

**Makale
(Article)**

Mimari Belgelemede Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği)

Resul ÇÖMERT*, **Uğur AVDAN****, **Muammer TÜN***, **Merve ERSOY*****

* Arş. Gör. **Yrd. Doç. Dr. Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, 2 Eylül
Kampüsü, Eskişehir *** Arş. Gör. Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bingöl

Özet

Tarih boyunca, Türkiye farklı kültürler ve inanışlara sahip medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır. Bundan dolayı ülkenin birçok yerinde bu medeniyetlerden kalan kültürel mirasları görmek mümkündür. Geçmişten günümüze ışık tutan bu eserler insani veya doğal nedenlerden dolayı ya yok olmakta ya da çok büyük hasarlara uğramaktadır. Bu nadide eserlerin korunması, gerektiğinde yeniden inşa edilmesi ve gelecek nesillere aktarılması için hızlı bir şekilde belgelenmesi gerekmektedir. Geleneksel yöntemler, yavaş ve eserler hakkında sınırlı sayıda veri toplanmasına olanak verdiğinden dolayı, belgeleme çalışmalarında ileri teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ileri teknolojilerden birisi olan yersel lazer tarama teknolojileri kültürel mirasların hızlı, hassas ve detaylı bir şekilde ölçülmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca bu teknolojiler kültürel mirasların 3 boyutlu (3B) modellenmesine, sayısal olarak arşivlenmesine ve belgelenmesine olanak vermektedir.

Bu çalışmada; 3B yersel lazer tarama cihazı kullanılarak Eskişehir Seyitgazi ilçesinde bulunan eski askerlik şubesi olarak bilinen tarihi bir yapının 3B belgelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu belgeleme çalışması sonucu, elde edilen veriler bilgisayar ortamında işlenerek yapının 3B modeli, ortofoto görüntüleri, cephelerinin ve planının çizimleri üretilmiştir. Bu çalışmada amaç yersel lazer tarama yönteminin işlem adımlarının belirlenmesi ve kültürel mirasın belgelenmesinde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Mimari Belgeleme, Yersel Lazer Tarama, Yersel Lazer Tarayıcı, Kültürel Miras, 3B Nokta Bulutu

Application of Terrestrial Laser Scanning Method at Architectural Documentation (Case Study of Seyitgazi Military Building)

Abstract

Throughout the history, Turkey has hosted several civilizations which have different cultures and beliefs. Therefore, it is possible to see cultural heritages that were inherited from these civilizations at several places in the country. These artifacts, which shed light from past to present, are destroyed or substantially damaged because of human activity and natural disasters. These precious artifacts are required to be documented as soon as possible for protection and reconstruction projects in order to transmit the artifact to future generations. Because the traditional methods are slow and having low acquisition, advanced technologies are necessary for documentation of cultural heritages. Terrestrial laser scanning technology, is one of these advanced technologies, allows measuring of cultural heritages rapidly, accurately and in detail. Also, these technologies enable users to document, digitally achieve and construct 3D model of cultural heritage.

In this study; 3D documentation of a historical military building in Seyitgazi, Eskişehir was achieved by using 3D terrestrial laser scanning tool. As results of this documentation study, 3D model, orthoimages, facade and plan drawing of building was produced by the processing of obtained data in computer. The aim of this study is the specification of the processing step and the investigation of usability of Terrestrial Laser Scanning methods in the

Bu makaleye atf yapmak için

Resul ÇÖMERT, Uğur AVDAN**, Muammer TÜN*, Merve ERSOY***, "Mimari Belgelemede Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği)" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2012, 4(1) 1-18*

How to cite this article

Resul ÇÖMERT, Uğur AVDAN**, Muammer TÜN*, Merve ERSOY***, "Application of Terrestrial Laser Scanning Method at Architectural Documentation (Case Study of Seyitgazi Military Building)" Electronic Journal of Map Technologies, 2012, 4(1) 1-18*

field of cultural heritage documentation.

Keywords :Architectural Documentation, Terrestrial Laser Scanning, Terrestrial Laser Scanner, Cultural Heritage, 3D Point Cloud

1. GİRİŞ

Kültürel ve doğal miraslar, doğal ve doğal olmayan nedenlerden dolayı artan bir şekilde yok olma tehlikesi altındadır. Kültürel ve doğal miraslara sahip olan ülkeler, ekonomik, bilimsel ve teknik kaynakların yetersizliği nedeniyle bu mirasın korunmasında yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı bu mirası korumak ve korunması için yapılan bilimsel çalışmalarını ve geliştirilen yeni teknikleri paylaşmak tüm milletlerin görevidir (URL-1).

Tarih boyunca farklı uygarlık ve kültürler ev sahipliği yapmış ve yapmaya devam eden Türkiye coğrafyasını, bu halklardan kalan kültürel mirasları üzerinde bulundurmaktadır. Bu eserleri hassas bir şekilde belgeleyerek koruma altına alınması ülkemiz için önemli olduğu kadar dünya kültür mirası için de büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde kültürel mirasın korunması ile ilgili yetki 2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nun (RG: 23.7.1983/18113) 10. Maddesi ile Kültür ve Turizm Bakanlığına verilmiştir. Tablo 1'de bakanlığın 2011 yılı son verilerine göre ülkemizdeki kayıtlı kültürel miras sayısı 110 500'dür (URL-2; URL-3). Türkiye bu zenginliğe rağmen bunların korunması ve belgelenmesi konusunda gerekli hassasiyeti gösterememektedir [1]. Bunun en büyük sebebi ülkemizde arazi çalışmalarında yeterli altyapıya sahip eleman sayısının oldukça kısıtlı olması ve yapılan belgeleme çalışmalarının her zaman istenilen doğrulukta yapılamamasıdır [2].

Kültürel varlıklar farklı doğal özelliklere, farklı boyutlara sahip olması ve karmaşık yapılarından dolayı detaylı bir şekilde ölçülmesi ve belgelenmesi için gelişmiş ölçme araç ve teknikleri gerektirmektedir. Son yıllarda yersel lazer tarama yöntemi kültürel miras ve tarihi yapıların belgeleme çalışmalarında 3 boyutlu veri elde etme, 3 boyutlu model oluşturma bakımından standart bir araç haline gelmektedir. Bu yöntem taranan nesneye ait hızlı ve güvenilir bir şekilde milyonlarca 3 boyutlu nokta verisi elde etme imkanı vermekte böylece kültürel varlıkların yüzey geometrilerinin etkili ve yoğun bir şekilde elde edilmesine olanak tanımaktadır [3]. Lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verileri, yapının birebir, 3 boyutlu modellenmesinin yanında, rölöve planları için gerekli olan cephe, plan ve kesit çizimi için altlık olacak verileri sağlamaktadır. Rölöve, kültürel bir nesnenin herhangi bir nedenle zarar görmesi veya yıkılması durumunda yeniden yapılmasını sağlayan yapının en ince ayrıntısına kadar yapılan ölçmeler, plan ve kesitlerinin çıkarılması işlemidir [4].

Günümüze kadar belgeleme çalışmalarında lazer tarama yöntemi birçok uygulamada başarılı bir şekilde kullanılmıştır. YASTIKLI (2007) yapmış olduğu çalışmada lazer tarama ve sayısal fotogrametri yönteminin kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında kullanılabileceğini ortaya koymuştur [5]. AL-KHEDERA vd. (2009) Ürdün'de yapmış oldukları çalışmada, belgeleme amaçlı olarak lazer tarama ve sayısal (dijital) fotogrametri yöntemini kullanarak Amra ve Kharanah çöl saraylarının 3 boyutlu modellemesini yapmıştır [6]. GABRIELE vd. (2010) yapmış oldukları çalışmada, İtalya Carignano Vallinotto tapınağının içten ve dıştan taramasını gerçekleştirerek 3 boyutlu modelini ve bu tapınağa ait ortofoto görüntülerini oluşturmuşlardır [7]. CHENG vd.'nin 2010 yılında birbirinden farklı alanlarda yapmış oldukları lazer tarama uygulamalarında, kültürel mirasını belgelemek için 3 boyutlu model oluşturma, 3 boyutlu çizim ve elde edilen bu modellerin, web sunumu örneklerini göstermişlerdir [8]. LERONES vd. (2010) yapmış oldukları belgeleme çalışmalarında geleneksel yöntemlerle lazer tarama yöntemini karşılaştırmış ve lazer tarama yönteminin arazi çalışmalarında ihtiyaç duyulan zamanını %75 ve çizim işlemlerinde ihtiyaç duyulan zamanını %25 oranında azalttığı sonucuna varmışlardır [9].

Tablo 1: Kültür ve Turizm Bakanlığı 2011 son verilerine göre ülkemizde kayıtlı kültürel miras sayısı

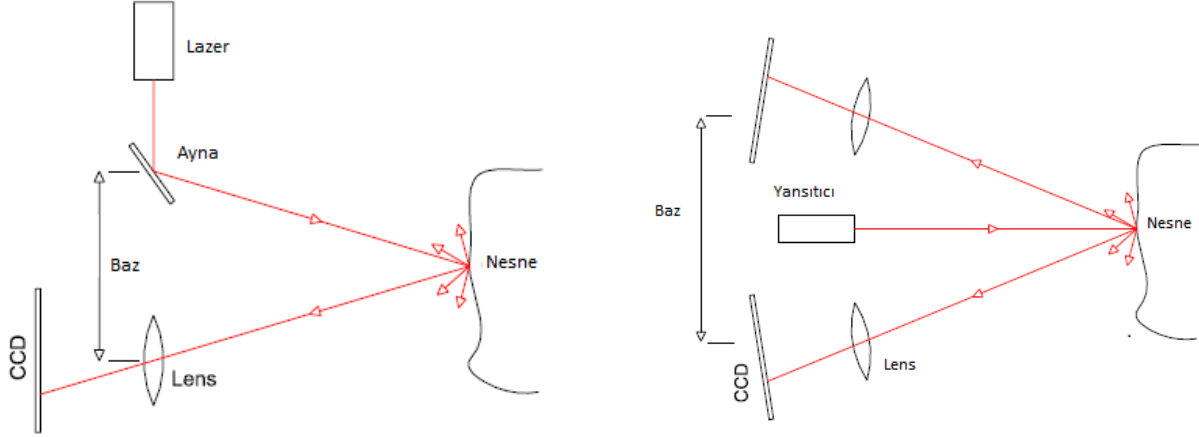
	KÜLTÜREL MİRASIN CİNSİ	SAYISI
SİT TÜRÜ	Arkeolojik Sit Alanı	10 132
	Doğal Sit Alanı	1 272
	Kentsel Sit Alanı	248
	Tarihi Sit Alanı	153
	Kentsel Arkeolojik Sit Alanı	31
	Diğer Sit Alanları (Üst üste sit alanları)	436
	TOPLAM	12 272
TESCİLLİ TAŞINMAZ KÜLTÜR VE TABİAT VARLIKLARI	Sivil Mimarlık Örneği	60 823
	Dinsel Yapılar	8 503
	Kültürel Yapılar	9 518
	İdari Yapılar	2 458
	Askeri Yapılar	1 023
	Endüstriyel ve Ticari Yapıları	3 312
	Mezarlıklar	321
	Şehitlikler	227
	Anıt ve Abideler	313
	Doğal Varlıklar	6 808
	Kalıntılar	1 973
	Korunmaya Alınan Sokaklar	60
	TOPLAM	98 228
	GENEL TOPLAM	110 500

Bu çalışmada; Seyitgazi ilçesinde bulunan eski askerlik şubesi lazer tarama cihazı kullanılarak dış cephe, iç duvar ve tavan taraması yapılmış, elde edilen veriler bilgisayar ortamında işlenerek yapının üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Bilgisayar ortamında tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verisi ve fotoğraflar kullanılarak bina cephelerinin ortofoto görüntüleri üretilmiştir. Ortofoto görüntüleri kullanılarak, binanın cephelerinin çizimi gerçekleştirilmiştir. 3 boyutlu model üzerinde istenilen yükseklikten yatay alınan kesit kullanılarak yapının planı çizilmiştir. Bu çalışmada amaç; lazer tarama yöntemi kullanılarak tarihi binaların hassas bir şekilde 3 boyutlu modelinin oluşturulması, mimari belgelemede ve mimari röleve çıkarım işlemlerinde lazer tarama yönteminin uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır.

2. YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ

Yersel lazer tarama yöntemi objelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak 3 boyutlu koordinatlarının elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir [10]. Yersel lazer tarama teknolojileri, özellikle mühendislik projeleri ve kültürel mirasın kayıt işlemleri gibi alanlarda uygulama alanı bulmaktadır [11]. Bu teknoloji, kültürel miras nesnelere için yüksek hassasiyetli 3 boyutlu modellerin oluşturulması, nesne ile ilgili yüksek oranda detay içermesi, yüksek çözünürlüklü eşleşme, değişim izleme ve sunum imkânına sahip olduğu için kültürel mirasa ve arkeolojik alanlara yönelik yapılan çalışmalarda farklı amaçlar için kullanılabilir [12]. Lazer tarama yöntemi kullanılarak, nesnelerin 3 boyutlu koordinatlarını elde etmek için farklı çalışma ilkesine sahip lazer tarayıcılar kullanılmaktadır. Bu lazer tarayıcılar üçgenleme yöntemi ile işlem yapan tarayıcılar, faz karşılaştırma metodu ile işlem yapan tarayıcılar ve lazer ışını gidiş geliş zamanıyla işlem yapan tarayıcılar [13-14].

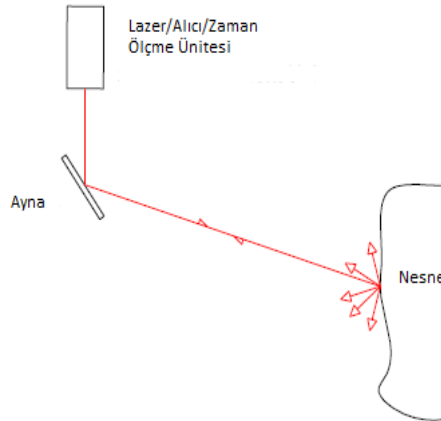
Üçgenleme metodu ile işlem yapan tarayıcılarda taranan noktanın koordinatları optik üçgenleme yöntemi ile belirlenmektedir. Bu yöntemde göre yansıtıcı alet lazer ışının nesne yüzeyine gönderir ve CCD kamera yansıyan lazer ışını toplar. Nesne yüzeyindeki noktaların koordinatları oluşan üçgenlerden elde edilir. Üçgenleme metodu ile işlem yapan tarayıcılarda konum belirlemek için tek kameralı ve çift kameralı çözümler uygulanır (Şekil 1) [13-14]. Bu çalışmada kullanılan toz malzemeler;



Şekil 1: Üçgenleme yöntemi ile işlem yapan tarayıcıların çalışma prensibi [13].

Faz karşılaştırma metodu ile işlem yapan tarayıcılarda iletilen lazer ışını harmonik dalgalar tarafından modüle edilir. Taranan nokta ile tarayıcı arasındaki mesafe iletilen ve alınan dalga boyu arasındaki faz farkı belirlenerek hesaplanır [13].

Lazer ışını gidiş geliş zamanı ile işlem yapan tarayıcılarda tarayıcı ile taranan nokta arasındaki uzunluk lazer ışının iletimi ve alımı arasındaki zaman farkı (Δt) ölçülerek hesaplanır [13]. Bu tip tarayıcılar obje yüzeyinden yansıyan lazer ışını toplamak için kullanılan bir foto diyot ve lazer ışınının salımı ile çalışmaya başlayan ve yansıyan ışının yakalanması ile duran çok hassas saat mekanizmasına sahiptir (Şekil 2). Bu mekanizmalar sayesinde zaman farkı (Δt) belirlenmektedir [15].



Şekil 2: Lazer ışını gidiş geliş zamanı ile işlem yapan tarayıcıların çalışma prensibi [13].

Kültür varlıklarının belgelenmesi çalışmalarında küçük heykellerin, küçük nesnelerin taranması işlemlerinde yakın mesafe tarayıcılar olan üçgenleme metodu ile çalışan tarayıcılar kullanılmaktadır. Tarihi bina, arkeolojik alanlar ve büyük alanların belgelenmesi çalışmalarında ise uzun mesafeli tarayıcılar olan faz karşılaştırma metodu ile çalışan tarayıcılar ve lazer ışını gidiş geliş zamanı ile işlem yapan tarayıcılar kullanılmaktadır [5].

3. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, Eskişehir'in Seyitgazi ilçesinde bulunan eski askerlik şubesi olarak bilinen tarihi bir yapıdır. Tapu kayıtlarına göre bina 1908 yılında yapılmış taş bir binadır. Eni 11.90 m, boyu 23.40 m ve yüksekliği 8.5 m olan yapı 2 kattan ve toplamda 12 odadan oluşmaktadır. Bina askerlik şubesi olarak kullanılmak üzere yapılmış ve ayrıca kurtuluş savaşı esnasında sağlık ocağı olarak da kullanılmıştır. Mayıs 2011 tarihinde yerinde yapılan gözlemlerde yapının iç kısmı kullanılmayacak derecede hasara uğradığı görülmüştür. Yapının iç kısmında katlar çökmüş sadece odaları ve katları ayıran ahşap kolon ve kirişler ayakta durmaktadır (Şekil 3). Bununla birlikte yapının çatısında ve zemininde büyükçe delikler oluşmuştur. Günümüzde yapının Seyitgazi kaymakamlığı tarafından hükümet konağı olarak kullanılması planlanmaktadır.



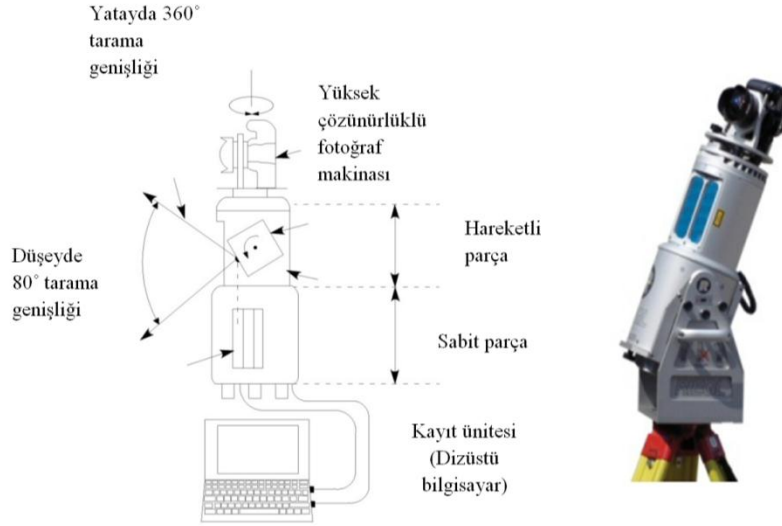
Şekil 3: Çalışma alanının dıştan ve içten görünümü.

4. MİMARİ BELGELEMEDE LAZER TARAMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

4.1 Çalışmada Kullanılan Lazer Tarayıcı ve Ekipmanı

Askerlik şubesinin tarama işleminde Riegl marka LMS Z-390i model 3B lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu lazer tarayıcı lazer ışını gidiş geliş zamanı ilkesine göre çalışmaktadır. Normal ışık ve yansıtma şartları altında 50 metre mesafede 6 mm hassasiyete sahip ve 1.5 - 400 metre arasında ölçüm yapabilmektedir. Tarayıcıdan çıkan lazer ışını yakın kızılötesi ve 0.7 µm – 1.3 µm arasında değişen dalga boyuna sahiptir. Tarayıcı 80° düşey eksen ve 360° yatay eksen yönünde dönme kabiliyetine sahiptir. Cihazın açısal çözünürlüğü 0.001° değerine kadar artırılabilir, saniyede 8000 - 11000 arası nokta verisi elde edebilme kapasitesine sahiptir (URL-4) (Şekil 4).

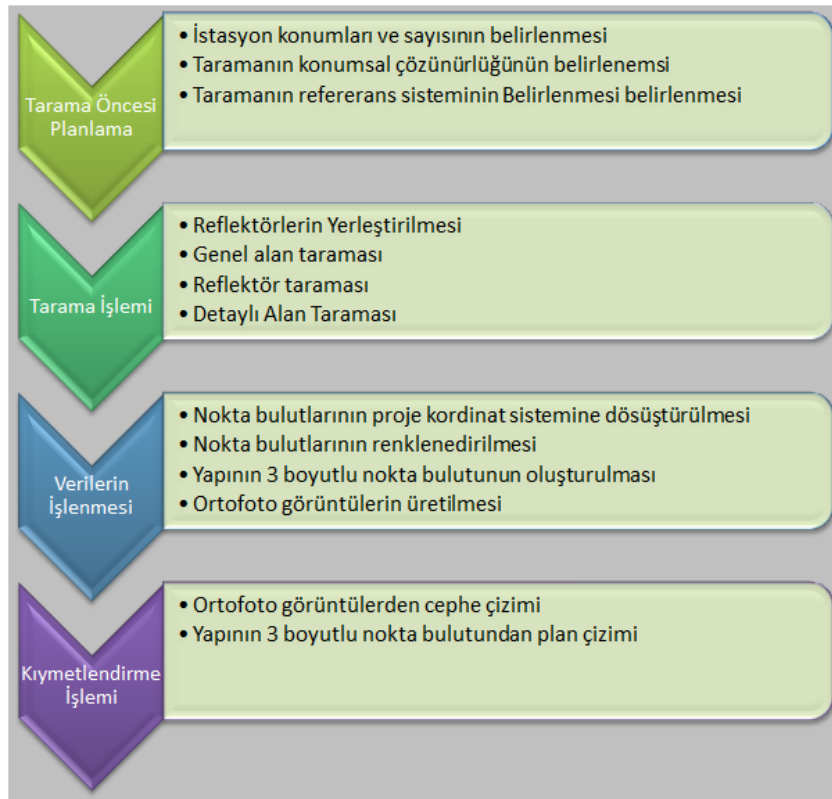
Tarayıcı, objelere ait gerçek renk verisini elde etmek için kalibre edilmiş Nikon D200 kamera ile bütünleşik bir şekilde çalışmaktadır. Bu kamera 10.3 megapiksel DX formatlı CCD sensore sahiptir. Nikon D200 kamera ile tarama işleminden sonra taranan alanın bindirmeli olarak fotoğrafları çekilir. Çekilen fotoğraflar nokta bulutunun renklendirilmesi için kullanılır. Riegl LMS Z-390i lazer tarayıcı Riscan Pro yazılımı tarafından kontrol edilmektedir. Bu yazılım tarayıcının ve kameranın kontrolü, verilerin toplanması, verilerin görselleştirilmesi, verilerin işlenmesi ve verilerin arşivlenmesi gibi birçok işlevi yerine getirmektedir.



Şekil 4: Çalışmada kullanılan lazer tarayıcı (URL-4).

4.2 Çalışma Yöntemi

Bu çalışma kapsamında; yersel lazer tarama yöntemi kullanılarak yapılan belgeleme çalışmaları dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu işlem adımları tarama öncesi planlama, tarama işlemi, verilerin işlenmesi ve kıymetlendirme işlemidir (Şekil 5).



Şekil 5: Mimari belgelemede yersel lazer tarama yönteminin uygulaması.

4.2.1 Tarama Öncesi Planlama

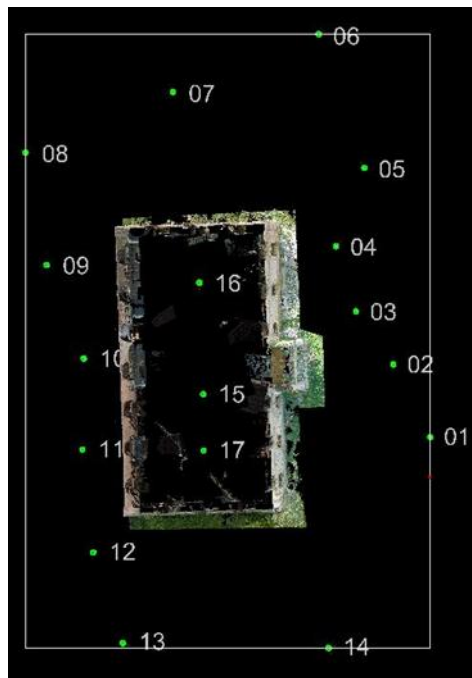
Arazide tarama işlemine geçmeden önce tarama işleminin planlanması gerekmektedir. Planlama aşamasında tarama yapılacak istasyonların konumları ve sayısı, taramanın konumsal çözünürlüğü ve taramanın referans sistemi belirlenmesi gerekir [15].

Tarama yapılacak istasyonların konumları yapının tamamını ve tüm detayları kapsayacak şekilde yeterli sayıda belirlenmelidir. Bu istasyonların konumları belirlenirken bir istasyonda gölgede kalarak taranmayan bölgelerin taraması diğer istasyonlardan taranacak şekilde belirlenmeli ve eksik alan bırakılmamasına özen gösterilmelidir.

Taramanın konumsal çözünürlüğü, taramanın gerçekleştirileceği cihazın açısal çözünürlüğü ve cihazın konumsal hassasiyetine bağlıdır. Konumsal hassasiyet belirli bir mesafe için esas olan ve o mesafeden sonra tarayıcı ile obje arasındaki fark arttıkça değişen hassasiyettir. Örneğin Riegl 390i cihazı için bu değer 50 metreye kadar 6 mm'dir. Açısal çözünürlük istasyon noktasından taranacak yüzey üzerindeki en uzak mesafeye göre seçilmelidir. Mesafe artırıldıkça açısal çözünürlükte artırılmalıdır [15].

Tarama işleminde farklı noktalardan elde edilen nokta bulutlarının ortak bir koordinat sisteminde birleştirilmesi gerekmektedir. Farklı istasyonlardan elde edilen her tarama verisi, tarayıcı merkezli bir koordinat sistemine sahiptir [16]. Tarama işleminin planlanması aşamasında, elde edilecek nokta bulutunun hangi koordinat sistemi referans alınarak birleştirileceği belirlenmelidir. Bu referans sistemi jeodezik bir koordinat sistemi veya tarayıcı merkezli yerel bir koordinat sistemi olabilir. Eğer taramanın referans sistemi jeodezik bir koordinat sistemi olacaksa, tarama işleminde bağlantı noktası olarak kullanılan reflektörlerin koordinatları bu koordinat sistemine göre belirlenmelidir.

Bu çalışmada; askerlik şubesi binasının tarama işleminde binanın dış kısmı için 14 istasyon ve iç kısmı için 3 farklı istasyon yeri belirlenmiştir (Şekil 6). İstasyonlar ile bina arasındaki mesafe olabildiğince kısa tutulmuş ve tarama işleminin açısal çözünürlüğü 0.08° olarak kararlaştırılmıştır. Elde edilen nokta bulutlarının koordinat sistemi ise; ilk tarama yapılan istasyonun tarayıcı merkezli koordinat sistemi olarak belirlenmiştir.



Şekil 6: Tarama işleminde kullanılan istasyonlar.

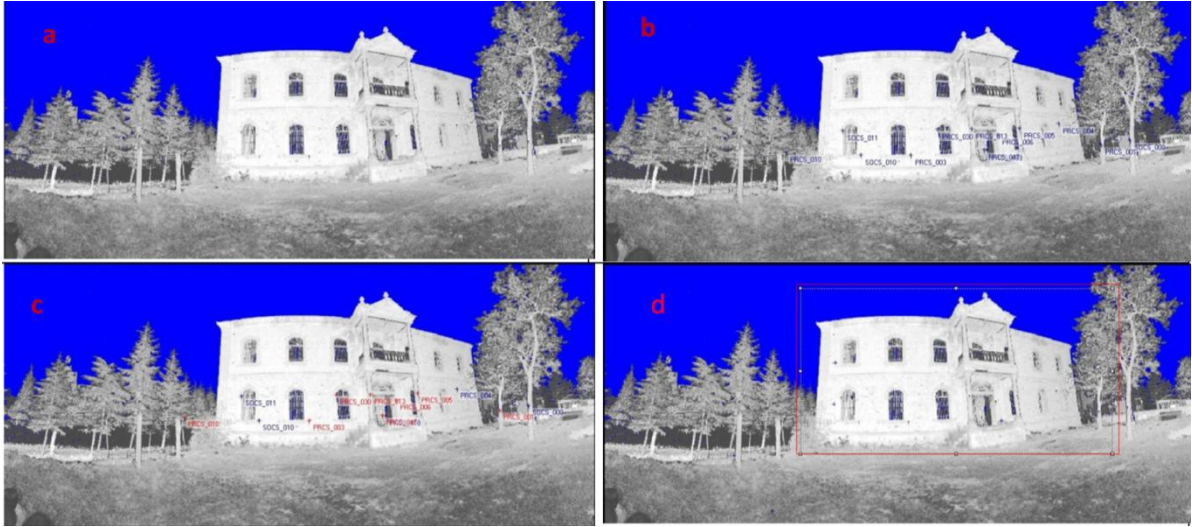
4.2.2 Tarama İşlemi

Tarama işlemine geçilmeden önce farklı istasyonlardan elde edilen nokta bulutu verilerini ortak bir koordinat sistemine dönüştürmek için kullanılan reflektörler uygun yerlere yerleştirilmelidir. Bu uygun yerler cihazı tam karşıdan ve dik olarak gören ve cihaza yakın yerler olarak belirlenmelidir. Reflektörler uygun yerlere yerleştirilmediğinde, sağlıklı taranamamakta ve farklı istasyonlardan elde edilen nokta

bulutu verilerinin birleştirilmesi işleminde sorunlar yaşanmaktadır.

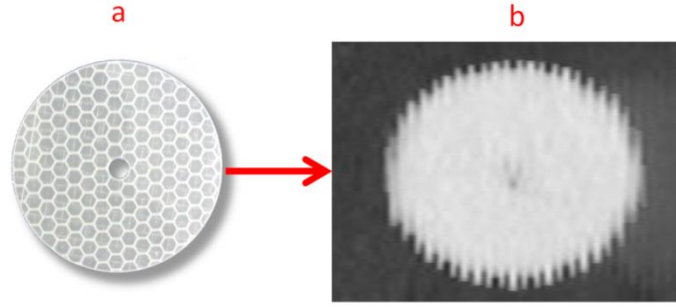
Yapının tamamının 3 boyutlu nokta bulutunu elde etmek için planlama aşamasında belirlenen her bir istasyondan tarama işlemi gerçekleştirilir. Her bir istasyonda 3 farklı tarama işlemi yapılır. Bu taramalardan ilki tarayıcının bulunduğu pozisyondan gördüğü genel alan taraması, ikincisi reflektörler için yapılan reflektör taraması, üçüncüsü ise tarayıcının bulunduğu pozisyondan yapılması gereken detaylı alan taramasıdır (Şekil 7). Farklı istasyonlardan elde edilen nokta verilerinin birleştirilmesi için ardışık taramalar da en az 3 reflektörün ortak olması gerekir. Ortak reflektörlerin sayısı ve konumsal dağılımına bağlı olarak bağlantı hassasiyeti değişir.

Genel alan taraması tarayıcının bulunduğu pozisyondan gördüğü alanın minimum 0.2° açısal çözünürlük ile taranması işlemidir. Taranacak genel alan $0^\circ - 360^\circ$ arasında olabileceği gibi kullanıcı tarafından seçilen belirli bir açısal aralık da ($30^\circ - 270^\circ$ gibi) olabilir. Burada dikkat edilmesi gereken genel alan taramasının, detaylı alan taraması yapılacak alanı ve reflektörlerin bulunduğu alanları içine almasıdır. Yazılım, tarama işlemine başlamadan önce tarayıcının reflektörleri algılama modu aktif hale getirildiğinde reflektörler otomatik olarak belirlenmektedir. Ancak minimum çözünürlükte yapılan genel alan taramasında yazılım birçok parlak cisim olarak algılayabilmektedir. Bundan dolayı dönüşüm işleminde kullanılacak reflektörler genel alan taraması üzerinden kullanıcı tarafından seçilmesi gerekmektedir. Şekil 7a'da ilk istasyondan yapılan genel alan taraması, Şekil 7b'de genel alan taraması sonucunda cihazın reflektör olarak algıladığı cisimler, Şekil 7c'de genel alan taraması üzerinden reflektörlerin kullanıcı tarafında seçilmesi ve Şekil 7d'de ise genel alan taraması üzerinden detaylı taranacak alanın seçilmesi gösterilmektedir.



Şekil 7: a: Genel alan taraması; b: Genel alan taraması üzerinde cihaz tarafından reflektör olarak algılanan parlak cisimler; c: Genel alan taraması üzerinden hassas olarak taranacak reflektörlerin seçilmesi; d: Genel alan üzerinden detaylı taranacak alanın seçilmesi

Reflektör taraması işlemi genel alan taraması üzerinden seçilen reflektörlerin maksimum çözünürlükte taranması işlemidir. Reflektörlerin maksimum çözünürlükte taranmasındaki amaç, ortak noktalarının en iyi şekilde belirlenmesi içindir. Reflektörler ne kadar fazla piksel ile temsil edilirlse orta noktaları o derece iyi belirlenmektedir. Reflektörler 500 piksel altında tarandığında ve bu reflektörler dönüşüm işleminde kullanıldıklarında nokta bulutlarının birleştirilirken hatalar ile karşılaşılmaktadır. Bundan dolayı 500 pikselin altında taranan reflektörler dönüşüm işlemine dahil edilmemelidir. Şekil 8'de nokta bulutlarını birleştirmek için kullanılan 5 cm çapındaki reflektör ve bunun maksimum çözünürlükte taranmış görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 8: a: Nokta bulutlarını birleştirmek için kullanılan reflektör; b: hassas olarak taranmış görüntüsü

Tablo 2’de ilk istasyondaki kontrol noktalarının (reflektörlerin) tarama sonucunda elde edilen metre birimindeki boyutları, yüksek çözünürlükte kaç piksel olarak tarandığı ve merkez koordinat değerleri gösterilmektedir.

Tablo 2: İlk istasyonda reflektör taramasında maksimum çözünürlükte taranan reflektörlerin boyutları, kaç piksel olarak tarandığı Kartezyen koordinatları ve düzeltme değerleri.

Boyut	Piksel	X	Y	Z
0.051	1811	-7.164	12.590	-1.008
0.047	1288	-10.658	7.508	0.195
0.049	2177	-12.517	6.845	-0.277
0.050	2485	-10.545	3.989	0.153
0.049	2577	-8.801	-6.448	-1.202
0.052	1485	-12.911	13.967	0.758
0.050	2807	-12.372	2.253	0.117

Detaylı alan taraması, cihazın kurulu olduğu istasyondan taranacak alanın belirlenerek yüksek çözünürlüklü olarak taranması işlemidir. Bu işlem için genel alan taraması üzerinden detaylı taranacak alan seçilir (Şekil 7d). Belirlenen bir açısız çözünürlükte tarama işlemi gerçekleştirilir. Tarama işleminin hemen ardından nokta bulutlarını renklendirmek için kullanılacak olan fotoğraflar çekilir.

Bu çalışmada; askerlik şubesinin iç ve dış cephelerinin taranması için toplam 17 ayrı istasyondan tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Binanın iç cephesini taramak için kullanılan istasyonlarda 16. ve 17. istasyonlarda 3 farklı pozisyonda tarama yapılmıştır. Cihaz ilk pozisyonda zemini, ikinci pozisyonda karşısındaki duvarı ve üçüncü pozisyonda da çatıyı görecektir şekilde düşeyde döndürülerek tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Cihaz düşeyde döndürüldüğünde alet merkezli koordinat sistemi değişir. Bundan dolayı bir istasyonda farklı pozisyonda yapılan taramalarda yeni bir istasyon olmaktadır. Tablo 3’de her bir istasyondan elde edilen nokta sayısı, tarama çözünürlüğü, cihaz ile taranacak yüzey arasındaki ortalama mesafe ve tarama süresi gösterilmiştir.

Tablo 3: Detaylı Alan taraması nokta bilgisi

Tarama istasyonu	Taranan nokta sayısı	Tarama çözünürlüğü (°)	Ortalama mesafe (m)	Tarama süresi
1	1 197 375	0.080	12.25	3' 12"
2	1 434 440	0.080	9.50	3' 09"
3	1 626 690	0.080	7.50	3' 28"
4	729 779	0.080	5.25	1' 31"
5	422 182	0.080	8.30	1' 09"
6	356 301	0.080	15.75	1' 23"
7	520857	0.080	10.60	1' 40"
8	288 800	0.080	12.50	0' 50"
9	654 764	0.080	7.00	1' 23"
10	875 901	0.080	4.50	1' 59''
11	1 998 000	0.080	4.50	4' 08"
12	444 744	0.080	5.20	0' 57"
13	313 730	0.080	11.75	0' 56"
14	480 612	0.080	12.00	1' 20"
15	1 998 000	0.080	13.10	4' 08"
16a	1 686 519	0.080	3.40	3' 33"
16b	577 473	0.080	3.40	1' 34"
16c	931 532	0.080	3.40	1' 59"
17a	1 761 984	0.080	4.25	3' 47"
17b	1 029 410	0.080	4.25	2' 09"
17c	972 498	0.080	4.25	2' 03"

4.2.3 Verilerin İşlenmesi

4.2.3.1 Nokta Bulutlarının Proje Koordinat Sistemine Dönüştürülmesi

Riegel 390i cihazı tarama işlemlerinde küresel koordinatlar olan R , φ , θ elde edilmektedir. Küresel koordinatlar 1, 2, 3 eşitlikleri ile gerçek zamanlı olarak Kartezyen koordinatlara dönüştürülmektedir [10].

$$X = R \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

$$Y = R \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

$$Z = R \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Yapının tamamının 3B nokta bulutunu elde etmek için farklı istasyonlardan alet merkezli olarak elde edilen her bir nokta bulutunun belirlenen bir proje referans koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekir [15]. Dönüşüm işleminin yapılabilmesi için koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm parametrelerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Üç boyutlu koordinat sistemleri arasında dönüşüm işlemlerinde dönüşüm parametreleri koordinat sistemleri başlangıç noktaları arasındaki üç öteleme (X_c , Y_c , Z_c), ölçek faktörü (λ) ve koordinat eksenleri etrafındaki 3 dönüklük (ω , φ , κ) parametreleridir. Aynı lazer tarayıcı ile elde edilen nokta bulutları arasında ölçek değişimi olmadığı varsayılır. Bundan dolayı dönüşüm işleminde ölçek faktörü dikkate alınmaz. Dönüşüm işleminin gerçekleştirilmesinde altı parametrelili dönüşüm yapılır. (Eşitlik 4, 5, 6) [17]. Dönüşüm işleminde dönüşüm parametrelerinin hesaplanabilmesi için taramalarda ortak olarak taranacak en az 3 reflektör (kontrol noktası) uygun yerlere yerleştirilmelidir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R_M \begin{bmatrix} X_1 - X^c \\ Y_1 - Y^c \\ Z_1 - Z^c \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R_M = R_z R_y R_x \quad R_M = \begin{bmatrix} R_{0,0} & R_{0,1} & R_{0,2} \\ R_{1,0} & R_{1,1} & R_{1,2} \\ R_{2,0} & R_{2,1} & R_{2,2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R_x(R) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & -\sin(\omega) \\ 0 & \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix} \quad R_y(P) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 & \sin(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\varphi) & 0 & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad R_z(Y) = \begin{bmatrix} \cos(\kappa) & -\sin(\kappa) & 0 \\ \sin(\kappa) & \cos(\kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada;

X,Y,Z: Proje koordinat sistemi

X₁, Y₁, Z₁: Alet merkezli koordinat sistemi,

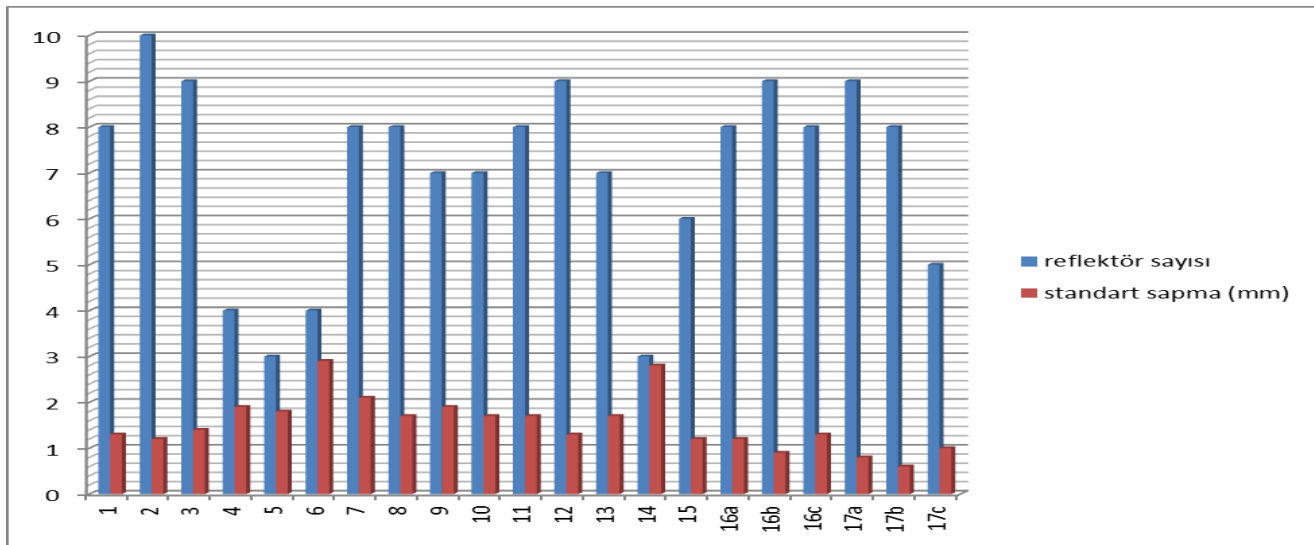
X^c, Y^c Z^c: Proje koordinat sistemi ve alet merkezli koordinat sistemi arasındaki öteleme değerleri,

R_M: Dönüklük matrisi

ω: X eksenini etrafından meydana gelen dönüklük,

φ: Y eksenini etrafında meydana gelen dönüklük [15-17].

Bu çalışmada ilk tarama istasyonunun alet merkezli koordinat sistemi proje koordinat sistemi olarak belirlenmiş ve diğer tüm istasyonlardan elde edilen nokta bulutu verileri bu koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Dönüşüm işleminde tarama işlemi aşamasında uygun yerlere yerleştirilen reflektörler kullanılmıştır. Nokta bulutlarının proje koordinat sistemine dönüştürülmesinde, dönüşümün standart sapmasının olabildiğince düşük olmasına dikkat edilmiştir. Bu bağlamda standart sapmayı düşük tutmak için dönüşüm sonrası kontrol noktalarının artık değerleri incelenmiş ve artık değerleri büyük olan kontrol noktaları dönüşüm işleminde çıkarılarak dönüşüm tekrar yapılmıştır. Çalışma kapsamında her bir istasyonun dönüşümünde kullanılan reflektör sayısı ve dönüşümün standart sapması Grafik 1'deki gibidir.



Grafik1: Nokta bulutların referans koordinat sistemine dönüştürülmesinde kullanılan reflektör sayısı ve dönüşümün standart sapması.

4.2.3.2 Nokta Bulutunun Renklendirilmesi

Riegl 390i cihazı ile yapılan tarama işleminde elde edilen nokta bulutları renksizdir. Nokta bulutlarını renklendirmek için her istasyon noktasında tarama işleminden sonra çekilen fotoğraflar kullanılır. Noktalara renk değerinin doğru olarak aktarılabilmesi için fotoğraf görüntü koordinatlarının, nokta bulutu koordinatlarına dönüştürülmesi gerekmektedir. Fotoğraf çekme işleminde kullanılan dijital kamera yersel tarayıcı tarafından desteklenmekte ve tarayıcıya göre başlangıç konumu bilinmektedir. Yine burada koordinat sistemleri arasında dönüşüm yapılacağı için dönüklük ve öteleme parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu parametreler tarayıcı ve kamera tarafından konumları bilinen hedefler (reflektörler) kullanılarak hesaplanır [15]. Hesaplan dönüşüm parametreleri dönüşüm işlemi gerçekleştirilir. Fotoğraftaki piksellerin renk değerleri ilgili nokta bulutunda ki her bir noktaya atanır. Bu şekilde renksiz nokta bulutlarına bindirmeli olarak çekilen fotoğraflardan renk değerleri atanmış olur (Şekil 9) [18].



Şekil 9: Nokta bulutunun renklendirilmesi; a: renksiz nokta bulutu; b1, b2, b3: renklendirmede kullanılan fotoğraflar; c: renkli nokta bulutu.

4.2.3.3 Yapının 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Oluşturulması

İstasyonlardan elde edilen nokta bulutları, taramaya esas olan bina dışında birçok fazlalık veriyi bulundurmaktadır. Bu fazla veriler bilgisayarın çalışma performansını etkilemektedir. Bundan dolayı yapının 3 boyutlu nokta bulutu oluşturulmadan önce her istasyondan elde edilen tarama verilerindeki fazla noktalar temizlenir. Verilerin temizleme işleminden sonra tüm yapıya ait 3 boyutlu nokta bulutu oluşturulur. Riscan Pro yazılımında tüm yapıya ait 3 boyutlu nokta bulutunu oluşturmak için çoklu veri oluşturma (Create Polydata) fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon kullanılarak ortak bir koordinat sisteminde olan ve farklı istasyonlardan elde edilen nokta bulutları tek bir nokta bulutu haline getirilir (Şekil 10).



Şekil 10: Yapıya ait üretilen 3 boyutlu nokta bulutu.

4.2.3.4 Ortofoto Görüntülerin Oluşturulması

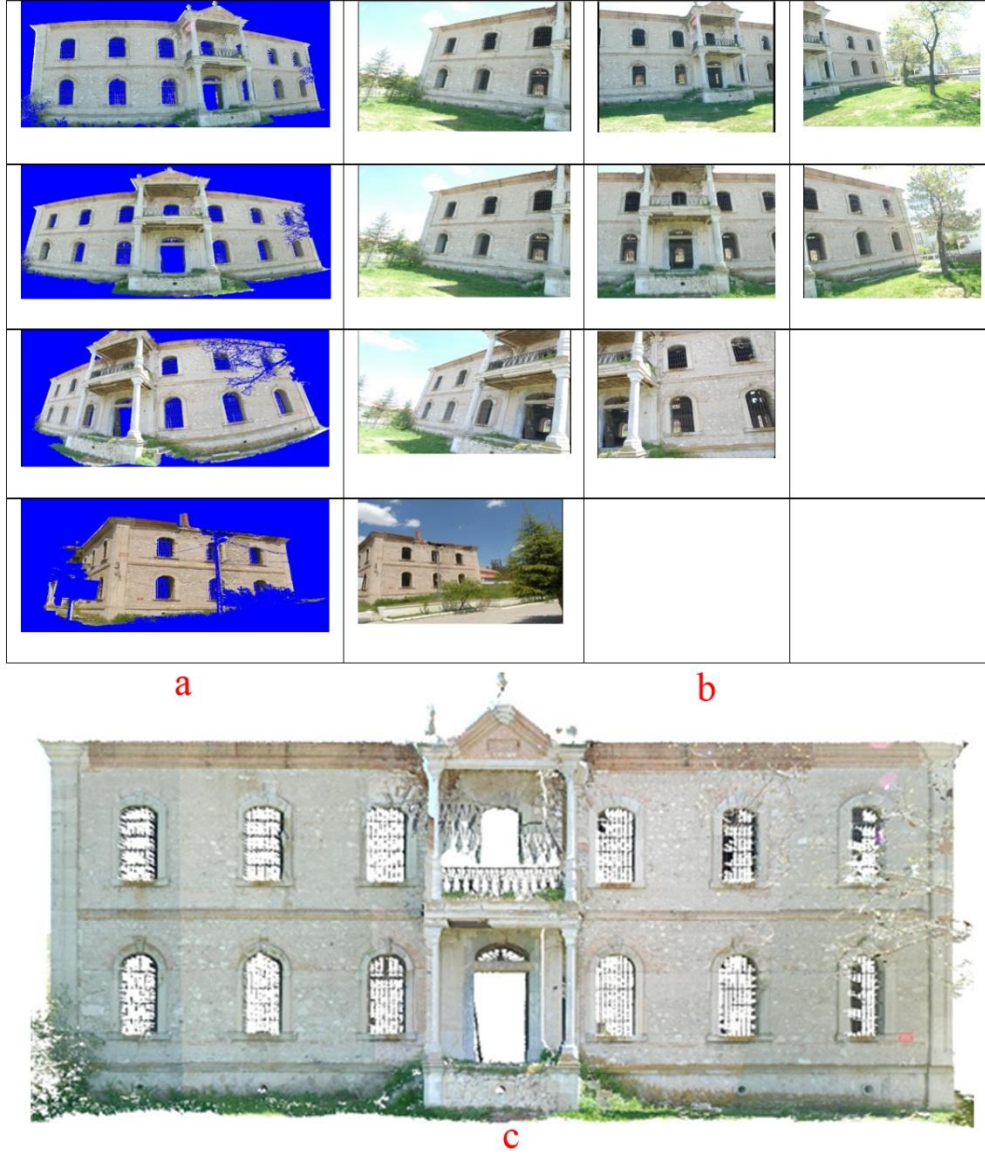
Ortofoto görüntü; eğiklik, dönüklük ve yükseklik farkından dolayı meydana gelen hataların düzeltildiği ve dik izdüşüm haline getirildiği sayısal görüntülerdir [19]. Bu çalışmada mimari çizimlere altlık teşkil edecek bina cephelerine ait ortofoto görüntüler üretilmiştir. Cephelere ait Ortofoto görüntüler üretileceği için XZ düzlemine göre düzlemler oluşturulmuştur (Şekil 11). Ortofoto görüntüler bina cephelerinde farklı düzlemler oluşturularak Riscan Pro yazılımında üretilmiştir.



Şekil 11: Önce cephenin ortofoto görüntüsünün üretilmesi için kullanılan düzlem

Riscan Pro yazılımı kullanılarak ortofoto görüntü üretilirken, oluşturulan düzlemin temsil ettiği alan kaç farklı istasyondan taranmış ise o istasyondan elde edilen nokta bulutu verileri ve o bölgeyi gösteren fotoğraflar kullanılır. Kullanılan nokta bulutu ve fotoğraflar ile yeni bir görüntü elde edilir. Bu görüntü

birebir ölçekli ve perspektiften arındırılmış ortofoto görüntüdür. Ortofoto görüntü üretilirken oluşturulan düzlem ile ortofoto üretiminde kullanılacak resimlerin açısı önemlidir. Genellikle cepheyi karşıdan gören istasyonun verilerinin kullanılması daha doğru sonuçlar verir. Şekil 12c’de ön cepheye ait ortofoto görüntü görülmektedir. Bu görüntü oluşturmak için toplam 4 nokta bulutu verisi (Şekil 12a) ve 9 fotoğraf (Şekil 12b) kullanılmıştır.



Şekil 12: a: ön cephenin ortofoto görüntüsünün üretilmesi için kullanılan nokta bulutu verileri; b: ön cephenin ortofoto görüntüsünün üretilmesi için kullanılan fotoğraflar; c: ön cepheye ait ortofoto görüntü.

4.2.4 Kıymetlendirme İşlemi

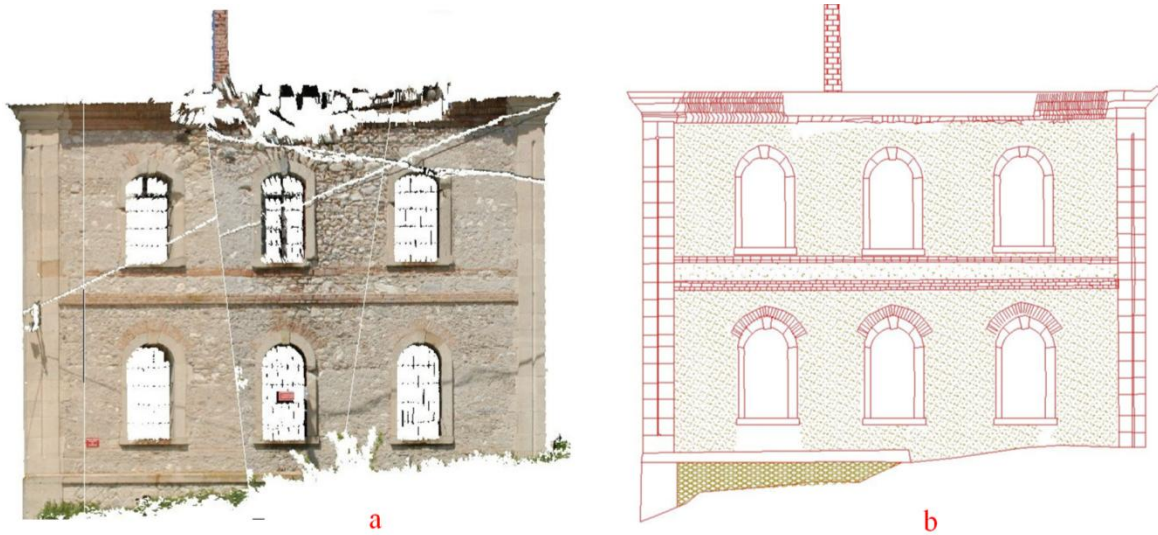
Yapının rölövelerinin oluşturulması için gerekli olan plan ve cephe çizimleri, 3 boyutlu nokta bulutu ve ortofoto görüntüler kullanılarak elde edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapının cephelerinin ve planının çizimleri aşağıdaki işlem adımları uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.4.1 Ortofoto Görüntülerden Cephe Çizimi

Lazer tarama verilerinden elde edilen ortofoto görüntüler mimari belgeleme için oldukça kullanışlı ürünlerdir. Çünkü elde edile ortofoto görüntüler ölçekli ve binanın birebir ölçüleri elde edilebildiği için

mimari çizimlerde altlık olarak kullanılabilir. Ortofoto görüntüler mimari cephe çizimlerine büyük oranda kolaylık getirmektedir. Nokta bulutundan elde edilen ortofoto görüntüler ofis ortamında cephelerin milimetre hassasiyetinde ölçüm yapılmasına imkan verir ve cepheye ait birçok detay içerir. Koruma çalışmalarında çok büyük bir öneme sahip olan cephelerde meydana gelen bozulmalar ortofoto görüntüler kullanılarak kolaylıkla çizilebilmektedir.

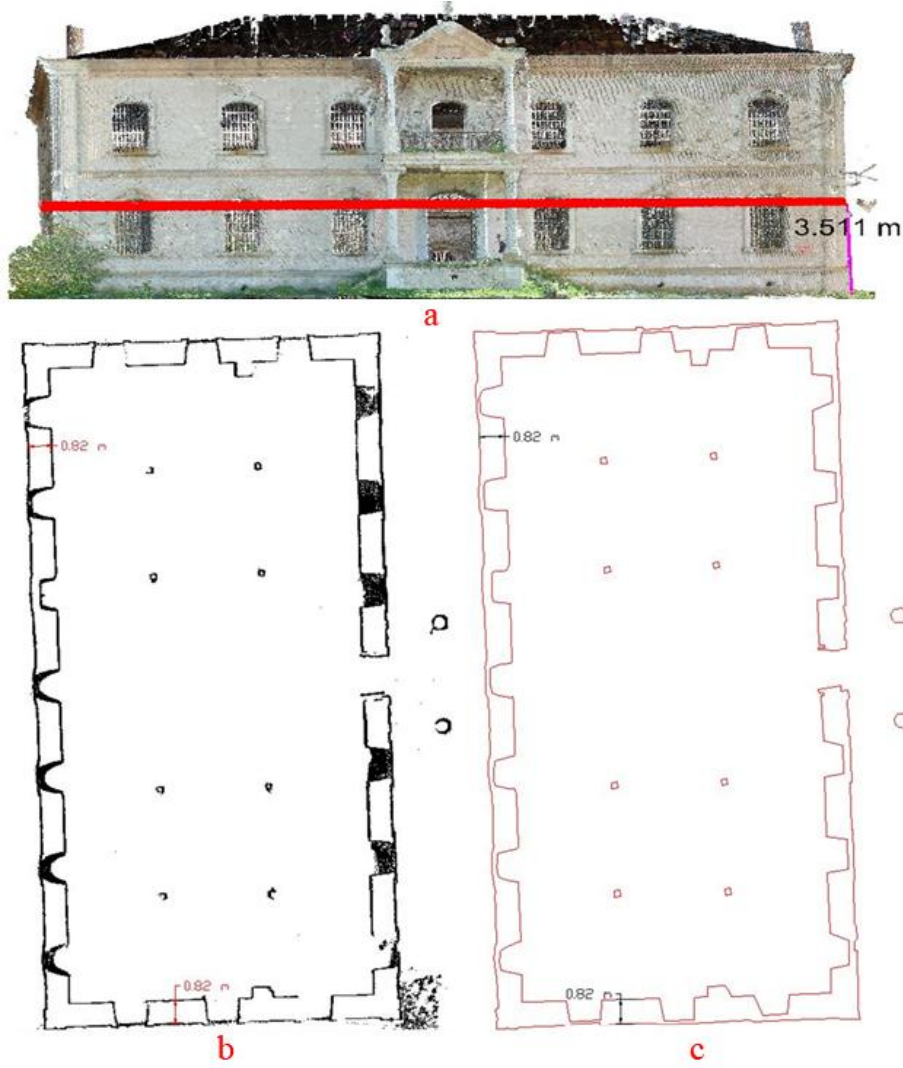
Bu çalışmada nokta bulutu verilerinden üretilen ortofoto görüntüler kullanılarak, askerlik şubesinin cephe çizimleri üretilmiştir. Çizim işleminde AutoCAD programı kullanılmıştır. Çizim işlemine geçilmeden önce Riscan Pro yazılımında üretilen ortofoto görüntüler nokta bulutu verilerini açabilen PointCloud yazılımı kullanılarak AutoCAD ortamında aktarılmıştır. Çizim işlemi yapılırken nokta bulutu verileri Riscan Pro ve AutoCAD yazılımlarının ortak veri formatı olan "ptc" formatında AutoCAD ortamına aktarılabilir. Nokta bulutu verileri, ortofoto görüntü ile karşılaştırılarak ortofotodan çizilemeyen alanlar nokta bulutu yardımıyla bütünleştirilebilir. Şekil 13'de binanın sol cephesini oluşturan ortofotolar ve bu ortofotolar üzerinden çizilen sol cephe görülmektedir. Şekil 13a'da beyaz renkli çizgiler şeklinde görülen yerler binanın önünden geçen kablolardan dolayı gölgede kalan ve bina yüzeyinden nokta okuması yapılamayan yerlerdir.



Şekil 13: a: Ortofoto görüntü; b: ortofoto görüntü üzerinden çizilen yapının sol cephesi

4.2.4.2 Yapının 3 Boyutlu Nokta Bulutundan Plan Çizimi

Mimari belgeleme çalışmalarında yapılara ait plan çizimleri yapının 3 boyutlu nokta bulutu üzerinden alınan kesitler kullanılarak çizilebilmektedir. 3 boyutlu nokta bulutu üzerinden alınan plan verisinin en büyük avantajı, istenilen yükseklikten plan görüntüsünün elde edilebilmesidir. Şekil 14'de yerden 3.511 m yükseklikten elde edilen plan görülmektedir. Bunun yanında iç ve dış cephelerinin taraması yapılan binalarda, duvar kalınlıkları ve iç mekâna ait planlarda elde edilebilmektedir (Şekil 14c).



Şekil 14: a: 3 boyutlu nokta bulutu üzerinden 3.51 m yüksekliğinden alınan yatay kesit; b: AutoCAD yazılımında açılan yatay kesitin plan görünüşü c: Nokta bulutu üzerinden AutoCAD’de çizilen plan.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 94 yıllık tarihi bir binanın yersel tarama cihazı kullanılarak 3 boyutlu belgelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bina içten ve dıştan taranarak yapının tamamı hakkında hızlı bir şekilde 3 boyutlu nokta bulutu verisi toplanmıştır. Nokta bulutu verileri ve tarama işlemi sırasında çekilen fotoğraflar kullanılarak yapının cephelerine ait ortofoto görüntüler üretilmiştir. Ortofoto görüntüler üzerinden mimari rölöve hazırlamada kullanılan cephelerin çizimleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte 3 boyutlu nokta bulutu üzerinden istenilen yükseklikten yatay plan kesiti kullanılarak yapının planı çizilmiştir.

Bu çalışma sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır;

- Kültürel mirasımız olan tarihi binaların 3 boyutlu belgelenmesi çalışmalarında yersel lazer tarama yöntemi hızlı ve detaylı veri elde edilebilecek bir yöntem olduğu gösterilmiştir.
- Elde edilen nokta bulutu verileri birleştirilerek yapılara ait detaylı 3 boyutlu nokta bulutları oluşturulabilmektedir.
- Lazer tarama cihazı ile elde edilen nokta bulutu verisi ve cihaz ile bütünleşik olarak çalışan sayısal (dijital) kamera ile elde edilen fotoğraflar kullanılarak oluşturulan bire bir ölçülü ortofotolar yapıların cephelerinin detaylı, hızlı ve doğru bir şekilde çizilmesi için kullanılabilir bir altlık olduğu görülmüştür.

- Yapının 3 boyutlu nokta bulutu üzerinde istenilen yükseklikten alınan yatay kesitler kullanılarak yapının istenilen yüksekliğine ait planları çizilebilmektedir. Böylece planların elde edilmesinde esneklik sağlanmış olmaktadır.
- Elde edilen 3 boyutlu nokta bulutu, ortofoto görüntüler, çizilen plan ve cepheler bilgisayar ortamında kolayca arşivlenebilmektedir.
- Kültürel miraslardan birçoğu doğal veya insani nedenlerden dolayı hasara uğramış durumdadır. Böyle eserler belgeleme çalışmalarında çalışanlar için tehlike teşkil etmektedir. Yersel lazer tarayıcılar kullanılarak bu gibi yerler kolayca taranarak belgelenebilmektedir. Bunun yanında tarama aşamasında taranacak nesnelere temas olmadığından tarihi dokuya da zarar verilmemektedir.
- Arazide tarama işlemi sırasında gölgede kalan yüzeyler üzerinde ölçüm yapılamamaktadır. Bundan dolayı 3 boyutlu nokta bulutu ve üretilen ortofotolarda bu verisiz alanlar boş olarak gözükmemektedir. Bu durum çizim işleminde sorunlar çıkarmaktadır. Ancak bu gibi yerler arazide diğer ölçüm yöntemleri kullanılarak el çizimi ile tamamlanabilmektedir.
- Lazer tarama cihazı ile yapılan tarama işleminde milyonlarca nokta elde edilmektedir. Bu noktaların bilgisayarda kapladığı boyutun büyük olması, verilerin işlenmesini yavaşlatmaktadır. Verilerin işlenmesinde çalışma kapasitesi yüksek bilgisayarların kullanılması veri işleme aşamasını hızlandıracaktır.

6. KAYNAKLAR

1. Yakar, M., Yılmaz H.M. "Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrammetrik Rölöve Çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi", Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 2008, C.23 s.2: 25-33.
2. Alanyalı, F., Çabuk, A., Deveci, A., Erfincan, F., Avdan, U., Akça, S., "Arkeoloji ve Mimari Rekonstrüksiyon Çalışmalarında Yersel Fotogrametri ve Gerçek Zamanlı Küresel Konumlandırma Sistemi Uygulaması: Patara Hurmalık Hamamı ve Palestra Kompleksi Örneği", 2007 (TÜBİTAK-SOBAG 105K049 nolu proje).
3. Alshwabkeh, Y. "Integration of Laser Scanning and Photogrammetry for Heritage Documentation", Phd. Thesis in Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart 2006.
4. Ulvi, A. "Antik Tiyatroların Fotogrametrik Rölöve Planlarının Çıkarılması Üzerine Deneysel Bir Çalışma", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fotogrametri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
5. Yastıklı, N. "Documentation of Cultural Heritage Using Digital Photogrammetry and Laser Scanning", Journal of Cultural Heritage, 2007 vol. 8 issue. (4): pages 423-427.
6. Al-Khedera, S., Al-Shwabkeh, Y., Haala, N. "Developing a Documentation System for Desert Palaces in Jordan Using 3D Laser Scanning and Digital Photogrammetry", Journal of Archaeological Science 2009, vol: 36, Issue: 2 pages: 537-546.
7. Gabriele, G., Danilo, G., Marco, B. "The Employment of Terrestrial Laser Scanner in Cultural Heritage Conservation: The Case Study of Vallinotto Chapel in Carignano-Italy", Applied Geomatics, 2010, vol. 2 issue. (2): pages 59-63.
8. Cheng, H.M., Yen, Y.N., Chen, M.B., Yang, W.B. "A processing for digitizing historical architecture", Digital Heritage:2010, pages. 1-12.
9. Lerones, P.M., Fernandez, J.L., Gil, A.M., Gomez-Garcia-Bermejo, J., Casanova, E. Z. "A Practical Approach to Making Accurate 3D Layouts of Interesting Cultural Heritage Sites Through Digital Models", Journal of Cultural Heritage, 2010 vol.11 issue. (1): pages 1-9.
10. Reshetyuk, Y. "Self-Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanning", Doctoral thesis in Infrastructure, Geodesy, Royal Institute of Technology (KTH), Department of Transport and Economics Division of Geodesy, 2009.
11. Lichti, D. D., Gordon, S.J. "Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording", FIG Working Week, Athens, Greece, May 22-27, 2004.

12. Fabris, M., Achilli, V. Artese, G., Boatto, G., Bragagnolo, D., Concheri, G., Meneghello, R., Menin, A., Trecroci A. (2009). "High Resolution Data From Laser Scanning and Digital Photogrammetry Terrestrial Methodologies Test Site: An Architectural Surface", ISPRS, 2009, Vol. 38, Part 3/W8pages.43-48.
 13. Böhler, W., Marbs, A. "3D scanning instruments", ISPRS/CIPA International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recoding , Corfu, Greece, 2002 pages.9-12.
 14. Gümüş, K. "Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Geomatik Programı, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
 15. Riveiro, B., Morer, P., Arias, P., De Arteaga, I. "Terrestrial Laser Scanning and Limit Analysis of Masonry Arch Bridges", Construction and Building Materials, 2011 vol:25 issue (4): pages 1726-1735.
 16. Altuntaş, C., Yıldız, F. "Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi", Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2008/1 Sayı:98 s.20-27.
 17. Al-Manasir, K., And Fraser, C. S. "Registration of Terrestrial Laser Scanner Data Using Imagery", Photogrammetric Record, 2006, vol. 21, issue. 115, pages. 255-268.
 18. Terrestrial Laser Scanner LMS-Z390i User's Manual, "3D Imaging Laser Scanner General Description and Data Interfaces", Riegl Laser Measurement Systems GmbH, A-3580 Horn Reidenburgstrasse 48 Austria, 2007.
 19. Yastıklı, N. "Ortofoto Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Anabilim Dalı 2009 İstanbul.
- URL-1: Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunması Sözleşmesi,
<http://www.kulturvarliklari.gov.tr/belge/1-74301/dunya-kulturel-ve-dogal-mirasin-korunmasi-sozlesmesi.html>
- URL-2: T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Müdürlüğü: Taşınmaz Kültür Varlıkları, Türkiye Geneli Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlığı İstatistiği,
<http://www.kulturvarliklari.gov.tr/belge/1-42957/tescilli-yapilar.html>
- URL-3: T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Müdürlüğü: Sit Alanları, Türkiye Geneli Sit Alanları İstatistikleri,
<http://www.kulturvarliklari.gov.tr/belge/1-43069/turkiye-genelinde-illere-gore-sit-dagilimlari.html>
- URL-4: Riegl Laser Measurement Systems Rroduct LMS-390i,
<http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/1/>