



OBJE YÜZEY EĞİMLERİNİN YERSEL LAZER TARAYICILARIN KONUM DOĞRULUĞUNA ETKİLERİ

¹Aydan YAMAN, ²Hacı Murat YILMAZ, ³Müge AĞCA YILDIRIM

^{1,2,3}Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, AKSARAY

¹aydan.ketenci@hotmail.com, ²hmuraty@gmail.com, ³mugekaan@gmail.com

(Geliş/Received: 05.10.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 03.12.2016)

ÖZ: Lazer tarama, henüz yeni bir teknoloji olmasına rağmen günümüzde teknolojiye ilerlemelerle birlikte bu teknoloji de gelişmekte olup bununla beraber kullanım alanı da giderek artmaktadır. Lazer tarama teknolojisi ile istenilen objelerin üç boyutlu görüntüleri diğer klasik ölçme yöntemlerine göre çok daha hızlı, pratik, kolay ve yüksek doğrulukla elde edilebilmekte ve ölçümler her türlü hava koşulunda yapılabilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile objeler, temas zorunluluğu olmadan uzaktan ölçülebilmektedir. Yapılan çalışmada Topcon Yersel Lazer Tarayıcı ile belirli bir mesafeden çeşitli açılar verdirilen test alanının taratılarak bu açıların yersel lazer tarayıcının konum doğruluğuna etkisi araştırıldı. Bunun için düşey konumda duran 2.10 m x 2.80 m boyutlarına sahip bir test alanı 35 m mesafeden dik, 15°, 30°, 45° ve 60° lik açılar ile tarandı. Taramalardan elde edilen Y ve Z koordinatları yer değiştirilerek test alanı yatay hale getirildi. Bu durumda oluşan yarım dikdörtgen prizmanın olması gereken hacmi ile taramalardan elde edilen hacimleri hesaplandı. Hacim farklarına göre yapılan değerlendirmeler sonunda bu tarayıcının 35 m' lik tarama mesafesinde konum doğruluğunun 2.9 mm ile 12.1 mm arasında olduğu görüldü. Ayrıca en uygun taramanın objenin 15° lik açıya sahip iken yapılan tarama olduğu gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Lazer tarama teknolojisi, Konum doğruluğu, Tarama açısı, Hacim

Effects Of Different Object Surface Tilts On Terrestrial Laser Scanner Position Accuracy

ABSTRACT: The terrestrial laser scanning systems are a relatively new measurement technology. Along with technological advances, these systems are gaining popularity and have been increasingly used in many different fields. With terrestrial laser scanning technology, three- dimensional (3D) information and images of objects can be obtained more practical, easy and with high accuracy compared to conventional methods. Additionally, measurement of an object is performed without being in physical contact. In this study, our test area 2.10m x 2.80m in vertical position was scanned at 35 m distance from different angles (vertical, 15°, 30°, 45° and 60°) with Topcon laser scanner and laser scanner's position accuracy according to this angles were investigated. By switching Y and Z coordinates obtained from laser scanning, test area was changed to horizontal position. In this case, expected a half rectangular prism' volume and volumes obtained from laser scanning were calculated. Based on our volume differences evaluation results, it was found that within scanning distance of 35 meters position accuracy of this laser scanner is between 2.9 mm and 12.1 mm. In addition, the optimal laser scanning was 15° angle.

Key Words: Laser scanning technology, Position accuracy, Scan angle, Volume

DOI: 10.15317/Scitech.2017.70

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Lazer teknolojisi alanındaki araştırmalar 1960 yılından bu yana 40 yılı geçkin bir tarihe sahiptir. Yersel lazer tarama teknolojisinin bir ölçüm aracı olarak gerçekten bir araştırma alanı haline gelmesi sadece son 10 yılda olmuştur. Tek renklilik, iyi kolimasyon, yüksek güç, kısa atımlar veya lazer ışığının ayarlanmasının muhtemelliği gibi lazer radyasyonunun belirli niteliklerinden dolayı ölçümler için kullanılan bu teknolojinin avantajı daha yeni fark edildi. Hızlı ve minimum giderle acilen bütün obje (3 boyutlu model) hakkında eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama teknolojileri ile olmaktadır (Gümüş ve Erkaya, 2007).

Bu teknoloji ile istenilen obje yüzeyi hızlı bir şekilde taranarak objeye ait çok sayıda üç boyutlu nokta koordinatlarını içeren nokta bulutu verileri kısa sürede ve ekonomik olarak elde edilmektedir.

Lazer tarayıcılarla elde edilen ve nokta bulutu olarak adlandırılan 3 boyutlu nokta verilerinin işlenmesiyle 3 boyutlu modeller elde edilebilmektedir. Elde edilen bu üç boyutlu modeller ile gerekli geometrik ve görsel birçok veriye ulaşmak mümkün hale gelmektedir (Karşıdağ, 2011).

Lazer tarama işlemiyle elde edilen nokta bulutundan; temel ölçme verileri, ortofoto görüntüler, iki veya üç boyutlu çizimler, 3 boyutlu animasyon, katı yüzey modelleri ya da doku giydirilmiş üç boyutlu modeller elde edilebilir. Etkin bir veri toplama tekniği olan lazer tarayıcılar hem ölçmecilere hem de bu ölçüleri kullananlara büyük kolaylık sağlar. Lazer tarama yönteminin avantajları; hızlı ve obje ile temas kurmadan ölçme, aynı ölçme alanı için daha fazla veri toplama, lazer ölçülerinin var olan başka tür ölçülerle kolayca entegrasyonu, daha güvenli veri toplama imkanı, gerçek renkli görüntü üretebilme, ölçme alanının belirli periyotlarla tamamen ölçülebilmesi olarak sıralanabilir. (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Bu teknoloji ile yapılacak çalışmalar da çok hızlı olarak tamamlanmaktadır. Ayrıca elde edilen sonuçlar da yeterli duyarlılıktadır. Yersel lazer tarayıcıların, kısa zamanda ve hızlı bir şekilde üç boyutlu (x, y, z) nokta bilgisi ölçmesi, nokta sıklığının ayarlanabilmesi ve ölçüm sonucu elde edilen verinin farklı formatlarda görüntülenebilme imkanı sağlamaı yöntemin diğer önemli avantajlarındanır.

Yersel lazer tarama yönteminin sağlamaı olduğu bir başka avantaj ise, özellikle karmaşık geometrideki objelerin ve yüzeylerin diğer ölçme yöntemlerine kıyasla çok kısa sürede ve yüksek detay zenginliğinde üç boyutlu olarak elde edilebilmesidir (Aydar ve diğer., 2011).

Lazer tarama cihazları ile yapılan ölçümlerde insanlardan kaynaklanan hatalar klasik ölçme yöntemlerine göre daha az olduğu için ölçüm sonuçları da klasik yöntemlere göre çok daha hassas olmaktadır. Ayrıca bu yöntem geleneksel ölçme teknikleri ile kıyaslandığı zaman 3 boyutlu nokta bilgilerinin çok yüksek hızla elde edilebildiği bir ölçme tekniğidir. Ölçme alanının 3 boyutlu nokta bilgileri, nokta dizileri şeklinde yüksek doğrulukla ölçülebilmektedir. Yersel lazer tarayıcılar pek çok ölçme uygulamasında giderek artan bir oranla kullanılmaktadır (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Lazer teknolojisi, özellikle jeodezik ve inşaat mühendisliği ile ilgili çalışmalarda, elektronik uzunluk ölçümlerinde, tünellerde, madenlerde, ulaşım ve altyapı çalışmaları gibi çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, obje veya alanların deformasyonlarının belirlenmesi, mimarlık gibi alanlarda ve tarihi ve kültürel objelerin üç boyutlu modellenmesi çalışmaları da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmada, test alanına farklı açılar verdirilerek topcon yersel lazer tarayıcı ile tarama işlemi yapılmış ve bu açılara bağlı olarak yersel lazer tarayıcının konum doğruluğu araştırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Test Alanı (Test Area)

Yapılan çalışmada kullanmak amacıyla öncelikle sanayide 2.10 metre ve 2.80 metre boyutlarında bir test alanı yaptırılmıştır. Bu test alanının içi elik dış yüzeyi ise sunta kaplama olup Şekil 1' de görüldüğu gibi özel demir ayaklar üzerine oturtulmuş sabit, sallanmayan bir özelliktir.



Şekil 1. Test alanı
*Figure 1.*The test area

Test alanının tam düşey olmasını sağlamak amacıyla ayakları ve arka kısmında düzeç vidaları ve üzerinde düzeçler bulunmaktadır. Bunlar yardımıyla test alanı düşey hale getirilmiştir. Üzerindeki sunta kaplama yüzey, ışığı en fazla yansıtan renk olduğundan beyaz olarak seçilmiştir.

Topcon Yersel Lazer Tarayıcı (Topcon Terrestrial Laser Scanner)

Yapılan çalışmada Şekil 2' de görülen "Topcon GLS-1000" marka yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Topcon yersel lazer tarayıcı hızlı bir şekilde veri toplama ve saklama özelliğine sahiptir. Hassas tarama teknolojisi, 2 megapiksel dijital kamera, saniyede 3000 nokta tarama hızı, 330 metre menzile kadar %90 yansıtma, 1 metreden 150 metreye kadar 4 mm doğruluk sağlama, yatayda ve düşeyde 6" açı doğruluğu, yatay ve düşeyde hareket edebilme özelliklerine sahiptir.

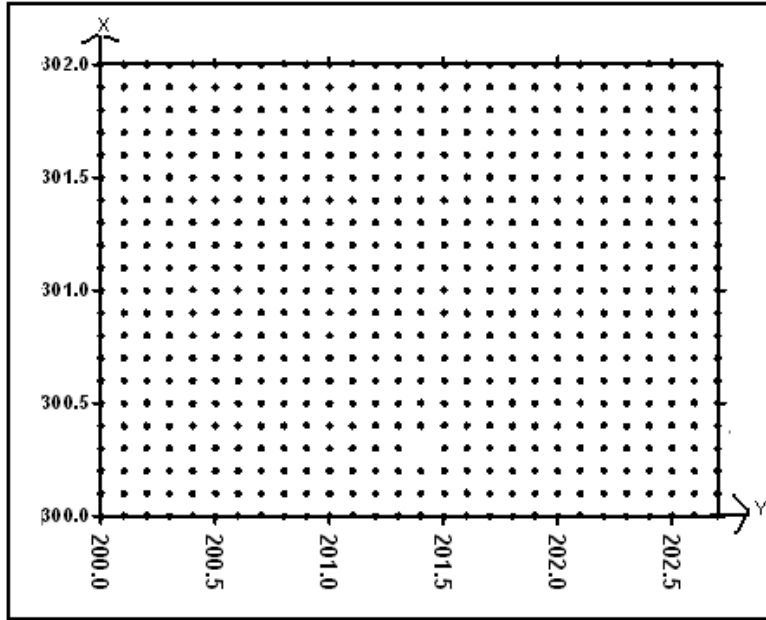
Topcon yersel lazer tarayıcı ile yapılan taramalarda nokta bulutlarında daha az gürültü meydana gelmektedir ve 100 metrenin üzerindeki mesafelerde bile yeterli doğruluğa sahiptir.



Şekil 2. Topcon yersel lazer tarayıcı
Figure 2. Topcon Terrestrial laser scanner

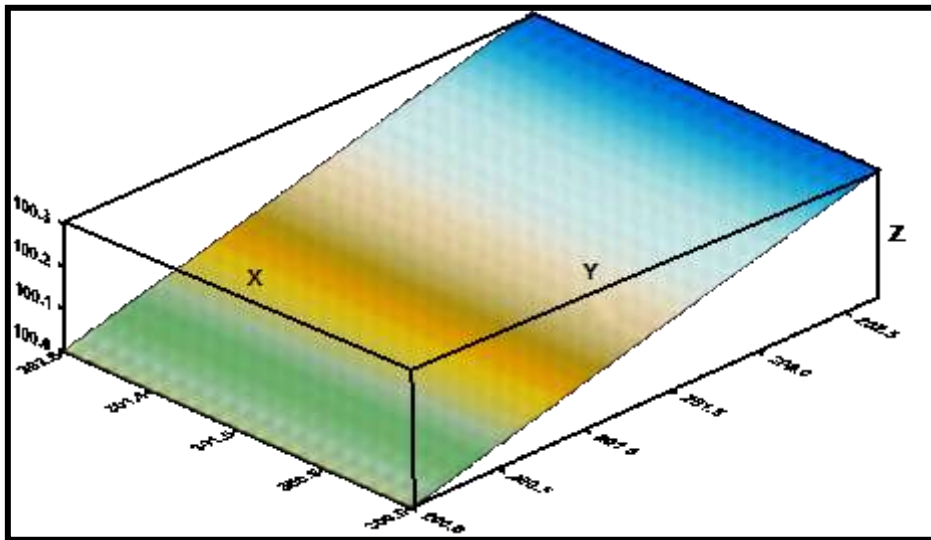
Yöntem (Method)

Yapılan çalışmada amaç test alanına farklı açılar verilerek topcon yersel lazer tarayıcının tarama doğruluğunun belirlenmesidir. Bu amaç için oluşturulan test alanının farklı tarama açılarında yapılan taramalarından elde edilen nokta bulutları yardımıyla test alanının yatay konuma getirildikten sonra oluşacak hacimlerini hesaplayarak bilinen hacimleri ile karşılaştırmalarını yapmak ve en uygun tarama açısını belirlemektir. Bunun için ayakları ve arka kısmında bulunan düzeçler yardımıyla düşeyliği sağlanan test alanının düşeyliğinin tekrar kontrol edilmesi için jeodezik ölçme aleti total station ile test alanı üzerinde lokal sistemde 2.70×2.00 metre boyutundaki alanda boyutu 10 cm olan kare grid ağı oluşturularak Şekil 3' de görüldüğü gibi elde edilen 588 noktanın koordinatları okunmuştur. Y ve Z koordinatları yer değiştirilerek test alanının üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir ve Şekil 4' de sunulmuştur.



Şekil 3. Test alanı üzerinde oluşturulan grid ağı

Figure 3. The grid network created on test area

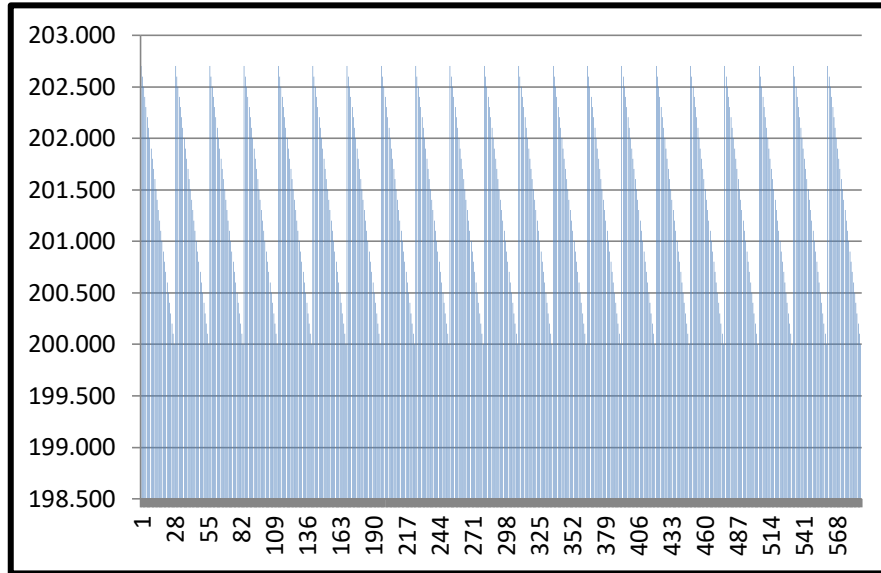


Şekil 4. Test alanındaki grid ağının üç boyutlu görüntüsü

Figure 4. Three dimensional image of the grid network on the test area

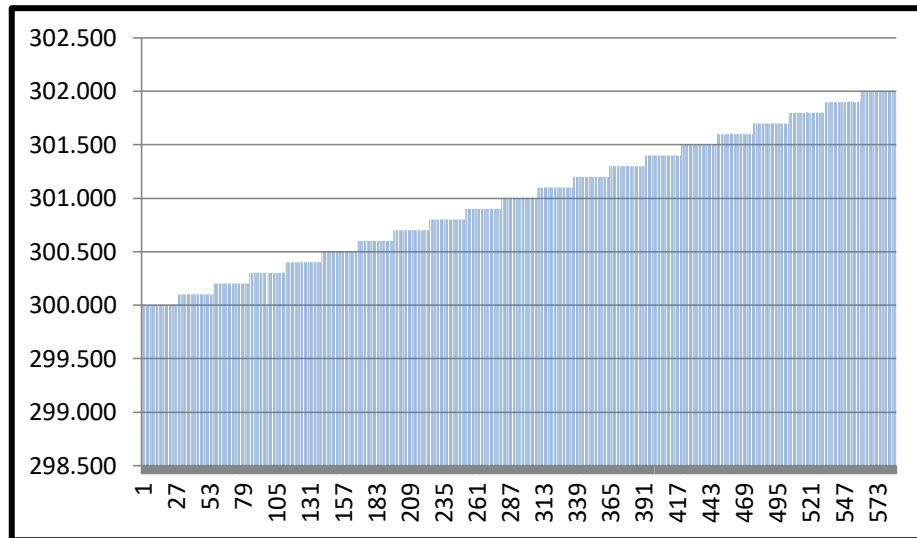
Grid ağının koordinatlandırılmasında tanımlanan koordinat sistemi test alanına dik olmadığından bir dikdörtgen prizmanın yarısı kadar bir yüzey elde edilmektedir. Bu yüzeyin olması gereken hacmi 0.8154 m^3 , elde edilen koordinatlarla hesaplanan hacmi ise 0.8165 m^3 olarak dikdörtgen prizmanın hacim hesabı yöntemine göre hesaplanmıştır.

Sonuçların çok yakın olması test alanının düşeyliğinin sayısal olarak da sağlandığını göstermektedir. Ayrıca test alanı üzerinde okunan koordinatlarda bir sistematığın olması da gerekmektedir. Bu durumda üç eksen boyunca görsel olarak da kontrol edildi. Eksenlere ait X, Y ve Z koordinatlarının kendi aralarındaki sistematik Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7' de görülmektedir.



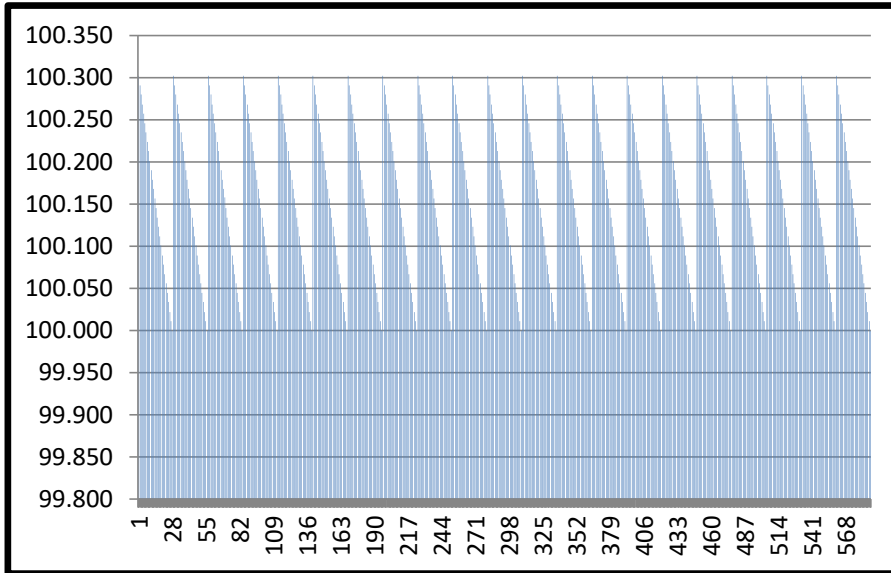
Şekil 5. X koordinatları arasındaki sistematiklik

Figure 5. Systematicity between the x coordinates



Şekil 6. Y koordinatları arasındaki sistematiklik

Figure 6. Systematicity between the y coordinates



Şekil 7. Z koordinatları arasındaki sistematiklik

Figure 7. Systematicity between the z coordinates

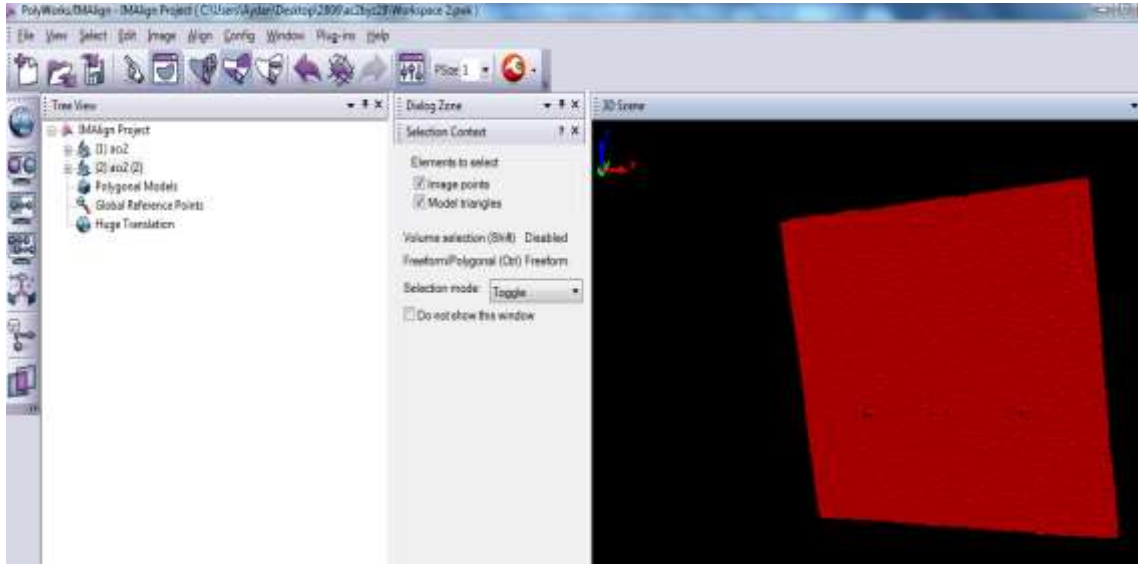
Her tarama test alanından 35 metre uzaklıktan sabit noktadan yapılmıştır. Bunun için test alanı öncelikle şekil 8’ de görüldüğü gibi dik olarak taranmıştır.



Şekil 8. Test alanının dik olarak taratılması

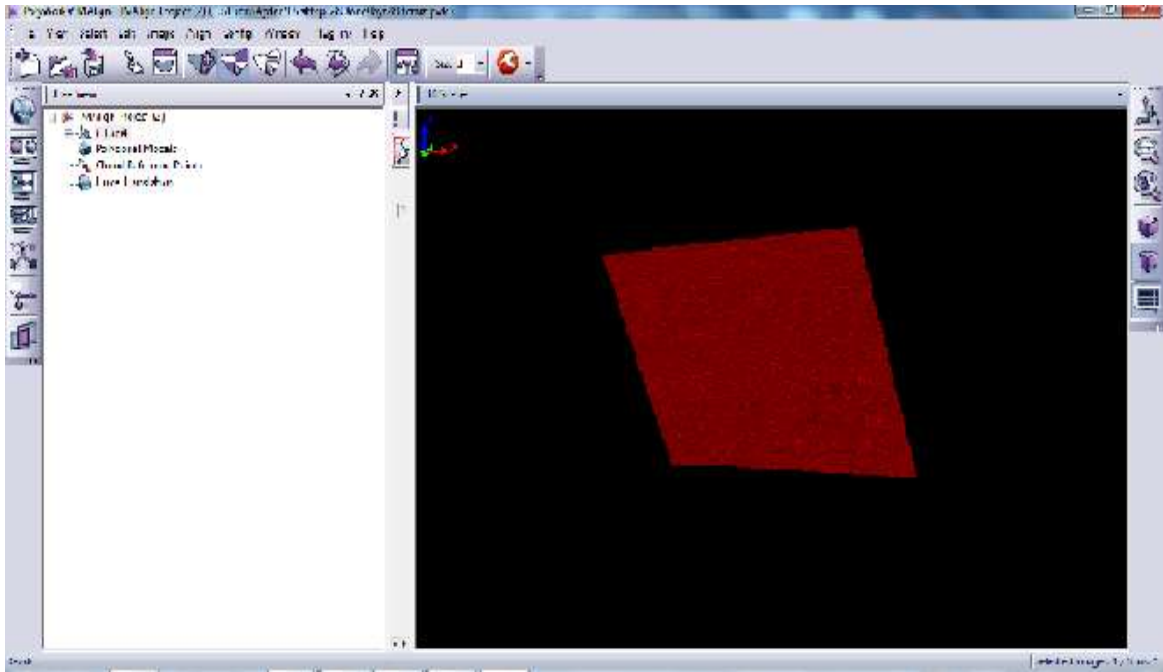
Figure 8. scanning the test area perpendicularly

Taramalar dış ortamın etkilerini azaltmak için kapalı mekanda yapılmıştır. Tarama işlemi bittikten sonra veriler scanmaster programına yüklenmiş ve burada polyworks programında kullanılmak üzere ptx formatına dönüştürülmüştür. Daha sonra her tarama için ptx formatındaki veriler polyworks programında açılarak fazla nokta bulutları temizlenmiştir. Şekil 9’ da test alanının 30’ lik açı ile taranmış verisinin fazla nokta bulutlarından temizlenmiş görüntüsü, Şekil 10’ da ise test alanının 60’ lik açı ile taranmış verisinin fazla nokta bulutlarından temizlenmiş görüntüsü görülmektedir.



Şekil 9. 30° lik açı ile taranan test alanının gereksiz nokta bulutlarından temizlenmiş görüntüsü

Figure 9. Image of the test area that was scanned from 30° angle and cleaned unnecessary point clouds



Şekil 10. 60° lik açı ile taranan test alanının gereksiz nokta bulutlarından temizlenmiş görüntüsü

Figure 10. Image of the test area that was scanned from 60° angle and cleaned unnecessary point clouds

Gereksiz nokta bulutları silindikten sonra test alanı üzerinde kalan noktaların koordinatları Excel programına atılarak koordinatların minimum ve maksimum değerleri bulunmuştur. Muhtemel bir dönüşüm hatasından kaçınmak için tarayıcıdan elde edilen lokal koordinatlar doğrudan kullanılmıştır. Elde edilen koordinatlardan "Y" ve "Z" değerleri yer değiştirilerek test alanı yatay hale getirilmiştir. Eğer taramalar test alanına tam dik şekilde yapılmış olsaydı test alanının yatay hale gelmesi ile oluşacak dikdörtgen prizmanın hacminin sıfır olması gerekecekti. Ancak genel olarak yapılan taramalarda tarayıcı objeye tam dik olmadığından ve tarayıcı düzeçlenmediğinden bu mümkün olmamaktadır. Bu durumda tabanı taranan bölgenin kenarları yani minimum ve maksimum "X" koordinatları arasındaki fark, minimum ve maksimum "Y" koordinatları arasındaki fark ve yüksekliği minimum ve maksimum

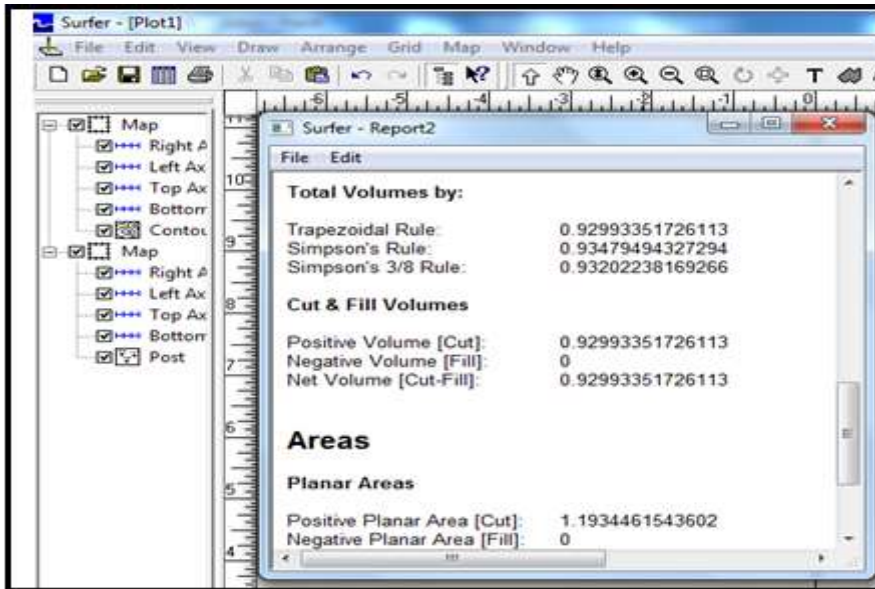
“Z” koordinatları arasındaki fark olan bir yarım dikdörtgen prizma oluşacaktır. Burada bulunan fark değerleri çarpılarak (Taban alanı×yükseklik) ve bulunan sonuç ikiye bölünerek (yarım dikdörtgen prizma olduğu için) olması gereken hacim değerleri her istasyon için hesaplandı. Test alanının dik olarak taranması ile elde edilen olması gereken hacim değerinin hesaplanması Şekil 11’ de gösterilmiştir.

	A	B	C	D
16822	-19.312101	-28.100002	1.299100	
16823	-19.312099	-27.845100	1.299100	
16824	-19.312099	-28.619101	1.299200	
16825	-19.312099	-28.320900	1.299200	
16826	-19.311998	-28.289799	1.299200	
16827	-19.311899	-28.028198	1.299200	
16828	-19.311802	-28.344200	1.299300	
16829	-19.311703	-28.357800	1.299400	
16830	-19.311701	-28.712000	1.299600	
16831	-19.311701	-28.564301	1.299800	
16832	-19.311701	-28.448502	1.299800	
16833	-19.311600	-28.569902	1.299900	
16834	-19.311600	-27.813400	1.299900	
16835				
16836				
16837	-20.468300	-28.995100	0.000100	MİN
16838	-19.311600	-27.813400	1.299900	MAK
16839				
16840	1.156700	1.181700	1.299800	FARK
16841				
16842			0.888330	HACIM
16843				

Şekil 11. Test alanının dik olarak taranması ile elde edilen olması gereken hacim değeri

Figure 11. Volume value which is obtained by scanning the test area vertically

5 adet tarama istasyonuna ait koordinat değerlerinin minimum ve maksimum değerleri arasındaki fark hesaplandıktan sonra koordinat değerleri “Surfer” programına aktarıldı ve her istasyon için hacim değerleri hesaplandı. Şekil 12’ de test alanının dik olarak taranması ile elde edilen nokta bulutlarından hesaplanan hacim değeri gösterilmiştir.



Şekil 12. Test alanının dik olarak taranması ile elde edilen nokta bulutlarından hesaplanan hacmi

Figure 12. The volume is calculated from point clouds that is obtained from the test area scanned vertically

Hacim hesaplamalarında obje yüzeyi düz olduğu için düz yüzeylerde en iyi sonucu veren lineer enterpolasyon yöntemi kullanıldı (Yılmaz, 2007). Ayrıca her istasyon noktası için koordinatlardan elde edilen hacim değerleri de hesaplandı. Böylece hacimler arasındaki farklar elde edildi.

BULGULAR (RESULTS)

Yapılan hesaplamalardan sonra her tarama için nokta bulutlarından hesaplanan hacimler ile olması gereken hacimler ve aradaki farklar toplu halde Çizelge 1' de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Hesaplanan hacim değerlerinin toplu olarak gösterilmesi ve aradaki farklar

Table 1. Collectively show the calculated volume values and the differences

OBJE YÜZEYİ EĞİKLİĞİ	NOKTA BULUTLARINDAN HESAPLANAN HACİMLER	OLMASI GEREKEN HACİMLER	FARKLAR(m ³)
DİK	0.9299	0.8883	0.0416
150	0.3245	0.3146	0.0099
300	0.6341	0.5420	0.0921
450	0.6103	0.6883	-0.0780
600	0.3066	0.3227	-0.0161

Çalışmada kullanılan test alanının 2.7 m x 2.0 m' lik kısmı değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Lazer tarayıcı test alanına tam dik olmayıp Y ekseninde 30 cm' lik bir kayıklık bulunmaktadır. Daha öncede belirtildiği gibi bu durumda her tarama için boyutları 2.7x2.0x0.3 m' den oluşan bir yarım dikdörtgen prizma elde edilmektedir. Bu yarım dikdörtgen prizmanın hacmi 0,810 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu yarım dikdörtgen prizmanın her bir kenarı 1 mm den 15 mm' ye kadar arttırılarak hacimler tekrar hesaplandığında Çizelge 2' de verilen değerler elde edilmektedir.

Çizelge 2. Kenar uzunlukları 1 mm arttırılan prizmanın hacim ve fark değerleri

Table 2. Edge length 1 mm increased prism' s volume and the difference values.

Y	X	Z	Hata (mm)	Hesaplanan hacim (m ³)	Olmayı gereken hacim (m ³)	Farklar (m ³)
0.301	2.701	2.001	1	0.81341	0.81000	0.00341
0.302	2.702	2.002	2	0.81682		0.00682
0.303	2.703	2.003	3	0.82024		0.01024
0.304	2.704	2.004	4	0.82366		0.01366
0.305	2.705	2.005	5	0.82709		0.01709
0.306	2.706	2.006	6	0.83052		0.02052
0.307	2.707	2.007	7	0.83396		0.02396
0.308	2.708	2.008	8	0.83740		0.02740
0.309	2.709	2.009	9	0.84085		0.03085
0.310	2.710	2.010	10	0.84430		0.03430
0.311	2.711	2.011	11	0.84776		0.03776
0.312	2.712	2.012	12	0.85122		0.04122
0.313	2.713	2.013	13	0.85469		0.04469
0.314	2.714	2.014	14	0.85816		0.04816
0.315	2.715	2.015	15	0.86164		0.05164

Bu çalışmadan elde edilen hacim farkları ile Çizelge 1' de elde edilen farklar karşılaştırıldı. Çizelge 2' ye göre eğer hacim farkı 0.02740 m³ çıktıysa sekiz nolu satıra karşılık gelen hata miktarı ile taramanın yapıldığı varsayılmaktadır. Bu değer de Çizelge 2' ye göre 8 mm' dir. Buna göre yapılan 5 adet taramaya ait tarama hassasiyetleri çizelge 3' de verilmiştir.

Çizelge 3. Obje yüzeyi eğikliği ve tarama hassasiyetleri

Table 3. The inclination of the object surface and scanning precisions

Obje Yüzeyi Eğikliği	Tarama Hassasiyeti (mm)
Dik	12.1
15 ⁰	2.9
30 ⁰	Hassasiyet sınırları içine girmemiştir.
45 ⁰	Hassasiyet sınırları içine girmemiştir.
60 ⁰	4.7

SONUÇ VE TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Son yıllarda yersel lazer tarayıcıların tarama hassasiyetleri ve kullanım alanları gittikçe artmaktadır. Birçok mühendislik uygulamalarında oldukça başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bir objeye ait üç boyutlu konum verilerinin elde edilmesinde en önemli faktör bu verilerin hassasiyetidir. Aynı zamanda bu verilerin en kısa zaman diliminde elde edilmesi de diğer önemli bir faktördür. Yersel lazer tarama teknolojisinin en yaygın kullanım alanlarından biri olan üç boyutlu modellemenin yanında deformasyon ölçmeleri gibi veri hassasiyetlerinin oldukça önemli olduğu uygulamalarda bulunmaktadır.

Ulvi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Kızkalesi yüzeyindeki karakteristik noktalar Geomax ZTS 605 elektronik uzaklık ölçerle ölçülmüş ve genel sistemdeki koordinatları elde edilmiştir. Aynı zamanda yersel lazer tarayıcı ile de taramalar yapılmış ve bunun sonucunda manuel birleştirme ile elde edilen konumlandırılmış nokta bulutu kümeleri içerisinde aynı noktaların koordinatları belirlenmiş ve bu koordinatlar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Elektronik uzaklık ölçerle yapılan ölçümler sonucu elde edilen koordinatlar ile manuel yöntemde -16mm ile 17 mm arasında farklar bulunmuştur. Belirlenen karakteristik noktaların elektronik uzaklık ölçer ve lazer tarayıcı ile yapılan tarama sonucu elde edilen koordinatların farklarından yararlanarak her bir koordinat bileşeni için duyarlık ölçütleri belirlenmiştir. Bu sonuçlardan yararlanılarak da noktalardaki konum değişimleri belirlenmiştir. Ağırlıklı olarak manuel yöntemde nokta konum doğruluğu ± 19.7 mm bulunmuştur. Ağırlıklı olarak her nokta için konum doğruluğu ise ± 13.9 mm ile ± 26.4 mm arasında bulunmuştur. Koordinat farkları ve bunların standart sapmalarının hesaplandığı dikkate alınarak elektronik uzunluk ölçer ve lazer tarayıcıdan iki yöntemle elde edilen koordinat farklarının anlamlı olup olmadığının irdelenmesinde t-testi uygulanmıştır. T-testi sonuçları incelendiğinde bütün test değerlerinin sınır değerlerinin altında kaldığı görülmektedir (Ulvi ve Yakar, 2014).

Yersel lazer tarayıcılarda tarama aralığı tanımında aslında ışınsal çözünürlük tanımlanmaktadır. Bu çalışmada test alanına farklı açılar verilerek Topcon yersel lazer tarayıcının bu açılar altındaki konum doğruluğu araştırıldı. Yapılan çalışmada 35 metre mesafeden sabit noktadan test alanı dik ve 4 farklı açıyla taranmış ve 2.9 mm ile 12.1 mm aralığında bir tarama hassasiyetinin olduğu görülmüştür. 30⁰ ve 45⁰ lik açılarla yapılan taramalardan elde edilen hata miktarlarının tanımlanan hata aralığına girmediği görülmüştür. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde yapılacak en uygun taramanın 15⁰ lik açı ile yapılan tarama olduğu görülmüştür. Bilindiği gibi her tarama için düşünülen 5 mm tarama aralığı her taramada bir miktar değişmektedir. Buna bağlı olarak da her tarama için elde edilen nokta sayıları da farklı olmaktadır. Nokta sayılarının farklılığı da sonuçları etkilemektedir. Diğer taraftan obje üzerinde belli bir bölgeye diğer bölgelerden daha fazla ışığın düşmesi bu bölgede veri eksikliğine sebep olmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan Topcon lazer tarayıcının 35 metrelik mesafede yapılan taramalarda konumlama hassasiyetinin 2.9 mm ile 12.1 mm arasında değiştiği, 30⁰ ve 45⁰ lik açılarla yapılan

taramalarda hata miktarının tanımlanan hata aralığına girmediği, taramaların 15°lik açı ile yapılmasının daha uygun olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 2015-063 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar Aksaray Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altuntaş, C., Yıldız, F., 2008, "Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi", *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 1, Vol. 98, pp. 20-27.
- Aydar, U., Avşar, Ö., Kaya, Ş., Bozkurtoğlu, E. ve Şeker, D.Z., "Yüzeylerin Pürüzlülük Açılarının Lazer Tarayıcılar Yardımıyla Belirlenmesi", *13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara*, 18-22 Nisan 2011.
- Gümüş, K. ve Erkaya, H., "Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler", *11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara*, 2-6 Nisan 2007.
- Karşıdağ, G., 2011, *Yersel Lazer Tarama Ölçmelerinde Doğruluk Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ulvi, A. ve Yakar, M., 2014. "Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Kızkalesi' nin Nokta Bulutunun Elde Edilmesi ve Lazer Tarama Noktalarının Hassasiyet Araştırması", *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Vol. 6(1), pp. 25-36.
- Yılmaz, H. M., 2007, "The Effect of Interpolation Methods in Surface Definition: An Experimental Study", *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 32, pp. 1346-1361.