

## YERSEL LAZER TARAYICILARIN TARAMA AÇISI VE MESAFESİNE BAĞLI OLARAK KONUM DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

A. Yaman<sup>a</sup>, H. M. Yılmaz<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 68100 Aksaray, Türkiye - (aydanketenci, hmyilmaz)@aksaray.edu.tr

**ANAHTAR KELİMELER:** Hacim, Konum Doğruluğu, Lazer Tarama Teknolojisi, Tarama Açısı, Tarama Mesafesi

### ÖZET:

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 Optech Ilris 3D Yersel Lazer Tarayıcı' nın tarama mesafeleri ve objeye göre tarama açılarının konum doğruluğuna etkisi araştırıldı. Bunun için düşey konumda duran 2.10 m x 2.80 m boyutlarına sahip bir test alanı 100 m mesafede 10 m aralıklarla karşıdan, sağ ve sol yandan 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 100 m' lik tarama mesafesinde konum doğruluğunun 5.8 mm ile 12.2 mm arasında olduğu görüldü. Ayrıca en uygun taramanın 40-50 m mesafede karşıdan yapılan tarama olduğu gözlemlendi.

**KEY WORDS:** Volume, Laser Scanning Technology, Scan Angle, Scanning Distances, 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, effects of Optech Ilris 3D Terrestrial Laser Scanner' s scanning distances and position accuracy of the scan angle according to the object were investigated. Our test area, 2.10m × 2.80m in vertical position, was scanned at 10m intervals within 100m area from different directions (front, left and right). 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 100 meters position accuracy of this laser scanner is between 5.8 mm and 12.2 mm. In addition, the optimal laser scanning for front measurement was 40-50 m.

### 1. GİRİŞ

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 ve Alkan, 2012).

Lazer tarama işlemiyle elde edilen nokta bulutundan; temel ölçme verileri, ortofoto görüntüleri, 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 ölçümleri 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 sağlaması yöntemin diğer önemli avantajlarındandır.

Yersel lazer tarama yönteminin sağlamış 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 vd., 2011).

Bu teknolojiye kullanılan donanımların geliştirilmesiyle elde edilen verilerin doğruluğunu ve duyarlılığını, tarama hızını, obje ile nesne arasındaki maksimum mesafeyi ve ölçülebilir obje hacmini artırmak mümkün olmuştur. Bu sayede mühendislik yapıları ve tarihi binalar gibi büyük objelerin hızlı ve etkin bir biçimde ölçülmesi sağlanmaktadır. Üç boyutlu veri işleme ve görselleştirmedeki gelişmeler, tarama sonucu üretilen büyük miktardaki noktaları kullanılabilir hale getirmiştir (Gümüş vd., 2009).

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 çalışmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Her türlü uygulama alanında, yersel lazer tarama teknolojisi hem maliyet hem de zaman ve kolaylık açısından önemli avantajlara sahiptir. Bu teknoloji ile üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü veriler yüksek hassasiyette elde edilebilmektedir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Test Alanı

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



Şekil 1. Sabit test alanının karşıdan görünümü

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.

### 2.2. Optech Irlis 3D Yersel Lazer Tarayıcı

Yapılan çalışmada Şekil 2.’ de görüldüğü üzere test alanını taramak için Optech Irlis 3D yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır.



Şekil 2. Uygulamada kullanılan Optech Irlis 3D lazer tarayıcı

Optech Irlis 3D yersel lazer tarayıcı ölçülecek alanı tararken bu alanı fotoğraf karelerine böler ve bindirmeli olarak tarar. Alet, saniyede 2500 nokta okumaktadır. Ayrıca 3 metre mesafeden 1 kilometreye kadar ölçüm yapabilmektedir. Dijital kamerası 6 megapikseldir ve kullanımı son derece kolay olup düzeçleme gerektirmemektedir.

Ayrıca Optech Irlis 3D yersel lazer tarayıcı ticari ölçmeler, mühendislik, maden ve endüstri uygulamaları için hazırlanmış dijital kameralı ve gelişmiş yazılım araçları ile bütünsel ve taşınabilir bir pakettir (Karabörk vd., 2009).

Tablo 1’ de bu lazer tarayıcıya ait bazı özellikler verilmiştir.

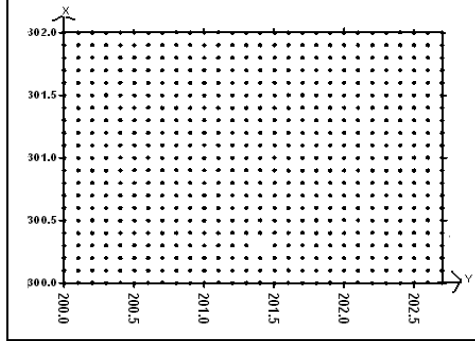
Tarama Hızı (nokta/saniye)	2500
Işın Açıklığı	0.00974 <sup>0</sup>
Tarama Açısı	310 <sup>0</sup> (V) 360 <sup>0</sup> (H)
Uzunluk Doğruluğu	7 mm @ 100m
Konum Doğruluğu	8 mm @ 100m
Lazer Dalga Boyu	1500 nanometre
Görüş Alanı (Hareketsiz)	40 <sup>0</sup> × 40 <sup>0</sup>
Ölçme Uzunluğu	3m-1000m, %80 yansıtıcı yüzeyde 1500m
Boyut	320 × 320 × 220 mm
Ağırlık	13 kg

Tablo 1. Optech Irlis lazer tarayıcının bazı özellikleri (Karabörk vd., 2009)

### 2.3. Yöntem

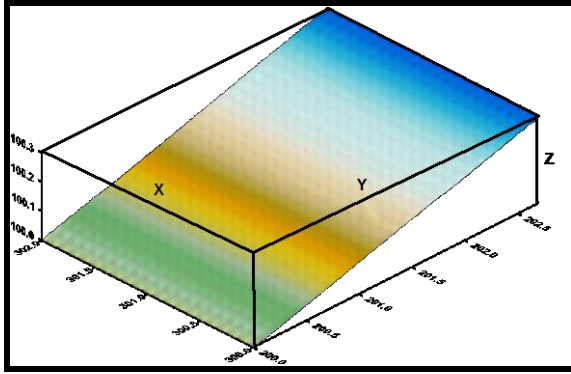
Bu çalışmadaki amaç yersel lazer tarayıcıların tarama mesafelerine ve tarama açılarına göre tarama hassasiyetlerinin belirlenmesidir. Bu amaç için oluşturulan test alanının farklı tarama mesafeleri ve tarama açılarındaki yapılan taramalarından elde edilen nokta bulutları yardımıyla test alanının yatay konuma getirildikten sonra oluşacak hacimlerini hesaplayarak bilinen hacimleri ile karşılaştırmalarını yapmak ve en uygun tarama mesafesini belirlemek amaçlanmıştır. Bunun için

ayakları ve arka kısmında bulunan düzeler 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 elde edilen 588 noktanın koordinatları okunmuştur (Şekil 3).



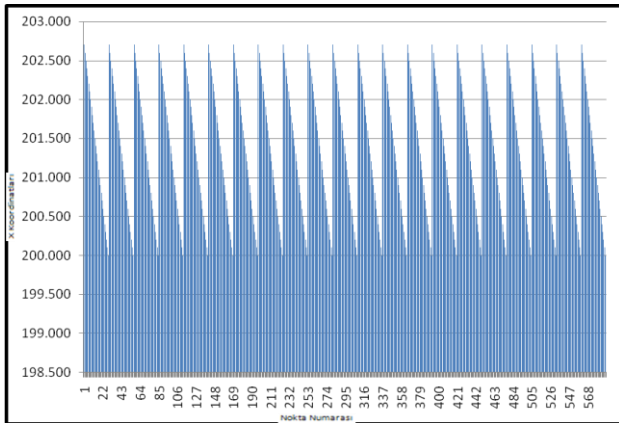
Şekil 3. Test alanı üzerinde oluşturulan grid ağı

Y ve Z koordinatları yer değiştirilerek test alanının üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 4).

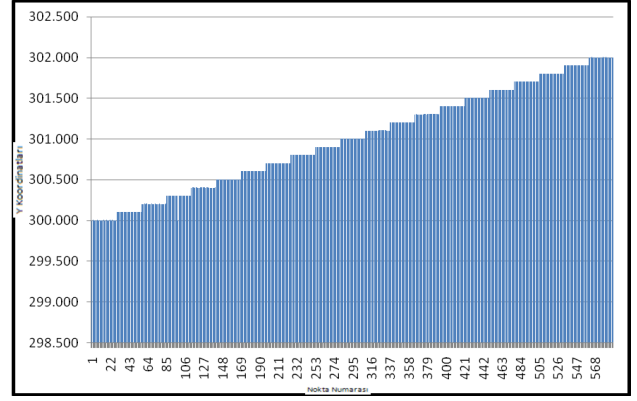


Şekil 4. Test alanındaki grid ağının 3 boyutlu görüntüsü

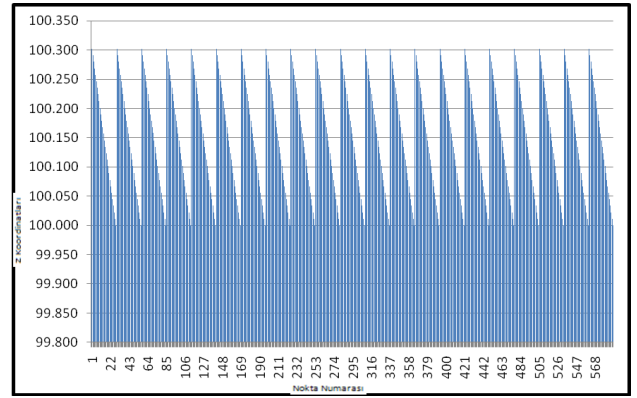
Grid ağının koordinatlandırılmasında tanımlanan koordinat sistemi test alanına dik olmadığından bir dikdörtgen prizmanın yarısı kadar bir yüzey elde edilmektedir. Bu yüzeyin olması gereken hacmi 0.81 m<sup>3</sup> tür. Ayrıca test alanı üzerinde okunan koordinatlarda bir sistematikğin olması da gerekmektedir. Bu durumda üç eksen boyunca görsel olarak da kontrol edildi. Eksenlere ait X, Y ve Z koordinatlarının kendi aralarındaki sistematiklik Şekil 5., Şekil 6. ve Şekil 7.'de görülmektedir.



Şekil 5. X koordinatları arasındaki sistematiklik



Şekil 6. Y koordinatları arasındaki sistematiklik



Şekil 7. Z koordinatları arasındaki sistematiklik

Test alanı daha sonra Optech Irls 3D marka lazer tarama cihazıyla 10' ar metre aralıklarla toplamda 100 metrelik bir mesafe için karşıdan, sağdan ve soldan taratıldı. Her bir tarama yaklaşık 5 mm hassasiyetinde olacak şekilde 30 noktadan yapıldı. Taramaların 10 tanesi test alanının karşılarından yaklaşık test alanına dik istasyonlardan, diğer 10 tanesi test alanının sol kenarından ve kalan 10 tarama ise test alanının sağ tarafından yapılmıştır. Taramaların yapıldığı istasyon noktaları ve tarama açıları Tablo 2' de görülmektedir.

İSTASYON NO	TARAMA MESAFESİ	TARAMA AÇISI( $\alpha$ )
1	10m	Dik Tarama
1_1	10m	15.6422 <sup>0</sup>
1_2	10m	15.6422 <sup>0</sup>
2	20m	Dik Tarama
2_1	20m	7.9696 <sup>0</sup>
2_2	20m	7.9696 <sup>0</sup>
3	30m	Dik Tarama
3_1	30m	5.3321 <sup>0</sup>
3_2	30m	5.3321 <sup>0</sup>
4	40m	Dik Tarama
4_1	40m	4.0042 <sup>0</sup>
4_2	40m	4.0042 <sup>0</sup>
5	50m	Dik Tarama
5_1	50m	3.2052 <sup>0</sup>
5_2	50m	3.2052 <sup>0</sup>
6	60m	Dik Tarama
6_1	60m	2.6719 <sup>0</sup>
6_2	60m	2.6719 <sup>0</sup>
7	70m	Dik Tarama
7_1	70m	2.2906 <sup>0</sup>
7_2	70m	2.2906 <sup>0</sup>
8	80m	Dik Tarama
8_1	80m	2.0045 <sup>0</sup>
8_2	80m	2.0045 <sup>0</sup>
9	90m	Dik Tarama
9_1	90m	1.7820 <sup>0</sup>
9_2	90m	1.7820 <sup>0</sup>
10	100m	Dik Tarama
10_1	100m	1.6039 <sup>0</sup>
10_2	100m	1.6039 <sup>0</sup>

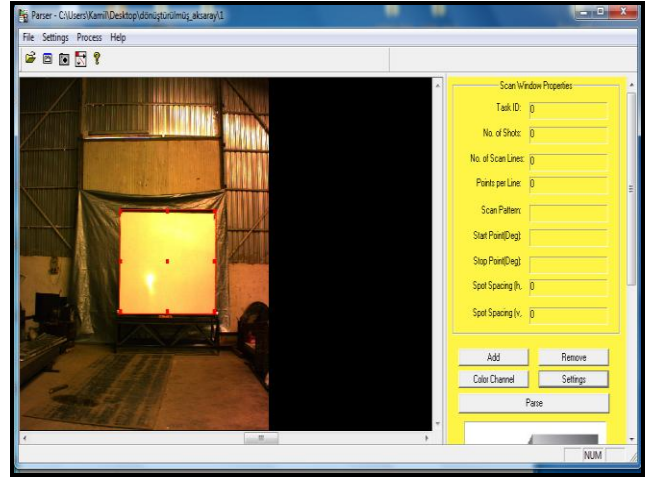
Tablo 2. Tarama yapılan istasyon noktaları ve tarama açıları

Taramalar dış ortamın etkilerini azaltmak için kapalı bir mekânda yapılmıştır. Taramalara ilişkin bir görüntü Şekil 8’de görülmektedir.



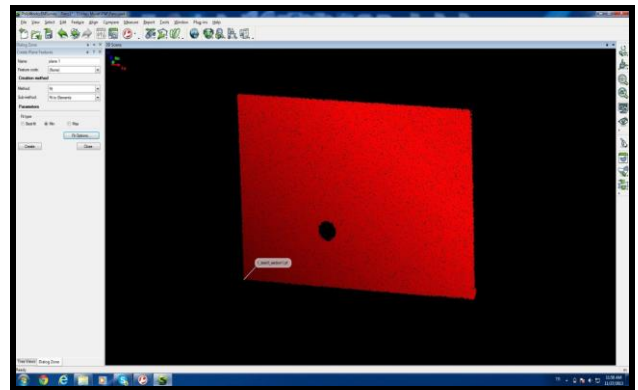
Şekil 8. Test alanının 10m mesafeden dik olarak taratılması

Tarama işlemi bittikten sonra Optech Irlis 3D lazer tarayıcının yazılımı olan Parser programında elde edilen veri dosyaları PTX formatına dönüştürüldü (Şekil 9).



Şekil 9. Test alanının "Parser" programında görünümü

Tarama işlemi tamamlandıktan sonra değerlendirme işlemleri yapıldı. Taramalar polyworks programına aktarılarak her tarama için test alanı üzerinde 2.70 mx2.00 m’ den oluşan alanlar oluşturulmuş ve bu alanın dışında kalan nokta bulutları temizlenmiştir. Taramaların yapıldığı kapalı mekanın tavanında yer alan ışıklandırmadan gelen güneş ışınlarının test alanı üzerinde yoğunlaştığı bölgede koordinat okumasının yapılamadığı yani geri yansımının olmadığı gözlenmiştir (Şekil 10.).



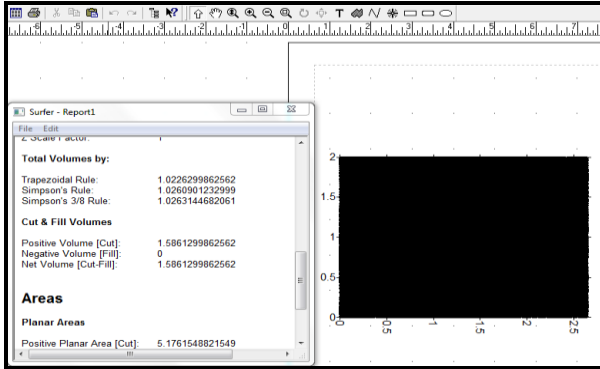
Şekil 10. Test alanının fazla nokta bulutlarından temizlendikten sonraki görünümü

Gereksiz nokta bulutları silindikten sonra test alanı üzerinde kalan noktaların koordinatları Excel programına atılarak koordinatların minimum ve maksimum değerleri bulunmuştur (Şekil 11.). 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 hesaplanmıştır.

	A	B	C	D	E
195104	210851	2 043	-0.52	10.291	
195105	210852	2 043	-0.525	10.289	
195106	210962	2 039	1.01	10.164	
195107	210963	2 039	1.005	10.171	
195108	211057	2 043	0.521	10.236	
195109	211065	2 043	0.479	10.239	
195110	211069	2 042	0.459	10.237	
195111	211083	2 043	0.386	10.246	
195112	211089	2 041	0.354	10.238	
195113	211100	2 043	0.298	10.248	
195114	211110	2 042	0.246	10.244	
195115	211115	2 043	0.22	10.253	
195116	211125	2 043	0.168	10.259	
195117	211127	2 042	0.157	10.251	
195118	211133	2 042	0.126	10.257	
195119	211139	2 042	0.096	10.258	
195120	211142	2 043	0.079	10.257	
195121	211367	2.04	1.013	10.147	
195122	211368	2.042	1.009	10.156	
195123	211775	2.043	1.001	10.138	
195124					
195125					
195126	MIN	-0.657	-0.987	10.127	
195127	MAK	2.043	1.013	10.429	
195128					
195129	FARK	2.7	2	0.302	
195130					
195131					

Şekil 11. Bir tarama istasyonuna ait minimum ve maksimum koordinatlar

30 adet tarama istasyonuna ait koordinat değerlerinin minimum ve maksimum değerleri arasındaki fark hesaplandıktan sonra bu değerler "Surfer" programına aktarıldı ve her istasyon için hacim değerleri hesaplandı (Şekil 12.). 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. Hacimler arasındaki farklar elde edildi.



Şekil 12. Surfer programında "1\_1" numaralı istasyona ait şeklin hacmi

### 3. BULGULAR

Yapılan hesaplamalardan sonra her tarama için nokta bulutlarından hesaplanan hacimler ile olması gereken hacimler ve bu hacimler arasındaki farklar hesaplanmıştır. Test alanının dik olarak taranması ile elde edilen hacim ve fark değerleri Tablo 3' de ve test alanının sağ ve sol taramalardan elde edilen hacim ve fark değerleri ise Tablo 4' de verilmiştir.

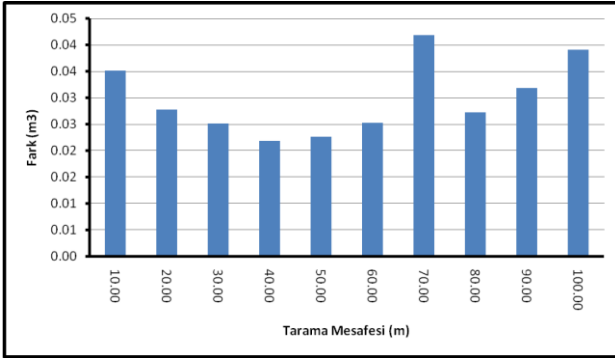
İstasyon No	Nokta bulutlarından hesaplanan hacimler	Olmaması gereken hacimler	Farklar (m <sup>3</sup> )
1	1.6605	1.6254	0.0351
2	1.6586	1.6308	0.0278
3	1.6219	1.6470	-0.0251
4	1.6414	1.6632	-0.0218
5	1.6298	1.6524	-0.0226
6	1.6722	1.6470	0.0252
7	1.5944	1.6362	-0.0418
8	1.6905	1.6632	0.0273
9	1.6367	1.6686	-0.0319
10	1.6915	1.6524	0.0391

Tablo 3. Test alanının dik olarak taranması ile elde edilen hacimler ve fark değerleri

İstasyon No	Nokta bulutlarından hesaplanan hacimler	Olmaması gereken hacimler	Farklar (m <sup>3</sup> )
1_1	1.5861	1.6200	-0.0339
1_2	1.6083	1.6362	-0.0279
2_1	1.6632	1.6416	0.0216
2_2	1.6771	1.6524	0.0247
3_1	1.6820	1.6578	0.0242
3_2	1.6638	1.6416	0.0222
4_1	1.6379	1.6578	-0.0199
4_2	1.6674	1.6470	0.0204
5_1	1.6641	1.6416	0.0225
5_2	1.6539	1.6308	0.0231
6_1	1.6216	1.6578	-0.0362
6_2	1.6897	1.6524	0.0373
7_1	1.5914	1.6308	-0.0394
7_2	1.6659	1.6254	0.0405
8_1	1.6763	1.6524	0.0239
8_2	1.6165	1.6416	-0.0251
9_1	1.6320	1.6578	-0.0258
9_2	1.6739	1.6470	0.0269
10_1	1.6006	1.6362	-0.0356
10_2	1.6709	1.6308	0.0401

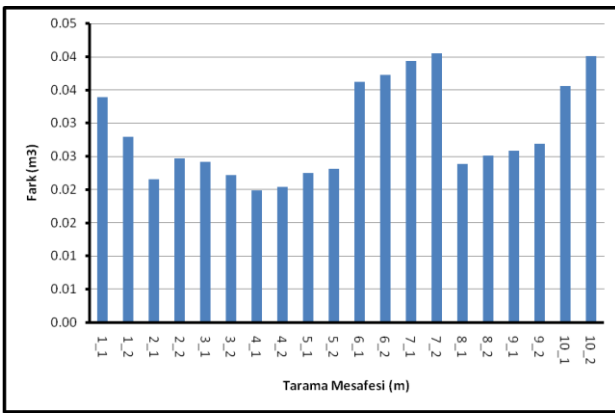
Tablo 4. Test alanının sağ ve sol taraftan taranması ile elde edilen hacimler ve fark değerleri

Tarama mesafesine göre Tablo 3' deki hacim farklarının dağılımı şekil 13' de gösterilmiştir.



Şekil 13. Dik olarak taramaların yapıldığı istasyonlar için tarama mesafesine göre fark değerlerinin grafiksel olarak gösterimi

Tarama mesafesine göre Tablo 4' deki hacim farklarının dağılımı Şekil 14' de gösterilmiştir.



Şekil 14. Farklı açılarla taramaların yapıldığı istasyonlar için tarama mesafesine göre fark değerlerinin grafiksel olarak gösterimi

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 0,81 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu yarım dikdörtgen prizmanın her bir kenarı 1 mm den 15 mm' ye kadar arttırılarak hacimler tekrar hesaplandığında Tablo 5'de verilen değerler elde edilmektedir.

Y	X	Z	Hata (mm)	Hesaplanan Hacim (m <sup>3</sup> )	Olması Gereken Hacim (m <sup>3</sup> )	Farklar (m <sup>3</sup> )
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

Tablo 5. Kenar uzunlukları 1mm arttırılan prizmanın hacim ve fark değerleri

Bu çalışmadan elde edilen hacim farkları ile Tablo 5' de elde edilen farklar karşılaştırıldı. Tablo 5' e göre eğer hacim farkı 0.02740 m<sup>3</sup> çıktıysa sekiz nolu satıra karşılık gelen hata miktarı ile taramanın yapıldığı varsayılmaktadır. Bu değer de Tablo 5' e göre 8 mm' dir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, örneğin 50 m mesafedeki taramadan elde edilen hacim farkı 0.0226 m<sup>3</sup> ve buna göre bu mesafedeki tarama hassasiyetinin 6.6 mm olduğu görülmektedir. 70 m mesafedeki taramadan elde edilen hacim farkı 0.0418 m<sup>3</sup> buna göre bu mesafedeki tarama hassasiyetinin 12.2 mm olduğu görülmektedir. Buna göre taramalardaki hassasiyet Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tarama Mesafesi (m)	Tarama Hassasiyeti (mm)	Tarama Mesafesi (m)	Tarama Hassasiyeti (mm)	Tarama Mesafesi (m)	Tarama Hassasiyeti (mm)
10	10.3	1_1	9.9	1_2	8.2
20	8.1	2_1	6.3	2_2	7.2
30	7.4	3_1	7.1	3_2	6.5
40	6.4	4_1	5.8	4_2	6.0
50	6.6	5_1	6.6	5_2	6.8
60	7.4	6_1	10.6	6_2	10.9
70	12.2	7_1	11.5	7_2	11.9
80	8.0	8_1	7.0	8_2	7.4
90	9.3	9_1	7.6	9_2	7.9
100	11.5	10_1	10.3	10_2	11.7

Tablo 6. Tarama istasyonlarına ait tarama mesafeleri ve tarama hassasiyetleri

Yersel lazer tarayıcılarda konum doğruluğuna obje yüzeyinin yansımaya özelliğinin ve taramadaki ortam şartları gibi diğer faktörlerin de etkili olduğu bilinmektedir. Elde edilen sonuçlar aynı ortam şartlarında ve yansımının en yüksek olduğu beyaz bir objede elde edilmiştir. Objeye yüzeyine dik, sağ ve sol yanlardan yapılan taramalar arasında anlamlı bir fark olmadığı gözlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

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.

Bu çalışmada tarama mesafelerinin ve objeye göre tarama açılarının yersel lazer tarayıcıların konum doğruluğuna etkisinin ne olduğu araştırıldı. Yapılan çalışmada 10 m aralıklarla 100 m' ye kadar yapılan tarama sonunda Optech Ilris 3D Lazer Tarayıcı'nın 5.8 mm ile 12.2 mm aralığında bir tarama hassasiyetinin olduğu görüldü. Tam karşıdan 40-50 m mesafelerde yapılan taramaların en uygun sonuçlar verdiği görüldü. Objenin sağdan ve soldan yapılan taramalarında doğruluğun karşıdan taramalara göre bir miktar düştüğü görüldü. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde 100 m' lik tarama aralığında tarama mesafelerine göre sistematik ya da doğrusal bir doğruluk artışı ya da azalışı görülmedi. Bilindiği gibi tarama mesafesi arttıkça açısal çözünürlük kullanılamamaktadır. Bu nedenle 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 Optech Ilris 3D lazer tarayıcının 100 m' ye kadar yapılan taramalarda konumlama hassasiyetinin 5.8 mm ile 12.2 mm arasında değiştiği, taramaların obje yüzeyine dik olarak yapılmasının daha uygun olduğu, en uygun tarama mesafesinin 40-50 m olduğu görüldü.

## 5. KAYNAKLAR

Altuntaş, C. ve Yıldız, F., 2008. Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 98, 20-27.

Aydar, U., Avşar, Ö., Kaya, Ş., Bozkurtoğlu, E. ve Şeker, D.Z., 2011. Yüzeylerin pürüzlülük açılarının lazer tarayıcılar yardımıyla belirlenmesi, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 6s

Gümüş, K. ve Erkaya, H., 2007. Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 11s.

Gümüş, K., Erkaya, H. ve Tunalıoğlu, N., 2009. Yersel lazer tarama verilerinde çevresel ve objesel nedenlerden kaynaklanan hatalar, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 6s.

Karabörk, H., Göktepe, A., Yılmaz, H.M., Mutluoğlu, Ö., Yıldız, F. ve Yakar, M., 2009. Tarihi ve kültürel varlıkların lazer tarama ve lazer nokta ölçme teknolojileri ile 3B modellenmesinde duyarlılık araştırması ve uygulama modelinin belirlenmesi, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 8s.

Karşıdağ, G., Alkan, R. M., 2012. Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 1-10.

Yılmaz, H.M., 2007. The effect of interpolation methods in surface definition: an experimental study, Earth Surface Processes and Landforms, 32, 1346-1361.