

Yersel Fotogrametrik Yöntem ile Yersel Lazer Taramanın Karşılaştırılması ve Doğruluk Analizi (Comparison of Terrestrial Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning and Accuracy Analysis)

Zaide DURAN, Muhammed Enes ATİK, Mehmet Furkan ÇELİK

İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul
duranza@itu.edu.tr, atikm@itu.edu.tr, celikmeh@itu.edu.tr

ÖZ

Günümüzde yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama teknikleri kullanılarak objelerin üç boyutlu (3B) modelleri elde edilebilmektedir. Özellikle endüstriyel alanlarda ürünlerin 3B modelleri kullanılarak çeşitli analizler yapılmaktadır. Analizlerin doğruluğu modellerin doğruluğuna bağlıdır. Kullanılan yöntemler de bu doğruluğu önemli derecede etkilemektedir. Yersel fotogrametrik yöntem ve lazer tarama yöntemi 3B modellemede yaygın kullanılan yöntemlerdir. Yersel fotogrametrik yöntemde objenin farklı açılardan çekilmiş ve hesaplanmış bir bindirme oranına sahip fotoğrafları kullanılarak 3B modeller oluşturulmaktadır. Lazer tarama yönteminde veriler nokta bulutu olarak elde edilmektedir. Nokta bulutları, farklı yöntemler kullanılarak birleştirilmekte ve gerekli temizlik yapılarak 3B modeller oluşturulmaktadır. Lazer tarama yöntemi, diğer yöntemlere nazaran 3B verilerin daha kolay ve daha hızlı elde edilebilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemler mimarlık, inşaat mühendisliği, tarihi eserlerin bakımı ve onarımı, arkeoloji, araçların bilgisayar destekli navigasyonu gibi alanlarda kullanılabilir.

Çalışmada; yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri kullanılarak 3B model elde edilmesi ve doğruluk analizi yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla 1974 model Volkswagen Beetle marka otomobil iki yöntemle modellenmiştir. Modellerden alınan kesitler kullanılarak, yöntemlerin boyut bazlı karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca araç üzerine yapıştırılan hedef noktalarının, yersel fotogrametrik yöntem ve lazer taramanın yanı sıra total station kullanılarak ileriden kestirme hesabıyla da koordinatları hesaplanmıştır. İleriden kestirme ile hesaplanan koordinatlar referans alınarak iki yöntemin nokta bazlı karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmada ulaşılan sonuçlar, nokta koordinatları açısından yersel fotogrametrik yöntemin lazer taramadan daha doğru sonuç verdiğini göstermiştir. Alınan kesitler üzerinden yapılan ölçmeler sonucunda ise araç boyutları açısından lazer taramanın daha doğru sonuç verdiği ve ayrıca 3B modelin lazer tarama ile daha detaylı ve düzgün elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yersel Fotogrametri, Yersel Lazer Tarama, Üç Boyutlu Modelleme, Doğruluk Analizi.

ABSTRACT

At the present time, three dimensional (3D) models of objects can be obtained by using terrestrial photogrammetry and terrestrial laser scanning methods. Especially in industrial fields, various

analyses are carried out using 3D models of objects. The accuracy of the analyses depends on the accuracy of the models. Furthermore, the methods used seriously affect the accuracy. Terrestrial photogrammetry and laser scanning methods are widely used in 3D modeling. In terrestrial photogrammetric methods, 3D models are created with photos of object which are taken from different angles and have a calculated cover ratio. The data is obtained as point clouds in laser scanning. The point clouds are combined using different methods and after the necessary cleaning, 3D models are created. Laser scanning method provides getting three-dimensional data more easily and more quickly than other methods. These methods can be used in areas such as architecture, civil engineering, repair and maintenance of historical monuments, archaeology and computer aided navigation of vehicles.

In this study; it is aimed that obtaining 3D model and analyzing the accuracy with the usage of terrestrial photogrammetry and terrestrial laser scanning methods. For this purpose, a 1974 Volkswagen Beetle modelled with these two methods. Using profiles obtained from the model, dimension based comparison of the method is carried out. Besides terrestrial photogrammetry and terrestrial laser scanning, coordinates of target points marked on the car are calculated with intersection method using Total Station. Using coordinates that are calculated with intersection, the two methods are compared as point based.

The conclusion achieved in this study show that terrestrial photogrammetry method gives more accurate results than laser scanning method in terms of point coordinates. In addition, as the outcomes of the measurements made via profiles, laser scanning yields more accurate results in terms of vehicle dimensions and it is determined that 3D models obtained by the laser scanning are more detailed and properly shaped.

Keywords: Terrestrial Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanning, 3D Modelling, Accuracy Analysis.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte 3B modeller farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çok geniş alanlardan çok küçük objelere kadar 3B model oluşturulabilmektedir. Oluşturulan modellerden sadece görsel veriler değil geometrik veriler de elde etmek mümkündür. Önceleri sadece resim çekme

yöntemiyle sınırlı olan bu işlemler, özellikle lazer taramanın geliştirilmesi ve yaygınlaşmasıyla her türlü alanda kolayca uygulanabilir hale gelmiştir.

Bilindiği üzere; fotogrametri, cisimler ve oluşturdukları çevreden yayılan ışınların şekillendirdiği fotoğraflık görüntülerin ve yaydıkları elektro manyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonunda bu cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji ve bilim dalıdır (Duran ve Aydar, 2012). Hem yersel fotogrametri hem de lazer tarama yöntemi son yıllarda endüstride 3B modelleme için sıklıkla kullanılmaktadır. Fotogrametrik temellere sahip olan 3B modelleme işlemleri endüstriyel ölçmelerde ve kontrol işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ürünlerin kalite-kontrolünde veya üretim-tasarım aşamasında 3B modeller önemli bir rol oynamaktadır.

Çalışmada; yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri kullanılarak 3B model elde edilmesi ve doğruluk analizi yapılması amaçlanmıştır. Bu çerçevede 1974 model Volkswagen Beetle marka bir otomobil iki yöntemle 3B olarak modellenmiştir. Modellerden alınan enkesit ve boykesitler kullanılarak araç boyutlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca araç üzerine yapıştırılan 72 adet hedef noktasının lazer tarama, yersel fotogrametrik ve ileriden kestirme yöntemleriyle koordinatları elde edilmiştir. İleriden kestirme ile hesaplanan koordinatlar gerçek değer olarak kabul edilerek diğer iki yöntem ile bulunan koordinatlar karşılaştırılmıştır. Yersel lazer tarama ile hızlı bir şekilde model oluşturulurken yersel fotogrametrik yöntem ile yüksek nokta konum doğruluğu elde edilmiştir.

2. 3B MODELLEME

3B modelleme, bir objeye ait geometrik verilerin vektörel formatta bilgisayar ortamında ifade edilmesidir. Fiziksel yeryüzünün ya da her hangi bir objenin 3B olarak modellenmesi, söz konusu obje ya da objeler üzerinde bilgisayar ortamında yüksek doğruluklu değerlendirmeler yapılabilmesini sağlamaktadır (Akyol, 2010).

Bilgisayar ve bilişim sistemlerinde son yıllarda meydana gelen gelişmelerle 3B modeller hayatın hemen her alanına girmiştir. Artan 3B model, modelleyici cihaz ya da yazılım talebi mühendisleri klasik yöntemlerden daha hızlı, kullanımı daha kolay ve son kullanıcıya yönelik yeni teknolojiler üretmeye zorlamaktadır. Hatta karşısındaki ortamın ya da objenin 3B modelini eş zamanlı olarak bilgisayara aktaran ek

donanımlar çoktan teknoloji marketlerindeki yerini almıştır. Geomatik Mühendisliği'nin temel ödevi 3B konum verisi üretmektir. 3B modeller, 3B konum verisinin bir bütün halinde gösterimidir ve oldukça etkili bir gösterim aracıdır. 3B modeller yardımı ile tasarım, ölçme ya da belgeleme yapılabilmektedir. Günümüzde 3B modeller mimarlık, arkeoloji, tıp, film yapımı gibi pek çok alanda etkin olarak kullanılmaktadır (Akyol ve Duran, 2014). 3B model üretmenin birçok yöntemi vardır. Jeodezik ölçmeler, lazer tarama yöntemleri ve fotogrametrik yöntemler bunların başlıcalarıdır.

a. Fotogrametrik Yöntemle Modelleme

Yersel fotogrametri yakın ve uzak mesafelerden 3B çizimlerin yapılmasını sağlayan yöntemdir. Farklı odak uzaklığına sahip kameralardan elde edilen fotoğraflar ve özel yazılımlar sayesinde 3B modeller oluşturulabilir. Bu yöntem ile modelleri oluşturulan nesnelerin 3B konum bilgileri elde edilmektedir (Şanlıoğlu ve diğerleri, 2013). Yersel fotogrametri temel olarak bir objenin farklı açılardan çekilmiş fotoğraflarının oluşturduğu ağı kullanır (Arias ve diğerleri, 2009). Yersel fotogrametri de resim çekilen istasyon noktalarının koordinatları ve resim çekim doğrultusu jeodezik yöntemlerle belirlenebilir. Yersel fotogrametri de görüş alanı fotoğraf çekim noktasının imkânları dâhilindedir.

Yersel fotogrametri oldukça geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu alanlar, mimarlık, arkeoloji, endüstri, madencilik ve deformasyon ölçmeleri, yol inşası, su yapıları, tıp, kriminoloji, trafik kazaları vb. olarak sayılabilir.

b. Yersel Lazer Tarama ile Modelleme

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.

Yersel lazer tarama, geleneksel ölçme tekniklerine nazaran 3B nokta konum bilgisinin daha yüksek hızla ve yüksek doğrulukla elde edildiği ölçme tekniğidir (Lichti ve Gordon, 2004). Yersel lazer tarayıcılarla elde edilen verilere nokta bulutu adı verilmekte ve bu nokta bulutlarının işlenmesiyle 3B modeller elde edilebilmektedir.

Yersel lazer taramada ölçülen temel büyüklük tarayıcı ve nokta arasındaki mesafedir. Mesafe ölçümü için değişik teknikler kullanılmaktadır. Bunlar: üçgenleme, faz farkı, ışığın gidiş-dönüş zamanı veya dalga metodudur. Yersel lazer tarayıcılarda kısa zaman aralıklarıyla lazer dalgalarının gönderilmesi ve ölçülmesi esasına dayanan dalga metodu kullanılmaktadır (Lichti ve Gordon, 2004).

Sensör teknolojisi ve bununla ilgili yazılım teknolojisinin gelişmesi: mühendislik çalışmaları, tarihi ve kültürel mirasın belgelenmesi, deformasyon ölçmeleri, planlama çalışmaları, kent alanlarının 3B modellenmesi, prototip üretimi, sinema endüstrisi gibi pek çok alanda lazer tarama yönteminin kullanılmasına olanak sağlamıştır (Wagot ve diğerleri, 2005). Lazer tarama işlemiyle elde edilen nokta bulutundan; temel ölçme verileri, ortofoto görüntüler, 2 veya 3 boyutlu çizimler, 3B animasyon, katı yüzey modelleri ya da doku giydirilmiş 3 boyutlu modeller elde edilebilir (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

3. UYGULAMA

Çalışmada 1974 model Volkswagen Beetle marka otomobil (Şekil 1) yersel fotogrametrik ve yersel lazer tarama yöntemleriyle modellenmiştir. Arabanın üzerine yapıştırılan hedef noktalarının koordinatları yersel fotogrametrik yöntem, ileriden kestirme ve lazer tarama kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca aracın iki yöntemle oluşturulan modellerinden alınan enkesit ve boykesitler kullanılarak aracın boyutları belirlenmiştir. Elde edilen bu verilerle iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır.

Aracın üzerindeki nokta koordinatlarının belirlenmesi için ilk olarak kapalı poligon ağı tesis edilmiştir. Bu ağ toplam 6 adet poligon noktasına sahiptir. Poligon noktaları her bir hedef noktasının en az iki poligon noktasından görülebileceği şekilde tesis edilmiştir. İlk noktanın koordinatları keyfi olarak belirlenmiştir. Çünkü bu ağ lokal bir ağ olup iç tutarlılığı önemlidir. Gerekli ölçmeler yapılmış ve poligon hesaplarının neticesinde açı ve koordinatlara ait hata miktarları Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHKBÜY)'de belirlenen hata sınırlarının içinde kalmıştır. Nokta koordinatları bu şekilde belirlendikten sonra geometrik nivelman yapılarak poligon noktalarının yükseklikleri belirlenmiştir. Sistemin iç tutarlılığı daha önemli olduğu için başlangıç yüksekliği yine rastgele belirlenmiştir.



Şekil 1. 3B Modellenen araçtan görüntüler (1974 model VW Beetle)

Araç üzerine toplam 72 adet hedef noktası yapıştırılmıştır. Hedef noktalarının koordinatları poligon noktalarına dayalı olarak ileriden kestirme yöntemiyle belirlenmiştir. Trigonometrik nivelman yöntemiyle de hedef noktalarının yükseklikleri belirlenmiştir.

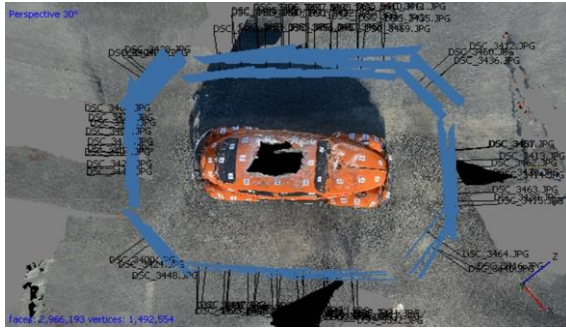
Çalışmada; aracın 3B modelini oluşturmak için kullanılan ilk yöntem yersel fotogrametrik yöntemdir. Fotoğraf çekimi için Nikon D800 marka fotoğraf makinesi ve 35 mm'lik lens kullanılmıştır. Modelleme için gerekli olan fotoğrafların çekimine başlamadan önce kamera kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon işlemi laboratuvarında test alanında yapılmıştır. Test alanı olarak yazılıma ait kodlanmış kontrol noktalarını içeren baskı kullanılmıştır. Kağıdın farklı açılardan 13 adet fotoğrafı çekilmiştir.

Fotoğraflar Photomodeller yazılımına aktarılarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon neticesinde iç yönelme bilinmeyenleri (Tablo 1) belirlenmiştir.

Tablo 1: Kalibrasyon değerleri

İç Yönelme Bilinmeyenleri	Distorsiyon Parametreleri
$c = 35.8743 \text{ mm}$	$K_1 = 5.069e-005$
$X_0 = 17.9978 \text{ mm}$	$K_2 = -1.505e-007$
$Y_0 = 11.7700 \text{ mm}$	$P_1 = 4.883e-006$
	$P_2 = 1.261e-005$

3B modelleme için gerekli olan fotoğraflar için enine ve boyuna örtü oranı %80 olarak belirlenmiştir. Örtü oranına bağlı olarak resim çekim mesafesi 2.8 m, baz uzunluğu 45 cm olarak hesaplanmıştır. Toplam 72 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotoğraflar dikey olarak 3 sıra halinde her sırada 24 fotoğraf (Şekil 2) olacak şekilde çekilmiştir.



Şekil 2. Yazılım ile hesaplanan resim çekim noktaları

3B model oluşturmak için çekilen fotoğrafların değerlendirmesi Agisoft Photoscan yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Çekilen resimler yazılıma aktarılmış ve gereksiz fotoğraflar işleme alınmamıştır. Fotoğraflar eşlenmiş ve nokta bulutu oluşturulmuştur. Böylece 3B model nokta bulutu olarak elde edilmiştir. Model üzerindeki gereksiz bölgeler temizlenmiş, nokta bulutunun üzerine yüzey giydirilmiş sonuç olarak 3B model tam anlamıyla oluşturulmuştur (Şekil 3). Aracın üst kısmı için yeteri sayıda uygun fotoğraf olmadığından dolayı bu bölgeye ait nokta bulutu verisi yoktur.

Doğruluk analizi için hedef noktalarının koordinatları gerekmektedir. Hedef noktaları model üzerinden elle işaretlenmiştir. Elde edilen 3B modeldeki hedef noktalarının koordinatları lazer taramadan çıkarılan koordinatlarla karşılaştırılmış ve nokta bazında ortalama hata miktarı 6,5 mm olarak bulunmuştur.

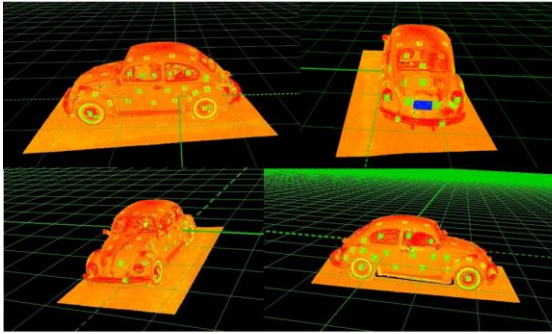


Şekil 3. Yersel fotogrametri ile elde edilen 3B modelden görünüm

Yersel lazer tarama ile aracın 3B modeli oluşturulmuştur. Tarama için Leica marka ScanStation C10 model lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu lazer tarayıcı, lazer ışını gidiş-geliş zamanı ilkesine göre çalışmaktadır. Normal ışık ve yansıtma şartları altında 50 metre mesafede 4 mm hassasiyete sahip ve 300 metreye kadar ölçüm yapabilmektedir. Tarayıcı 270° düşey eksen ve 360° yatay eksen yönünde dönme kabiliyetine sahiptir. Cihazın açılal çözünürlüğü yatay ve düşeyde 12" dir.

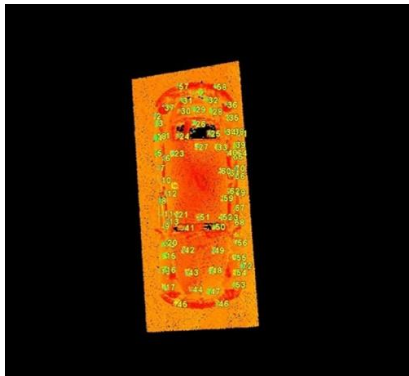
Çalışma kapsamında 6 farklı istasyon noktasından tarama yapılmıştır. İstasyon noktaları olarak tesis edilen kapalı poligon ağındaki poligon noktaları kullanılmıştır. İstasyon noktalarının yükseklikleri için geometrik nivelman yöntemi uygulanmıştır. Poligon noktalarının enine kapanma hatası 5 mm ve boyuna kapanma hatası 6 mm olarak elde edilmiştir. Nivelman neticesinde gidiş-dönüş nivelmanı arasındaki fark 1 mm olarak elde edilmiştir. Başlangıçta lazer tarayıcı lokal koordinat sisteminde konumlandırılmamıştır. Lazer tarayıcının en son konumlu olduğu koordinat sisteminde taramalar yapılmıştır. Yazılım olarak Leica'nın özel yazılımı olan Cyclone kullanılmıştır. Taramalar neticesinde 6 farklı nokta bulutu elde edilmiştir. Tarama verilerinin işlenmesi iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adımda farklı nokta bulutlarının birleştirilerek 3B model

oluşturulmuştur. Birleştirmek için kullanılan yöntem "İteratif En Yakın Nokta Yöntemi"dir. Bu yöntemde nokta bulutları arasındaki 3B dönüşüm parametreleri iteratif olarak bulunur (Altıntaş ve Yıldız, 2008). Bu şekilde tek bir nokta bulutu oluşturulmuştur. Ancak nokta bulutu kurulan lokal koordinat sisteminde değil lazer tarayıcının kendi koordinat sisteminde tanımlıdır. İkinci adımda 3B modeli lokal koordinat sisteminde konumlandırmak için "Dolaylı Konumlandırma" yöntemi uygulanmıştır. Dolaylı konumlandırma yönteminde nokta bulutundan seçilen koordinatları bilinen en az 3 nokta kullanılarak dönüşüm parametreleri hesaplanır. Çalışmada ileriden kestirme ile koordinatları belirlenen 3 adet hedef noktası kullanılarak dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak lokal koordinat sisteminde tanımlanmış 3B model oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Yersel lazer tarama yöntemi ile elde edilen 3B modelden görünüm

Doğruluk analizinde kullanılmak üzere lazer taramadan elde edilen modelden alınacak hedef noktalarına ait koordinatlar da gerekmektedir. Bunun için 3B model üzerinde kontrol noktaları elle işaretlenmiştir (Şekil 5). Nokta bulutu koordinatlı olduğu için noktaların koordinatları doğrudan yazılımdan alınmıştır.



Şekil 5. Yazılım üzerinden işaretlenen hedef noktaları

4. DOĞRULUK ANALİZİ

Verilerin elde edilmesinden sonra doğruluk analizi yapılmıştır. Yersel fotogrametrik yöntemin ve yersel lazer tarama yönteminin nokta bazlı ve boyut bazlı karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmada araç üzerine yapıştırılan 72 adet hedef noktasının ileriden kestirme, yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleriyle koordinatları hesaplanmıştır. Elektronik uzunluk ölçerden elde edilen verilerle ileriden kestirme hesabı yapılarak noktaların x ve y koordinatları, trigonometrik nivelman yöntemiyle de noktaların yükseklikleri hesaplanmıştır. Kullanılan elektronik uzunluk ölçerin mesafe ölçme doğruluğu $2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ ve lazer tarayıcının mesafe ölçme doğruluğu 4 mm olduğundan dolayı karşılaştırma için ileriden kestirme verileri doğru kabul edilmiştir. Yersel fotogrametrik yöntemle karşılaştırma için yazılım üzerinden arazi verileri ile model verileri karşılaştırılmıştır. İleriden kestirme ile elde edilen koordinatlar gerçek değer olarak alınarak; yersel fotogrametrik yöntem ve lazer tarama ile elde edilen koordinatlar karesel ortalama hata hesaplanmak suretiyle karşılaştırılmıştır. Ulaşılan sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 2).

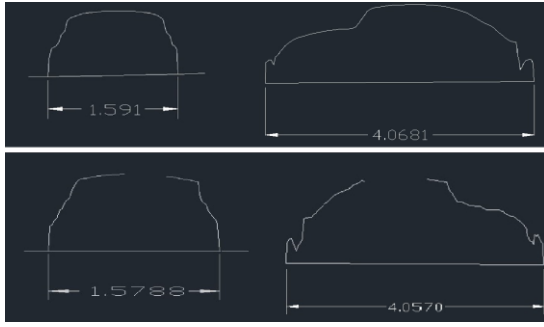
Tablo 2. Hedef noktalarının koordinatlarının karesel ortalama hataları

Ölçü Yöntemleri	Farklar	Max. (cm)	Min. (cm)	KOH (cm)
İleriden Kestirme– Yersel Fotogrametri	ϵ_x	1.11	-1.27	± 0.42
	ϵ_y	0.81	-0.75	± 0.33
	ϵ_z	0.42	-0.30	± 0.15
İleriden Kestirme– Lazer Tarama	ϵ_x	0.60	-1.00	± 0.52
	ϵ_y	2.20	-0.60	± 1.25
	ϵ_z	1.41	-2.05	± 0.38

3B modeller aracın boyutları da karşılaştırılmıştır (Tablo 3). Aracın fabrika çıkış ebatları gerçek değer alınarak, iki yöntem karşılaştırılmıştır. Bu işlem için aracın 3B modellerinin Cyclone yazılımı üzerinden enkesit ve boykesitleri alınmıştır. Kesitler Autocad yazılımı ile çizilmiştir (Şekil 6). Ölçümler bu kesitler üzerinden yapılmıştır.

Tablo 3. Araç boyutlarının karşılaştırılması

	Orijinal	Fotogrametri	Lazer Tarama
Uzunluk (m)	4.080	4.057	4.068
Genişlik (m)	1.585	1.579	1.591
Yükseklik (m)	1.500	-	1.488



Şekil 6. Lazer tarama (üst) ve yersel fotogrametri (alt) ile oluşturulan modelden alınan enkesit ve boykesit

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lazer tarama ve yersel fotogrametrik yöntemler özellikle endüstriyel alanlarda obje modellemeleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yalnızca 3B modeli oluşturmak değil onu doğru bir şekilde ölçülendirmek gerekmektedir. Çalışmada yöntemlerin doğruluğunun karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan tüm işlemlerden sonra nokta konum doğruluğu açısından yersel fotogrametrik yöntemin daha doğru sonuç verdiği sonucuna varılmıştır.

Diğer yandan lazer tarayıcı ile 3B model daha doğru ve bütün olarak elde edilmiştir. Yersel fotogrametri ile oluşturulan 3B modelde çeşitli faktörlere bağlı bozulmalar belirlenmiştir. Aracın güneş vuran kısmında bozulmalar meydana gelmiştir. Yeterli sayıda uygun fotoğraf çekilmediği için aracın üst kısmının modellenmesi mümkün olmamıştır. Daha iyi bir iş planı oluşturularak bu giderilebilir. Maliyet ve zaman açısından düşünüldüğünde 72 adet hedef noktasının fazla olduğu, bu sayının daha az olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca hem donanım hem de yazılım ve veri işleme açısından lazer tarama daha yüksek maliyetli bir yöntemdir. Lazer tarama verisi dört kat büyük veri boyutuna sahiptir. Yersel lazer taramada 3B model daha hızlı oluşturulurken, yersel fotogrametrik yöntemle daha yüksek nokta konum doğruluğu elde edilebilmektedir. İki yöntemin bir arada kullanılması endüstriyel alanlarda 3B modelleme açısından değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Akyol, O. (2011). **Düşük Maliyetli Lazer Tarayıcı Sistemi Tasarımı**, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akyol, O., Duran, Z. (2014). **Low-Cost Laser Scanning System Design**, Journal of Russian Laser Research, 35, 3, 244-251.

Altuntaş, C., Yıldız, F. (2008). **Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi**. Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 98.

Arias, P., Armesto, J., Vallejo, J., & Lorenzo, H. (2009). **Close Range Digital Photogrammetry And Software Application Development For Planarpatterns Computation**.

Duran, Z., Aydar U., (2012). **Digital modeling of world's first known length reference unit: "the Nippur cubit rod"**. Journal of Cultural Heritage, 13, 3, 352-356.

Lichti, D. D. and Gordon, S. J. (2004). **Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording**, In Proceedings of FIG Working Week, Athens, Greece, May 22-27.

Şanlıoğlu, İ., Zeybek, M., & Karauğuz, G. (2013). **Photogrammetric Survey And 3d Modeling Of Ivriz Rock Relief In Late Hittite Era**. Mediterranean Archaeology and Archaeometry, s. 147-157.

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**. 7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques: Applications in GIS, Mapping, Manufacturing, Quality Control, Robotics, Navigation, Mobile Mapping, Medical Imaging, VR Generation and Animation. Vienna, Austria, October 3-5.