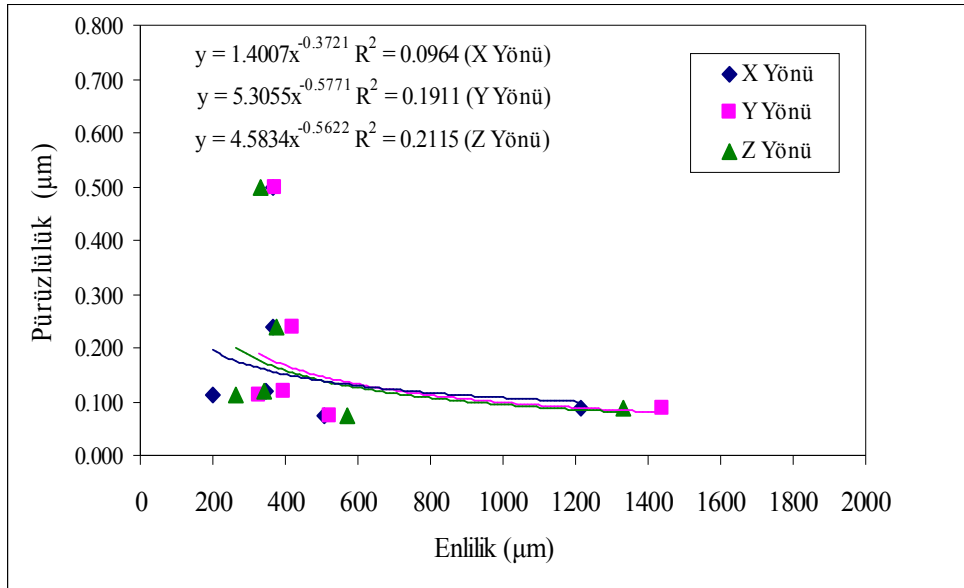
Ek 2.5 Kalsit tane conv çevresi-pürüzlülük ilişkileri.



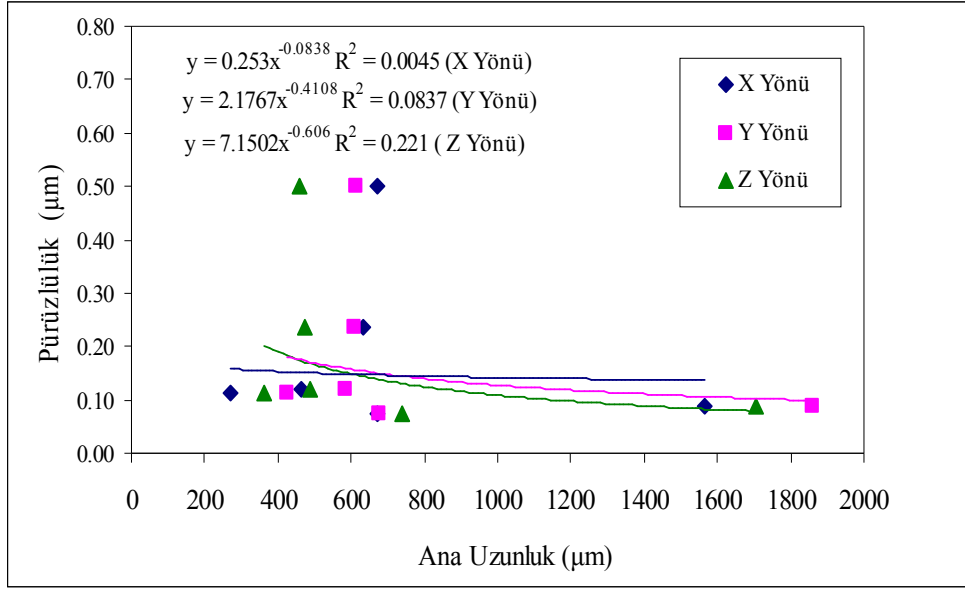
Ek 2.6 Kalsit tane köşegen uzunluğu-pürüzlülük ilişkileri.



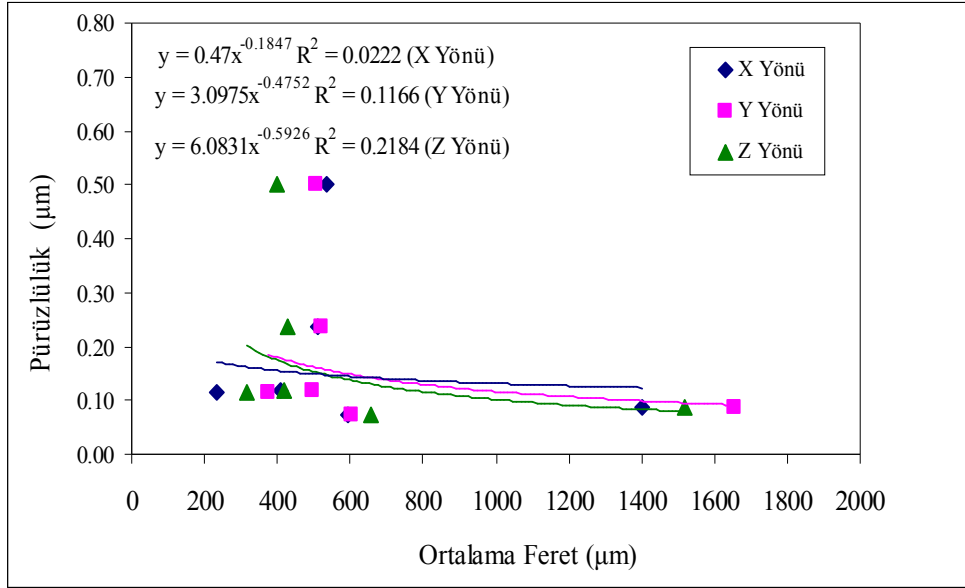
Ek 2.7 Kalsit tane genişliği-pürüzlülük ilişkileri.



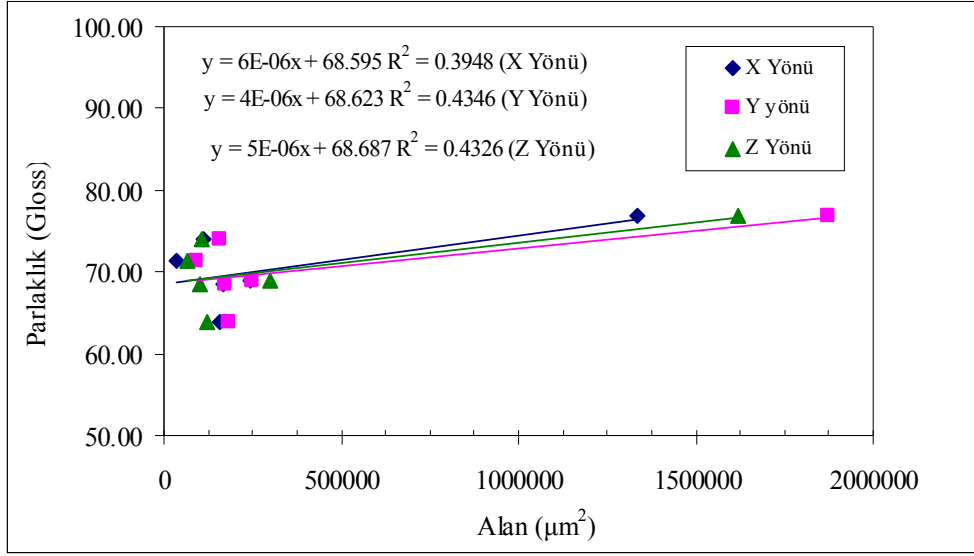
Ek 2.8 Kalsit tane enliliği-pürüzlülük ilişkileri.



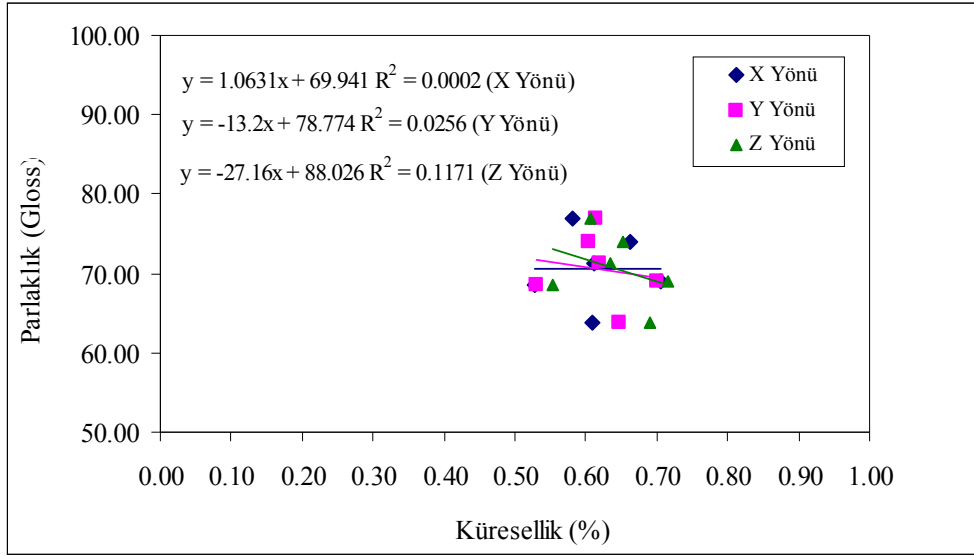
Ek 2.9 Kalsit tanesinin ana uzunluğu-pürüzlülük ilişkileri.



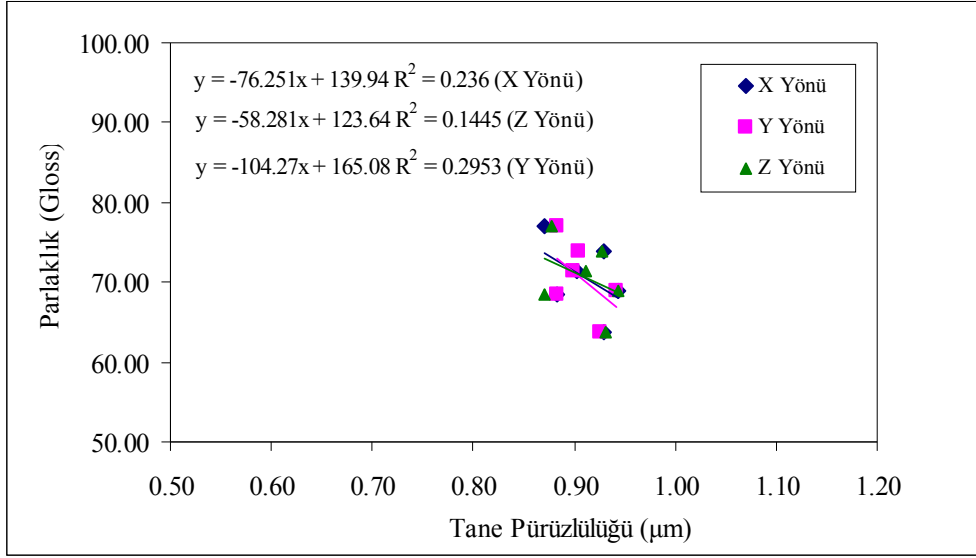
Ek 2.10 Kalsit tanesi ortalama feret-pürüzlülük ilişkileri.



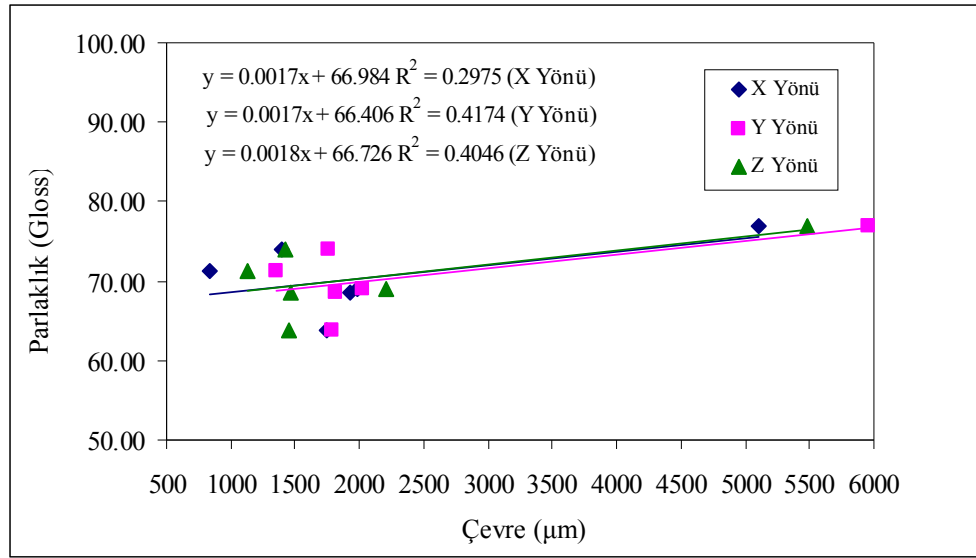
Ek 2.11 Kalsit tane alanı-parlaklık ilişkileri.



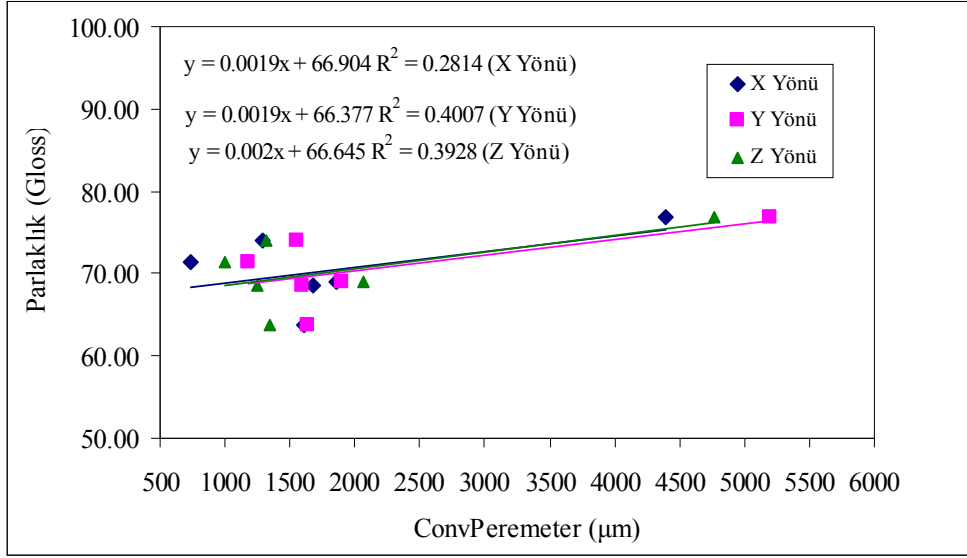
Ek 2.12 Kalsit tane küreselliği-parlaklık ilişkileri.



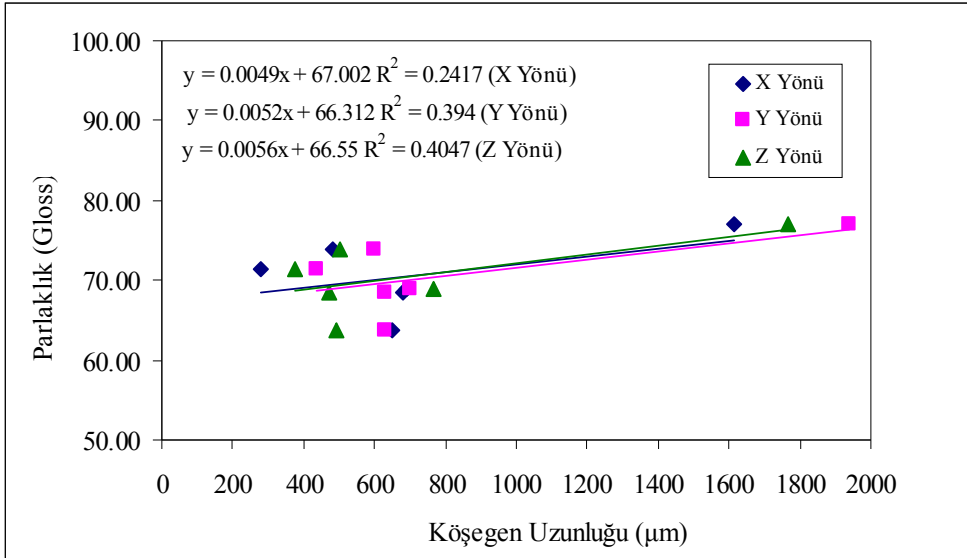
Ek 2.13 Kalsit tane pürüzlülüğü-parlaklık ilişkileri.



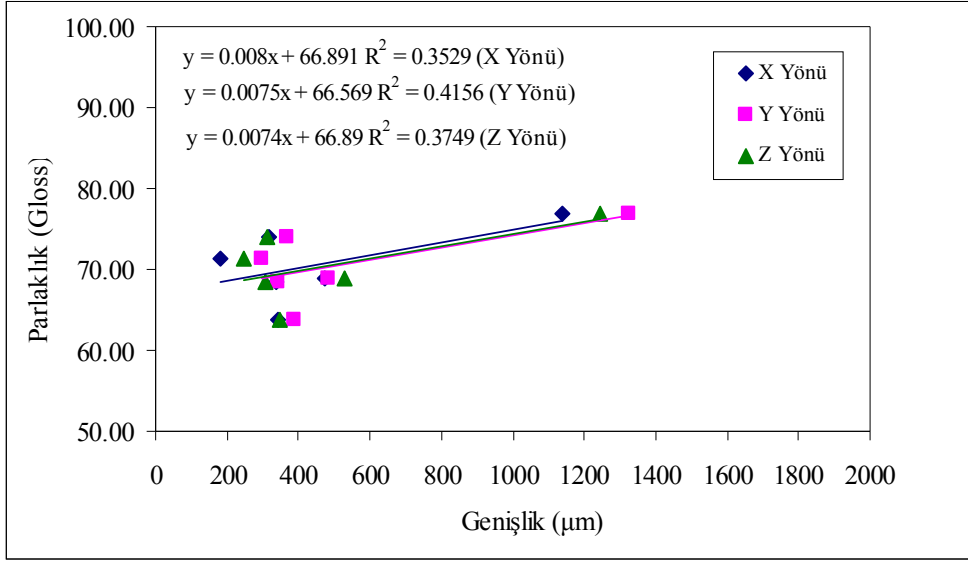
Ek 2.14 Kalsit tane çevresi-parlaklık ilişkileri.



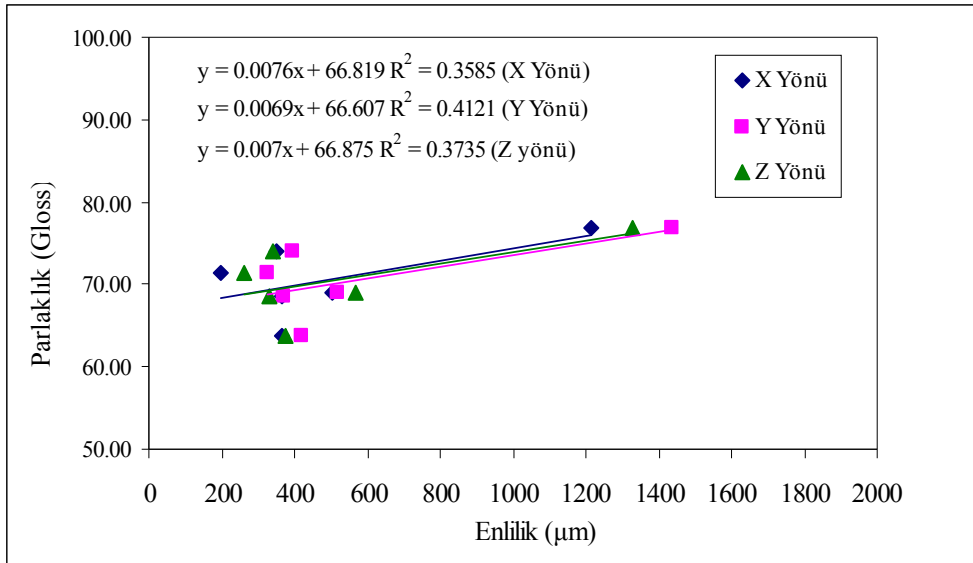
Ek 2.15 Kalsit tanesinin conv çevresi-parlaklık ilişkileri.



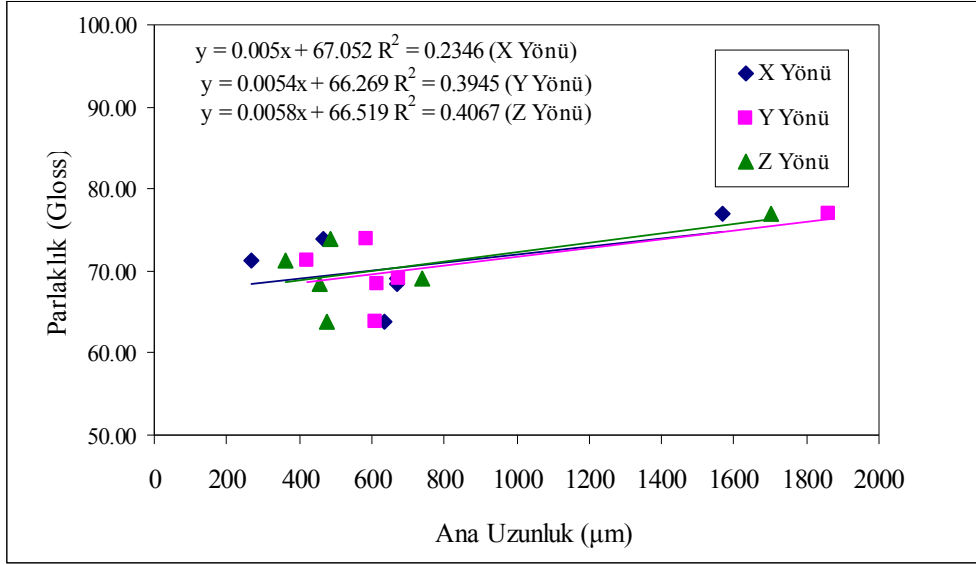
Ek 2.16 Kalsit tane köşegen uzunluğu-parlaklık ilişkileri.



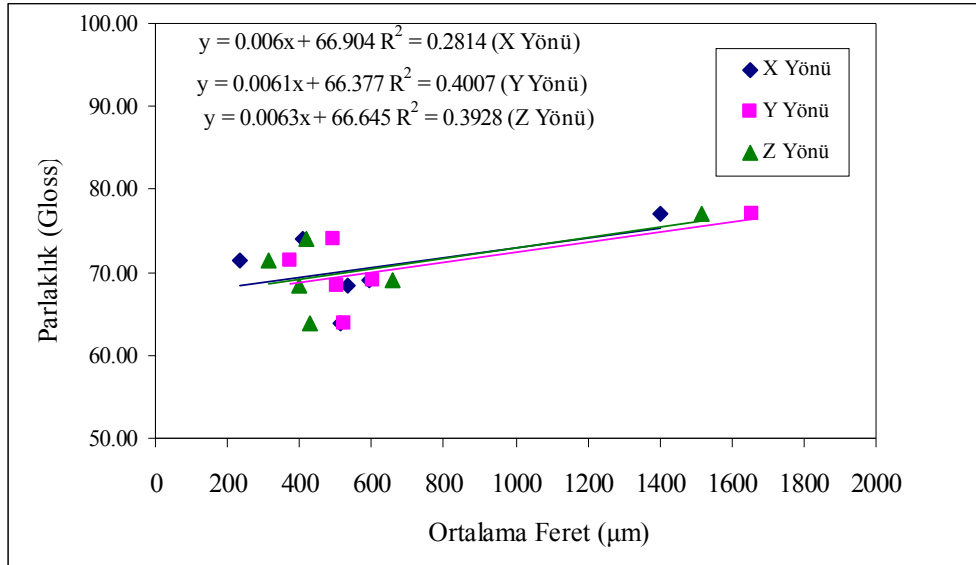
Ek 2.17 Kalsit tane genişliği-parlaklık ilişkileri.



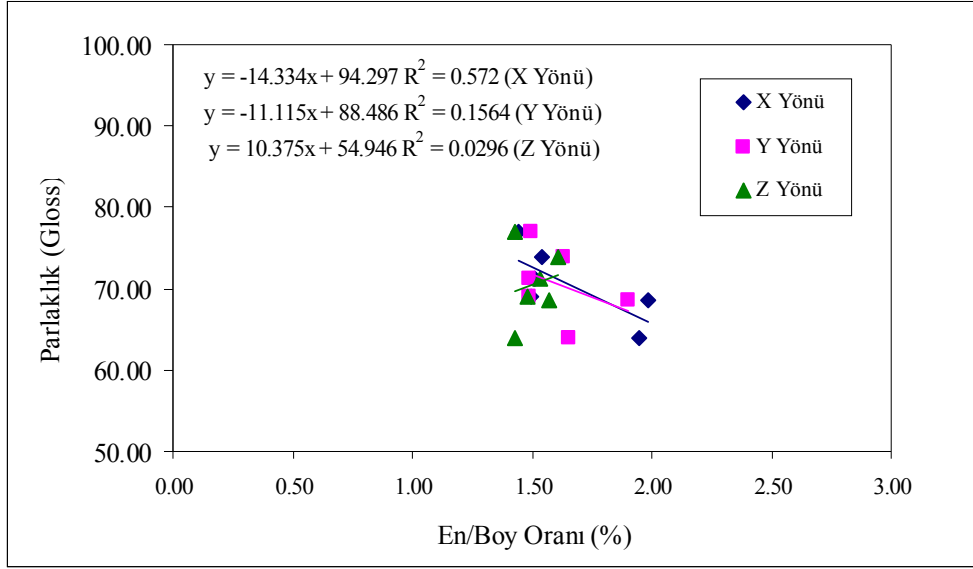
Ek 2.18 Kalsit tane enliliği-parlaklık ilişkileri.



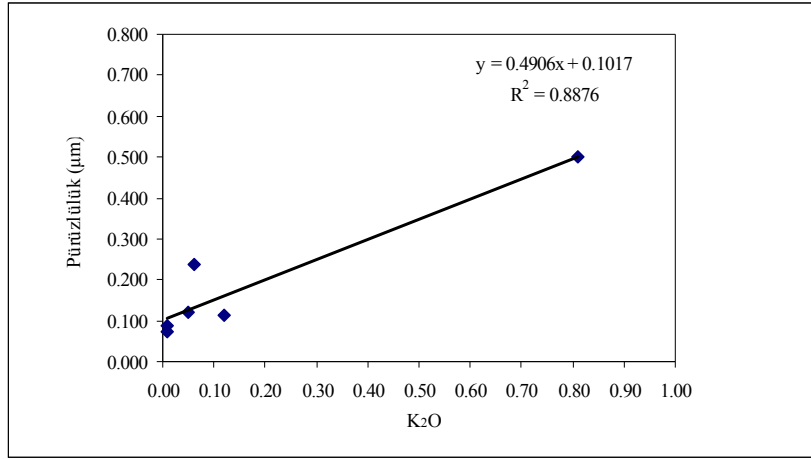
Ek 2.19 Kalsit tane ana uzunluğu-parlaklık ilişkileri.



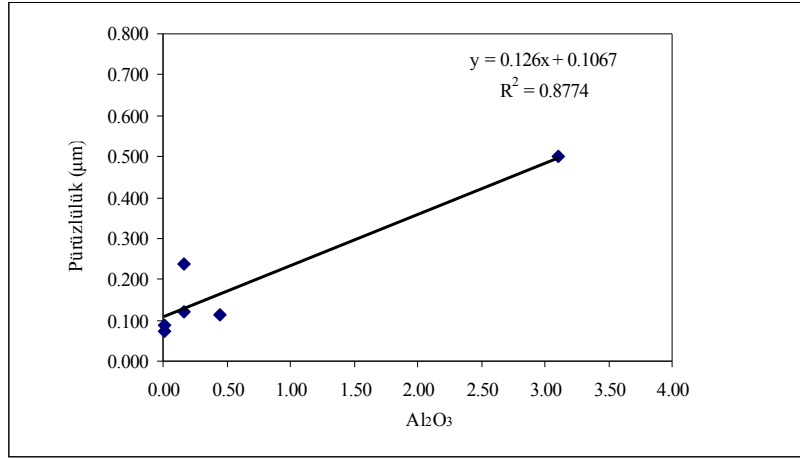
Ek 2.20 Kalsit tanesi ortalama feret-parlaklık ilişkileri.



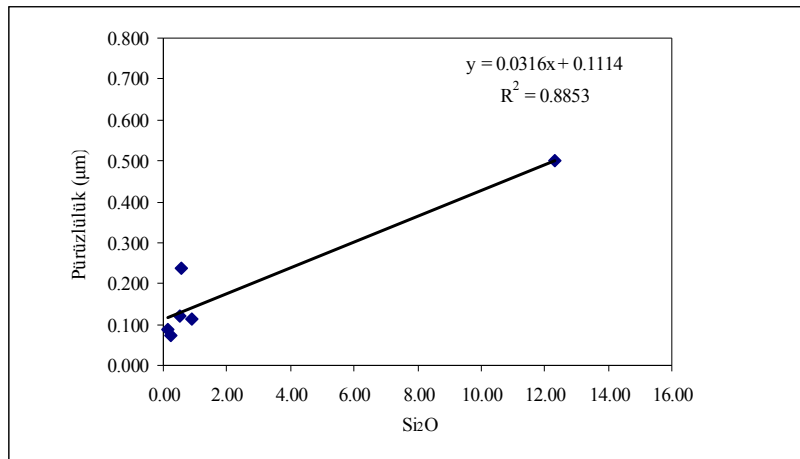
Ek 2.21 Kalsit tane en/boy oranı-parlaklık ilişkileri.



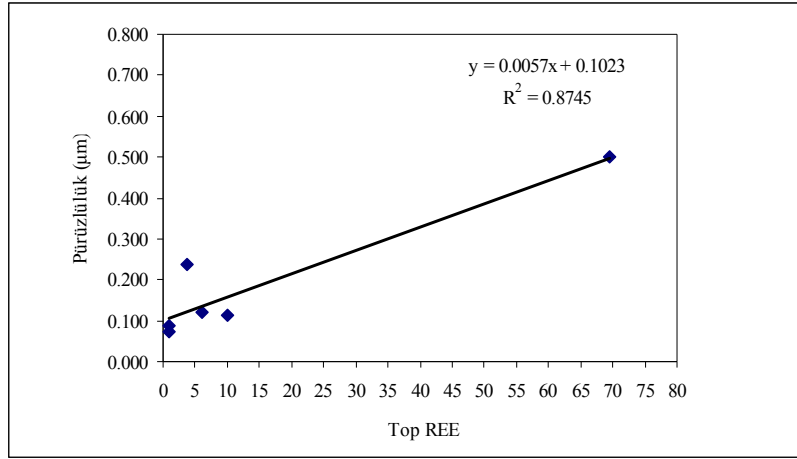
Ek 3.1 K₂O-Pürüzlülük ilişkisi.



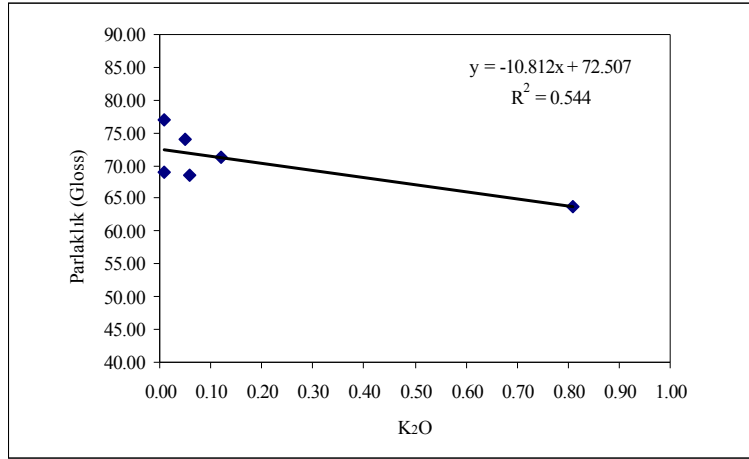
Ek 3.2 Al₂O₃-Pürüzlülük ilişkisi.



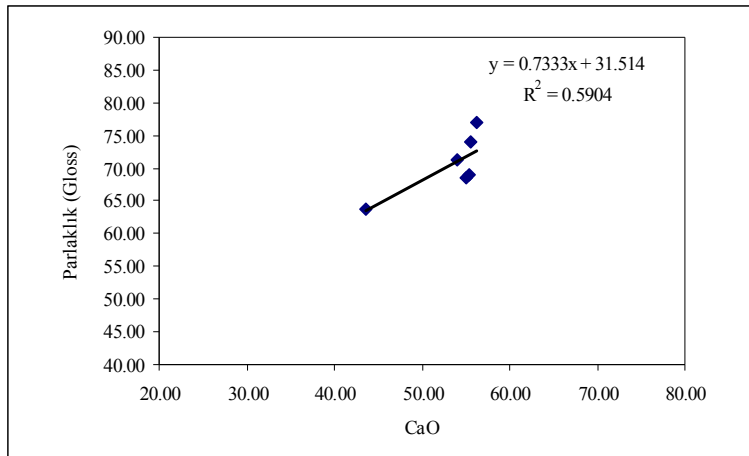
Ek 3.3 SiO₂-Pürüzlülük ilişkisi.



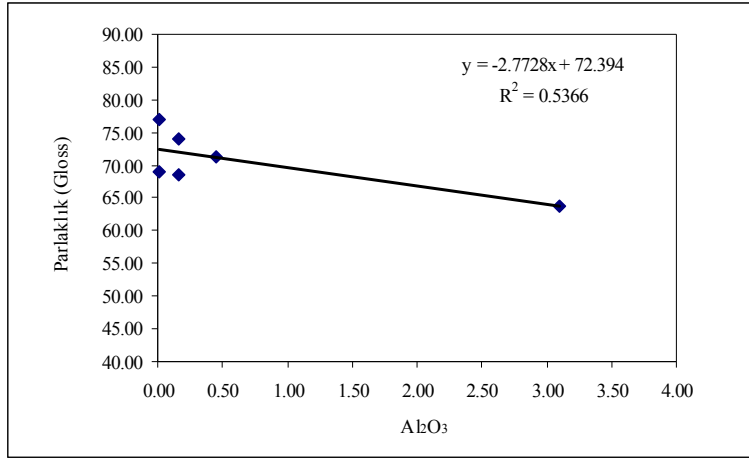
Ek 3.4 Top REE-Pürüzlülük ilişkisi.



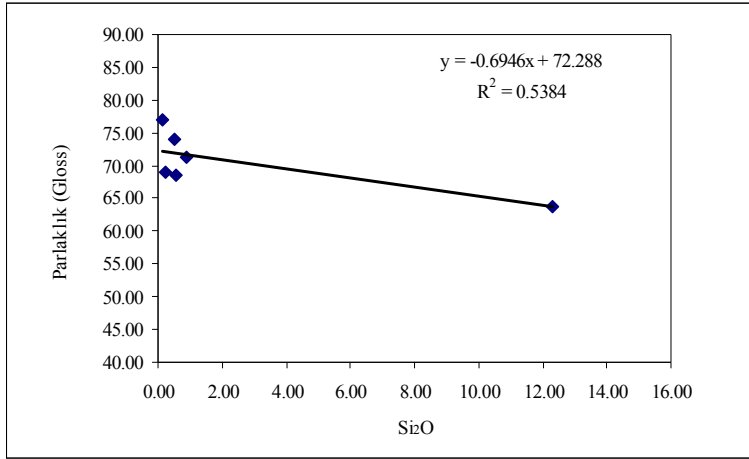
Ek 3.5 K₂O-Parlaklık ilişkisi.



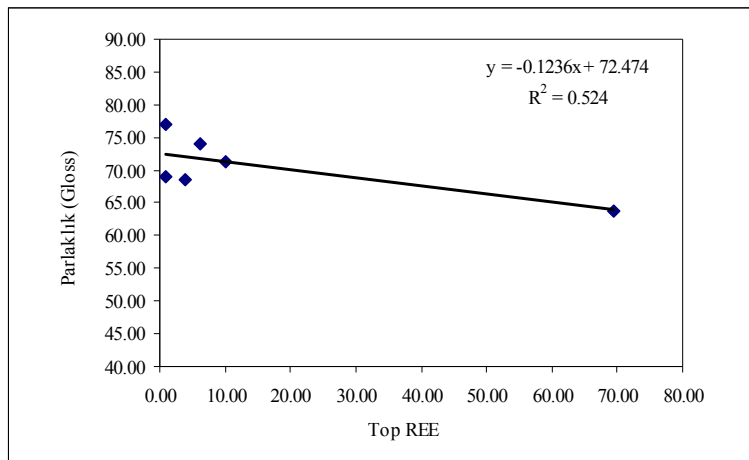
Ek 3.6 CaO-Parlaklık ilişkisi.



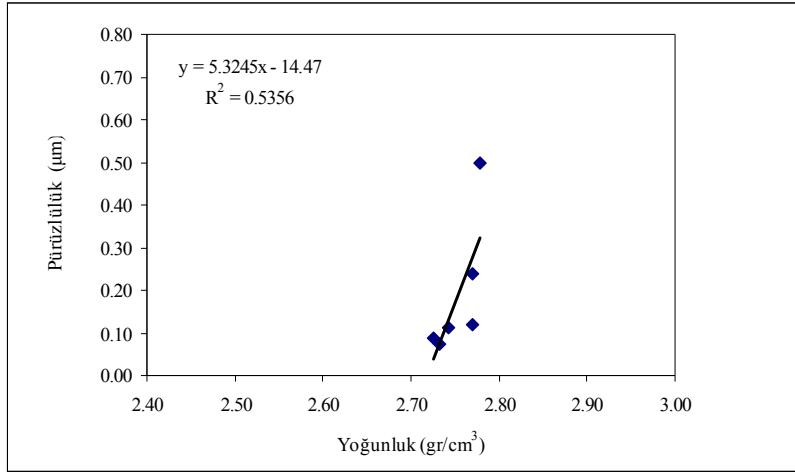
Ek 3.7 Al₂O₃-Parlaklık ilişkisi.



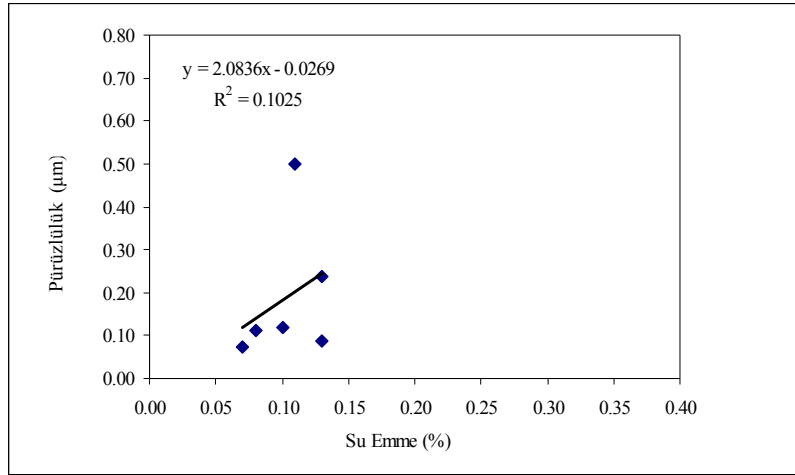
Ek 3.8 SiO₂-Parlaklık ilişkisi.



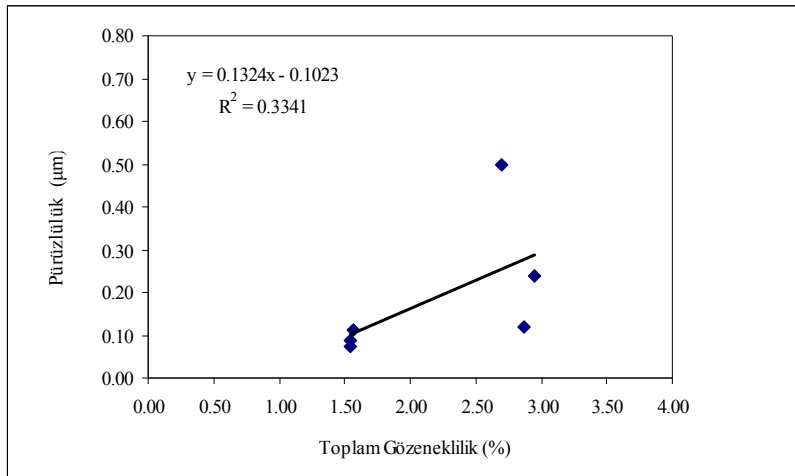
Ek 3.9 Top REE-Parlaklık ilişkisi.



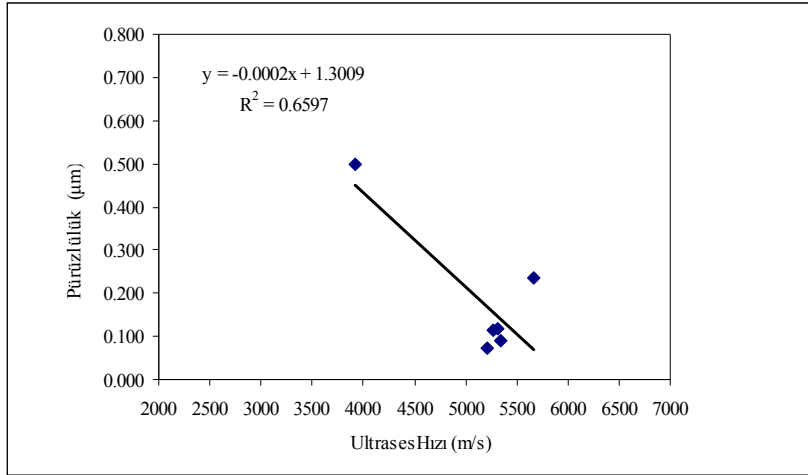
Ek 4.1 Yoğunluk – Pürüzlülük ilişkileri.



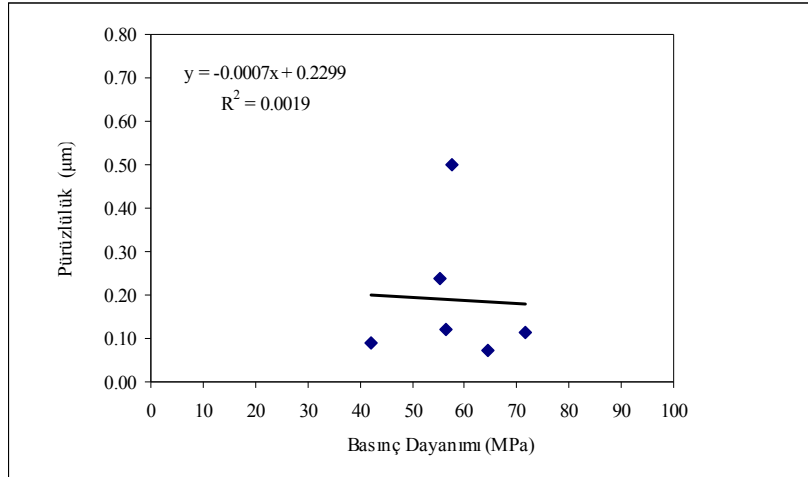
Ek 4.2 Su Emme – Pürüzlülük ilişkileri.



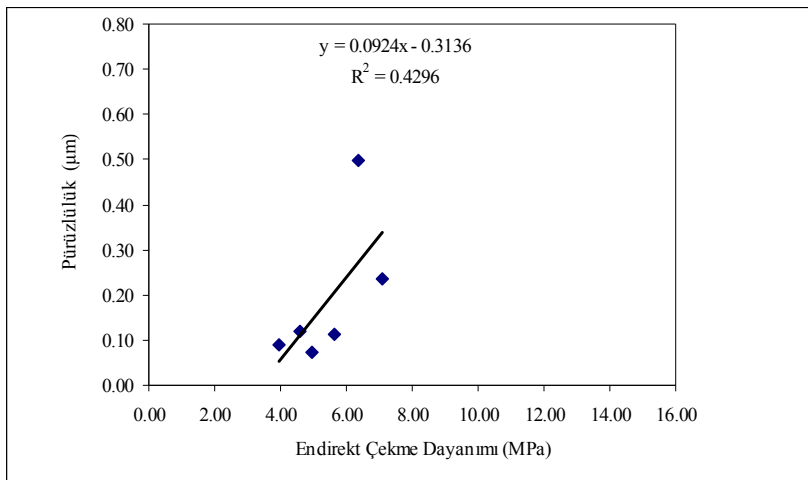
Ek 4.3 Toplam Gözeneklilik – Pürüzlülük ilişkileri.



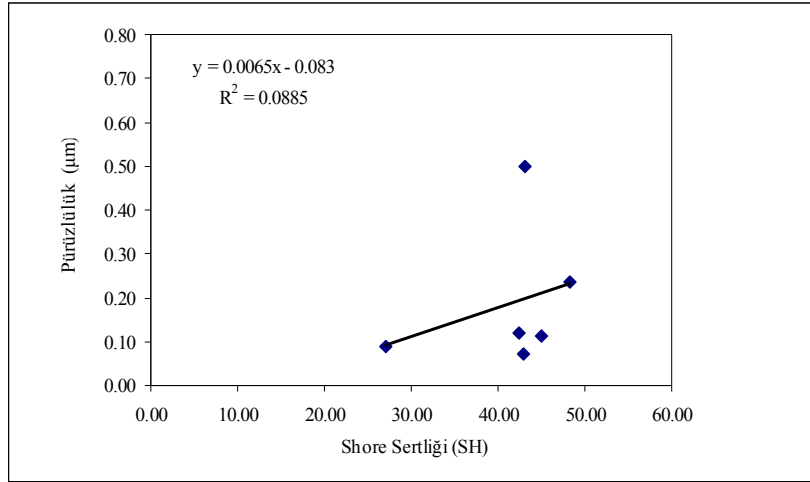
Ek 4.4 Ultrases Hızı – Pürüzlülük ilişkileri.



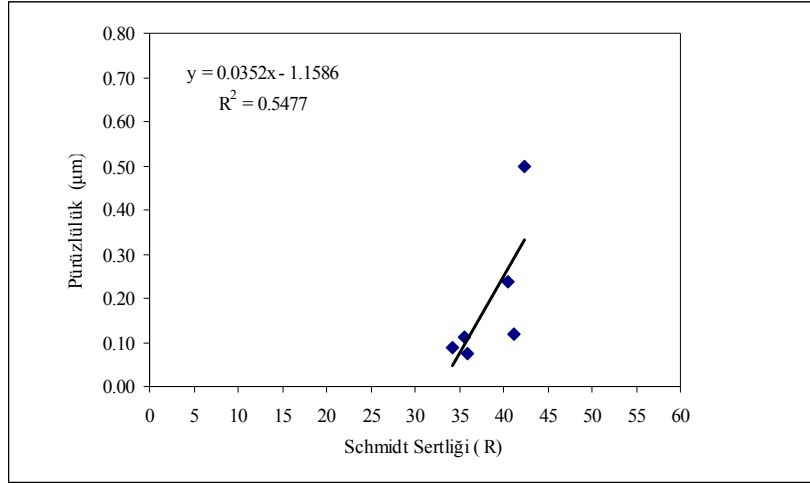
Ek 4.5 Basınç Dayanımı – Pürüzlülük ilişkileri.



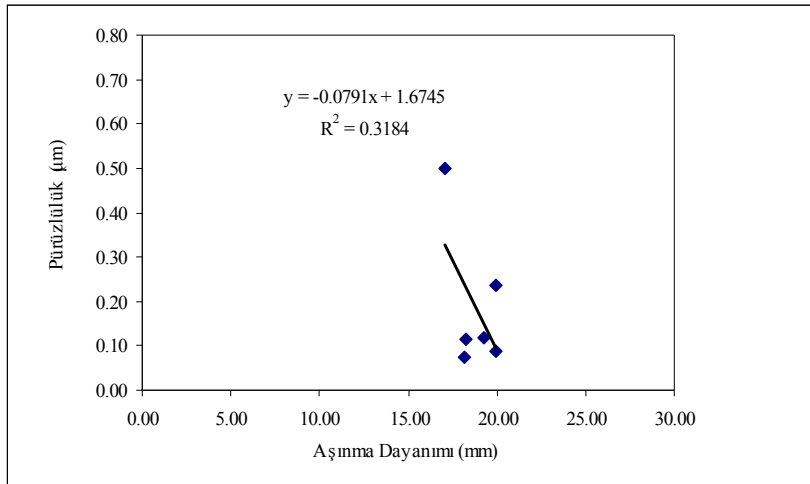
Ek 4.6 Endirekt Çekme Dayanımı – Pürüzlülük ilişkileri.



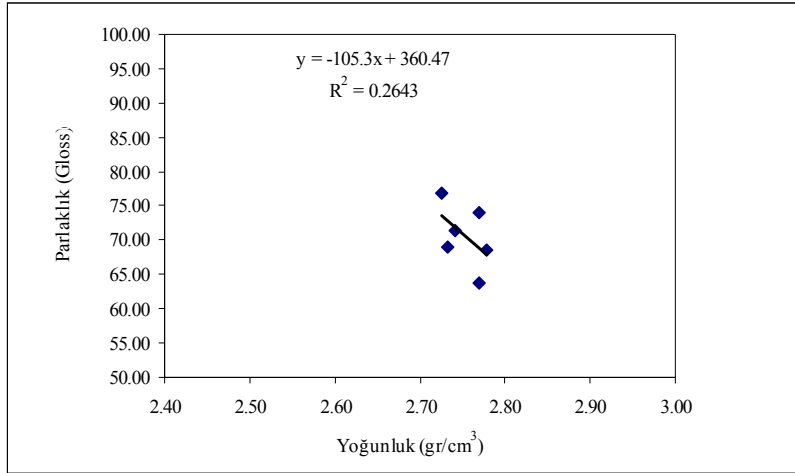
Ek 4.7 Shore Sertliği – Pürüzlülük ilişkileri.



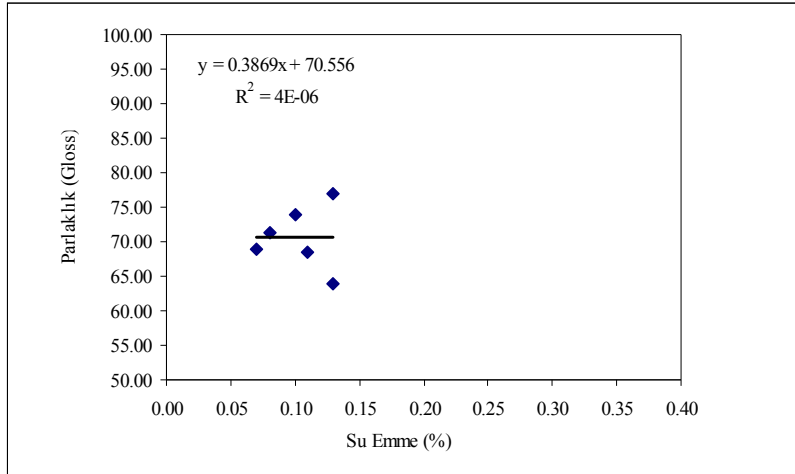
Ek 4.8 Schmidt Sertliği – Pürüzlülük ilişkileri.



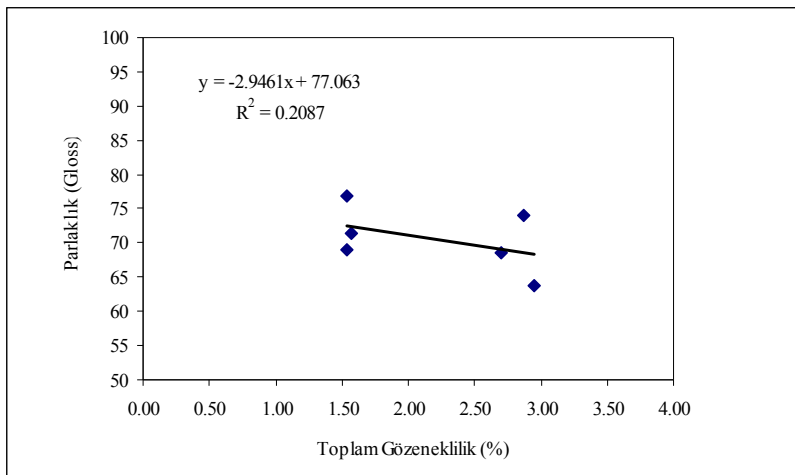
Ek 4.9 Aşınma Dayanımı – Pürüzlülük ilişkileri.



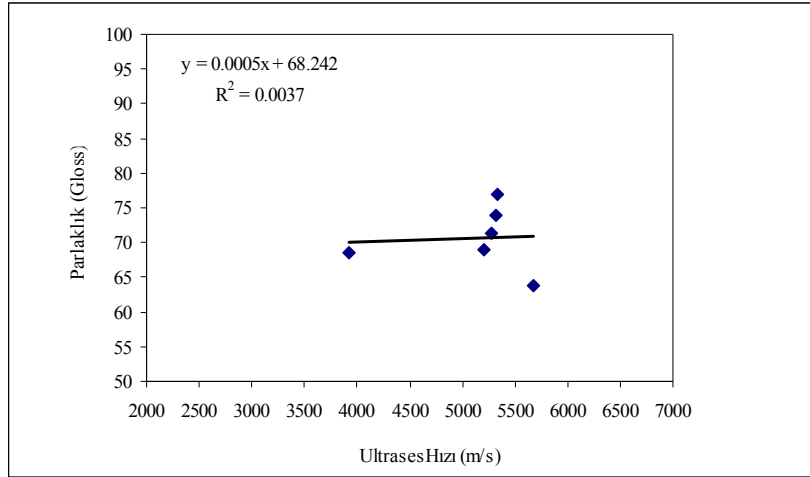
Ek 4.10 Yoğunluk – Parlaklık ilişkileri.



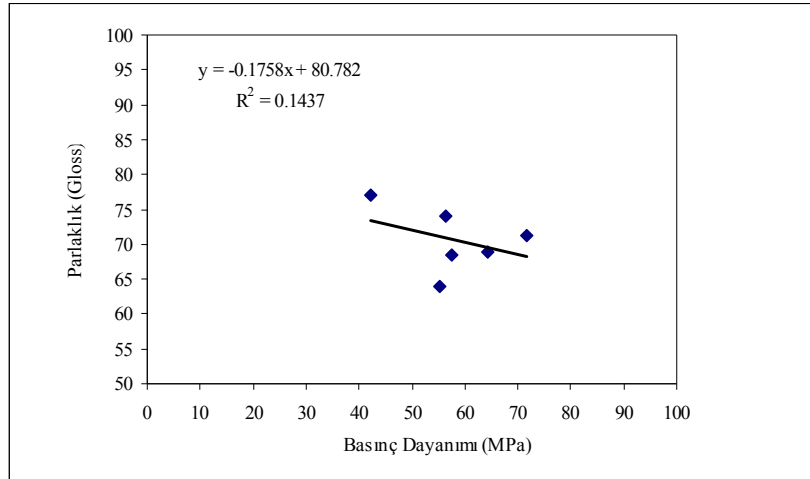
Ek 4.11 Su Emme – Parlaklık ilişkileri.



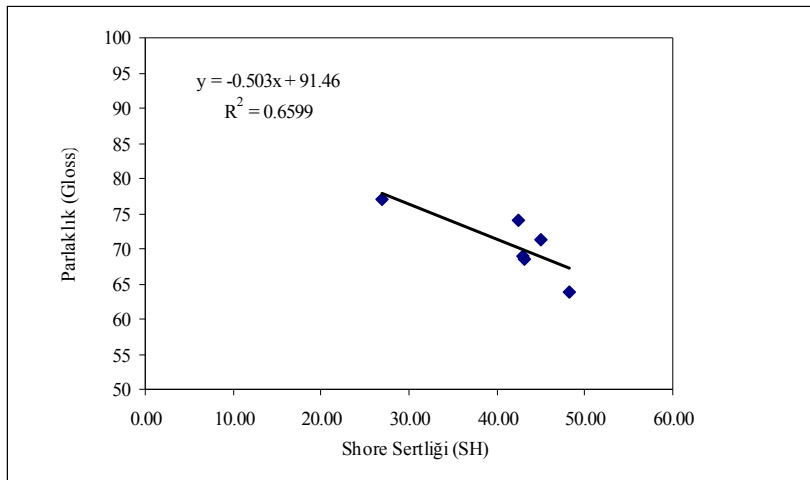
Ek 4.12 Toplam Gözeneklilik – Parlaklık ilişkileri.



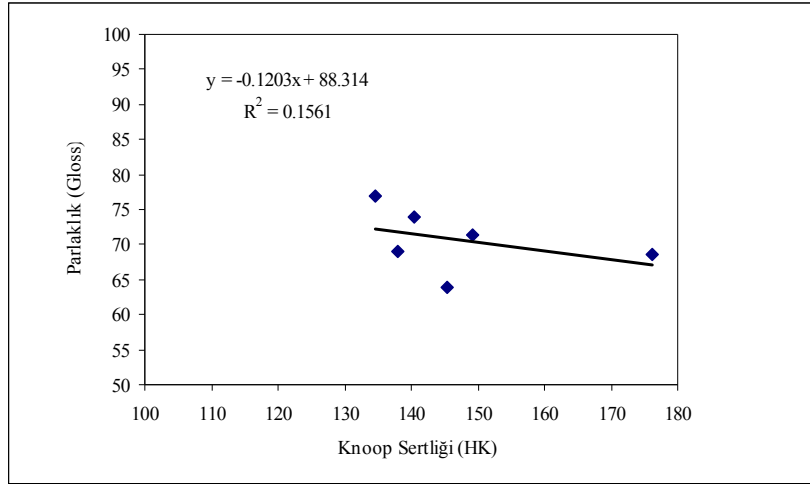
Ek 4.13 Ultrases Hızı – Parlaklık ilişkileri.



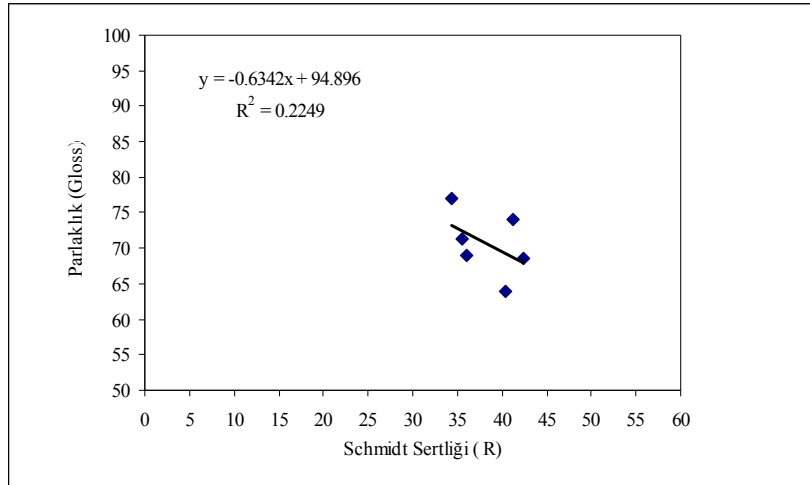
Ek 4.14 Basınç Dayanımı – Parlaklık ilişkileri.



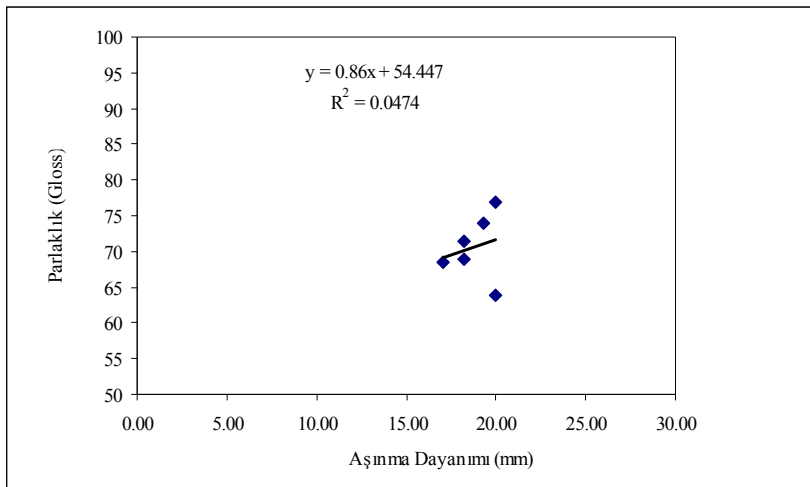
Ek 4.15 Shore Sertliği – Parlaklık ilişkileri.



Ek 4.16 Knoop sertliği – Parlaklık ilişkileri.



Ek 4.17 Schmidt sertliği – Parlaklık ilişkileri.



Ek 4.18 Aşınma Dayanımı – Parlaklık ilişkileri.