

3-BOYUTLU PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM SİSTEMİ

Senayi DÖNMEZ* Yasin D. SARI**

*Ankara Üniversitesi, Çankırı, Meslek Yüksek Okulu, Çankırı, Türkiye.

**Atılım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET

Mermer madenciliğinin en önemli aşamalarından biri olan parlatma ve cilalama ile ilgili çalışmalar, son yıllarda gelişen mermer teknolojisine paralel olarak yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar genel olarak optimum aşındırıcı ve parlatıcı geliştirilmesine yöneliktir. Optimum aşındırıcı tasarımı, yüzey pürüzlülüğünün doğru ve hassas ölçülmesiyle doğrudan alakalıdır. Şu anda varolan ölçüm sistemleri yüzey pürüzlülüğünü iki boyutlu ve kısa bir mesafede (yaklaşık < 3 cm) ölçebilmektedir. Doğru bir pürüzlülük ölçümü mermer yüzeyinin tamamını kapsayacak (ör. 30x30 cm) şekilde ve üç boyutlu (yüzey pürüzlülük haritası) olmalıdır. Diğer taraftan parlatılmış yüzeylerin kalitesi bir uzmanın gözlem muhakemesi ve tecrübesiyle saptanmaktadır; bu da doğal olarak uzmandan uzmana değişen göreceli bir kavram olarak kalmaktadır. Bu çalışma, ilk aşama olan yüzeyin üç boyutlu haritalanmasına yönelik pürüzlülük ölçüm sisteminin tasarımı olup, yüzey parlaklık ölçüm sisteminin geliştirilerek imalatının yapılmasına hazırlık niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Pürüzlülük, Mermer, Aşındırıcı

3-DIMENSIONAL SURFACE ROUGHNESS MEASURING SYSTEM

ABSTRACT

Parallel to the improvements in marble technology in the recent years, the research on marble abrasion - polishing issue, which is the one of the most important step in marble mining, is studied intensively in recent years. These studies are generally carried out on the development of optimum abrasion - polishing heads. The design of optimum abrasion heads are directly related to the correct and precise measurement of surface roughness. The available surface roughness measurement devices measure the roughness profile in 2-D with a narrow sampling length (approximately < 3 cm). The ideal measuring system should have to be in 3-D (for the surface roughness map) and must cover the whole marble surface (e.g. 30x30 cm). On the other hand the quality of polished marble surfaces (end product) is determined by human expert observations and experiences; due to this it is a naturally relative phenomenon that is dependable to an expert decisions. This study is the design of 3-D surface roughness measuring system which is the first step of 3-D mapping of surface and it will be the base for the manufacturing of a measurement system for the polished marble surface.

Key Words: Roughness, Marble, Abrasive

1. GİRİŞ

Yüzey pürüzlülüğü mermer, granit gibi bir malzeme yüzeyinin düzlemsel olmamasıdır. Bu özellik, mühendislik problemlerinde bir değişken olarak kullanılması yanında, mermer veya herhangi bir doğal veya suni malzemenin aşındırılarak yüzeylerinin düzlemselleştirilmesinde de önemli bir değişkendir. Ayrıca, yine bu özellik kayaç süreksizliklerinde, faylarda, sürtünmeli kayma modellerinde makaslama dayanımı üzerinde etkin bir rol oynamakta bu nedenle deprem, inşaat, madencilik ve petrol gibi bir çok mühendislik tasarımlarında ve problemlerinde yaygın olarak araştırılmaktadır (Gentier ve Riss, 1990; Maerz ve Franklin,

1990; Thapa v.d., 1996; Sfondrini ve Sterlacchini, 1996; Lamas, 1996). Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünün nicel olarak ölçülmesi, küçük ölçekte, birçok problemin aydınlatılmasına ışık tutmaktadır.

Günümüze değin, yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve ölçümlerin değerlendirilip, yorumlanması yarı nitel, yarı nicel olmuştur. Araştırmacıların kişisel becerisi ve çalışmalarına bağlı olarak sınıflandırmalar yapılmış ve bu yorumlamalar birçok tasarım ve problem çözümünde kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin temel prensibi, iki boyutlu pürüzlülük profillerinin ölçülmesi ve bu profillerin karşılaştırılarak sınıflandırılması, derecelendirilmesidir.

Son yıllarda, fotogrametrik yöntemlerin kullanılmaya başlanmasına rağmen, uzman personel ve uzun zamana gereksinim duyulması bu yöntemleri pratik kılmamaktadır. Ayrıca, teknolojik gelişmelere paralel olarak süreksizlik veya pürüzlü düzlemlerin üç boyutlu profilinin elde edilmesi için birçok ticari ve bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bununla beraber, metal, kağıt, plastik boyalı malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik çalışmalar ve standartlar oluşturulmuştur. Bu çalışmalar gerek endüstriyel gerekse laboratuvar boyutta bir çok uygulama alanında görülmüştür. Bu sistemler kullanıldıkları alanlarda kendi boyutları ve hassasiyet sınırları içerisinde kalmıştır. Bir sahada yaygın olarak kullanılan sistem başka bir alanda yetersiz olabilmektedir. Yapılan kaynak taramalarında, bu konudaki bilimsel çalışmaların çok az olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar ise daha çok makine, mimari veya görsel tasarımlardaki konuları kapsamakta ve o konulara özel olmaktadır.

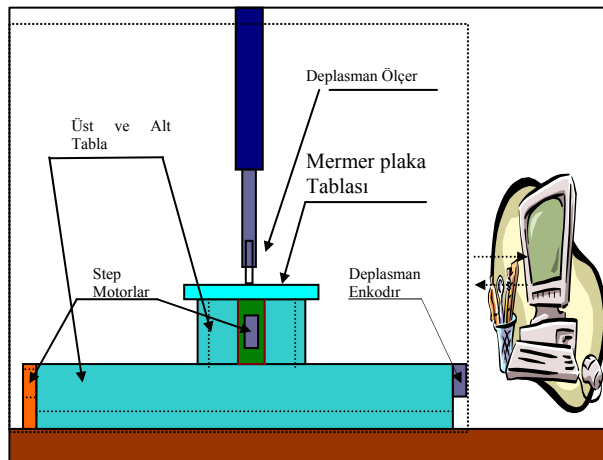
Bu çalışma ile tasarlanan yüzey pürüzlülük ölçme sisteminin, mermer işleciliği sektöründe kolaylıkla kullanılabilecek bir tarzda olmasına özen gösterilmiştir. Bu nedenle, geliştirilen sistem yukarıda bahsedilen sahalarda kullanılan aletlere tasarım yönünden benzer fakat mermer ve granit sektörü gibi doğal taş endüstrisinde kullanılabilecek büyük ölçekteki yüzeyleri ölçebilecek tarzda yapılmıştır. Elde edilen 3-boyutlu haritalama ile yüzeyin pürüzlülüğü nicel olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

2. ÖLÇÜM SİSTEMİ

Ölçüm sistemi temelde iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, mermer plakasının sabitleneceği x-y yönlü iki eksenli doğrusal hareket tablası; ikinci bölüm ise yüzeye dik bir konumda yerleştirilen deplasman ölçeri (doğrusal potansiyometre) kapsayan düzenektir (Şekil 2.1). Ayrıca, sistemin veri toplama ve kontrolünün yapıldığı donanımı ve yazılımları içeren kişisel bilgisayar içermektedir.

2.1. İki Eksenli Doğrusal Hareket Tablası

Ölçüm yapılan örneğin sabitlendiği iki eksenli doğrusal hareket sistemi birbirine dik bir düzlemde iki tabladan oluşmaktadır. Bu tablalar, iki sürtünmesiz kızak üzerinde, düzlemsel kayma yönünde herhangi bir sürtünme direnci olmadan hareket edebilmektedir. Her iki tablanın boyutları (30x60x6) cm olmakla beraber istenilen boyuta ayarlanabilir tarzda tasarlanmıştır. Her iki tablanın hareket mekanizması sistemi sonsuz bilyalı vidaların step motorla tahrik edilmesi ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.1. Deney Sisteminin Şematik Görünümü

2.3. Veri Toplama ve Kontrol Ünitesi

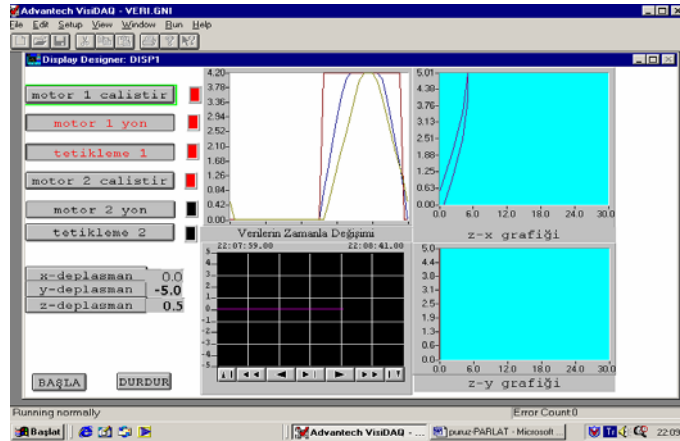
Yüzey tarayıcı sisteminin, hareket kontrolü ve veri toplanmasının bilgisayar aracılığıyla yapılabilmesi kullanılan veri toplama ve kontrol kartı aracılığıyla olmuştur.

Yatay düzlemde, $-x$ veya $+x$, $-y$ veya $+y$ yönünde (0,0 referans koordinatına göre) 30 cm'lik hareketi sağlayan step-motorlar vardır; hareket miktarı ölçüm yapılan örneğin boyutuna göre ayarlanabilir. Veri toplama ve kontrol kartından step motorların hareketini kontrol edebilmek için step motor sürücüsü, arayüz olarak, kullanılmıştır. Ayrıca, hareketlerin konumunu belirlemek için her iki yöndeki sonsuz milin sonlarına konan iki adet enkodör yerleştirilmiştir ve z-yönündeki pürüzlülüğü ölçmek için kullanılan doğrusal potansiyometreden (deplasman ölçer, 0.00001 mm hassasiyette) gelen analog girişlerde yine veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmaktadır.

2.3.1. Veri Toplama ve Kontrol Ünitesi Yazılımı

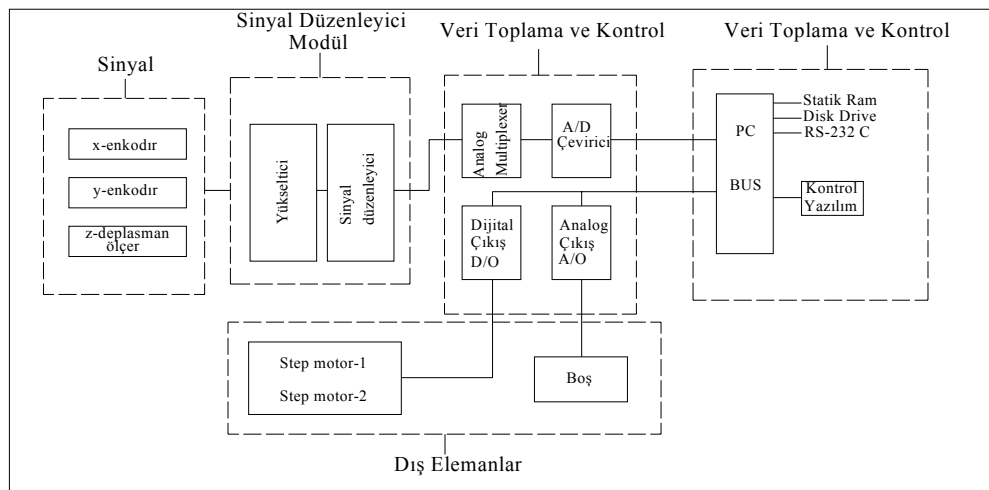
Gerek veri toplama gerekse kontrol işlemi Advantech VisiDAQ V. 3.1 yazılımı ile yapılmıştır. Windows ortamında BasicScript programlama diliyle ikonlarla çalışan, ayrıca kişisel programlamaya da izin veren bu paket yazılım programlama, veri toplama, kontrol açısından önemli kolaylıklar sağlamıştır.

Bu programın görsel kısmını oluşturan görüntü panosunun çalışır durumu Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. VisiDAQ Programının Çalışır Haldeki Görüntüsü

Veri toplama ve kontrol ünitesinin harici elemanlardan veri alması veya bunları kontrol etmesi belli bir sıralama ve bilgisayarda bulunan Advantech PCL812PG marka sinyal kontrol kartıyla yapılmaktadır. Veri toplama ve kontrol kartının akım diyagramını Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Veri Toplama ve Kontrol İşlemi

2.4. Sistemin Ölçüm Yöntemi

Yüzey pürüzlülük tarayıcısı olarak da tanımlanabilecek olan bu sistem ile pürüzlülük ölçümü doğrudan bilgisayar kontrollü ve veri toplama kabiliyetlidir. Bu amaçla gerek sistemin hareketi, gerekse pürüzlülük ölçümü enkodur ve deplasman ölçer ile yapılmıştır.

Planlanan her ölçüm aralığında, sistemin bulunduğu x, y ve z-koordinat değerleri bilgisayara aktarılıp depolanmaktadır. Bu değerler tek bir yöndeki (ör: x-ekseni) ölçme profili içindir. İkinci yani diğer yöndeki ölçme profili aynı şekilde üst tablanın ölçüm aralığı (ör: y-ekseni) yönünde kaydırılması ve aynı şekilde bir dizi ölçüm daha alınmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde yüzey pürüzlülük ölçümü yapılan plakanın üç boyutta her üç eksenin tarandığı (x,y,z) yer verileri elde edilmiş olmaktadır.

3. BULGULAR VE YORUMLAR

3.1. Pürüzlülük Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, mermer plakaların yüzey pürüzlülüğü laboratuvar ölçekte sayısal olarak elde edilmiştir. Üzerinde ölçüm yapılan mermer plakası Newyork diye ticari olarak isimlendirilen, Muğla'daki bir mermer işleme tesisinden temin edilen örnektir. Kullanılan örneğin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örneğin özellikleri

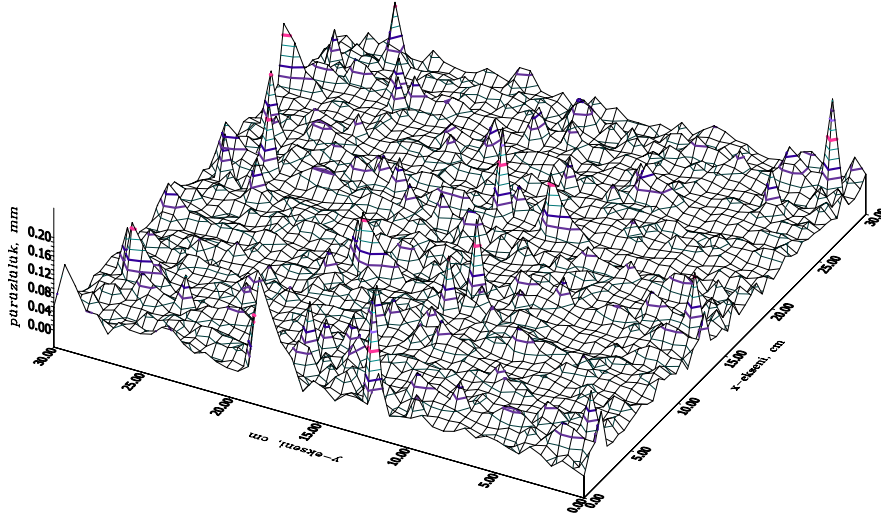
NEWYORK	METRİK SİSTEM		SI SİSTEMİ	
Sertlik	(Mohs)	3-4	(Mohs)	3-4
Birim hacim kütle	(gr/cm ³)	2.37	(kg/m ³)	2370
Birim özgül kütle		2.45		2450
Atmosfer basıncında ağırlıkça su emme	(%)	4.6	(%)	4.6
Atmosfer basıncında hacimce su emme	(%)	10.5	(%)	10.5
Kaynar suda ağırlıkça su emme	(%)	4.4	(%)	4.4
Kaynar suda hacimce su emme	(%)	10.3	(%)	10.3
Görünür porozite	(%)	10.6	(%)	10.6
Doluluk oranı	(%)	96.73	(%)	96.73
Gözeneklilik derecesi	(%)	3.27	(%)	3.27
Basınç dayanımı	(kg/cm ²)	404	(MPa)	39.62
Ultras ses geçirgenlik değeri	(m/s)	4545	(m/s)	4545
Yüzey sertlik indeksi		46		46
Cila alma özelliği		iyi		iyi

3.2. Pürüzlülük Ölçüm Yöntemi

Üzerinde ölçüm yapılan örnek (30x30x1) cm boyutlarında homojen bir mermerdir. Ölçme profili uzunlukları x ve y-ekseni yönünde 30 cm'dir. Bu örnekte xy düzleminde her iki eksen yönünde 3 mm aralıklarla ölçüm yapılmıştır. Yani, x-ekseni doğrultusunda 101 noktada ve her bir noktada y-ekseni doğrultusunda 101 noktada ölçüm yapılmıştır; neticede 10201 adet veri elde edilmiştir.

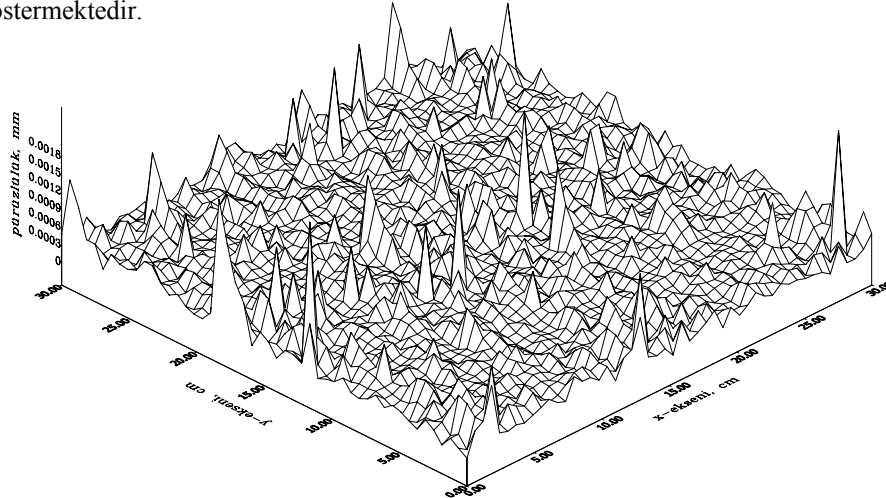
3.3. Pürüzlülük Ölçüm Bulguları

Bu çalışmada kullanılan Newyork mermer örneği 11 kafalı silim hattı kullanan bir mermer işleme tesisinden (3 kalibre, 6 aşındırıcı, 2 cila içeren) alınmıştır. Silim hattının sıralaması 60-120-220-320-400-600-Cila-Cila şeklindedir. Silim hattında kaba, ince silim ve cilalama diye sınıflandırma yapılacak olursa, ölçüm yapılan örnekler bu üç aşamadan geçen mermer fayanslarından alınmıştır. Seçilen birinci örnek, silim hattında 120 mesh'e kadar aşındırmaya tabii tutulan mermer fayansıdır. İkinci örnek silim hattının ince silim olarak tanımlanan bölümünden alınmıştır. Bu örneklerle de mermer yüzeyinin 320 mesh'e kadar olan performansının araştırılması amaçlanmıştır. En son ölçüm örneği ise, silim hattının tüm kafalarının baskıda olduğu ve cilalama aşamasından da geçen fayans mermeridir; bu da nihai ürünün pürüzlülük açısından araştırılması için yapılmıştır. Geliştirilen ölçüm sistemiyle yüzey taraması yapılan bu örneklerin 3-boyutlu pürüzlülük haritası çıkarılarak Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. Silim hattının kaba silim diye tanımlanan kısmından seçilen örneğin pürüzlülük haritası incelendiğinde, mermer yüzeyinin her tarafında, pürüzlülüğün belirgin olduğu görülmektedir. Yüzeyin birçok kısmında 0.2 mm kadar çıkan pürüzlülük gözlenmektedir.



Şekil 3.1. 120 Mesh'e Kadar Aşındırılan Örneğin Pürüzlülük Haritası

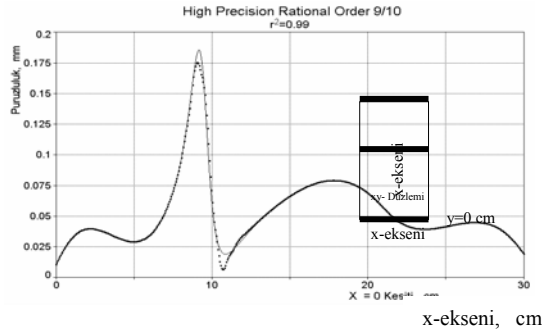
Şekil 3.2 pürüzlülük haritası elde edilen mermer örneği de bir önceki analize benzer pürüzlülük dağılımı göstermesine karşın pürüzlülük boyutunda farklılık göstermektedir. Şekil 3.2 incelendiğinde bu örneğin pürüzlülük dağılımının maksimum 0.0018 mm gibi çok düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bir önceki örneklerle bu örnek arasındaki pürüzlülük boyutundaki büyük fark her iki örnek arasındaki silim kafalarının performansını göstermektedir.



Şekil 3.2. 320 Mesh'e Kadar Aşındırılan Örneğin Pürüzlülük Haritası

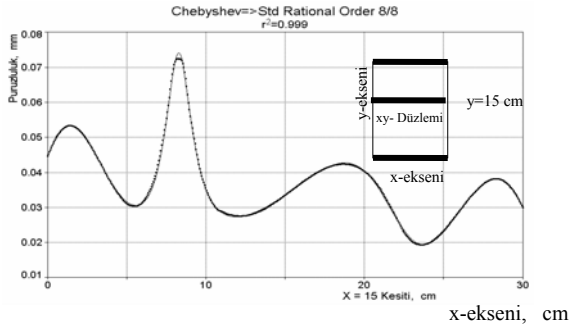
Yüzey haritası çıkarılan her iki örneğin (120 ve 320 Mesh'e kadar aşındırılan) xy-düzleminin üç değişik kesit boyunca profilleri çıkarılmıştır. Bu profiller düzlemin y-ekseninin 0 cm, 15 cm ve 30 cm olduğu x-ekseni doğrultusundaki yüzey pürüzlüğünü göstermektedir. Profillerin oluşturulmasında ileri istatistiksel yöntemler kullanılarak en yüksek korelasyon katsayısını veren matematiksel denklemi elde edilmiştir. Bu istatistiksel çalışmaların neticesinde, 120 Mesh'e kadar aşındırmaya tabii tutulan mermer örneğinin her üç kesitteki yüzey pürüzlülük profili ve matematiksel denklemi Şekil 3.3 - 3.5'da verilmiştir.

Şekil 3.3 deki profil incelendiğinde bu örneğin profil genişliğinin genelde 0.05 mm büyüklüğünde olduğu görülmektedir. Pürüzlülük dağılımını tanımlayan matematiksel model yüksek dereceli polinom denklemdir.



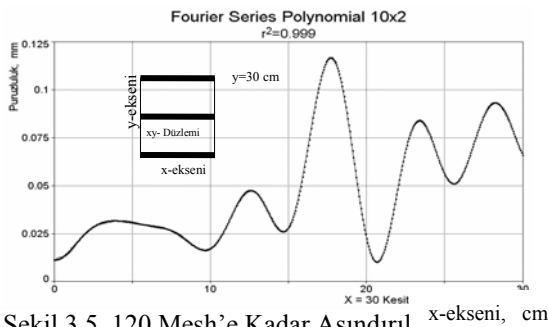
Şekil 3.3. 120 Mesh'e Kadar Aşındırılan Örneğin y= 0 cm Kesit Pürüzlülük Profili

Şekil 3.4 de verilen bu kesitin pürüzlülük profili 0.02 mm büyüklüğünde genlikte bir davranışa sahiptir. Bu kesitin pürüzlülük profilini en iyi tanımlayan denklem chebyshev denklemi olmuştur. Ölçümü yapılan düzlemin orta kısmına karşılık gelen bu kesit pürüzlülük profili genlik olarak düşük olmasına rağmen kesit boyunca pürüzlülük değerlerinde değişiklik göstermiştir.



Şekil 3.4. 120 Mesh'e Kadar Aşındırılan Örneğin y= 15 cm Kesit Pürüzlülük Profili

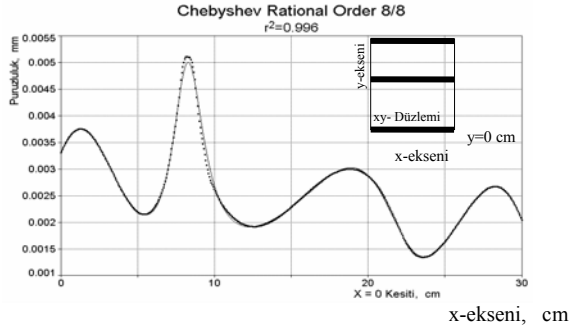
Şekil 3.5 daki profil, kesitin başlangıcından orta kısmına kadar (x=15 cm) yaklaşık 0.02 mm lik bir genliğe sahipken, bu kısımdan sonra 0.03 mm lik genliğe çıkmıştır. Bu kesitteki pürüzlülük profilini en iyi temsil eden denklem Fourier denklemi olmuştur.



Şekil 3.5. 120 Mesh'e Kadar Aşındırılan Örneğin y= 30 cm Kesit Pürüzlülük Profili

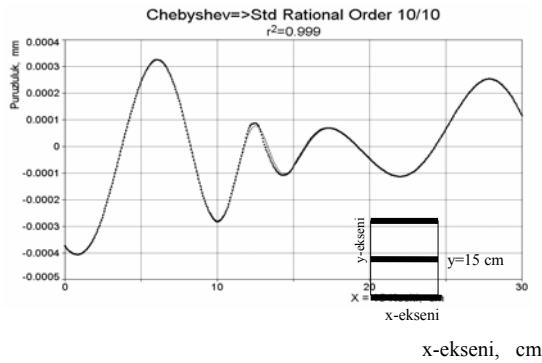
Bu bölümde, 320 Mesh'e kadar aşındırma işlemine tabii tutulan mermer örneğinin pürüzlülük yüzey taraması sonuçlarından elde edilen kesit profillerinin analizleri yapılmıştır. Bu örnekte de, birinci örnekte olduğu gibi, xy-düzleminde x-ekseni doğrultusunda üç farklı kesitin pürüzlülük profilleri elde edilmiştir. Elde edilen kesit yüzey pürüzlülük profili ve matematiksel denklemleri Şekil 3.6- 3.8'de verilmiştir.

Şekil 3.6'de elde edilen profil davranış olarak birinci örneğe benzemekle beraber gerek pürüzlülük büyüklüğü gerekse kesit boyunca pürüzlülük değişiminde farklılıklar göstermektedir. Bu profilin gösterdiği genlik yaklaşık 0.002 mm olup kesitin başlangıcında 0.0035 mm olan pürüzlülük kesit sonunda 0.001 mm ye kadar düşmektedir. Bu kesitin pürüzlülük profilini en iyi tanımlayan denklem chebyshev denklemi olmuştur



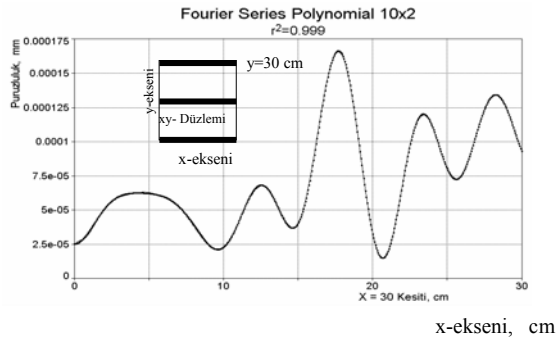
Şekil 3.6. 320 Mesh'e Kadar Aşındırılan Örneğin
y= 0 cm Kesit Pürüzlülük Profili

Şekil 3.7 de görülen pürüzlülük profili belirli bir genlik özelliği göstermemektedir. Kesitin başlangıcında – 0.0004 mm olan pürüzlülük kesitin sonunda 0.0001 mm ye kadar çıkmaktadır. Bu kesitin pürüzlülük profilini de en iyi tanımlayan denklem chebyshev denklemi olmuştur..



Şekil 3.7. 320 Mesh'e Kadar Aşındırılan Örneğin
y= 15 cm Kesit Pürüzlülük Profili

Şekil 3.8 de verilen profil, kesitin başlangıcından orta kısmına kadar (x=15 cm) çok düşük (sıfır sayılabilir) birgenliğe sahipken, bu kısımdan sonra 0.0001 mm lik genliğe çıkmıştır. Kesitin başlangıcında pürüzlülük



Şekil 3.8. 320 Mesh'e Kadar Aşındırılan Örneğin
y= 30 cm Kesit Pürüzlülük Profili

gözükmezken sonlarında yaklaşık 0.000125 mm pürüzlülük gözlenmiştir. Kesit pürüzlülük profilini en iyi temsil eden denklem Fourier denklemi olmuştur.

Pürüzlülük profili çıkarılan (120 ve 320 Mesh'e kadar aşındırma işlemine tabii tutulan) örneklerin istatistiksel yorumları elde edilen grafikler ışığında tanımlanmıştır. Yukarıda verilen şekiller incelendiğinde bütün istatistiksel formüller " $r^2 = .99$ " gibi yüksek korelasyon katsayısı vermiştir. Ayrıca her iki örnek kesitlerindeki formülasyonların benzer çıkması dikkat çekmektedir. Elde edilen istatistiksel modellemeler chebysev ve fourier polinomu gibi ileri dereceden denklemlerden oluşmaktadır. Bu da yüzey pürüzlülük dağılımının basit bir kurama göre dağılmadığını göstermektedir. Kesitler arasındaki denklem benzerliği ise pürüzlülük dağılımının büyüklük olarak değişkenliğiyle beraber, aynı davranışı göstermesini ortaya koymaktadır. Bu da aşındırma işleminin homojen ve eşit yapıldığını göstergesi olabilir; aynı zamanda silim hattında yapılan aşındırma işleminin dengesini ve düzenliliğini göstermektedir.

Profil şekilleri incelendiğinde 320 Mesh örneğinin pürüzlülüğü, 120 Mesh'e göre büyük ölçüde azaldığı açıkça görülecektir; pürüzlülük boyutları hemen hemen 1/100 oranında bir azalma göstermektedir. Ayrıca, pürüzlülük ölçümü yapılan 120 Mesh ve 320 Mesh örneklerinin pürüzlülük ölçüm sonuçlarının ortalama, maksimum, minimum, standart sapma ve güvenilirlik aralığı gibi istatistiksel analizleri yapılarak Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Pürüzlülük ölçümü yapılan örneklerin istatistiksel analiz sonuçları

Pürüzlülük (mm)	120 Mesh	320 Mesh
Ortalama	0,038267	0,00102
Maksimum	0,33	0,0572
Minimum	0,01	-0,0031
Standart Sapma	0,03941	0,002233
Güvenilirlik Aralığı (%95)	0,000432	2,45E-05

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda aşındırma performanslarını ölçebilecek 3 - boyutlu pürüzlülük ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Ölçüm sonuçları tutarlı, hassas ve güvenilirlik sınırları içerisindedir. Ölçümler ASTM ilkeleri doğrultusunda yapılmıştır. Bu sistem veya benzerleriyle mermer aşındırma, parlatma işlemlerinde ve araştırmalarında en ekonomik, optimum aşındırma aralığı, süresi ve aynı zamanda parlatma işleminde cilalama miktarı ve süresinin en ideal kombinasyonlarının bulunmasında faydalı olacaktır.

Geliştirilen sistem yatay düzlemdeki ve dikey konumdaki hareketleri x, y ve z koordinat değerleri olarak elde etmektedir. Bu nedenle bu değerler, ölçüm yapılacak herhangi bir çalışma alanında elde edilmek istenen değişkenler olabilir. Burada z değişkeni, x, y koordinatlarına karşılık gelen pürüzlülük sisteminde deplasman yüzdesi değerleridir.

Parlatma derecesinin nicel olarak belirlenmesi üzerine benzer bir çalışma yapıp, bulunan sonuçlar birlikte değerlendirilip, mermer aşındırma, parlatma işlemlerinde ve araştırmalarında en ekonomik, optimum aşındırma aralığı, süresi ve aynı zamanda parlatma işleminde cilalama miktarı ve süresinin en ideal kombinasyonlarının bulunması faydalı olacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK kurumunca desteklenmiştir. Proje no: MİSAG – 101.

KAYNAKLAR

1. Gentier, S. & Riss, J., **Quantitative Description and Modelling of Joints Morphology** Proc. of Rock Joints, p.375-382 (1990).
2. Lanaro, F., **A Random Field Model for Surface Roughness and Aperture of Rock Fractures** International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomech. Abstr., volume 37, p.1195-1210 (2000).
3. Lamas, L.N., **An Experimental and Analytical Study of the Roughness of Granite Joints** Proc. of Eurock'96, p.117-126 (1996).
4. Maerz, N.H. & Franklin, J.A., **Roughness Scale Effects and Fractal Dimesion** Proc. of Scale Effects in Rock Masses, p.121-126 (1990).
5. Sfondrini, G. & Sterlacchini, S., Influence of Joint Roughness on Discontinuity Shear Strength Proceeding of Eurock'96, p.135-142 (1996).
6. Thapa, B.B., Ke, T.C., Goodman, R.E., Tanimoto, C. & Kishida, K., **Numerically Simulated Direct Shear Testing of Insitu Joint Roughness Profiles** International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomech. Abstr., volume 33, p.75-82 (1996).
7. Wang, W, **Image Analyses of Aggregates** Computers and Geosciences, volume 25, p. 71-81 (1997).
8. ZES, Abrasiv Yapısının Genel Özellikleri, **ZES Abrasiv Firması Tanıtım Katalogu**, Afyon, (1998), pp:4.