

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARİHİ ESERLERİN DOKÜMANTASYONUNDA
ÇEŞİTLİ VERİ TOPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Ramazan Alper KUÇAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. FATMAGÜL KILIÇ**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ ESERLERİN DOKÜMANTASYONUNDA
ÇEŞİTLİ VERİ TOPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Ramazan Alper KUÇAK tarafından hazırlanan tez çalışması 13.06.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Ümit GÜMÜŞAY
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Şinasi KAYA
İstanbul Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezim ve lisans tezim de dahil olmak üzere, bu zamana kadar yapmış olduğum bütün mühendislik çalışmalarında yanımda olan, bugün sahip olduğum imkanları elde etmem için verdiğim mücadelelerde beni yalnız bırakmayan, Türkiye'deki yüksek lisans tez danışmanım Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek Lisans Tez çalışmamı yurt dışında yapmamı sağlayan bölümümüz Erasmus Koordinatörü Yrd. Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI hocama erasmus işlerimde göstermiş olduğu ilgiden dolayı çok teşekkür ederim.

Yurt dışındaki tez çalışmalarım boyunca danışmanlığımı üstlenen ve yurt dışında her türlü yardımına koşan Dipl. Dr. Thomas Vögthle'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin istatistik çalışmalarında ve tez sonuçlarımın yorumlanmasında bana yardımcı olan sayın Dr. Akın KISA'ya yaratıcı çalışmalarından dolayı teşekkür ederim.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü Hocalarımdan Yrd. Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU'na tezimin istatistik ve jeodezi kısımlarında öğretmiş olduğu yöntemlerden ve tezime vermiş olduğu emekten dolayı çok teşekkür ederim. Ayrıca; bölümümüz diğer hocaları Bölüm Başkanımız Yrd. Doç. Dr. Fatih POYRAZ'a, Bölüm Başkan Yardımcılarımız Yrd. Doç. Dr. Önder GÜRSOY ve Yrd. Doç. Dr. Ercüment AYAZLI'ya; ayrıca Fotogrametri Anabilim Dalı Başkanımız Yrd. Doç. Dr. Tarık TÜRK'e tezime katmış oldukları maddi ve manevi her türlü yardımdan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca her türlü fedakarlığı göstererek bu günlere ulaşmamı sağlayan aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

Mayıs, 2013

R.Alper KUÇAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Orijinal Katkı.....	3
BÖLÜM 2.....	4
GENEL BİLGİLER	4
2.1 Yersel Fotogrametri ile Modelleme	4
2.1.1 Stereo Görüş Olmadan Birden Fazla Fotoğraf Yardımıyla Değerlendirme	6
2.2 Yersel Lazer Tarama ile Modelleme	7
2.2.1 Yersel Lazer Tarayıcıların Çalışma İlkesi.....	8
2.2.1.1 Sinyal Gidiş-Geliş Zamanı Yöntemi	10
2.2.1.2 Faz Karşılaştırma Yöntemi	10
2.2.1.3 Optik Üçgenleme Yöntemi	11
2.2.2 Lazer Tarama ve Nokta Bulutlarının Birleştirilme Yöntemleri	12
2.2.2.1 3B Benzerlik Dönüşümü ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi	13
2.3 İki Ölçü Yönteminin Üçüncü Bir Ölçü Yöntemine Göre Karşılaştırılması...16	
2.3.1 Üç Boyutlu Modelin Doğruluğu.....	18

BÖLÜM 3.....	21
UYGULAMA	21
3.1 Çalışma Alanı	21
3.2 İş Akışı	22
3.3 Yazılım ve Donanım	23
3.4 Lazer Tarama Uygulaması.....	24
3.4.1 Lazer Tarama İşlem Adımları.....	24
3.4.2 Nokta Bulutlarını Birleştirme İşlemi	26
3.4.3 Tarama verilerinden 3B Modelin Üretilmesi	28
3.5 Fotogrametrik Yöntem-Stereo Görüş Olmadan Değerlendirme	31
3.5.1 Kamera Kalibrasyonu	31
3.5.2 Kontrol Noktaları ve Ölçümü	33
3.5.3 Fotoğraf Çekimi	34
3.5.4 PhotoModeler ile Modelleme.....	36
3.5.4.1 Farklı Fotoğraflar Üzerindeki Aynı Noktaların İşaretlenmesi	36
3.5.4.2 Üç Boyutlu Modelin Elde Edilmesi	37
3.5.4.3 Ölçeklendirme	39
3.6 Doğruluk Araştırması.....	39
3.7 Yazılım ve Donanım ile İlgili Sorunlar	43
BÖLÜM 4.....	45
SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR.....	47
EK-1.....	50
PHOTOMODELLER KALİBRASYON RAPORU	50
EK-2.....	53
LAZER TARAYICININ ÖZELLİKLERİ	53
EK-3.....	54
TOTAL STATION İLE ÖLÇÜLEN NOKTALAR ve KONUM DOĞRULUKLARI	54
EK-4.....	55
HER ÖLÇÜ GRUBUNDA NOKTALAR (X,Y,Z).....	55
EK-5.....	56
MESAFELER ARASI FARKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	58

SİMGE LİSTESİ

ρ	Lazer tarayıcı ile ölçülen obje noktası arasındaki eğik mesafe
α	Işın doğrultusunun x eksenine ile yatay düzlemde yaptığı açı
θ	Işın doğrultusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı
O_1	Lazer tarayıcı yerel koordinat sistemi merkezi
O_2	Yer koordinat sistemi merkezi
M	Referans nokta kümesi
N	Araştırma nokta kümesi
$[x\ y\ z]^T$	1. Koordinat Sistemi koordinatları
$[X\ Y\ Z]^T$	2. Koordinat Sistemi koordinatları
$mR(\omega\phi\kappa)$	Ortogonal dönüşüm matrisi elemanları (Koordinat Dönüşümü)
$[t_x\ t_y\ t_z]^T$	Öteleme vektörü
m	Ölçek katsayısı
$[x,\ y,\ z]^T$	Lazer tarayıcı koordinatları
$[X,\ Y,\ Z]^T$	Jeodezik koordinatlar
R_κ	z eksenine etrafındaki dönüklük açısı
R_ϕ	y eksenine etrafındaki dönüklük açısı
e_x	Yersel Lazer Tarayıcı ve tarayıcı merkezleri arasındaki fark vektörü
e_y	Yersel Lazer Tarayıcı ve tarayıcı merkezleri arasındaki fark vektörü
σ	Standart sapma
μ	Ortalama değer

KISALTMA LİSTESİ

3B	Üç Boyut
TLS	Terrestrial Laser Scanning
CCD	Charge Coupled Device (Katı yarı iletken görüntü elemanı)
PM	PhotoModeler Programı
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
IRS	Intrinsic Reference System (Asıl referans Sistemi, Tarayıcı Koordinat Sistemi)
GRS	Ground Reference System (Yer Referans Sistemi, Arazi Koordinat Sistemi)
YKN	Yer Kontrol Noktası
YLT	Yersel Lazer Tarayıcı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yersel Fotogrametri Yöntemleri Ve İş Akışı	5
Şekil 2.2 Stereo Görüş Olmadan Değerlendirme	6
Şekil 2.3 Lazer Işını Dalga Boyu	7
Şekil 2.4 Yersel Lazer Tarayıcı Ölçüleri, Tarayıcı Koordinat Sistemi Ve Yer Koordinat Sistemi	9
Şekil 2.5 Lazer Işını Gidişi Ve Gelişi	10
Şekil 2.6 Faz Farklı Sistem	11
Şekil 2.7 “Triangulasyon” Yöntemi Tek Kamera Çözümü	11
Şekil 2.8 “Triangulasyon” Yöntemi İki Kamera Çözümü	12
Şekil 2.9 Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümünde Eksenler	13
Şekil 3.1 Çin Çay Evi	21
Şekil 3.2 Leica Hds 6000 Lazer Tarayıcısı	23
Şekil 3.4 Leica Ts06 Total Station	24
Şekil 3.5 “Preview” Çözünürlük İle İlk Tarama	25
Şekil 3.6 Rectangle Fence Mode İle “Ultra High” Tarama.	25
Şekil 3.7 Hedef Levhalarının Sisteme Tanımlanması	26
Şekil 3.8 Register İşlemi Sonrası Hatalar	27
Şekil 3.9 Gereksiz Noktaların Silinmesi	28
Şekil 3.10 Cephe Üzerindeki Noktaların Seçimi	28
Şekil 3.11 Cephe Modelleme	29
Şekil 3.12 “Polygonal Fence Mode” İle Detay Çalışması	29
Şekil 3.13 Çatı Detayı	30
Şekil 3.14 Cyclone Ve 3dreshaper İle Oluşturulan Heykel Modeli	30
Şekil 3.15 Çin Çay Evi Üç Boyutlu Modeli	31
Şekil 3.16 Kalibrasyon Levhası	31
Şekil 3.17 Kalibrasyon Programının Çalıştırılması	32
Şekil 3.18 Kalibrasyon Raporu	33
Şekil 3.19 Kontrol Noktaları	34
Şekil 3.20 Kamera Çekim Noktaları	35
Şekil 3.21 Çalışmada Kullanılan Fotoğraflar	36
Şekil 3.22 Aynı Noktaların Eşleştirilmesi	37
Şekil 3.23 Röleve Çizimi Yapılan Fotoğraflar	37
Şekil 3.24 Process İşlemi Sonucu	38

Şekil 3.25 Photomodeler 3 Boyutlu Model	38
Şekil 3.26 Photomodeller Ölçeklendirme	39
Şekil 3.27 Kaba Hatalı Ölçü Gruplarının İstatistik Testleri Ve Standart Sapmaları	40
Şekil 3.28 Kaba Hataları Çıkarılmış Ölçü Gruplarının İstatistik Testleri Ve Standart Sapmaları	42

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 CIPA rölöve doğrulukları.....	19
Çizelge 3.1 Proje İş Akış Modeli.....	22
Çizelge 3.2 Lazer Tarayıcı Tarama Hızı ve Ölçüm sonucu oluşan nokta sayısı.....	26
Çizelge Ek-2 Lazer Tarayıcının Özellikleri.....	53
Çizelge Ek-3 Total Station ile Ölçülen Noktalar ve Konum Doğrulukları.....	54
Çizelge Ek-4 Her Ölçü Grubunda Noktalar (X,Y,Z).....	55
Çizelge Ek-5.1 Total Station - Lazer.....	56
Çizelge Ek-5.2 Total Station – Fotogrametri.....	56
Çizelge Ek 5.3 Fotogrametri – Lazer.....	57

**TARİHİ ESERLERİN DOKÜMANTASYONUNDA
ÇEŞİTLİ VERİ TOPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Ramazan Alper KUÇAK

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ

Tarihi eserler geçmişten günümüze gelene kadar, doğal ya da doğal olmayan birçok tahribata maruz kalmaktadır. Bu nedenle; kültürel mirasın korunması ve bir sonraki kuşakları, tarih hakkında bilgilendirmek amacı ile yapılan çalışmalar, tüm dünyada gün geçtikçe hızlanmakta ve önemi büyük ölçüde artmaktadır. Artan bu önem, kültürel miras üzerine yapılan bu çalışmaların daha kolay ve daha detaylı olması için teknolojiyi de teşvik etmekte, bu da kullanılan ölçme sistemlerinin gelişmesini sağlamaktadır.

Tarihi yapıların bakım ve onarımı, korunması için altlık olacak verilerin (rölöve ve üç boyutlu model) hazırlanmasında fotogrametrik yöntemler uzun yıllardır kullanılmaktadır. Lazer tarayıcıların gelişmesi de bu yöntemlere zenginlik katmış, detay ve doğrulukta artışlar olmuştur.

Bu çalışmada, tarihi eserlerin üç boyutlu (3B) modelinin hazırlanmasında yersel fotogrametri ve lazer ile tarama yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler, jeodezik ölçümler referans alınarak doğruluk açısından incelenmiştir. Çalışma alanı olarak Almanya-Karlsruhe'de bulunan tarihi bir bina seçilmiştir ve kültürel mirasın dokümantasyonu için yapılacak çalışmalara bir katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: 3B Modelleme, Yersel Lazer ile tarama, Yersel fotogrametri

**ANALYSIS OF VARIOUS DATA COLLECTION METHODS FOR
DOCUMENTATION OF HISTORICAL ARTIFACTS**

Ramazan Alper KUÇAK

Department of Geomatic Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ

Historical artifacts living from the past until today exposed to many destructions non-naturally or naturally. For this reason, the protection of cultural heritage and the studies doing to inform the next generations is accelerating day by day in the whole world and the importance of it is increasing highly. By this increased importance, the technology is encouraged in order to be easier and more detailed of studies made on the cultural heritage and this importance have provided the development of used measurement systems and renewing itself every day.

Photogrammetric methods are used for years to prepare databases (measured drawings and three-dimensional model) for maintenance and repair of historic buildings. These methods has enriched the development of laser scanners, detail and accuracy has been increased.

In this study, terrestrial photogrammetry and laser scanning methods have been used in preparation of three-dimensional (3D) model of the historical sites. These methods are examined in terms of accuracy by reference to the geodetic measurements. "Chinese Tea House" which is a historic building located in Germany-Karlsruhe have been selected as the study area and providing a contribution to the studies to do for the documentation of cultural heritage have been intended.

Keywords: 3D Modelling , Terrestrial Laser Scanning , Terrestrial Photogrammetry

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Araştırması

Arkeolojik ölçmeler ve tarihi eserlerin dokümantasyonu için yersel fotogrametri uzun yıllardır vazgeçilmez bir yöntem olmuştur. Günümüzde lazer ile tarama teknolojisi de benzer olarak uzun yıllar kullanılacak şekilde gelişim göstermektedir.

Fotogrametri, özellikle son yıllarda geliştirilen sayısal değerlendirme sistemleri yardımıyla nesnelerin görüntülerden üç boyutlu modelinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde ise kullanıma giren lazer tarama teknolojisi pek çok ölçme uygulaması için umut verici bir alternatif olarak görülmektedir. Uçaktan ve yerden lazer tarama teknolojisi çok büyük miktarda üç boyut verisini, çok hızlı elde etmekte ve nesnelerin görüntüleriyle bütünleştirerek bir gösterim sağlamaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı mekansal nesnelerin, görüntüleme tekniklerine göre daha gerçeğe yakın bir gösterim elde etmesidir. Elde edilen bu modeller tarihi miras, toprak yönetimi ve tıp uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kültürel mirasın belgelendirilmesi konusunda da, üç boyutlu modeller, görselleştirme için çok önemli araç olmaktadır [1].

Fotogrametri, ASPRS tarafından; nesnelere ve yakın çevresine temas etmeksizin, yayılan elektromagnetik enerjinin algılanması, değerlendirilmesi ve yorumlanmasıyla nesne ve çevresi hakkında güvenilir bilgiler elde etme sanatı, bilimi ve teknolojisi olarak tanımlanmıştır [2].

Yersel fotogrametri yöntemi fotogrametrik röleve yapımında yıllardır başarı ile kullanılan bir yöntemdir. Gelişen bilgisayar ve bilgi teknolojileri ile birlikte, klasik yersel

fotogrametri yöntemi yerini dijital yöntemlere bırakmıştır. Dijital fotogrametri yöntemi ile bütün yöneltme ve çizim işlemleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem, otomatik yöneltme ve ölçme işlemleri, üç boyutlu vektör veri, sayısal ortofoto, sayısal yüzey ve arazi modellerinin üretimi gibi birçok imkân sunmaktadır. Elde edilen sonuç ürünlerinin sayısal olması, bu ürünlerin belgeleme ve fotogrametrik röleve dışında üç boyutlu modelleme, üç boyutlu verinin görselleştirilmesi, yönetilmesi ve CBS ortamında sunulması gibi farklı uygulama alanlarında da kullanılmasına olanak sağlamaktadır [2].

Elverişsiz dış koşullu ortamlar (yetersiz aydınlatma, toz vb) için fotogrametrinin uygulanması zor olmaktadır. Bu nedenle, obje geometrisinin doğrudan ve yüksek doğrulukla 3B ölçümünü sağlayan Yersel Lazer Tarama (YLT) yöntemide dokümantasyon çalışmalarında kullanılmaya başlamıştır.

Lazer teknolojisi alanındaki araştırmalar, 1960 yılından bu yana 40 yılı geçkin bir tarihe sahiptir. YLT teknolojisinin bir ölçüm aracı olarak gerçekten bir araştırma alanı haline gelmesi son 10 yılda olmuştur [3].

Yersel lazer tarama ve fotogrametri gibi üç boyutlu sonuç veren yöntemler, yüzeylerin sayısal modellerini çıkarmak için kullanılır. Lazer tarayıcılar, mimari ve arkeolojik ölçme uygulamalarının birçok alanında, en yaygın olarak kullanılan aletlerden biri haline gelmiştir. Kültürel Miras nesnelerinin sunumu ve foto-gerçekçi modellerinin elde edilmesi, yüksek çözünürlüklü dokular ve detay seviyelerinin (level of detail-LOD) farklı aşamalarında, daha fazla detayın elde edilmesi ve geometrik doğruluğu iyi 3B modelleri elde edebilmek için lazer tarayıcılar kullanılabilir. Yöntemlerin doğrulukları, hassasiyetleri ve sonuçları; ölçümün amacı ve ölçülen nesneye göre kullanılan aletin temel özelliklerine bağlı kalınarak değerlendirilmektedir [4].

Kültürel mirasın dokümantasyonu üzerine yapılan üç boyutlu model veya röleve çalışmalarında kullanılan yöntemlerin modellemede sundukları görsellik kadar, yöntemlerin doğruluklarının incelenmesi de, belgelendirme çalışmaları için büyük önem taşımaktadır. Araştırmalarda kullanılan yöntemlerin doğruluğunun karşılaştırılması metodları incelendiğinde; belgelendirme için yapılan ölçme metodlarının doğruluğu, referans alınan diğer bir ölçme yöntemi kullanılarak

irdelenmiştir. Ayrıca, kullanılan ölçme yöntemlerinden elde edilen veriler “T” Dağılımı, “F” Dağılımı vb. istatistik testlerine tabi tutularak sistemlerin güvenilirlikleri karşılaştırılmıştır.

İstatistik; daha etkin karar verebilmek için sayısal verilerin toplanması, düzenlenmesi, sunumu, incelenmesi ve yorumlanmasıdır. İstatistik bilim dalının temel görevi, sayım ve ölçüm sonuçlarını anlaşılır bir şekilde düzenlemek, kitle teşkil eden objelerde mevcut ortak özelliklerdeki değişkenliğin incelenmesinden yararlanarak kitle hakkında bilgi çıkarmaktır. İncelenen özellikler, sayısal olarak saptanamayan kalitatif (niteliksel) özellikler olabildiği gibi, uzunluk ve ağırlık gibi kantitatif (niceliksel) özellikler de olabilir. Kalitatif özellikler kodlanarak değerlendirmeye alınır ya da bilgisayar ortamına aktarılır [5].

Değişkene ait niteliksel ve niceliksel ölçü değerleri, soru ya da herhangi bir hipotezin çözümünde gerekli olan verileri oluşturur. Veriler, ortaya çıkan soru veya hipotezin çözümünde uygun istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilir. Çözüm sonunda elde edilen bilgilerin bilimsel anlamlılığı, verilerin sağlıklı ve yeterli sayıda olmasının yanı sıra, uygulanan istatistiksel yöntemin doğruluğuna bağlıdır. Verilerin çözümlenmesi sonucunda elde edilen bulgular, olaylar ya da kavramlar arasındaki ilişkinin anlaşılmasına yardım eder ve yeni araştırmaların ortaya çıkmasına zemin oluşturacak yeni bir döngünün başlamasını sağlar [6].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı; tarihi binaların belgelendirilmesinde yersel fotogrametri ve lazer tarama yöntemlerinin kullanılması ve yöntemlerin doğruluklarının karşılaştırılmasıdır.

1.3 Orijinal Katkı

Yüksek lisans tezinin bilime katkısı; YLT ve fotogrametrik yöntemin, tarihi bir eser üzerinde uygulanması ile elde edilen verilerin, birbiri ile karşılaştırılarak, sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesidir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Tarihi eserlerin belgelendirme çalışmalarında, günümüzde ağırlıklı olarak iki yöntem tercih edilmektedir. Bunlardan ilki Yersel Fotogrametri ile Modelleme iken diğeri Yersel Lazer Tarama ile Modelleme'dir.

2.1 Yersel Fotogrametri ile Modelleme

Yersel Fotogrametri Yöntemi; tarihi eserlerin 3B modelinin elde edilmesinde ve rölöve projelerinin çizilmesinde geçmişten günümüze kadar gelişerek gelmiş ve günümüzde belgelendirme çalışmalarında kullanılan, güvenilir bir sistem olarak literatür ve uygulamadaki yerini almıştır.

Fotogrametrinin ilk uygulamaları yersel fotogrametri alanında olmuştur. Fotoğrafın bulunuşundan kısa bir süre sonra 1858 yılında Alman bilim adamı Meydenbauer, fotoğrafın nesnel içeriğini ölçme tekniği ile bütünleştirerek, yıkılan bir kilisenin eldeki mevcut resimlere göre onarımını gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda fotogrametrinin de ilk kurucularından sayılan Meydenbauer kültür yapıtlarının belgeleneceği bir merkezi örgüte duyulan ihtiyacı daha o zamanlar görmüş ve büyük çabalarla 1883 yılında Berlin'de ilk ulusal fotogrametrik dokümantasyon merkezini (Prusya Resim Örgütü) kurmuştur [7'ye atfen 8].

Fotogrametri, kısaca fotoğraflar yardımı ile üç boyutlu modeller elde etmemizi sağlar. Yersel Fotogrametrik yöntem ile fotogrametrinin tarihi yapıların modellenmesinde kullanımı; nesne hakkında geometrik bilgi, konum, boyut ve şekli hakkında bilgi

sağlayan, bunu fotoğraflar üzerinden yapan bir teknik olmasından ileri gelir. Bu yöntemde üç boyutlu bir nokta elde edilmesi için uzayda iki ışının (fotoğraftan nesneye) kesişmesi veya bu noktanın bulunduğu ışın ve yüzey gereklidir [9]. Fotogrametrik çalışmalarda, üç boyutlu modellerin elde edilmesinde bir çok yöntem kullanmak mümkündür. Bu yöntemler;

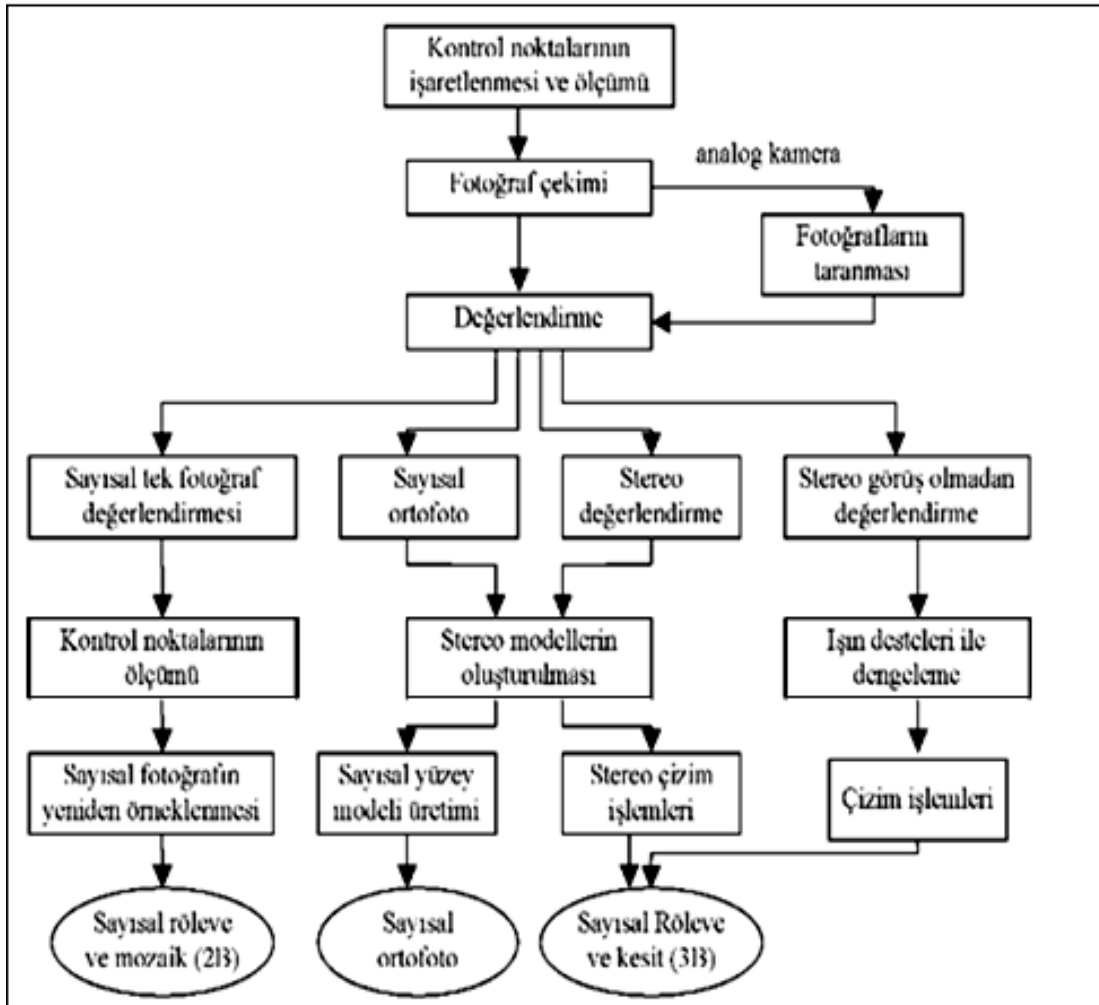
1-Tek Fotoğraf Değerlendirmesi

2-Birden Fazla Fotoğraf Yardımıyla Değerlendirme

a- Çift Resim Değerlendirmesi(Stereo Değerlendirme)

b-Stereo Görüş Olmadan Birden Fazla Fotoğraf Yardımıyla Değerlendirme'dir.

Yersel Fotogrametrik çalışmalarda kullanılan yöntemlerin proje sürecindeki uygulama aşamaları genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir (Şekil 2.1).



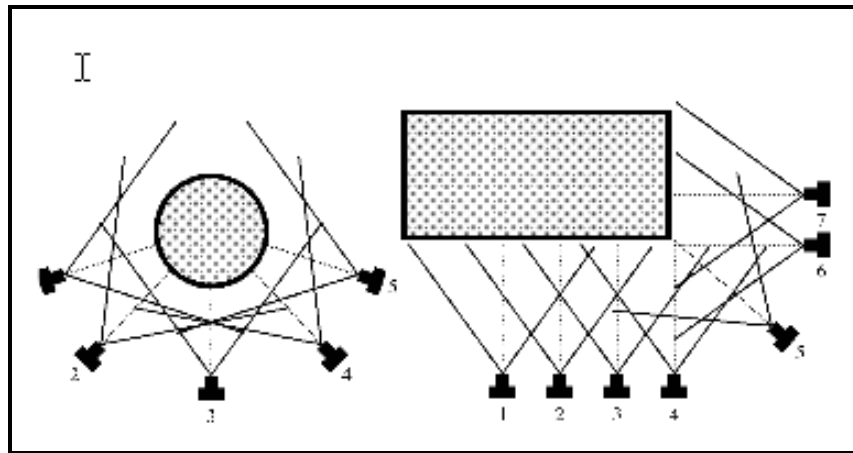
Şekil 2.1 Yersel Fotogrametri Yöntemleri ve İş Akışı [13]

Yersel fotogrametride normal ölçümler ve 3B model çıkarımı için hassasiyet; ağırlıklı olarak ölçüm mesafesi, görüntü kalitesi (duman, sis, yansıma, eğim veya bitki örtüsünün tanımlanabilirliği vb), görüntü çözünürlüğü (piksel boyutu), ışık akışı ve interpolasyon yöntemine bağlıdır[11].

Yersel fotogrametride, görüntü çözünürlüğünün tespiti için sadece yüksek çözünürlüğün yeterli olduğu düşüncesi yerine, uygun çözünürlüğün fotoğraf çekim geometrisi ile kullanılması daha doğru bir yaklaşımdır. Burada resim kalitesini artırdığı düşünülen piksel sayısından çok piksel büyüklüğü önemlidir. Piksel büyüklüğüne bağlı olarak fotoğraf ölçeği ve dolayısı ile objenin kameradan olan uzaklığının belirlenmesi, yakın resim fotogrametrisinde önem kazanır. Yakın resim fotogrametrisinde önemli olan objenin ölçülebilecek en küçük biriminin hangi karesel standart sapma ile ölçüleceğinin belirlenmesi için, 1/1 ölçeğinde pikselin obje üzerinde kapladığı alan olarak düşünülür. Bu faktör yapılacak fotogrametrik yöneltme ve değerlendirmenin doğruluğunu doğrudan etkileyecek bir faktördür [12].

2.1.1 Stereo Görüş Olmadan Birden Fazla Fotoğraf Yardımıyla Değerlendirme

Farklı açılardan bindirmeli olarak çekilmiş birden fazla fotoğraf yardımıyla stereo görüş olmaksızın değerlendirme yapılabilir. Buradaki temel mantık, fotoğraf üzerinde üç boyutlu belirlenecek koordinatların, her nokta için en az iki fotoğrafta yapılan ölçüler yardımıyla kestirilmesidir. Çekilen bu fotoğraflar konvergent olarak çekilmiş bindirmeli fotoğraflardır (Şekil 2.2) [13].

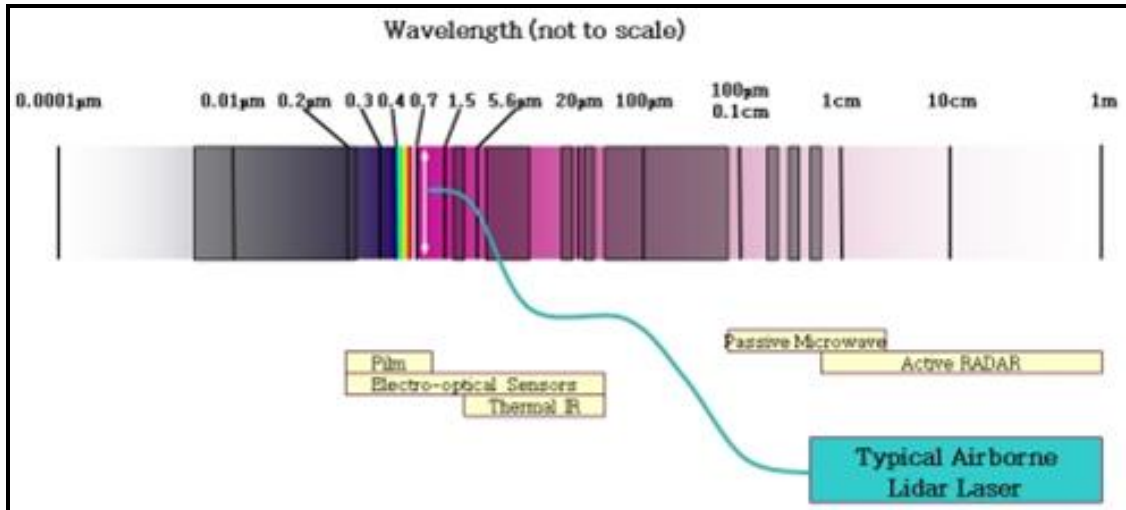


Şekil 2.2 Stereo Görüş Olmadan Değerlendirme [10]

Fotoğraflara ilişkin dış yönlendirme elemanları ışın demetleri ile dengeleme yöntemi ile belirlenir. Kullanılan yazılımın özelliğine göre, dengelemeye dahil edilen ek parametreler yardımı ile iç yönlendirme elemanları da belirlenebilir. Paralel çizgiler, düzlem olan alanlar ve diklik gibi ek bilgiler tanımlanarak az sayıdaki kontrol noktası yardımıyla değerlendirme yapılabilir. Bu yaklaşımla çalışan paket programlara örnek olarak Eos System tarafından geliştirilen PhotoModeller, Rollei firması tarafından geliştirilen CDW, Technet firması tarafından geliştirilen PICTRAN ve PHOCAD firması tarafından geliştirilen PHIDIAS yazılımları verilebilir [13].

2.2 Yersel Lazer Tarama ile Modelleme

Lazer (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), (Radyasyonun uyarılmış emisyonu ile ışığın güçlendirilmesi) cümlesindeki kelimelerin baş harflerinin alınmasından türetilmiş bir kelimedir [14]. 1960 senesinde ABD’de Theodore H. Maiman tarafından keşfedilmiştir. Normal ışık, farklı faz ve dalga boyuna sahip dalgalardan meydana gelir. Lazer ışığı ise yüksek genlikli, aynı fazda, birbirine paralel, tek renkli, hemen hemen aynı dalga boyuna sahip dalgalardan ibarettir. Optik dalga boyu bölgesi yaklaşık olarak bir trilyon hertz ile üç bin trilyon hertz arasında yer alır. Bu bölge, kızıl ötesi ışınları, görülebilen ışınları ve elektromanyetik spektrumun morötesi ışınlarını kapsar (Şekil 2.3) [15].



Şekil 2.3 Lazer Işını Dalga Boyu

YLT günümüzde, geniş bir alana yayılmış 3B veriyi hızlı ve oldukça kısa bir sürede toplamak için güçlü bir teknolojidir. Her taramadan elde edilen temel bilgi; aletin etrafında küre bir ağ oluşturacak şekilde, birbirine uyumlu olarak ölçülen yüzeylerin 3B noktalarının tamamı ile oluşan, sanal nokta bulutudur. Koordinatlar, lazer tarayıcıda kaydedilen verilerin diğer çeşitleri ile entegre edilmiştir. Aynı zamanda, RGB verileri harici veya dahili kalibre edilmiş bir kameradan elde edilen veriler ile de entegre olabilir [16].

2.2.1 Yersel Lazer Tarayıcıların Çalışma İlkesi

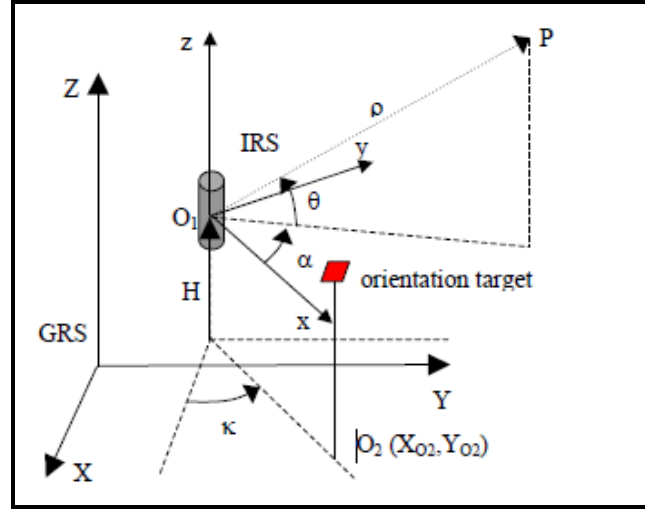
Yersel lazer tarayıcılar yatay ve düşey yönde dönebilen bir mekanizmaya sahiptir. Modüle edilen lazer ışını aletin elektronik biriminden çıkar ve büyük bir hızla dönen optik kısma çarpar. Bir ayna gibi hareket eden bu optik birim yüzeyindeki ışın yansıtılır ve özel bir açı ile aletten çıkar. Lazer tarayıcı bu açığı elde ettikten hemen sonra bir sonraki açığı elde etmek için düşey eksen etrafında çok küçük bir açı ile döner [17]. Bu işlem periyodik olarak tarama işlemi bitene kadar devam eder. Taramalar esnasında büyük bir noktalar kümesi elde edilir ve bu noktalar kümesindeki her bir nokta kutupsal koordinatlarla ifade edilir. Günümüzde, lazer tarayıcılar geometrik konumların yanında her bir noktanın radyometrik yoğunluklarını da kayıt etmektedirler [18]. Bunun yanında, yüksek çözünürlüklü kamera sistemlerine sahip lazer tarayıcılar sayesinde, fotoğraflar da kayıt edilmekte ve bu fotoğraflar sayesinde renkli nokta bulutları elde edilebilmektedir.

Lazer Tarayıcılar, ölçülecek objeyi yatay ve düşey yönde belirli bir açı altında nokta dizileri şeklinde tarayarak nokta bulutu halinde görüntülenmesini sağlar [19]. Her lazer noktası için tarayıcı alet merkezli kutupsal koordinatlar ölçülür. Bunlar; ölçülen noktaya olan eğik uzaklık “n”, ölçüm doğrusunun yatay düzlemlerle yaptığı eğim açısı “ Θ ” dır [20]. Aynı zamanda lazer tarayıcılar, ölçülen yüzeyin yapısını ve ölçme uzaklığına bağlı olarak, dönen sinyalin yoğunluğunu da ölçerek kayıt eder.

Yersel lazer tarayıcılarla ölçülen büyüklükler ve tarayıcı koordinat sistemi Şekil 2.4 de görülmektedir. Şekil 2.4 de;

-x,y,z: Tarayıcı Koordinat Sistemi ,

- X,Y,Z: Arazi Koordinat Sistemi
- ρ : Lazer tarayıcı ile ölçülen obje noktası arasındaki eğik mesafe,
- α : Işın doğrultusunun x eksenine yatay düzlemde yaptığı açı,
- θ : Işın doğrultusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı,
- O_1 : Lazer tarayıcı yerel koordinat sistemi merkezi,
- O_2 : Arazide koordinatı bilinen nokta
- H: Tarayıcı koordinat sistemi merkezi ile arazi koordinat sistemi merkezi arasındaki yükseklik farkı.



Şekil 2.4 Yersel Lazer Tarayıcı Ölçüleri, Tarayıcı Koordinat Sistemi ve Yer Koordinat Sistemi [16]

Bu ölçüler arasındaki geometrik ilişki ve taranan noktaların tarayıcı alet orijinli 3B koordinatları (x,y,z) eşitlik 2.1'deki gibi ifade edilebilir [16].

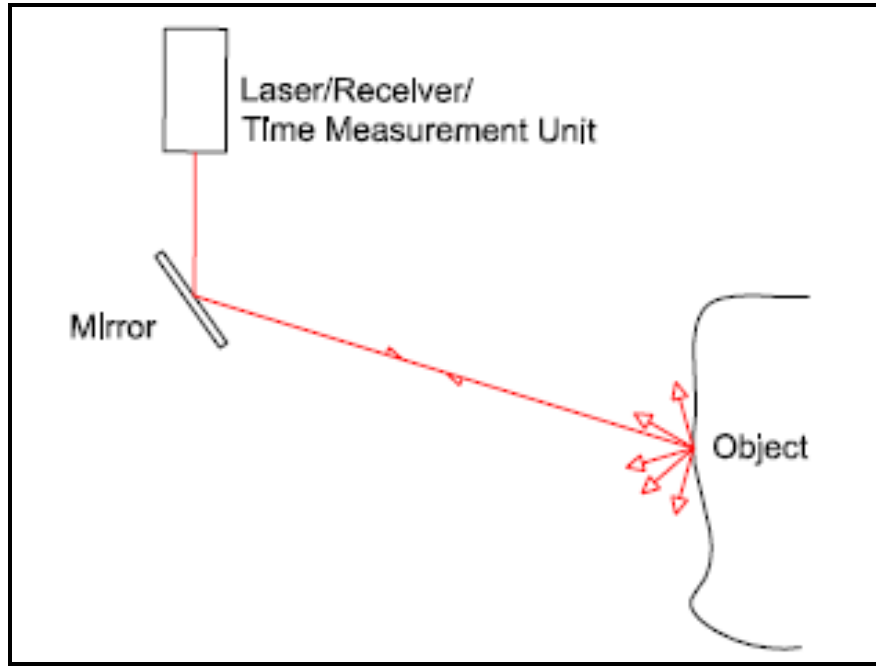
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \alpha \\ \cos \theta \sin \alpha \\ \sin \theta \end{bmatrix}$$

(2.1)

Yersel lazer tarayıcılar 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 [18]. Bunlar; 1- Sinyal Gidiş-Geliş Zamanı (Time of Flight) Yöntemi; 2- Faz Karşılaştırma Yöntemi, 3- Optik Üçgenleme (Triangulasyon) Yöntemidir.

2.2.1.1 Sinyal Gidiş-Geliş Zamanı Yöntemi

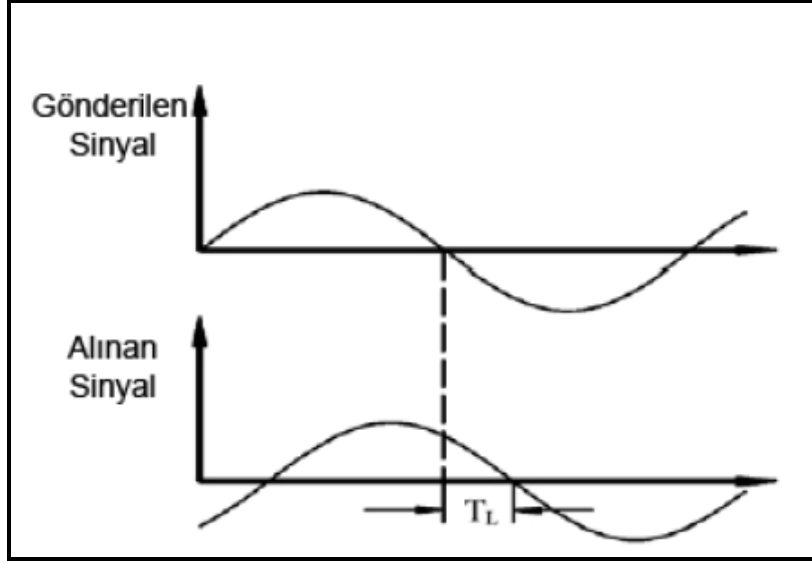
Lazer ışını nesneye gönderilir ve lazer tarayıcı ile nesne arasındaki mesafe, sinyal iletimi ile alımı arasındaki uçuş süresi hesaplanarak ölçülür (Şekil 2.5). Ölçüm oranları çok düşük olabilir ve sinyal uçuş süreci çok vakit alır. Bununla birlikte aletin ağırlığı nedeniyle, kendi eksenini etrafındaki dönmesi yeterince hızlı değildir ve açısal değerler kodlanmış çemberlerden okunur. Tarayıcılar, lazer ışınının açısal sapması için küçük dönüş aletleri ve uzunluk hesaplaması için de basit algoritmalar kullanılır. Uzaklık ölçümlerinin standart sapmaları, birkaç milimetre olmaktadır. Uzaklıkların yer yer kısa olmasından dolayı, bu doğruluk, tüm nesne alanı için aynı kabul edilebilir [21].



Şekil 2.5 Lazer Işını Gidişi ve Gelişi [21]

2.2.1.2 Faz Karşılaştırma Yöntemi

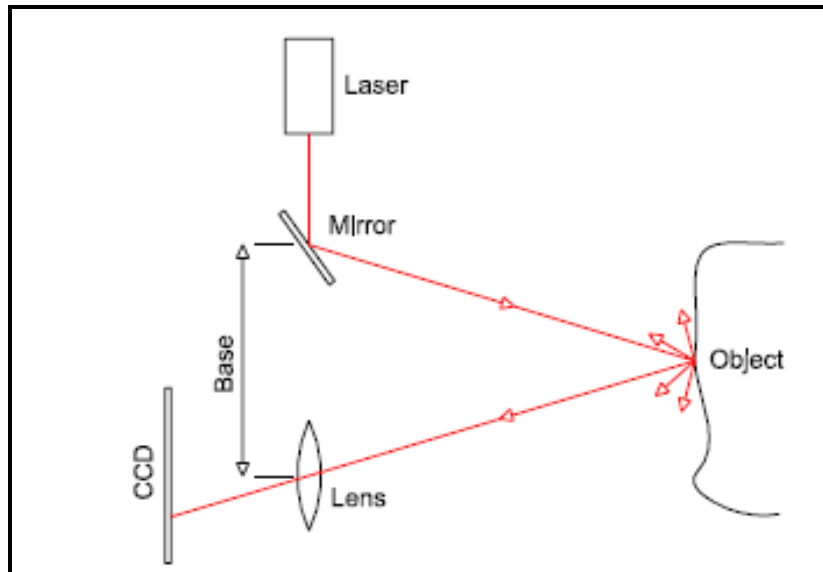
Bu metotta; iletilen lazer, uyumlu bir dalgayla ayarlanmıştır ve mesafe, iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanmaktadır. Kullanıcılara göre bu metodun, sinyal gidiş-geliş zamanı metodundan farkı yoktur. Sinyal analizinin karışık olması nedeni ile sonuçlar, sinyal gidiş-geliş zamanı metoduna göre daha doğru olmayabilir. İyi tanımlanmış bir dönüş sinyaline ihtiyaç olduğu için, faz karşılaştırma metodunu kullanan tarayıcılar, kısa mesafelerde daha etkilidir [21] (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Faz farklı sistem [22]

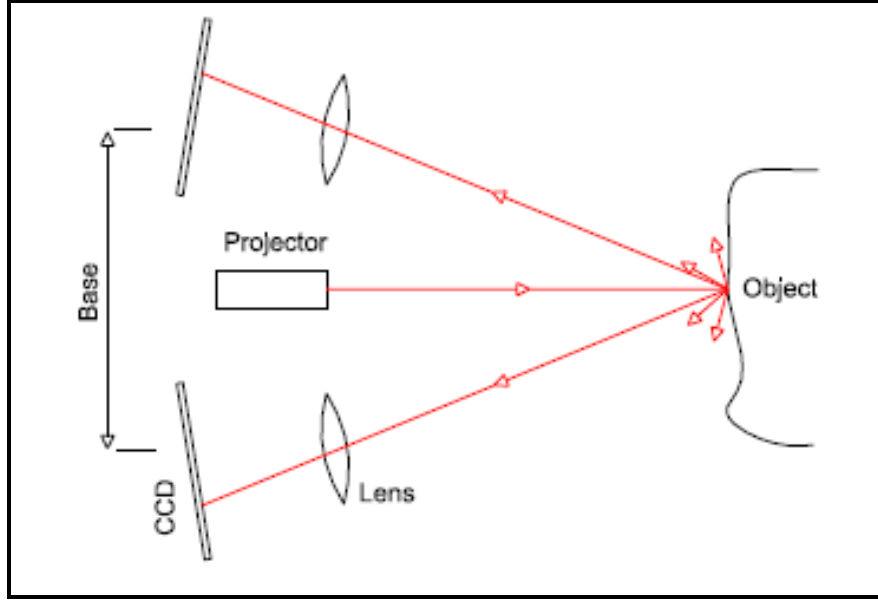
2.2.1.3 Optik Üçgenleme Yöntemi

Tek kamera çözümü : Bu tarayıcı basit bir ışın yayma düzeneğinden oluşur. Tarayıcı, mekanik aletin bir ucundan nesneye doğru, değişen açılarla ve lazer noktalarını seçebilen bir CCD kamera ile lazer ışını gönderir. Yansıtıcı yüzeylerin üç boyutu, sonuç üçgeninden elde edilir. Bu prensip, menzil bulucuların kullanıldığı araştırmalarda önceliklere sahiptir. Bu açıdan, alet ve nesne arasındaki mesafenin doğruluğu mesafe alanıyla birlikte iyi tanımlanabilir. Ayrıca; bu tarayıcılar, kısa mesafeler ve küçük nesnelere için daha kullanışlıdır (Şekil 2.7) [21].



Şekil 2.7 "Triangulasyon" Yöntemi Tek Kamera Çözümü [21]

İki kamera çözümü: “Triangulasyon” prensibinin diğer bir çözümü, iki CCD kamera kullanımınıdır. İncelenecek nokta ya da bölge, hiçbir ölçme fonksiyonu olmayan ayrı bir ışık projektörüyle üretilir. Projeksiyon, hareket eden şerit bölümlerinin ışık çizgisinden oluşur. Geometrik çözüm tek kamera prensibiyle aynıdır, aynı doğruluk sonuçlarını gösterir. İki kamera kullanan aletler, yüksek doğruluk sağlamaz ve gerçek zamanlı 3B koordinatları üretmez (Şekil 2.8) [21].



Şekil 2.8 “Triangulasyon” Yöntemi iki Kamera Çözümü [21]

2.2.2 Lazer Tarama ve Nokta Bulutlarının Birleştirilme Yöntemleri

Lazer tarayıcılarla binaları, tarihi eserleri ya da başka alanları görüntüleyebilmek için değişik açılardan çok sayıda tarama yapılır. Her tarama için elde edilen nokta bulutlarının koordinatları, tarayıcı alet merkezli lokal koordinatlarıdır. Objenin 3B modelini oluşturmak için bütün nokta bulutları, ilgili referans koordinat sisteminde birleştirilir. Genellikle ilk tarama referans koordinat sistemi seçilerek, sonraki taramaların bu tarama ile birleştirilmesiyle, üç boyutlu nokta bulutu modeli elde edilir.

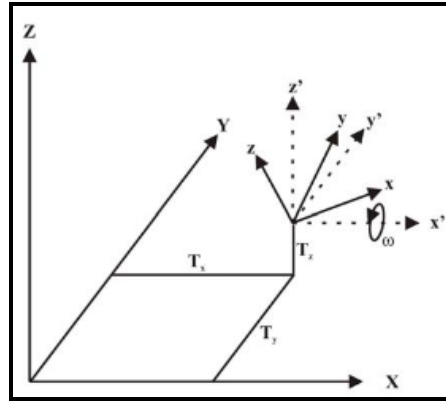
Nokta bulutları istenen koordinat sistemine dayalı olarak da birleştirilebilir. Bunun için birleştirme, ya doğrudan koordinat sisteminde yapılır ya da nokta bulutu içerisinde yeterli sayıda nokta tanımlanarak koordinat sistemine dönüştürülür. Tanımlı koordinat

sistemleri sayesinde yersel lazer tarayıcı nokta bulutlarının farklı yöntemlerle elde edilmiş veri kümeleri ile birleştirilmesi daha kolay olur.

Lazer tarama nokta bulutlarının birleştirilmesi için dört adet yöntem mevcuttur. Bunlar; İteratif en yakın nokta yöntemi (Iterative Closest Point), En küçük karelerle 3B yüzey eşleme (Least Square 3D Matching) Yöntemi, 3B Benzerlik Dönüşümü diğer bir adıyla Bağımsız Model Yöntemi (Independent Model Triangulation) ve Doğrudan koordinatlandırma (Direct Georeferencing) yöntemidir.

2.2.2.1 3B Benzerlik Dönüşümü ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi

Üç boyutlu benzerlik dönüşümü gerek işlem hacminin azlığı, gerekse matematiksel modelin kolay uygulanabilirliği nedeniyle jeodezide yaygın olarak kullanılır. 7 parametrelilik benzerlik dönüşümünde ölçek faktörü tüm doğrultularda değişmez kabul edilir. Şekil tümüyle korunduğu için açılar değişmez. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü ile (x, y, z) sisteminden diğer bir üçboyutlu (X, Y, Z) sistemine noktaların koordinatları dönüştürülür. İki koordinat sistemi paralel olmayabilir (Şekil 2.9) [23].



Şekil 2.9 Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümünde eksenler

$$X = S M x + T \quad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

M matrisinin elemanları dönüklük açılarına bağlı olarak;

$$\begin{aligned}m_{11} &= \cos \phi \cos \kappa \\m_{12} &= \sin w \sin \phi \cos \kappa + \cos w \sin \kappa \\m_{13} &= -\cos w \sin \phi \cos \kappa + \sin w \sin \kappa \\m_{21} &= -\cos \phi \sin \kappa \\m_{22} &= -\sin w \sin \phi \sin \kappa + \cos w \cos \kappa \\m_{23} &= \cos w \sin \phi \sin \kappa + \sin w \cos \kappa \\m_{31} &= \sin \phi \\m_{32} &= -\sin w \cos \phi \\m_{33} &= \cos w \cos \phi\end{aligned}\tag{2.4}$$

eşitlikleriyle hesaplanır.

Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde; 1 ölçek faktörü (S), X, Y, Z eksenleri etrafındaki 3 dönüklük açısı (2.4) (w , ϕ , κ) ve 3 öteleme elemanı (T_x , T_y , T_z) olmak üzere toplam 7 parametre vardır (2.3). Koordinat sistemleri Şekil 2.9'da görüldüğü gibi sağ el kuralına göre tanımlanmış olmalıdır. Her bir eksenin pozitif yönünde bakıldığında dönüklük açıları (w , ϕ , κ) saat ibresi yönünde artmaktadır. Bir P noktasının birinci sistem koordinatları x (x , y , z), ikinci sistem koordinatları X (X , Y , Z) ise bunlar arasında, M dönüşüm matrisi olmak üzere, 2.2 eşitliği vardır. 2.2 matris biçiminde 2.3' deki gibi ifade edilir.

Bu yöntemde nokta bulutları ölçme işleminin amacına bağlı olarak önceden tanımlı yersel koordinat sisteminde, ya da lazer taramalarının referans alınan birisinin koordinat sisteminde birleştirilir. İlk durumda, bütün taramalarda yer kontrol noktalarının (YKN) bulunması gerekir. YKN kullanımı farklı zamanlarda yapılan lazer taramalarının birleştirilmesini, lazer noktalarının doğruluğunun artırılmasını, fotogrametrik ve topografik ölçülerin bu ölçülerle birleştirilmesini sağlar. YKN aynı zamanda bağlama noktalarının uygunsuz dağılımından ve ölçü metodundan kaynaklanan dönüşüm hatalarını da azaltır [20].

3B Benzerlik Dönüşümü, fotogrametrik nirengi dengelemesinde kullanılan benzerlik dönüşümü yöntemine benzer olarak, farklı noktalardan alınan bütün 3B modellerin eş zamanlı dengelenmesi şeklindedir. Bağlama noktaları iki komşu modelin birbirine göre dönüklük ve ötelemelerinin hesaplanmasını sağlarken, YKN modellerin referans sistemine oturtulmasını sağlar. Yöntemin uygulanmasında ilk önce bilinmeyenlerin

yaklaşık değerleri hesaplanır daha sonra en küçük kareler yöntemi ile 3B benzerlik dönüşümü dengelemesi yapılır. Bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri lazer taramalarının ortak örtü alanında en az 3 adet hedef levhası ile hesaplanabilir. Hedef levhası olarak tarama alanında tesis edilen işaretler ya da objenin doğal özellikleri kullanılabilir. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü dengelemesinden sonra her modelin (nokta kümesinin) dönüşüm parametreleri hesaplanmış olur. Bu parametrelerle (2.2) no'lu eşitlik kullanılarak her modelin referans koordinat sistemindeki koordinatları hesaplanır [20].

Yöntemin uygulanmasında (2.3) numaralı eşitlikteki değişkenler için türev alınarak hata denklemleri oluşturulur. Eşitlik doğrusal olmadığı için nokta bulutları için dönüşüm parametreleri (ω , ϕ , κ , X_0 , Y_0 , Z_0) en küçük kareler yöntemi ile iteratif olarak hesaplanır [2]. 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 [24].

Şekil 2.3'de ; ω , ϕ , κ , T_x , T_y , T_z bilinmeyenlerdir. $[x y z]$ lazer tarayıcı koordinatları, $[T_x T_y T_z]$ öteleme vektörü, $[X Y Z]$ jeodezik referans sistemi koordinatlar, $R\omega\phi\kappa$ üç boyutlu dönüklük matrisi, ω, ϕ, κ ; x, y, z eksenleri etrafındaki dönüklüktür [24].

İkinci durumda (nokta bulutlarından birisinin referans alınması durumunda), her nokta bulutu bir önceki nokta bulutunun koordinat sistemine dönüştürülerek bütün taramalar ortak bir koordinat sisteminde birleştirilir. Her taramanın bir önceki tarama ile dönüklük parametreleri yeterli sayıda iterasyonla hesaplanarak nokta bulutları eşleştirilir ve bu şekilde bütün taramalar tek bir blok halinde birleştirilmiş olur. Ancak böyle bir durumda küçük yöneltme hataları kontrolsüz bir şekilde yayılarak bütün bloğu etkiler. Çünkü yöneltmesi yapılan her nokta bulutu bir sonraki nokta bulutu için referans olarak alınır. Bu nedenle blok geometrisinin çok iyi olması yani hedef levhalarının blok içindeki dağılımının ideal olması blok deformasyonlarının kontrolünde ve dönüklük parametrelerinin belirlenmesinde etkili olacaktır [25].

2.3 İki Ölçü Yönteminin Üçüncü Bir Ölçü Yöntemine Göre Karşılaştırılması

İstatistik daha etkin karar verebilmek için sayısal verilerin toplanması, düzenlenmesi, sunumu, incelenmesi ve yorumlanmasıdır. Bir değişkene ait niteliksel ve niceliksel ölçü değerleri, soru ya da herhangi bir hipotezin çözümünde gerekli olan verileri oluşturur. Veriler, ortaya çıkan soru veya hipotezin çözümünde uygun istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilir. Günümüzde kullanılan ölçü yöntemlerinin doğruluğunun irdelenmesi, istatistik ve olasılık testleri ile kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için bir çok yöntem mevcuttur. Bunlar; Normal Dağılım, F Dağılımı, X^2 (Chi-Kare) Dağılımı, T Dağılımı, X^2 (Chi-Kare) Uyum Testi, Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi (Alternatif X^2 Yöntemi), Lilliefors Testi, Jarque-Bera Testi, Varyansın Test Edilmesi gibi olasılık ve istatistik testleri örnek olarak verilebilir.

•t - Dağılımı

Kuramsal standart sapma ana kümeyi tanımlayan bir büyüklüktür. Bu büyüklüğün sayısal değeri çok ender durumlarda bilinebilir. Bu nedenle gerçek hata v , kuramsal standart sapma yerine deneysel standart sapma s' ye bölünerek standartlaştırılırsa,

$$t_f = \frac{v}{s} \quad (2.6)$$

rastgele değişken t_f elde edilir. Deneysel standart sapma, gerçek hatalardan ve u bilinmeyen sayısı olmak üzere düzeltmelerden,

$$s^2 = \frac{[vv]}{n} , \quad s'^2 = \frac{[vv]}{n-u} \quad (2.7)$$

olarak hesaplanır [26, 27'atfen 5].

t-dağılımın standart sapması "1" den büyüktür. Büyük serbestlik dereceleri için ($f \geq 30$) t-dağılımı normal standart dağılıma yaklaşır; $f \rightarrow \infty$ için dağılımın beklenen değeri "0" ve standart sapması "1" olur; standart normal dağılıma dönüşür. Uygulamada genellikle $\alpha = 0.05$ ya da 0.01 alınır. Bir büyüklüğün $1-\alpha$ dışında kalan bölgeye düşmesi neredeyse olanaksızdır. Yoğunluk fonksiyonunun sağında ve solunda eşit kısımlar halinde ayrılan α olasılığına yanılma olasılığı ya da testlerde anlamlılık düzeyi adı verilir [28].

•Kolmogorov-Simirnov (K-S) Testi (Alternatif X^2 Yöntemi)

Bu test X^2 testinin alternatifidir. X^2 testi hem parametrik hem de parametrik olmayan testler için kullanılmasına rağmen, Kolmogorov-Simirnov testi bazı durumlarda, özellikle verileri keyfi gruplara ayırmadığı için X^2 testinden daha etkindir. Bu test, örneğe ait dağılımın, herhangi bir hipotetik dağılım modeline uyup uymadığını test eder [29]. Tek örnek ve iki örnek için ayrı ayrı uygulanır.

Tek örnek için K-S testi

Bu test için veriler;

$$ZZ_i = f \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (2.8)$$

formülü ile standartlaştırılırlar.

Hem teorik standart verilere ait %'de kümülatif frekans eğrisi hem de örneğe ait standartlaştırılmış verilerin %'de kümülatif frekans eğrisi aynı frekans üzerine çizilir. Bu iki eğri arasındaki maksimum farka (D_{\max}) bakılır.

D_{\max} teorik değerleri hazırlanmış tablolardan ya da pratik olarak,

$$D(0.05) = \frac{1.35}{\sqrt{n}} \quad , \quad D(0.01) = \frac{1.63}{\sqrt{n}} \quad , \quad D(0.001) = \frac{1.95}{\sqrt{n}} \quad (2.9)$$

şeklinde hesaplanır. Eğer, $D_{\max} > D_{\alpha}$ (teorik) ise “örnek dağılım, karşılaştırıldığı dağılıma uygun değildir” olarak karar verilir [30].

•Lilliefors Testi

Lilliefors testi Kolmogorov-Smirnov testinin bir uyarlamasıdır. Verilerin normal dağılımlı anakitleden gelip gelmediğini gösteren sıfır hipotezinin test edilmesinde kullanılır.

Test adımları şunlardır:

1. Verilere dayalı olarak anakitle ortalaması ve varyansının kestirimi yapılır.
2. Sonra, bu kestirim değerleri ile normal dağılımın deneysel dağılım fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonu arasındaki maksimum uyumsuzluk bulunur. Kolmogorov-Smirnov testinde olduğu gibi, bu test istatistiğidir.

3. Son olarak, maksimum uyuşumsuzluğun istatistiksel olarak anlamlı addedilebilecek derecede büyük olup olmadığı değerlendirilir. Bu, sıfır hipotezinin reddedilmesi demektir. Bu testin Kolmogorov-Smirnov testine göre daha karmaşık hale geldiği nokta burasıdır. Verilere dayalı kestirim ile varsayılan kümülatif dağılım fonksiyonu verilere yaklaştırıldığından, maksimum uyuşumsuzluk olması gerektiğinden daha küçük hale getirilmiş olur. Bu nedenle test istatistiğinin “sıfır dağılımı” stokastik olarak Kolmogorov-Smirnov dağılımından daha küçük olur. Bu Lilliefors dağılımı olarak adlandırılır. Günümüze kadar bu dağılım için tablolar Monte Carlo metodları ile hesaplanmıştır [31’atfen 5].

•Jarque-Bera Testi

İstatistikte Jarque-Bera testi uyuşum (iyi uyum) testi olarak bilinir. Bu test örnek verilerin normal dağılımla eşleşen çarpıklık (skewness) ve basıklığa (kurtosis) sahip olup olmadığının irdelenmesidir. Testin ismi Carlos Jarque ve Anil K. Bera’dan gelmektedir.

Eğer veriler normal dağılımdan geliyorsa, Jarque-Bera istatistiği asimptotik olarak çift serbestlik dereceli X^2 dağılımına sahip olur. Bu nedenle istatistik, verilerin normal dağılımdan gelip gelmediği hipotezini test etmede kullanılabilir. Normal dağılımlı veriler için beklenen çarpıklık ve basıklık 0’dır. Küçük örnekler için X^2 yaklaşımı fazla hassastır, genellikle sıfır hipotezinin doğru olduğu halde reddedilmesine neden olur. Bu da 1. tipte test hatasına sebebiyet verir [5].

Jarque-Bera testi, geniş örneklerde kritik değerlerin kestirimi için genellikle X^2 dağılımını kullanır. Lilliefors ise küçük örneklerde kullanılır [31’atfen 5].

2.3.1 Üç Boyutlu Modelin Doğruluğu

Kültürel mirasın belgelendirilmesi ve röleve çizimleri ile ilgili çalışmalar; ICOMOS (International Council of Monuments and Sides) ve ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) gibi uluslararası organizasyonlar tarafından düzenlenen sempozyum ve diğer aktivitelerde çok sıklıkla yer almaktadır. Özellikle bu iki organizasyonun etkin işbirliğiyle kurulan CIPA (International Committee for

Architectural Photogrammetry) düzenlediği sempozyumlarla, bu konuda çalışan üniversitelere, proje geliştiren, yürüten kamu kurumları ve ticari firmalara yeni teknolojilerin tanıtılması ve projelerde etkin kullanımı konusunda ışık tutmaktadır. CIPA tarafından yayınlanan kültürel mirasın belgelendirmesi için bina çizimi ve röleve doğruluğu Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : CIPA röleve doğrulukları [41]

Röleve	Doğruluk (cm)
1/50	1-2
1/10-1/20	0.5-1
1/100	3-5

Kültürel Mirasın dokümantasyonu üzerine yapılan çalışmalarda, kullanılan yöntemlerin doğruluğunun karşılaştırılması metotları incelendiğinde; yapılan iki farklı ölçme yönteminin doğruluğu, referans alınan diğer bir ölçme yöntemi kullanılarak karşılaştırılmış ve çıkan sonuçlar dokümantasyonun doğruluğunu gösterecek şekilde çeşitli olasılık ve istatistik yöntemleri kullanılarak irdelenmiştir.

Gümüş (2008), tarafından “Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması” isimli çalışmada lazer tarayıcı ile 3B modeli elde edilen tarihi eser, total station ile belirli noktalarından ölçülmüş ve lazer tarama ile elde edilen koordinatlar, total stationdan elde edilen koordinatlara dönüştürülmüştür. Böylelikle, aynı koordinat sistemine dönüştürülerek elde edilen koordinat farklarından yararlanılarak sistemin güvenilirliği irdelenmiştir. Manuel ve otomatik olarak birleştirilen lazer tarama noktaları arasında karşılaştırma yapılarak sistemin doğruluğu otomatik yöntemde ± 1.11 cm, manuel yöntemde ± 2.19 cm olarak belirlenmiştir. Her iki birleştirme yönteminin birbirine göre doğruluğunu belirlemek için, tarihi eser yüzeyinde yerleri belirgin pencere, kapı gibi köşe noktalarından yararlanılmıştır. Bina yüzeyindeki noktalar, LEICA TPS 1201 total station aleti ile ölçülmüş ve arazi koordinatları elde edilmiştir. Otomatik olarak ve manuel olarak seçilmiş aynı noktaların koordinatları ile bunların total

stationla belirlenen koordinatları arasında karşılaştırma yapılmış ve farkları irdelenmiştir. Bu farklar “T dağılımı” istatistik testine tabi tutularak, sistemlerin Total Station ölçümlerine göre güvenilirliği irdelenmiştir. T testi sonucunda; 0.05 yanılma olasılığı için t-testi sınır değeri: 2.080 olarak bulunmuştur. Bu değerden küçük olan değerlerin uyumlu, büyük olan değerlerin uyumsuz olduğuna karar verilmiştir [32].

Demir vd. (2004), “Laser Scanning for Terrestrial Photogrammetry, Alternative System or Combined with Traditional System” isimli, Pentax PAMS645 yersel metrik kamera ile yaptıkları çift resim değerlendirme çalışmasında, iç yöneltme dengeleme işlemini 13 mikron hata ile ve dış yöneltme dengelemesi sonucunda sırası ile x, y, z yönlerindeki ortalama doğrulukları 4.5, 4.1, 3.1 cm olarak bulmuşlardır. Ürettikleri 3B modelden ölçtükleri 60 noktada koordinat farklarını hesaplamışlardır. 60 noktadan elde edilen koordinat farklarının standart sapmasını sırası ile vx, vy, vz; 1.45, 4.53, 6.9 cm olarak elde etmişlerdir [33].

Vögthle vd., (2008), “Comparison Methods Of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry And Tacheometry Data For Recording Of Cultural Heritage Buildings” isimli belgelendirme çalışmasında, Haut-Andlau Kalesinin (Alsace, France) ; Canon EOS 5D (digital), Zeiss SMK (analog) Kameraları ve Trimble GX Lazer Tarayıcısı ile 3B modelini üretmişlerdir. Sistemin doğruluğunu karşılaştırmak için Trimble 5500 marka Total Station kullanmışlardır. Her sistemin doğruluğunu kendi içinde ± 5 cm olarak elde etmişlerdir. Fotogrametrik yöntem ve YLT yönteminden elde ettikleri 3B Modelin doğruluğunu karşılaştırmak için Total Station ile de kolay ölçülebilen pencere kenarlarını seçmişlerdir ve seçilen bu 6 baz mesafesinde sistemin doğruluğunu karşılaştırmışlardır. Sistemin doğruluğunu ± 2.0 cm ile ± 3.7 cm arasında bulmuşlardır [34].

BÖLÜM 3

UYGULAMA

3.1 Çalışma Alanı

Almanya'nın Karlsruhe şehrinde, Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün Süd kampüsünde bulunan "Chinese Tea House" (Çin Çay Evi) bu çalışmada 3B olarak modellenmiştir. 1764-1765 yılları arasında Sülün köşkünün etrafında oval bir daire oluşturacak şekilde Çin evi tarzında 2 adet bina inşa edilmiştir [35]. 1773 yılına kadar sülün yetiştirmek için kullanılan yapı, köşkün bahçesinin dönüşümü sırasında bir çayevi olarak restore edilmiştir [35]. 1825 yılında üniversitesinin kurulması [36] ile çalışmaya gelen Çinli işçilerin, kampüs içinde bina yapımı sırasında dinlenmek için verdikleri molalarda çay içmeleri için kullanılmıştır. Günümüze gelene kadar birkaç kez restore edilen yapı; kampüs içinde, bilinen en eski tarihi yapılardandır (Şekil 3.1).

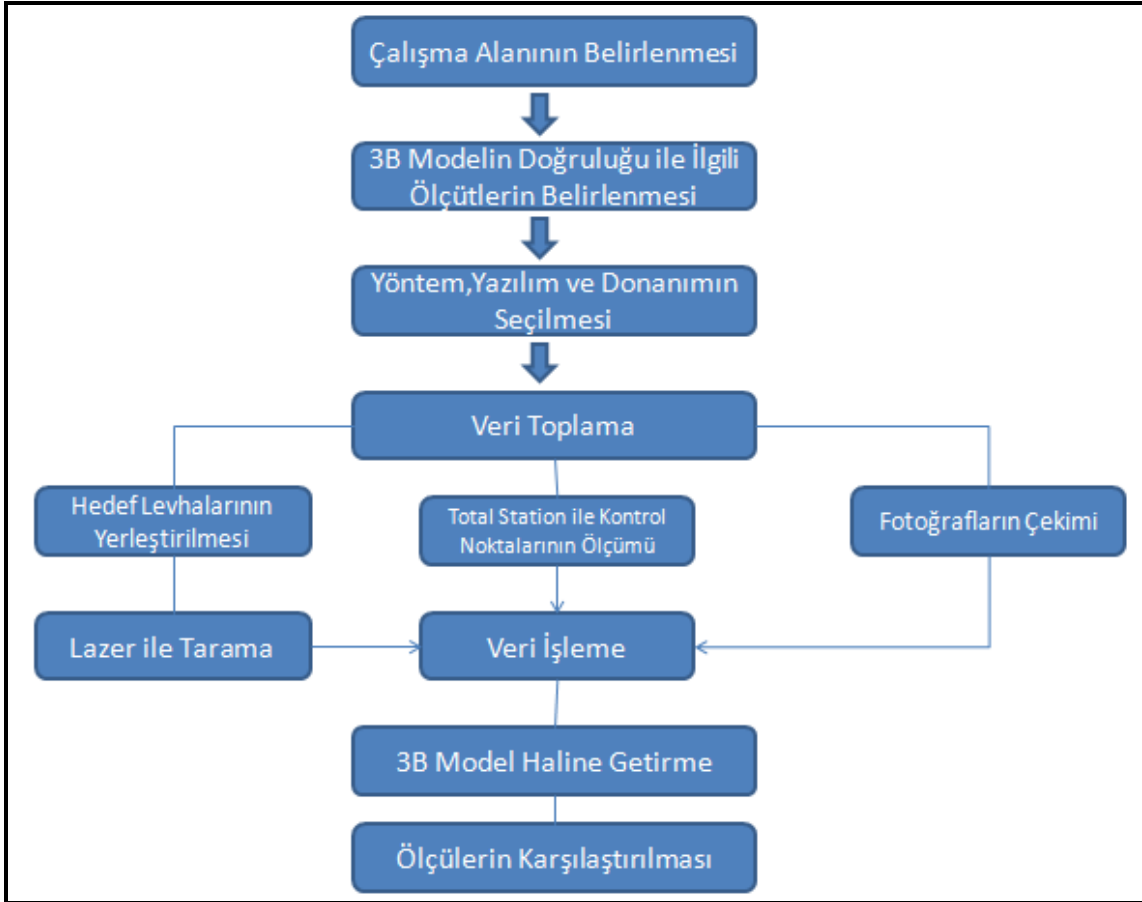


Şekil 3.1 Çin Çay Evi

3.2 İş Akışı

Çalışmada bina YLT ile hedef levhaları kullanılarak taranmış ve 3B benzerlik dönüşümü ile nokta bulutları dengelenmiştir. Nokta bulutundan 3B modele geçilmiştir. Binanın fotoğrafları, kalibrasyonu yapılmış bir kamera ile konvergent ve binaya paralel fotoğraflar çekilmiş ve stereo görüş olmadan görüntü eşleştirme ve ışın destelerine göre dengeleme yapılarak 3B model oluşturulmuştur. Bina jeodezik olarak total station ile reflektörsüz olarak ölçülmüş ve bu değerler doğruluk araştırmasında referans değerler olarak kullanılmıştır. Doğruluk araştırmasında, total station ölçümlerinden elde edilen baz mesafeleri; YLT ve Fotogrametrik Yöntemde de aynı noktalardan elde edilmiştir. Bu baz mesafeleri ile total station baz mesafeleri arasındaki farklar, bölüm 2.3’de anlatılan güvenilirlik testleri uygulanarak, YLT ve Fotogrametrik yöntemin bu uygulamadaki doğrulukları irdelenmiştir. Uygulama aşamaları (Çizelge 3.1)’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Proje İş Akış Modeli



3.3 Yazılım ve Donanım

Lazer ile tarama sürecinde; Leica HDS 6000 lazer tarayıcı, dizüstü bilgisayar ve uzun süre tarama yapabilmek için bir adet harici batarya kullanılmıştır. Leica HDS 6000 (Şekil 3.2) Lazer Tarayıcısının özellikleri ve ölçüm doğrulukları Ek 2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Leica HDS 6000 Lazer Tarayıcısı

Noktaların birleştirilmesi ve 3B modelleme için Cyclone 6.0, Cloudworx for AutoCAD ve 3D Reshaper yazılımları kullanılmıştır. Leica Cyclone 6.0 yazılımı, Cloudworx yazılımı Autocad içinde lazer nokta bulutları ile daha hızlı işlem ve daha detaylı modellemeler yapmayı sağlayan, Leica Geosystem tarafından geliştirilmiş bir modüldür. 3D Reshaper yazılımı, Fransa kökenli Technodigit firması tarafından geliştirilen bir 3B nokta bulutu modelleme yazılımıdır.

Yersel fotogrametrik yöntem için fotoğraf çekiminde Samsung S630 kamerası kullanılmıştır (Şekil 3.3). Kamera; odak uzaklığı 6.25 mm ve kamera açısı 61° olan normal açılı bir kameradır. Bir görüntü 2816 x 2112 pikselden oluşmaktadır.



Şekil 3.3 Samsung S630 fotoğraf makinesi

Kamera kalibrasyonu ve fotoğraflardan 3B modelin elde edilmesi için PhotoModeler yazılımı kullanılmıştır. Objeye üzerindeki noktaların ölçümü için Leica TS06 Total Station (Şekil 3.4) ve koordinat hesabı vb. işlemler için Leica SmartWorxViva v4.03 yazılımı kullanılmıştır. Reflektörsüz 2mm+2ppm doğrulukla ölçümler yapılabilmektedir.



Şekil 3.4 Leica TS06 Total Station

3.4 Lazer Tarama Uygulaması

3.4.1 Lazer Tarama İşlem Adımları

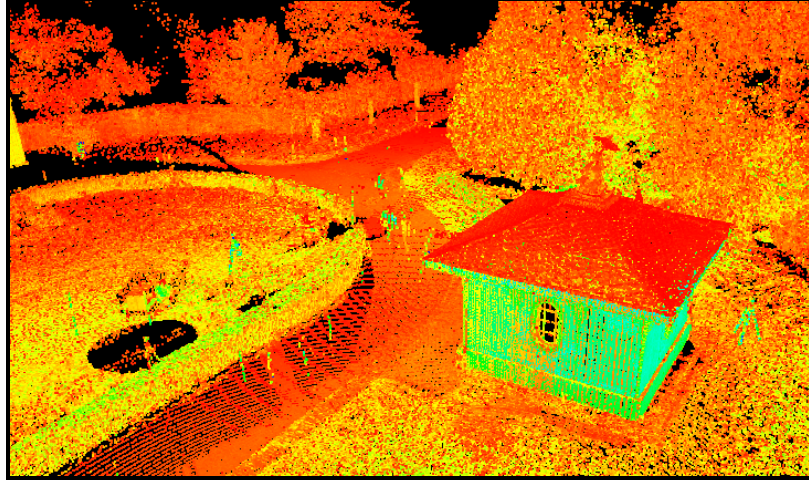
Çalışmanın başlangıcında YLT'nin özellikleri değerlendirilerek araziye çıkılmadan önce tarama işlemi planlanmıştır. Tarama sırasında hedef levhaları kullanılmış ve nokta bulutlarının birleştirilmesi işleminde de 3B benzerlik dönüşümü kullanılmıştır.

Lazer tarama işlemi için araziye çıkıldığında ilk işlem olarak bağlama noktaları (hedef levhaları) tarihi binanın etrafında belirlenmiş ve 5 adet levha yerleştirilmiştir. Her tarama noktasından en az 4 tane hedef levhası kapsanacak şekilde tarama işlemi yapılmıştır.

Lazer tarayıcı, alet sehпасına en az 4 hedef levhası görecekte şekilde yerleştirilmiş ve lazer tarayıcıyı kontrol etmek için araziye getirilen laptop ile taramalar kontrol edilmiştir. Her tarama için, aletin hazır olduğu kontrol edildikten sonra, Leica Cyclone programı çalıştırılmış ve ilgili tarayıcı seçilmiştir. Sonraki aşamada bütün taramaların tutulacağı veritabanları oluşturulmuştur.

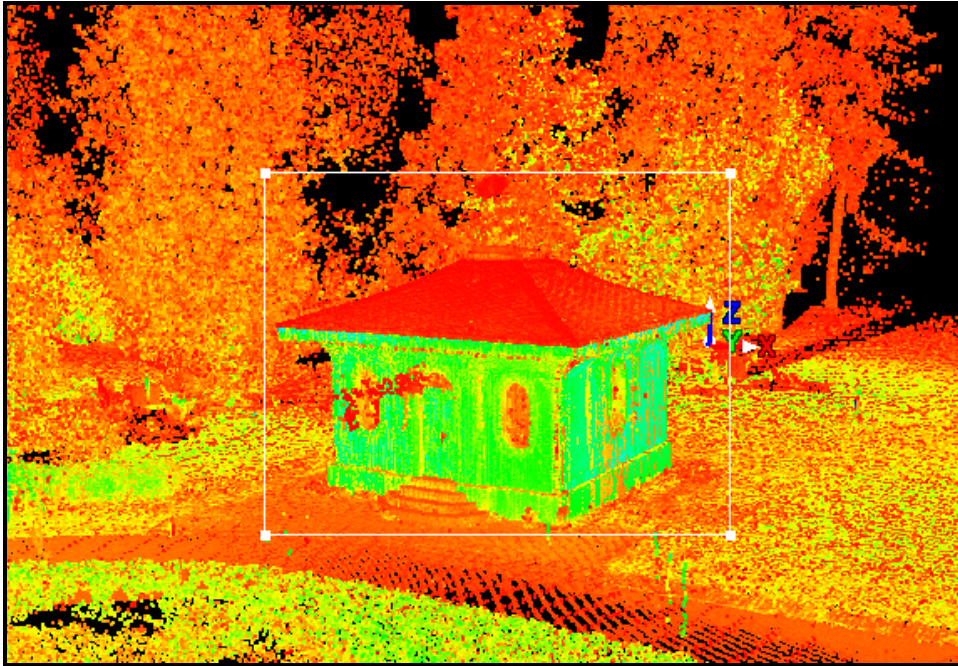
YLT fotoğraf çekme özelliğine sahip olmadığı için, taranacak alanın belirlenmesi için "Preview" taraması ile 360° yatayda 310° düşey açılarla düşük çözünürlüklü bir tarama

yapılmıştır (Şekil 3.5). Aletin kurulduğu her noktada bu işlem yapılmış ve bir sonraki taramada modellemesi yapılacak nesne “ultra-high” çözünürlük ile taranmıştır. Bina 5 noktada taranmıştır.



Şekil 3.5 “Preview” çözünürlük ile ilk tarama

“Preview” seçeneği ile tarama bittikten sonra, “ultra high” seçeneği ile tarama yapılması için modelleme yapılacak nesne “Rectangle Fence Mode” ile kare içine alınmıştır ve sadece kare içindeki kısmın “ultra high” ile taraması sağlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Rectangle Fence Mode ile “ultra high” tarama.

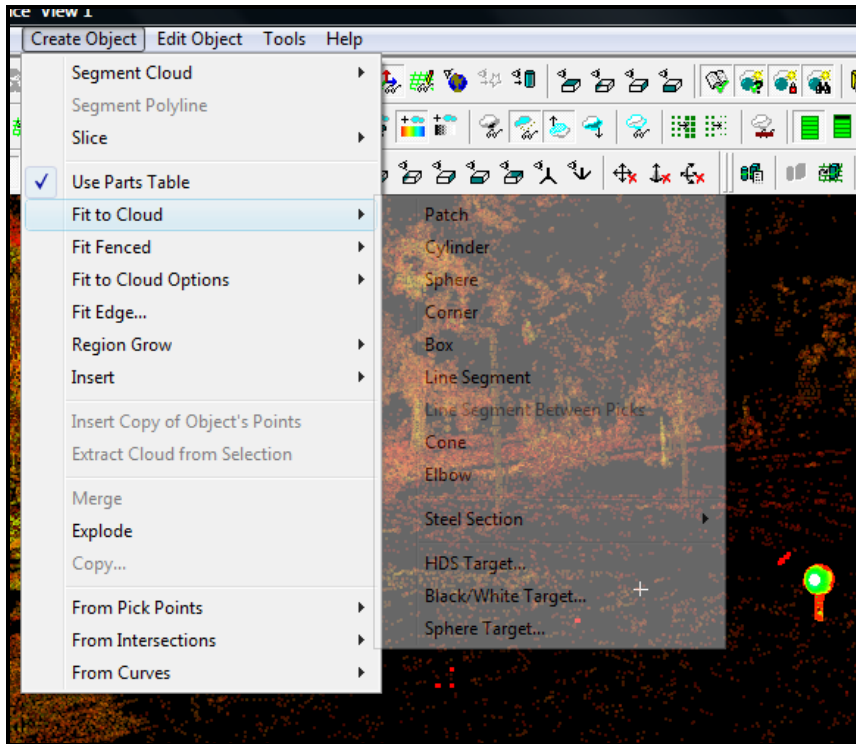
Yaklaşık olarak 5 saatlik bir arazi çalışması ile tarama gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2’de yaklaşık olarak ölçüm sonucu elde edilen nokta sayısı, m² ye düşen nokta sayısı ve aletin saniyede mak. sayıda attığı nokta sayısı verilmiştir.

Çizelge 3.2: Lazer Tarayıcı Tarama Hızı ve Ölçüm sonucu oluşan nokta sayısı

Pts/sn (Ultra High Mode)	500 000
Oluşan Nokta	71 000 000
Pts/m ²	38 000

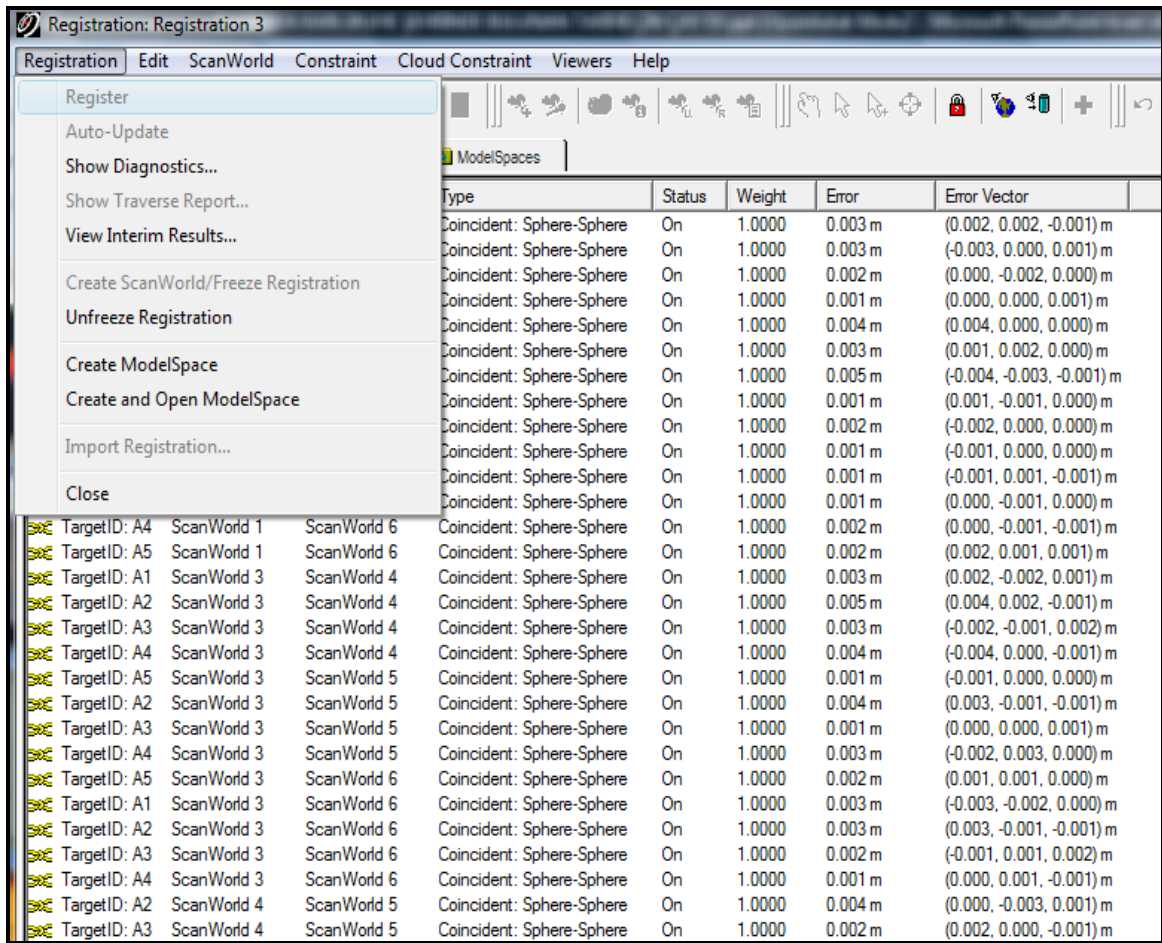
3.4.2 Nokta Bulutlarını Birleştirme İşlemi

Tarama işlemi bittikten sonra bağlama noktaları sisteme tanımlanmıştır. Hedef levhaları A1’den başlamak üzere, her tarama birbiri ile karşılaştırılarak, adlandırılmıştır. Nokta ismi verilirken öncelikle Cyclone programından “pick point” ile isim verilecek bağlama noktaları işaretlenmiştir. Daha sonra “Create Object”- “Fit to Cloud Point-Sphere Target” ile noktalar isimlendirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Hedef Levhalarının sisteme tanımlanması

5 ayrı noktada yapılan taramaları birleştirmek için, ilk tarama referans olarak alınmış, diğer taramalar, tanımlanan noktalar sayesinde birleştirilmiştir. Cyclone programı “Registration-Register” işlemi ile sistem birleştirme işlemini yapılmış, hata vektörleri ve hedef levhası hataları hesaplanmıştır (Şekil 3.8). Her taramanın referans alınan tarama koordinat sistemine dönüştürülmesi işleminde (register), beklenen dengeleme hassasiyeti “1 cm” dir [37]. Bundan dolayı, hata vektörleri için hesaplanan değerlerin 1 cm'yi geçip geçmediği incelenmiştir. En büyük hata değeri 0.4 cm'dir ve bütün değerler hata sınırı içinde kalmıştır.

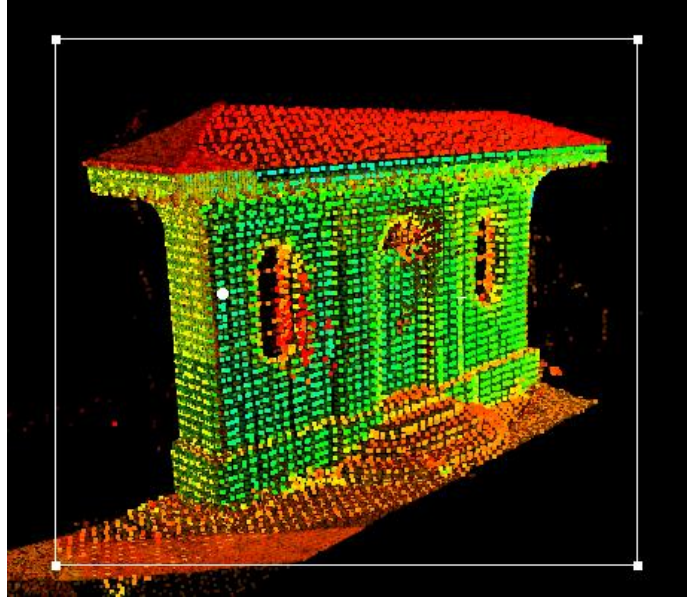


Type	Status	Weight	Error	Error Vector
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.002, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.003, 0.000, 0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.000, -0.002, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.004, 0.000, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(0.001, 0.002, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.005 m	(-0.004, -0.003, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(0.001, -0.001, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(-0.002, 0.000, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.001, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.000, -0.001, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.001, 0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(0.002, -0.002, 0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.005 m	(0.004, 0.002, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, -0.001, 0.002) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.004 m	(-0.004, 0.000, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.003, -0.001, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, 0.003, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.001, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.003, -0.002, 0.000) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(0.003, -0.001, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, 0.001, 0.002) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.001, -0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.000, -0.003, 0.001) m
Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.000, -0.001) m

Şekil 3.8 Register işlemi sonrası hatalar

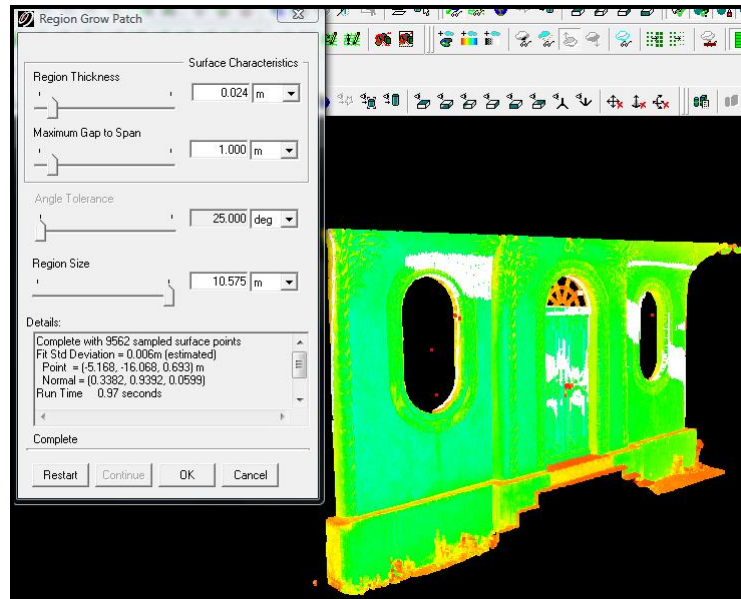
3.4.3 Tarama verilerinden 3B Modelin Üretilmesi

Taramaların birleştirilmesi işleminden sonra ilk olarak binanın cepheleri modellenmiştir. Modelleme sırasında obje etrafındaki istenmeyen noktalar, “rectangle fence mode” ile seçilerek temizlenmiştir (Şekil 3.9).



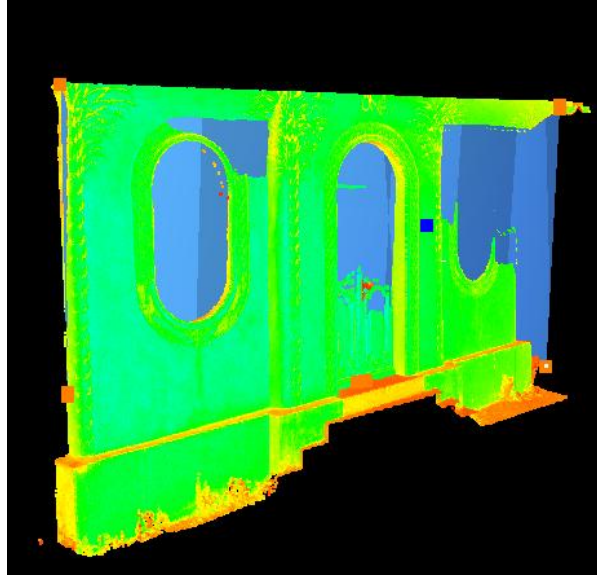
Şekil 3.9 Gereksiz noktaların silinmesi

Temizleme işlemi bittikten sonra çıkarılmak istenen cephe “pick point” ile seçilmiş ve “Create object-Region Grow-Patch” işlemi ile sadece cephesi çıkarılacak yüzey seçilmiştir (Şekil 3.10).



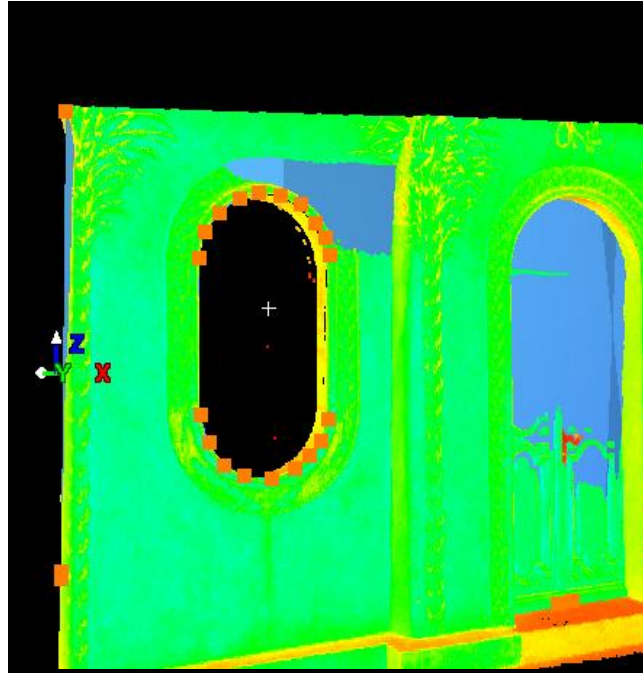
Şekil 3.10 Cephe üzerindeki noktaların seçimi

Bu işlem ile “pick point” ile seçilen nokta ile aynı yüzeyde ve aynı hizada olan noktalar seçilerek yüzeyler oluşturulmuştur (Şekil 3.11).



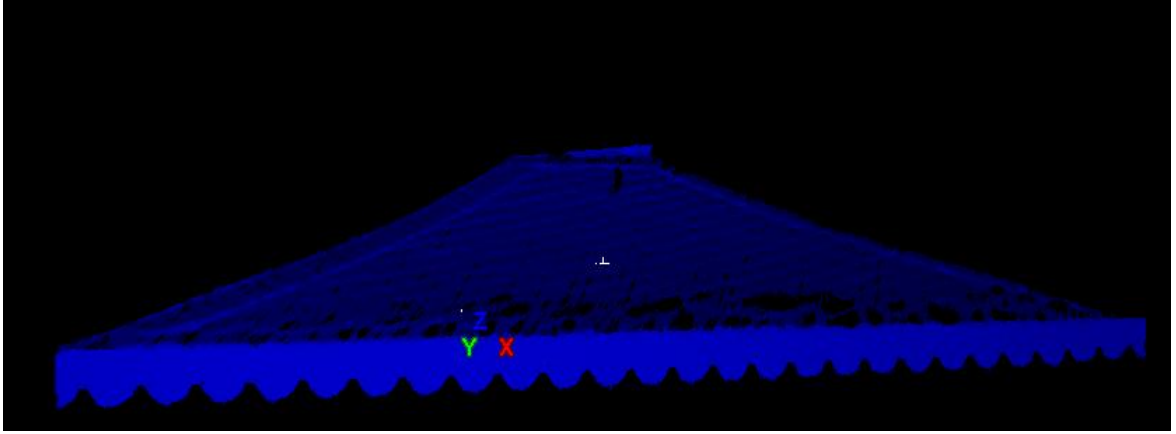
Şekil 3.11 Cephe Modelleme

Cephe modelleme işlemi yapıldıktan sonra cephe üzerindeki detaylar yüzeyin ve detayın durumuna göre seçilmiş ve vektörize edilmiştir. “Polygonal Fence Mode” ile pencere ve kapı sınırları belirlenmiştir. Daha sonra “Edit Object-Patch-Subtract from Patch” işlemi ile ilgili yüzeyden işaretlenen kısım kesilerek çıkarılmıştır (Şekil 3.12).



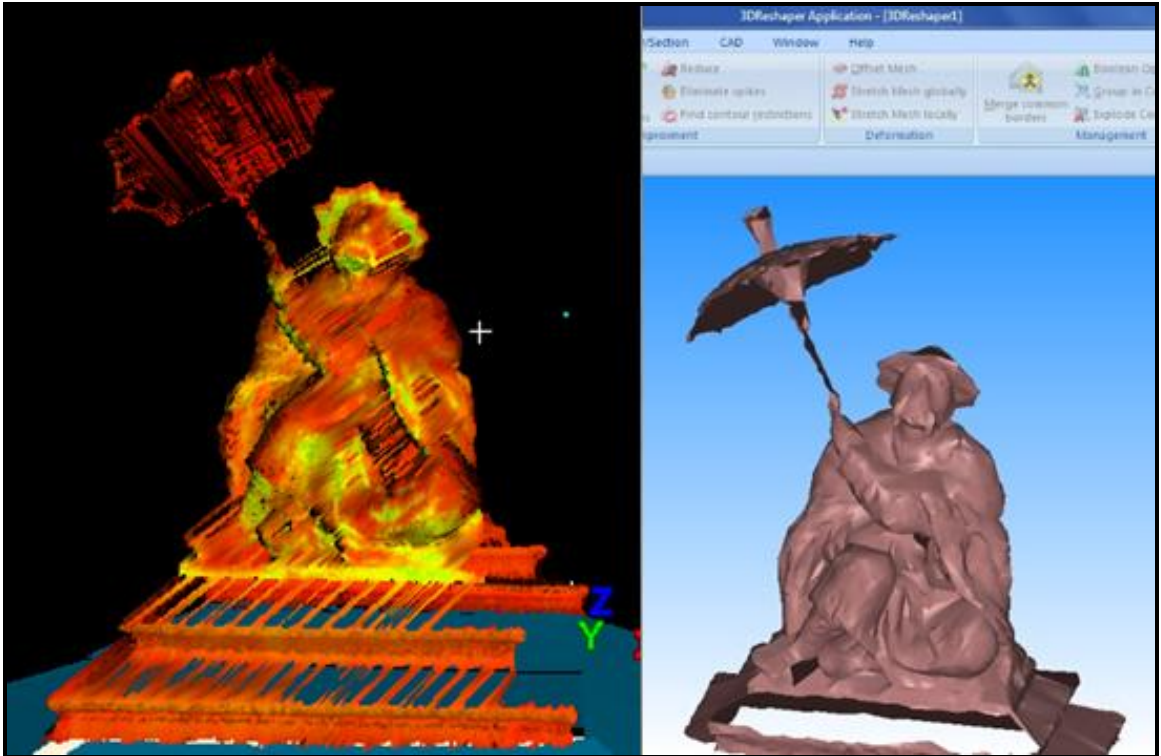
Şekil 3.12 “Polygonal Fence Mode” ile detay çalışması

Çatı ve çatı saçaklarının çıkarılması için "Tools- Mesh-Create Mesh" işlemi ile seçilen detayın içinde bulunan bütün noktalar yüzey oluşturacak şekilde seçilmiş ve noktaların üzerine yüzey kaplanmıştır (Şekil 3.13).



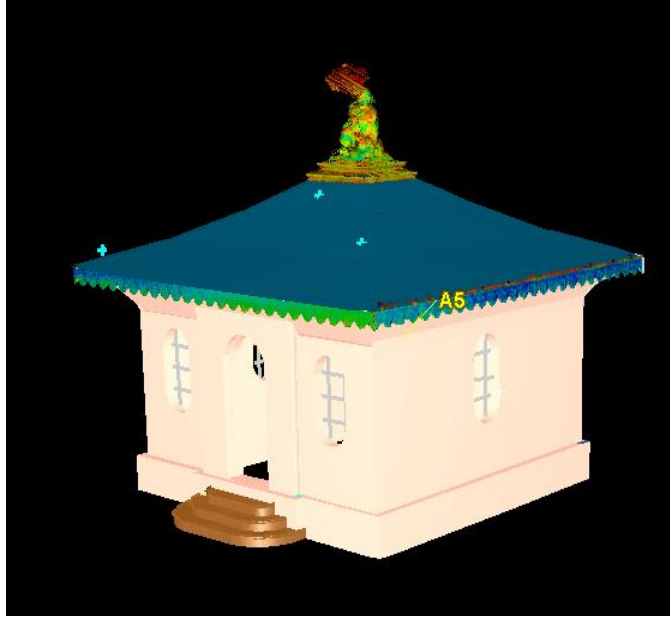
Şekil 3.13 Çatı detayı

Bazı detaylarda Cyclone programının "mesh" metodu yetersiz kalmıştır. Bu nedenle çatıda bulunan heykel "3DReshaper" yazılımı ile daha detaylı bir şekilde elde edilmiştir. Şekil 3.14' da Cyclone programı ile elde edilen heykel figürü sol tarafta, 3DReshaper ile elde edilen figür sağ tarafta gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Cyclone ve 3DReshaper ile oluşturulan heykel modeli

Süreç sonunda üretilen bina 3B Modeli Şekil 3.15'de sunulmuştur.

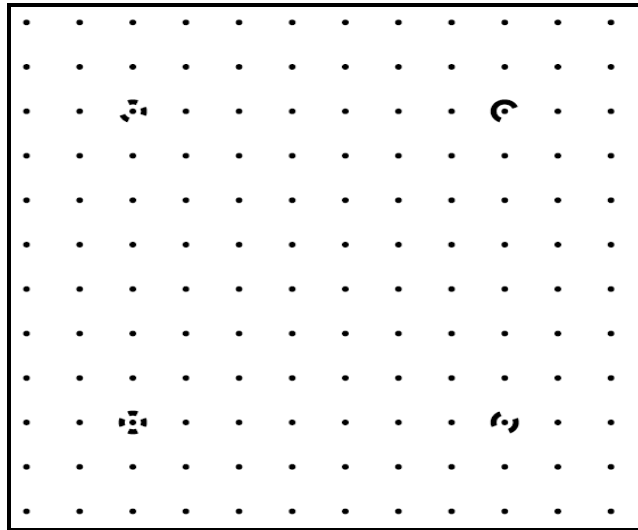


Şekil 3.15 Çin Çay Evi Üç boyutlu modeli

3.5 Fotogrametrik Yöntem-Stereo Görüş Olmadan Değerlendirme

3.5.1 Kamera Kalibrasyonu

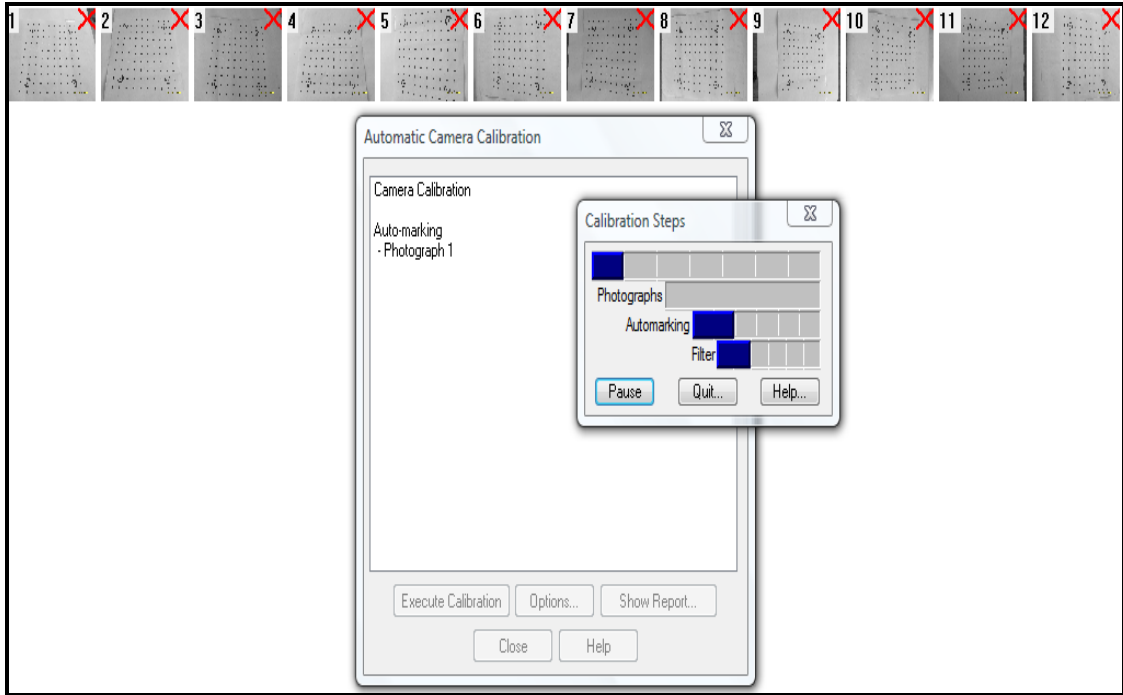
Kamera kalibrasyonu için gündüz vakti (doğal ışıkla işlem yapılması), iyi ışık alan bir odada, ışığın parlama yapmadığı bir yüzeye, PhotoModeler yazılımı ile kalibrasyon için özel olarak hazırlanmış levha yerleştirilmiş (Şekil 3.16) ve kalibrasyon fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 3.16 Kalibrasyon Levhası

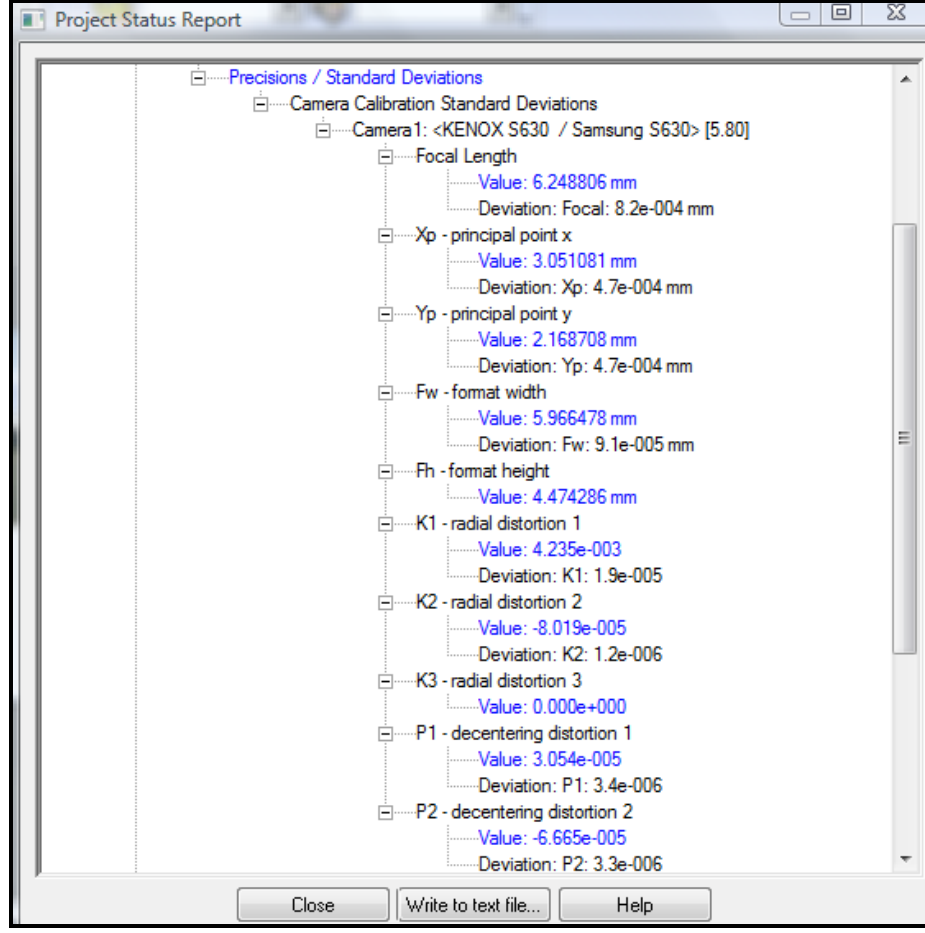
Çözünürlük 6.0 MP, flaş özelliği kapatılmış ve zoom özelliği kullanılmamış ve “manuel” modda fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Fotoğraf çekimi yaparken kalibrasyon levhasına eşit uzaklıkta çekim işlemi yapılmasına dikkat edilmiştir. Kamera normal konumda iken kalibrasyon kağıdının her bir yanından 1 adet olmak üzere 4 fotoğraf, kamera 90° döndürülerek yine aynı şekilde kalibrasyon kağıdının her bir yanından 1 adet olmak üzere 4 fotoğraf ve kamera ilk durumuna göre 270° döndürülerek kalibrasyon kağıdının her bir yanından 1 adet olmak üzere 4 fotoğraf, toplam 12 adet fotoğraf çekilmiştir.

Fotoğraf çekme işlemi bittikten sonra fotoğraflar bilgisayara aktarılmış ve PhotoModeler programı ile “Camera Calibration Project” seçilerek işleme başlanmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Kalibrasyon programının çalıştırılması

İşlem bittikten sonra kalibrasyon raporu hazır hale gelmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Kalibrasyon Raporu

Rapordaki değerler kontrol edilmiş ve kalibrasyon parametreleri PhotoModeler yazılımının kütüphanesine kayıt edilmiştir. Kütüphaneye kayıt edilen kalibrasyon raporu EK 1’de sunulmuştur.

3.5.2 Kontrol Noktaları ve Ölçümü

Yapılan çalışmada, fotogrametrik yöntemin ve lazer tarama yönteminde elde edilen 3B modellerin doğruluğunu irdelemek için 27 adet kontrol noktası Leica TS06 Total Station ile reflektörsüz ölçme metodu ile ölçülmüştür (Şekil 3.19). Ölçülen her nokta için aletten ham veriler ve koordinatlar alınmıştır. Verilere 3.1 formülleri [28] uygulanarak; her noktanın X, Y, Z koordinatlarındaki hatalar ve nokta konum hataları hesaplanmıştır. 3.1’de α : yatay açı, β : düşey açı, D: Eğik Mesafe, σ : konum hatasını ifade etmektedir. Ek 3’de görülebileceği üzere koordinatların standart sapması sırası ile X için 0.11 cm, Y için 0.16 cm, Z için 0.04 cm, nokta konum hatası ortalama 0.2 cm, maksimum konum hatası 0.204 cm olarak bulunmuştur.

$$\sigma_x^2 = \sin^2\alpha \sin^2\beta \sigma_d^2 + D^2 \sin^2\beta \cos^2\alpha \sigma_\alpha^2 + D^2 \sin^2\alpha \cos^2\beta \sigma_\beta^2 \quad (3.1)$$

$$\sigma_y^2 = \cos^2\alpha \sin^2\beta \sigma_d^2 + D^2 \sin^2\beta \sin^2\alpha \sigma_\alpha^2 + D^2 \cos^2\alpha \cos^2\beta \sigma_\beta^2$$

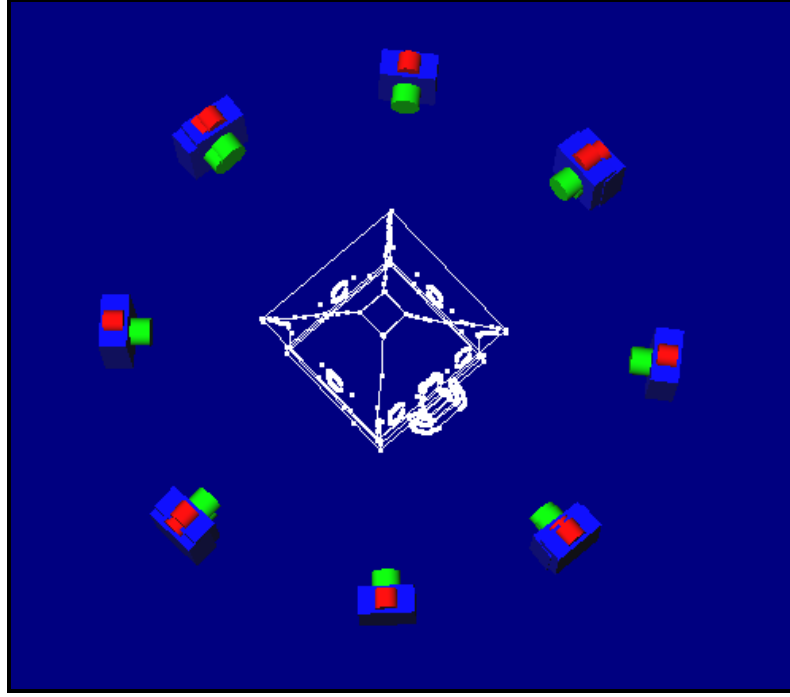
$$\sigma_z^2 = \cos^2\beta \sigma_d^2 + D^2 \sin^2\beta \sigma_\beta^2$$



Şekil 3.19 Kontrol Noktaları

3.5.3 Fotoğraf Çekimi

Fotogrametrik yöntemle 3B model elde edebilmek için, yaklaşık olarak 8.5 m mesafeden, 36 adet fotoğraf çekilmiştir. Çekilen fotoğraflardan 12 tanesi modelleme işleminde kullanılmıştır (Şekil 3.20). Çok sayıda fotoğraf çekilmesinin nedeni; fotoğraf makinesinin çözünürlüğünden kaynaklanan yetersizlikten dolayı; daha net fotoğraflar elde edebilmek ve çözünürlükten kaynaklanan modelleme hatalarını en aza indirmektir. Ayrıca; konvergent alımda istenilen alım açıları tam olarak yakalayabilmek modellemenin doğruluğu için önemlidir. Bu sebepten dolayı; köşe noktalarını içeren fotoğraflar arasında, çekim mesafelerinde ve fotoğrafların alım açılarında istenilen pozisyonların elde edilemediği fotoğrafların yerine, tekrar çekim yapılmak sureti ile modelleme için kullanılan fotoğraflar eklenmiştir. Çekilen fotoğrafların ölçeği yaklaşık 1/1300 civarındadır.



Şekil 3.20 Kamera Çekim Noktaları

Fotoğraflar çekilirken dikkat edilen hususlar şunlardır:

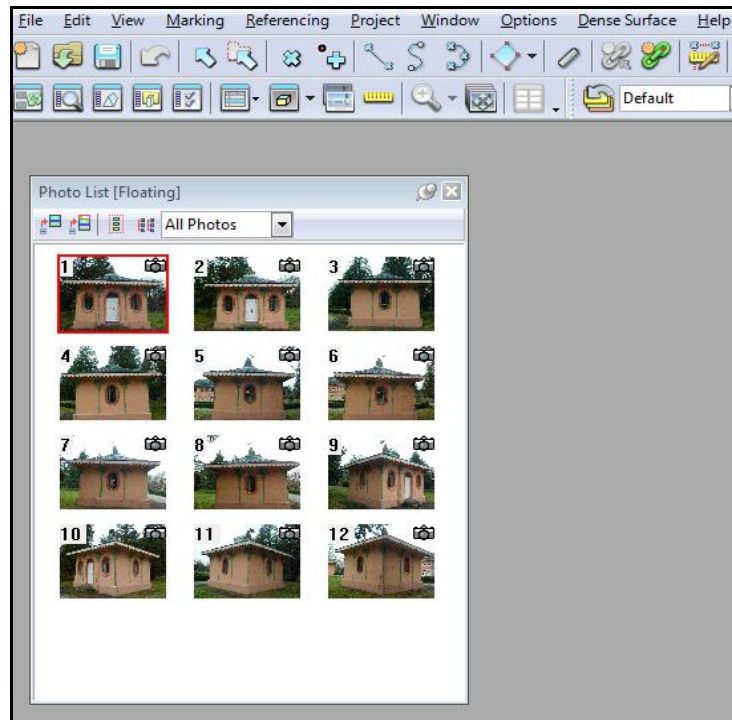
- Tek bir fotoğraf makinesi kullanılarak (Samsung s630) bütün cephelerin fotoğrafları çekilmiştir.
- Zoom yapılmadan, fotoğraf makinesi zoom ayarı sabit durumda iken ve flaşsız şekilde fotoğraflar çekilmiştir.
- Bütün fotoğraflar konu olan nesneye eşit uzaklıklarda çekilmiştir. Eğer uzaklık korunmaz ise özellikle aynı cephelere ait fotoğraflarda çakışma sorunu (ölçek) yaşanabileceğinden bu konuya önem verilerek işlemler uygulanmıştır.
- Fotoğraflar çekilirken, güneşin durumu da dikkate alınmıştır. Fotoğrafı çekilen yüzey parlama yapmış ise cephe kaplama işlemi yapıldığında kontrast ayarlamada sıkıntı olacağından ve bu da görsel olarak hoş durmayacağından, parlama yapan yüzeyler tekrar çekilmiştir.
- Fotoğraf çekerken mümkün olduğu kadar cepheler karşıdan alınmıştır ve fotoğrafların eğik çekilmemesine dikkat edilmiştir. Eğik çekilen fotoğraflarda röresman işlemi yapılırken, eğiklikten gelen bir ölçek farkı olacağından,

karşıdan çekilen fotoğraf ile aynı noktalarda çakışmama sorunu olabilir. Bundan dolayı cepheler mümkün olduğu kadar fotoğraf makinesi yere dik konumda ve cephenin karşısından çekilmiştir. Çok titiz bir çalışma ile cephe fotoğraflarını çekme işlemi tamamlanmıştır.

3.5.4 PhotoModeler ile Modelleme

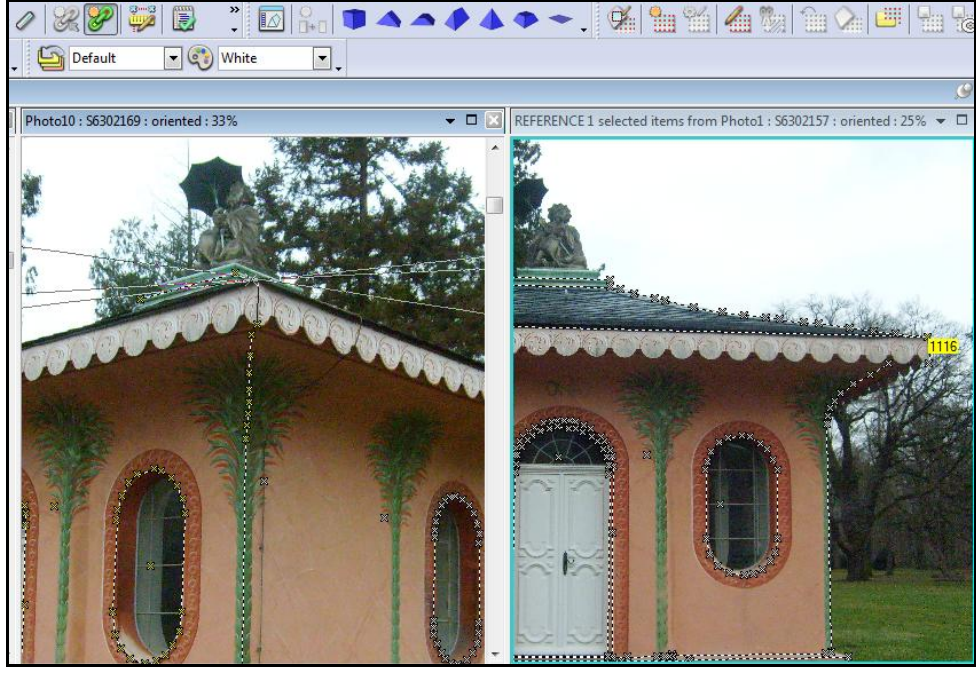
3.5.4.1 Farklı Fotoğraflar Üzerindeki Aynı Noktaların İşaretlenmesi

PhotoModeler programında bir noktanın 3B koordinatlarını elde etmek için, en az 2 fotoğrafta noktanın işaretlenmesi dengeleme için yeterlidir. Ancak, doğruluğun daha yüksek olması için en az 3 fotoğrafta da nokta veya nesneyi oluşturan noktaların işaretlenmesi iyi bir çözümdür. Uygulamada, ilk olarak çekilen fotoğraflar PhotoModeler ekranında gösterilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Çalışmada kullanılan fotoğraflar

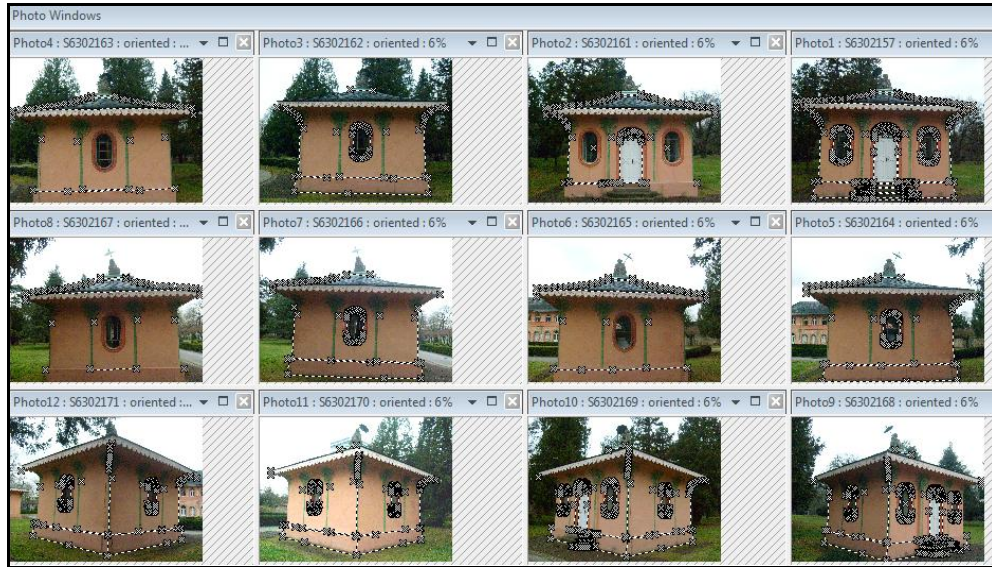
Fotoğraf üzerindeki detaylar en az 3 fotoğrafta aynı nokta ile işaretlenmek şartı ile “Point Mode” (nokta modu) seçilerek işaretlenmiştir. Daha sonra “Point Mode” ile işaretlenen nokta “Reference Mode” ile kaynak fotoğraftan seçilerek diğer fotoğraflardaki aynı noktalar eşleştirilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Aynı noktaların eşleştirilmesi

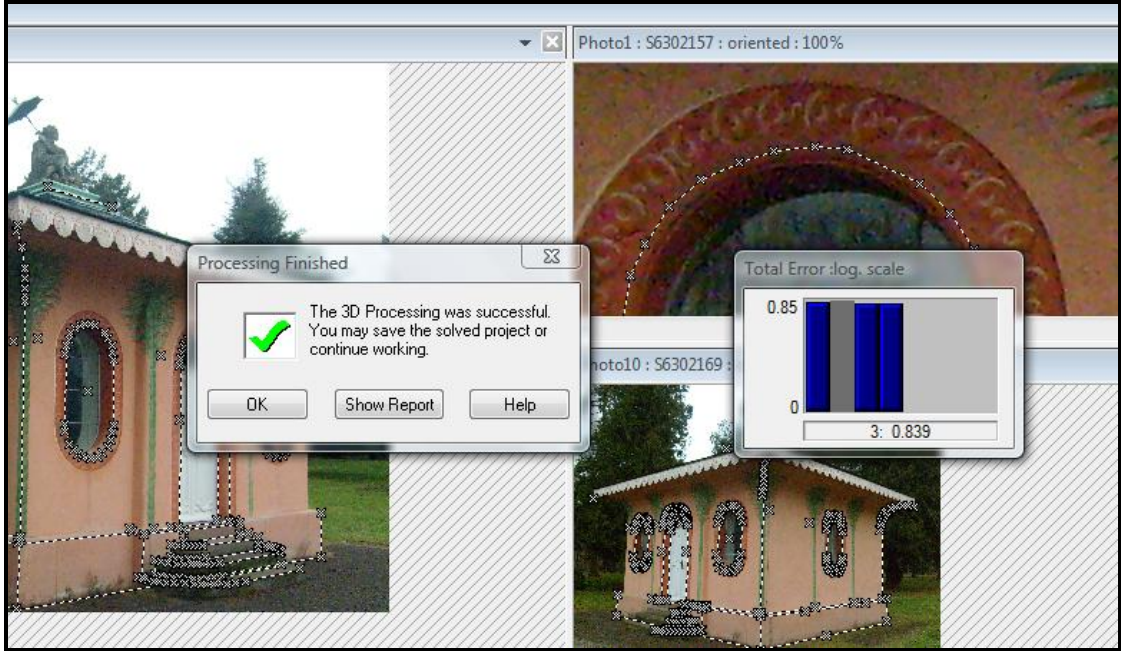
3.5.4.2 Üç Boyutlu Modelin Elde Edilmesi

Noktaları işaretleme ve eşleştirme işlemi bütün fotoğraflarda bittikten sonra çizim işlemine geçilmiştir. PhotoModeler’da bu işlem için iki seçenek bulunmaktadır. Düz yüzeyler için “Line Mode”, eğik yüzeyler için “Curve Mode” . Bir detayı 3B vektörize etmek için üç fotoğraftan herhangi birinde çizim işlemi yapılmış 12 fotoğraf ile 3 boyutlu modelin elde edilmesi için gerekli çizimler tamamlanmıştır (Şekil 3.23).



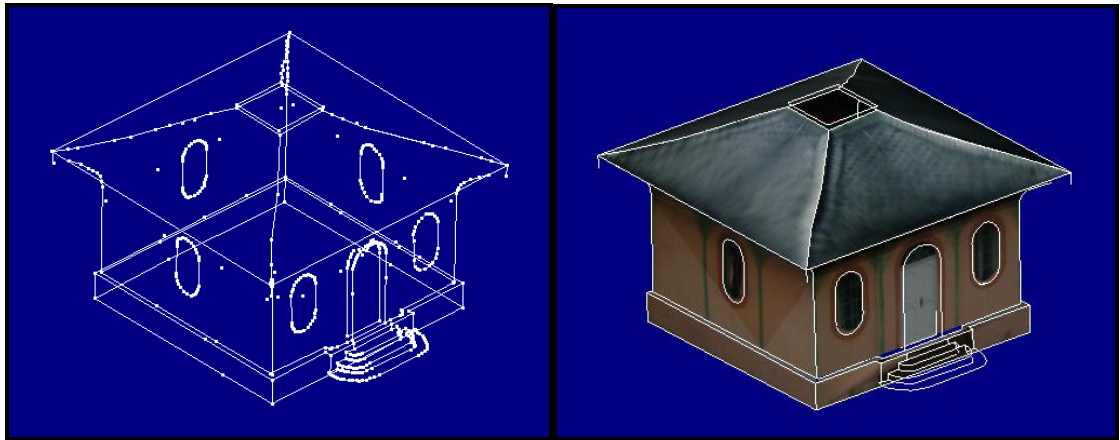
Şekil 3.23 Röleve çizimi yapılan fotoğraflar

Çizim işlemi tamamlandıktan sonra PhotoModeler işlemi basamaklarından verinin işleme tabi tutulması basamağı "Processing" butonu seçilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ışın destelerine göre dengeleme hatası 0.839 piksel olarak çıkmış ve hata sınırı içinde kalmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 Process işlemi sonucu

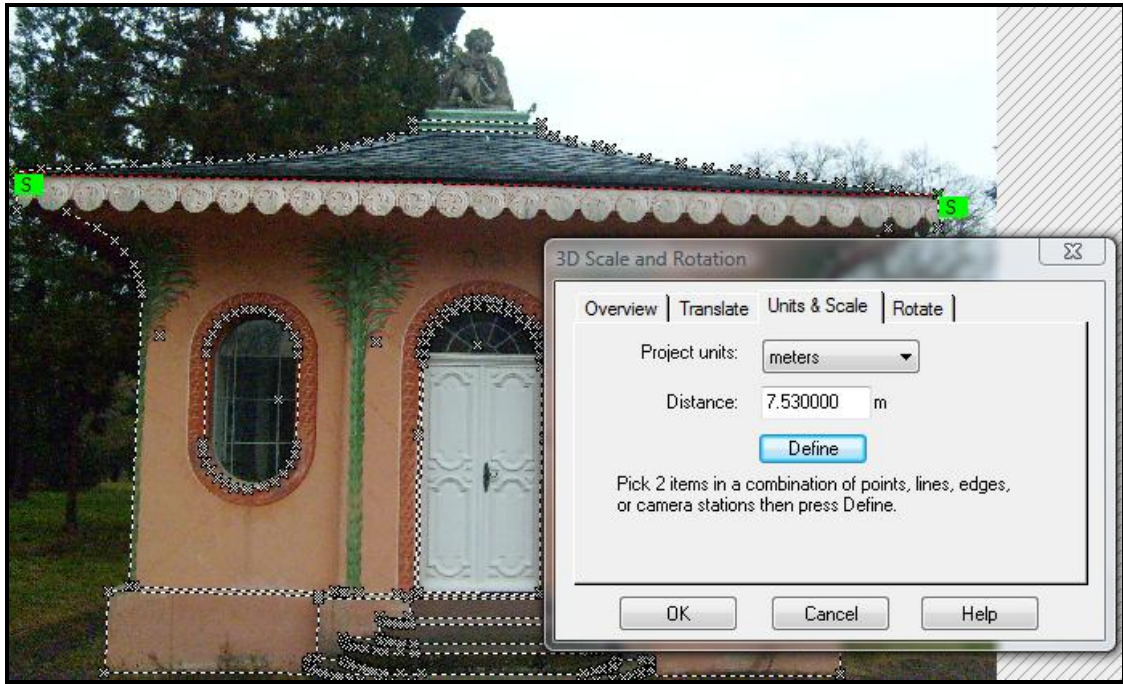
İşlem tamamlandıktan sonra, PhotoModeler programının raporuna bakılmış ve hatalar kontrol edilmiştir. Ek 3'de modellemede kullanılan noktalar ve hataları verilmiştir. Bütün bu işlemler bittikten sonra PhotoModeler'in araçları ile 3B model üretilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Photomodeler 3 boyutlu model

3.5.4.3 Ölçeklendirme

En son adım olarak 3B model çizimi arazide ölçülen uzunluklar ile sistemde eşleştirilerek ölçeklendirme işlemi yapılmıştır. Bu şekilde çizimin herhangi bir yerinden nesneye ait arazideki uzunluğun ölçülmesi sağlanmıştır. Bu işlemi yapmak için PhotoModeler'da "Project-Scale and Rotate-Units&Scale" seçeneği ile çizim üzerinden seçilen uzunluğun gerçek değeri girilmiştir ve "define" ikonuna basılarak ölçeklendirme işlemi tamamlanmıştır (Şekil 3.26).



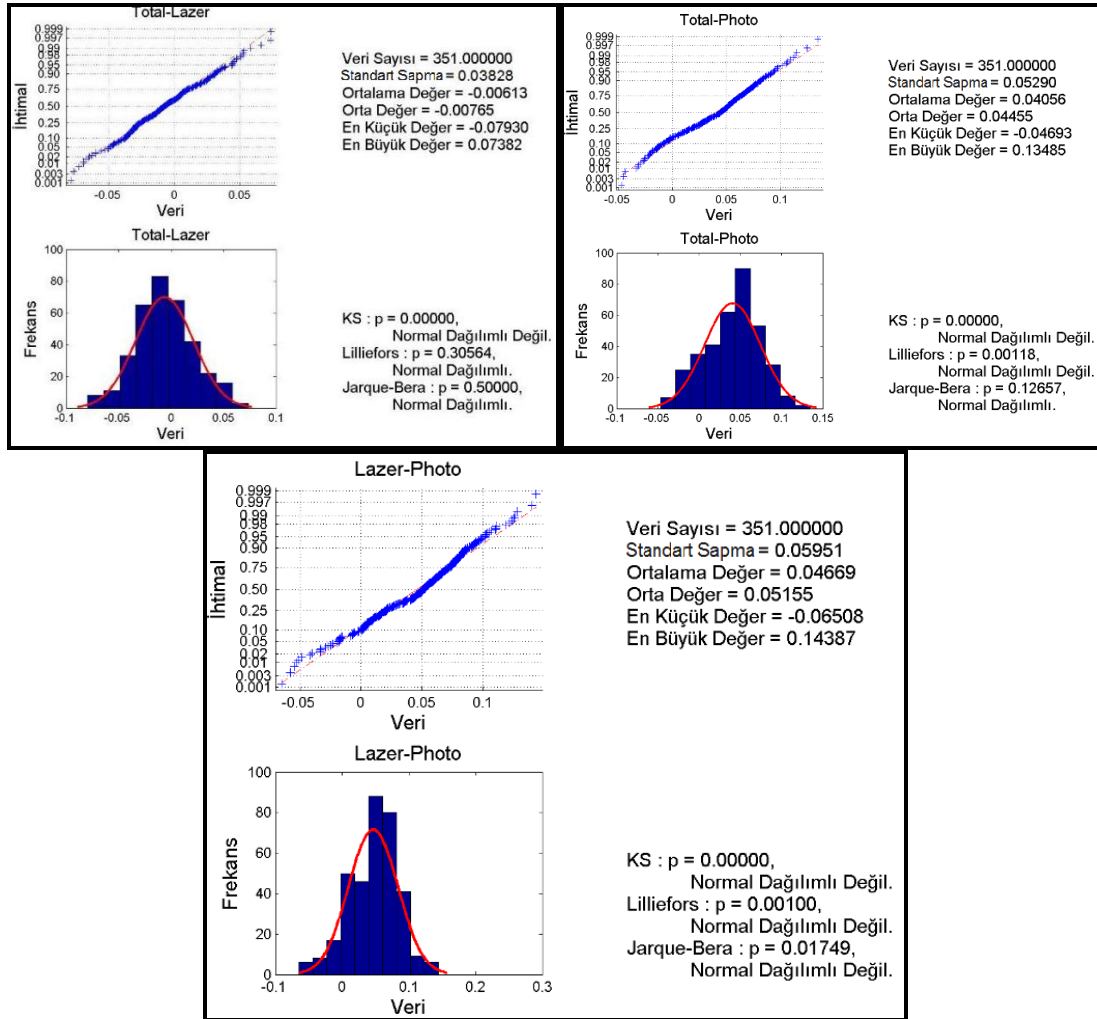
Şekil 3.26 PhotoModeller Ölçeklendirme

3.6 Doğruluk Araştırması

Uygulamada kullanılan ölçüm aletlerinin doğrulukları: Total Station aleti için Bölüm 3.3'de; fotogrametrik yöntemde kullanılan kamera için Bölüm 3.3 ve Ek-1'de; YLT yönteminde kullanılan lazer tarayıcı ölçüm doğrulukları Ek-2'de verilmiştir.

İçsel doğruluklar bir ölçü ağının ya da bir objenin ne kadar hassasiyetle ölçüldüğü hakkında yeterli bilgiyi veremeyebilir. Bu nedenle, sistemin doğruluğunu araştırmak için, arazide ölçülen noktalar arası baz mesafeleri hesaplanmıştır. Referans veri olarak kullanılan ve total station ile ölçülen 27 noktanın, fotogrametrik sistem ve yersel lazer yönteminde de koordinatları ölçülmüştür (Ek 4). Noktalar arasındaki baz mesafeleri;

noktaların kaba hataları göz önünde bulundurularak bütün noktalar için hesaplanmıştır ve her bir ölçü grubu için toplamda 351 baz mesafesi elde edilmiştir. Üç sistemde de ortak noktalardan hesaplanan mesafeler arasındaki farklar; Bölüm 2.3’de belirtilen “Kolmogorov-Smirnov (K-S)”, “Lilliefors” ve “Jarque-Bera” güvenilirlik testlerine tabi tutularak, sistemlerin standart sapmaları, en büyük değer ve en küçük değerleri vb. her bir ölçü sistemi için ayrı ayrı elde edilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 Kaba Hatalı Ölçü Gruplarını İçeren İstatistik Testleri ve Standart Sapmaları

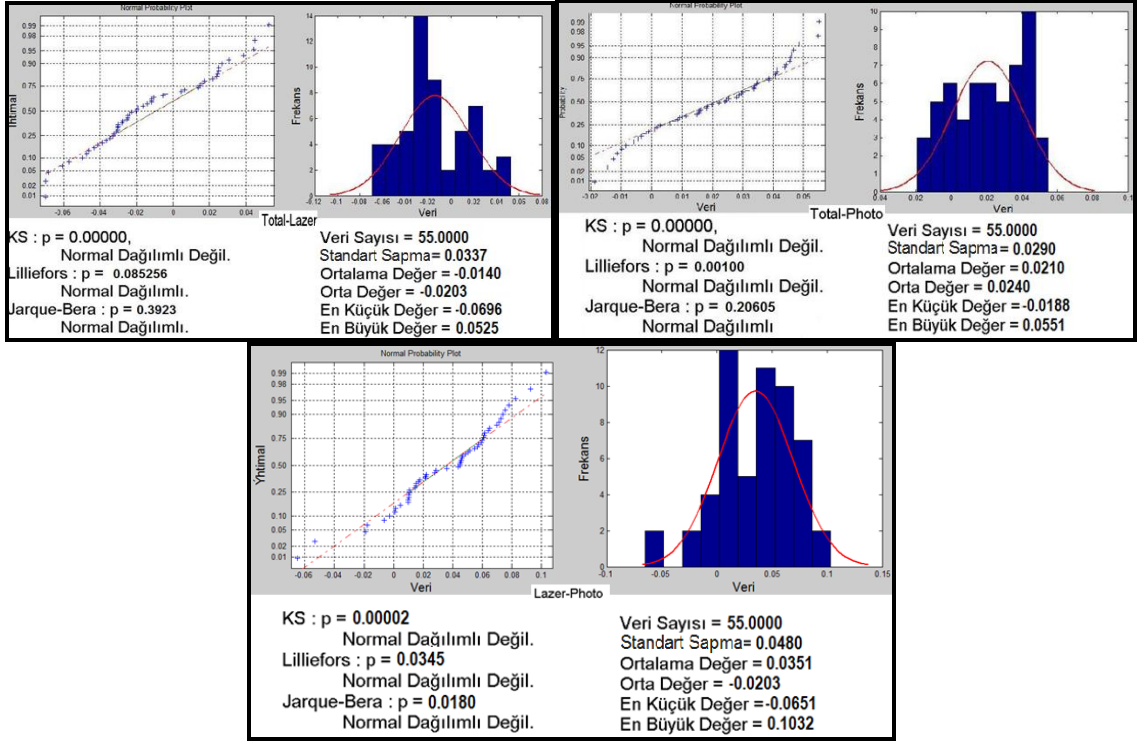
Baz mesafeleri arasındaki farklar elde edilirken, total station koordinatlarından elde edilen bazlar referans alınmıştır. Şekil 3.27’de görüldüğü üzere total station ile elde edilen baz mesafeleri ile fotogrametrik yöntemden elde edilen baz mesafeleri, kaba hatalar ile birlikte karşılaştırıldığında; bu yöntemlerden elde edilen baz mesafelerinin farkının standart sapması eşitlik (2.7)’den 5.2 cm olarak elde edilmiştir ve Bölüm 2.3’de açıklanan güvenilirlik testlerinden 1 tanesinde normal dağılım göstermiştir. Total

Station ve YLT'den elde edilen baz mesafelerinin farkının standart sapması ise 3.8 cm olarak elde edilmiştir ve güvenilirlik testlerinden 2 tanesinde normal dağılım göstermiştir. YLT verileri ile fotogrametrik yöntemin verileri birbiri ile karşılaştırıldığında standart sapma 5.9 cm olarak elde edilmiştir ve hiçbir güvenilirlik testinde normal dağılım göstermemiştir. Bu değerlendirme, üç yöntem içinde kaba hataların işleme katılması ile elde edilmiş bir sonuçtur.

$$\mu - 2\sigma < X < \mu + 2\sigma \quad (3.2)$$

Kaba hatalar elendikten sonra bir değerlendirme yapmak, en güvenilir sonuç olacağından, kaba hatalar belirlenen standart sapmalara göre her sistemden ayrı ayrı hesaplanarak çıkarılmıştır. Kaba hatalar çıkarılırken; her sistemin standart sapması %95 güven aralığında belirlendiği için; eşitlik 3.2'ye göre bütün kaba hatalar her 3 sistemden de çıkarılmıştır. 3.2'de σ : standart sapma, μ : ortalama değer, X: güven aralığını ifade etmektedir.

Her üç sistemin birbiri ile doğru bir şekilde karşılaştırılabilmesi için, YLT ile elde edilen bir nokta, kaba hatalı ise ; fotogrametrik yöntem ve Total Station alımlarından elde edilen aynı nokta, kendi sistemi içinde hata sınırları içinde kalsa dahi sistemden çıkarılmıştır. Bu yaklaşım her üç sistem için teker teker yapılarak, kaba hatalar giderildikten sonra toplamda 55 baz mesafesi elde edilmiştir. Kaba hataların olmadığı bu 55 baz mesafesi; tekrar güvenilirlik testlerine tabi tutulmuş ve standart sapmaları hesaplanmıştır (Şekil 3.28). Buna göre; Total Station ve YLT verilerinden hesaplanan baz mesafeleri farkının standart sapması 3.4 cm olarak elde edilmiştir ve güvenilirlik testlerinden yine 2 tanesinde normal dağılım göstermiştir. Total Station ve fotogrametrik yöntemden elde edilen baz mesafelerinin farkının standart sapması ise 2.9 cm olarak elde edilmiştir ve testlerinden sadece birinde normal dağılım göstermiştir. YLT verileri ile fotogrametrik yöntemin verileri birbiri ile karşılaştırıldığında standart sapma 4.8 cm olarak elde edilmiştir ve yine hiçbir güvenilirlik testinde normal dağılım göstermemiştir.



Şekil 3.28 Kaba Hataları Çıkarılmış Ölçü gruplarının İstatistik Testleri ve Standart Sapmaları

Sonuç olarak; kaba hatalar ile birlikte baz mesafeleri arasındaki farklar hesaplandığında lazer tarama verilerinin doğruluğu, fotogrametrik yöntemle elde edilen verilerin doğruluğundan daha iyi bir doğruluk göstermiştir. Ancak kaba hatalar çıkarıldıktan sonra fotogrametrik yöntemle elde edilen veriler, lazer tarama yöntemi ile elde edilen verilerden daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

Normal dağılımlar açısından incelendiğinde Total Station ile YLT için yapılan güvenilirlik test sonuçları, 2 testde normal dağılım göstermiştir. Total Station ile fotogrametrik yöntem için yapılan güvenilirlik testlerinde de 1 tanesinde normal dağılım elde edilmiştir. YLT ile Total Station arasında veya Total Station ile fotogrametrik yöntem arasında anlamlı bir fark vardır. Bu iki karşılaştırma sonucu; Total Station ile YLT ve Total Station ile fotogrametrik yöntem sistemlerin duyarlılıkları arasındaki farkdan dolayı, Total Station yerine ne YLT ne de fotogrametrik yöntem tercih edilemez. Fotogrametrik yöntem ile YLT için yapılan karşılaştırmada Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'den anlaşılacağı üzere; 3 güvenilirlik testi içinde normal dağılım gözlenememiştir. Bu sonuca göre; bu uygulamada, YLT ile Fotogrametrik Yöntem birbiri yerine tercih edilebilir sonucuna varılmıştır.

3.7 Yazılım ve Donanım ile İlgili Sorunlar

Tarama verilerinden 3B modelin elde edilmesinde kullanılan Leica Cyclone yazılımı çok detaylı yüzeylerin modellenmesinde, bir çok çalışmada da belirlendiği üzere yetersiz kalmıştır [37,38,39]. Cloudworx yazılımı AutoCAD üzerinde çalışan bir program olduğu için, Cyclone programından bir çok avantajı vardır. Cyclone programı ile nokta bulutları bir çok formata dönüştürülebilmektedir. Bir lazer taraması nokta bulutunda, milyonlarca nokta ile işlem yapıldığı için her program bu kadar yüklü bir veri ile işlem yapamamaktadır. Ancak; Cloudworx modülüne sahip bir AutoCAD programı ile çok rahat bir şekilde çalışılabilmektedir. Ayrıca; Cloudworx'ün iki boyutlu modelleme araçları kullanıcıya büyük kolaylıklar sağlarken bunun yanında nokta bulutlarının üzerinde, AutoCAD'in kendi araçlarının kullanılabilir olması 3B görselleştirmeler için avantajlar sağlamaktadır.

Kullanılan YLT HDS 6000 çok üstün özellikli bir lazer tarayıcı olmasına karşın, bu çalışma benzeri uygulamalarda, yüksek çözünürlük ile fotoğraf çekebilen geniş açılı bir kameraya sahip, lazer tarayıcıların kullanılması; nokta bulutlarından çizim yapılırken fotoğrafında olması ile daha doğru sonuçlar ve daha düzgün 3B modellerin elde edilmesini sağlayacaktır. Sadece lazer bulutlarından 3B modelin elde edilmesi aşamalarında, detaylı çalışma yapılması gerektiren yüzeylerde (işlemeler, çeşitli oyma motifler vb) noktaların yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Detaylı yüzeylerin elde edilmesinde fotoğraf ile de çalışılması, kullanıcılara kolaylık sağlamasının yanısıra, üretilen 3B modellerinde daha gerçekçi modellere dönüşmesini de sağlayabilecektir.

3B modele kaplanacak olan cephe fotoğrafları çekilirken kısa mesafeden, daha büyük bir alanı çekebilen "geniş açılı" fotoğraf makineleri tercih edilmesi aşağıdaki nedenlerle daha uygun olacaktır. Binaların birbirine çok yakın olduğu yerlerde; tek fotoğraf ile cephe kapsanabilecekken, mesafe az olduğundan 2 fotoğraf ile bir cephe alınabilmektedir. Bu durum da hem zaman kaybı, hem de iki fotoğrafın çakıştığı noktalarda "kontrast" ayarı yapmak ve çeşitli görsel bozuklukları gidermek anlamında sorunlar çıkarabilmektedir. Bu açıdan kısa mesafeden büyük bir alanı çekebilen fotoğraf makineleri bu tür projeler için en uygun kameralar olacaktır. Ayrıca kameranın çözünürlüğü de dokümantasyon çalışmaları için büyük önem taşımaktadır.

Fotogrametrik yöntem için seçilen 6 MP fotoğraf makinesi, çalışmada aksaklıklara neden olmuş binanın detaylarının çıkarılmasında çözünürlük olarak yetersiz kalmıştır. Çözünürlükten dolayı yetersiz kalmasından dolayı, 3B modelleme için işaretlenmesi gerek bir çok nokta net görünememesine rağmen işaretlenmiş ve buda yapılan modelde hatalara neden olmuştur. Noktaların net bir şekilde işaretlenememesi, fotogrametrik yöntemin standart sapmasını büyük ölçüde etkilemiştir (Ek-3). Bu açıdan bakıldığında fotogrametrik yöntem için seçilen kameranın çözünürlük açısından daha iyi seviyelerde olması ya da bu tür modelleme işlemleri için metrik kameraların tercih edilmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarihi ve kültürel mirasın korunmasında yapıların üç boyutlu olarak dokümantasyonu gerekmektedir. Dokümantasyon çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bugün, gelişen teknoloji ile fotogrametrik yöntem ve yersel lazer tarama yöntemi, tarihi ve kültürel mirasın dokümantasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır.

Fotogrametrik veriler veya yersel lazer tarama verileri çeşitli CAD programlarında düzenlenerek mimari amaçlarla kullanılabilir. Her iki yöntemde de koordinat bilgileri kullanıldığından bu yöntemler bütünleştirilebilir. Her iki yöntemin birbirine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Voegtle vd. [34]'de yaptıkları çalışmada “her veri toplama tekniğinin; lazer tarama, fotogrametrik yöntem ve klasik ölçme tekniklerinin bazı sınırlamaları vardır; fakat aynı zamanda her biri, birbirinin tamamlayıcısı niteliğindedir” diye belirtmişlerdir. Bu vb. araştırmalar ve bu çalışmada yürütülen araştırmadan da anlaşılacağı üzere; tarihi eserlerin dokümantasyonu için ya da çeşitli 3B modelleme çalışmaları için tek bir yöntemle yetinmek yerine lazer verileri ile fotogrametrik yöntemi bir araya getiren bütünleşik bir sistem kullanılması dokümantasyon çalışmaları için daha doğru bir seçim olacaktır.

Bu çalışmada, fotogrametrik yöntem ve yersel lazer tarama yöntemi ile Almanya Karlsruhe’de bulunan tarihi Çin Çay Evi’nin üç boyutlu modeli üretilmiştir. Binanın çeşitli noktalarına Total Station ile de ölçümler yapılmış ve doğruluk araştırmasında bu veriler referans veri olarak alınmıştır. Aynı noktalar diğer yöntemlerde de ölçülmüş, her sistem için noktalar arası mesafeler hesaplanmış ve bu mesafeler arası farklar

hesaplanmıştır (Ek-5). Daha sonra; bütün ölçüler ve kaba hatalı ölçüler elendikten sonra hata ve güvenilirlik testleri uygulanmıştır.

Uygulamada kullanılan lazer tarayıcı olan ile çok hızlı bir şekilde arazi çalışmaları bitirilmiş ve tarihi eserin 3B modeli üretilmiştir. Fotogrametrik yöntem ile 3B modelin üretilmesi, yöntem operatör destekli uygulandığından lazer tarama yöntemine göre biraz daha uzun sürmüştür. Çalışma sonucu her bir yöntem için belirlenen ortak noktalardan, baz mesafelerinin standart sapmaları hesaplanmıştır. Standart sapmalara göre yapılan karşılaştırmalar; Voegtle vd. [34] ve Guarnieri vd. [40]'da yaptıkları çalışmalarda TLS ve fotogrametrik yöntem için buldukları standart sapmalar ile yaklaşık olarak aynı olup, yersel fotogrametrinin TLS'den daha hassas olduğu yönündedir. Ayrıca; her iki çalışmanın birbirinden bağımsız olarak net sonucu, fotogrametrik yöntemin ve TLS'nin bütünleşik olduğu bir sisteme kullanıcıları yönlendirmektedir. Bu çalışmadan elde edilen deneyimlere göre de, çözünürlüğü yüksek bir fotogrametrik sistem entegre edilmiş yersel lazer tarayıcılar ile yapılan dokümantasyon kullanıcılar için hem hız olarak hemde doğruluk olarak daha iyi sonuçlar verebilecektir. Aynı zamanda her iki yöntem de klasik bir ölçme sistemi olan Total Station ile kontrollü bir şekilde uygulanırsa ve fotogrametrik yöntem için yüksek çözünürlüklü metrik kameralar, TLS içinde fotoğraf çekebilme özelliğine sahip lazer tarayıcılar tercih edilirse daha iyi sonuçlar elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] El-Hakim, S. F., (2001). "A flexible approach to 3D reconstruction from single images" ACM Proceedings of SIGGRAPH '01, Technical Sketches, Los Angeles, California, 12th to 17th August 2001.
- [2] Wolf, P.R. ve Dewitt, B.A., 2000. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS 3th Ed.; Mc Graw Hill, New York, USA. 377-380.
- [3] Gümüş, K., vd. (2007) "Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler", 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- [4] Fabris, M. Vd., (2012) "High Resolution Data From Laser Scanning And Digital Photogrammetry Terrestrial Methodologies. Test Site: An Architectural Surface" LRG – Laboratorio di Rilevamento e Geomatica, DAUR, Università di Padova, via Marzolo, 9, 35131 Padova.
- [5] Kısa, A., (2012). Ortofoto Harita Üretiminde Jeodezik Altyapının İrdelenmesi Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Tüysüz, N. ve Yaylalı, G., (2012), Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon.
- [7] Alkış, A.,(1988) "Yakın Resim Fotogrametrisi ve Türkiye’de Uygulama Olanakları" Harita Dergisi, Temmuz 1988, Ankara.
- [8] Marangoz, A., (2002). Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölevelerinin Çıkarılması Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Demir, N., (2005). Yersel Lazer Tarama ve Fotogrametrinin Birlikte Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- [10] Yastıklı, N., (2010). Yersel Fotogrametri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Anabilim Dalı, İstanbul.
- [11] Kraus, K., (1998). Fotogrammetria 1. Edizioni Levrotto & Bella, Torino.
- [12] Ergün, B., (2003). Yakın Resim Fotogrametrisinde Mikro-Fotogrametrik Uzman Sistem Tasarımı, Tesisi ve Kalibrasyonu, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri.

- [13] Yastıklı, N., (2005). "Sayısal Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarayıcılar ile Belgeleme ve Üç Boyutlu Modelleme" Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Anabilim Dalı, İstanbul
- [14] Gould, R. Gordon (1959). "The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". In Franken, P.A. and Sands, R.H. (Eds.). The Ann Arbor Conference on Optical Pumping, the University of Michigan, June 15 through June 18, 1959.
- [15] E-education, Lidar, <https://www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1798>, 10.02.2013.
- [16] 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).
- [17] Vozikis, Vd., (2004). Laser Scanning: A New Method for Recording and Documentation in Archaeology, FIG Working Week May 22-27 2004 Athens, Greece.
- [18] Yılmaz, Vd., (2006). "Yersel Lazer Tarama Teknolojisi" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergis 2006(2).
- [19] Licht D.D. ve Gordon S.J., (2002). "Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording", Proceedings of FIG Working Week, Athens, Greece.
- [20] Altuntaş, C., (2008). "Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi", Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi.
- [21] Boehler, W., (2002). "3D Scanning Instruments", i3mainz, Institute for Spatial Information and Surveying Technology, FH Mainz, University of Applied Sciences, Holzstrasse 36, 55116 Mainz, Germany.
- [22] Wehr, A., (2005). Laser Scanning and Its Potential To Support 3D Panoramic Recording, Proceedings of the ISPRS working Group V/5 '2. Panoramic Photogrammetry Workshop', Berlin, Germany, February 24-25.
- [23] İnal, C. ve Bayram, T., (2003). "Nokta Konum Duyarlıklarının İki ve Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümüne Etkisi" Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Müh. 42031 Kampüs/Konya.
- [24] Yıldız, F., vd., (2009). "Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutlarının Jeodezik Koordinat sistemine Dönüştürülmesi" Harita Dergisi.
- [25] 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.
- [26] Koch, K. R., (1980). Parameterschatzung und Hypothesentests in linearen Modellen, Bonn.

- [27] Çoruhlu, E. Y., (2007). Grafik Kadastro Sorunu ve Çözüm Olanaklarının Araştırılması: Trabzon Örneği. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- [28] Demirel, H., (2011). Dengeleme Hesabı, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- [29] Lilliefors, H., (1967). "On the Kolmogrov-Smirnow test for normality with mean and variance unknown", Journal of the American Statistical Association.
- [30] Özdamar, K., (2002). Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi, Bilim Teknik Yayınevi Yayınları, Cilt 1, İstanbul.
- [31] MATLAB®2009, (2009). The MathWorks.
- [32] Gümüş, K. (2008). Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- [33] Demir N., vd., (2004). Laser Scanning for Terrestrial Photogrammetry, Alternative System or Combined with Traditional System, XX. ISPRS Symposium, Commission V, WG V/2, 1221 July, İstanbul.
- [34] Voegtle, T., vd. (2008). "Comparison Methods Of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry And Tacheometry Data For Recording Of Cultural Heritage Buildings" Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.
- [35] Wikipedia, Karlsruhe, http://de.wikipedia.org/wiki/Fasanenschl%C3%B6sche_n28_Karlsruhe_%29#cite_note-Ludwig.2CSchmidtBergmann.2CSchmitt-1, 12.03.2013.
- [36] Karlsruhe Institute of Technology, History of KIT <http://www.kit.edu/kit/english/1083.php>, 12.03.2013.
- [37] Borkowski, A., (2012). "Accuracy Assessment Of Building Models Created From Laser Scanning Data" International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B3, 2012 XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia.
- [38] Reshetyuk, Y., (2009). "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, Stockholm, Sweden.
- [39] Wujanz, D., vd., (2012). "Fusion of point clouds from TLS and MVS for the generation of a 3D ship model. Proceedings of the Oldenburger 3D-Tage" Technische Universität Berlin, Germany.
- [40] Guarnieri, A., vd., (2005), Digital Photogrammetry And Laser Scanning In Cultural Heritage Survey, Cirgeo– Interdept. Research Center of Geomatics, University of Padova, Italy.
- [41] International Committee for Architectural Photogrammetry, History of CIPA, <http://cipa.icomos.org/>, 14.04.2013.

PHOTOMODELLER KALİBRASYON RAPORU

Constraints: on

Total Error

Number of Processing Iterations: 2

Number of Processing Stages: 2

First Error: 1.510

Last Error: 1.513

Precisions / Standard Deviations

Camera Calibration Standard Deviations

Camera1: <KENOX S630 / Samsung S630> [5.80]

Focal Length

Value: 6.248806 mm

Deviation: Focal: 8.2e-004 mm

Xp - principal point x

Value: 3.051081 mm

Deviation: Xp: 4.7e-004 mm

Yp - principal point y

Value: 2.168708 mm

Deviation: Yp: 4.7e-004 mm

Fw - format width

Value: 5.966478 mm

Deviation: Fw: 9.1e-005 mm

Fh - format height

Value: 4.474286 mm

K1 - radial distortion 1

Value: 4.235e-003

Deviation: K1: 1.9e-005

K2 - radial distortion 2

Value: -8.019e-005

Deviation: K2: 1.2e-006

K3 - radial distortion 3

Value: 0.000e+000

P1 - decentering distortion 1

Value: 3.054e-005

Deviation: P1: 3.4e-006

P2 - decentering distortion 2

Value: -6.665e-005

Deviation: P2: 3.3e-006

Quality

Photographs

Total Number: 12

Bad Photos: 0

Weak Photos: 0

OK Photos: 12

Number Oriented: 12

Number with inverse camera flags set: 0

Cameras

Camera1: <KENOX S630 / Samsung S630> [5.80]

Calibration: yes

Number of photos using camera: 12

Average Photo Point Coverage: 96%

Photo Coverage

Number of referenced points outside of the Camera's calibrated coverage: 0

Point Marking Residuals

Overall RMS: 0.187 pixels

Maximum: 0.863 pixels

Point 125 on Photo 9

Minimum: 0.145 pixels

Point 55 on Photo 11

Maximum RMS: 0.474 pixels

Point 125

Minimum RMS: 0.097 pixels

Point 55

Point Tightness

Maximum: 0.0009 m

Point 125

Minimum: 0.00014 m

Point 55

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.000117 m

Maximum Vector Length: 0.000261 m

Point 124

Minimum Vector Length: 8.85e-005 m

Point 66

Maximum X: 0.000126 m

Maximum Y: 0.000135 m

Maximum Z: 0.00019 m

Minimum X: 2.88e-005 m

Minimum Y: 2.88e-005 m

Minimum Z: 7.56e-005 m

LAZER TARAYICININ ÖZELLİKLERİ

Çizelge Ek-2: Lazer Tarayıcının Özellikleri

Tek sinyal için ölçüm doğruluğu	Nokta konumu Mesafe Açı	1-25 metre için 6 mm, 50 metreye kadar 10 mm %90 yansıma 25 m kadar ≤ 4 mm %90 yansıma 50 m kadar ≤ 5 mm %18 yansıma 25 m kadar ≤ 5 mm %18 yansıma 50 m kadar ≤ 6 mm Yatay/Düşey 7.9 mgon/7.9 mgon
Lazer Alanı		Çıkışta 3 mm ve 0.22 mrad sapma 25 m → 8 mm, 50 m → 14mm
Hedef levhasıAlgılama		2 mm standart sapma
Yüzey Modellemede Hassasiyeti (Prosess işlemine girdikten sonra)	Tek sinyal için	%90 yansıma 25 metrede 2 mm %90 yansıma 50 metrede 4 mm
Lazer Tarama Sistemi Belirsizlik Aralığı (Çözünürlük)	Preview Middle (4x) High (8x) Super High (16x) Ultra High (32x)	10 metrede; 50 metrede 50.6 x 50.6mm; 250 x 250mm 12.6 x 12.6mm; 62 x 62mm 6.3 x 6.3mm; 31.4 x 31.4mm 3.1 x 3.1mm; 15.8 x 15.8mm 1.6 x 1.6mm; 7.9 x 7.9mm
Tarama Yoğunluğu ve Zamanı	Preview Middle (4x) High (8x) Super High (16x) Ultra High (32x)	1250 nokta 25 sec 5000 nokta 1 min 40 sec 10000 nokta 3 min 22 sec 20000 nokta 6 min 44 sec 40000 nokta 26 min 40 sec
Tarama Alanı	Yatay Düşey	360° 310°
Ölçme Prensibi	phase shift (cw)	Faz Karşılaştırma Yöntemi
Dalga Boyu		670 nm
Sıcaklık	Ölçme Depolama	0° - 40° -20° - 50°

TOTAL STATION İLE ÖLÇÜLEN NOKTALAR ve KONUM DOĞRULUKLARI

Çizelge Ek-3: Total Station ile Ölçülen Noktalar ve Konum Doğrulukları

No	X (m)	Y (m)	Z (m)	d (cm)	α (mgon)	β (mgon)	dx (cm)	dy (cm)	dz (cm)	ds (cm)
1	5430887.432	3457111.18	115.0904	1069.31	0.81268	-1.2371	0.1374	0.13	0.0674	0.2009
2	5430887.44	3457111.18	115.7539	1050.21	0.81309	-1.2971	0.1401	0.133	0.0563	0.2009
3	5430887.572	3457111.32	115.7848	1068.09	0.81178	-1.3048	0.1402	0.133	0.055	0.2009
4	5430886.795	3457110.45	118.7899	914.181	0.82284	1.54921	0.1467	0.136	0.015	0.2007
5	5430886.793	3457110.45	119.0790	915.127	0.82264	1.51762	0.1465	0.136	0.0179	0.2007
6	5430893.561	3457111.63	115.0393	1380.04	-0.7396	-1.5675	0.1351	0.148	0.0217	0.2016
7	5430893.569	3457111.63	115.7425	1382.25	-0.74	1.52323	0.1351	0.148	0.0237	0.2016
8	5430893.451	3457111.71	115.7739	1368.75	-0.7375	1.52047	0.1347	0.148	0.0237	0.2016
9	5430894.306	3457110.96	118.8294	1526.58	-0.7462	1.32301	0.1321	0.143	0.0543	0.2019
10	5430894.305	3457110.96	119.1155	1533.51	-0.7464	1.30486	0.1315	0.142	0.0575	0.2019
11	5430887.331	3457112.92	115.7589	944.335	-0.3322	1.49941	0.0656	0.189	0.0206	0.2007
12	5430887.183	3457112.92	115.7543	939.595	-0.3173	1.49954	0.0628	0.19	0.0205	0.2007
13	5430887.433	3457113.03	115.7842	937.692	-0.3463	1.49619	0.0682	0.188	0.0209	0.2007
14	5430887.302	3457113.08	115.7797	928.667	-0.3349	1.49595	0.0661	0.188	0.0209	0.2007
15	5430886.997	3457115.58	115.7397	1358.5	0.54642	-1.3592	0.1022	0.167	0.0469	0.2015
16	5430887.14	3457115.59	115.7632	1366.08	0.55522	-1.3622	0.1037	0.166	0.0464	0.2015
17	5430887.026	3457117.29	115.7651	1505.73	0.48773	-1.3819	0.0929	0.174	0.0442	0.2019
18	5430887.183	3457117.16	115.7973	1501.19	0.50124	-1.3835	0.0952	0.173	0.0439	0.2019
19	5430886.269	3457117.96	118.8152	1505.42	0.42262	1.55601	0.083	0.182	0.0238	0.2019
20	5430886.271	3457117.95	119.0997	1505.66	0.42286	1.53711	0.083	0.182	0.0246	0.2019
21	5430887.243	3457115.47	115.7948	1361.24	0.56634	-1.3638	0.1056	0.165	0.0461	0.2015
22	5430887.025	3457117.3	115.0846	1520.55	0.48744	-1.338	0.092	0.172	0.0517	0.2019
23	5430893.141	3457117.72	115.0348	1910.24	0.76857	-1.3835	0.1372	0.142	0.0475	0.2030
24	5430893.138	3457117.72	115.7554	1897.66	0.76857	-1.4207	0.1381	0.143	0.0420	0.2030
25	5430893.029	3457117.61	115.7927	1881.77	0.76847	-1.4215	0.1381	0.143	0.0417	0.2029
26	5430893.78	3457118.48	118.8179	1975.84	0.76511	1.55939	0.1392	0.145	0.0311	0.2032
27	5430893.784	3457118.48	119.1079	1976.4	0.7654	1.54472	0.1392	0.145	0.0315	0.2032

HER ÖLÇÜ GRUBUNDA NOKTALAR (X,Y,Z)

Çizelge Ek-4: Her Ölçü Grubunda Noktalar (X,Y,Z)

NN	Total Station			Fotogrametri			Lazer ile tarama		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	5430887.4317	3457111.1760	115.0904	4.717	-2.931	-11.514	-2.651	-17.01	-1.719
2	5430887.4402	3457111.1784	115.7539	4.714	-2.258	-11.464	-2.66	-17.021	-1.062
3	5430887.5719	3457111.3216	115.7848	4.514	-2.224	-11.497	-2.744	-16.894	-1.065
4	5430886.7954	3457110.4457	118.7899	5.672	0.762	-11.127	-2.237	-17.949	2.005
5	5430886.7932	3457110.4461	119.0790	5.688	1.054	-11.133	-2.239	-17.963	2.278
6	5430893.5605	3457111.6307	115.0393	1.057	-2.69	-16.377	-0.699	-11.229	-1.757
7	5430893.5686	3457111.6292	115.7425	1.058	-1.966	-16.32	-0.706	-11.236	-1.048
8	5430893.4510	3457111.7070	115.7739	1.053	-1.949	-16.158	-0.852	-11.319	-1.035
9	5430894.3056	3457110.9584	118.8294	1.19	1.136	-17.102	0.187	-10.804	2.006
10	5430894.3051	3457110.9626	119.1155	1.223	1.464	-17.092	0.182	-10.802	2.296
11	5430887.3306	3457112.9208	115.7589	3.337	-2.327	-10.435	-4.289	-16.464	-1.065
12	5430887.1830	3457112.9209	115.7543	3.424	-2.338	-10.328	-4.349	-16.643	-1.064
13	5430887.4329	3457113.0295	115.7842	3.167	-2.304	-10.45	-4.399	-16.329	-1.063
14	5430887.3021	3457113.0788	115.7797	3.181	-2.314	-10.321	-4.44	-16.477	-1.051
15	5430886.9971	3457115.5775	115.7397	1.326	-2.452	-8.749	-6.902	-15.768	-1.056
16	5430887.1402	3457115.5864	115.7632	1.22	-2.435	-8.86	-6.855	-15.63	-1.062
17	5430887.0260	3457117.2944	115.7651	-0.15	-2.516	-7.814	-8.496	-15.094	-1.051
18	5430887.1826	3457117.1644	115.7973	-0.119	-2.468	-7.999	-8.325	-14.971	-1.052
19	5430886.2692	3457117.9576	118.8152	-0.316	0.423	-6.659	-9.362	-15.534	1.992
20	5430886.2706	3457117.9520	119.0997	-0.327	0.724	-6.615	-9.373	-15.499	2.288
21	5430887.2431	3457115.4712	115.7948	1.223	-2.413	-9.05	-6.654	-15.559	-1.057
22	5430887.0249	3457117.3016	115.0846	-0.142	-3.167	-7.848	-8.492	-15.101	-1.718
23	5430893.1412	3457117.7219	115.0348	-3.775	-2.938	-12.738	-6.51	-9.268	-1.765
24	5430893.1378	3457117.7185	115.7554	-3.784	-2.225	-12.695	-6.506	-9.283	-1.053
25	5430893.0287	3457117.6082	115.7927	-3.647	-2.192	-12.66	-6.426	-9.413	-1.048
26	5430893.7795	3457118.4803	118.8179	-4.787	0.84	-12.614	-6.951	-8.384	2.016
27	5430893.7836	3457118.4765	119.1079	-4.819	1.143	-12.626	-6.946	-8.385	2.298

MESAFELER ARASI FARKLAR

Çizelge Ek-5.1: Total Station-Lazer

(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2	0.0064	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.0525	0.0447	0	0	0	0	0	0	0	0
4	-0.039	-0.043	-0.061	0	0	0	0	0	0	0
5	-0.025	-0.03	-0.05	0.016	0	0	0	0	0	0
6	0.0441	0.0241	-0.02	-0.03	-0.03	0	0	0	0	0
7	0.0249	0.0243	0.0138	-0.03	-0.02	0.017	0	0	0	0
8	0.0268	0.0306	0.0217	-0.01	-0	-0.02	-0.041	0	0	0
9	-0.031	-0.033	-0.047	-0.07	-0.07	-0.05	-0.057	-0.07	0	0
10	-0.012	-0.01	-0.032	-0.02	-0.02	-0.01	-0.034	-0.04	-0.025	0
11	0.0387	0.025	-0.027	-0.01	-0.03	-0.01	0.005	-0.03	-0.016	0.015

Çizelge Ek-5.2: Total Station - Fotogrametri

(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2	-0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-0.013	-0.009	0	0	0	0	0	0	0	0
4	-0.01	0.0029	0.001	0	0	0	0	0	0	0
5	-0.014	-0.002	-0.004	-0	0	0	0	0	0	0
6	0.0547	0.0386	0.0442	0.029	0.035	0	0	0	0	0
7	0.0183	0.0255	0.0289	0.016	-0	0.028	0	0	0	0
8	0.0314	0.0406	0.0438	0.024	0.006	0.041	0.009	0	0	0
9	0.0387	0.0412	0.0454	0.034	0.007	0.015	0.016	0.002	0	0
10	0.0337	0.0411	0.0456	0.024	-0.01	0.034	0.022	0.009	0.03	0
11	0.0485	0.0468	0.0552	0.046	0.034	0.011	0.02	0.018	-0.019	0.016

Çizelge Ek 5.3: Fotogrametri-Lazer

(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2	-0.018	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-0.065	-0.053	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.0287	0.0459	0.0616	0	0	0	0	0	0	0
5	0.0104	0.0277	0.045	-0.02	0	0	0	0	0	0
6	0.0106	0.0145	0.0639	0.057	0.065	0	0	0	0	0
7	-0.007	0.0012	0.0151	0.046	0.021	0.011	0	0	0	0
8	0.0045	0.01	0.0221	0.036	0.01	0.061	0.05	0	0	0
9	0.0697	0.074	0.0927	0.103	0.075	0.061	0.073	0.071	0	0
10	0.0455	0.0515	0.078	0.044	0.018	0.046	0.057	0.045	0.055	0
11	0.0098	0.0218	0.0824	0.06	0.059	0.017	0.015	0.048	-0.003	9E-04

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : RAMAZAN ALPER KUÇAK
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.05.1987 Bozüyük
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :akucak@cumhuriyet.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	CBS ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı	Yıldız Teknik Üniversitesi & Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü	2010...
Lisans	Harita Mühendisliği Bölümü	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Bozüyük Mustafa Şeker Anadolu Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010	Universal Bilgi Teknolojileri	CBS Uzmanı
2011	Universal Bilgi Teknolojileri	Altyapı Projeleri Satış

2012

Cumhuriyet Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Geomatik Mühendisliği Bölümü

Yöneticisi

Araştırma Görevlisi