

YERSEL LAZER TARAMA VERİLERİNDE ÇEVRESEL VE OBJESEL NEDENLERDEN KAYNAKLANAN HATALAR

K.Gümüş¹, H. Erkaya¹, N. Tunali¹

¹YTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Davutpaşa İstanbul, kgumus@yildiz.edu.tr

¹YTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Davutpaşa İstanbul, erkaya@yildiz.edu.tr

¹YTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Davutpaşa İstanbul, ntunali@yildiz.edu.tr

ÖZET

Yersel lazer tarama ölçümlerinden elde edilen verilerin hata kaynaklarının araştırılması, birbiriyle ilgili olan faktörlerin çok sayıda olmasından dolayı karıştırılmaktadır. Bu karışıklık, lazer tarayıcılarının farklı tasarımda olmaları, farklı dalga boyları ve farklı ışın saptırma üniteleri kullanmaları yüzünden fazlalaşmaktadır. Lazer tarayıcılarının tasarımları, birçok elektriksel ve mekanik parça kullanılması ve her bir parçanın toplam hataya olan etkileri nedeniyle oldukça karışıktır. Bununla birlikte, farklı ölçüm metodlarının kullanılması, çevreden kaynaklanan sebepler, taranan obje veya nesnenin yansıma yüzeylerinin etkileri, operatörden kaynaklanan hatalar, tarama parametrelerinin yanlış belirlenmesi, doğrudan ve dolaylı konumlardan kaynaklanan durumlar vb. etkiler hata kaynaklarına yol açmaktadır.

Ortam sıcaklığı, basınç, bağıl nem, aydınlatma, ortamın hareketliliği yani titreme gibi çevresel faktörler lazer tarama teknolojisinde önemlidir. Bu çevresel faktörlerin değişkenliğini kontrol etmek oldukça zordur. Yersel lazer tarama teknolojisinde diğer önemli bir konu obje yüzeylerinin yansırılığıdır. Lazer tarama teknolojisinin yansıtmasız bir teknik olmasından dolayı, objeye dayalı uzunluk ölçmelerinden kaynaklanan hatalar ve sinyal gürültüsü, obje yüzeyinin yansırılığına bağlıdır. Bu bildiride, yersel lazer tarama ölçümlerindeki çevresel ve objesel nedenlerin ölçüm hatalarına etkileri açıklanacaktır.

Anahtar Sözcükler: Lazer tarayıcı, Hata Analizi, Ölçme, Kültürel miras, Mühendislik Ölçmeleri

ABSTRACT

ERRORS CAUSED BY ENVIRONMENT AND OBJECT IN TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA

Investigation of the error sources of data obtained by laser scanning measurement systems is mixed due to variety of errors that interrelated each other. This complexity is increased because of different design types of terrestrial laser scanners, different wavelengths and different beam deflection units. In the design of the terrestrial laser scanners, many electrical and mechanical parts are used and, each part is affected the total error due to the mixing form of effects. In addition, the use of different surveying methods, environmental effects, effects of the scanned object or object reflecting surface, operator errors, incorrect determination of the scanning parameters, directly and indirectly positioning errors cause error sources.

Environmental temperature, pressure, relative moisture, lighting, activity of environment (vibration) and like these environmental factors are important in laser scanning technology. To check the variability of these environmental factors is very difficult. Another important issue in terrestrial laser scanning technology is surface reflections of objects. Owing to the fact that the terrestrial laser scanning is non-reflecting technology, errors based on object surveyings and signal noises depend on surface reflection. In this paper, effects of the environmental and object based errors to the surveying errors will be described.

Keywords: Laser scanner, Error Analysis, Measurement, cultural heritage, Engineering Measurement

1. GİRİŞ

Yersel lazer tarama ölçme sistemi, gelişen teknolojinin bu alanda kullanılması ve bu tekniğin uygulama alanlarının genişlemesi ile günümüzde mühendislik ölçmelerinin genişleyen dallarında, kültürel mirasın korunmasında, deformasyon ölçmelerinde vb. pek çok uygulamada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan donanımların geliştirilmesiyle elde edilen verilerin doğruluğunu ve duyarlılığını, tarama hızını, obje nesne arasındaki maksimum mesafeyi ve ölçülebilen obje hacmini arttırmak mümkün olmuştur. Bu sayede, mühendislik yapıları ve tarihi binalar gibi büyük objelerin hızlı ve etkin bir biçimde ölçülmesi sağlanmaktadır. 3B (3 Boyutlu) veri işleme ve görselleştirmedeki gelişmeler, taramalar sonucu üretilen büyük miktarlardaki noktaları kullanılabilir hale getirmiştir. Uygulamada birçok alanda karşılaşılan problemleri çözmek ve bunların gerçek modellerini oluşturmak için, ölçümler yapmak ve bunları tamamlamak gerekir. Bu ölçümler sonucu elde edilen modelleri analiz ederek, ölçülen objeler hakkında yeni bilgilere ulaşmak mümkün olmaktadır. Modelleme sürecinde elde edilen tematik ve geometrik bilgiler, obje hakkında karar vermeyi sağlamaktadır (Reshetyuk, 2006). Elde edilen bu bilginin gerçeği ile uyumlu olması ise bu

uygulamalarda büyük önem taşımaktadır. Kullanılan mevcut sistemlerde karşılaşılan sorunları en aza indiren, obje geometrisinin yüksek doğrulukla 3B ölçümüne doğrudan izin veren başka bir tekniğin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Reshetyuk, 2006).

2.YERSEL LAZER TARAMA

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. Objeye, 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 (Reshetyuk, 2006). Her nokta için, tarayıcıya bağlı koordinat sisteminde 3B koordinatları ve çok sayıda yansıtılmış lazer sinyali kayıt edilir. Bu şekilde, taraması yapılan obje yüzeyinin durumu yoğunluk verisi ile tanımlanmaktadır. 50 metrede 1.4 – 15 mm arasında tek nokta doğruluğu ile yüzlerce metre uzaklıktaki objeye, ölçüm yapabilen birçok lazer tarayıcı mevcuttur (Ingensand, 2006). Bununla birlikte sabit veya hareketli bir platformdan taramayı gerçekleştirmek de mümkündür. 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 yapılmalıdır. Objenin tamamlanmış gösterimini ve diğer mekânsal verilerle (örneğin GPS ölçümleri) entegrasyonu sağlamak için bu taramalar birleştirilir ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülür (Reshetyuk, 2006).

Yersel lazer tarayıcıların en önemli avantajları, 3 boyutlu obje geometrisini doğrudan, hızlı ve detaylı yakalama özelliği, maliyet açısından giderlerdeki önemli azalma, çok daha hızlı proje tamamlama, geleneksel tekniklerin başarısız olduğu çok karışık, ulaşılamaz ve tehlikeli alanlardaki obje ve alanlarda ölçüm yapabilme, tarama işlemlerinin çevre aydınlatmasından bağımsız olması (gece tarama yapabilme özelliği), taramada eksiksizlik ve kapsamlılık (tüm detayları tek seferde elde edebilme) ve çok amaçlı veri kullanımınıdır (Reshetyuk, 2006). Yersel lazer tarayıcıların kullanımı, bir projenin iş akışını ve kalitesini de etkiler. Yersel lazer tarayıcılar, gerçeğe yakın model elde etmek, taramalar sonucu karşılaşılan hataları en aza indirmek, ölçme doğruluğu ve duyarlılığını artırmak, veri kalitesini geliştirmek için, bazı ölçme teknikleriyle birlikte çalışabilirler. Yersel tarama ölçüm sonuçları, birçok aktiviteye referans olarak yüksek duyarlılıklı işlerde kullanılmaktadırlar. Her ölçüm tekniği gibi lazer taramanın sonuçları, farklı nedenler yüzünden hata verebilmektedir. Bu hata kaynaklarının belirlenebilmesi veri kalitesini korumak için gereklidir. Yersel lazer taramalar sonucu elde edilen veri kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Yersel lazer tarama sisteminin yeni bir teknik olmasından dolayı tüm bu faktörler bugüne kadar yeterli derecede incelenmemiştir (Baltasvias, 1999 b; Cheok, 2005; Reshetyuk, 2006).

3. YERSEL LAZER TARAMA VERİLERİNDE HATA KAYNAKLARI

Yersel lazer tarama ölçümlerinde hata kaynakları araştırmaları, hataya neden olan çok sayıda faktörün olmasından dolayı karıştırılmaktadır. Bu karışıklık, lazer tarayıcılarının farklı tasarımda olmaları, farklı dalga boyları ve farklı ışın saptırma üniteleri kullanmaları yüzünden fazlalaşmaktadır. Lazer tarayıcılarının tasarımları, birçok elektriksel ve mekanik parça kullanılması ve her bir parçanın toplam hataya olan etkileri nedeniyle oldukça karışıktır. Ek olarak, farklı ölçüm metodlarının kullanılması, çevreden kaynaklanan sebepler, taranan obje veya nesnenin yansıma yüzeylerinin etkileri, operatörden kaynaklanan hatalar, tarama parametrelerinin yanlış belirlenmesi, doğrudan ve dolaylı konumlanmadan kaynaklanan durumlar vb. gibi etkiler hata kaynaklarına yol açmaktadır. Yersel lazer tarama ölçümlerindeki hatalar, Staiger (2005) ve Reshetyuk (2006)'dan temel alınarak aletsel, objesel, çevresel ve metotsal olarak gruplara ayrılabilir. Ayrıca, Lichti ve Gordon (2004) basit olarak yersel lazer tarama hatalarını, dâhili (aletsel) ve harici (objeye ilgili, çevresel ve metotsal) olarak iki gruba ayırmışlardır. Bir diğer sınıflandırma ise, yersel taramalar sırasında göze çarpan hataları dikkate alarak, uzunluk hataları ve açısal hatalar (yatay yönler ve düşey açılar) üzerine yapılabilir. Bu hataların her biri farklı faktörler tarafından ortaya çıkmıştır. Yersel lazer tarama teknolojisinin sürekli gelişmesinden dolayı, gözlem ile ilgili hatalar son derece azaltılmıştır (Reshetyuk, 2006).

Yersel lazer tarama teknolojisinde oluşan hatalar, ayrıca tarayıcı tasarımına ve tarayıcının teknik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Kısaca aletsel hataları şu şekilde ayırabiliriz (Hebert ve Krotkov, 1992; Reshetyuk, 2006):

- Lazer telemetresi ve ışın saptırma ünitesinin fiziki yapısal özelliklerinden kaynaklanan hatalardır. Bu hatalar lazer uzunluk ölçümlerinin ve lazer taramalarının olağan sınırlamalarından dolayı yok edilemez. Kullanıcı veya mühendis çabalarıyla ortadan kaldırılamaz.
- Lazer telemetresi, ışın saptırma ünitesi ve eksen hatalarını da içinde bulunduran tarayıcı donanımındaki belirli hatalardır. Bu hatalar, sistem tasarımının geliştirilmesiyle veya kalibrasyonla yok edilebilir veya küçültülebilir.

Aletsel hatalar, lazer tarama ölçümlerini düzenli veya düzensiz olarak etkiler. Tarayıcılardaki düzenli hatalar, geleneksel ölçüm aletlerindeki farklıdır. Standartlaşmış prosedürlerle kullanıcı tarafından kontrol edilemez veya

ayarlamazlar. Lazer tarayıcının ölçüm doğruluğu, lazer telemetresi ve ışın saptırma ünitesi ile sınırlanmaktadır (Nyland, 1998).

3.1 Çevresel Hatalar

Ortam sıcaklığı, basınç, bağıl nem, aydınlatma, ortamın hareketliliği yani titreme gibi çevresel faktörler lazer tarama teknolojisinde önemlidir (Reshetyuk, 2006). Bu çevresel faktörlerin değişkenliğini kontrol etmek oldukça zordur. Bu bölümde, yersel lazer tarama ölçümlerindeki bu faktörlerin ölçüm hatalarına etkileri açıklanacaktır (Reshetyuk, 2006):

3.1.1 Lazer Işınlınının Atmosferde Yayılımı

Yersel lazer tarama teknolojisinde, özellikle çevresel faktörlerin atmosferdeki lazer ışın yayılımı üzerine önemli etkileri vardır. Işın yayılımının etkileri, geri dönen lazer atımının şekil bozulması ve lazer ışığını zayıflaması yani yoğunluk azalımı şeklinde ortaya çıkmaktadır. Lazer ışınının zayıflaması, saçılma ve emme faktörlerin sonucudur. I_R , ışının zayıflaması, şu eşitliklerle açıklanır (Wunderlich, 2003; Ratcliffe, 2005; Rueger, 1990; Reshetyuk, 2006):

$$I_R = \frac{I_0}{R^2} e^{-\gamma R} \quad (1)$$

I_0 ve I_R , yayılmış ve iletilmiş lazer parlaklık yoğunluğu, R lazer tarayıcıdan olan uzaklık, γ zayıflatma katsayısıdır. Zayıflatma katsayısı, aşağıdaki şekilde hesaplanır (Weichel, 1990):

$$\gamma = \alpha_m + \beta_m + \alpha_a + \beta_a \quad (2)$$

α ve β , emme ve saçılma katsayıları, m ve a ise hava molekülleri ve püskürtü partiküllerini gösterir. Zayıflatma derecesi, lazer dalga boyu (λ), objeye uzaklık, sıcaklık, basınç, atmosferin gaz bileşimi, hava şartları, havadaki değişik boyutlarda mikroskobik partiküllerin duruşuna dayanır. Günümüzde, lazer tarayıcılarının dalga boyu uzunluğu 500–1500 nm arasındadır. Lazer tarayıcıların atmosferik zayıflama etkileri, total station'a göre yakın mesafelerde daha azdır. Ek olarak lazer ışınının yayılımı, lazer ışığının tek renkli olmasından dolayı geleneksel kızılötesi ışığının diyotları yayılımından daha azdır. Bu şekilde lazer ışını üzerindeki atmosferik etkiler, daha iyi bir şekilde tahmin edilebilir. Yine de atmosferik şartların etkileri, özellikle yüksek duyarlılık gerektiren ölçümlerde tamamen yok sayılamaz (Price ve Uren, 1989).

3.1.2 Atmosferik Şartlar Nedeniyle Oluşan Hatalar

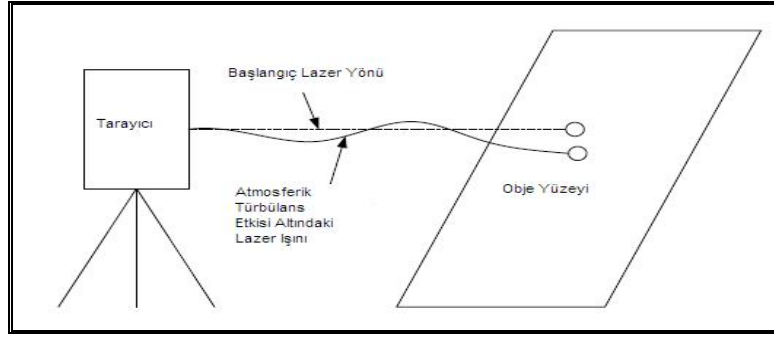
Lazer tarama teknolojisinde, yayılan lazer ışınının yayılım hızının doğru olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu hız, ısı, basınç, bağıl nem ve CO₂ içeriği olan havanın kırılma indisine bağlıdır (Reshetyuk, 2006). Genelde havanın kırılma indisi doğruluğu, atmosferik şartların belirsizlikleri yüzünden sınırlıdır. Lazer tarayıcıların uzunluk ölçme işlemleri, genellikle kısa veya birkaç yüz metreye kadar olan mesafeler için geçerlidir. Hava kırılma indisinin hesabı için uygun eşitlik, daha fazla esnekliği veren daha uzun mesafeler için verilmelidir. Bununla birlikte, atmosferik türbülansın etkileri altında değişen hava kırılma indisinden de bahsedilmelidir. Yani rüzgâr hareketleri sonucu ortaya çıkan sıradan ortam ısı dalgalanmalarından hava yoğunluk dalgalanmaları ortaya çıkmaktadır (Weichel, 1990).

Havada yayılan lazer ışınlarını etkileyen kırılma ve atmosferik türbülans etkilerinden başka, diğer bir etki ise lazer ışınının farklı sıcaklıktaki hava içerisinde yayılmasıdır. Bu faktörün etkisi örneğin endüstriyel ortamlarda dikkate alınmalıdır. Atmosferik türbülans 1 km'ye kadar olan mesafelerde yersel tarama ölçümleri üzerinde ışın gezinmesi ve ışın yoğunluk dalgalanmaları (Işın Parıldaması) gibi etkilere sahiptir. Yukarıda söz edilen terimler şu şekilde açıklanabilir (Price ve Uren, 1989; Weichel, 1990; Reshetyuk, 2006) :

1) Işın Gezinmesi

Başlangıç yayılma yönüne göre, ışın yönünün değişmesidir. Lazer ışını, izlemesi gereken yoldan gelişigüzel yönde sapar ve lazer spot çapı sabit olarak kalır. Lazer ışın geziniminin ışınal değişikliği $\sigma_{r_gezinim}^2$, aşağıdaki formülle ifade edilir. λ lazer dalga boyudur, R objenin uzaklığıdır ve C_n türbülansın büyüklüğüne dayanan kırılma indisinin yapı katsayısıdır. Farklı atmosferik türbülans için C_n 'nin tipik değerleri kullanılmaktadır (Reshetyuk, 2006).

$$\sigma_{r_gezinim}^2 = 1.83.C_n^2 \lambda^{-1/6} R^{17/6} \quad (3)$$



Şekil 1: Işın gezinmesi (Weichel 1990).

2) Işın Yoğunluk Dalgalanmaları (Işın Parıldaması)

Gaussian (wavefront) bozulumu, dağılma ve kırılma ile ortaya çıkar. Lazer spotun, ufak sıcak spotlara kırılıp ayrılmasıyla sonuçlanır. Parıldama yer yüzeyi tipine ve alet boyuna bağlıdır (Price ve Uren, 1989). Yersel lazer tarama ölçümlerindeki ortam ısı etkisi üzerine, bazı başka gözlemler yapılabilir. Lazer tarayıcılar, belli sıcaklıklar arasında tarama işlemi gerçekleştirmektedir. Ortamın sıcaklığı, bu sıcaklık değerlerinin dışında veya hatta sınıra yakın bir değer olsa dahi tarayıcının düzgün çalışmasını engellemektedir. Sıcaklığın tarayıcılar üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, sıcaklığın 0°C'den çok az yüksek olduğu bir ortamda, Leica HDS 2500 tarayıcısının çalışmadığı gözlenmiştir (Reshetyuk, 2006). Ayrıca, sıcak havada tarayıcıyı gölgelemek önemlidir. Böylece direkt gün ışığının tarayıcının sıcaklığını artırması, engellenmiş olur (Leung ve Wan, 2004).

3.1.3 Kötü Hava Koşullarının Ölçümlere Etkisi

Yukarıdaki bölümde, normal ortam koşulları altında, lazer tarayıcıların çalıştırılması gerektiği belirtilmiştir. Durum kötü ortam koşullarında karşılaşıldığında farklıdır. Kötü hava koşulları, veri kalitesini büyük miktarda azaltır. Yersel lazer tarayıcı içeriğinde bu koşullar pus, sis ve yağmurdur. Özellikle soğuk ortam koşulları ve karlı ortamlardan bahsedilmeyecektir. Çünkü birçok lazer tarayıcı, birkaçı haricinde 0° altında çalışmazlar. Sıfırın altında çalışabilen lazer tarayıcılara örnek olarak Riegl LMS -210i verilebilir (Reshetyuk, 2006).

Deniz seviyesindeki 100 m uzunluk için 500–1500 nm dalga boyu mesafesi içerisinde normal atmosferik koşullarda, zayıflatma katsayısı 0.21 den 0.16 ya değişir (Reshetyuk, 2006). Pus, sis ve yağmurda zayıflatmanın ana sebebi dağılımdır. Pus ve sis için havada bulunan partiküller, lazer dalga boyu ile orantılıdır. Pus ve sis mevcudiyeti, zayıflatma katsayısının önemli derecede arttırmaya neden olur. Örneğin orta derecede pus için zayıflatma katsayısı yukarıda bahsedilen dalga boyu mesafesinde 0.85 ve 0.47 arasında değişir (Reshetyuk, 2006). Zayıflatma, siste daha güçlü olacaktır. Yağmurun zayıflatma etkisi, yağış miktarının oranına bağlı olacaktır. Taramada kötü ortam koşullarında ayrılma pikselleri ve yanlış dönüşler oluşmaktadır. Ayrılma pikselleri, dönen lazer atımı, alıcıyı tetiklemede çok zayıf olduğunda oluşur. Sıfır veya maksimum uzunluk değeri, bu piksel için kaydedilir. Bu yaklaşım doğrudan zayıflatma ile ilgilidir. Yanlış dönüşler ise, lazer ışını havadaki düşen yağmur damlaları, duman veya sis tarafından dağıtıldığında oluşur ve alıcıyı tetikleyecek kadar geniştir. İletilen lazer enerjisinin bir kısmı partiküller tarafından ve kalanlar ise obje yüzeyinden yansıtılır. Bu çoklu dönüş atımlarında oluşan bir durumdur. Şiddetli yağmurda yanlış dönüş miktarı oldukça artar ve veri oldukça kirlenir. Bu yaklaşıma, çoklu alan etkisi de denir (Grandham, 1999; Reshetyuk, 2006). Bu ayrıca toz ve buharın olduğu ortamlarda da ortaya çıkabilir

3.2 Objeye İlgili Hatalar

Bu bölümdeki hatalar, taranmış objeye alakalıdır. Bu hataların en önemli kaynağı, obje yüzeyinin yansırılığıdır. Yersel lazer taramanın, yansıtmasız ölçüm tekniği olmasından dolayı, uzunluk ölçümlerinin sonuçlarını ve SNR(Sinyal gürültü oranı)'yi büyük ölçüde etkileyen nedenlerin, yansırılığa dayandığı söylenebilir (Reshetyuk, 2006). Yansırılık, yansıtılan sinyal ile lazer gücü arasındaki oran olarak tanımlanmıştır. Objenin materyal özellikleri, elektrik geçirgenliği, manyetik geçirgenliği ve iletkenliği, yüzeyin rengi, lazerin dalga boyu lazer ışınının geliş açısı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyin nemi gibi faktörlerin fonksiyonudur (Nayar vd. 1989; Jelalian, 1992; Matta, 1993; Lichti ve Harvey, 2002; Ingensand, 2003; Ingensand, 2006; Reshetyuk, 2006).

Yansıtılmış lazer yoğunluğu ve yüzey yansırılığı arasındaki ilişki, formül (4)'deki Lambertian yansırılık modeli ile tanımlanmaktadır (Reshetyuk, 2006):

$$I_{\infty} \frac{\rho \cos \beta}{R^2} \quad (4)$$

I yansıtılan lazer ışınının yoğunluğu, ρ yüzeyin yayılmış yansıma katsayısı, β ışın geliş açısı ve R objenin uzunluğudur. Lambertian modeli, yayılım yansırılıklarını tanımlamak için uygundur. Farklı yansırılıktaki yüzeyler ölçülen uzunluktaki ofsetlerle tanımlanır. Yüzey yansırılığı üzerindeki lazer telemetresi tarafından ölçülen uzunluğun bu bağımlılığına uzunluk/ yansırılık karışması denir (Reshetyuk, 2006). Yüksek yansırılıklı yüzeyler (parlak), lazer enerjisinin daha geniş bir parçasını yansıttığı için, düşük yansırılıklı yüzeylerden daha güvenilir ve duyarlı uzunluk ölçümleri verirler. Yüksek yansırılıkla ölçülmüş yüzeylerin uzunluk duyarlılığı, yüzeye mesafesi ile çok fazla değişmez. Eğer obje yansırılığı çok yüksekse (metal yüzeyler, uyarıcı renkler, yüksek yansırılıklı bantlar vb.) veya çok düşükse, uzunluk tamamıyla kaydedilmeyebilir veya kabul sınırlarını aşan bir değerle kaydedilir (Reshetyuk, 2006). Yüzey yansırılığı, lazer dalga boyuyla ilgilidir. Farklı dalga boylarında taranmış farklı materyallerin yüzey yansırılığı farklı olacaktır. Yüzeyin yansırılık özellikleri, sadece ölçülmüş uzunluğun güvenilirliği değil aynı zamanda maksimum uzunluk ölçütlerini de belirler. Maksimum uzunluk ölçümleri, üretici firmalar tarafından, tarayıcıların genel özelliklerinde belirtilmektedir. Yansımanın yanında, bir lazer ışını taranacak objenin materyaline bağlı olarak değişik yol izleyebilir. Lazer ışını, bazı materyallere işleyebilir (örneğin tahta, mermer) ya da materyalin kendi içinde yansıyabilir veya materyal lazer ışığını kırabilir. Bu gibi faktörlerin çeşitli etkileri, sistematik hatalara neden olacaktır. Yersel lazer tarama ile elde edilen uzunluk doğruluğuna yüzey yansımasının etkisi, birkaç mm civarındadır (Hebert ve Krotkov 1992; Reshetyuk, 2006). Yersel lazer taramada ölçümleri etkileyen objeyle ilgili ek faktörler, boyut, eğim ve yönlendirilmedir (Staiger, 2005; Ingensand, 2006; Reshetyuk, 2006).

4. SONUÇLAR

Değişen ve gelişen dünyada, teknolojik ve bilimsel gelişmelerin yadsınamaz etkisi ölçme sistemleri ve aletlerinin gelişimini de önemli ölçüde etkilemekte ve geliştirmektedir. Bu koşullar altında, ölçme alet donanım ve elde edilen verinin işlenmesi ve analizine olanak sağlayan yazılımların gelişimi bu alanda büyük gelişmelerin ve ilerlemelerin kaydedilmesine olanak sağlamaktadır. Yersel lazer tarama sistemleri, son dönemlerde kullanımı ve olanak sağladığı yararları ile yaygın olarak kullanılmaya başlayan ve kullanım alanlarını genişletmeye devam eden bir sistem haline gelmiştir. Yersel lazer tarama sistemlerinin doğru anlaşılması ve elde edilen verinin doğru bir şekilde işlenmesi, analiz edilmesi ve yorumlanabilmesi için alet ve sistemin, bu çalışmada da bahsedilen hata kaynaklarının doğru bir şekilde algılanıp değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, yersel lazer tarama sistemlerinde çevresel ve objeye dayalı olarak ortaya çıkan hata kaynaklarının taramalar sonucu elde edilen verilere etkilerinin değerlendirilmesi ve ortaya konmasını amaçlamıştır.

KAYNAKLAR

- Baltsavias, E. P., 1999. *Airborne laser scanning: basic relations and formulas*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, sayı: 54, sayfa: 199 – 214.
- Cheok, G. S. (Ed.), 2005. *Proceedings of the 2nd NIST LADAR Performance Evaluation Workshop, March 15 – 16. NISTIR 7266*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Ekim.
- Grantham J. W., Stargardt, C. D., Dungey, C. ve Meidunas, E., 1997. *Laser Radar in Adverse Weather*, SPIE Proceedings, sayı: 3065, sayfa: 84 – 93.
- Gümüş, K., 2008. *Yersel Lazer Tarayıcılar Ve Konum Doğruluklarının Araştırılması* Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hebert, M. ve Krotkov, E., 1992. *3D measurements from imaging laser radars: how good are They?*, Image and Vision Computing, sayı: 10, No. 3, sayfa: 170 – 178.
- Ingensand, H., Ryf, A. ve Schulz, T., 2003. *Performances and experiences in terrestrial laserscanning. In Optical 3-D Measurement Techniques VI*, A. Grün / H. Kahmen
- Ingensand, H. 2006. *Methodological aspects in terrestrial laser-scanning technology*, 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.
- Leung, G. ve Wan, F., 2004. *Modern technology in land surveying: 3D laser scanning*.
- Lichti, D. D. ve Gordon, S. J., 2004. *Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording*. In Proceedings of FIG Working Week, 22 – 27 Mayıs, Atina Yunanistan
- Nyland, L. S., 1998. *Capturing Dense Environmental Range Information with a Panning Scanning Laser Rangefinder*. In IEEE Proceedings

Price, W. F. ve Uren, J., 1989. *Laser surveying*, VNR International, Londra. 256 p.

Ratcliffe, S., 2005. *A digital signal processing technique for time-of-flight laser ranging*. In *Optical 3-D Measurement Techniques VII*, A. Grün / H. Kahmen (Eds.), sayı: II, sayfa: 359 – 364.

Reshetyuk, Y., 2006. *Calibration of terrestrial laser scanners Callidus 1.1, Leica HDS 3000 and Leica HDS 2500*, Accepted for publication in Survey Review.

Reshetyuk, Y., 2006. *Calibration of terrestrial laser scanners for the purposes of geodetic engineering*, 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.

Reshetyuk Y. 2006. *Investigation and calibration of pulsed time-of-flight terrestrial laser scanners* Licentiate thesis in Geodesy Royal Institute of Technology (KTH) Department of Transport and Economics Division of Geodesy

Reshetyuk, Y., Horemuz, M. ve Sjöberg, L. E., 2005. *Determination of the optimal diameter for spherical targets used in 3D laser scanning*, Survey Review, 38, 297,

Rueger, J. M., 1990. *Electronic distance measurement*, An Introduction. 3rd totally revised edition, Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – Londra – Paris – Tokyo – Hong-Kong. 266 p.

Staiger, R., 2005. *The Geometrical Quality of Laser Scanner (TLS)*, In Proceedings of FIG Working Week 2005 and GSDI-8, 16 – 21 Nisan, Kahire, Mısır.

Weichel, H., 1990 *Laser beam propagation in the atmosphere*, SPIE Optical Engineering Press. 98 p.

Wunderlich, T. A., 2003. *Terrestrial Laser Scanners – an Important Step towards Construction Information*, FIG Working Week, 13 – 17 Nisan, Paris, Fransa.