

MERMER PARLATMA SÜRECİNDE ABRASİV KAFA DEVRİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Investigation of the Abrasive Head Rotation Effect to the Surface Quality in Marble Polishing Process

Metin ERSOY*

Mustafa Yavuz ÇELİK**

Liyaddin YEŞİLKAYA***

Gökhan GEÇER****

ÖZET

Bu çalışmada, mermerlerin parlatılması aşamasında abrasiv kafa devirlerinin yüzey kalitesine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Bursa Emprador, Seyitgazi Seashell, Muğla Beyaz, Bucak Traverten ve Crema Bella adlarıyla tanınan 5 farklı numune üzerinde parlatma deneyleri yapılmış olup deneylerde, endüstriyel çapta, 2+4 kafalı otomatik dar bant silim makinası kullanılmıştır. Deneyler, kafa basıncı ve bant hızı sabit tutularak farklı kafa devirlerinde gerçekleştirilmiş ve sürecin belli aşamalarında yüzey özelliklerini belirlemek amacıyla pürüzlülük ve parlaklık ölçümleri yapılmıştır.

Elde edilen veriler ışığında, mermerlerin parlatılması sürecinde kaba silim aşamasında pürüzlülüğün hızla düştüğü, ince silim aşamasında da parlaklığın hızla arttığı, parlaklık ve pürüzlülüğün ters orantılı değiştiği, abrasiv kafaların devirlerinin artmasıyla daha pürüzsüz ve parlak yüzeyler elde edildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Mermer, Aşındırma ve parlatma, Parlaklık ve pürüzlülük, Abrasiv kafa devri

ABSTRACT

In this paper, the influence of abrasive head rotation on surface quality was investigated under the process of marble polishing. For this purpose, five different samples known as Bursa Emprador, Seyitgazi Seashell, Muğla White, Bucak Travertine Crema Bella were tested by using automatic narrow belt polish machine with 2+4 heads. The polishing experiments were conducted by keeping the head pressure and belt speed stable while head rotations vary. In some stages of this process, the surface glossiness and roughness were measured to identify the surface quality.

As a result of the data, it can be seen that the surface roughness is rapidly decreasing in the rough polishing stage of the process and the surface glossiness is rapidly increasing in the fine polishing stage of the process. Moreover, glossiness and roughness are inversely proportional in addition to that smoother and brighter surfaces are obtained by increasing the abrasive heads rotation.

Keywords: Marble, Abrasion and polishing, Glossiness and roughness, Abrasive head rotation

* Yrd.Doç.Dr., Afyon Kocatepe Üniv., Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, Ali Çetinkaya Kampüsü, AFYONKARAHİSAR, metinersoy@aku.edu.tr

** Yrd.Doç.Dr., Afyon Kocatepe Üniv., Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, Ali Çetinkaya Kampüsü, AFYONKARAHİSAR

*** Öğr. Grv., Afyon Kocatepe Üniv., İncehisahar Doğaltaş Araştırma ve Uygulama Merkezi, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü, AFYONKARAHİSAR

**** Maden Mühendisi

1. GİRİŞ

Mermer ve doğaltaşlar, yaşam alanların tasarımında önemli bir yer işgal etmektedir. Yapılarda doğaltaş, yer döşemesi, duvar kaplaması, mutfak tezgâhı, sehpa, şömine ve süs eşyası olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca kent yaşamında park ve bahçelerin tasarımında süs havuzlarından bank ve masa yapımına kadar geniş bir yelpazede tercih edilmektedir. Mermer ve doğaltaşların, doğallığı, tabii güzelliği ve sağlıklı oluşundan dolayı mimarlar tarafından tercih edilmesi, fiyatının da artmasına dolayısıyla ülkemiz için önemli bir gelir kaynağı olmasına yol açmaktadır.

2010 yılında dünya doğal taş ihracatı 13,7 milyar dolara ulaşmıştır. Bu değer yaklaşık 3,7 milyar doları ham-blok taş ihracatına, 10 milyar doları ise işlenmiş ürünlere aittir. Çin, İtalya, Türkiye, Hindistan ve Brezilya her iki ürün grubunda da önemli ihracatçı ülkeler olmuştur. 2010 yılında dünya ham-blok mermer ürün ihracatında Türkiye toplam ihracatın %34'ünü gerçekleştirerek ilk sırada yer alırken; İtalya %16'lık ihracatla ikinci sırada yer almıştır. İtalya'yı sırasıyla İspanya, Mısır ve İran izlemiştir. Dünya işlenmiş doğal taş ihracatında ise ilk dört sırayı Çin (%39), İtalya(%16), Hindistan (%8) ve Türkiye (%8) paylaşmıştır. 2010 yılında dünya doğaltaş ithalatı da, 4,4 milyar dolar ham-blok taş, 9,3 milyar dolar da işlenmiş ürün olarak gerçekleşmiştir. Önemli ithalatçı ülkeler ham-blok taş ithalatında Çin, Hindistan ve İtalya olmuştur. Dünya işlenmiş doğal taş ithalatında da en büyük alıcı %23'lük değerle ABD olurken; Güney Kore(%9), Japonya (%8) ve Almanya(%5) diğer önemli alıcılar olmuştur (Anon a, 2012).

Mermer ve doğaltaşlardan elde edilen gelirin artırılması, kuşkusuz kaliteli ve verimli üretimden geçmektedir. Kaliteli üretim, malzemenin müşterinin isteği doğrultusunda işlenerek piyasaya arz edilmesi, verimli üretim ise bu sürecin en ekonomik şekilde gerçekleştirilmesi şeklinde özetlenebilir.

Mermer ve doğaltaş üretimi, ocaklarda blok üretimi ile başlar ve fabrikalardaki ayırma ve paketleme işlemleriyle son bulur. Bu süreç içerisinde, bloklar önce lamalı (Katrak) veya dairesel testereli (ST) blok kesici makinalarda kesilerek levha veya plakalara ayrılır, sonra ebatlanarak satışa sunulur ya da yüzey işleme prosesine alınır. Yüzey işleme şekillerinden en yaygın olanı parlatma işlemidir. Bu işlem levhalar

için geniş bant silim makinalarında, plakalar için de dar bant silim makinalarında gerçekleştirilir.

Üretim süreci içerisinde parlatma işlemi, maliyeti ve malzemenin kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Mermer ve doğaltaşların iyi parlatılması, renginin ve bünyesinde barındırdığı desenin daha belirgin ortaya çıkmasına, dolayısıyla daha yüksek fiyata alıcı bulmasına neden olur. Bu nedenle mermer ve doğaltaşların parlatılmasında etken faktörlerin bilinmesi ve malzemeye uygun parlatma parametrelerin kullanılması, hem daha parlak ürünler elde edilmesini hem de daha ekonomik çalışmasını sağlayacaktır.

Mermer ve doğaltaşlarda parlaklık ve pürüzlülük konusu, birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir.

1. Wright ve Rouse (1993), çalışmasında mermerlerde, kesme işleminden parlatılma aşamasına kadar parlaklık ölçümleri yapmış ve mermerleri parlaklıklarına göre sınıflandırmışlardır.
2. Erdoğan (2000), görüntü analiz yöntemiyle parlaklık ölçümleri yaparak cilalı doğaltaşları parlaklıklarına göre karşılaştırmıştır.
3. Ersoy ve Köse (2001), mermer örneklerini, klasik aşındırıcılarla parlatmış ve yüzey kalitesi ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Ayrıca parlaklık ve pürüzlülük dağılımında elde edilen eğrinin eğimini, parlatma kolaylığı olarak tanımlamışlardır.
4. Sarı ve Yavuz (2001), yaptıkları silme-parlatma deneylerinde ve ölçümlerde, aynı şartlar altında farklı tür mermerlerin ölçüm değerlerinin farklı olduğunu ve aynı numune üzerindeki farklı bölgelerin de farklı parlaklıklarda olduğunu belirtmişlerdir.
5. Huang vd. (2002), yüzeyi işlenmiş parlak granitler üzerinde çalışmışlar ve yüksek yüzey parlaklığının düşük pürüzlü aşındırıcılarla elde edildiğini belirtmişlerdir.
6. Görgülü vd. (2008), farklı mermer örneklerini klasik ve elmas aşındırıcılarla parlatarak parlaklık ve pürüzlülük ölçümleri yapmışlar ve abrasiv ve makina çeşidine göre parlaklık ve pürüzlülüklerdeki değişimi incelemişlerdir.
7. Ribeiro ve Paraguassú (2008), silisli ebatlanmış levha yüzeylerinin pürüzlülüğünü ile teknolojik özellikleri arasındaki ilişkiyi

incelemişlerdir.

8. Karaca (2008), kafa basıncı ve yüzey pürüzlülüğü ilişkisini incelemiştir.
9. Oliveira vd (2009), süs kayaçlarının kron parlatmasında epoxy-kuvars esaslı yeni kompozitlerin kullanımı ve verimliliği konusunda çalışmışlardır.
10. Wang vd (2009), parlatmada aşındırma sürecinde kaldırılan malzemenin derinliğinin modellenmesini ve analizini yapmışlardır.
11. Yavuz vd. (2011), doğaltaş fayansların yüzey kalitesi üzerine parlatma denemeleri yapmışlardır. Denemeleri sabit kafa devri, kafa basıncında farklı bant hızlarında gerçekleştirmişlerdir.
12. Gürçan (2011), mermerlerin mineralojik ve petrografik özelliklerin parlaklık ve pürüzlülüğe etkisi konusunda deneyler yapmıştır.
13. Karaca (2012), mermerlerde yüzey pürüzlülüğü ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde, çalışmaların özetle; aşındırma parlatma işlemlerinde mermer ve doğaltaşların yüzey kalitesi ile mekanik özelliklerinin, mineralojik ve petrografik yapılarının, aşındırma işleminde kullanılan abrasiv özelliklerinin, uygulanan kafa basıncı ve bant hızının etkileri konusunda yoğunlaştığı söylenebilir. Ancak aşındırma parlatma sürecinde önemli olan bir başka parametre de, abrasiv kafaların devirleridir.

Bu çalışmada, kafa devri ve yüzey kalitesi arasındaki ilişkinin araştırılması amacıyla, ilk etapta 5 farklı mermer numunesi, bant hızı ve kafa basıncı sabit olmak üzere farklı kafa devirlerinde aşındırma parlatma deneylerine tabi tutulmuş olup deneyin çeşitli aşamalarında gözlenen parlaklık ve pürüzlülük değişimleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonraki aşamalarında, numune sayısı artırılarak, elde edilen sonuçların geçerliliğinin test edilmesi planlanmaktadır.

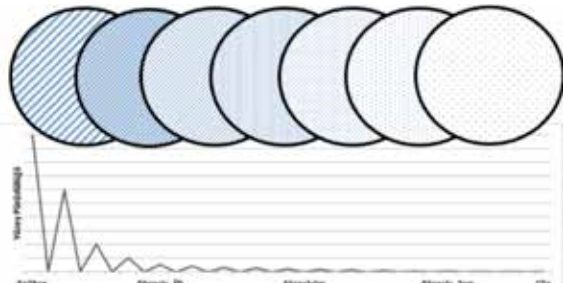
2. MERMER PARLATMA SÜRECİ ve ETKEN PARAMETRELER

Mermer ve doğaltaşlar, kesilip kenarları düzeltildikten sonra yüzeyleri cilalanarak parlatılır. Parlatma işlemi endüstriyel çapta, otomatik bantlı silim makineleri ile yapılır.

Parlatma işleminde temel prensip, yüzeydeki pürüzlerin giderilerek üzerine gelen ışığı en iyi şekilde yansıtmasının sağlanmasıdır. Bu amaçla önce kalınlık kalibre edilir ve yüzeydeki kaba pürüzler aşındırılarak giderilir, sonra aşındırıcı taşlarla silinerek pürüzler inceltir, en son cila taşları kullanılarak, aşındırma işlemiyle giderilemeyen pürüzler ortadan kaldırılır. Parlatma prosesinin tüm aşamalarında, aşındırma ortamının soğutulması ve kırıntılardan temizlenmesi amacıyla su kullanılır. Buna göre mermerin parlatılma aşamaları kalibrasyon, silim (fiziksel aşındırma) ve cilalama (fiziksel ve kimyasal aşındırma) olarak üç ana grupta incelenebilir.

Kalibrasyon işlemi, blok kesicide kesilen ya da yarma makinasıyla inceltelen plakaların aynı kalınlığa getirilmesi işlemidir. Bunun için otomatik silim makinelerinde genellikle iki adet kalibre kafası bulunur ve bant üzerinde hareket eden mermerin yüzeyine belli bir açıyla temas ederek makineye beslenen tüm malzemenin kalınlığını aynı seviyeye getirir.

Silim işlemi, içerdiği aşındırıcının boyutuna ve miktarına göre numaralandırılmış abrasiv taşlarının belli bir devirde döndürülerek bant üzerinden geçen mermer plakaya belli bir basınçla temas ettirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Kaba silimin amacı, kalibre kafalarının yüzey üzerinde oluşturduğu izlerin yok edilmesidir. Bu amaçla, makinenin kafalarına düşük numaradan (kalın) yüksek numaraya (ince) abrasiv taşları takılır ve her biri öncekine göre ters yönde olacak şekilde döndürülerek ve basınç uygulanarak aşındırma işlemi gerçekleştirilir. Aşındırma sırasında her abrasiv kendinden önceki abrasivin izlerini siler, daha ince olan kendi izlerini bırakır. Böylece ilk kafadan son kafaya kadar yüzey üzerindeki pürüzlerin (izlerin) derinliği ve aralıkları azaltılmış olur (Şekil 1).



Şekil 1. Parlatma Aşamasında Mermer Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişimin Şematik Gösterimi (Ozuloğul 1994)

Sürecin son aşaması olan cilama işleminde ise, oksalik asit ($H_2C_2O_4$) içerikli cila taşları kullanılır. Burada oksalik asit eriyerek mermer yüzeyine dağılır, yüzey üzerindeki çok küçük pürüzleri kimyasal olarak etkiler ve ortadan kaldırır. Son olarak yüzey keçe ile temizlenir. Böylece yüzey nihai parlaklığına erişir.

Parlatma sürecine etki eden faktörler beş ana grupta incelenebilir. Bunlar (Görgülü ve Ceylanoğlu, 2001);

1. Kullanılan makina ile ilgili faktörler (aşındırıcıların ve cilaların takıldığı disk (kafa) ve/veya disklerin devirleri, baskı kuvveti, kapasitesi, makina tipi, gücü ve enerji tüketimi)
2. Aşındırıcı ile ilgili faktörler (aşındırıcı taşların sertliği, dayanıklılığı, ufalanma yeteneği, kırılma tipi, ömrü, tane boyutu, tanelerin matris içindeki dağılımı, tanelerin matris ile bağ yapısı, basınç ve çekme dayanımları, porozitesi, ömrü, elastisite özellikleri)
3. Aşındırılan malzeme ile ilgili faktörler (mermer veya doğaltaşın sertliği, kristal yapısı, kimyasal yapısı, basınç ve çekme dayanımları, kohezyonu, elastisite özellikleri, aşınma kabiliyeti, korozyona dayanıklılığı)

4. Ekonomik faktörler (istenen yüzey kalitesi, birim yüzey alanı aşındırma maliyeti)

Bu faktörlerden kafa devri, baskı kuvveti ve bant hızına bağlı olarak kapasite, proses içerisinde üretici tarafından kontrol edilebilirken, sertlik, kristal yapı, kimyasal bileşim vb. gibi aşındırılan malzemenin özellikleri kontrol edilemez. Ayrıca makina tipi ve gücü, aşındırıcı malzemenin özellikleri (sertlik, ufalanma-kırılma yeteneği, ömrü, tane boyutu, matris içindeki dağılımı ve bağ yapısı vb.) gibi faktörler de belli zaman periyotları içerisinde değiştirilebilir. Buna göre üretilen malzemenin yüzey kalitesinin artırılması aynı zamanda proses maliyetinin minimumda tutulması için öncelikli olarak yapılabilecek eylem, makinanın kafa devri, basıncı ve bant hızının optimum düzeyde tutulması olacaktır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

Çalışmada, traverten, hakiki mermer ve kireçtaşı olmak üzere, oluşumları bakımından farklılık gösteren 5 farklı ocaktan alınmış doğaltaş numuneleri kullanılmıştır (Şekil 2). Numunelerin tamamı karbonat kökenli olup bazı özellikleri Çizelge 1 de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada Kullanılan Numuneler ve Üretildikleri Bölgeler

Çizelge 1. Çalışmada Kullanılan Mermerlerin Özellikleri

	Bursa Emperador	Seyitgazi Seashell	Bucak Traverten	Muğla Beyaz	Crema Bella
Boyutlar (mm)	305x305x20	305x305x20	305x305x20	305x305x20	305x305x20
Adet	5	5	5	5	5
Mohs Sertliği	4	3-3.5	3-3.5	3	3-3.5
Knoop Sertliği	169	134	131	136	156
Ses Hızı İlerlemesi (km/s)	4.05	4.46	2.84	3.33	4.12
Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	2750	2630	2530	2710	2670
Özgül Ağırlık (kg/m ³)	2340	2470	2140	2500	2680
Basınç Dayanımı (MPa)	177.02	128.82	58.58	82.84	127.41
Kırılma Enerjisi (Joule)	2.23	2.39	1.78	5.4	3.8
Eğilme Direnci (MPa)	14.9	15.79	10.58	14.1	17.8
Aşınma direnci (cm/50cm ²)	1.8	2.43	3.3	4.08	3.4

Numunelerin mineralojik ve petrografik özelliklerini incelemek için Maden Tetkik Arama Enstitüsü Laboratuvarı'nda ince kesitleri hazırlanmıştır. Polarizan mikroskop incelemeleri ise Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümü Laboratuvarı'nda bulunan, Leica DM 2500P marka polarizan mikroskopta yapılmıştır.

Aşındırma-parlatma deneylerinde, AKÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarındaki, endüstriyel çapta üretime uygun, TOYAMER marka, tam otomatik PLC (Programmable Logic Controller) dar bant silim makinası kullanılmıştır. Makinanın çalışma parametreleri (bant hızı, kafa devri, kafa basıncı, su miktarı) manuel veya bilgisayar programı yardımıyla ayarlanabilmektedir. Makinada ikisi kalibre olmak üzere toplam 6 adet kafa bulunmaktadır. Makinanın bant genişliği 650 mm, abrasiv-cila genişliği (kafa çapı) 400 mm ve çalışma kalınlığı 8-60 mm dir (Şekil 3).



Şekil 3. Bantlı Otomatik Silim Makinası (TOYAMER)

Aşındırma-parlatma deneylerinde sırasıyla, endüstriyel uygulamalarda da kullanılan, 80, 120, 180 ve 280 numaralı manyezit, 320, 400, 600 ve 800 numaralı sentetik bağlı abrasivler ile 5-extra cila taşı ve yüzey temizliği için keçe kullanılmıştır. Aşındırma-parlatma işlemine tabi tutulan numunelerin parlaklık ölçümleri MC-HDG600II marka parlaklık ölçme cihazıyla, pürüzlülük ölçümleri ise, PHYNIX MANUEL TR200 marka pürüzlülük ölçme cihazıyla yapılmıştır (Şekil 4). Parlaklık ve pürüzlülük ölçme cihazlarına ait özellikler Çizelge 2 de verilmiştir.



Şekil 4. Parlaklık (a) ve Pürüzlülük (b) Ölçüm Cihazları

Çizelge 2. Parlaklık ve Pürüzlülük Ölçüm Cihazlarının Özellikleri

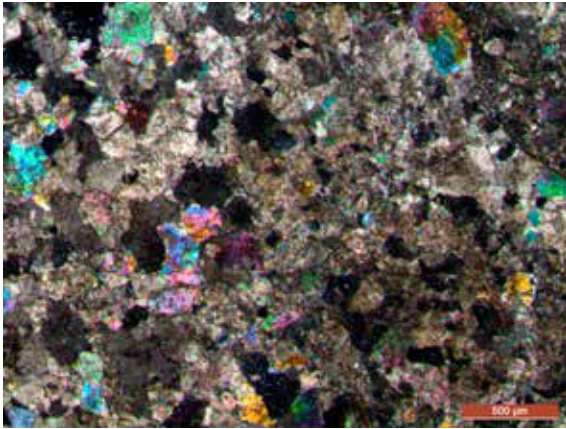
Parlaklık Ölçüm Cihazı	
Ölçüm aralığı	0-200 birim
Ölçüm alanı	10x20 mm
Cihazın ekranı	LCD
Cihazın boyutları	101x40x65 mm
Pürüzlülük Ölçüm Cihazı	
Ölçüm standartları	ISO, DIN, JIS, ANSI
Ölçüm birimi	μm / μinch
Cihazın ekranı	LCD
Cihazın ekranında görülenler	Pürüzlülük parametreleri, profili, batarya durumu, sensör tipi, yönü
Ölçüm aralığı	Ra, Rq : 0.01 μm ile 40 μm Rz, Rp, Rt, R3z: 0.02 μm ile 160 μm Sm, S: 2 μm ile 4000 μm
Tarama aralığı	0.25mm, 0.8 mm, 2.5 mm

3.2. Yöntem

Parlatma deneyleri, kalınlık kalibrasyonu, kaba silim, ince silim, cilalama (parlatma) ve temizleme işlemlerinden oluşmakta olup farklı kafa devirlerinde tüm numuneler için tekrarlanmıştır.

Kalibrasyon, farklı ocaklardan alınan numunelerin tamamının önce, makina çalışma parametrelerine uygun 305x305 mm boyutlarına ebatlanması, sonra kalınlığın 20 mm ye eşitlenmesi amacıyla sadece kalibre kafalarından geçirilmesi şeklinde yapılmıştır.

İkinci aşamada, otomatik silim makinasına 80, 120, 180 ve 280 numaralı abrasivler takılmış, kafa basıncı 1,5 atm, makina bant hızı 0,5 m/dk ve kafa devri 400 dv/dk olacak şekilde ayarlanmış ve numuneler beslenmiştir. İşleme tabi tutulan numuneler kurulanmış ve her bir numunenin köşe, kenar ve orta noktalarından olmak üzere 9 farklı noktadan parlaklık (60°) ve pürüzlülük (Ra) ölçümleri yapılmıştır. Sonra makinaya 320, 400, 600 ve 800 numaralı abrasivler takılarak işlem ve ölçümler tekrar edilmiştir. Son olarak, makinanın iki kafasına 5-extra cila taşı ve temizleme için keçe takılmış ve numunelerin en parlak durumundaki parlaklık ve pürüzlülük ölçümleri yinelenmiştir.

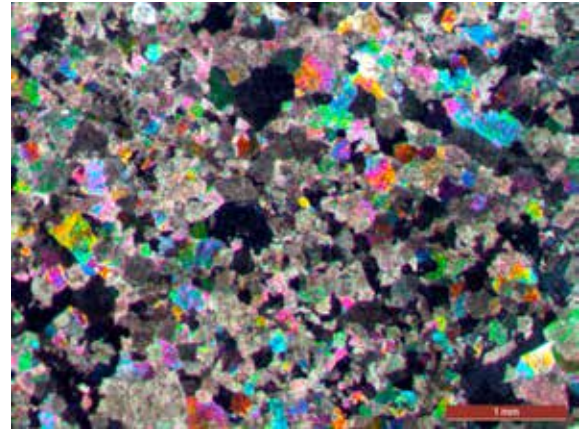


Üçüncü ve diğer aşamalarda ise, kafa basıncı 1,5 atm de ve bant hızı 0,5 m/dk da sabit kalmak koşuluyla makinanın abrasiv kafa devirleri 600 dv/dk, 800 dv/dk, 1000 dv/dk ya ayarlanarak aynı işlemler tekrarlanmış, parlaklık ve pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Sonra elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Mineralojik ve petrografik incelemeler

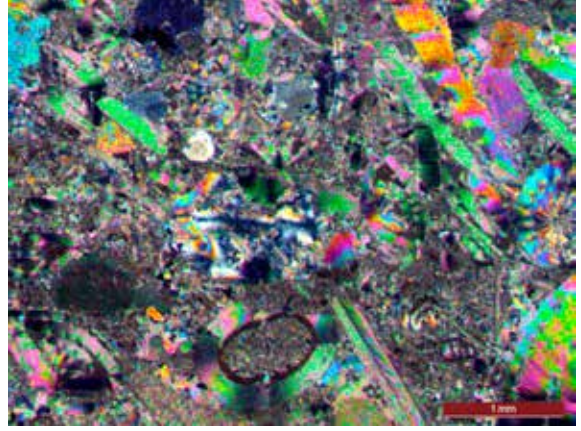
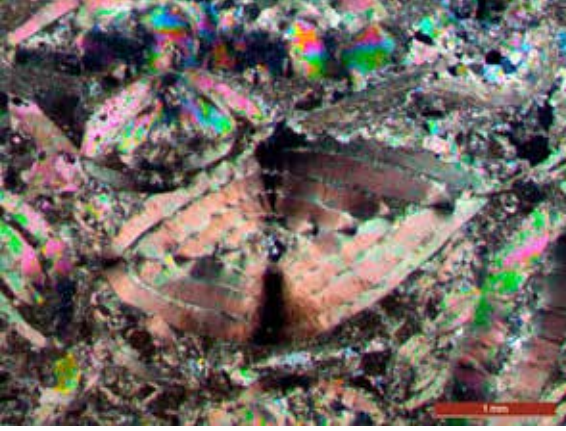
Bursa Emperador: Bursa Emperador örnekleri üzerinde mikroskobik incelemeler yapılarak ince kesitlerden fotoğraflar çekilmiştir. Polarizan mikroskop ile Bursa Emperador örneklerinin ince kesitlerinden çekilen resimler Şekil 5'de verilmiştir. Bursa Emperador mermerinin mikroskobik inceleme sonucunda ana mineralinin kalsit olduğu görülmüştür. Kalsit taneleri yer yer 200 µm boyutuna kadar ulaşmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi kript ve mikrokristalin kalsit kristalleri içerisinde sparitleşmiş mikrofossil kavkı izleri, kriptokristalin kalsitten oluşmuş pellet ve intraklast içermektedir. Çatlak ve boşluklarda mikro ve mesokristalin kalsit kristalleri izlenmiştir. Yer yer opak minerallerin ayrışmasıyla oluşan demirli bileşikler çimentoyu renklendirmiştir.



Şekil 5. Bursa Emperador Mermerinin İnce Kesit Görüntüsü (Çift Nikol)

Seyitgazi Seashell: Polarizan mikroskop ile Seyitgazi Seashell örneklerinin ince kesitlerinden çekilen resimler Şekil 6'da verilmiştir. Seyitgazi Seashell kireçtaşı yapısı değişik büyüklük ve özelliklerdeki fosil kavkılarında oluşmaktadır. Bileşenin çoğunu Foraminiferler ve alger oluşturmaktadır. Bu foraminiferlerin kavkı duvarı en çok kalsitten oluşmuştur. En büyük ve belki

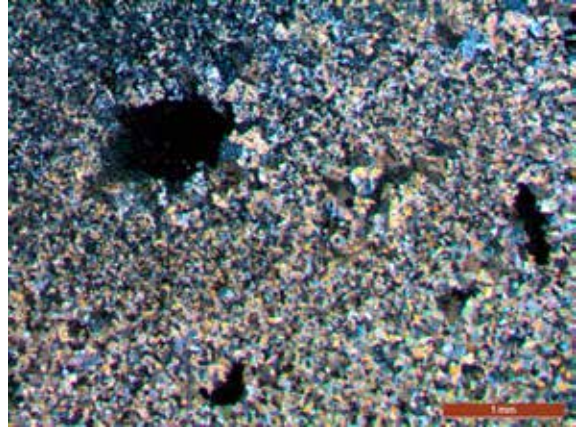
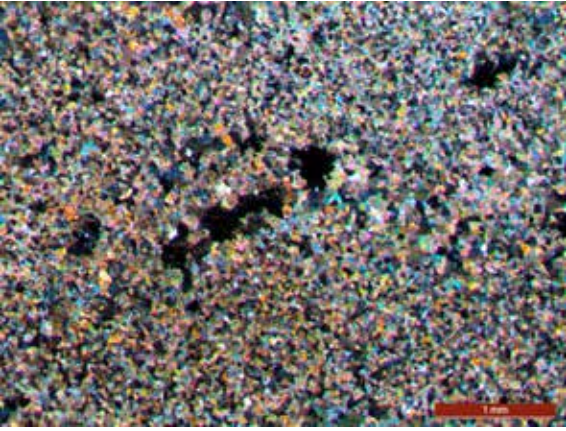
de en iyi bilinen foraminiferler Şekil 6'da görülen nummulitlerdir. Bunlar kalın duvar ve radyal yapıda sarılmış liflerden oluşur. Fosil kavkı ve iskeletlerini bağlayan matriks, başlıca mikritik sediment ile kalsit çimentodur. Kalsitlerin tane boyutu yer yer 100 µm'ye kadar ulaşmaktadır.



Şekil 6. Seyitgazi Seashell Mermerinin İnce Kesit Görüntüsü (Çift Nikol)

Bucak Traverten: Polarizan mikroskop ile Bucak Traverten örneklerinin ince kesitlerinden çekilen resimler Şekil 7'de verilmiştir. Bucak traverteninin polarizan mikroskop ile incelenmesi sonucu 10-200 μm arasında değişen tane boyutlarında,

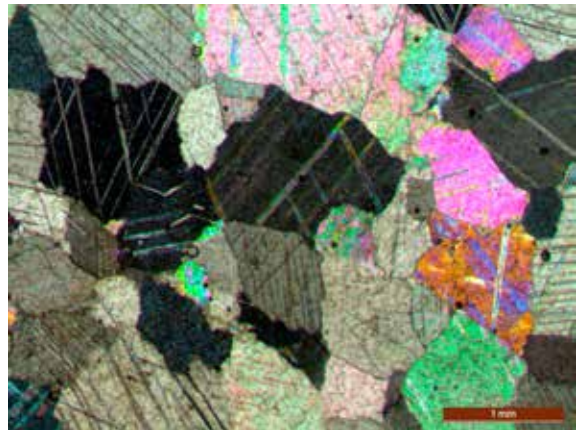
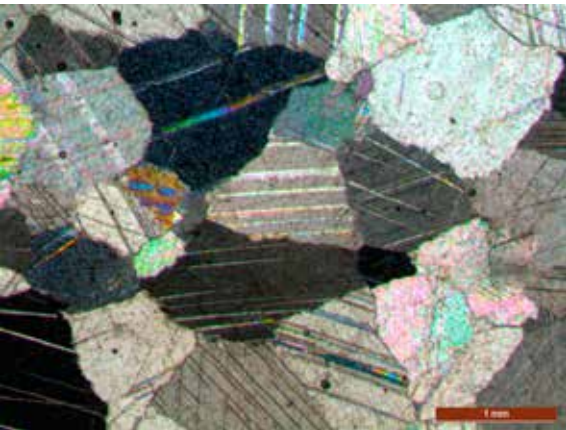
esas bileşenin kalsit tanelerinden oluştuğu gözlenmiştir. Kayaç içerisinde 1-2 μm 'den 1 mm'ye kadar değişen boyutlarda poroziteler bulunmaktadır.



Şekil 7. Bucak Travertenlerinin ince Kesit Görüntüsü (Çift Nikol)

Muğla Beyaz: Polarizan mikroskop ile Muğla Beyaz mermeri örneklerinin ince kesitlerinden çekilen resimler Şekil 8'de verilmiştir. Kayaç kalsit minerallerinden oluştuğu gözlenmiştir. Kalsit tanelerinin tane sınırları düzgündür. Bu da mer-

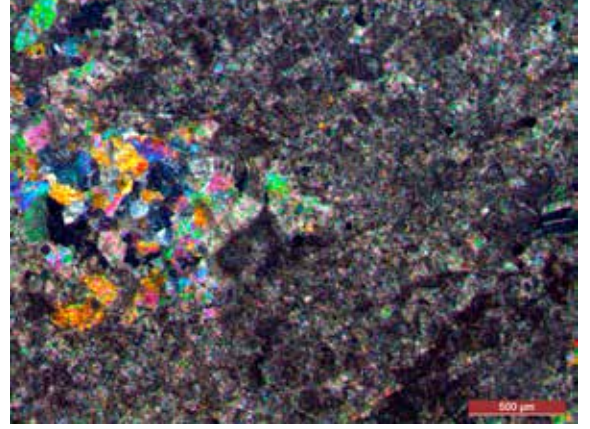
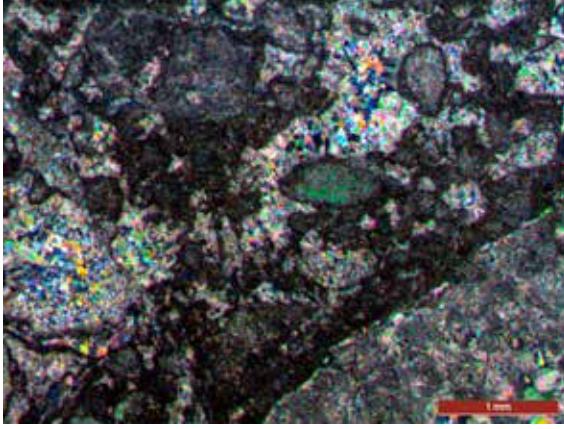
merin basınç mukavemetine dolayısıyla dayanımına etki etmektedir. Tane boyutu 300 μm ile 1500 μm arasında olup polisentetik ikizlenmeler göstermektedir.



Şekil 8. Muğla Beyaz Mermerinin Kesit Görüntüsü (Çift Nikol)

Crema Bella: Polarizan mikroskop ile Crema Bella mermeri örneklerinin ince kesitlerinden çekilen resimler Şekil 9'da verilmiştir. Kayaç içinde bulunan çatlaklar ve erime boşlukları sekonder kalsit dolguludur. Kalsit kristalleri

polisentetik ikizlenme göstermekte olup ve kristal boyutları 0-100 µm arasında değişmektedir. Mikro çatlaklar içinde kalsit kristalleri ile beraber mikrofossil kavkuları bileşende yer almaktadır. Kayaç içerisinde opak mineraller de gözlenmiştir.



Şekil 9. Crema Bella Mermerinin Kesit Görüntüsü (Çift Nikol)

4.2. Abrasiv numarası ve parlaklık arasındaki ilişki

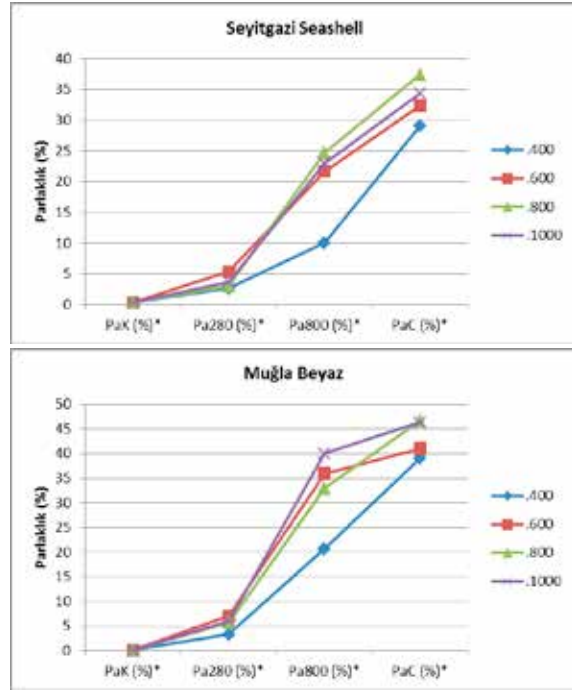
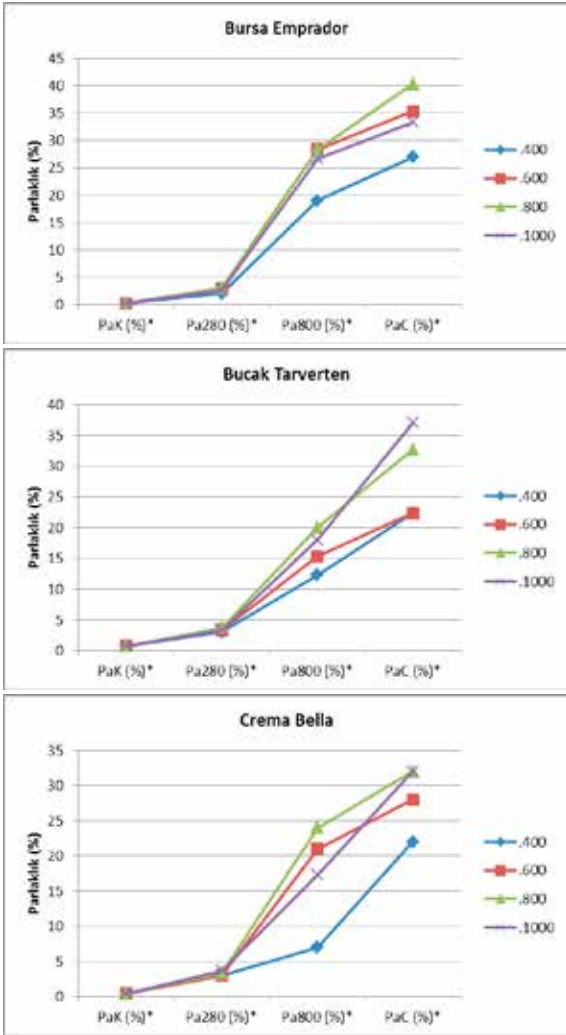
Çizelge 3'de, kalibre, 280, 800 numaralı abrasiv ve cila kafalarından sonra okunan, en

büyük, en küçük ve ortalama parlaklık değerleri verilmiştir. Çizelgedeki veriler ışığında farklı kafa devirleri için abrasiv numarasına göre parlaklık değerlerindeki değişimi gösteren grafikler çizilmiştir (Şekil 10).

Çizelge 3. Parlaklık Ölçüm Sonuçları

Bant hızı 0.5 m/dk	Kafa Devri (dv/dk)	PaK (%)*			Pa280 (%)*			Pa800 (%)*			PaC (%)*		
		Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.
Bursa Emprador	400	0.23	0.18	0.2	2.17	1.72	2	19.4	18.65	19	27.19	26.81	27
	600	0.23	0.18	0.2	3.19	2.72	3	28.6	27.93	28.33	35.62	35.05	35.33
	800	0.23	0.18	0.2	3.28	2.73	3	28.68	28	28.33	40.62	40.05	40.33
	1000	0.23	0.18	0.2	2.95	2.39	2.67	27.07	26.26	26.67	33.6	33.07	33.33
Seyitgazi Seashell	400	0.35	0.28	0.31	2.92	2.45	2.67	10.29	9.68	10	29.1	28.9	29
	600	0.35	0.28	0.31	5.43	5.08	5.33	21.96	21.3	21.67	32.55	32.12	32.33
	800	0.35	0.28	0.31	3.22	2.77	3	24.99	24.33	24.67	37.58	37.09	37.33
Bucak Traverten	1000	0.35	0.28	0.31	3.92	3.55	3.67	23.37	22.7	23	34.56	34.1	34.33
	400	0.77	0.63	0.72	3.15	2.85	3	12.67	12.11	12.33	22.46	22.21	22.33
	600	0.77	0.63	0.72	3.45	3.13	3.33	15.55	15	15.33	22.49	22.18	22.33
Muğla Beyaz	800	0.77	0.63	0.72	3.82	3.49	3.67	20.22	19.63	20	32.87	32.47	32.67
	1000	0.77	0.63	0.72	3.53	3.23	3.33	18.33	17.72	18	37.18	36.82	37
	400	0.12	0.08	0.1	3.46	2.97	3.33	20.98	20.25	20.66	39.21	38.8	39
Crema Bella	600	0.12	0.08	0.1	7.21	6.67	7	36.39	35.53	36	41.36	40.64	41
	800	0.12	0.08	0.1	6.03	5.27	5.67	33.41	32.54	33	47	46.34	46.67
	1000	0.12	0.08	0.1	6.33	5.85	6	40.47	39.59	40	46.73	45.93	46.33
Crema Bella	400	0.37	0.49	0.42	3.14	2.79	3	7.45	6.72	7	22.07	21.93	22
	600	0.37	0.49	0.42	3.07	2.76	3	21.22	20.68	21	28.21	27.79	28
	800	0.37	0.49	0.42	3.54	3.16	3.33	24.28	23.68	24	32.24	31.76	32
	1000	0.37	0.49	0.42	3.91	3.55	3.67	17.65	16.99	17.33	32.18	31.83	32

* PaK: Kalibre işleminden sonraki parlaklık (%); Pa280: 280 numaralı abrasivle aşındırılma sonrası parlaklık (%); Pa800: 800 numaralı abrasivle aşındırılma sonrası parlaklık (%); PaC: Cilalama sonrası parlaklık (µm)



Şekil 10. Abrasiv Numarası ve Parlaklık İlişkisi

Çizelge 3 ve Şekil 10 incelendiğinde tüm örnekler için, beklendiği gibi, abrasivlerin kalından inceye değişimiyle parlaklığın da arttığı görülmektedir. Ayrıca proste 280-320-400-600-800 numaralı abrasivlerin kullanıldığı aşamada (ince silim) parlaklıkta keskin bir artış olduğu izlenmiştir. Buna göre, parlaklığın kazanımı açısından ince silim aşamasının kaba silim aşamasına göre daha verimli olduğu söylenebilir.

Kafa devirlerindeki değişim ve parlaklık arasındaki ilişki incelendiğinde, Bursa Emprador ve Seyitgazi Sheashell örneklerinin 800 dv/dk da, ve Bucak Traverten örneğinin de 1000 dv/dk en yüksek parlaklık değerine ulaştığı görülmektedir. Muğla Beyaz ve Crema Bella örneklerinde en yüksek parlaklık değerlerinin yine 800 dv/dk da okunduğu ancak 1000 dv/dk da okunan değerlerle çok yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm örnekler için en düşük parlaklık değeri,

deneyde uygulanan en düşük kafa devri 400 dv/dk da okunmuştur. Buna göre, örnekler için kafa devrinin artmasıyla nihai parlaklık değerinin de artacağı söylenebilir.

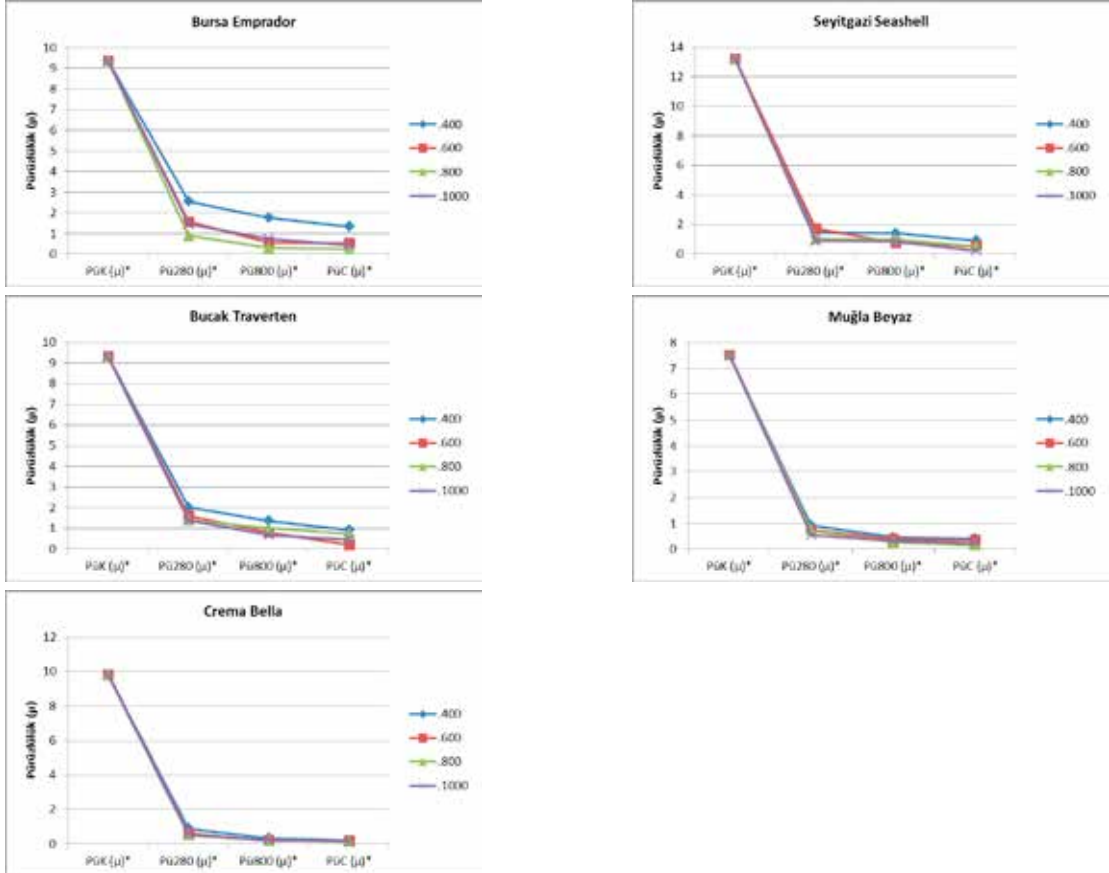
4.3. Abrasiv numarası ve pürüzlülük arasındaki ilişki

Çizelge 4’de, kalibre, 280, 800 numaralı abrasiv ve cila kafalarından sonra okunan, en büyük, en küçük ve ortalama pürüzlülük değerleri verilmiştir. Çizelgedeki veriler ışığında farklı kafa devirleri için abrasiv numarasına göre pürüzlülük değerlerindeki değişimi gösteren grafikler çizilmiştir (Şekil 11).

Çizelge 4. Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları

Bant hızı 0.5 m/dk	Kafa Devri (dv/dk)	Pük (µm)*			Pü280 (µm)*			Pü800 (µm)*			PüC (µm)*		
		Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.
Bursa Emprador	400	9.64	8.71	9.35	2.73	2.38	2.55	1.77	1.7	1.76	1.39	1.18	1.33
	600	9.64	8.71	9.35	1.62	1.52	1.55	0.68	0.3	0.55	0.78	0.43	0.52
	800	9.64	8.71	9.35	0.91	0.87	0.88	0.34	0.14	0.29	0.4	0.1	0.24
	1000	9.64	8.71	9.35	1.5	1.37	1.43	0.74	0.63	0.72	0.52	0.3	0.43
Seyitgazi Seashell	400	14.98	11.37	13.24	1.59	1.31	1.45	1.44	1.37	1.41	0.95	0.74	0.91
	600	14.98	11.37	13.24	1.78	1.64	1.7	0.84	0.61	0.75	0.66	0.41	0.51
	800	14.98	11.37	13.24	1.12	0.93	1.01	1.05	0.83	1	0.69	0.43	0.52
	1000	14.98	11.37	13.24	0.97	0.81	0.88	0.89	0.74	0.84	0.32	0.01	0.22
Bucak Traverten	400	9.51	9.05	9.32	2.15	1.88	2.01	1.42	1.27	1.36	1.01	0.76	0.92
	600	9.51	9.05	9.32	1.69	1.54	1.6	0.89	0.6	0.8	0.4	0.06	0.2
	800	9.51	9.05	9.32	1.49	1.31	1.39	1.02	0.84	1	0.9	0.6	0.74
	1000	9.51	9.05	9.32	1.46	1.33	1.38	0.75	0.54	0.68	0.61	0.28	0.47
Muğla Beyaz	400	8.09	7.15	7.51	0.95	0.87	0.9	0.49	0.32	0.46	0.54	0.33	0.4
	600	8.09	7.15	7.51	0.77	0.7	0.73	0.42	0.29	0.38	0.43	0.27	0.34
	800	8.09	7.15	7.51	0.75	0.7	0.72	0.29	0.19	0.26	0.22	0.1	0.15
	1000	8.09	7.15	7.51	0.57	0.52	0.54	0.34	0.25	0.32	0.29	0.13	0.22
Crema Bella	400	10.74	8.63	9.83	0.92	0.86	0.88	0.35	0.25	0.33	0.3	0.15	0.21
	600	10.74	8.63	9.83	0.65	0.62	0.63	0.2	0.09	0.18	0.3	0.16	0.21
	800	10.74	8.63	9.83	0.53	0.5	0.51	0.22	0.14	0.2	0.21	0.1	0.15
	1000	10.74	8.63	9.83	0.57	0.53	0.55	0.24	0.17	0.22	0.21	0.08	0.16

* Pük: Kalibre işleminden sonraki pürüzlülük (µm); Pü280: 280 numaralı abrasivle aşındırılma sonrası pürüzlülük (µm); Pü800: 800 numaralı abrasivle aşındırılma sonrası pürüzlülük (µm); PüC: Cilalama sonrası pürüzlülük (µm)



Şekil 11. Abrasiv Numarası ve Pürüzlülük İlişkisi

Çizelge 4 ve Şekil 11 incelendiğinde, tüm örnekler için kullanılan abrasivlerin kalından inceye değişimiyle pürüzlülüğün de azaldığı görülmektedir. Grafikler incelendiğinde pürüzlülükteki en sert düşüşün örneklerin kalibrasyonu aşamasında gerçekleştiği, dolayısıyla pürüzlerin en büyük bölümünün bu aşamada giderildiği söylenebilir.

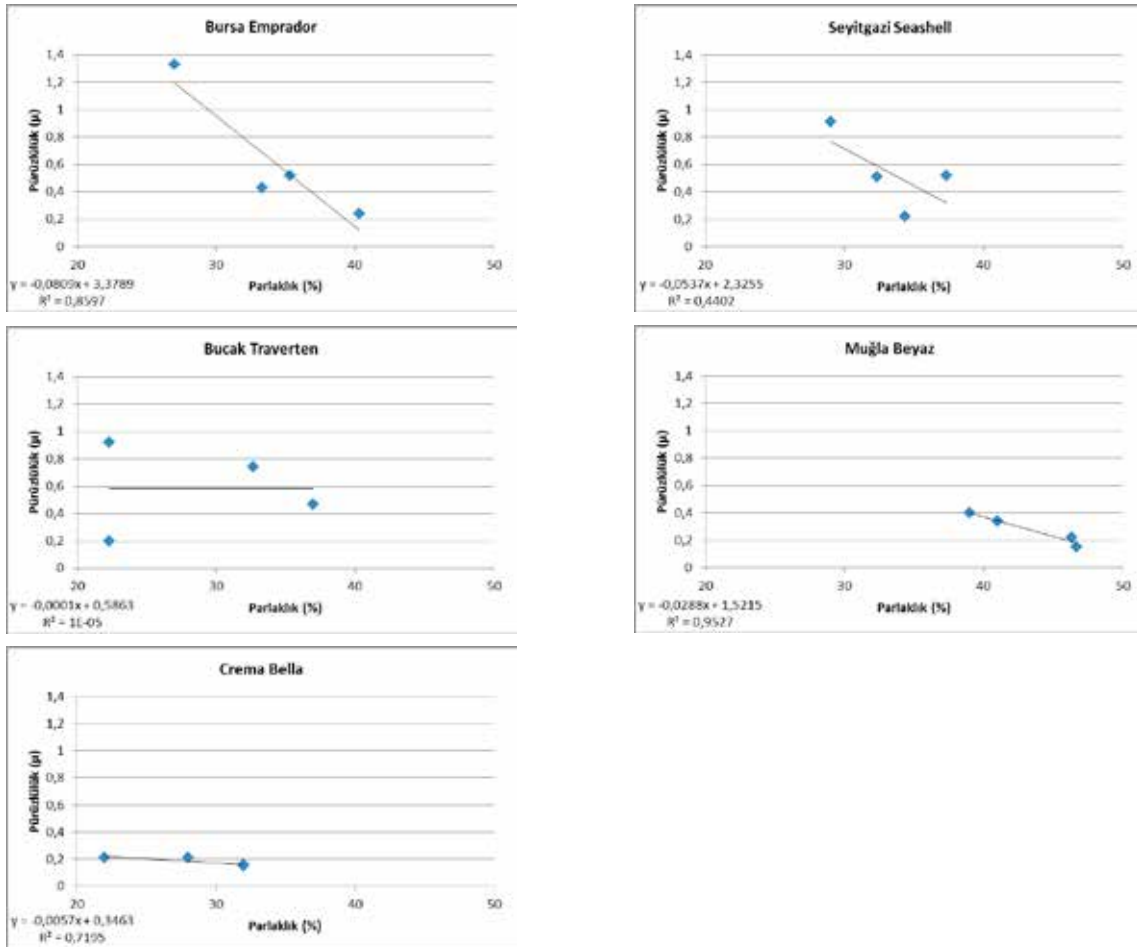
Kafa devri ve pürüzlerdeki değişim incelendiğinde de en düşük pürüzlülük değerinin Bursa Emprador ve Crema Bella örnekleri için 800 dv/dk da, diğer örnekler için ise 1000 dv/dk da elde edildiği görülmektedir. En yüksek pürüzlülük değerlerinin ise tüm örnekler için 400 dv/dk kafa devrinde olduğu görülmüştür. Buna göre, kafa devrinin artmasıyla nihai pürüzlülüğün de düştüğü söylenebilir.

4.4. Parlaklık ve pürüzlülük ilişkisi

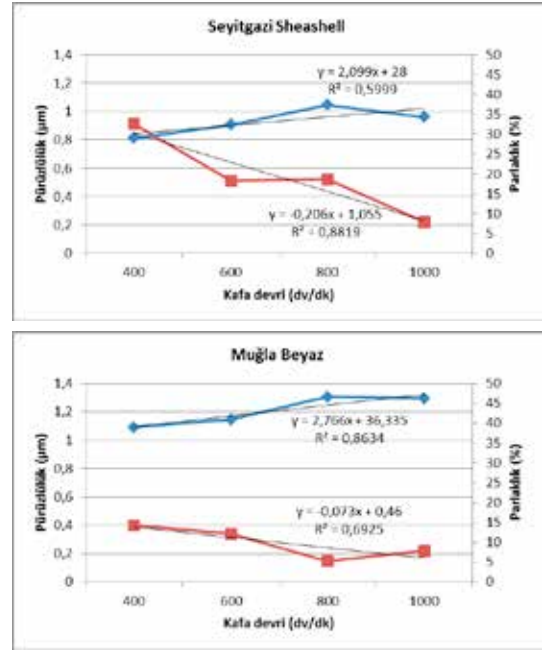
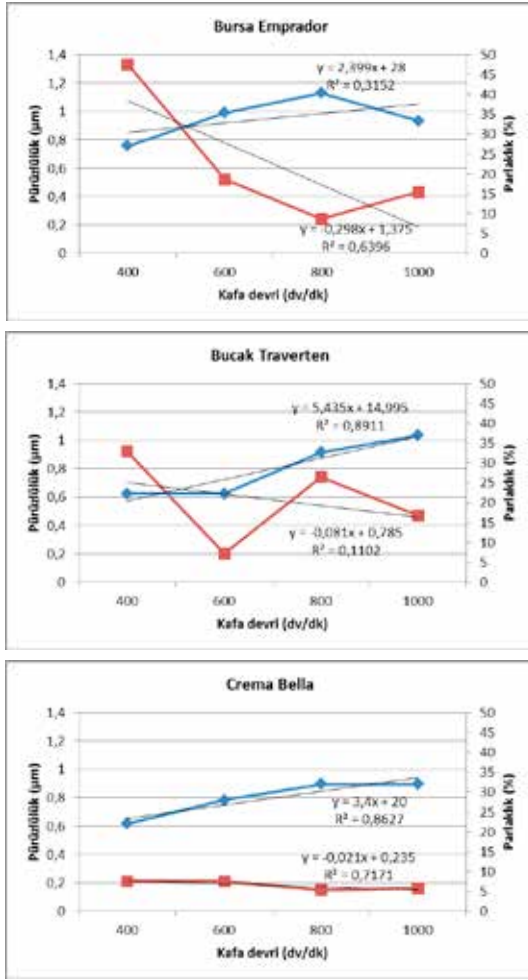
Parlaklık ve pürüzlülük arasındaki ilişkiyi incelemek üzere, farklı kafa devirlerinde okunan verilerin dağılım grafikleri çizilmiş ve basit

doğrusal regresyon analizi yapılmıştır (Şekil 12).

Şekil 12 incelendiğinde, Muğla Beyaz, Bursa Emprador ve Crema Bella numunelerinde, parlaklık ve pürüzlülük arasında güçlü ($R^2 > 0.7$) azalan doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Seyitgazi Sheashell için de aynı ilişkinin varlığı söz konusu olmakla birlikte $R^2 = 0,44$ gibi düşük bir değer hesaplanmıştır. Bucak travertende parlaklık ve pürüzlülük için herhangi bir ilişkiden bahsetmek zordur. Travertenin genel yapısı itibarıyla boşluklu olması, parlaklık ölçümlerinde gölge oluşumundan ve ışığın tam yansıtılmamasından, pürüzlülük ölçümlerinde de bazı bölgelerin pürüzlülük ölçüm cihazının ölçme parametreleri dışında kalmasından dolayı farklı sonuçlar elde edilmesine neden olmuştur. Bu yüzden genel olarak parlaklık ve pürüzlülüğün ters orantılı değişmesine rağmen arasındaki ilişkinin derecesi belirlenememiştir. Genelleme yapıldığı takdirde, pürüzlü yüzeylerin ışığı geldiği açıyla yansıtılmamasından dolayı daha mat görüldüğü ve parlaklığın pürüzlülüğe göre negatif doğrusal olarak değiştiği söylenebilir.



Şekil 12. Parlaklık ve Pürüzlülük Dağılım Grafikleri



Şekil 13. Kafa Devri, Parlaklık ve Pürüzlülük İlişkisi

4.5. Kafa devri, parlaklık ve pürüzlülük ilişkisi

Kafa devri, parlaklık ve pürüzlülük arasındaki ilişkinin daha net görülebilmesi için, her üç veriyi de kapsayan grafikler çizilmiş ve Şekil 13 de verilmiştir.

Şekil 13'e göre kafa devrinin artırılmasıyla parlaklık değerinin arttığı, pürüzlülük değerinin düştüğü, daha önce de belirtildiği gibi parlaklık ve pürüzlülüğün ters orantılı değiştiği görülmektedir. Kafa devri-parlaklık ilişkisinin $R^2 > 0.8$ ile Bucak Traverten, Muğla Beyaz ve Crema Bella örneklerinde, kafa devri-pürüzlülük ilişkisinin de $R^2 > 0.7$ ile Seyitgazi Sheashell ve Crema Bella örneklerinde yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, daha verimli parlatma işlemi yapılması amacıyla kafa devirlerinin değiştirilmesi düşünüldüğünde, Bucak Traverten, Muğla Beyaz ve Crema Bella örneklerinde daha fazla verim alınacağı, aynı şekilde pürüzlülüğün minimuma indirilmesi hedeflendiğinde de Seyitgazi Sheashell ve Crema Bella örneklerinde daha fazla verim alınacağı söylenebilir.

SONUÇLAR

Sabit basınç, bant hızı ve farklı kafa devirlerinde yapılan aşındırma deneyi sonucu ölçülen parlaklık ve pürüzlülük değerlerine göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Aşındırma işleminde her bir abrasiv, yüzey üzerindeki çizikleri aşındırırken kendi izini bırakır. Dolayısıyla abrasiv numarası arttıkça yüzey pürüzlülüğün azaldığı ve parlaklığın arttığı gözlenmiştir.
- Parlaklıktaki artış oranının en yüksek olduğu abrasivlerin, 280-800 numaralı abrasivler olup daha parlak yüzey elde edilmesi için ince silim işlemine, bir başka ifade ile yüksek numaralı abrasivlere önem verilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- En yüksek parlaklık değerleri, kafa devrinin 800-1000 dv/dk olduğu durumlarda elde edilmiştir. Buna karşın en düşük parlaklık okumaları da 400 dv/dk da yapılan

deneylerde yapılmıştır. Burada, abrasiv kafaların devrinin artırılmasıyla daha yüksek parlaklık elde edilebileceği söylenebilir.

- Pürüzlülükteki en hızlı düşüş, kalibre ve 280 numaralı abrasivlerde elde edilmiştir. Dolayısıyla en fazla aşındırma işinin kafa silim aşamasında yapıldığı görülmektedir.
- En düşük pürüzlülük değerleri, kafa devrinin 800-1000 dv/dk olduğu durumlarda, en yüksek pürüzlülük de kafa devirlerinin 400 dv/dk da olduğu durumlarda ölçülmüş olup abrasiv kafaların devrinin artmasıyla nihai pürüzlülüğün de azaldığı görülmüştür.
- Bursa Emprador, Muğla Beyaz ve Crema Bella numunelerinde parlaklık ve pürüzlülük arasında negatif doğrusal ilişki olduğu belirlenmiş olup değişim katsayısı her üç örnek için de 0,71 den yüksek hesaplanmıştır. Seyitgazi Seashell numunelerinde de aynı ilişkiye rastlanmakla birlikte ilişki düzeyinin düşük olduğu görülmüştür. Bucak Traverten örneğinde ise parlaklık-pürüzlülük ilişkisi saptanamamıştır.
- Seyitgazi Seashell numunelerinde de parlaklık ve pürüzlülük ilişki düzeyi $R^2=0,44$ gibi düşük bir değer elde edilmiştir. Seyitgazi Seashell örnekleri fosilli olup, fosilli bölgeler örneklerin diğer bölgelerine göre daha mat görünmektedir. Bu durumun, parlaklık ve pürüzlülük verilerinin korelasyonunda ilişki düzeyini düşürdüğüne karar verilmiştir.
- Traverten, genel olarak mikro ve makro boşluklu bir yapıya sahip olup yüzeydeki boşlukların bulunduğu bölgeler pürüzlülük ölçüm cihazının ölçme sınırları dışındadır. Bu yüzden ölçümler boşluklar arasındaki düz yüzeyler üzerinde yapılmıştır. Bu nedenle, traverten örneği için, pürüzlülük ve parlaklık ilişkisinin beklenen düzeyde olmamasının sebebi yüzeyde yer alan mikro ve makro boyutlu boşluklardır.
- Tüm örnekler için kafa devrinin artmasıyla parlaklığın da arttığı görülmüştür. Kafa devri-parlaklık ilişkisi Bucak Traverten, Muğla Beyaz ve Crema Bella numunelerinde 0,86 dan büyük olup ilişki düzeyinin yüksek olduğu, Seyitgazi Seashell örneğinde ise orta düzeyde ($R^2=0,60$) olduğu söylenebilir. Bursa Emprador örneğinde ise $R^2=0,33$ gibi düşük değerler hesaplanmıştır. Bu numune, diğerlerine göre nispeten desenli

ve koyu renkli bir yapı arz ettiğinden kafa devri-parlaklık ilişkisini etkilediği sonucuna varılmıştır.

- Kafa devrinin artmasıyla pürüzlülüğün azaldığı, Bucak Traverten örnekleri dışındaki tüm numunelerde gözlenmiştir. Traverten örneklerinin boşluklu olmasının, kafa devri-pürüzlülük ilişkisini de etkilediği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, seçilen mermer numunelerinin parlatılması sürecinde, kaba silim aşamasında pürüzlülüğün hızla düştüğü, ince silim aşamasında da parlaklığın hızla arttığı, parlaklık ve pürüzlülüğün ters orantılı değiştiği, abrasiv kafaların devirlerinin artmasıyla daha pürüzsüz ve parlak yüzeyler elde edildiği görülmüştür.

Katkı belirtme: Bu çalışma AKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (Proje No: 11.ARŞ.MRK.05) tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Anon a, 2012, Sektör Raporları-Doğaltaş sektörü, Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü Metal, Maden ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı (www.ibp.gov.tr/pg/sectorpdf/sanayi/Dogal_Taslar-2012.pdf), Ankara, Turkey, 8.

Erdoğan M., 2000, Measurement of polished rock surface brightness by image analysis method. Engineering Geology, 57, 65–72.

Ersoy M. & Kose H., 2001. The relationship between easiness to polishing and mechanical properties of marbles, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, Afyon, 337–349.

Görgülü K., Ceylanoğlu A., Durutürk Y.S. & Arpac E., 2008, Investigation of roughness and glossiness of different marble units at the stages of continuous grinding and polishing (in Turkish), Proceedings of 6th Symposium on Marble, June 26-27, 413–422.

Görgülü K. & 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 İle İlişkilendirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), Sivas, 178.

Gürcan S., 2011, Metamorfik kökenli mermerlerin parlatılmasında mineralojik ve petrografik özelliklerin etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, (Doktora Tezi), 163.

Huang H., Li Y., Shen J. Y., Zhu H. M. & 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. & Xu X. P., 2004, Interfacial interactions between diamond disk and granite during vertical spindle grinding. *Wear*, 256, 623-632.

Karaca Z., 2008, Effect of Head Pressure and Abrasive Series on Surface Roughness of Marbles, *Surface Modification Technologies XXII*, University West, Sweden, 22-24 Sep., 289-296

Karaca Z., 2012, Relationship between the mechanical properties and the surface roughness of marble. *International Journal of Materials Research* 103(5), 633–637.

Oliveira O. C., Bobrovitchii G. S., Oliveira L. J., Rocha Paranhos R. P., Aigueira R. B. & Marcello F., 2009, Epoxy–quartz based composites for use in polishing crowns of ornamental rocks. *Materials Characterization*, 60, 869–874.

Ozuloğul A. & Erdoğan, M., 1995, Mermerlerde Yüzey Parlaklığını Görüntü Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi, *Türkiye 1. Mermer Sempozyumu, Afyon*, 37-44.

Ribeiro R. P. & Paraguassú A. B., 2008, Relationship between technological properties and slab surface roughness of siliceous dimension stones. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45, 1526–1531.

Sarı D. & Yavuz H. 2001. Quantitative definition of marble gloss. III. National Marble Symposium, Afyon, Turkey, 265–275 [in Turkish].

Varol M., 2002, Laboratuvarda İmal Edilen Silimtaşlarının Mermer Parlaklığı Üzerine Performansının İncelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi)*, 59.

Wang G., Wang Y. & Xu Z., 2009, Modeling and analysis of the material removal depth for stone polishing. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 2453–2463.

Wright D. N. & Rouse C., 1993, Stone polishing-measurement of surface finish. *Industrial Diamond Review*, 1, 10–13.

Yavuz H., Ozkahrman T. & Demirdag S., 2011, Polishing experiments on surface quality of building stone tiles. *Construction and Building Materials*, 25, 1707–1711.