

Makale Gönderim Tarihi: 29.03.2021

Yayına Kabul Tarihi: 07.09.2021

Yersel Lazer Tarayıcıların Yeraltı Madencilik Faaliyetlerinde Kullanımı: Örnek bir Yeraltı Metalik Maden Uygulaması

Application of Terrestrial Laser Scanners in Underground Mines: A Case Study for an Underground Metalliferous Mine

Mehmet V. Ozdogan¹, Ahmet H. Deliormanli^{1*}

¹*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, İzmir*

* *Sorumlu Yazar: ahmet.deliormanli@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8064-0689*

Özet

Lazer tarayıcıların yerbilimlerinde kullanımının artması ile ölçüm hassasiyetleri artmıştır. Böylece daha hızlı ve daha hassas ölçümler daha ekonomik çalışmaları olanaklı kılmıştır. Yeraltında yapılan mühendislik çalışmalarında da lazer tarayıcıların kullanımı son yıllarda artmıştır. Farklı amaçlar için kullanılan lazer tarayıcılar için yeraltı çalışmalarında halen birçok potansiyel kullanım alanı bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında da metalik bir yeraltı ocağında galeri kazısında açığa çıkan malzemenin hacminin hesaplanması amacıyla yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lazer tarayıcı, yeraltı kazısı, yeraltı madenciliği

Abstract

Susceptibility of surveying has been increasing with the advancing usage of laser scanners. Shorter surveying time and more precious measurements enable more economical surveying. In recent years, usage of laser scanners for underground surveying is gaining an increasing interest. Still there are lots of potential application areas are under investigation for the usage of laser scanners in underground works. In the scope of this study, a terrestrial laser scanner was used to determine the volume of excavated material in an underground metalliferous mine and the results of the study has been given.

Keywords: Laser scanner, underground excavations, underground mining

1.Giriş

Yerbilimlerinde mühendislik ölçümleri amacıyla lazer tarayıcıların (LiDAR) kullanımı son yıllarda oldukça önem kazanmaktadır. Hem ölçüm hem de izleme amacıyla kullanılan lazer tarayıcılar yeraltı madencilik faaliyetlerinde de çeşitli amaçlarla kullanım alanları bulmuştur.

LiDAR sistemleri üzerlerine montelenmiş bir sensör ile yüzey arasındaki mesafeyi ölçer ve ölçüm yaptığı yeri 3 boyutlu olarak nokta bulutu halinde haritalandırır. LiDAR cihazından çıkan lazer ışını yansıma aldığı yüzeye koordinatlı bir nokta atar ve bu şekilde noktalardan oluşan bir haritalama sağlanmış olur. Bu 3 boyutlu noktalar bütününe ise nokta bulutu adı verilir. Bu nokta bulutlarındaki nokta sayıları ölçülen alanın büyüklüğüne ve ölçüm çözünürlüğüne göre birkaç yüzden birkaç milyon hatta on milyonlara kadar varabilir. Nokta bulutundaki noktaların koordinatlandırma işlemi ölçüm sistemine göre direkt evrensel koordinata dönüştürülmüş koordinatlar olabildiği gibi sistemin kendi içinde bir koordinatlandırma sistemi de olabilmektedir. LiDAR sistemleri kullanıldıkları platformlara göre iki farklı türde geliştirilmiştir. ALS (airborne-based-hava platform temelli) ve TLS (ground-based, yersel Lazer tarayıcı) olarak adlandırılan bu sistemlerde sensörlerin konumlandığı platformlar dikkate alınmıştır. LiDAR sistemleri ile elde edilen veriler üzerinden mühendislik ölçümleri ve bu nokta bulutları üzerinden yardımcı yazılımlar ile tasarımlar yapmak mümkündür. (Ozdogan,2015).

Bugün LiDAR teknolojisi mimari çalışmalardan, tarım çalışmalarına, arkeolojik çalışmalardan, şehir planlama çalışmalarına kadar birçok alanda verimli şekilde kullanılmaktadır. Yerbilimleri disipliniinde ise arazilerin sayısal yükseklik modelini oluşturmak amacıyla, şev deformasyonlarının izlemesi amacıyla, tünelcilik ile ilgili ölçümler ve benzeri birçok ölçüm işlemlerinin kolaylaştırılması ve hassasiyetinin arttırılması amacıyla başarı ile uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da örnek bir yeraltı metalik madeninde galeri ilerlemesi için yapılan kazı sonucu ortaya çıkan malzeme hacmi yersel lazer tarayıcı ile belirlenmiştir.

2. Lazer tarayıcıların yeraltı madencilik faaliyetlerinde kullanımı

Lazer tarayıcıların yeraltında kullanımı son yıllarda hem yersel lazer tarayıcı platformlar ile hem de insansız hava araçları (UAV) üzerine yerleştirilen sensörler ile yeraltında güvenli ve hassas ölçümler yapılabilmesini olanaklı kılmıştır. Özellikle insanların giremediği boşluklara mobil araçlar ve UAV vasıtası ile ulaşılabilip ölçüm ve izleme yapılması mümkün olmaktadır.

Yeraltı çalışmalarında lazer tarayıcı teknolojisinin kullanımı en yaygın şekilde jeoteknik ölçümlerde kullanılmaktadır. Yeraltı boşluklarında meydana gelen deformasyonların belirlenmesi amacıyla kullanılan lazer tarayıcı sistemlerinde nokta bulutları üzerinden alınan kesit üzerinden 2 boyutlu ve yine nokta bulutları ve bu nokta bulutlarından oluşturulan yüzeyler üzerinden 3 boyutlu analizlerle deformasyon belirlenmesine yönelik çalışmalar son 15 yılda birçok araştırmanın konusu olmuştur (Lindenberg ark., 2005; Van Gosliga ark., 2006; Lemy ark., 2006; Nuttens, ark., 2010; Delaloye, 2012 ; Han, 2013; Ozdogan ve Deliormanli, 2018; Ozdogan, 2019).

Fekete ve Diederichs (2013), Chen ark. (2018) ve Monsalve ark. (2019) ise yine yeraltı jeoteknik çalışmalarında süreksizlik haritalama amacıyla yersel lazer tarayıcılar ile alınan verileri kullanarak jeoteknik ölçümleri hızlandıran ve kolaylaştıran yöntemler geliştirmiştir. Wang (2005) yeraltındaki su sızıntılarının lazer tarayıcı ile tespit edilmesine yönelik çalışmalar yaparken, Campbell ve Thurley (2017) yeraltı patlatması sonucu oluşan yığınların tane dağılım analizini yine lazer tarayıcı kullanarak belirlemiştir.

Bu çalışma kapsamında da metalik bir yeraltı madeninde örnek bir galeride 2 gün ara ile ölçüm yapılmış ve bu süre zarfında yapılan kazı hacmi yersel lazer tarayıcı ölçümü ile belirlenmeye çalışılmıştır. Yeraltında yapılan kazı ve buna bağlı iş organizasyonun daha doğru yapılabilmesi için önemli olan kazı hacminin belirlenmesinde lazer tarayıcı ölçümünün kullanımının avantajları ortaya konmuştur.

3. Yersel lazer tarayıcı ile kazı miktarının bulunması

Çalışma yaklaşık 4 m genişlik ve 5 metre yüksekliği sahip atnalı şeklinde galeri açma makinası ile açılan örnek bir galeri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yersel tarayıcı ile kazı hacmin hesaplanmasına yönelik olarak uygulamada, kazı aynasının kazı öncesi taranması ve kazı sonrası taranması adımları gerçekleştirilmiş ve ardından elde edilen ham verilerden kazı hacminin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla uygulanan prosedür sırasıyla;

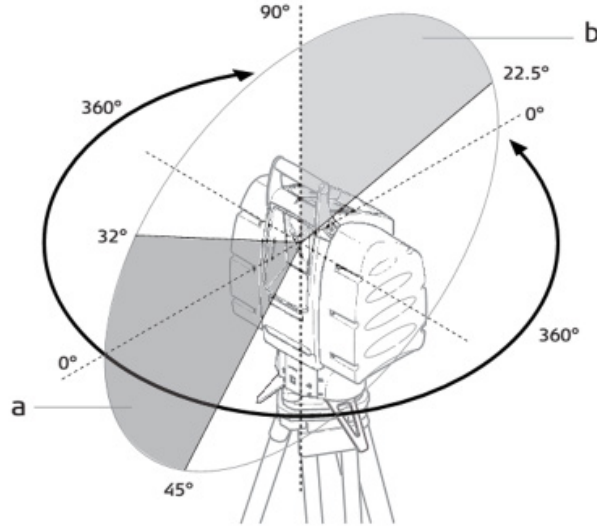
- Kazı öncesi kazı yüzeyinden ölçüm yapılarak ham verilerin elde edilmesi,
- Kazı sonrası kazı yüzeyinden ölçüm yapılarak ham verilerin elde edilmesi,
- Ölçüm işlemlerinden elde edilen ham verilerin ICP algoritması ile karşılaştırılarak iki ölçümün hizalanması,
- İki ölçümde elde edilen ham nokta bulutu verilerinden üçgen meshler oluşturularak yüzeylerin oluşturulması,
- Oluşturulan yüzeylerden kazı hacminin hesaplanması, şeklindedir.

Bu çalışma amacıyla yapılan ölçümler Leica Scanstation 2 model yersel lazer tarayıcı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



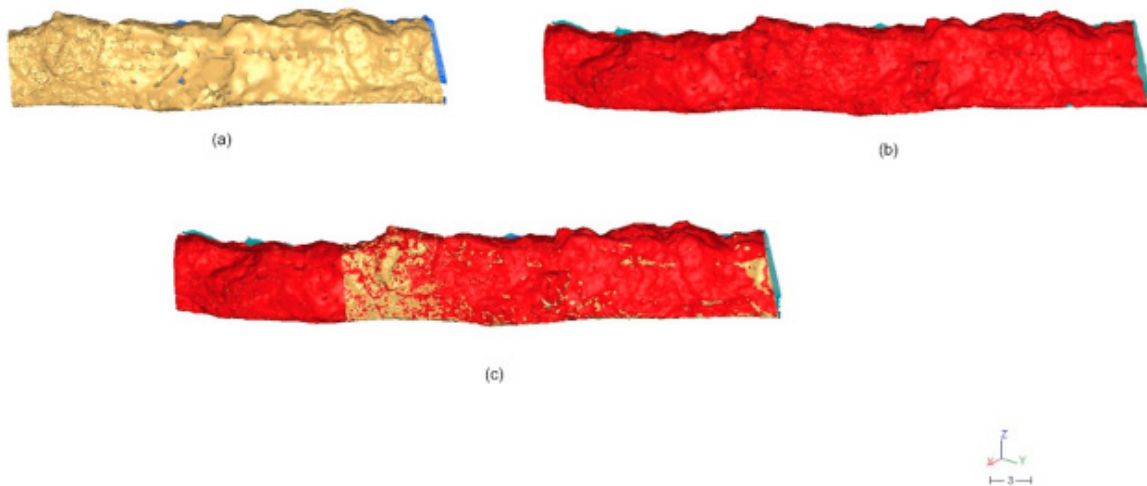
Şekil 1. Yersel lazer tarayıcı ile yeraltı galerisi ölçümü

Leica Scanstation 2 model tarayıcı $360^\circ \times 270^\circ$ görüş alanında ölçüm alabilmek için biri önünde biri ise tepesinde olmak üzere çiftli cam sistemine sahiptir. Ana ölçüm camından yataydan 45° aşağı ve 32° yukarıya kadar ölçüm yapabilmektedir (Şekil 2). Üst camdan ise 22.5° 'den 90° 'ye kadar ölçüm yapabilmektedir.



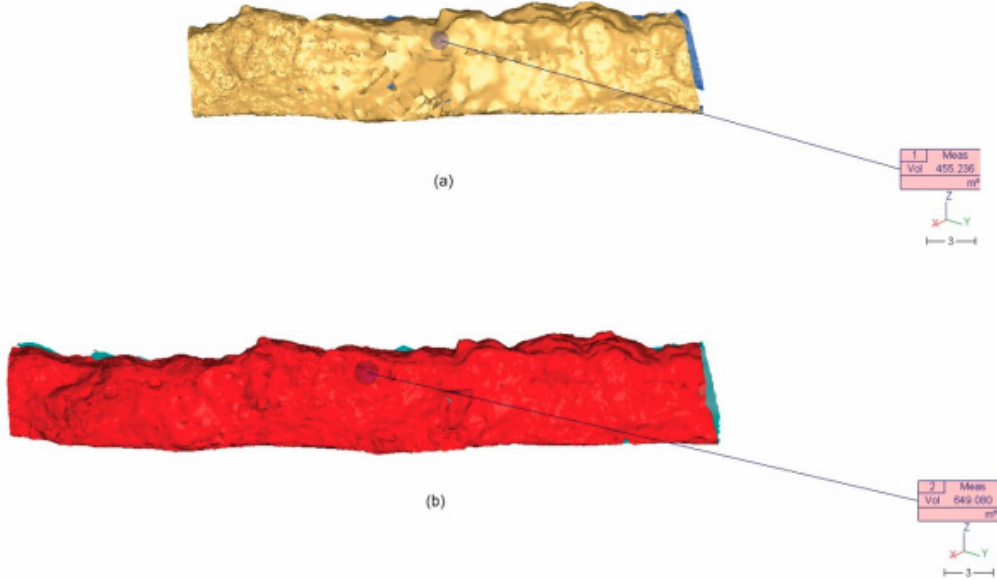
Şekil 2. Scanstation 2'nin görüş açısı sınırları (Leica, 2010)

Ölçümler sonrası alınan ham verilerin işlenmesi, analiz ve hesaplamalar açık kaynak kodlu Cloudcompare 2.12 Alpha yazılımı ve 3D Reshaper V 18.08 paket yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yeraltı galerisinde 2 gün ara ile yapılan ölçümlerin ilkinde 3 istasyondan ikincisinde 4 istasyondan ölçüm yapılmıştır alınan ham nokta bulutu verileri ICP algoritması kullanılarak birleştirilerek galerilerin hattı 3 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Galeri başlangıç hattını aynı konumdan alabilmek için 2 ölçümdeki galeri hatlarını yine ICP algoritması kullanılarak çakıştırılmış çakıştırılan galeri hatlarının başlangıç noktalarının aynı yer olması için fazla olan kısımlar temizlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Ölçüm yapılan galeriler ait nokta bulutu görüntüleri. (a: ilk ölçüm, b: iki günlük ilerleme sonrası ölçüm, c: iki ölçümün çakıştırılmış görüntüsü)

Ardından galerilerin hacminin belirlenmesi amacıyla nokta bulutu verilerinden üçgen meshler oluşturularak galeri hattından katı modeli oluşturulmuş ve galeri hacimleri her iki ölçüm içinde ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 4). Yapılan ölçümler sonunda iki galeri arasındaki 2 günlük ilerleme sonucunda 193.844 m^3 'lük bir kazı yapıldığı belirlenmiştir.



Şekil 4. Her iki ölçüm sonunda galeri hacimlerinin ölçümü

4. Sonuç ve Değerlendirme

Yerbilimleri alanında kullanılan LiDAR teknolojisi yeraltı madencilik uygulamalarında da farklı amaçlarla kullanımı ile uygulama kolaylığı sağlamakta ve halen birçok potansiyel kullanım olanağı barındırmaktadır. Yapılan bu çalışmada da yeraltı kazıları sonucu yapılan kazı miktarının hassas olarak belirlenmesi için yersel lazer tarayıcının kullanılabilirliği sınanmıştır. Çalışma sonunda 2 günlük kazı sonrası yapılan kazı miktarı hacimsel nokta bulutu verisi üzerinden oluşturulan modeller yardımı ile hesaplanmıştır. Yeraltı çalışmalarında önemli bir veri olan kazı miktarının belirlenmesi lazer tarayıcı teknolojisinin kullanılması sayesinde çok daha hassas ve hızlı şekilde belirlenebilmektedir. Benzer şekilde yersel lazer tarayıcılar ile yeraltı boşluklarının hacmi ve dolgu malzemesi hacmi gibi hacimsel büyüklüklerin belirlenmesi kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

Campbell, A.D., Thurley, M.J., 2017. Application of laser scanning to measure fragmentation in underground mines. *Mining Technology* 126 (4), 240–247. <https://doi.org/10.1080/14749009.2017.1296668>

Chen, S., Walske, M.L., Davies, I.J. 2018. Rapid mapping and analysing rock mass discontinuities with 3D terrestrial laser scanning in the underground excavation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 110 28–35.

Delaloye, D., 2012. Development of a New Methodology For Measuring Deformation in Tunnels And Shafts With Terrestrial Laser Scanning (LiDAR) Using Elliptical Fitting Algorithms. Master Thesis. Queen's University Kingston, Ontario, Canada

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

Han, J.Y., Guo, J, Jiang, Y.S, 2013. Monitoring tunnel deformations by means of multi-epoch dispersed 3D LIDAR point clouds: an improved approach. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Cilt. 38 s. 385-389. DOI: 10.1016/j.tust.2013.07.022

Leica Geosystems, 2010. User manual. http://geomaticsjc.lboro.ac.uk/scanning/ScanStation%20UserManual_en.pdf (Erişim tarihi: 14.04.2013)

Lemy, F., Yong, S., Schulz, T., 2006. A case study of monitoring tunnel wall displacement using laser scanning technology. The 10th IAEG International Congress, IAEG2006.

Lindenbergh, R., Pfeifer, N. and Rabbani, T., 2005. Accuracy Analysis of the Leica HDS3000 and Feasibility of Tunnel Deformation Monitoring, IAPRS XXXVI(3/W3), Proceedings of Laser scanning, Enschede, The Netherlands

Monsalve, J.J., Baggett, J., Bishop, R., Ripepi, N., 2019. Application of laser scanning for rock mass characterization and discrete fracture network generation in an underground limestone mine. *International Journal of Mining Science and Technology* 29 131–137.

Nuttens, T., De Wulf, A., Bral, L., De Wit, B., Carlier, L., De Ryck, M., 2010. High resolution terrestrial laser scanning for tunnel deformation measurements. The FIG Congress 2010 Facing the Challenges – Building the Capacity

Özdoğan M.V. 2015 . Madencilik Faaliyetleri Sonucu Oluşan Yüzey Hareketlerinin Yeni Teknolojiler İle Belirlenmesi.. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 183s, İzmir.

Özdoğan, M.V., Deliormanlı A.H. 2018. Yersel Lazer Tarayıcı ile Yeraltı Galerisinde Meydana Gelen Deformasyonların Belirlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 20, Sayı 59. DOI: 10.21205/deufmd.2018205952

Özdoğan M.V., 2019. Yeraltı Deformasyonlarının Belirlenmesi Amacıyla K-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanılarak Kesit Model Geliştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 21, Sayı 63. 707-717.

Van Gosliga, R., Lindenbergh, R., Pfeifer, N., 2006. Deformation analysis of a bored tunnel by means of terrestrial laser scanning. Image Engineering and Vision Metrology. ISPRS Commission, vol. 36, pp. 167-172.