

Yüzeylerin Pürüzlülük Açılarının Lazer Tarayıcılar Yardımıyla Belirlenmesi

Umud AYDAR¹, Emin Özgür AVŞAR¹, Şinasi KAYA², Erkan BOZKURTOĞLU³, Dursun Zafer ŞEKER⁴

Özet

Yersel lazer tarayıcılar 3 boyutlu obje geometrisini, doğrudan, hızlı ve detaylı elde etmeye olanak veren nitelikte ölçme donanımlarıdır. Yersel lazer tarama yönteminin sağlamış olduğu en önemli avantaj, özellikle karmaşık geometrideki objelerin ve yüzeylerin diğer ölçme yöntemlerine kıyasla çok kısa sürede ve yüksek detay zenginliğinde 3 boyutlu olarak elde edilebilmesidir. Bu çalışmada, taş parçalarının kırılma deneyi sonunda yüzeylerinde oluşan pürüzlülüğün ölçülmesi ve matematiksel olarak ifade edilmesi hedeflenmiştir. Kırılma deneyi sonunda oluşan yüzeyler incelendiğinde, en uygun ölçme ve modelleme yönteminin yersel lazer tarama olduğuna karar verilmiştir. Çalışmanın amacı, yüzeylerin kesme dayanımlarını etkileyen faktörlerin en önemlilerinden biri olan pürüzlülük derecelerini belirlemek için kullanılan pürüzlülük açılarının hızlı, doğru ve güvenilir olarak belirlenmesidir.

Anahtar Sözcükler

Lazer tarayıcı, 3B Model, Sayısal Arazi Modeli, Jeoloji, Yüzey Pürüzlülüğü

Abstract

Determining The Roughness Angles Of Surfaces With The Help Of Laser Scanners

Terrestrial laser scanners are measuring instruments providing the detailed 3D object geometry directly and fastly. The most important advantage that laser scanners provide is the ability of getting the detailed 3D model of the complex objects very quickly with respect to other measuring methods. In this study, it is aimed to measure and define mathematically the roughness degree of the surfaces of rock pieces that are obtained as the result of breaking experiment. After the visual inspection of the surfaces, it was decided that the most convenient measuring method is scanning the surfaces in terms of complexity.

Key Words

Laser Scanner, 3D Model, DEM, Geology, Surface Roughness

1. Giriş

Yersel lazer tarayıcılar 3 boyutlu obje geometrisini, doğrudan, hızlı ve detaylı elde etmeye olanak veren nitelikte ölçme donanımlarıdır (RESHETYUK 2005). Yersel lazer tarama başlı başına diğer ölçme yöntemlerinin (Fotogra-

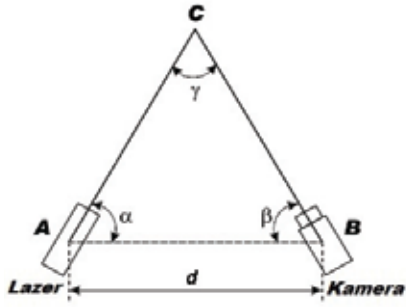
metri ve klasik jeodezik ölçme) yerini alabilecek bir araç olarak değerlendirilmeyip, birçok ölçme ve modelleme uygulamasında tamamlayıcı araç; diğer yöntemlerle entegre olarak kullanıldığında etkili sonuçlar verebilen bir yöntem olarak değerlendirilmelidir. Yersel lazer tarama yönteminin sağlamış olduğu en önemli avantaj, özellikle karmaşık geometrideki objelerin ve yüzeylerin diğer ölçme yöntemlerine kıyasla çok kısa sürede ve yüksek detay zenginliğinde 3 boyutlu olarak elde edilebilmesidir. Yürütülen bu çalışmada, taş parçalarının kırılma deneyi sonunda yüzeylerinde oluşan pürüzlülüğün ölçülmesi ve matematiksel olarak ifade edilmesi hedeflenmiştir. Kırılma deneyi sonunda oluşan yüzeyler incelendiğinde, en uygun ölçme ve modelleme yönteminin yersel lazer tarama olduğuna karar verilmiştir. Çalışmada Nextengine 3D Desktop yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Nextengine 3D Desktop tarayıcı, düşük bütçeli bir tarayıcı sistemi olup sağlamış olduğu ölçme doğruluğu ve hız bakımından etkili bir tarayıcı sistemdir. Bu çalışma 4 ana başlık altında tasarlanmıştır. Birinci bölüm, yersel lazer tarayıcıların çalışma prensipleri ve çalışmada kullanılan tarayıcı sistemin teknik özelliklerini kapsamaktadır. İkinci bölümde ölçme ve modelleme işlemleri ele alınmıştır. Üçüncü bölüm, üretilen 3 boyutlu model üzerinde yürütülen işlemler sonucu yüzey pürüzlülük açılarının hesaplanması için izlenen yöntem ve sonuçları içermektedir. Son bölümde ise bu tip bir çalışmada elde edilen sonuçlar, karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri tartışılmaktadır.

2. Optik Lazer Tarayıcılar

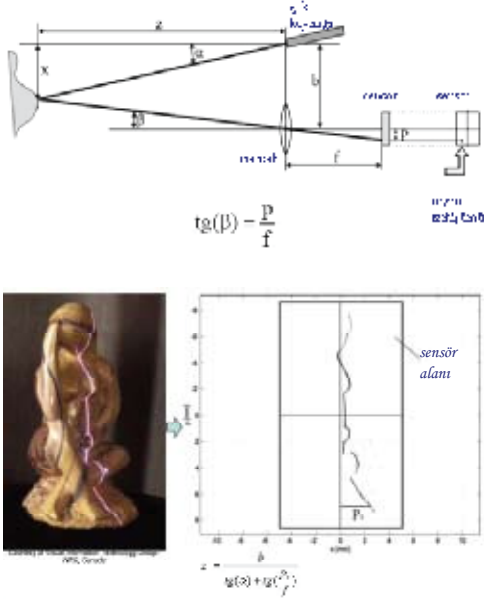
Son yıllarda, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle kişisel bilgisayarların grafik işlemcileri güçlenmiş, buna bağlı olarak 3B modellerin gerek bilimsel gerekse son kullanıcıya yönelik kullanımı yaygınlaşmıştır. Artan 3B model talebi ile beraber; nokta bazlı lazer tarayıcıların yüksek maliyetleri ve bu cihazlarla elde edilen verilerin işleme güçlüğü, düşük maliyetli alternatif 3B tarama yöntemlerinin geliştirilmesine yol açmıştır (AKYOL 2011). Yapılandırılmış ışıktan 3B bilgi elde edilmesi, triangülasyon prensibine dayalı olarak yapılır. Triangülasyon prensibine göre lazer ve kamera arasındaki mesafe (d) ve üçgenin iki açısı (α) ve (β) bilinir ise (c) (Şekil 1: Üçgenleme yöntemi) noktasının koordinatının hesaplanması mümkün olur. (γ) açısının büyüklüğü ise derinlikteki çözünürlüğe etki eder. (γ) büyür ise derinlik çözünürlüğü artar, küçülür ise azalır (ZAGORCHEV 2006).

¹ Araş. Gör., ² Yrd. Doç. Dr., ⁴ Prof. Dr. İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul

³ Araş. Gör. Dr. İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul



Şekil 1: Üçgenleme yöntemi



Şekil 2: Üçgenleme yöntemi ile 3D obje tarama işlemi

Çalışmada Nextengine 3D Desktop (Şekil 3: Nextengine 3D masaüstü tarayıcı) yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Nextengine 3D Desktop tarayıcı, düşük bütçeli bir tarayıcı sistemi olup sağlamış olduğu ölçme doğruluğu ve hız bakımından etkili bir tarayıcı sistemdir. Sistemin sağlamış olduğu ölçme doğruluğu üretici firma tarafından makro modda ± 0.127 mm, geniş modda ± 0.328 mm olarak verilmiştir.

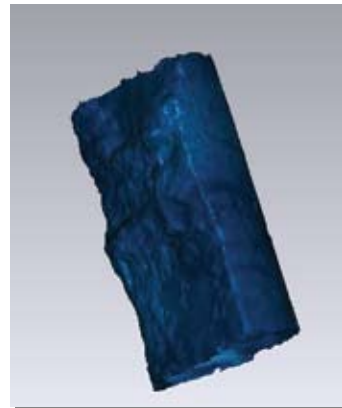


Şekil 3: Nextengine 3D masaüstü tarayıcı

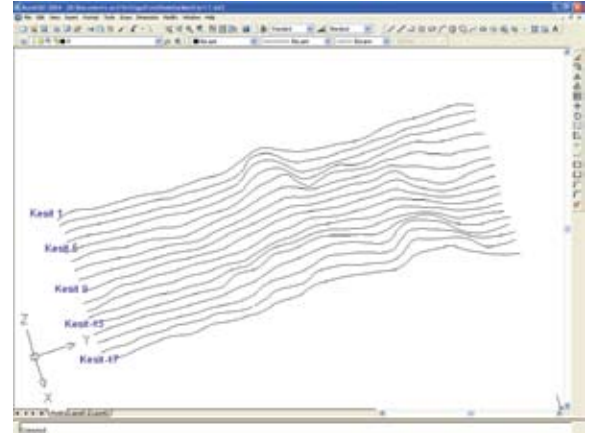
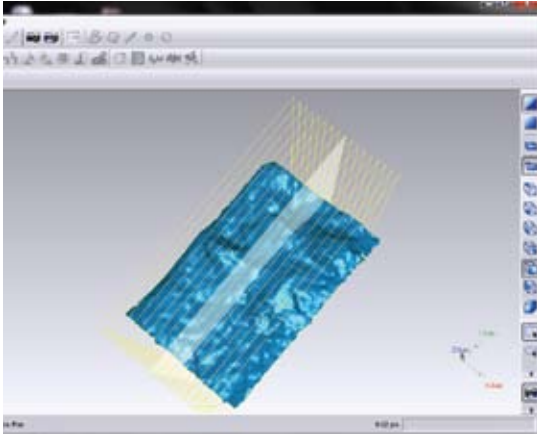
2.1. Ölçme ve Modelleme

Modellenecek olan obje tarayıcı sistemin yaklaşık 15 cm önünde yer alan ve üzerinde objeyi belirli açılarla otomatik olarak döndüren bir tabla bulunan sisteme yerleştirilmiştir. Objenin tamamının cihazın görüş açısında olmasına dikkat edilmelidir. Tarama cihazını kontrol etmek ve uygulamayı yapabilmek için cihazla birlikte gelen ScanStudio HD yazılımı kullanılmıştır. Objenin üzerine yerleştirildiği tabla 360° dönme kapasitesine sahiptir ve her bir seferde önceden programa girilen dönme sayısına uygun olarak hesaplanan dönme açılarında objeyi döndürerek objenin tümünün taranmasını sağlamaktadır. Tarayıcının kamera sistemi, lazer kaynağı ve obje arasındaki vektör uzayı sabit olduğundan objenin farklı bölgelerine ait taramalar otomatik olarak ScanStudio HD programında birleştirilmektedir. Tarama esnasında tarayıcının ya da objenin üzerinde yer aldığı sitenin konumunun değişmemesine dikkat edilmelidir. Böyle bir durumun ortaya çıkması halinde program birleştirme işlemini otomatik olarak yapamamaktadır. Bu durumda yazılımda bulunan birleştirme (alignment) menüsünden birleştirme işlemi iki farklı taramada yer alan en az üç ortak noktanın işaretlenmesi ile manuel olarak yapılmalıdır. Elde edilen model vrl formatında kaydedilerek Geomagic Studio programına aktarılmıştır. Elde edilen nokta bulutu üzerinde öncelikle düşük seviyeli noise azaltma işlemi uygulanmıştır. İkinci işlem adımı olarak yazılımın curvature sample metodu kullanılarak toplam nokta sayısı 62682'ye indirgenmiştir. Curvature sample metodu, düz yüzeylerdeki nokta sayısını azaltırken kavisli alanlardaki nokta sayısını korumakta, böylelikle detay kaybını önlemektedir. Azaltılan ve filtrelenen nokta bulutundan TIN formatında üçgenleme yapılmıştır. İşlem sonunda toplam 124184 üçgenden oluşan yüzey modeli elde edilmiştir (Şekil 4: 3D Model). Yersel lazer tarama yönteminde tarama ortamındaki ışık koşulları, obje geometrisinin karmaşıklığı ve objenin materyal özelliklerine bağlı olarak veri kayıplarının olduğu bölümlere sıklıkla rastlanmaktadır. Bu tür veri kayıplarının olduğu bölgeler uygun interpolasyon yöntemlerinden birisi seçilerek doldurulmalıdır. Bu çalışmada curvature-based yöntemi seçilmiştir.

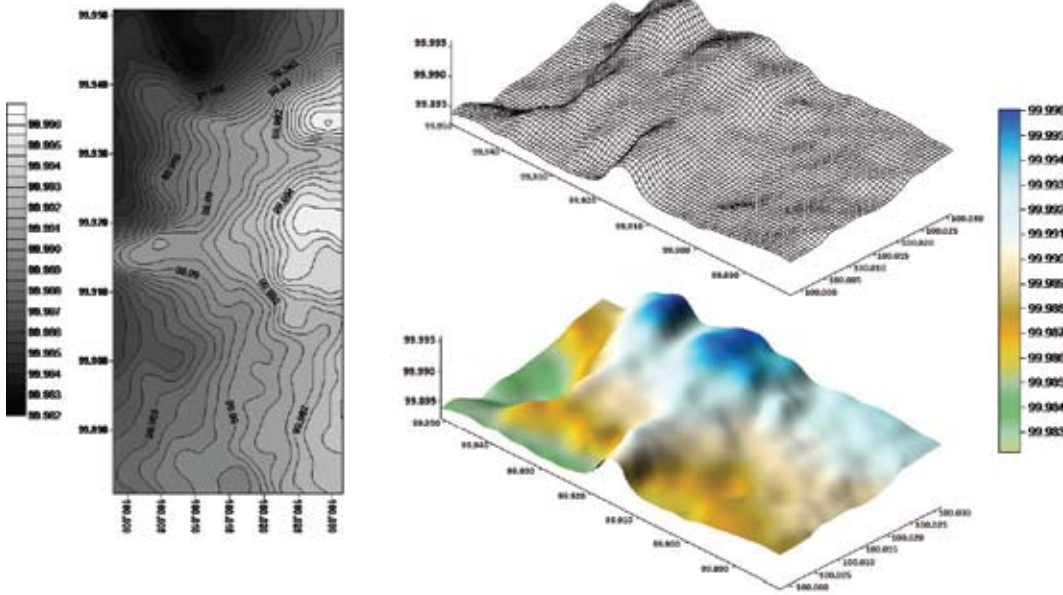
Yüzey modeli elde edildikten sonra pürüzlülük açılarının belirlenebilmesi için yüzey üzerinde 2 mm aralıklarla boyuna kesitler alınmıştır (Şekil 5 ve Şekil 6).



Şekil 4: 3D Model



Şekil 5: Kesit Alma işlemi, Kesitler, Kesitlerin CAD ortamında gösterimi



Şekil 6: Yüzey Modeli

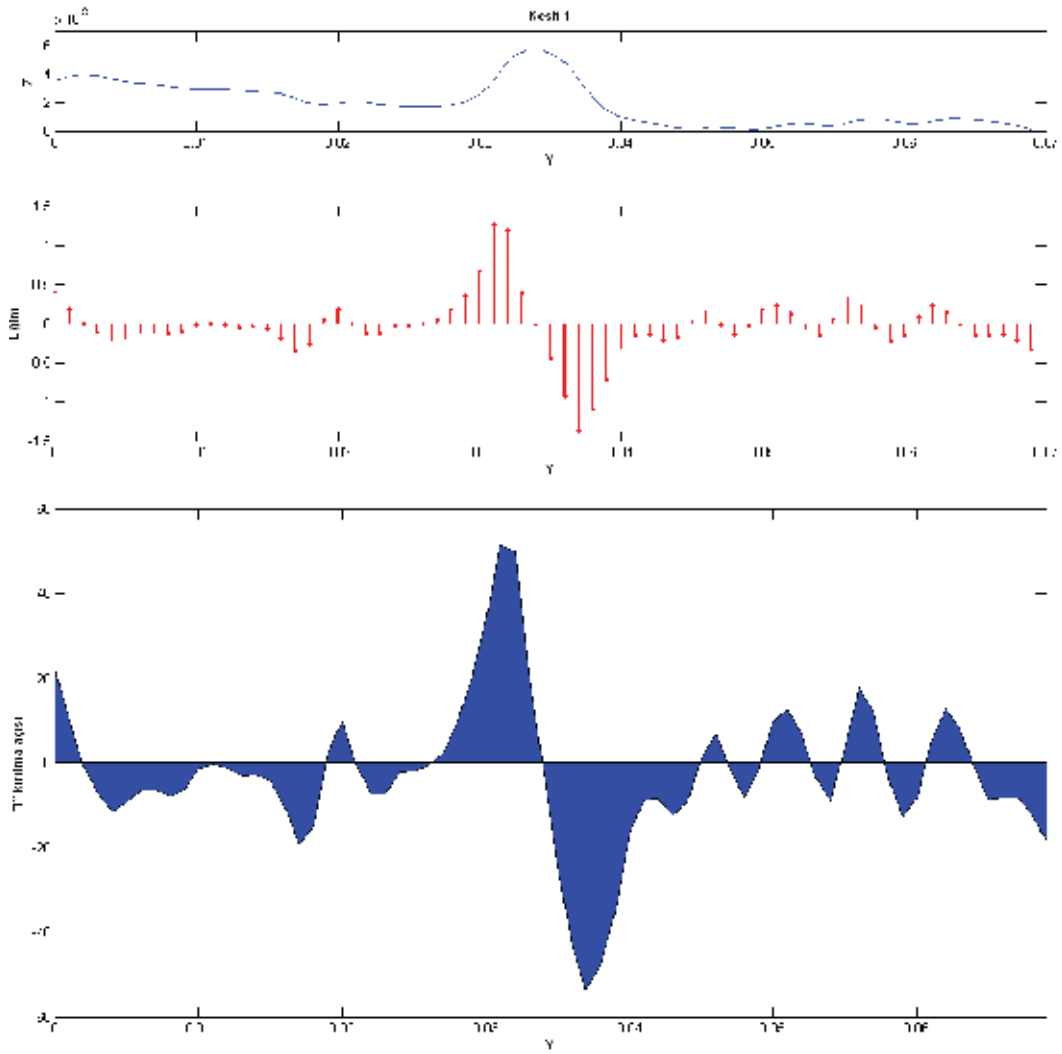
3. Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

Bu bölümde elde edilen kesitler üzerinden belirli nokta aralıkları belirlenerek pürüzlülük açılarının hesaplanması işlemi yürütülmüştür. Bu amaçla, MATLAB yazılım dilinin Curve Fitting toolbox'ı kullanılmıştır. Alınan 17 kesit üzerinden YZ düzleminde yaklaşık 1 mm aralıklarla olmak üzere toplam 1260 nokta verisi noktalar üretilmiştir (Tablo 1). Üretilen noktalar her bir kesit için parçalanmış, sıralanmış ve Matlab

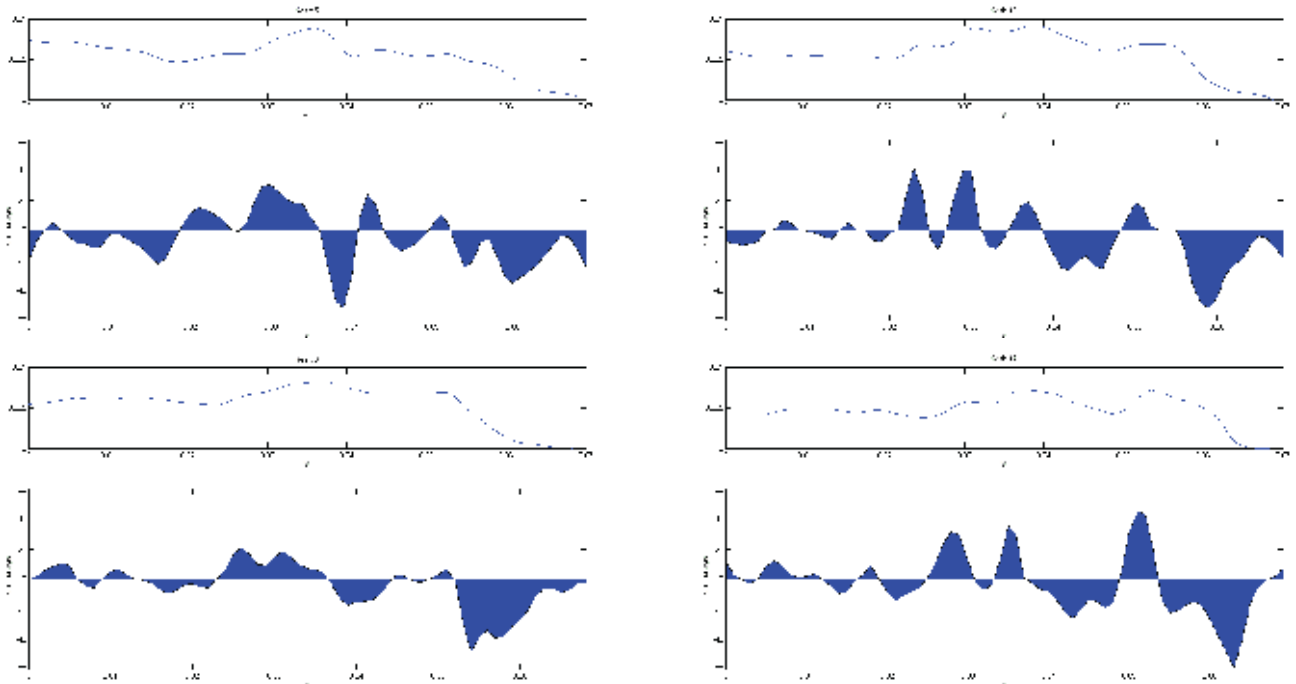
yazılımının Curve Fitting Tool'u kullanılarak şekil koruyan (shape preserving) eğri geçirilerek kesit üzerinde 1 mm aralıklarla 1. türevler alınmıştır. Elde edilen 1. türevler eğrinin o noktadaki eğimini, eğimin tanjantının tersi de o noktadaki "i" pürüzlülük açısını vermektedir. Her bir kesite ait negatif ve pozitif yöndeki en küçük, en büyük ve ortalama değerler ve elde edilen açıların mutlak değerlerinin ortalamaları hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 1: Kesitler ve Nokta sayıları

Kesit No	Nokta Sayısı	Uzunluğu (mm)	Kesit No	Nokta Sayısı	Uzunluğu (mm)	Kesit No	Nokta Sayısı	Uzunluğu (mm)
1	74	69.3	7	74	69.2	13	74	68.9
2	75	69.2	8	73	68.7	14	76	68.2
3	74	68.6	9	72	68.6	15	76	68.6
4	76	69.9	10	73	69.5	16	75	68.5
5	74	69.6	11	72	68.7	17	75	69.0
6	74	69.3	12	73	68.8			



Şekil 8: Kesit-Kesit-Eğim grafiği-Kesit-“i” pürüzlülük açısı grafiği



Şekil 9: Kesit ve Kesit-Eğim grafikleri (Kesit 5-9-13-17)

Tablo 2: Kesitler üzerinde belirlenen pürüzlülük açıları özet tablosu (derece birimindedir)

Kesit No	Max Negatif	Min Negatif	Negatif Ortalama	Max Pozitif	Min Pozitif	Pozitif Ortalama	Mutlak Ortalama
1	-53.68	-0.34	-10.44	51.76	0.82	14.93	11.85
2	-57.58	-0.15	-10.92	53.85	0.01	9.93	10.51
3	-57.11	-0.25	-13.39	47.05	0.02	12.26	12.89
4	-60.78	-0.58	-14.42	38.10	1.32	14.08	14.28
5	-51.23	-0.38	-15.21	29.96	0.46	12.47	14.23
6	-45.82	-0.47	-15.26	21.25	1.82	10.50	13.22
7	-64.67	0.00	-13.50	21.50	0.06	9.95	11.83
8	-53.57	-0.08	-11.64	19.28	0.06	8.47	10.44
9	-48.30	-0.10	-12.81	20.88	0.09	7.47	10.49
10	-40.34	-0.25	-12.72	30.33	0.00	10.13	11.69
11	-37.26	-0.05	-13.50	24.90	0.06	9.71	11.91
12	-47.57	-0.27	-13.26	36.14	0.04	10.32	11.72
13	-52.10	0.00	-13.70	41.52	0.00	13.08	13.48
14	-55.32	-0.12	-16.91	43.77	0.17	12.62	14.83
15	-54.05	-0.02	-17.53	53.91	0.02	12.48	15.08
16	-48.31	-0.02	-15.39	50.89	0.01	14.06	14.85
17	-58.92	-0.39	-14.82	44.67	0.00	13.57	14.29
Ortalama	-52.10	-0.19	-13.86	40.82	0.33	11.69	12.85

Elde edilen kesitlerin Description of Discontinuities ve JRC standartları ile kıyaslanması için söz konusu standartlarda

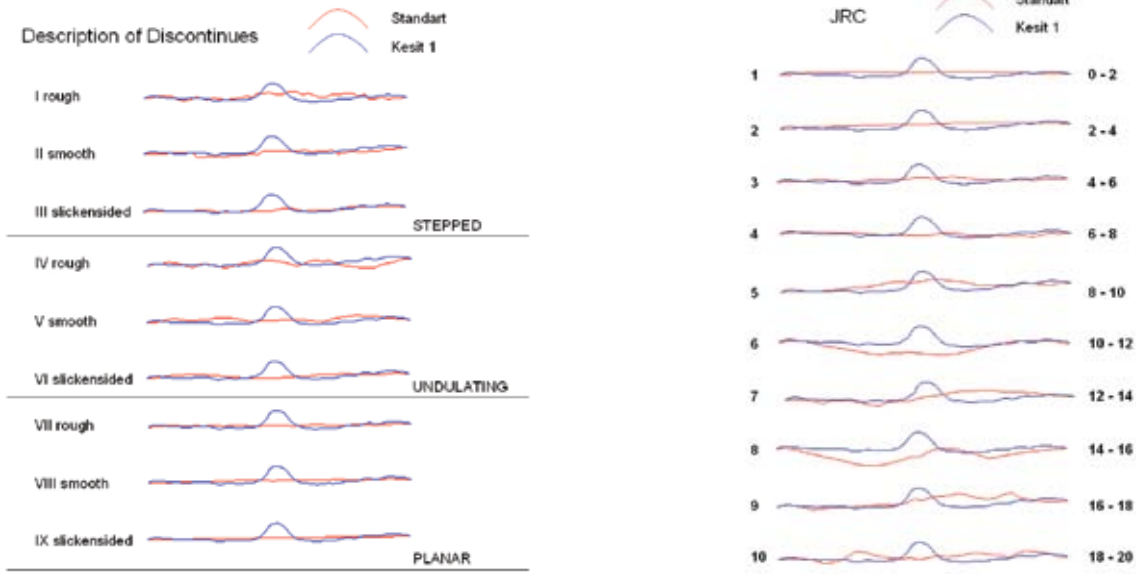
verilen kesitlerde de eğri geçirme, eğim hesabı ve “i” pürüzlülük açılarının hesabı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3: JRC standartları (derece birimindedir)

Kesit No	Max Negatif	Min Negatif	Negatif Ortalama	Max Pozitif	Min Pozitif	Pozitif Ortalama	Mutlak Ortalama
1	-4.91	-0.27	-1.83	7.35	0.38	2.83	1.71
2	-2.35	-0.25	-1.45	11.76	0.37	2.87	1.87
3	-17.76	-0.23	-3.24	17.35	0.39	5.06	3.89
4	-22.64	-0.02	-5.04	20.96	0.03	4.45	4.31
5	-18.72	-0.18	-5.62	36.35	0.05	8.14	6.34
6	-24.29	-0.09	-10.31	25.17	0.56	7.07	7.66
7	-19.73	-0.56	-8.27	30.68	0.24	9.02	8.15
8	-34.30	-2.21	-12.67	36.25	0.21	10.13	10.93
9	-40.05	-0.34	-10.36	42.42	0.30	12.64	10.88
10	-33.72	-1.24	-12.68	42.95	0.58	13.08	11.97

Tablo 4: DOD standartları (derece birimindedir)

Kesit No	Max Negatif	Min Negatif	Negatif Ortalama	Max Pozitif	Min Pozitif	Pozitif Ortalama	Mutlak Ortalama
1	-55.32	-1.92	-13.32	52.85	0.29	10.61	11.69
2	-43.05	-0.01	-6.58	48.67	0.97	6.17	6.33
3	-19.86	-0.03	-7.36	31.62	0.06	2.34	2.95
4	-23.27	-0.92	-9.80	35.89	0.49	11.47	10.68
5	-14.60	-0.64	-5.42	17.63	0.10	6.55	6.02
6	-7.81	-0.35	-2.93	8.34	0.02	3.57	3.33
7	-9.22	-0.48	-3.05	10.48	0.01	3.31	3.16
8	-3.66	-0.08	-1.31	6.65	0.06	1.65	1.53
9	-0.65	-0.10	-0.36	1.88	0.10	0.89	0.82



Şekil 10: Kesit 1'in standart kesitlerle ilişkisi

4. Sonuç ve Öneriler

Kayalarda süreksizliklerin sıklığı, doğrultu ve eğimi, açıklığı gibi özellikler; basınç direnci, elastik ve fiziksel özellikler üzerinde etkilidir. Kayacın düz, kayma izli, çoğu zaman pürüzlü ve ondüleli, bazen merdivenimsi olan süreksizlik yüzeyi kesme (kayma) direncini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Patton (1966) yüzey pürüzlülüğünün artması ile şev eğiminin de arttığını göstermiş ve süreksizlik yüzeyindeki ana ondülasyonu 1. derece, küçük girinti ve çıkıntıları 2. derece pürüzlülük olarak tanımlamıştır. Patton'a göre 2. derece pürüzlülüğün eğim açıları 1. dereceye göre daha fazladır. Barton (1973) tabaka yüzeylerine etkiyen normal gerilmenin düşük değerlerinde ikinci derece pürüzlülüğün etkili olduğunu belirtmiştir. Hoek ve Bray (1977) pürüzlülük açısından kaynaklanan kayacın içsel sürtünme açısı değerindeki artışın çok düşük normal gerilmeler altında $40^{\circ} - 50^{\circ}$ arasında değişebileceğini göstermiştir.

Çalışmada maksimum pürüzlülük açısı (-) kesit yönünde 64.67° olarak ölçülmüş ve (-) kesit yönünde maksimum değerlerin ortalama değeri 52.10° olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, özellikle normal ve kesme gerilmesi üzerinde önemli derecede etkili olan pürüzlülük açısı değerinin hassas bir şekilde ölçülmesinin gerekliliğini göstermek dışında pürüzlü kayacın yüzeyinde pürüzlülük açısından kaynaklanan kayacın içsel sürtünme açısı değerindeki artışın 50° yi aşabileceğini de göstermektedir.

Yapılan çalışma sonucunda klasik jeolojik yöntemlere göre yersel lazer tarama yönteminin doğruluk ve zaman açısından efektif sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Araziden alınan örneklerle hazırlanan karotlarla yapılan çalışmalarda masaüstü tarayıcılar pürüzlülük açısının belirlenmesi için kullanılabilir. Söz konusu çalışmanın doğrudan arazide yapılması durumunda veri elde etme aşamasında klasik yersel tarayıcılar kullanılmalıdır. Verilerin elde edilme aşamasından itibaren kalan aşamaların önerilen metodoloji ile ofis ortamında uygulanması kolay, etkili ve efektif sonuçlar verecektir.

Kaynaklar

- AKÇA D., GRÜN A., BREUCKMANN B., LAHANIER C.: **High Definition 3D-Scanning of Arts Objects and Paintings**, Optical 3D Measurement Techniques VIII, Zurich, Switzerland, July 9-12 2007.
- AKYOL O., DURAN Z., AYDAR U.: 2011. **Düşük Maliyetli Optik Tarayıcı Sistem Tasarım Örneği**, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VI. Teknik Sempozyumu, Antalya, 23-26 Şubat 2011.
- BARTON, N.: **Review of a new shear-strength criterion for rock joints**, Engineering Geology, 7, 287-332. 1973.
- DURAN Z., AYDAR U.: **Nippur Uzunluk Ölçme Aletinin 3b Modellenmesi Ve Görselleştirilmesi**, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu, Ankara, 4-5 Şubat 2009.
- GÜMÜŞ K., ERKAYA H.: **Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler**, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 2-6 Nisan 2007.
- HOEK, E., BRAY, J. W.: **Rock Slope Engineering**. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1977.
- PATTON, F.D.: **Multiple modes of shear failure in rock**. Proc. 1st. Cong. ISRM (Lizbon), vol.1, pp.509-513., 1966.
- RESHETYUK Y.: **Investigation and calibration of pulsed time-of-flight terrestrial laser scanners**, Royal Institute of Technology Department of Transport and Economics Division of Geodesy Stockholm, 2006.
- ZAGORCHEV, L., GOSHTASBY, A.: **A paint-brush laser range scanner**, Computer Vision and Image Understanding 101, 2006.