

## Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutlarının Jeodezik Koordinat Sistemine Dönüştürülmesi (Georeferencing Methods for Terrestrial Laser Scanner Point Clouds)

Ferruh YILDIZ, Cihan ALTUNTAŞ

Selçuk Üniversite Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jedodezi ve Fotogrametri  
Mühendisliği Bölümü, 42075 Selçuklu, Konya  
fyildiz@selcuk.edu.tr

### ÖZET

Lazer tarayıcı ölçüleri tarayıcı alet merkezli yerel koordinatlarıdır. Bu ölçülerin fotogrametrik ve topoğrafik ölçülerle yada başka taramalarla birleştirilebilmesi için ölçülerin ortak bir koordinat sisteminde ifade edilmesi gerekir. Jeodezik koordinat sistemi bütün ölçme uygulamalarında kullanılan genel bir koordinat sistemidir. Lazer tarayıcı ölçülerinin jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesinde tarayıcı alete ve ölçme alanına bağlı olarak farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, lazer tarayıcı ölçülerinin jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi yöntemleri açıklanmış ve iki örnek çalışma yapılmıştır. Bağımsız model triyngulasyonu ve 3B konform dönüşüm yönteminde 4 adet yer kontrol noktası (YKN) ile sırasıyla 3.4cm ve 2.3cm ortalama hata ile jeodezik koordinatlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Jeodezik Koordinat, Yersel Lazer Tarayıcı, Nokta Bulutu, 3B dönüşüm, 3B modelleme.

### ABSTRACT

Terrestrial laser scanner data has got local coordinates. Too many scanning are performed from different stations to built 3D model of any object. They are registered into uniform coordinate system to obtain 3D model. All laser scanning data must be registered into prevalent coordinate system to combine other measurements. Georeferencing is prevalent coordinate system used to many survey applications. All survey data obtained different methods and time can be combined without neccessary any extra survey. In this study, georeferencing methods of terrestrial laser scanner data were explained with two experimental studies. Register of point clouds into geodetic system was performed by 4 points in independent model triangulation and 3D conformal transformation and  $\sigma_0$  was obtained 3.4cm and 2.3cm respectively.

**Key Words:** Georeferencing, Terrestrial Laser Scanner, Point Cloud, 3D Register, 3D Modelling.

### 1. GİRİŞ

YLT'larla ölçülen alanın 3B nokta bilgileri (x,y,z) ve yansıma değerleri çok sık aralıklarla kısa sürede ölçülür. Eğer tarayıcı alette kamera bulunuyorsa ölçülen noktalara renk değeri de atanabilir. Bu aletler, kültürel varlıkların belgelenmesinde, 3B modellemede, deformasyon

ölçmelerinde, planlama çalışmalarında ve diğer ölçme uygulamalarında giderek artan bir oranda kullanılmaktadır.

Tarayıcı aletten elde edilen ölçme verileri tarayıcı alet merkezli yerel koordinatlarıdır. Bu nedenle, aynı obje için değişik noktalardan yapılan çok sayıda taramanın ortak bir koordinat sisteminde birleştirilmesi gerekir. YLT ölçülerinin herhangi bir koordinat sistemine göre birleştirilmesi durumunda bu ölçülerin başka ölçülerle entegrasyonu için ek ölçü yapılması gerekir. Bu nedenle eğer bütün taramalar ortak bir koordinat sistemine dönüştürülürse ek ölçü yapmaya gerek kalmadan hem başka lazer taramaları hem de diğer yöntemlerle elde edilmiş ölçüler birleştirilebilir. Jeodezik koordinat sistemi bunun için uygun bir koordinat sistemidir.

Bu çalışmada, YLT ölçülerinin jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi yöntemleri araştırılmış ve iki örnek uygulama yapılmıştır. 2. bölümde YLT ölçülerinin birleştirilmesi yöntemleri özetlenmiş, 3. bölümde jeodezik koordinatın önemi açıklanmış, 4. bölümde jeodezik koordinat sistemine dönüşüm yöntemleri detaylı olarak açıklanmış, 5. bölümde örnek uygulamalar yapılmış, 6. bölümde çalışmanın sonuçları özetlenmiştir.

### 2. YERSEL LAZER TARAYICI ÖLÇÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ

Tarayıcı alet merkezli ve her istasyonda başka bir doğrultuya yönlendirilmiş nokta bulutlarının birleştirilmesi için değişik teknikler kullanılmaktadır. En popüler yöntem iteratif en yakın nokta (Iterative Closest Point) yöntemidir. İteratif en yakın nokta yöntemi Besl ve McKay (1992) ve Chen ve Medioni (1992) tarafından ortaya konulmuş, Zhang (1994) yöntemi daha da geliştirmiştir. Yöntemin çok sayıda değişik uygulamaları yapılmıştır (Sharp, vd., 2002; Chetverikov, vd., 2002). Bu yöntemde birleştirilecek iki nokta bulutundan birisi referans diğeri onun alt kümesi olarak alınır ve referans nokta bulutunun her noktası için diğeri nokta bulutunda en yakın nokta aranır. En yakın nokta

Euclidean mesafesi en kısa olan noktadır. İki nokta kümesi arasındaki rijit dönüşüm parametreleri en yakın nokta çiftleri ile hesaplanır ve nokta bulutlarından birisi için bu dönüşüm parametreleri uygulanır. İşlem bu şekilde nokta kümeleri arasındaki Euclidean mesafeleri minimum oluncaya kadar iteratif olarak devam eder. Bu yöntemde nokta kümeleri arasındaki 6 dönüşüm parametresi ( $\omega, \phi, \kappa, x_0, y_0, z_0$ ) hesaplanır. Nokta kümeleri arasındaki ölçek faktörü 1 olarak alınır. İteratif en yakın nokta yönteminin matematiksel modeli nokta bulutları arasındaki yaklaşık dönüşüm parametrelerinin önceden bilinmesini gerektirir. Eğer ilk yaklaşık değerler iyi seçilirse 5-10 iterasyondan sonra sonuca ulaşılır.

Nokta bulutlarının birleştirilmesinde ve 3B yüzey eşlemede kullanılan diğer bir yöntem en küçük karelerle 3B yüzey eşleme (Least Square 3D Matching) metodudur (Gruen ve Akca, 2005). En küçük karelerle 3B yüzey eşleme yöntemi, lazer tarayıcı yada başka araçlarla taranan bindirmeli yüzeylerin en küçük kareler yöntemi ile eşlenmesine dayanır. Bu yöntemde bindirmeli yüzeyler aralarındaki mesafeler minimum olacak şekilde eşleştirilir. Eşlenik yüzeyler arasındaki 7 adet dönüşüm parametresi ( $\lambda, \omega, \phi, \kappa, x_0, y_0, z_0$ ) 3B benzerlik dönüşümü ile hesaplanır (Gruen ve Akca, 2005). Bu yöntemin matematiksel modeli yüzeyler arasındaki dönüşüm parametrelerinin yaklaşık değerlerinin önceden bilinmesini gerektirir ve iteratif olarak uygulanır.

Görüntü esaslı birleştirme teknikleri değişik şekillerde uygulanır. Eğer nokta bulutu içerisinde belirli geometrik şekiller varsa, bu şekiller bulunup eşlenerek dönüşüm parametreleri hesaplanır. Dönüşümün doğruluğu görüntü eşleme teknikleri kullanılarak artırılabilir (Dold ve Brenner, 2006). Bindirmeli lazer taramaları arasındaki dönüşüm parametrelerinin hesaplanmasında diğer bir yöntem lazer tarayıcıya monte edilen kamera görüntülerinin karşılıklı yöneltmesi ile 3B dönüşüm parametrelerinin hesaplanmasıdır. Ayrıca literatürde pek çok otomatik birleştirme yöntemi bulunmaktadır (Al-Manasir ve Fraser, 2006; Makadia vd., 2006).

### 3. JEODEZİK KOORDİNATIN ÖNEMİ

Jeodezik koordinatlar Gauss-Kruger gibi yerel sistemler yada WGS84 gibi küresel sistemler olabilir. Bu sistemler arasında dönüşüm her zaman mümkündür. Jeodezik koordinat sisteminde herhangi bir zamanda yapılan ölçüler ek ölçü yapmaya gerek kalmadan birleştirilmiş

olmaktadır. Jeodezik koordinatlar lazer tarayıcı ölçülerinin birleştirilmesi ve bu ölçülerin topoğrafik ve fotogrametrik ölçülerle entegrasyonu için uygun bir yöntemdir. Jeodezik koordinat sistemi coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve benzeri uygulamalara veri sağlamak için hızlı ve etkili bir yöntemdir. CBS, objeler hakkında bilgi elde etmenin en etkili yöntemidir. CBS de coğrafi objelere ait bütün veriler birbirleriyle ilişkilendirilerek depolanır ve sorgulanarak bu verilerden bilgi çıkarılabilir. Kullanıcılar bilgi elde etmek için CBS dataları ile her türlü sorgulamayı yapabilirler. Bilgi sistemi verilerine internet üzerinden bütün kullanıcıların ulaşabilmesi mümkündür. Bu sayede, tarihi ve kültürel varlıklar internet ortamında sanal müzelerde sergilenerek daha fazla kişinin bilgi sahibi olması sağlanabilir.

### 4. ÖLÇÜLERİN JEODEZİK KOORDİNAT SİSTEMİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

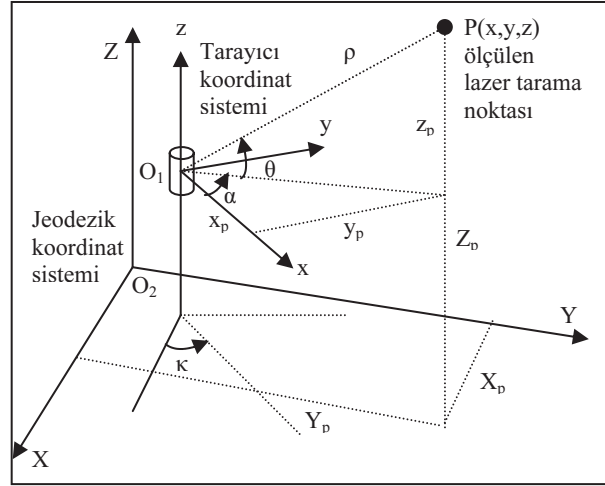
Jeodezik koordinatlar ve YLT koordinatları arasındaki ilişki Şekil 1'de görülmektedir. YLT ölçülerinin jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi yöntemleri başlıca 3 gruba ayrılabilir.

- Bağımsız model triyngulasyonu yöntemi
- 3B konform dönüşüm yöntemi
- Doğrudan jeodezik koordinatlı ölçme yöntemi

Jeodezik koordinatlandırma, ölçme alanının büyüklüğüne, konumuna ve tarayıcının özelliklerine bağlı olarak bu yöntemlerden birisi ile yapılabilir. Bu yöntemler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

#### a. Bağımsız Model Triyngulasyonu Yöntemi

Bir obje için bütün taramaların jeodezik koordinat sisteminde birleştirilebilmesi için her tarama alanında en az 3 YKN tesis edilmesi gerekir. Bu durum lazer tarayıcıların kullanım avantajlarına aykırıdır. Bu nedenle bir obje için yapılan bütün taramaların jeodezik koordinat sistemi gibi ortak bir sistemde birleştirilebilmesi için bağımsız model triyngulasyonu yöntemi geliştirilmiştir (Scaioni, 2002). Bu yöntem hava triyngulasyonunda olduğu gibi bütün taramaların aynı anda en küçük kareler yöntemine göre dengelenmesi şeklinde uygulanır. Dönüşümden kaynaklanan sistematik hataların etkisi tüm model yüzeyine dağıtılarak model doğruluğuna etkisi en aza indirilir.



Şekil 1. Tarayıcı ve küresel jeodezik koordinat sistemleri.

Bu yöntemde taramalar arasındaki ilişki en az 3 adet bağlantı noktası ile kurulur. Modelin jeodezik koordinat sistemine dönüşümü tüm model alanı için tanımlanmış 3 yada daha fazla YKN ile yapılır. Bağlantı noktaları taramaların birbirlerine göre konumlarını belirlerken YKN'sı modelin jeodezik koordinat sistemine dönüşümünü sağlar. Bağlantı noktası olarak ortak tarama alanında obje üzerinde işaretlenen noktalar kullanılabilir. Bağlantı noktası sayısı arttıkça model doğruluğu da artacaktır. YKN'nın sayısı ve obje yüzeyine dağılımı dönüşüm parametrelerinin belirlenmesinde ve blok deformasyonlarının önlenmesinde etkilidir (Scaioni, 2002; Elkhachy ve Niemeier, 2006). YKN ve bağlantı noktaları tarama işleminden önce obje yüzeyinde işaretlenir. Taramalar, ortak tarama alanlarında en az 3 bağlantı noktası olacak şekilde yapılır.

Yöntemin uygulanmasında 1 numaralı eşitlikte değişkenler için türev alınarak hata denklemleri oluşturulur. Eşitlik doğrusal olmadığı için nokta bulutları için dönüşüm parametreleri ( $\omega, \phi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$ ) en küçük kareler yöntemi ile iteratif olarak hesaplanır (Wolf ve Dewitt, 2000). Her iterasyondan sonra bütün noktalar yeni duruma dönüştürülür ve dönüşüm parametreleri yeniden hesaplanır. Hesaplanan parametrelerle bir önceki iterasyonda hesaplanan parametreler arasındaki fark minimum oluncaya kadar iterasyona devam edilir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R_{\omega\phi\kappa} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada;  $\omega, \phi, \kappa, t_x, t_y, t_z$  bilinmeyenlerdir.  $[x \ y \ z]^T$  lazer tarayıcı koordinatları,  $[t_x \ t_y \ t_z]^T$  öteleme vektörü,  $[X \ Y \ Z]^T$  jeodezik koordinatlar,  $R_{\omega\phi\kappa}$  üç boyutlu dönme matrisi,  $\omega, \phi, \kappa$ ;  $x, y, z$  eksenleri etrafındaki dönüklüktür. Bağımsız model yöntemi YKN sayısına ve dağılımına bağlı olarak farklı şekillerde uygulanır (Scaioni, 2002).

- Herhangi bir tarama (nokta bulutu) 3 ya da daha fazla YKN içeriyorsa birleştirme bu taramadan başlanılarak yapılır.
- Eğer taramalardan hiç birisi 3 ya da fazla sayıda YKN içermiyorsa, nokta bulutlarından birisi geçici olarak referans seçilir ve taramalar bu referans koordinat sistemine göre birleştirilir. Birleştirme esnasında model alanında yeterli sayıda YKN olursa bundan sonraki bütün birleştirmeler jeodezik koordinat sistemine göre yapılır.
- Eğer obje yüzeyindeki YKN sayısı yeterli değilse, herhangi bir tarama referans olarak seçilir ve bütün taramalar bu koordinat sistemine göre birleştirilir. Daha sonra bütün model 3B konform dönüşümle jeodezik koordinat sistemine dönüştürülür.

Bu yöntem özellikle büyük objelere ya da yüzeylere ait taramaların jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi için uygun bir yöntemdir.

### b. 3B Konform Dönüşüm Yöntemi

Bu yöntemde nokta bulutları iteratif en yakın nokta yöntemi, en küçük karelerle 3B yüzey eşleme yöntemi yada otomatik yöntemlerden herhangi birisi ile birleştirilerek 3B model

oluşturulur. Modelin jeodezik koordinat sistemine dönüşümü için obje üzerinde en az 3 noktanın X,Y,Z jeodezik koordinatlarının bilinmesi gereklidir. Bu noktaların jeodezik koordinatları reflektörsüz koordinat ölçebilen total station ile poligon noktalarından ölçülür. Noktalar obje üzerinde taramadan önce özel hedef işaretleri ile işaretlenmiş ise bu noktaların koordinatları ölçülür. Eğer obje üzerinde herhangi bir nokta işaretlenmemişse lazer taramasından sonra belirgin detaylar seçilerek reflektörsüz total station ile koordinatlandırılır ve modelin jeodezik koordinat sistemine dönüşümü bu noktalarla yapılır. Dönüşüm için obje yüzeyine uygun dağılımlı en az 3 adet noktanın jeodezik koordinatlarının bilinmesi yeterlidir. Nokta sayısı ve obje üzerindeki dağılımı dönüşüm doğruluğunda etkilidir. Dönüşüm (1) nolu eşitlikle uygulanır.

### c. Doğrudan Jeodezik Koordinatlı Ölçme Yöntemi

Lazer tarayıcılarla doğrudan jeodezik koordinatlı ölçme için farklı teknikler uygulanmaktadır. En kolay yöntem tarayıcı üzerine teodolit monte etmek ve tarayıcıyı teodolit gibi bilinen bir nokta üzerine kurup belirli bir doğrultuya yönlendirmektir. Teodolit ve tarayıcı arasındaki parametreler belirlendikten sonra lazer tarayıcı ölçülerinin jeodezik koordinatları doğrudan ölçülebilir (Scaioni, 2005). Bazı tarayıcıların teodolit gibi nokta üzerine kurulabilme özelliği bulunmaktadır. Bu yöntem tünel, yol ve kazı alanları gibi geniş ve kompleks alanların lazer taramalarının birleştirilmesi ve jeodezik koordinatlara dönüşümü için en uygun yöntemdir. Burada jeodezik koordinatlar (2) eşitliği ile elde edilir.

$$[X \ Y \ Z]^T = R_{\kappa} R_{\varphi} ([x \ y \ z]^T - [e_x \ 0 \ e_z]^T) + [t_x \ t_y \ t_z]^T \quad (2)$$

$$\kappa = \arctan \frac{Y_{02} - Y_{01}}{X_{02} - X_{01}} \quad (3)$$

$$e = \begin{bmatrix} e_x - r_e \cos(\varphi + \gamma) \\ 0 \\ e_z - r_e \sin(\varphi + \gamma) \end{bmatrix},$$

$$r_e = \sqrt{e_x^2 + e_z^2}, \quad \gamma = \arctan\left(\frac{e_z}{e_x}\right) \quad (4)$$

Burada ;  $[x, y, z]^T$  lazer tarayıcı koordinatları,  $[t_x, t_y, t_z]^T$  lazer tarayıcı ve teodolit arasındaki fark

vektörü,  $[X, Y, Z]^T$  jeodezik koordinatlar,  $R_{\kappa}$  z-ekseni etrafındaki dönüklük açısı,  $R_{\varphi}$  y-ekseni etrafındaki dönüklük açısı,  $e_x$  ve  $e_y$  teodolit ve tarayıcı merkezleri arasındaki fark vektörüdür. Burada x ve y eksenleri arasındaki dönüklük farkı yalnızca y ekseninde döndürme ile giderilecek şekilde formülize edilmiştir (Scaioni, 2005).

Doğrudan jeodezik koordinatlı ölçmenin diğer bir yöntemi tarayıcı ile birlikte GPS alıcısı kullanmaktır. GPS tarayıcı üzerine monte edilir ve lazer tarayıcı veri toplarken GPS alıcısı tarayıcının her pozisyonunu eş zamanlı olarak WGS84 sisteminde kaydeder. Bu yöntemde tarayıcının dönüklüğünü belirlemek için ikinci bir GPS alıcısı tarama alanına yerleştirilir (Balzani vd, 2002). Böylece tarayıcı üzerindeki ve tarama alanındaki iki GPS alıcısı ile tarayıcının konumu ve dönüklüğü hesaplanır.

Tarayıcı üzerine monte edilen GPS alıcısına dijital pusula yerleştirmek de başka bir tekniktir. Tarayıcının konumu GPS ile belirlenirken dönüklük pusula ile belirlenmektedir (Böhm vd, 2005). Böylece taranan alanın jeodezik koordinatları elde edilebilmektedir. Bu yöntem fazla hassasiyet istenmeyen işler ve küçük ölçekli harita uygulamaları için uygundur. Hassasiyet gereken uygulamalarda kullanılabilecek bir yöntem değildir.

Ayrıca mobil lazer tarama tekniğinde, araç üzerine monte edilen tarayıcılarla hava lazer sistemlerine benzer olarak GPS/IMU kombinasyonu ile jeodezik koordinatlı ölçmeler yapılabilmektedir (Talaya vd, 2004).

Doğrudan jeodezik koordinat yöntemi, yol güzergahı, tünel ölçmeleri gibi geniş alanlara yayılan lazer tarama ölçülerinin tek bir koordinat sisteminde birleştirilmesi için uygun bir yöntemdir. Aksi takdirde her lazer tarama alanı için YKN tesis etmek gerekir ki bu durum lazer tarayıcıların kullanım avantajlarına da aykırıdır.

## 5. UYGULAMA

Örnek uygulama için Konya merkezde Zazadın Han ve Alaaddin Seyir Terası seçildi (Şekil 2). Zazadın Han büyük boyutlu bir yapıdır ve ölçülerin jeodezik sisteme dönüştürülmesi için bağımsız model triyngulasyonu yöntemi kullanılmıştır. Alaaddin Seyir Terası lazer tarama ölçülerinin jeodezik koordinat sistemine dönüşümü için ise 3B konform dönüşüm yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2.Çalışma alanı: Zazadin Han ve Alaaddin Seyir Terası.

#### a. Zazadin Han

Zazadin Han Konya şehir merkezine 22 km uzaklıktadır. 1236 da Selçuklu Sultanı Alaaddin Keykubat'ın baş veziri ve aynı zamanda mimarı olan Saadettin tarafından yapılmıştır. Han'ın giriş kapısı güney cephededir ve kahverengi ve beyaz taşlardan yapılmış taç kapıdır. Dış duvarlarının yapımında muhtemelen Bizans dönemine ait çok sayıda eski yapıtlara ait taşlar kullanılmıştır. Han Selçuklu dönemi taş işçiliğinin güzel bir örneğidir. Boyutları yaklaşık 94mx32m dir.

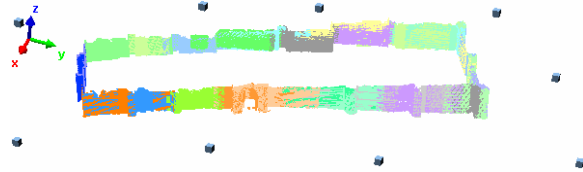
Lazer taramalarının birleştirilmesi ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesinde bağımsız model triyngulasyonu yöntemi kullanılmıştır. Şekil ve boyutları düşünüldüğünde Zazadin Han gibi yapılar için en uygun jeodezik koordinat yöntemi bağımsız model triyngulasyonudur. Çünkü yapının 3B modelini oluşturabilmek için bindirmeli olarak çok sayıda tarama yapmak gerekir. Ölçülecek yapı geniş bir alana yayıldığı için her tarama yalnızca komşu taramalarla bindirmeli olacaktır. Bağımsız model yöntemi ile birleştirme hataları da en aza indirilebilecektir.

Lazer tarama işleminden önce bağlantı noktaları, denetleme ve YKN özel hedef işaretleri ile belirlenmiştir (Şekil 3). Hedef şekli A4 kâğıda çıktı alınmış yapının dış duvarlarına

yapıştırılmıştır. Toplam 71 nokta işaretlenmiştir. Bunların 45'i bağlantı, 16'sı denetleme ve 10 tanesi de YKN olarak kullanılmıştır. YKN ve denetleme noktalarının jeodezik koordinatları poligon noktalarından total station ile ölçülmüştür.



Şekil 3. Zazadin Han lazer taraması ve obje üzerinde işaretlenmiş noktalar.

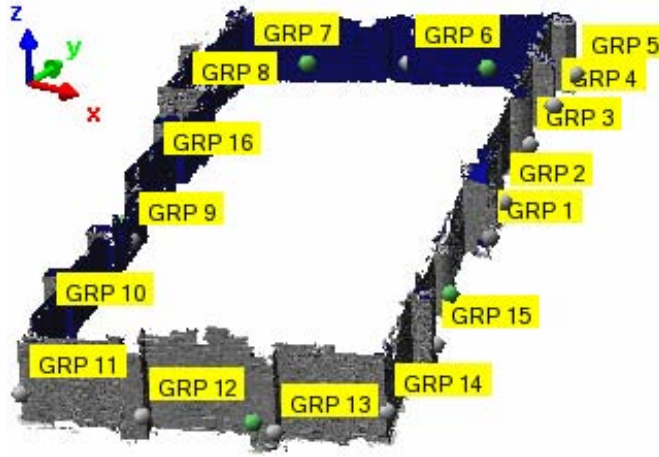


Şekil 4. Zazadin Han lazer tarayıcı istasyonları.

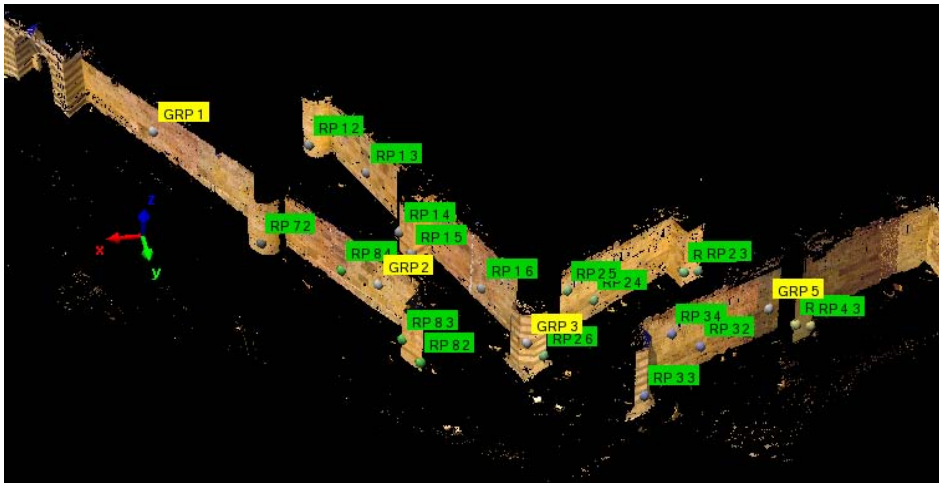
Lazer taramaları Optech Ilris 3D lazer tarayıcı ile 9 farklı istasyondan 2cm aralıklı olarak yapılmıştır (Şekil 4). Her tarama, ortak alanlarda en az 3 adet bağlantı noktası olacak şekilde yapılmıştır. Her lazer taramasında görülen bağ noktaları ve YKN işaretlenmiştir (Şekil 6). Daha sonra rastgele örnekleme algoritması (RANSAC) (Chen vd., 1999) ile taramalar kendi arasında eşleştirildi ve YKN ile jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Jeodezik koordinatlara dönüşüm için farklı sayıda YKN'nin kullanıldığı iki ayrı test yapılmıştır. Test a'da 4 adet, test b'de 12 adet YKN kullanılmıştır. Her iki durum için YKN'nin ölçülen yüzeylere homojen dağılmasına dikkat edilmiştir. Test sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Dönüşümün doğruluğu denetleme noktalarındaki farklarla kontrol edilmiştir. Tablo 1'de YKN arttıkça denetleme noktalarındaki hatalarda azalma görülmektedir. .

Tablo 1: Bağımsız model dengelemesi için iki ayrı test sonuçları.

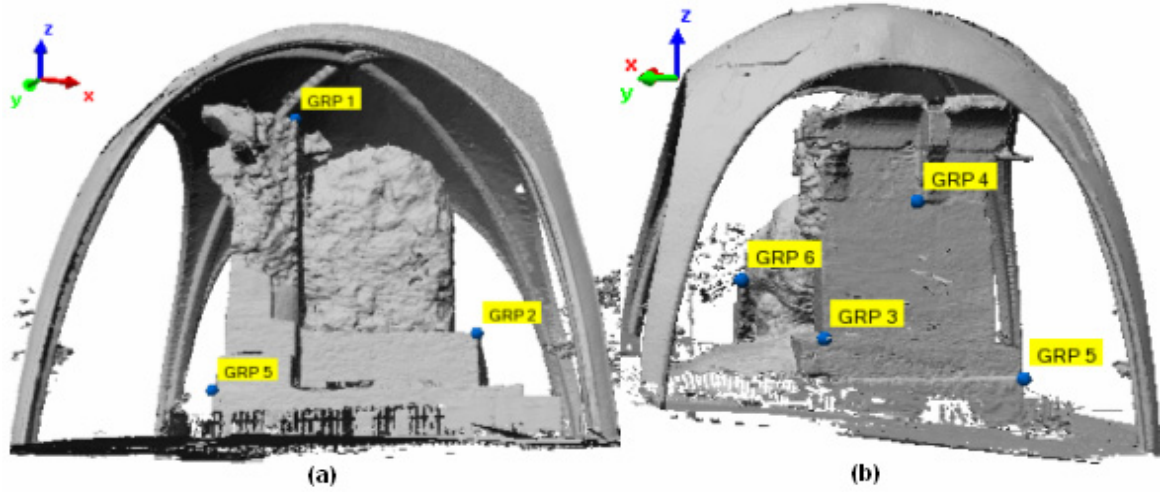
Test	YKN sayısı	Denetleme noktası sayısı	$\sigma_0$ (cm)	Denetleme noktalarındaki kalıntı hatalar (cm)			
				En küçük	Ortalama	En büyük	
a	4	16	3.41	Y	0.59	2.57	0.86
				X	0.99	3.90	4.07
				Z	0.79	2.56	1.55
b	12	16	2.95	Y	0.07	3.26	2.64
				X	0.14	2.94	1.15
				Z	0.28	1.95	2.19



Şekil 5. Zazadin Han üzerinde denetleme (kontrol) noktalarının dağılımı.



Şekil 6. Nokta bulutları üzerinde işaretlenmiş bağlantı ve YKN'ları.



Şekil 7. Alaaddin Seyir Terası üzerinde YKN olarak seçilen detaylar.

### b. Alaaddin Seyir Terası

Alaaddin Seyir Terası Konya şehir merkezindedir. Yapı, Selçuklu Sultanı II Kılıçarslan (1156-1192) tarafından Selçuklu sarayının bir parçası olarak yaptırılmıştır. Alaaddin Keykubat zamanında restore ettirilmiş ve Alaaddin Seyir Terası olarak adlandırılmıştır. Bugün, Seyir Terasının büyük bir kısmı çökmüş durumdadır ve kalan kısım beton bir yapı ile koruma altına alınmıştır. Seyir Terası ve sarayın bazı parçaları Konya müzelerinde koruma altındadır.

Alaaddin Seyir Terası, Optech Ilris 3D lazer tarayıcısı ile 18 ayrı istasyondan 3mm aralıklarla tarandı. Nokta bulutları PolyWorks yazılımında iteratif en yakın nokta yöntemi ile birleştirilmiştir. Jeodezik koordinatlandırma 3D konform dönüşümü ile yapıldı. Yapının bütün detaylarının ölçülebilmesi için çok sayıda tarama yapıldı ve her tarama pek çok tarama ile örtülü alan oluşturmaktadır. Jeodezik koordinat sistemine dönüşüm için obje üzerinde belirli noktaların poligon noktalarından total station ile koordinatları ölçülmüştür (Şekil 7). (1) eşitliği ile 3B konform dönüşüm iteratif olarak uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Alaaddin Seyir Terası için 3B konform dönüşüm sonuçları.

Test	YKN adedi	$\sigma_o$ (cm)
a	4	2.30
b	6	1.90

### 6. SONUÇ

Ölçülerin ülke jeodezik koordinat sisteminde ya da küresel bir koordinat sisteminde ifade edilmesi pek çok uygulama için önemli bir konudur. Özellikle geniş alanların ölçümünde jeodezik koordinatlar ek ölçü yapmaya gerek kalmadan tüm ölçülerin birleştirilmesini sağlar. Yani jeodezi koordinatlar hem lazer tarama ölçülerinin birleştirilmesini hem de bu ölçülerin diğer ölçülerle uyumunu sağlar. Jeodezik koordinatlar özellikle konuma dayalı bilgi sistemi uygulamaları için oldukça önemlidir. Çünkü ölçüler doğrudan mevcut bilgilerle bütünleştirilebilir.

Biz bu çalışmada yersel lazer tarayıcı ölçülerinin jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi yöntemlerini inceledik ve bunlardan bağımsız model dengelemesi ve 3B konform dönüşüm yöntemleri ile örnek uygulama yaptık. Bağımsız model dengelemesi yöntemi Zazadın Han gibi büyük ve fazla detay içermeyen yapılar ve alanlar için uygun bir yöntemdir ve en az 4 nokta ile uygulanabilir. Küçük ve karmaşık yapılara ait ölçüler için 3B konform dönüşüm en uygun yöntemdir. Obje üzerinde ölçülecek 3 ya da daha fazla jeodezik nokta ile dönüşüm yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Balzani, M., Pellegrinelli, A., Perfetti, N., Russo, P., Uccelli, F., Tralli, S., 2002. **Cyrax™ 2500 Laser Scanner and GPS Operational Flexibility: From Detailed Close Range Surveying to Urban Scale Surveying**. Proc. CIPA WG 6 Int. WS Scanning for Cultural Heritage Recording, Corfu, September 1-2, pp. 27-32.
- Besl, P.J., McKay, N.D., 1992. **A Method for Registration of 3D Shapes**, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 14(2) 239-256.
- Böhm, J., Haala, N., Alshwabkeh, Y., 2005. **Automation in Laser Scanning for Cultural Heritage Applications**, International Workshop on Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage, 22 - 27 May, Ascona, Switzerland.
- Chen, C.S., Hung, Y.P., Cheng, J.B., 1999. **RANSAC-Based DARCES: A New Approach to Fast Automatic Registration of Partially Overlapping Range Images**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21(11) 1229-1234.
- Chen, Y., Medioni, G., 1992. **Object Modeling by Registration of Multiple Range Images**, Image and Vision Computing, 10(3) 145-155.
- Chetverikov, D., Svirko, D., Stepanov, D., Krsek, P., 2002. **The Trimmed Iterative Closest Point Algorithm**, Proc. of 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02), vol. 3, Quebec City, Canada, 11-15 August. pp.545-548.
- Dold, C., Brenner, C., 2006. **Registration of Terrestrial Laser Scanning Data Using Planar Patches and Image Data**, The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 36(5) 78-83.
- Elkhrachy, I., Niemeier, W., 2006. **Optimization and Strength Aspects for Geo-referencing Data with Terrestrial Laser Scanner Systems**, 3rd IAG Symposium and 12 th FIG Symposium, Baden, 22-24 May. pp.on CD.
- Gruen, A., Akça, D., 2005. **Least Squares 3D Surface and Curve Matching**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 59(2005) 151-174.
- Al-Manasir, K., Fraser, C.S., 2006. **Automatic Registration of Terrestrial Laser Scanner Data via Imagery**, The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 36(5) 26-31.
- Makadia, A., Patterson, A., Daniilidis, K., 2006. **Fully Automatic Registration of 3D Point Clouds**, IEEE Computer Society. 1(2006) 1297-1304.
- Scaioni, M., 2002. **Independent Model Triangulation of Terrestrial Laser Scanner Data**, The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 34(5/W12) 308-313.
- Scaioni, M., 2005. **Direct Georeferencing of TLS in Surveying of Complex Sites**, The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36(5/W17). pp.on CD.
- Sharp, G.C., Lee, S.W., Wehe, D.K., 2002. **ICP Registration Using Invariant Features**, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 24(1) 90-102.
- Talaya, J., Alamus, R., Bosch, E., Sera, A., Kornuss, W., Baron, A., 2004. **Integration of Terrestrial Laser Scanner with GPS/IMU Orientation Sensors**. XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, 12-23 July. pp.on CD.
- Wolf, P.R., Dewitt, B.A., 2000. **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**. 3th Ed.; Mc Graw Hill, New York, USA. 377-380.
- Zhang, Z., 1994. **Iterative Point Matching for Registration of Free Form Curves and Surfaces**, International Journal of Computer Vision. 13(1994) 119-152.