Madencilik, Cilt 55, Sayı 1, Sayfa 35-43, Mart 2016
Vol.55, No.1, pp 35-43, March 2016

PATLATMA SONUÇLARININ ANALİZİNDE YERSEL LAZER TARAYICILARIN (LiDAR) KULLANIMI

THE USE OF TERRESTRIAL LASER SCANNING (LiDAR) FOR THE ANALYSIS OF BLASTING RESULTS

İrfan Celal Engin*
Norbert Maerz**

ÖZET

Madencilik amaçlı patlatma uygulamalarında verimliliğin önemli bir ölçütü patlatma sonrası sağlanan parçalanmanın derecesidir. Patlatma sonrası parçalanmanın tespit edilmesi amacıyla günümüze kadar farklı yöntemler kullanılmış ve bu yöntemlerde, ölçüm hataları, uzun işlem süreleri gibi çeşitli sorunlarla karşılaşılmıştır. Bu çalışmada, LiDAR teknolojisi kullanılarak, öncelikle laboratuvar ölçekli yığın üzerinde, daha sonra bir taş ocağında, kırılmış agrega yığını ve patlatma sonrası oluşan yığın üzerinde parça boyutu dağılımı analizi gerçekleştirilmiştir. Tane boyu analizi; yığından yersel lazer tarayıcı yardımıyla nokta bulutu verilerinin alınması, bu verilerle yığının üç boyutlu modelinin bilgisayar ortamında oluşturulması, geliştirilen bir algoritma ile yığını oluşturan parçaların tanımlanması ve boyut dağılımlarının belirlenmesini içermektedir. LiDAR teknolojisinin patlatma sonuçlarının analizinde etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: LiDAR, Yersel Lazer Tarama, Parça Boyutu, Patlatma.

ABSTRACT

An important efficiency criterion of the blasting operations in mine production is the degree of fragmentation. Different methods have been used to determine the fragmentation up to the present, however some difficulties such as measurement error and long operation times were encountered. In the study, size distribution analysis using terrestrial laser scanning technology (LiDAR) was firstly applied to laboratory scaled broken rock pile, and then, the method was applied to aggregate pile and blasted rock pile in a quarry. Particle size analysis process contains; obtaining point cloud data of the piles using terrestrial laser scanner, creating three-dimensional computer models of the piles through the various filters and related software, defining the fragments and determining the particle size distribution. It is concluded that LiDAR technology can be used effectively in the determination of the size distribution of the piles for evaluating the blasting results.

Key Words: LiDAR, Terrestrial Laser Scanning, Fragmentation, Blasting.

* Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, AFYONKARAHİSAR, icengin@hotmail.com
** Missouri University of Science and Technology, Geological Engineering Department, Rolla, USA

GİRİŞ

Patlatma işlemi, açık ocak maden üretiminde önemli bir yere sahip olup işlem maliyeti toplam ocak üretim maliyetinin %40'ına ulaşabilmektedir. Bunun yanında, daha sonraki kazı-yükleme ve kırma-öğütme gibi süreçleri doğrudan etkilediğinden tüm maden üretim verimliliği ve maliyetini de etkilemektedir. Patlatma verimliliği, özellikle patlatma sonrası elde edilen parça boyut dağılımıyla değerlendirilmektedir.

Patlatma sonrası parçalanmanın tespit edilmesi amacıyla günümüze kadar farklı yöntemler kullanılmış, sayısal görüntü analiz yöntemi bunlar içerisinde en son ve en çok kabul gören yöntem olmuştur. Fakat tüm yığını temsil edecek fotoğrafların teminindeki güçlükler, hava koşullarına ve kullanılan kameraya bağlı olarak elde edilen görüntülerin kalitesindeki farklılıklar, iki boyutta ölçüm yapılabilmesi, fotoğraflarda oluşan perspektif nedeniyle doğru ölçüm alınamaması ve benzeri eksik yönleri görüntü analiz yöntemine alternatif yeni bir uygulamanın geliştirilebileceği fikrini doğurmuştur.

Bu çalışmada, yersel lazer tarama teknolojisi kullanılarak patlatma sonrası parça boyut dağılımı analizi yapılmıştır. Lazer tarama teknolojisi kullanılarak belirlenen tane boyu dağılım eğrileri ayrıca elek analizi ile tespit edilen tane boyu dağılım eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

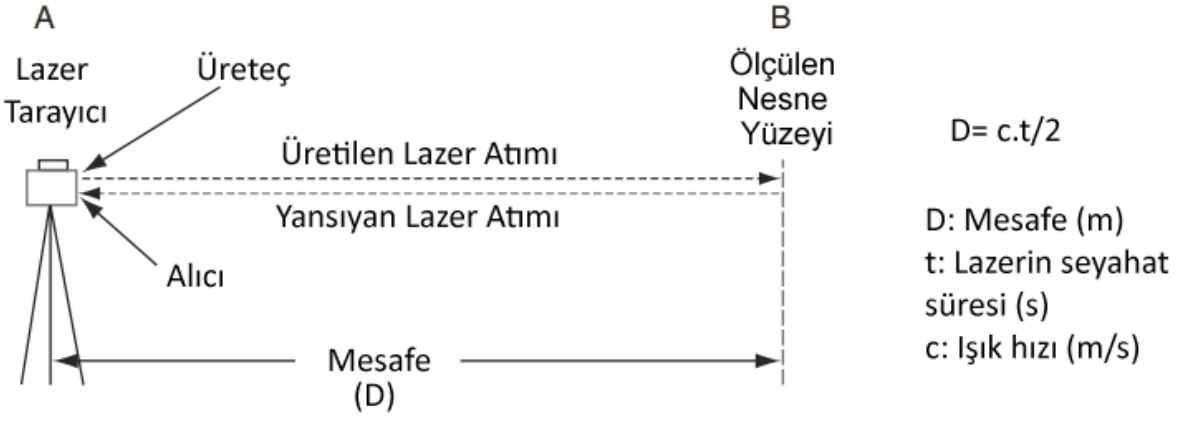
1. LiDAR TEKNOLOJİSİ

1960'lı yıllarda başlayan lazer teknolojisindeki araştırmalar, günümüzde de sayısı ve kapsamı artarak devam etmektedir. Bu araştırmalar sonucu ortaya çıkan yersel lazer tarama teknolojisinin (LiDAR) bir ölçüm aracı olarak kullanılması son 15 yılda gerçekleşmiştir (Gümüş, 2008). Günümüzde birçok mühendislik projesinde objelerin mevcut durumunu elde etmek için detaylı üç boyut (3B) bilgisine ve bunun hızla teminine ihtiyaç vardır. Geleneksel jeodezik ölçüm yöntemleri ve dijital fotogrametri yöntemleri ölçüm alanının tam ve yüksek doğrulukla bilgisayar ortamına aktarılması ve gerekli hesaplamaların yapılması ayrıca işlem süresi bakımından yersel lazer tarama teknolojisiyle kıyaslandığında yetersiz kalmaktadır.

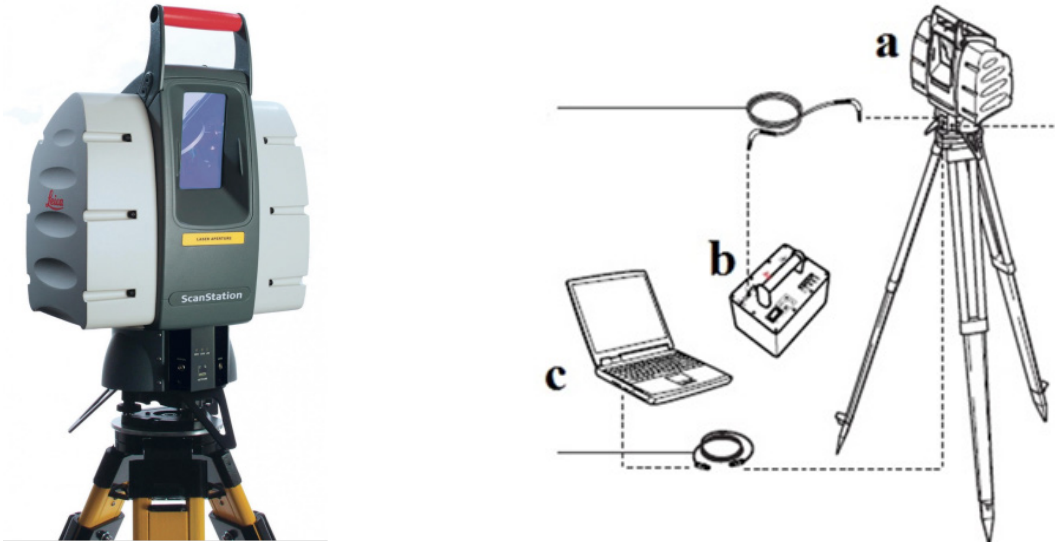
Yersel lazer tarayıcı ile taranacak yüzey üzerindeki bir nokta arasındaki uzunluk, lazer sinyalinin yüzeye gönderilmesi ve yüzeyden geri dönen lazer sinyalinin tespiti arasında geçen zamanın yüksek doğrulukla belirlenmesiyle hesaplanır (Şekil 1).

Obje, optik-mekanik tarayıcılar ile ölçme uzunluğuna bağlı olarak, yatay ve düşey yönlendirmelerle taratılır. Tarama işlemi sonucunda elde edilen, objenin milyonlarca noktadan oluşan detaylı 3B görüntüsünün çıkarılmasını sağlayan, yoğun lazer sinyallerinin oluşturduğu nokta kümelerine nokta bulutu denir. Her nokta için, tarayıcıya bağlı koordinat sisteminde 3B koordinatları ve çok sayıda yansıtılmış lazer sinyali kayıt edilir. 3 boyutlu modeli elde edilmeye çalışılan objelerin geniş ve karışık şekilli olmalarından dolayı, tek seferde tarama yapılarak obje geometrisi elde edilememektedir. Bu yüzden, farklı konumlardan taramalar yapılır. Objenin tamamlanmış gösterimini sağlamak için, bu taramalar birleştirilir ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülür (Ingensand, 2006; Gümüş, 2008). Yersel lazer tarayıcıların en önemli avantajı, 3 boyutlu obje geometrisini, doğrudan, hızlı ve detaylı ölçüm özelliğidir.

Diğer avantajları ise Waggot vd. (2005), Reshetyuk (2006) ve Gümüş (2008) tarafından aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:



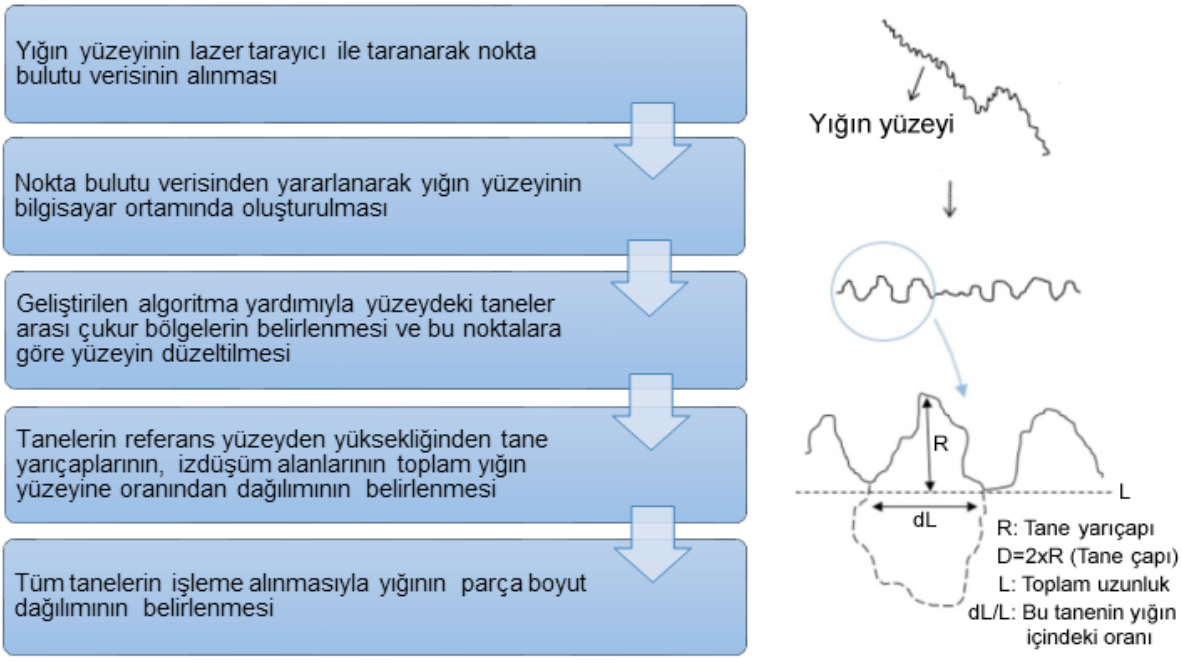
Şekil 1. Lazer atımının seyahat süresine göre (TOF) Mesafe ölçümü yöntemi



Şekil 2. Leica ScanStation II Marka lazer tarayıcının genel görünümü ve tarama sisteminin parçaları: Tarayıcı (a), Batarya-Jeneratör (b), Bilgisayar (c)

- Aynı ölçme alanı için daha fazla veri toplama,
- Çok amaçlı veri kullanımı,
- Hızlı ve obje ile temas kurmadan ölçme,
- Ulaşılması zor, tehlikeli alanlarda daha güvenli veri toplama imkânı,
- Yüksek doğruluklu sayısal arazi modelleri üretebilme,
- Gerçek renkli görüntü üretebilme,
- Tarama işlemlerinin çevre aydınlatması gerektirmemesi, gece tarama yapabilme özelliği.

Yersel lazer tarayıcıların ilk temininde fiyatının göreceli olarak yüksek oluşu belki bir dezavantaj olarak değerlendirilebilir.



Şekil 3. LiDAR Teknolojisiyle parça boyutu analizinde izlenen aşamalar ve parça tanımlama işleminin şematik gösterimi

1.1. Yersel Lazerin Madencilikteki Kullanım Alanları

Yersel lazer tarama teknolojisi bahsedilen avantajlarından ötürü son yıllarda madencilik alanında da kullanılmaya başlanmış, bu konuda birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmalar daha çok açık ocaklarda şev ve basamak geometrisinin 3B olarak elde edilmesi (Feng ve Röshoff, 2004; Yanalak, 2005; Oparin vd., 2007), çeşitli hacim hesaplamaları (Yanalak ve Baykal, 2003; Yakar vd., 2008), açık ocaktaki ve yeraltı açıklıklarındaki süreksizliklerin tespiti (Slob vd. 2004; Slob vd., 2005; Kemeny vd., 2006; Decker, 2008; Lato vd., 2009; Sturzenegger ve Stead, 2009; Maerz vd., 2012; Lato vd., 2013; Fekete ve Diederichs, 2013, Deliormanlı vd., 2014), kaya düşmeleri ve heyelan kontrolünün yapılması amacıyla deformasyon ölçümleri (Bauer vd., 2005; Aksoy ve Ercanoglu, 2006; Teza vd., 2008; Abellán vd., 2008; Salvini vd., 2013) üzerinde yoğunlaşmaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, açık ocak patlatmalarında, patlatma sonrası parça boyut dağılımının belirlenmesinde yersel lazer tarama teknolojisinin kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla Leica ScanStation II marka lazer tarayıcı kullanılarak patlatma sonrası oluşan yığın taranmış ve nokta bulutu verisi elde edilmiştir.

Daha sonra yığını oluşturan kayaç parçalarının tanımlanması için bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemle parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Yöntemin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla öncelikle laboratuvar ölçekli tane boyutu dağılımı bilinen bir agrega karışımında tarama ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra açık ocakta yine parça boyutu bilinen bir yığında benzer işlemler tekrarlanmıştır. Son olarak açık ocakta yapılan bir patlatma uygulamasından sonra elde edilen yığının parça boyut dağılımı bu yöntemle belirlenmiştir.

Lazer tarama işlemleri Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (University of Science and Technology) Kaya Mekaniği ve Patlayıcı Araştırma Merkezi'nde Dr. Norbert MAERZ yönetiminde bulunan Leica ScanStation II marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

Leica ScanStation II marka lazer tarayıcı, saniyede 50.000 lazer atımı yapabilme ve 300m mesafede 4mm hassasiyetinde ölçüm yapabilme kabiliyetine sahip dâhili yüksek çözünürlüklü dijital kamera içeren, tamamen bilgisayar kontrollü bir ölçme aletidir.

Parça boyut dağılımının belirlenmesinde izlenen yöntem laboratuvar ve saha çalışmaları için aynı olup Şekil 3'de akım şeması olarak verilmiştir.

Parça boyutunun belirlenmesinde öncelikle yığının yüzeyi bilgisayar ortamına aktarılmış, daha sonra yerel minimum (çukur) noktalarının belirlenmesiyle her bir tanenin (agrega veya kaya parçalarının) yığın yüzeyinden olan yüksekliği diğer bir ifadeyle tane yarıçapı belirlenmiştir. Bunun iki katı tane çapı olarak kabul edilmiştir. Tanelerin izdüşüm alanları da belirlenerek toplam yığın yüzeyindeki tane oranı hesaplanmıştır. Tüm tanelerin işleme alınmasıyla yığının parça boyut dağılımı belirlenmiştir (Şekil 3).

Lazer tarama sonucunda elde edilen nokta bulutu verisinden yığın yüzeyinin 3B görüntüsünün elde edilmesinde ve tane boyu dağılımının belirlenmesinde CloudCompare, MATLAB R2013 b yazılımlarından faydalanılmıştır. Bu yazılımlardan CloudCompare tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verileri içindeki gereksiz noktaların temizlenmesi ve nokta bulutu verilerinin kontrolünde, MATLAB R2013b yazılımı ise nokta bulutu verilerinden yüzey oluşturulması, yığın yüzeyindeki çukur bölgelerin tespiti, yığın yüzeyinin düzeltilmesi ve sonrasında tanelerin belirlenmesinde kullanılmıştır.

2.1. Laboratuvar Ölçekli Uygulama

Yöntemin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla öncelikle tane boyu dağılımı bilinen bir karışım hazırlanmış ve bu karışım lazerle taranarak analiz edilmiş ve tane boyu dağılımı bu yöntemle



Şekil 4. Laboratuvarda hazırlanan tane boyu bilinen kalsit agregası karışımından bir görünüm

Çizelge 1. Kireçtaşı Agregası Kullanılarak Hazırlanan Karışımın Tane Boyu Dağılımı

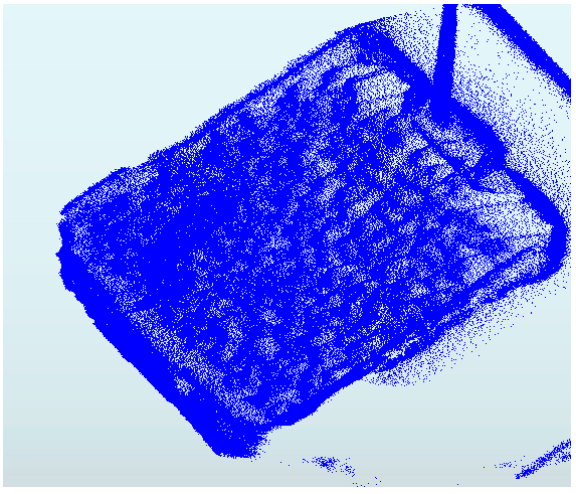
mm	g (elekaltı)	%	Kümülatif %
25	105	2.63	100.00
19	1102	27.64	97.37
16	2698	67.67	69.73
9.5	45	1.13	2.06
4.75	1	0.03	0.93
2.36	1	0.03	0.90
1.18	35	0.88	0.88
Toplam	3987	100	

belirlenmiştir. Hazırlanan karışımın görünümü Şekil 4'de verilmiştir. Tane boyu analizi ise Çizelge 1'de verilmiştir.

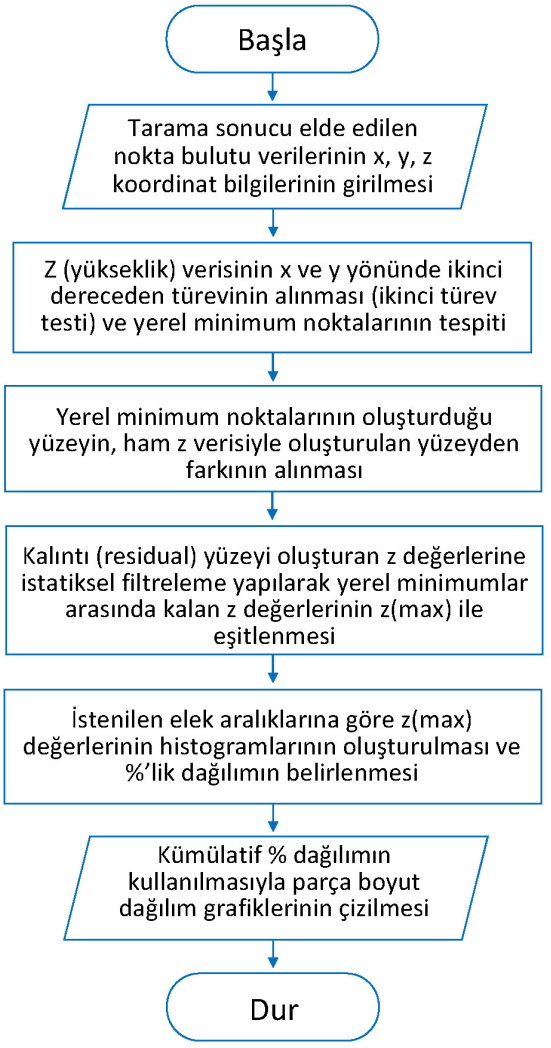
Karışım serbest şekilde düz bir yüzeye dökülmüş ve yüzeyi lazer tarayıcı ile taranmış ve nokta bulutu verisi elde edilmiştir (Şekil 5).

Tarama işleminde noktalar arası 1mm olacak şekilde seçilmiştir. Daha sonra yüzeyin bilgisayar ortamında üç boyutlu görünümü elde edilmiştir. MATLAB yazılımında geliştirilen kodlar yardımıyla yüzeyi oluşturan tanelerin aralarındaki çukur noktalar belirlenerek (yerel minimumlar) yüzey düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir

Taneler arasındaki çukur alanların belirlenmesinde ikinci dereceden türev alma yöntemi uygulanmıştır. Bilgisayar ortamında oluşturulan yüzey üzerinde MATLAB yazılımı yardımıyla iki doğrultuda olmak üzere yükseklik fonksiyonunun ikinci dereceden türevi alınmış, bunun değerinden yola çıkılarak yerel minimum noktaları tespit edilmiştir. Bu minimum noktaları kullanılarak yığın yüzeyi düzeltilmiş ve tanelerin ölçülebilmesi sağlanmıştır.



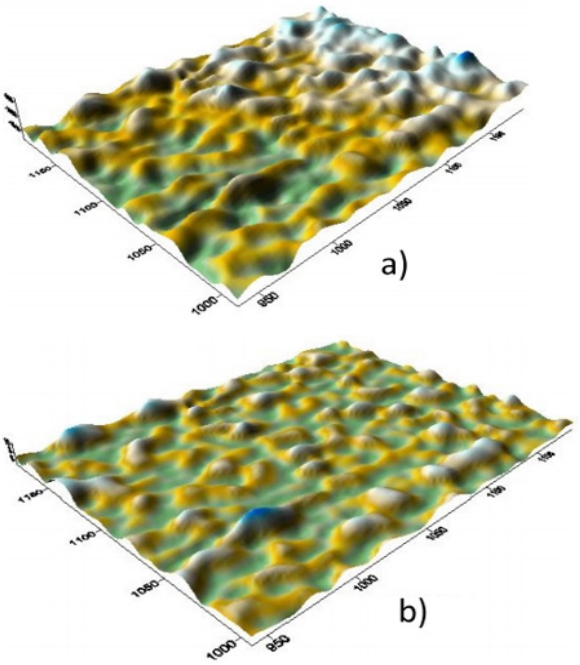
Şekil 5. Agrega karışımının tarama işlemi sonrası nokta bulutu verisi



Şekil 6. MATLAB yazılımı ile tane boyu dağılımın belirlenmesinde uygulanan algoritma

Daha sonra her tanenin referans düzleminden olan yüksekliğinden tane çapı ve yüzey alanının yığının yüzey alanına oranından da tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Bu işlemleri kapsayan algoritma bir akım şeması halinde Şekil 6'da verilmiştir.

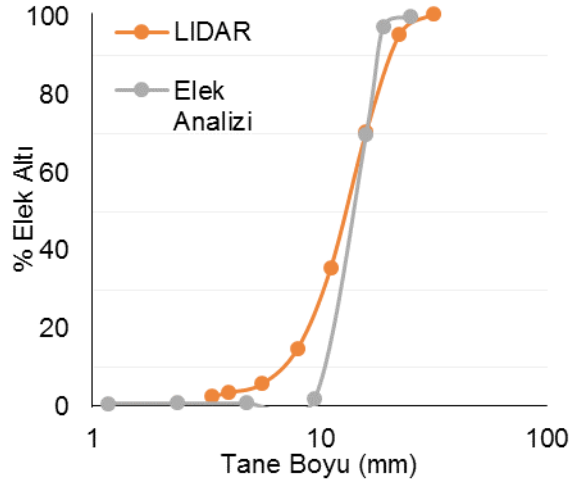
Yığın yüzeyinin düzeltilmesi işlemine bir örnek Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Hazırlanan yığının orijinal 3B modeli (a) ve düzeltme işleminden sonraki görünümü (b)

Nokta bulutu verilerinin analizinden belirlenen tane boyu dağılımı ile elek analizi sonuçları ise Şekil 8'de karşılaştırılmıştır.

Şekil 8'den görülebileceği gibi lazer tarama ve sonrasında yapılan tane boyu analizi işlemiyle elde edilen tane boyu dağılım eğrisi elek analizinden elde edilen eğriyle oldukça yakındır. Özellikle ince tane bölgesinde (<10 mm) bir miktar sapma olmuştur bu da cihazın tarama hassasiyetinin aşılmasıyla ilgili bir durumu işaret etmektedir.



Şekil 8. Elek analizi sonucunda elde edilen tane boyu dağılımı ile LiDAR yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması

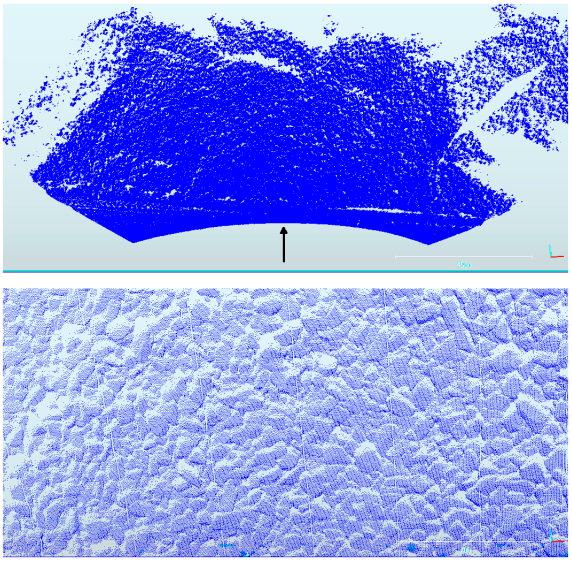
2.2. Taş Ocağı Uygulamaları

Saha çalışmaları ABD Missouri eyaletinde Rolla şehri yakınlarında bulunan bir kireçtaşı ocağında (Şekil 9) gerçekleştirilmiştir.

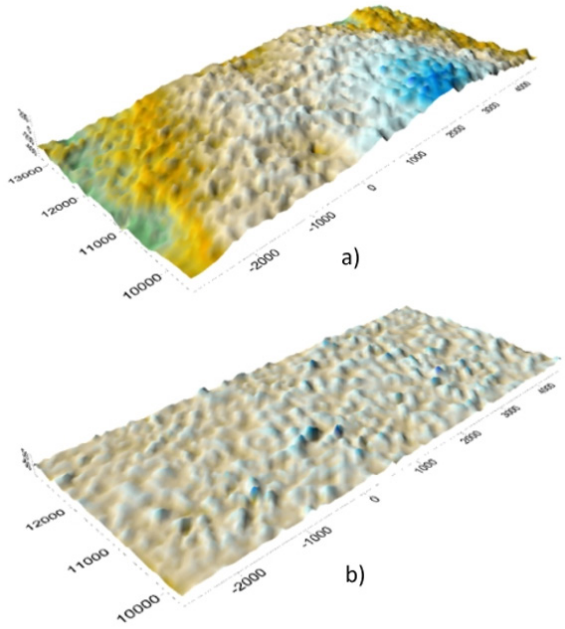


Şekil 9. Rolla şehri yakınlarındaki kireçtaşı ocağının yer bulduru haritası

Ocakta lazer tarama işlemi öncelikle kırma eleme tesisinden çıkan tane büyüklüğü 4 inç (10,16mm) olan kayaçların oluşturduğu yığın üzerinde denenmiştir (Şekil 10). Oluşturulan üç boyutlu görünüm ve düzeltilmiş görünüm ise Şekil 11'da verilmiştir.

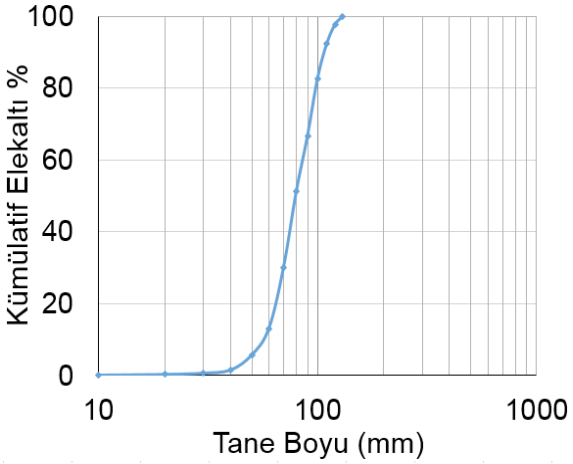


Şekil 10. Lazer tarama işlemi yapılan kırılmış agrega yığınının nokta bulutu verisi (tarama yönü okla gösterilmiştir) ve detay görünümü (altta)



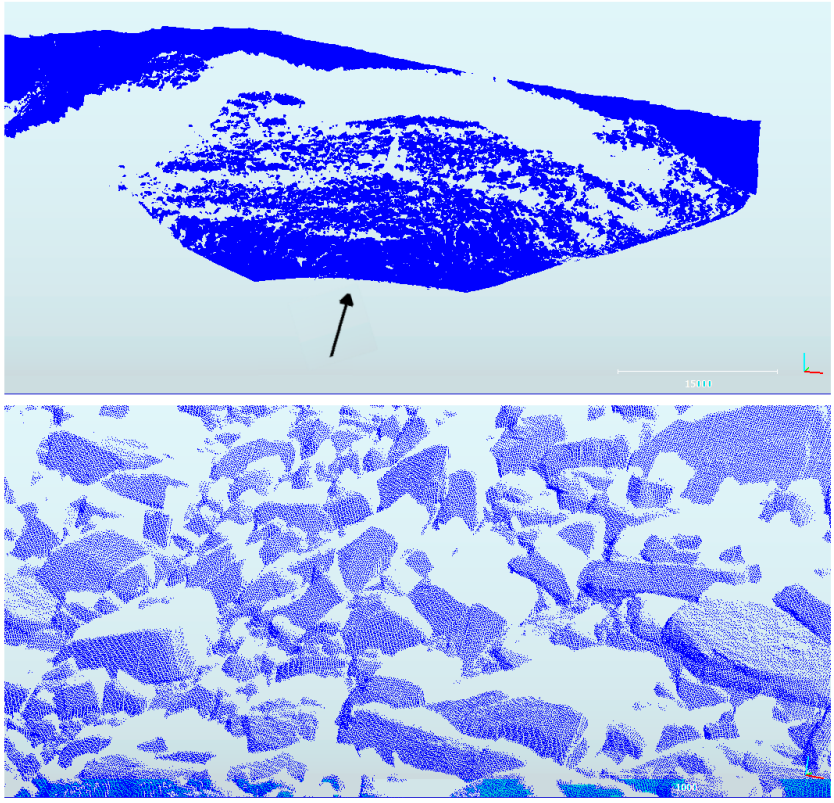
Şekil 11. Taş ocağındaki kırılmış agrega yığınının orijinal 3b modeli (a) ve düzeltme işleminden sonraki görünümü (b)

Bahsedilen yöntemle agrega yığınının tane boyu analizi yapılmış ve sonuçta elde edilen tane boyu dağılım eğrisi Şekil 12'de verilmiştir. Görüldüğü gibi gerçek değere çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

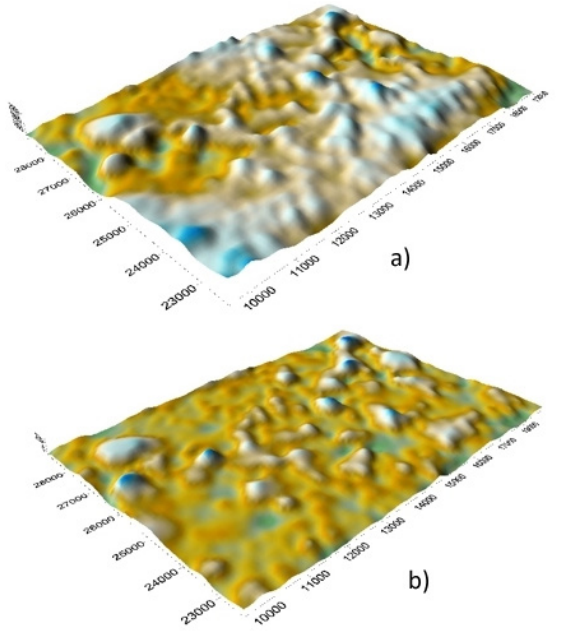


Şekil 12. LiDAR yöntemi ile agrega yığını üzerinde yapılan tane boyu analizi sonucu elde edilen tane boyu dağılım eğrisi

Benzer uygulama ocakta yapılan bir basamak patlatması sonucu elde edilen yığın üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 13).

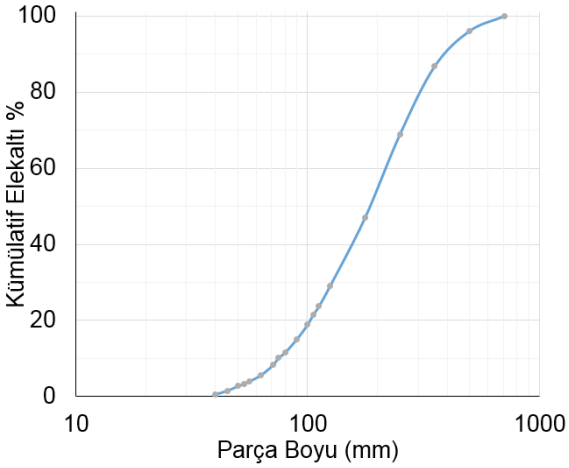


Şekil 13. lazer tarama işlemi yapılan patlatma sonrası elde edilen yığınının nokta bulutu verisi (tarama yönü okla gösterilmiştir) ve detay görünümü (altta) verilmiştir



Şekil 14. Taş ocağındaki patlatma sonrası elde edilen yığının orijinal 3b modeli (a) ve düzeltme işleminden sonraki görünümü (b)

Yapılan patlatma uygulamasında delik çapı 10 cm, dilim kalınlığı 3 m, delikler arası mesafe 3,6 m, basamak yüksekliği 17 m, delik boyu 18 m, özgül şarj ise 0,842 kg/m3 olarak seçilmiştir. Emülsiyon tipi patlayıcı kullanılmıştır.



Şekil 15. Kireçtaşı ocağındaki patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımı

Oluşturulan üç boyutlu görünüm ve düzeltilmiş görünüm ise Şekil 14'de verilmiştir. Yapılan tane boyu analizi sonucu ise Şekil 15'de verilmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, yersel lazer tarama teknolojisinin patlatma uygulamalarının sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle nokta bulutu verilerinden parça boyutu dağılımının belirlenmesi amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle öncelikle laboratuvar ölçekli agrega karışımının parça boyut dağılımı belirlenmiş, daha sonra ise bir taşocağında boyut dağılımı bilinen yığının parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Her iki uygulamada da yersel lazer tarama ile elde edilen nokta bulutu verilerinin analizi sonucunda bulunan boyut dağılımı gerçek (elek analizi) verilerle çok iyi uyum içerisindedir. Son olarak patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımı da aynı yöntem izlenerek belirlenmiştir. Patlatma sonrası parça boyut dağılımının yersel lazer tarayıcılarla belirlenmesinde yöntemin hassasiyeti kullanılan lazer tarayıcının hassasiyeti ve tanelerin tanımlanmasında kullanılan algoritmaların güvenilirliği ile yakından ilgilidir.

Yersel lazer tarayıcılar geleneksel jeodezik yöntemlere göre sahip olduğu avantajlar nedeniyle artan bir kullanım alanına sahiptir. Madenlerde üretimin planlanması ve izlenmesinde, hacim hesaplamalarında, süreksizliklerin belirlenmesi ve analizinde, heyelanların izlenmesinde vb. uygulamalarda kullanımının yanında patlatma sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla parça boyut dağılımının belirlenmesinde de kullanılması daha verimli üretim yapılmasına imkân sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abellán A., Vilaplana J.M., Martínez J., 2008. Application of a long-range terrestrial laser scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern pyrenees, Spain), Eng Geol 88, 136-148.

Aksoy, H., Ercanoglu, M., 2006. Determination of the rockfall source in an urban settle-ment area by using a rule-based fuzzy evaluation. Natural Hazards and Earth System 6, 941–954.

Bauer A., Paar G., Kaltenböck A., 2005. Mass movement monitoring using terrestrial laser scanner for rock fall management. In: Proc first international symposium on geo-information for disaster management, 393-406.

Decker J., 2008. Laser scanning techniques in Devil's Slide tunnels. In: Proceedings of the 42nd US rock mechanics symposium, San Francisco.

Deliormanlı A.H., Maerz N., Otoo J.N.A., 2014. Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 66, 41–48.

Fekete S., Diederichs M., 2013. Integration of three-dimensional laser scanning with discontinuum modelling for stability analysis of tunnels in blocky rock masses. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 57, 11–23.

Feng, Q.H., Röshoff, K., 2004. In-situ mapping and documentation of rock faces using full-coverage 3D laser scanning techniques. International Journal of Rock Mechanics and Mining 41, 379.

Gümüş K., 2008. Yersel Lazer Tarayıcılar Ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 134 s.

Ingensand H., 2006. Methodological aspects in terrestrial laser-scanning technology. InProceedings of the 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineeringand 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.

Kemeny, J., Turner, K., and Norton, B. 2006. LiDAR for Rock Mass Characterization: hardware, software, accuracy, and best practices. Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization workshop, Golden Colorado, June 17-18, 2006, pp. 49-62.

Lato M., Kemeny J., Harrap R.M., Bevan G., 2013. Rock bench: Establishing a common repository and standards for assessing rockmass characteristics using LiDAR and photogrammetry. Computers & Geosciences 50, 106–114.

Maerz, N. H., Youssef, A. M., Otoo, J. N., Kassebaum, T. J., and Duan, Y. 2012. A simple method for measuring discontinuity orientations from terrestrial LiDAR images. Sub. to J. of Environmental and Engineering Geoscience. Feb. 2012.

Oparin V.N., Seredovich V.A., Yushkin V. F., Ivanov A.V., Prokop'eva, S.A., 2007. Application of laser scanning for developing a 3D digital model of an open-pit side surface. Journal of Mining Science 43(5), 545-554.

Reshetyuk Y., 2006. Investigation of the Influence of Surface Reflectance on the Measurements with the Terrestrial Laser Scanner Leica HDS 3000. ZfV (Zeitschrift fürGeodäsie, Geoinformation und Landmanagement), 131 (2), 96-103.

Salvini R., Francioni M., Riccucci S., Bonciani F., Callegari I., 2013. Photogrammetry and laser scanning for analyzing slope stability and rock fall runout along the Domodossola–Iselle railway, the Italian Alps. Geomorphology 185, 110–122.

Slob S, Hack R, Knapen B, Kemeny J., 2005. A method for automated discontinuity analysis of rock slopes with 3D laser scanning. In: Proceedings of the 84th annual meeting of Transportation Research Board, Washington, DC, 16 pp.

Slob S., Hack R., Van Knapen B., Kemeny J., 2004. Automated identification and characterisation of discontinuity sets in outcropping rock masses using 3D terrestrial laser scan survey techniques, In Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquy, Salzburg, 439-443.

Sturzenegger M., Stead D., 2009. Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts, Engineering Geology 106, 163-182.

Teza G., Pesci A., Genevois R., Galgaro A., 2008. Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation, Geomorphology 97, 424-437.

Waggot S.M., Clegg P., Jones R.R., 2005. Combining Terrestrial Laser Scanning, RTK, GPS and 3D Visualisation: Application of Optical 3D Measurement in Geological Exploration, Proceedings of the 7th Conference on 3-D Optical Measurement Techniques, Vienna, Austria, 3-5 Oct. 2005.

Yakar M., Yılmaz H.M., Mutluoğlu Ö., 2008. Lazer Tarama Teknolojisi ve Fotogrametrik Yöntem ile Hacim Hesabı. TÜBİTAK, Proje No: 105M179, 90s.

Yanalak M, and Baykal O., 2003. Digital Elevation Model Based Volume Calculations Using Topographical Data, Journal of Surveying Engineering 129 (2), 56-64.

Yanalak M., 2005. Computing Pit Excavation Volume. Journal of Surveying Engineering 131(1), 15-19.