



## Teknik Not

# YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ

H.Murat Yılmaz<sup>a</sup>, Murat Yakar<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü  
Aksaray

<sup>b</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü  
Konya

## ÖZET

Bilgisayar teknolojisindeki son gelişmeler 3D model oluşturmada sürekli yenilikler getirmektedir. Yersel lazer tarayıcılar 3D modelleme için etkili bir ölçme teknolojisi olarak mevcut sistemlere rakip veya alternatif olarak hızla gelişmektedir. Yersel lazer tarayıcılar çok kısa bir zaman periyodunda milyonlarca noktanın 3D koordinatlarını elde edebilmektedirler. Bu sistemler lazerin taradığı yüzeydeki nokta kümelerinin doğrudan ölçümlerini elde etmektedirler.

Yersel fotogrametri ile kıyaslandığında bazı dezavantajları olmasına rağmen bir çok avantaja sahiptir. Ancak yapılan çalışmalar 3D obje modellemede her iki teknolojinin birlikte kullanılmasının en iyi çözümü verdiğini göstermektedir.

Yersel lazer tarama yüksek çözünürlüklü 3D model oluşturmak için gerekli nokta kümelerini kısa sürede ve düşük maliyette elde edebilen bir teknolojidir. Bu sistem kompleks yapıdaki bir objenin 3D koordinatlarını otomatik olarak elde edebilmektedir. Bu çalışmada yersel lazer tarama teknolojisinin temel özellikleri ve kullanım alanları kısaca tanıtıldı.

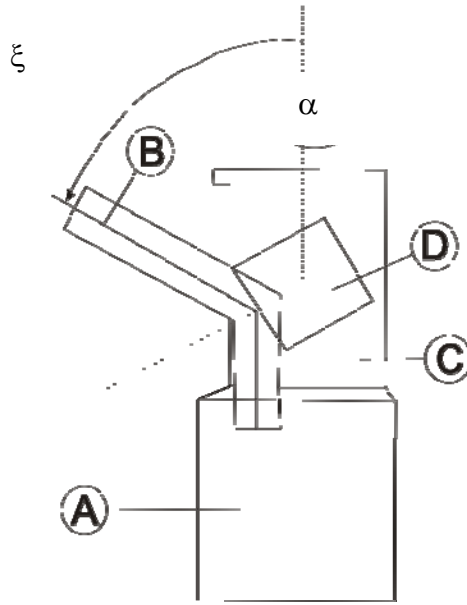
## 1. GİRİŞ

Son yıllarda lazer tarama sistemlerinin 3D modelleme çalışmalarında kullanımı hızla artmaktadır. Bu sistemde kompleks yapıdaki objelerin modellemesi nokta kümeleri yardımı ile yapılmaktadır. Bütün nokta kümelerindeki noktalar 3D koordinatlara sahiptir. Binlerce 3D boyutlu nokta ilgili obje yüzeyinde birkaç dakikada elde edilebilmektedir. Yersel fotogrametri bu amaç için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Yersel lazer tarama 3D obje modellemede oldukça yeni bir metottür. Yersel lazer tarama teknolojisinin bazı dezavantajları olmasına rağmen önemli avantajları da vardır. Bu avantajlar 3D noktaların doğrudan elde edilmesi, düzensiz yapıdaki objelerin tanımlanmasında oldukça etkili olması ve sonuçların kısa sürede elde edilmesi olarak sıralanabilir. Mesafe sınırlaması, görüntü maliyetinin yüksek olması ve objeye ait öz nitelik verilerinin elde edilememesi başlıca dezavantajlarıdır (Demir v.d., 2004).

Yersel lazer tarama teknolojisinde sayısal yükseklik modelleri nokta kümeleri yardımı ile elde edilir. Rektifiye edilen görüntü ile sayısal yükseklik modeli üst üste bindirilerek ortofotolar elde edilir. Bu sistemdeki interaktif modelleme fotogrametrik sistemlerden daha kolay yapılmaktadır. Operatör bu sistemde fotogrametrik değerlendirmeyi plan üzerinde yapar.

## 2. YERSEL LAZER TARAYICILAR

Yersel lazer tarama teknolojisinin en önemli bileşeni yersel lazer tarayıcıdır. Bir yersel lazer tarayıcı yatay ve düşey yönde dönebilen bir mekanizmaya sahiptir. Modüle edilen lazer ışını aletin elektronik biriminden çıkar ve büyük bir hızla dönen optik kısma çarpar. Bir ayna gibi hareket eden bu optik birim yüzeyindeki ışın yansıtılır ve özel bir açı ( $\xi$ ) ile aletten çıkar. Lazer tarayıcı bu açığı elde ettikten hemen sonra bir sonraki açığı elde etmek için düşey eksen etrafında çok küçük bir açı ( $\Delta\alpha$ ) ile döner (şekil 1) (Vozikis v.d., 2004). Bu işlem periyodik olarak tarama işlemi bitene kadar devam eder. Bu taramalar esnasında büyük bir noktalar kümesi elde edilir ve bu noktalar kümesindeki her bir nokta kutupsal koordinatlarla ( $\xi$ ,  $\alpha$  ve  $r$  – objeye ile tarayıcı arasında ölçülen mesafe) tanımlanır. Son üretilen lazer tarayıcılar geometrik konumların yanında her bir noktanın radyometrik yoğunluklarını da kayıt etmektedirler.



Şekil 1, Yersel Lazer Tarayıcının Genel Yapısı

Yersel lazer tarayıcıları sınıflandırmak zordur. Lazer tarayıcılar ya ölçme prensibine ya da teknik özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Bütün uygulamalarda kullanılabilen bir yersel lazer tarayıcı tanımlamak oldukça zordur. Bazı yersel lazer tarayıcılar kapalı mekânlar ve orta mesafelerde (100 m ye kadar) uygun olurken bazı yersel lazer tarayıcılar açık mekânlarda ve daha uzun mesafelerde daha uygundur. Bu nedenle uygulamaya bağlı olarak en uygun yersel lazer tarayıcının seçilmesi gerekir. Yersel lazer tarayıcılar mesafe ölçümü için üç farklı teknoloji kullanır.

Bugün yersel lazer tarayıcılar için en popüler mesafe ölçme sistemi “time of flight” prensibidir. Bu teknik birkaç 100 m ye kadar olan belirli mesafelerin ölçülmesini sağlar. Bunun yanında faz ölçme prensibi orta mesafeler için başka bir ortak tekniktir. Bu teknikte mesafe 100 m ile sınırlıdır. Ölçülen mesafe doğruluğu birkaç mm’dir. Bazı yersel lazer tarayıcılar birkaç m ye kadar ölçü yapabilirler. Bunlar daha çok endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar. Bu tip yersel lazer tarayıcılar da kullanılan mesafe ölçme prensibi optik üçgenlemedir. Bu ölçmedeki doğruluklar birkaç mikron seviyesindedir. Yersel lazer tarayıcılar teknik özelliklerine göre sınıflandırılırsa bu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Fröhlich v.d., 2004; Schulz v.d., 2004).

- Tarama hızı, lazer ölçme sisteminin örnekleme oranı
- Görüş alanı
- Konumsal çözünürlük (mesela görüş alanında taranan nokta sayısı)

-Mesafe ölçme sisteminin doğruluğu

-Diğer aletlerle ( Kamera, GPS gibi) kombinasyonu

Tablo 1' de yersel lazer tarayıcıların ölçme prensibine bağlı olarak bir sınıflandırılması görülmektedir.

Tablo 1, Yersel Lazer Tarayıcıların Sınıflandırılması

Ölme Sistemi	Mesafe (m)	Doğruluk (mm)
Time of flight	<100	<10
	<1000	<20
Faz Ölçümü	<100	<10
Optik Üçgenleme	<5	<1

### 3. YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ

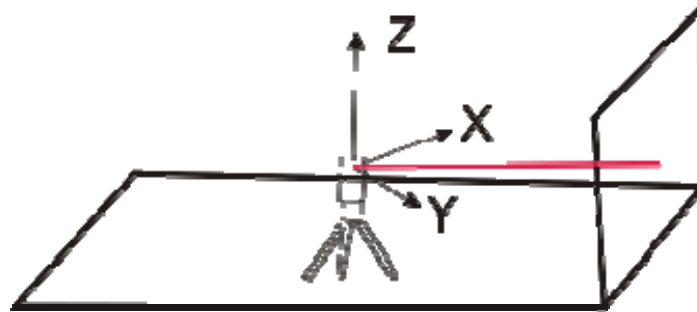
Yersel lazer tarama teknolojisi son yıllarda gelişen ve objelerin 3D boyutlu modellemesinde kullanılan bir teknolojidir. Bu teknolojiye kullanılan yersel lazer tarayıcı birkaç saniyede binlerce noktayı elde edebilen motorize bir total station olarak dikkate alınabilir. Lazer tarayıcı çalıştırıldığında ölçülen noktalar dahili bir koordinat sisteminde koordinatlandırılır (Şekil 2) (Bornaz v.d., 2004). Bu koordinat sistemi bir kutupsal koordinat sistemidir. Lazer tarafından ölçülen mesafe  $r$ , lazer tarayıcının optik birimindeki aynanın dönüş açısı  $\xi$  ve tarama esnasında lazer tarayıcının konum açısı  $\alpha$  olarak adlandırılırsa lazer kutupsal koordinat sisteminden lazer kartezyen koordinat sistemine dönüşüm aşağıdaki denklemlerle yapılır.

$$x=r \cdot \sin \xi \cdot \cos \alpha$$

$$y=r \cdot \sin \xi \cdot \sin \alpha$$

$$z=r \cdot \cos \xi$$

(1)



Şekil 2, Bir Yersel Lazer Tarayıcının Dahili Koordinat Sistemi

Lazer eksenleri imalattan dolayı mükemmel bir şekilde aynı hizada değildir, ayna dönüş eksenini ( $\xi$  açısı) ve lazer tarama eksenini ( $\alpha$  açısı) kesişmez bu nedenle ilk lazer kutupsal koordinatları lokal lazer kartezyen koordinat sistemine dönüştürmek için bu farkın düzeltilmesi gerekir. Dönüşüm için gerekli bağıntı aşağıda tanımlanmıştır. Lazer kartezyen koordinat sisteminin orijininin dönen ayna ( $\xi$  açısı) tarafından tanımlanan eksen üzerinde,  $r_0$  mesafe ölçümündeki kayıklık ve  $\alpha_d$  tarayıcının dönme eksenindeki kayıklık olarak kabul edilirse,

$$x_e = r_0 \cdot \cos \alpha_d$$

$$y_e = r_0 \cdot \sin \alpha_d$$

$$X_l = r \cdot \sin \xi \cdot \cos \alpha + x_e \cdot \cos \alpha + y_e \cdot \sin \alpha$$

$$Y_l = r \cdot \sin \xi \cdot \sin \alpha + x_e \cdot \sin \alpha - y_e \cdot \cos \alpha$$

$$Z_l = r \cdot \cos \alpha$$

(2)

Lazer tarayıcı objeyi tararken sabit ise birkaç kontrol noktası yardımı ile bir harita koordinat sistemine dönüşüm aşağıdaki bağıntı ile yapılır (Talaya v.d., 2004).

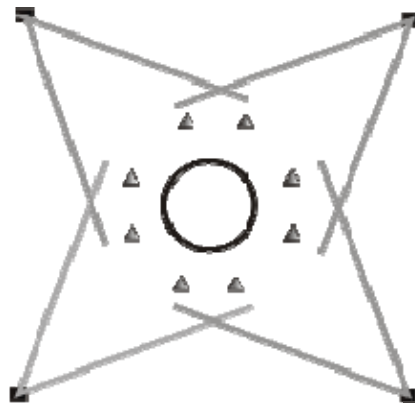
$$\begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix}_{\text{dönüşüm}} + M_l^m \begin{bmatrix} X_l \\ Y_l \\ Z_l \end{bmatrix} \quad (3)$$

$M_l^m$ : Dönüklük matrisi

$\begin{bmatrix} X_l \\ Y_l \\ Z_l \end{bmatrix}$ : Objeye üzerindeki her bir lazer noktasının koordinatı

Objeye, yüzeyinin tam olarak taranabilmesi için genellikle farklı noktalardan taranır (Şekil 3) (Impyeong v.d., 2004). Bu durumda taramalarda objeye köşelerinde bindirme olmasına dikkat edilmelidir. Bu işlem farklı noktalardan taranana objeye yüzeylerinin hassas bir şekilde birleştirilmesi için gereklidir. Tarayıcının konumlandırıldığı noktaların koordinatları jeodezik ölçmelerle belirlenir. Objeye noktalarının doğrudan koordinatlandırılmaları gerektiğinde tarayıcının her konumuna karşılık gelen yöneltme açılarının ve koordinatlarının bilinmesi gerekir. Ölçülen noktaların koordinatlarının doğruluğu tarayıcının konum ve yöneltme elemanlarının doğruluğuna oldukça bağlıdır. Ayrıca doğruluk yansıyan lazer ışınlarının yoğunluğuna da bağlıdır. Objeye yüzeyinin özelliği ve ışının yüzeye gidiş açısı da önemli bir etkidir.

Tarayıcının konum ve yöneltmeleri bilinmiyorsa bunların yer kontrol noktaları yardımı ile dolaylı olarak hesaplanması gerekir. Yer kontrol noktaları olarak genellikle geri yansıtıcı işaretler kullanılır ve bunlar çok yüksek kontrastlı ve tek parça olduklarından görüntü üzerinde otomatik olarak bulunabilir. Her bir taramanın 6 yöneltme parametresinin hesaplanması için her bir taramada en az 3 yer kontrol noktasına ihtiyaç vardır. Farklı taramaların nokta kümelerini birleştirmek için bağlantı noktalarına ihtiyaç vardır. Genellikle bunlar da geri yansıtıcı işaretlerdir (koordinatları bilinmez) ve değerlendirme işlemi sırasında sistem tarafından otomatik olarak bulunurlar.



■ Lazer tarayıcı istasyonları ▲ Yer kontrol noktaları

Şekil 3, Lazer Tarayıcı ve Yer Kontrol Noktalarının Konumu

#### 4.YERSEL LAZER TEKNOLOJİSİNİN KULLANIM ALANLARI

Yersel lazer tarama teknolojisi 3D modellemeye ilişkin bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu teknolojiyi yoğun olarak aşağıda belirtilen alanlarda kullanılmaktadır (Alshawabkeh v.d., 2004; Biteli v.d., 2004; Bornaz v.d., 2004; Guarnieri v.d., 2004; Hala v.d., 2004; Kadobayashi v.d., 2004; Sternberg v.d., 2004; Yokoyama v.d., 2004).

- Madencilik endüstrisinde,
- Endüstriyel yapıların belgelenmesinde,
- Arkeolojide,
- Mimarlıkta,
- Tarihi ve kültürel mirasların arşivlenmesi ve korunmasında,
- Otomotiv endüstrisi ve robotik uygulamalarda,
- Ölçme ve CBS uygulamalarında,
- Sahil şeridi tespit çalışmalarında,
- Volkanik gözlemlerde,
- Ormancılık çalışmalarında,
- Deformasyon çalışmalarında,
- Çevresel uygulamalarda.

#### 5. SONUÇLAR

Bir çok alanda 3D model oluşturma çalışmalarına yeni bir boyut getiren yersel lazer tarama teknolojisi günümüzde aratan bir hızla kullanılmaya başlamıştır. Özellikle tarihi kültürel ve turistik mirasların korunması, röleve çalışmaları ve arşivlenmesi çalışmalarında daha hızlı ve daha pratik olması açısından önem arz etmektedir. Ancak bu konuda yapılan çalışmalar yersel lazer tarama teknolojisinin digital fotogrametri ile birlikte kullanılmasının bu süreçte daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu nedenle bu teknolojinin yukarıda açıklanan uygulama alanlarında ülkemizde de kullanılarak mevcut durumunun ortaya konmasında önemli fayda görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Alshawabkeh, Y., Haala, N., 2004, "Integration of Digital Photogrammetry and Laser Scanning for Heritage Documentation", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG 4, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [2] Bitelli, G., Dubbini, M., Zanattu, A., 2004, "Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry Techniques to Monitor Landslide Bodies" ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/2, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [3] Bornaz, L., Lingua, A., Rinaudo, F., 2004, "Engineering and Environmental Applications of Laser Scanner Techniques", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/4, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [4] Demir, N., Bayram, B., Alkış, Z., Helvacı, C., Çetin, I., Vögtl, T., Ringle, K., Steinle, E., 2004, "Laser Scanning for Terrestrial Photogrammetry, Alternative System or Combined with Traditional System", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/2, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [5] Fröhlich, C., Mettenlatter, M., 2004, "Terrestrial Laser Scanning- New Perspectives 3D Surveying", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/4, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [6] Guarnieri, A., Vettori, A., El-Hakim, S., Gonzo, L., 2004, "Digital Photogrammetry and Laser Scanning in Cultural Heritage Survey", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/2, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [7] Haala, N., Reulke, R., Thies, M., Aschoff, T., 2004, "Combination of Terrestrial Laser Scanning with High Reslution panoramic Images for Investigations in Forest Applications and Tree Species Recognition", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/4, 12-23 July 2004, İstanbul.

- 
- [8] Impyeong, L., Yunsoo, C., 2004, "Fusion of Terrestrial Laser Scanner Data and Images for Building Reconstructions", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/4, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [9] Kadobayashi, R., Kochi, N., Otani, H., Furukawa, R., 2004,"Comparison and Evaluation of Laser Scanning and Photogrametry and Their Combined use for Digital Recording of Cultural Heritage", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/4, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [10] Schulz, T., Ingesand, H., 2004, "Terrestrial Laser Scanning-Investigations and Applications for High Precision Scanning", FIG Working Week, 22-27 May, Athens.
- [11] Sternberg, H., Kersten, Th., Jahn, I., Kinzel, R., 2004,"Terrestrial 3D Laser Scanning Data Acquisition and Object Modelling for Industrial as- Built Documentation and architectural Applications", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/4, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [12] Talaya, J., Alamus, R., Bosch, E., Serra, A., Kormus, W., Baron, A., 2004,"Integration of A Terrestrial Laser Scanner with GPS/IMU Orientation Sensors", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/4, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [13] Yokoyama, H., Chikatsu, H., 2004, "3D Modeling for Historical Structure Using Terrestrial Laser Ranging Data", ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/4, 12-23 July 2004, İstanbul.
- [14] Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E., Kraus, K., 2004, "Laser Scanning: A New Method for Recording and Documentation in Archaeology", FIG Working Week, 22-27 May, Athens.