İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK MALİYETLİ FOTOGRAMETRİK SİSTEMLERİN KÜÇÜK OBJELERİN 3 BOYUTLU MODELLENMESİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIM OLANAKLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kemal Emre ARPACI

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

MAYIS 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK MALİYETLİ FOTOGRAMETRİK SİSTEMLERİN KÜÇÜK OBJELERİN 3 BOYUTLU MODELLENMESİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIM OLANAKLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kemal Emre ARPACI
501091619

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Zaide DURAN

MAYIS 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091619 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Kemal Emre ARPACI** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"DÜŞÜK MALİYETLİ FOTOGRAMETRİK SİSTEMLERİN KÜÇÜK OBJELERİN 3 BOYUTLU MODELLENMESİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIM OLANAKLARI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Yrd. Doç. Dr. Zaide DURAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Fatma Gönül TOZ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Naci YASTIKLI Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **29 Nisan 2013**
Savunma Tarihi : **23 Mayıs 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği, Yüksek Lisans programı Bitirme Projemi yaparken hiçbir desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Zaide DURAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.
Çalışmamın planlanması, laboratuvar çalışmaları ve sonrasındaki her adımda zaman ayırıp yardım ve desteklerini esirgemeyen Araştırma Görevlisi Yüksek Müh. Özgür AVŞAR ve Yüksek Müh. Umut AYDAR'a çok teşekkür ederim.
Bugüne kadar eğitimimi destekleyen aileme teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Aralık 2012

Kemal Emre ARPACI
Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Düşük Maliyetli Fotogrametrik Sistemlerin Küçük Objelerin Üç Boyutlu Modellenmesi Çalışmalarında Kullanım Olanakları 1
2. FOTOGRAMETRİ **3**
2.1 Fotogrametrinin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi 3
2.1.1 Dijital fotogrametri 3
2.2 Fotogrametrinin Yöntemleri ve Matematiksel Modeli 4
2.2.1 Yersel fotogrametri 4
2.2.2 Fotogrametrinin matematiksel modeli 5
3. DÜŞÜK MALİYETLİ ÖLÇME SİSTEMLERİ **9**
3.1 Amatör Resim Çekme Makineleri 9
3.2 Ticari ve Ücretsiz Yazılımlar 11
3.2.1 Photomodeler ve Photomodeler Scanner 11
3.2.2 Iwitness Pro 12
3.2.3 Arc3d Webservice 14
4. UYGULAMA **15**
4.1 Planlama ve Ön Hazırlık 15
4.2 Deneme Çalışmaları 16
4.3 Resim Çekiminin Planlanması 18
4.4 Kontrol Noktalarının Tasarımı 18
4.5 Resim Çekme Makinesinin Kalibrasyonu 21
4.6 Resim Çekimi 24
4.7 Dengeleme 27
4.8 Değerlendirme 30
4.9 Sonuçların Karşılaştırılması 33
4.9.1 Nokta koordinatlarının jeodezik ölçmelerle karşılaştırılması 33
4.9.2 Oluşturulan üç boyutlu yüzeylerin karşılaştırılması 35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER **39**
KAYNAKLAR **41**
EKLER **43**
ÖZGEÇMİŞ **53**

KISALTMALAR

ASP-C	**:** Advanced Photo System type-C
ASP-H	**:** Advanced Photo System type-H
BTF	**:** Bidirectional Texture Function
DLT	**:** Direct Linear Transformation
DSLR	**:** Digital Single Lens Reflex
EOS	**:** Electro-Optical System
IW	**:** Iwitness
JPEG	**:** Joint Photographic Experts Group
PM	**:** Photomodeler
RÇM	**:** Resim Çekme Makinesi
RMS	**:** Root Mean Square
VISICS	**:** Vision for Industry Communications and Services

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : RÇM özellikleri. 15
Çizelge 4.2 : Resim çekim uzaklığı hesap sonuçları 18
Çizelge 4.3 : Kontrol noktalarının koordinatları. 21
Çizelge 4.4 : Photomodeler dengeleme sonuçları 29
Çizelge 4.5 : Koordinat karşılaştırmasından elde edilen sonuçlar. 34

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Fotogrametrinin matematiksel modeli (Hava Fotogrametrisi). 5
Şekil 2.2 : Fotogrametrinin matematiksel modeli (Yersel Fotogrametri)..... 5
Şekil 3.1 : Amatör RÇM çeşitleri. 9
Şekil 3.2 : Algılayıcı boyutunun görüş alanına etkisi..... 10
Şekil 3.3 : Prior's Hall, Tynemouth Priory Newcastle'da yapılan tarihi eser restorasyon çalışması. 12
Şekil 3.4 : Iwitness yazılımı için tasarlanmış reflektör hedef çeşitleri. 13
Şekil 3.5 : Karşılaştırma amaçlı zeminin lazer tarama ile ölçülmesi..... 13
Şekil 3.6: Arc3d örnek projeler. 14
Şekil 4.1 : Canon EOS 550d gövde. 15
Şekil 4.2 : Canon 28mm f 2.8 lens..... 15
Şekil 4.3 : Photomodeler Scanner yazılımı ile oluşturulan yüzeylerde meydana gelen hata. 17
Şekil 4.4 : "Coded target", nokta ve artı hedefler..... 19
Şekil 4.5 : Kontrol noktalarının ölçümü. 19
Şekil 4.6 : Kontrol noktaları ve dağılımları. 20
Şekil 4.7 : İTÜ Test alanı..... 22
Şekil 4.8 : Kalibrasyon Amaçlı Resim Çekim Planı..... 22
Şekil 4.9 : Kalibrasyon Amaçlı İç Yöneltme..... 23
Şekil 4.10 : Kalibrasyon Amaçlı Dış Yöneltme 23
Şekil 4.11 : Normal RÇM yerleşimi. 24
Şekil 4.12 : Photomodeler Scanner yazılımında kullanılacak resimler için RÇM yerleşimi. 25
Şekil 4.13 : Arc 3d Webservice yazılımında kullanılacak resimler için RÇM yerleşimi. 26
Şekil 4.14 : Lazer tarama işlemi. 26
Şekil 4.15 : Photomodeler yazılımında kontrol noktalarının ölçümü. 27
Şekil 4.16 : Photomodeler yazılımında bağlama noktalarının ölçümü. 28
Şekil 4.17 : Iwitness yazılımında kontrol noktalarının bağlanması. 29
Şekil 4.18 : Photomodeler yazılımında oluşturulan yüzeyler..... 30
Şekil 4.19 : Pictran yazılımında oluşturulan yüzeyler. 31
Şekil 4.20 : Arc3d Webservice tarafından oluşturulan model. 32
Şekil 4.21 : Photomodeler Scanner tarafından oluşturulan model. 32
Şekil 4.22 : Pictran ile lazer tarama karşılaştırma sonucu..... 35
Şekil 4.23 : Photomodeler ile lazer tarama karşılaştırma sonucu..... 36
Şekil 4.24 : Arc3d Webservice ile lazer tarama karşılaştırma sonucu 37
Şekil 4.25 : Photomodeler Scanner ile lazer tarama karşılaştırma sonucu. 37

DÜŞÜK MALİYETLİ FOTOGRAMETRİK SİSTEMLERİN KÜÇÜK OBJELERİN 3 BOYUTLU MODELLENMESİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIM OLANAKLARI

ÖZET

Teknolojinin gelişmesi ve maliyetlerin düşmesi ile birlikte kişisel bilgisayar ve dijital RÇM kullanımı sadece profesyonel iş amaçlı çevrelerde değil amatör kullanıcılar arasında da yaygınlaşmış ve kullanıcıların artmasıyla firmalar özellikle internet ortamında birçok yazılım ve hizmetle insanların üç boyut üzerindeki ilgisinin artmasını sağlamışlardır. Günümüzde oyunlardan filmlere, sanal ortam müzelerinden şehir modellerine kadar birçok eğlence ve hobi araçları üç boyutlu olarak kullanıcılara sunulmaktadır.

Bu ilginin artmasıyla beraber kullanıcıların kendi üç boyutlu modellerini oluşturabildikleri yazılımlar yanında fotogrametrinin kapsamında olan resimlerden gerçek objelerin üç boyutlu modellerinin oluşturulması üzerine birçok yazılım geliştirilmiştir. Bunlar fotogrametri uzmanı olmayı gerektirmeden kolay ve yönlendirici bir ara yüz sayesinde amatör kullanıcılara yönelik üretilmektedirler ve arka planda çalışan algoritmalar ve matematiksel modeller genel olarak kapalıdır. Bu yazılımlar sadece standart bir kişisel bilgisayar ve düşük maliyetli amatör RÇM ile birlikte uyumlu çalışmak üzere tasarlanmışlardır.

Bu çalışmada, düşük maliyetli bu yazılımlar ve amatör RÇM'ler kullanılarak küçük boyutlu objelerin 3 boyutlu olarak modellenmesi ve kullanım olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır. Total station, lazer tarayıcı ve iç matematiği bilinen fotogrametrik yazılımlar gibi profesyonel yöntemlerinde kontrol ve karşılaştırma amaçlı olarak kullanılmışlardır.

Birinci bölümde, çalışmanın amacı ve ulaşılmak istenen sonuçlar açıklanmıştır.

İkinci bölümde, fotogrametrinin tanımı ve teknolojiyle paralel olan gelişim aşamaları incelenerek dayandığı matematiksel temeller açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, amatör RÇM'ler ile farklı yapılardaki algılayıcılardan ve bu araçların fotogrametri alanında kullanılabilmeleri için dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilmiştir. Ardından projede kullanılacak düşük maliyetli ve ücretsiz yazılımlar, bu yazılımların doğrulukları ve performansları ile ilgili daha önceden yapılan projeler sonuçları ile birlikte tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, çalışmanın adımları ve bu adımlardan elde edilen sonuçlar üzerinde durulmuştur. İlk başta çalışma için yapılan hazırlıklar, planlamalar ve seçilen donanımlar ile üzerinde çalışılacak obje ve seçilme sebepleri anlatılmıştır. Daha sonra bu donanımların kalibrasyonu, resim çekim aşamaları ve jeodezik yöntemler kullanılarak yapılan ölçmeler anlatılmıştır. Daha sonra elde edilen verilerin bilgisayar ortamında dengelemeleri ve değerlendirmeleri anlatılarak karşılaştırmaların nasıl yapıldığı ve karşılaştırmaların sonuçları arasındaki sayısal veriler açıklanmıştır.

Son bölümde ise karşılaştırmalar sonucunda elde edilen veriler yorumlanmış, ayrıca projenin sonuçları değerlendirilerek ileride yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

USAGE POSSIBILITIES OF 3D MODELING FOR SMALL OBJECTS BY USING LOW-COST PHOTOGRAMMETRIC SYSTEMS

SUMMARY

With the development in technology and the lowering costs of production, the personal computers and digital cameras become more common not only between professionals who use them for work but amateur users. Companies drew attention to 3 dimensional applications to drew the user's interest. Today many applications and services are in 3 dimensional format from movies to games and virtual museums to city models. With the growing interest, many software applications are available for creating 3 dimensional models from images, which is a subject of photogrammetry, along with the 3 dimensional model creating applications. These software applications are generally designed for amateur users with no photogrammetric experience or knowledge, so they have an user friendly and guiding interfaces but the algorithms and mathematical methods are usually are unknown to the user. They usually support a standard personal computer and a digital amateur camera.

In this paper the usage possibilities of low cost photogrammetric software applications and a digital amateur camera for 3 dimensional modeling of small objects is studied. The geodetic methods using total station and terrestrial laser scanner and a photogrammetric software application of known algorithms are used for control purposes.

In the first section, the aim and the expected results of the project are explained. The aim is to use low cost photogrammetry software and a low cost consumer type amateur digital camera to measure and create a 3 dimensional model of an small object and then measure the same object with professional geodetic methods in order to compare the results. Then we can decide on which areas we can use these low cost software and equipment to measure a small object and create a 3 dimensional model.

In the second section, the definition and the history of the development of photogrammetry, according to developments in technology, and the mathematical basics are explained. The mathematical basics of photogrammetry are given for both terrestrial and aerial photogrammetry.

In the third section the amateur cameras, their sensors and kinds of these sensors are explained with clues of how to use them in photogrammetric projects. Then low cost photogrammetric software applications that are used in the project are introduced with the help of results of similar projects that study the accuracy of these applications.

In the project three low cost amateur photogrammetric software applications and a free internet service were used. They were chosen because they are in the same price range and their user profile is suitable for this study's aim. The first software application is Iwitness Pro, a photogrammetric software application that is created as a part of a crime scene and traffic accident scene analysis project. It has many features like automatic point measurement using colored targets, which makes the

measurements fast and adjustment of the model have better accuracy. The second software application is Photomodeler which is a popular a photogrammetry software application because of its user-friendly interface and easy-to-use tools. It enables users to use CAD like tools and has many automatic steps for measuring control points and adjusting the photos. The application's algorithms are unknown to the user like most of the amateur photogrammetry software applications but it has tips and help notices on every step of the project which makes this application popular among the users that are not photogrammetry specialists. The third software application is Photomodeler Scanner, which is a software that is developed upon standard Photomodeler software. Photomodeler Scanner has the same tools as Photomodeler and a scanner module upon them. The Scanner module can create point clouds from photo couples that are taken in "Normal Condition", that photo planes are parallel to the measurement surfaces. The last software is a free internet service called Arc3d Webservice, in which the photos are uploaded on the service's servers and algorithms automatically creates 3 dimensional models and send the user download link for these .obj formatted 3 dimensional models. For this service the user has to take more photos than a standard photogrammetry software and the photos should have larger overlay.

In the fourth section, the steps and the results of these steps are explained. At first the camera was chosen to be Canon 550d DSLR body because it has 18 million pixel APS-C type sensor, meaning that one pixel's dimensions are 4.3 microns to 4.3 microns and it's a very good resolution in this camera's price range. For the lens to Canon 28mm f 2.8 prime lens was chosen because zoom lenses tend to have weak inner geometric stability and therefore not suitable for photogrammetric studies. And its focal length was found to be suitable after the calculations are made to determine the photo taking distance.

The camera was calibrated by using the test field in The Geomatics Engineering Departmant of İstanbul Technical University. The test field consists of 36 control points distributed in 3 dimensional space and the coordinates of these control points have the accuracy of +/- 1 mm. The 15 photos of the test field were taken from five different points with different angles, and then the calibration of the lens and camera was calculated by using the B and D modules of the Pictran photogrammetric software application. The calculated inner parameters of the lens and the camera was used for all the software applications that were used in the study.

A small propeller of 30 cm radius, which is used in cooling systems, was chosen to be modeled because of its curvy surfaces. By doing this, it was planned to test the performance of amateur systems on curvy and complex surfaces.

To gain the reference data, three methods are chosen to be compared with the data created with low cost photogrammetric systems; a total station, a terrestrial laser scanner and a professional photogrammetry software.

In order to calculate the empiric accuracy we chose Geomax ZTS 603 SR, a total station that can measure without needing a prism reflector, so that control points and check points could be measured geodetically and the coordinates of check points could be compared with the coordinates measured from the low cost photogrammetric software. Secondly, we used Pictran, a professional photogrammetry software application that uses Bundle Block Adjustment method, to measure the same control points and check points with the same photos taken to be used on the amateur low cost photogrammetric software. By doing this, it was

planned to compare the result with professional and expensive photogrammetric software and not only with geodetic measurement methods. And for the last method Leica Scanstation C10, a terrestrial laser scanner, was used to scan and create a point cloud of the propeller. By using this point cloud, it was planned to compare the complex surfaces of the propeller wings with the surfaces created by photogrammetric software and also with the surfaces created by point clouds that are created by photogrammetric methods.

To compare the result two different methods are decided to be used. The first one is to compare the coordinates of the check points gained from geodetic measurements by using the total station and the coordinates of the same control points gained from the 3 dimensional model created by the photogrammetric software. The second method is to compare the differences between the surfaces created by the measurements in the photogrammetric software and point cloud measured by terrestrial laser scanner. The second method was conducted in 3 dimensional production inspection software called Geomagic Qualify.

In the last section, the results of the comparison are commented. For the first approach the mean root square error between the coordinates gained from geodetic measurements and the coordinates gained from Pictran and Photomodeler were calculated to be +/-1 mm. For Iwitness the mean root square error was calculated to be +/-1.2 mm. For the second approach the mean root square error of distances between the surfaces and the point cloud calculated for Pictran is +/-2.4 mm. For Photomodeler it was calculated as +/-3.3 mm and for Arc3d Webservice it was calculated as +/- 4.9 mm. These numbers are the calculations of the entire propeller, when only the surfaces of the wings are calculated; the maximum error always stayed under 1 mm.

These results prove that low cost photogrammetric software and amateur digital cameras can be used for measuring and 3 dimensional modeling of small objects when certain requirements are made. Some of these requirements are using a prime lens or locking the focus ring, made the amateur cameras to have stronger inner stability and using coded targets helped eliminate human errors when measuring control or detail points.

According to the results of this study, it was decided that low cost amateur photogrammetric systems could be used for modeling small objects like historical artifacts or art pieces for virtual museums or modeling inner spaces for real-estate buyers. These methods can be very useful in situations needing fast data gathering situations like crime scenes or traffic accident scenes that does not need high accuracy. Many other objects can be modeled to be used in 3 dimensional games or video editing projects.

1. GİRİŞ

1.1 Düşük Maliyetli Fotogrametrik Sistemlerin Küçük Objelerin Üç Boyutlu Modellenmesi Çalışmalarında Kullanım Olanakları

Teknolojinin gelişmesi ve maliyetlerin düşmesi ile birlikte yüksek kalitedeki bilgisayarlar ve dijital RÇM'ler birer lüks olmaktan çıkıp günlük hayatın birer parçası haline gelmişlerdir. Dijital algılayıcılar ilk dönemlerindeki sorunlarından kurtulup boyut ve çözünürlük olarak amatör RÇM'lerde kullanılan fotokimyasal filmlerin kalitesine ulaşmış ve hatta bu kalitenin üstüne çıkmaya başlamışlardır.

Bu gelişmelerle birlikte 3 boyut kavramı oyunlar, filmler ve internet ortamındaki interaktif sitelerde yaygınlaşmış ayrıca bazı firmalar, amatör kullanıcıların da bu işlemlere dâhil edilebilmesi için olanak sağlamışlardır. Kullanım alanları ve amatör kullanıcılardan gelen talepler arttıkça, üç boyutla ilgili yazılım sayısı artmış ve buna bağlı olarak da tasarımın dışında fotogrametri biliminin konusu olan resimlerden cisimlerin üç boyutlu modellerini oluşturma üzerine gidilmiştir. Özellikle Google ve benzeri firmalar amatör kullanıcıları, var olan cisimlerin modelleyerek 3 boyutlu bir arşiv oluşturmak için desteklemekte ve kolaylıklar sağlayarak yönlendirmektedirler.

Bu çalışmada bu teknolojik gelişmelerin birer ürünü olan amatör yazılımlar ve bir adet amatör RÇM ile küçük objelerin modellenme olanakları üzerinde durulmuştur. Aynı obje jeodezik yöntemler, lazer tarama ve profesyonel fotogrametri yazılımları ile değerlendirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Sonuç olarak ta elde edilen ürünlerin kullanım olanaklar üzerinde durulmuştur.

2. FOTOGRAMETRİ

2.1 Fotogrametrinin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Fotogrametri Sözcüğü eski Yunan dilinde “photos” (ışık), “grama” (çizim) ve “metron” (ölçme) sözcüklerinin bir araya gelmesinden oluşur, resimler yardımıyla ölçme anlamına gelmektedir. Fotogrametri genel olarak, cisimler ve oluşturdukları çevreden yayılan ışınların şekillendirdiği fotografik görüntülerin ve yaydıkları elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonunda bu cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji ve bilim dalıdır [1].

Fotogrametri, kullanılan donanım ve teknolojiye göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Kullanılan donanım teknolojinin gelişmesine paralel olarak gelişmiş ve buna bağlı olarak da yeni resim çekme ve saklama yöntemleri keşfedilmiştir. Fotogrametride ilk olarak belli geometrik kurallara göre çekilen resimlerin kullanıldığı plançete fotogrametrisi yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra fotokimyasal filmler ve mekanik/optik değerlendirme aletlerinin kullanıldığı analog fotogrametri yöntemi yaygınlaşmıştır. Analog yöntemde kullanılan değerlendirme aletleri ve bilgisayarlar beraber kullanılarak analitik fotogrametri dönemine girilmiştir. Günümüzde ise artık resim çekim, saklama ve değerlendirme adımları en yaygın olarak dijital ortamlarda yapılmaktadır.

2.1.1 Dijital fotogrametri

Fotogrametrik olarak tüm veri ve sonuçların dijital ortamda olduğu bilim dalıdır. Dijital fotogrametride tüm işlem adımları bilgisayar sisteminde yapılmaktadır. Analog yöntemle elde edilen resimler tarayıcılarla taranarak dijital ortama aktarılır. Ayrıca dijital resim çekme makineleri ile resim çekimi yapıldığında resim çekme işlemi de bilgisayar ortamında yapılmaktadır. Dijital fotogrametrinin günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlamasından sonra dijital görüntülerin yorumlanması ve işlenmesi ile ilgili olarak dijital fotogrametrinin birçok uygulama alanı ortaya çıkmıştır [2].

2.2 Fotogrametrinin Yöntemleri ve Matematiksel Modeli

Temelde fotogrametri resim çekme noktasının konumuna göre,

1-Hava fotogrametrisi (Uzak mesafe fotogrametrisi),

2- Yersel Fotogrametri (Yakın mesafe fotogrametrisi) olmak üzere ikiye ayrılır.

Hava fotogrametrisi başlıca topoğrafik veya tematik ve sayısal arazi modelleri elde etmek için kullanılır. Yersel fotogrametri ise mimarlık, harita ve inşaat mühendisliği (yapıların mevcut konumlarının kontrolü, deformasyon ve hasar tespiti amacıyla), arkeolojik amaçlı çalışmalarda, cerrahide özellikle plastik cerrahide ve trafik kazaları veya suçların belgelenmesi gibi polisiye çalışmalarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

2.2.1 Yersel fotogrametri

Yersel Fotogrametri yer yüzeyindeki sabit durak noktalarından çekilen ölçme resimlerini kullanır. Yersel Fotogrametride durak noktasının uzay koordinatları ile çekim ekseninin doğrultusu bilinen jeodezik yöntemler ile istenilen doğrulukta belirtilebilir. Yersel Fotogrametride yeryüzü resim ölçmesi o anda ki durak noktasının görüş alanına kısıtlanmıştır [1].

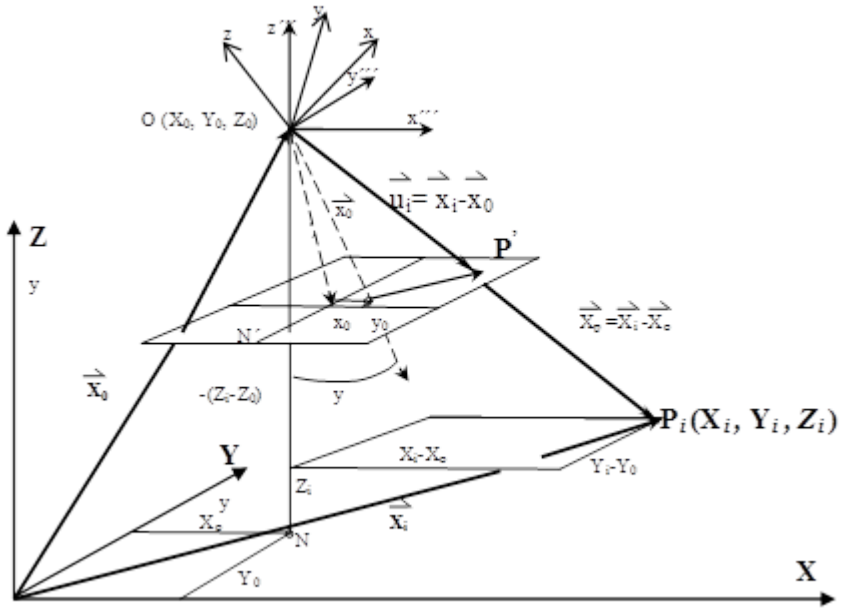
Bu yöntem için tasarlanmış RÇM'lerin yakın alanda en önemli uygulama alanları:

- Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği
- Tarihi eserlerin bakımı ve koruması
- Arkeoloji
- Biofotogrametri
- Adli işlerde fotogrametri
- Endüstri fotogrametrisi
- Trafik geçen yollar ve caddeler boyunca resim çekme
- Araçların bilgisayar destekli navigasyonu
- Bilgisayar destekli tıbbi operasyonlar[3].

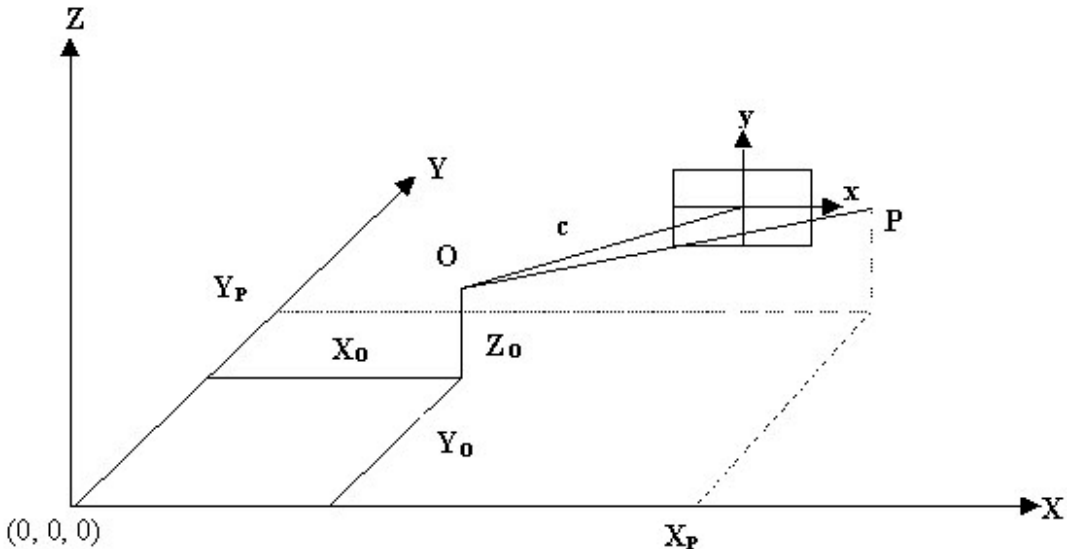
2.2.2 Fotogrametrinin matematiksel modeli

"Matematik model, cisim uzay koordinat sisteminde noktaların fiziksel oluşum esaslarının matematiksel ifadelerle gösterimidir" (Şekil 2.1) [2].

"Cisim uzay koordinat sistemi, noktaların X, Y, Z cisim koordinatlarını, resim koordinat sistemi x, y, z resim koordinatlarını gösteren sağ el Kartezyen koordinat sistemidir" (Şekil 2.2) [2].



Şekil 2.1 : Fotogrametrinin Matematiksel Modeli (Hava Fotogrametrisi).



Şekil 2.2 : Fotogrametrinin Matematiksel Modeli (Yersel Fotogrametri).

Kolinearite koşuluna göre, cisim uzayındaki noktaları gösteren ışınlar resim çekme makinesi iz düşüm merkezinden gerçek resim düzlemine bir doğru boyunca iz

düşürülür. Bu şekilde oluşan görüntüler, yeniden inşa probleminin çözümünü iki adımda gerçekleştirir [2]. İlk adım, resim çekme makinesi iç yöneltme parametrelerinin (ana nokta uzunluğu ve ana nokta koordinatları) belirlenmesidir [2]. İkinci adım ise dış yöneltme adımıdır. Burada Xo,Yo,Zo koordinatlarına sahip istasyon noktasından ω, φ, χ dönüklük değerleri ile çekilen resimlerin cisim uzay koordinat sistemindeki koordinatlarının hesaplanması amaçlanmıştır [3].

Resim ve cisim uzay koordinat sistemleri arasındaki açısal ilişkiler, koordinat eksenleri arası doğrultu kosinüslerinin oluşturduğu 3x3 ortogonal dönüşüm matrisi ile belirlenir.

Resim koordinat sisteminde P noktasının konumunu belirleyen resim vektörü;

$$P=\begin{vmatrix} Xp-Xo \\ Yp-Yo \\ 0-c \end{vmatrix} \qquad \textbf{(2.1)}$$

olur.

Burada X_0, Y_0 ana nokta koordinatları, c ise kalibre edilmiş odak uzaklığıdır. Resim çekme makinesi sonsuza odaklanmadıkça ana nokta uzaklığı, odak uzaklığına eşit değildir. Bu durumda ana nokta uzunluk değeri, odak uzaklığından Δf kadar sapma değerine sahiptir.

$$c = f + \Delta f \qquad \textbf{(2.2)}$$

Cisim uzay koordinat sisteminde P noktasının konum vektörü,

$$P=\begin{vmatrix} Xp-Xo \\ Yp-Yo \\ Zp-Zo \end{vmatrix} \qquad \textbf{(2.3)}$$

olur.

Kolinearite eşitliğine göre, p resim ve P cisim vektörleri arasındaki matematiksel bağıntı,

$$P = k.D.P \qquad \textbf{(2.4)}$$

$$\begin{vmatrix} Xp - Xo \\ Yp - Yo \\ 0 - c \end{vmatrix} = k.D. \begin{vmatrix} Xp - Xo \\ Yp - Yo \\ Zp - Zo \end{vmatrix} \quad \textbf{(2.5)}$$

şeklinde ifade edilir.

Resim koordinatlarının bilinen değerler olması durumunda cisim koordinatları,

$$k = \frac{1}{k} .D^T. p \quad \textbf{(2.6)}$$

$$\begin{vmatrix} Xp - Xo \\ Yp - Yo \\ 0 - c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ D^T \\ k \end{vmatrix} . \begin{vmatrix} Xp - Xo \\ Yp - Yo \\ Zp - Zo \end{vmatrix} \quad \textbf{(2.7)}$$

olarak elde edilir.

k ölçek faktörünün kolinearite eşitliklerinde her bir ışın için ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda oluşan matematiksel ifadelerden k ölçek faktörü yok edilirse;

$$f_1 = x - x_0 + c \; \frac{a_{11}(X-X_0)+a_{12}(Y-Y_0)+a_{13}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0)+a_{32}(Y-Y_0)+a_{33}(Z-Z_0)} \quad \textbf{(2.8)}$$

$$f_2 = y - y_0 + c \; \frac{a_{21}(X-X_0)+a_{22}(Y-Y_0)+a_{23}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0)+a_{32}(Y-Y_0)+a_{33}(Z-Z_0)} \quad \textbf{(2.9)}$$

matematiksel bağıntıları ifade edilir [2].

3. DÜŞÜK MALİYETLİ ÖLÇME SİSTEMLERİ

3.1 Amatör Resim Çekme Makineleri

RÇM'ler fotogrametri açısından başlıca

-Metrik ve Stereometrik RÇM'ler

-Yarı-metrik RÇM'ler

-Metrik olmayan(Amatör) RÇM'ler

olmak üzere üçe ayrılırlar.

Analog metrik RÇM'ler içerisinde resim koordinat sistemini tanımlayacak orta nokta bulucuları bulundurmadıkları için fotogrametri alanında kullanılmaları için DLT gibi resim koordinat sistemi kullanmayan analitik yöntemler gerekmektedir [4]. Dijital RÇM'lerde ise resim koordinat sistemi pikseller üzerinde tanımlanabilmektedir. Bu sayede dijital amatör RÇM'leri fotogrametride belli şartlara göre kullanılabilmektedir.

Şekil 3.1 : Amatör RÇM çeşitleri.

Teknolojinin ilerlemesi ve maliyetlerin düşmesi sonucu kalite algılayıcılar, sadece fotogrametrik anlamda değil fotoğrafçılık açısından da amatör kullanıcıya yönelik üretilen düşük maliyetli RÇM'ler içerisinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede amatör RÇM'ler düşük maliyetli fotogrametrik sistemlerde önemli bir rol almıştır. Amatör RÇM'lerde kendi içinde çalışma prensiplerine göre kompakt, yarı-SLR ve SLR olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 3.1). Profesyonel giriş seviyesi

olarak adlandırılan DSLR RÇM'ler çok düşük maliyetlerle hem yüksek çözünürlüklü hem de kaliteli görüntü elde edilmesi sağlayabilmektedirler. Günümüzde piksel boyutu 2µ ile 5µ arasında olan algılayıcılar DSLR RÇM'lerde kullanılmaktadır.

Her ne kadar amatör RÇM'lerin kaliteleri iyileştirilse de fotogrametrik amaçla üretilmedikleri için makine seçimi ve kullanılması sırasında dikkat edilmesi gereken faktörler ve alınması gereken önlemler bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi geometrik çözünürlüktür. Makine seçiminde, piksel boyutu kadar algılayıcı büyüklüğü ve odak uzaklığı da önemlidir. Algılayıcı büyüklüğü ve odak uzaklığı resim çekim uzaklığını doğrudan etkiledikleri için bir pikselin denk geldiği gerçek uzunluk üzerindeki etkisi de hesaplanmalıdır. DSLR model amatör RÇM'ler diğer türlere göre daha büyük boyuttaki "Full Frame", ASP-H ve ASP-C boyutlarındaki algılayıcıları kullanırlar.

"Full Frame" olarak adlandırılan ve 36mm*24mm boyutlarındaki algılayıcılar amatör analog RÇM'lerde en yaygın kullanılan 35 milimetre film ile yaklaşık aynı boyuttadır. İlk dönem DSLR RÇM'lerde ise ASP-H ve ASP-C boyutundaki algılayıcılar kullanılmıştır. Bu algılayıcıların boyutları sırasıyla yaklaşık 29mm*19mm ve 22mm*15mmdir. Bu boyut farkı yüzünden aynı odak uzaklığında bu algılayıcılar "Full Frame" bir algılayıcıya göre 1.3 ve 1.6 katı uzunluktaki odak uzaklığı etkisi yaparlar. Bu katsayılara odak çarpanı denilmektedir (Şekil 3.2) [5].

Şekil 3.2 : Algılayıcı boyutunun görüş alanına etkisi.

DSLR RÇM'lerde lensler değiştirilebilmektedir. Bu sayede çalışılacak projede gerekli odak uzaklığına göre istenilen lens ve algılayıcı kombinasyonunu sağlamak mümkündür. Birçok lens türü olmakla beraber fotogrametrik bir çalışma için lens

seçilirken sabit odaklı bir lens seçilmesi gerekmektedir. Bunun sebebi odak uzaklığının dışarıdan değiştirilebilen aksamlarının olması RÇM iç stabilitesinin güvensiz olmasına sebep olabilmektedir.

3.2 Ticari ve Ücretsiz Yazılımlar

3.2.1 Photomodeler ve Photomodeler Scanner

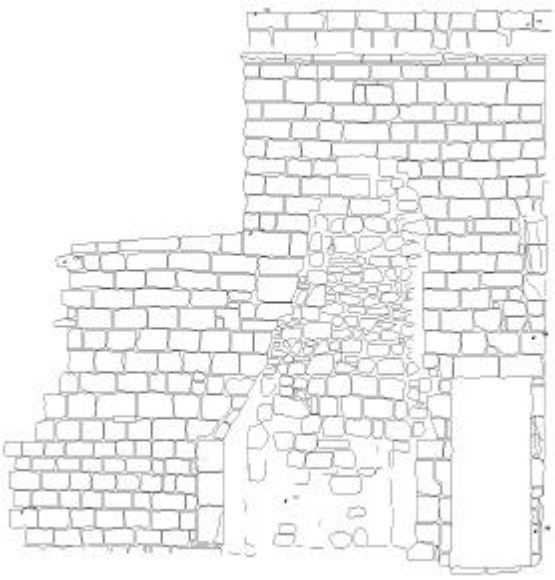
Photomodeler, Eos Systems Inc. tarafından geliştirilmiş 3 boyutlu bir fotogrametri yazılımıdır. Eos Systems Inc. 1990 yılında Vencouver, Kanada'da kurulmuş, 3 boyutlu modelleme ve yersel fotogrametri teknolojilerini bir araya getiren yazılımlar üzerinde çalışan bir yazılım geliştirme firmasıdır [6].

Photomodeler yazılımının geliştirilme aşamasında kullanıcının kolay bir şekilde anlayabileceği ve kullanabileceği bir ara yüz tasarlayarak bu yazılımın kullanışlı araçlarla birçok alanda kolayca kullanılabilecek bir yazılım olması amaçlanmıştır. Photomodeler başlıca kaza ve suç mahalli modellemeleri, mimari ve restorasyon, arkeoloji, jeoloji ve mühendislik ölçmelerinde kullanılmaktadır. Scanner modülü ile birlikte medikal ve madencilik gibi alanlarda kullanımı artmıştır [6].

Photomodeler fotogrametrik ve 3 boyutlu modelleme açısından birçok yöntemi desteklemekte ve pratik çözümler sunmaktadır. Fotogrametrik olarak kontrol noktası ölçmesi, piksel altı hassasiyette "coded target" hedef ve küre hedef ölçmesi, otomatik referanslama, test ağı veya sahada RÇM kalibrasyonu, nokta ölçme hata gösterimleri ve raporlama, RÇM açıları ve noktaların ışın açılarının raporlanması gibi araçlar bulunmaktadır. Scanner modülü ile birlikte otomatik nokta bulutu oluşturma, üçgenleme ve mesh oluşturma gibi özellikler eklenmiştir. 3 boyutlu gösterim ekranında ölçmelerden oluşan noktalar üzerinde objeler ve yüzeyler oluşturma, yüzeylere doku ve resim kaplama, yükselti eğrileri oluşturma gibi araçlar sunmaktadır [6].

Photomodeler ticari bir yazılım olduğu için özellikle resimlerin yöneltme yöntemi olarak hangi matematiksel yöntemi ve algoritmayı kullandığı bilinmemektedir. Fakat akademik olarak yapılan araştırmalar ile hangi koşullarda hangi doğrulukları sağladığı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Klaus Hanke tarafından Innsburg Üniversitesinde yapılan, en yüksek uzunluğun 12 metre olduğu bir projede uzaklık karşılaştırmasında 1:7000, koordinat karşılaştırmasında ise 1:8000 ölçekle

doğruluklara ulaşılmıştır. Tam kalibrasyonlu analog bir RÇM ile X, Y ve Z eksenlerinde karesel ortalama hata 5.3 mm ve altında, metrik bir RÇM'de ise 2.5 mm ve altında hesaplanmıştır [7]. İngiltere Newcastle Üniversitesi'nde yapılan 1:50 ölçekli tarihi eser restorasyonu projesinde Photomodeler yazılımı ile elde edilen değerlerin standart hataları 11 milimetre ve altında bulunmuştur. Bu değerler İngiliz Tarihi Eserlerin Belgelenmesi Yönetmeliğine göre 9.0 milimetre olan maksimum hata sınırını çok az bir farkla geçmiştir (Şekil 3.3) [8].



Şekil 3.3 : Prior's Hall, Tynemouth Priory Newcastle'da yapılan tarihi eser restorasyon çalışması.

3.2.2 Iwitness Pro

Iwitness, Avusturalya kökenli Photometrix yazılım firması tarafından kaza ve suç mahalli inceleme ve analiz projesinin bir parçası olarak geliştirilmiş bir fotogrametri yazılımıdır. Iwitness Pro bu yazılımın otomatik nokta ölçme ve RÇM kalibrasyonu modüllelerinin eklenmiş halidir. Firma yaygın başarı kazanmış olan tamamen otomatik ölçme ve RÇM kalibrasyonu yazılımı olan Australis ve diğer yazılımları ile 3 boyutlu ölçme teknolojileri üzerinde çalışmaktadır. Photomodeler gibi Iwitness Pro yazılımı da amatör RÇM'leri desteklemekte ve sadece bir kişisel bilgisayara ile 3 boyutlu ölçmeleri fotogrametri uzmanı olmayan kişiler tarafından da rahatça kullanılmasını amaçlamaktadır [9].

Yazılım başlıca kaza ve suç mahalli incelemeleri, mimarlık, arkeoloji ve sanal ortam hazırlama projeleri gibi kullanım amaçları bulunmaktadır. Özellikle kaza mahallinde

renkli reflektör hedefler sayesinde “tek tuş” yöntemiyle yüksek doğrulukta ölçmeler hedeflemektedir. Yazılım ölçme konusunda amatör kişilerin kullanmasını amaçladığı için kontrol noktası ölçmesi gibi profesyonel yöntemleri desteklemekle beraber ölçek şeritleri, reflektör hedefler, köşeleri otomatik ölçmek için özel hedefler gibi birçok yardımcı aracı da desteklemektedir (Şekil 3.4). Bunların amacı kullanıcıyı manuel değerlendirmelerden ve bunun kaynak oluşturduğu hatalardan uzak tutmaktır [10].

Şekil 3.4 : Iwitness yazılımı için tasarlanmış reflektör hedef çeşitleri.

2008 yılında Helsinki Teknoloji Üniversitesi ve Finlandiya Jeodezi Enstitüsü’nün ortak çalışmasında Iwitness yazılımı lazer tarama ve takeometrik ölçmelerle karşılaştırılmış ve takeometrik yöntemle farkının ortalama 0.3 milimetre ve maksimum farkın 0.9 milimetre olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.5) [11].

Şekil 3.5 : Karşılaştırma amaçlı zeminin lazer tarama ile ölçülmesi.

3.2.3 Arc3d Webservice

Arc3d Webservice Hollanda Leuven Üniversitesinin VISICS bölümü tarafından geliştirilen ve yürütülen internet tabanlı bir hizmet servisidir. Akademik amaçlar için ücretsiz bir şekilde yüklenen resimlerin kendi sunucularında otomatik eşlenmesi, modelin oluşturularak kullanıcıya geri gönderilmesi hizmetini vermektedirler. Obje etrafında düşük açılarla farklı resim çekim noktalarında sıralı resimlerin çekilmesi ve bu resimlerin netlik ayarı yapılmış ve resimlerin modellenecek olan cismin merkezine yönlendirilmiş olması gerekmektedir. Çekilen resimler sunucularda benzer noktalar kullanılarak eşlenmekte ve modeller oluşturulmaktadır. Son ürün kullanıcıya .obj formatında veya istenirse derinlik haritalarını kapsayan bir şekilde geri gönderilmektedir (Şekil 3.6) [12].

Şekil 3.6 : Arc3d örnek projeler.

4. UYGULAMA

4.1 Planlama ve Ön Hazırlık

Proje için obje olarak 25 cm çapında, soğutma sistemleri için kullanılan, motorlu bir pervane seçilmiştir. Bu objenin seçilme sebebi nokta bulutu oluşturan yazılımların performanslarının eğimli yüzeyler üzerinde de test edilebilmesinin amaçlanmasıdır. RÇM olarak da Canon EOS 550d DSLR gövde ve sabit odaklı Canon 28mm f2.8 lens seçilmiştir (Şekil 4.1) (Şekil 4.2). Bu RÇM'nin seçilme sebebi piyasadaki daha yüksek fiyatlı RÇM'lere göre daha küçük piksel boyutuna sahip olmasıdır (Çizelge 4.1). Sabit odaklı lens ise lens içyapısının stabilitesi ve odak uzaklığının da algılayıcı boyutuyla beraber resim çekim uzaklığı ve resimlerin kapladığı alanın proje hesaplarına uygun olması sebebiyle seçilmiştir. Obje etrafında kontrol noktalarının daha rahat ölçülebilmesi ve lazer tarama cihazının kullanılabilmesi için pervanenin düşey olarak asılabileceği ve kontrol noktaları yerleştirilebileceği tahta bir düzenek tasarlanmıştır.

Şekil 4.1 : Canon EOS 550d gövde

Şekil 4.2 : Canon 28mm f2.8 lens

Çizelge 4.1 : RÇM özellikleri.

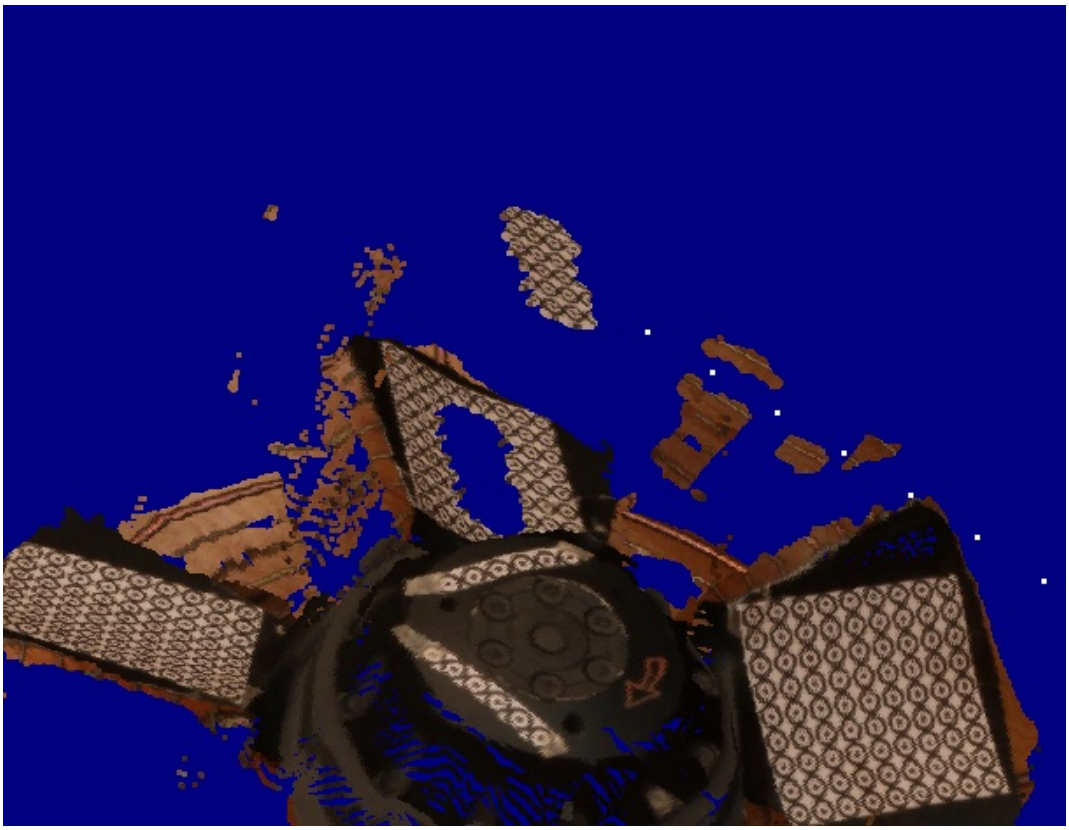
Algılayıcı Boyutu	22.3 * 14.9 mm
Piksel Boyutu	4.3 µm
Piksel Sayısı	18.0 milyon
Resim boyutu	5184 * 3456

4.2 Deneme Çalışmaları

Laboratuvar ortamında çalışmadan önce, yazılımların teorik olarak gerektirdiği resim çekim şartlarının uygulamada ne gibi sonuçlar meydana getirdiğini gözlemlemek için deneme resim çekimleri ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu denemelerin diğer bir sebebi de yazılımların kullandığı araçların nasıl çalıştıkları hakkında deneyim sahibi olmaktır. Bu çalışmalar sırasında sadece bağlama noktaları ve bilinen uzaklıklar kullanılarak yöneltmeler gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi deneme çalışmaları sırasında kontrol noktası koordinatları ölçme imkânının olmamasıdır. İlk yapılan denemelerde cisim yere paralel olarak yerleştirilmiş ve sabit yükseklikli bir üçayak kullanılarak cismin etrafında çember çizecek şekilde farklı açılarla aynı uzaklıktan resim çekimi yapılmıştır. Daha sonra karşılaştırma sırasında kullanılması için profesyonel Leica Scanstation C10 model lazer tarayıcı cihaz kullanılmasına karar verilmiştir. Lazer tarayıcının kullanım sınırlamalarından dolayı objenin yere dik bir düzleme yerleştirilmesi gerekmiştir ve bu koşula göre deneme resim çekimleri tekrarlanmıştır. Düşey düzlemde olması sebebi ile resim çekim planında değişiklikler yapılmıştır ve deneme çalışmaları tekrarlanmıştır. Denemeler sırasında hangi açılardan ne sayıda resim çekilerek uygun sonuçlara ulaşılabildiği araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda dikkat edilmesi gereken ve en çok sorun çıkan hususların genel olarak otomatik nokta ölçme ve nokta bulutu oluşturan modüllerine ait olduğu gözlemlenmiştir. ‘Coded target’ hedefler ve nokta hedeflerin sağlıklı bir şekilde ölçülebilmesi için netlik ve ışık ayarının doğru olması gerekmektedir. Işık ayarı sebebiyle oluşan otomatik ölçme sorunları yazılımlarında desteklediği kontrast ayar araçları ile çözebilmesine karşın resim çekimi sırasında oluşan netlik hataları değerlendirme aşamasında çözülememektedir. Lens netleme çemberi kalibrasyon öncesinde sabitlendiği için resim çekim mesafesinin lensin netliğinin ayarlandığı uzaklıktan yapılmasına özen gösterilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Resim çiftlerinden veya serilerinden otomatik yöntemlerle nokta bulutu oluşturan yazılımlar, el ile ölçme yöntemi ile dengeleme ve değerlendirme işlemlerinin gerçekleştirildiği yazılımlarına göre resim çekim aşamasında daha fazla resim çekim şartları gerektirmektedir. Resimlerin netliği ve açıları diğer durumlara göre daha çok önem kazanmaktadır.

Photomodeler Scanner yazılımı normal koşulda çekilen bir adet resim çiftinden otomatik olarak nokta bulutu oluşturmaktadır. Photomodeler Scanner yazılımının eğitim videoları ve örnek projeler incelenmiştir. Bunlara bağlı olarak netlik ayarlandıktan sonra lens netleme çemberi sabitlenmiş ve kalibrasyon bu sabit odak uzaklığı ile gerçekleştirilmiştir. Netlik dışında resimlerin arasındaki açı olabildiğince 0°'ye yakın olması sağlanmıştır. İlk yapılan değerlendirmelerde paller üzerinde oluşması gereken noktalarda kaba hatalar meydana gelmiştir. Bazı yüzeyler olması gerektiği gibi fakat modelden kopuk olarak daha önde oluşmuşlardır (Şekil 4.3). Resim çekimleri koşullar üstünde durularak tekrarlanmış ve sorunun resim çekim bazı ile ilgili olduğu anlaşılmıştır. Baz resim çekim uzaklığı oranı 0.1 veya 0.4 yerine 0.2 olacak şekilde tekrar resim çekimi yapıldığı zaman bu sorun ortadan kalkmıştır.



Şekil 4.3: Photomodeler Scanner yazılımı ile oluşturulan yüzeylerde meydana gelen hata.

Arc 3d Webservice için yapılan denemelerde obje yatay düzlemde iken sabit uzaklıktan obje etrafında sabit açı aralığı ile resim çekimi yapılabilmiştir. Fakat obje düşey düzlemde iken bu resim çekim planı, üçayak ayarlarının sürekli değişmesi gerektiğinden ve resimler arasındaki açı ve uzaklığın doğru ayarlanamaması

yüzünden uygulanamamıştır. Bunun yerine obje karşısında şerit şeklinde 2 farklı yükseklikten resim çekimi yapılarak kaba hatalar önlenmiştir.

4.3 Resim Çekiminin Planlanması

RÇM özellikleri, obje boyutları ve objenin yerleştirileceği düzenek göz önüne alınarak Denklem(4.1) ile resim çekim uzaklığı yaklaşık 2 metre olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

$$c*d = l*L \tag{4.1}$$

c: Odak Uzaklığı

d: Resim Çekim Uzaklığı

l: Algılayıcı Üzerindeki Uzunluk

L: Gerçek Uzunluk

Çizelge 4.2 : Resim çekim uzaklığı hesap sonuçları

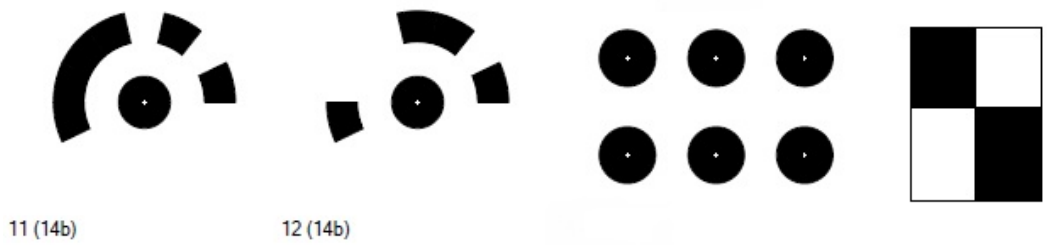
Odak (m)	Uzaklık (m)	Gerçek uzunluk (m)	1 piksele denk gerçek uz. (mm)
0,028	2,0	1,59	0,3
0,028	2,0	1,06	0,3

Birden fazla yazılım ve yazılımlara bağlı modüller kullanılacağı için her yazılım için farklı şekillerde resim çekimi yapılması gerekmiştir. Bu koşullar yazılımların eğitim videoları ve kullanma kılavuzlarından alınmış ve deneme çalışmaları sırasında uygulanarak denenmişlerdir. Pictran, Photomodeler ve Iwitness yazılımları için objeyi yaklaşık 50° ile 70° açı ile görecek şekilde 6 resim, Photomodeler Scanner modülü için objenin modellenecek yüzeyi karşısından normal durumda 2 resim ile dengeleme geometrisinin sağlamlaştırılması için 60° açı ile 3. resim, Arc3d Webservice için ise obje yüzeyi karşısında 2 metre uzaklığı koruyarak 10° aralıklarla farklı 2 yükseklikten resim çekimi yapılmıştır.

4.4 Kontrol noktalarının tasarımı

Kontrol noktası olarak Photomodeler yazılımının içinde bulunan “Create Coded Targets” menüsü kullanılarak Photomodeler yazılımı tarafından otomatik olarak taranıp resim üzerinde otomatik olarak ölçülebilen ve eşlenilen “coded target”

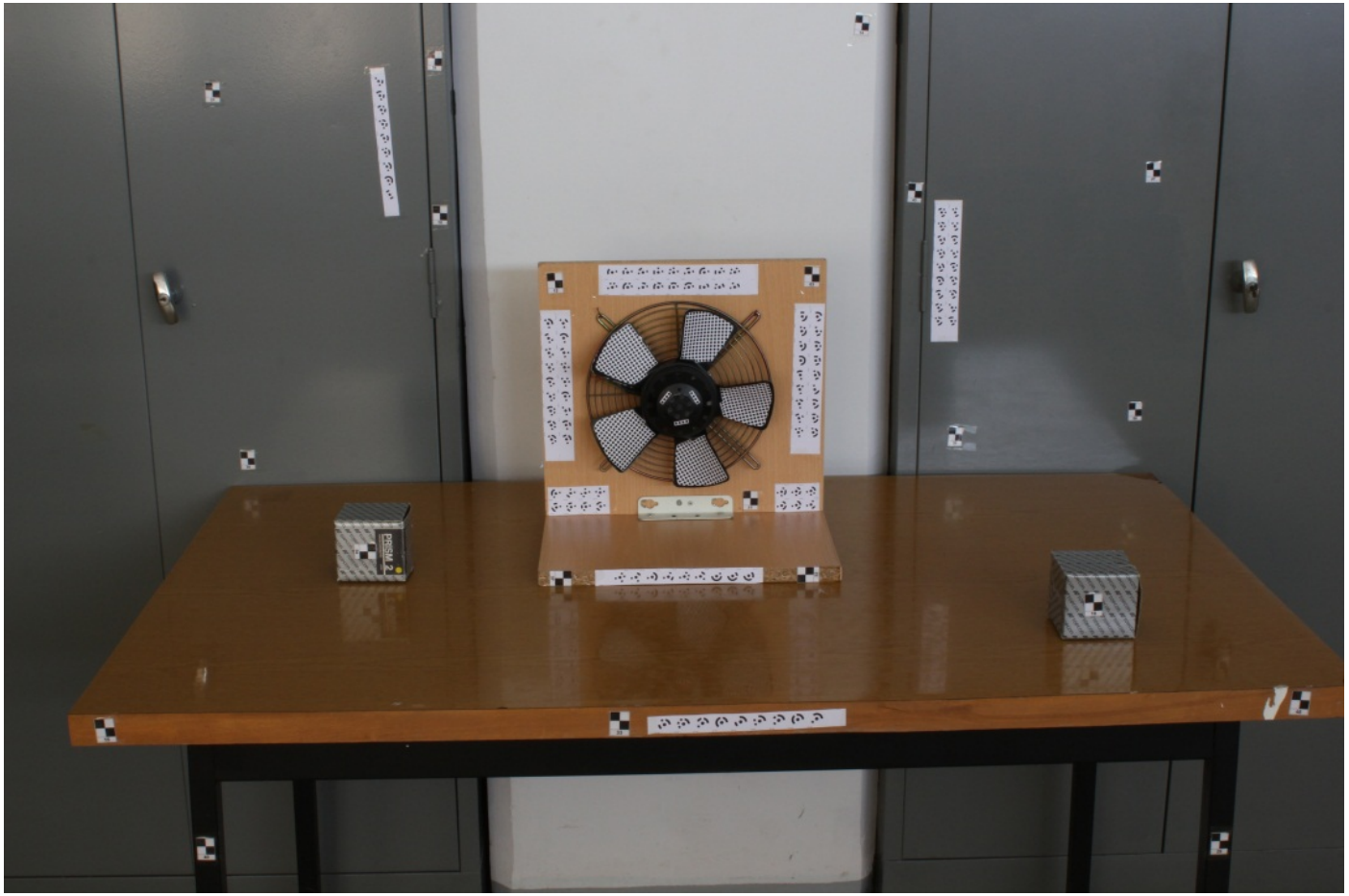
hedefler üretilmiştir. Bu hedeflerin büyüklüğü yazılım tarafından RÇM verileri ve çekim uzaklığı kullanılarak belirlenmiştir. Bunun dışında pervanenin palleri üzerine yapıştırılmak üzere nokta şeklinde hedefler hazırlanmıştır. Bu sayede hem Photomodeler hem de Iwitness yazılımları tarafından taranıp ölçülebilen hedeflerle pallerin eğiminin ölçülmesi hem de Photomodeler Scanner yazılımının nokta bulutu üretirken sabit dokulu yüzeylerde yaptığı hataları engelleme amaçlanmıştır. Bunların dışında koordinatları jeodezik yöntemlerle ölçülmek üzere kare şeklinde kontrol noktaları hazırlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : "Coded target", nokta ve artı hedefler.

Kontrol noktalarının ölçülmesi için lokal bir koordinat sistemi belirlenmiştir. Bunun için Geomax ZTS 603 SR model reflektörsüz ölçüm yapabilen total station kullanılmıştır (Şekil 4.5). Kontrol noktaları ve "coded target" hedefler 3 boyutlu uzayda homojen olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.6). Nokta hedefler ise sadece obje üzerine yapıştırılmıştır. 20 adet artı hedef şeklinde kontrol noktası ve 14 adet obje üzerindeki nokta hedef tek seri olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.3). Kontrol noktalarından 13 tanesi dengelemede kullanılmak için diğer noktalar ise proje doğruluğunu kontrol için ölçülmüştür.

Şekil 4.5 : Kontrol noktalarının ölçümü.



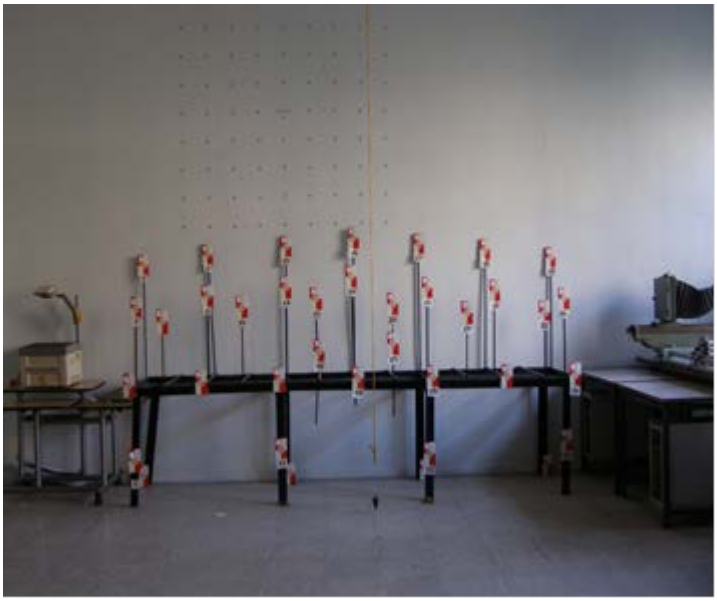
Şekil 4.6 : Kontrol noktaları ve dağılımlar

Çizelge 4.3 : Kontrol noktalarının koordinatları.

NOKTA NO	X	Y	Z
15	995.017	1000.063	1000.623
21	994.214	1000.045	1001.230
30	994.217	1000.058	1000.687
40	994.918	1000.130	1000.426
31	994.211	1000.361	1001.269
18	994.212	1000.360	1001.049
12	994.443	1000.531	1000.990
37	994.654	1000.539	1000.650
11	994.439	1000.790	1000.683
3	994.448	1000.869	1000.995
32	994.658	1000.843	1000.651
33	995.022	1000.607	1000.625
34	994.638	1000.294	1000.684
16	994.875	1001.149	1000.690
25	994.930	1001.304	1000.408
45	995.024	1001.341	1000.630
43	994.218	1001.044	1001.075
39	994.219	1001.116	1000.708
8	994.225	1001.387	1000.744
47	994.225	1001.391	1001.105
111	994.533	1000.706	1000.857
112	994.534	1000.677	1000.856
113	994.534	1000.686	1000.817
114	994.536	1000.699	1000.820
101	994.470	1000.630	1000.930
102	994.499	1000.587	1000.886
103	994.483	1000.584	1000.802
104	994.515	1000.616	1000.751
105	994.486	1000.692	1000.723
106	994.518	1000.751	1000.738
107	994.486	1000.803	1000.802
108	994.516	1000.804	1000.863
109	994.476	1000.760	1000.930
110	994.503	1000.707	1000.955

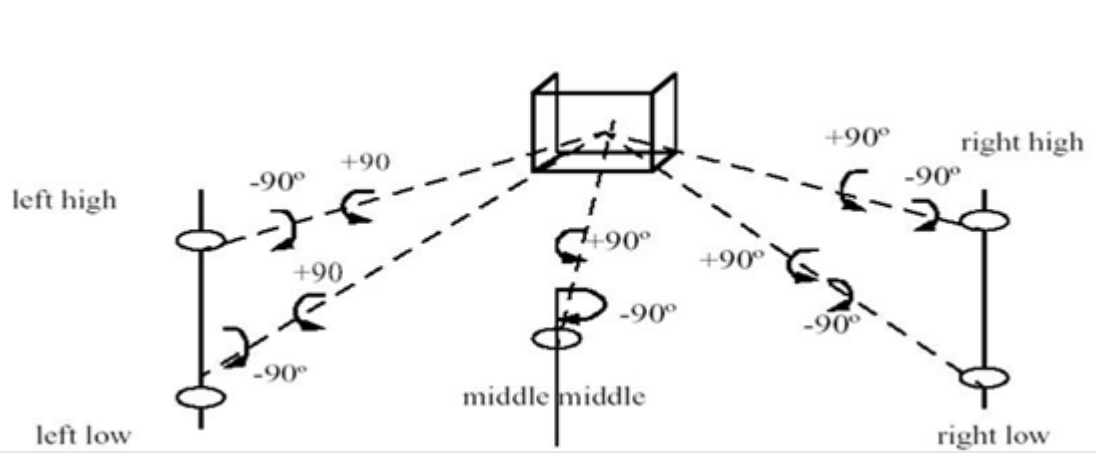
4.5 Resim Çekme Makinesinin Kalibrasyonu

RÇM kalibrasyonu için İTÜ Fotogrametri Laboratuvarında bulunan Test Alanı kullanılmış ve resim çekimleri yapılmıştır. Bu test alanı lokal bir sistemde koordinatları bilinen 37 adet noktadan oluşmaktadır (Şekil 4.7).



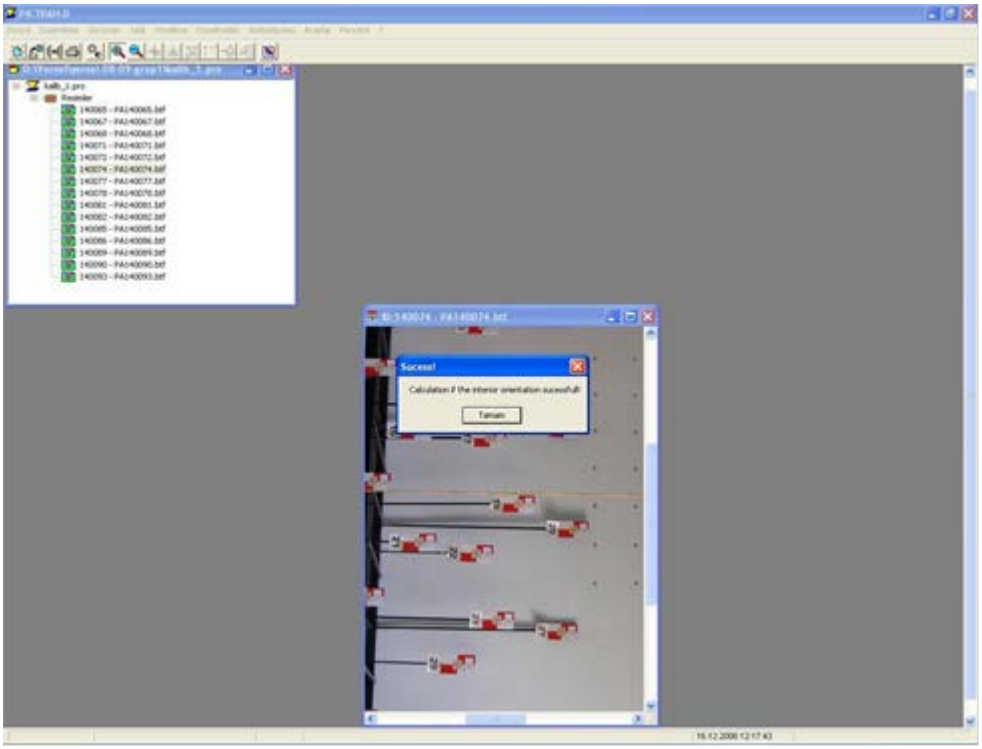
Şekil 4.7 : İTÜ Test alanı.

Toplam 5 noktada, her bir resim çekim noktasında 3 farklı yükseklikten olmak üzere15 adet resim çekilmiştir (Şekil 4.8). Resim çekme merkezlerinin dağılımı test alanı önünde bir yay oluşturacak şekilde belirlenmiştir. Bunun amacı cisim koordinatı bilinen noktaların resimlere düşen ışınlarının aynı uzaklıklardan farklı açılarla çekilerek iç yöneltme parametrelerinin daha prezisyonlu olarak elde etmektir.

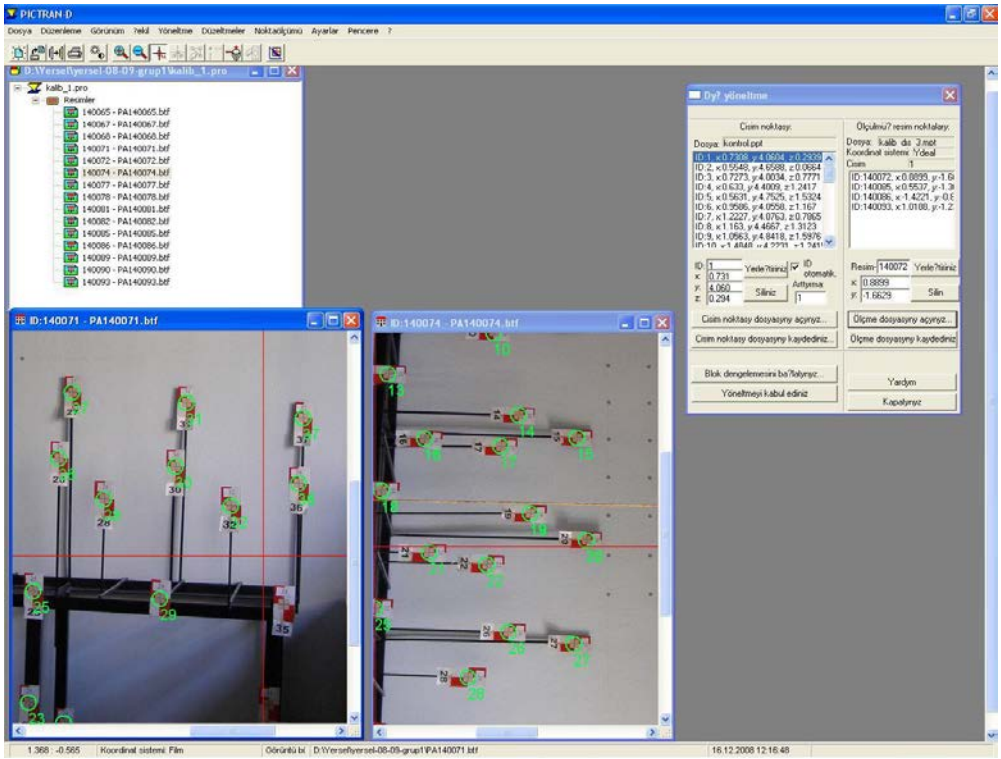


Şekil 4.8 : Kalibrasyon Amaçlı Resim Çekim Planı.

Çekilen resimler bilgisayara aktarılarak Pictran D modülünde açılan yeni bir projeye eklenmiştir. RÇM JPEG formatında çektiği resimler programın çalıştığı format olan BTF (bidirectional texture function)'ye dönüştürülmüştür. Cisim Koordinatları gene programın çalıştığı PPT formatında yazılarak projeye eklenmiştir. Resimlerin kamera bilgileri, kalibrasyon öncesi değerler olarak üretici firmadan sağlanan değerler, resim ana noktası koordinatları ise (0.0000 , 0.0000) olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Kalibrasyon Amaçlı İç Yöneltme.



Şekil 4.10 : Kalibrasyon Amaçlı Dış Yöneltme.

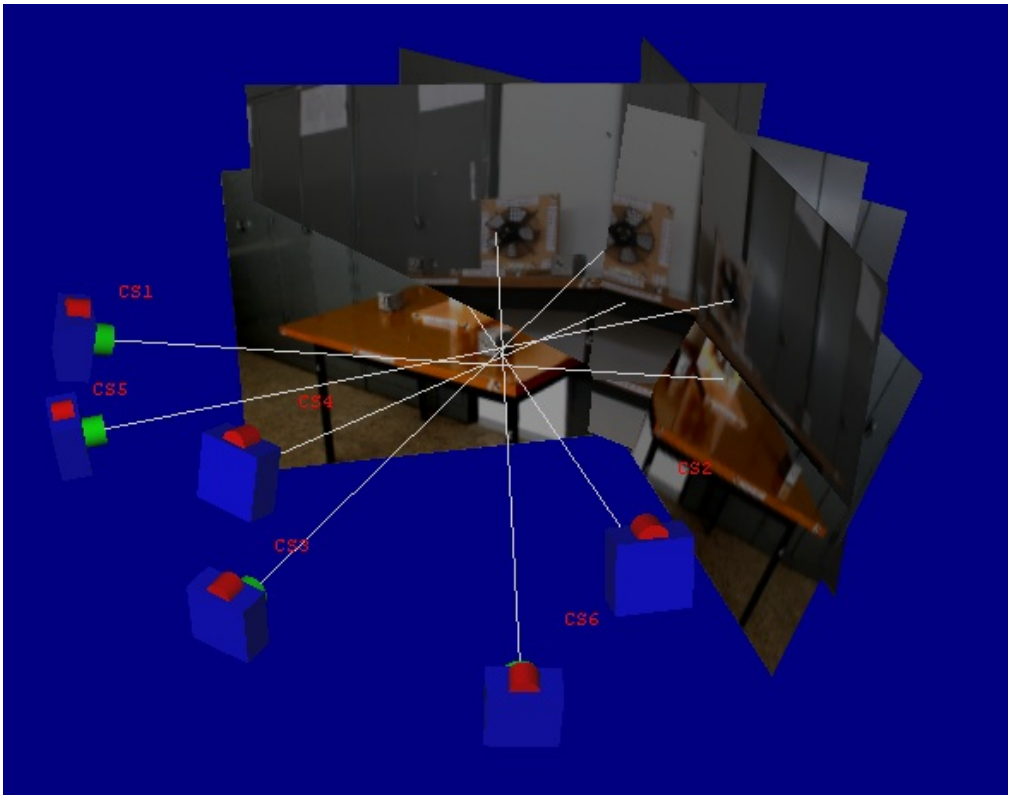
Ölçülen resim koordinatları ve bilinen cisim koordinatları kullanılarak resimlerin yöneltme elemanlarının hesaplanması amacıyla Pictran B modülü kullanılmıştır (Şekil 4.10). İlk aşamada iç yöneltme bilinenleri kesin değer olarak kullanılmıştır.

Hesaplama aşamasında Sigma ve NV(Normalized Redisual) değerlerinin istenilen aralıkta olmasına dikkat edilmiştir ve ilk başta elde edilemediğinden hesap rapor dosyasındaki nokta hataları göz önüne alınarak bazı noktaların ölçmeleri tekrarlanmıştır.

Bu işlemlerin ardından iç yöneltme parametrelerinden odak uzaklığı ve ana noktanın konumu ölçme, distorsiyon parametreleri ise bilinemeyen olarak alınmış ve tekrar dengeleme yapılmıştır. Elde edilen odak uzaklığı ve ana noktanın konumu programın kamera dosyasına (bunkon.kam) girilerek hesap tekrar yapılmıştır, bu işlem iteratif olarak düzeltme miktarları 0.00005'ten küçük olana kadar tekrarlanarak kameranın iç yöneltme parametreleri belirlenmiştir.

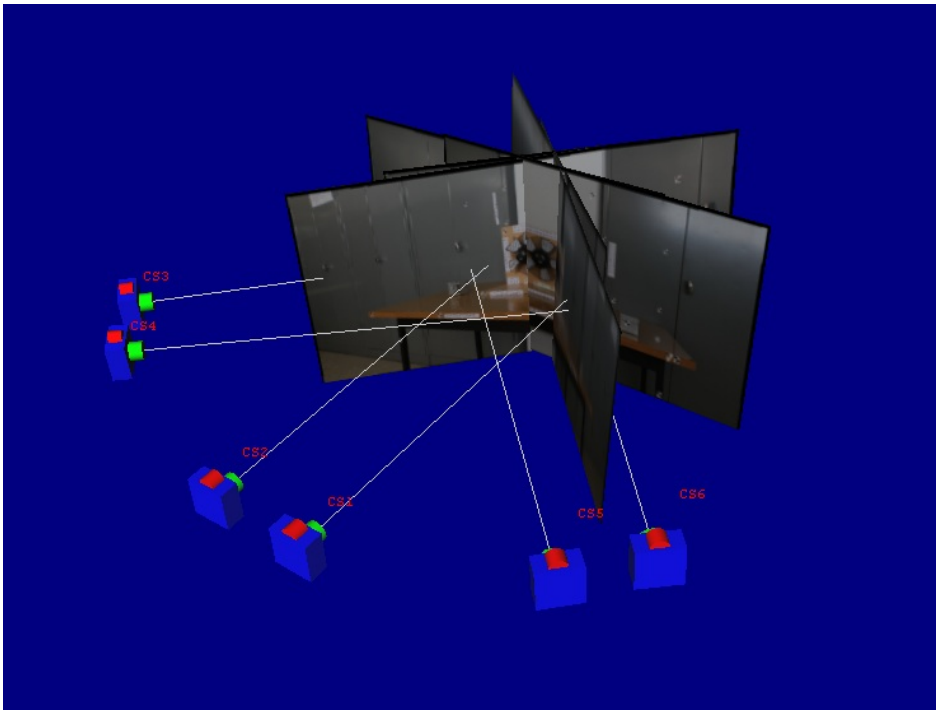
4.6 Resim Çekimi

Çalışmada kullanılacak olan objenin resim çekimleri, resimlerin tüm yazılımlarda (Pictran, Photomodeler ve Iwitness) kullanılabileceği şekilde tam karşıdan ve obje detaylarını kaybetmeden ve 2 metre uzaklığı ve yüksekliği koruyacak şekilde yapılmıştır. Aynı koşullarda RÇM yüksekliğini değiştirerek işlem tekrarlanmış ve 6 adet resim elde edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Normal RÇM yerleşimi.

Photomodeler Scanner modülü resim çiftlerinden nokta bulutu üretebilmek için resimlerin normal durumda çekilmesini gerektirmektedir. Normal durumda çekilen resimlerin yüzeye paralel olmaları sebebi ile dengeleme sırasında sorun yaşanmakta ve elde edilen 3 boyutlu geometri sağlıklı olmamaktadır. Bunun engellenmesi için sadece dengelemede kullanılmak üzere resim çifti ile yüksek açıda üçüncü bir resme ihtiyaç duyulmaktadır. Projede bunun yerine obje ile 3 farklı açıdan birer resim çifti çekilmiştir (Şekil 4.12). Bu sayede değerlendirme aşamasında farklı açılardan oluşturulan nokta bulutları arasında seçim yapma şansının oluşturulması amaçlanmıştır.

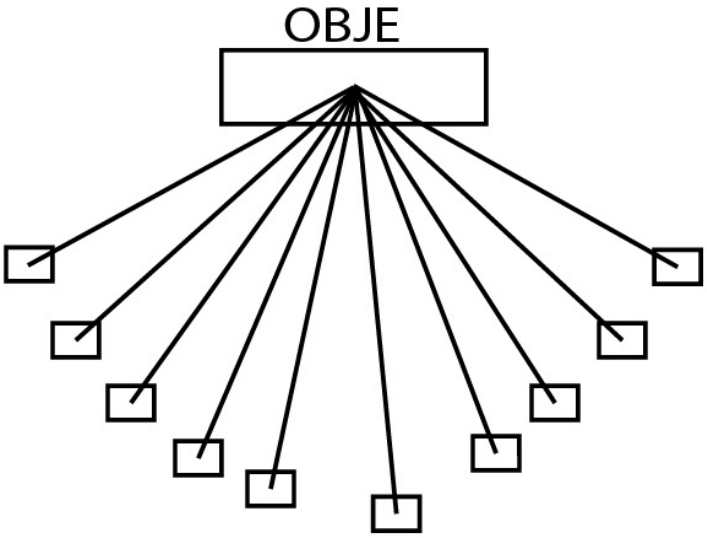


Şekil 4.12 : Photomodeler Scanner yazılımında kullanılacak resimler için RÇM yerleşimi.

Arc3d Web Service için RÇM düzeni Photomodeler Scanner haricindeki diğer yazılımlar için çekilen resimler ile benzer koşullarda çekilmiş, sadece resim sayısı arttırılmıştır. Obje karşısında 10° ile 20° derece açı ile 2 metre uzaklık korunarak resimler çekilmiş ve aynı işlem farklı bir yükseklikten tekrarlanarak 23 adet resim elde edilmiştir (Şekil 4.13).

Resim çekim işleminden sonra objenin pallerinin resimlerden oluşacak olan nokta bulutlarının karşılaştırılması için gereken referans yüzeylerini elde etme amacı ile yüzeylerin profesyonel bir lazer tarayıcı ile taranmasına karar verilmiştir. Bu amaçla

Leica marka Scanstation C10 model lazer tarayıcı seçilmiştir. Taramadan önce çözünürlük en yüksek olan 100 metre uzaklıkta 0.020 metre nokta aralığına ayarlanmış ve tarayıcı objeye yaklaşık 3 metre uzaklığa kurulmuştur (Şekil 4.14). Bu sayede obje üzerinde 0.6 milimetre nokta aralığı hedeflenmiştir.



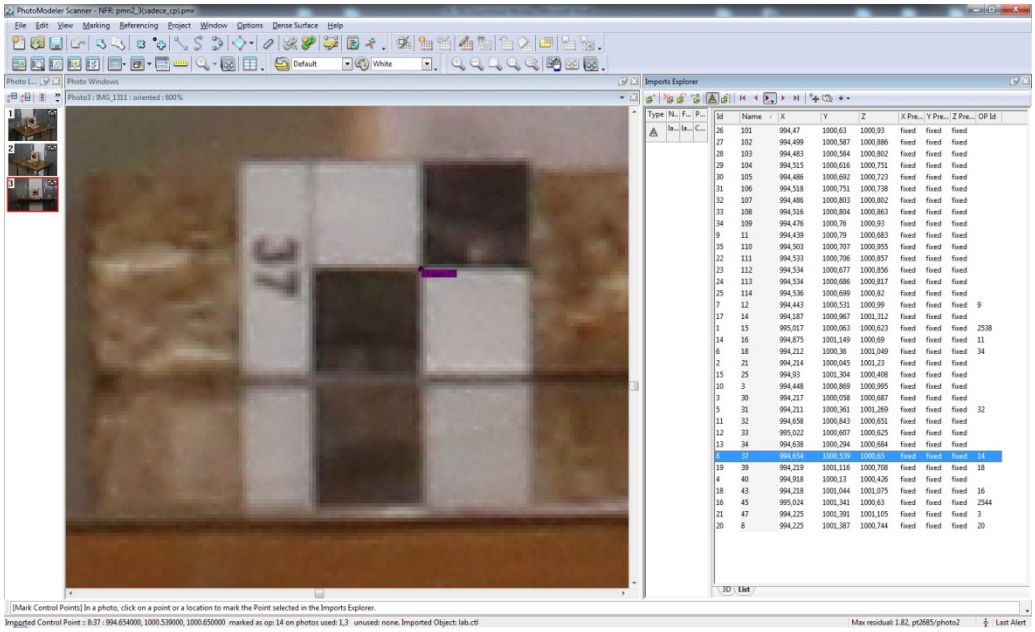
Şekil 4.13 : Arc 3d Webservice yazılımında kullanılacak resimler için RÇM yerleşimi.

Şekil 4.14 : Lazer tarama işlemi.

4.7 Dengeleme

Resim çekim işleminden sonra elde edilen .jpeg formatlı resimler yazılımlara eklenerek yeni projeler oluşturulmuştur. Yöneltme için 2 ana yöntem belirlenmiştir. Birinci yöntemde sadece kontrol noktaları kullanılarak dengeleme işlemi gerçekleştirilmiş ve dengeleme hesabına katılmayan kontrol noktalarının koordinatları ölçülmüştür. İkinci yöntemde ise yazılım tarafından ölçekli olarak üretilen noktalarla karşılıklı yöneltme sonucu oluşan model ölçeklendirilmiştir. Bu yöntem Photomodeler Scanner modülünde ve kontrol noktası tanıtımı mümkün olmayan Arc3d Webservice yazılımında kullanılmıştır.

Photomodeler yazılımında yeni proje oluşturulmuş ve resimler ile .clt formatında hazırlanan kontrol noktalarının koordinatları projeye eklenmiştir. Eklenme sırasında kontrol noktalarının koordinatları kesin nokta olarak ayarlanmış ve yöneltme sırasında konumlarının değişmemesi ayarlanmıştır. Projenin birimi kontrol noktalarından dolayı metre olarak belirlenmiştir. Kontrol noktalarından 3 eksende farklı konumlara sahip 8 adet kontrol noktası seçilerek resimler üzerinde ölçülmüştür (Şekil 4.15).

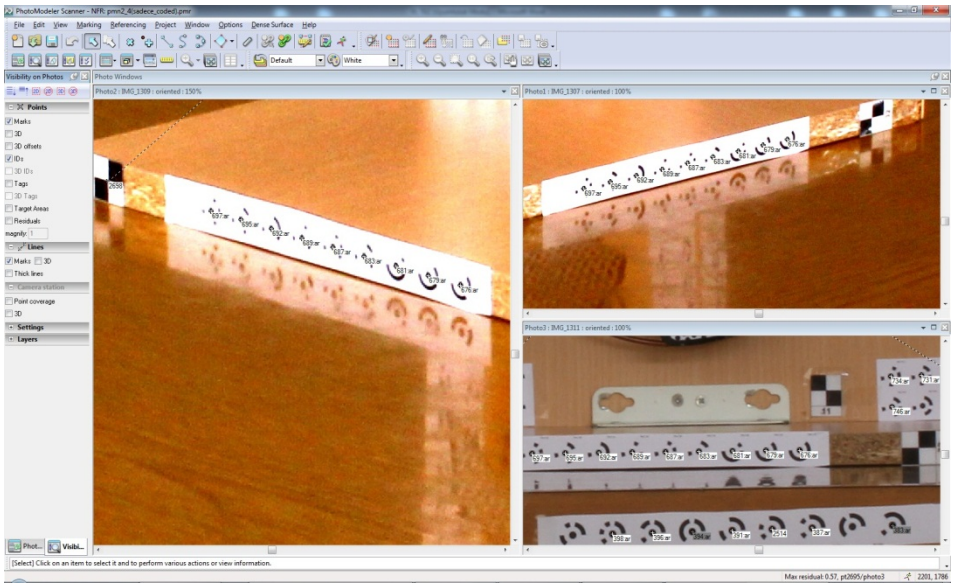


Şekil 4.15 : Photomodeler yazılımında kontrol noktalarının ölçümü.

Ölçme işleminden sonra “Process” menüsünden nokta ve resimlerin istatistiklerini raporlayan “Audit” sonuçlarına göre dengeleme öncesi kalite tahminleri incelenmiş ve dengeleme için yeterli resim ve nokta ölçmesinin olduğuna karar verilerek

dengeleme işlemi başlatılmıştır. İşlem sonucu değerler istenilen aralıkta hesaplanmış ve yöneltme kabul edilmiştir.

Photomodeler Scanner yazılımı için ikinci bir proje açılmış ve normal koşulda çekilen resimler bu sefer kontrol noktası olmadan bu projeye eklenmiştir. Proje içindeki "coded target" hedefler otomatik olarak yazılım tarafından ölçülmüş ve karşılıklı eşleşmeleri yapılmıştır (Şekil 4.16). Bu projede herhangi bir kontrol noktası dengeleme için bağlama noktası olarak ölçülmemiştir. "Audit" sonuçları incelenmiş ve dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu projede kullanılan nokta sayısı daha fazla olduğu için hatası yüksek olan noktalar silinerek dengeleme işlemi tekrarlanmış ve sonuç değerler istenilen aralığa ulaşınca yöneltme kabul edilmiştir. Yöneltme sonrası "Scale&Rotate" menüsünden "Coded target" hedeflerden sayfanın 2 ucuna denk gelenlerin arasındaki uzaklık 0,161 metre olarak girilmiş ve model ölçeklendirilmiştir.



Şekil 4.16 : Photomodeler yazılımında bağlama noktalarının ölçümü.

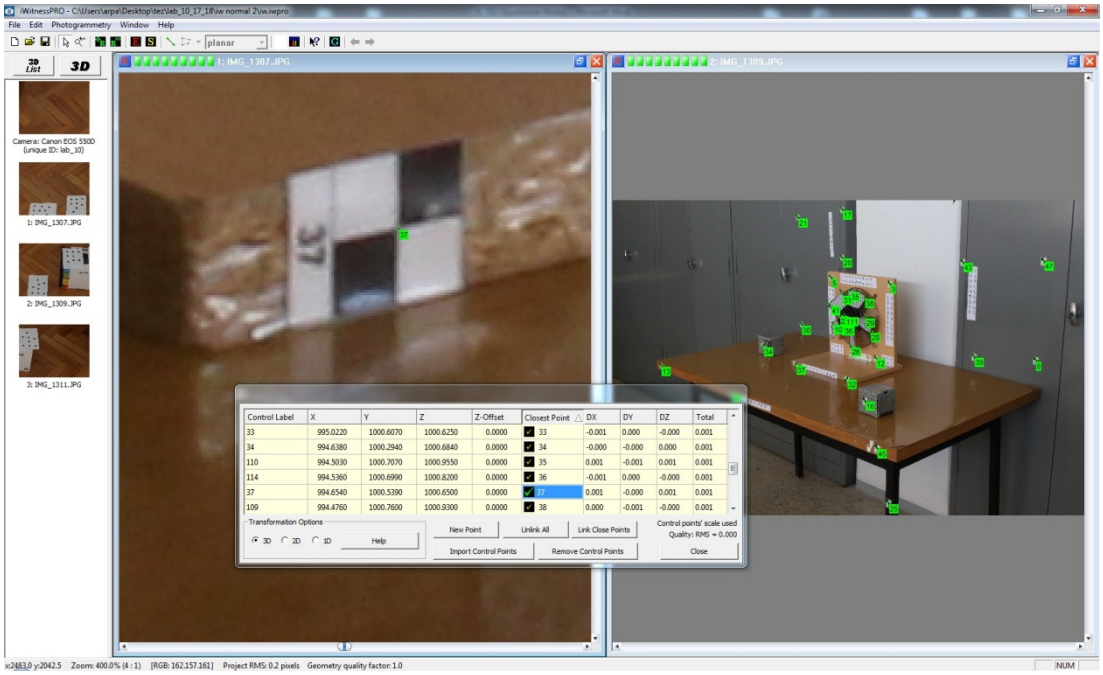
Sonuçlar incelendiğinde otomatik ölçülen projelerde nokta ölçme hatasının manuel ölçmelere göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Toplam hatanın ise kontrol noktası kullanılan projelerde daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi "coded target" hedeflerin proje yüzeyindeki dağılımının kontrol noktaları kadar homojen dağılmamasıdır (Çizelge 4.4).

Iwitness yazılımında yeni bir proje oluşturulmuştur. Iwitness yazılımı Photomodeler yazılımından farklı olarak gerçek zamanlı olarak yöneltme yapmaktadır. 2 resimdeki

ortak noktaları ölçtükçe yöneltmeyi yenilemekte ve sonuçları her ölçmede görmemizi sağlamaktadır (Şekil 4.17).

Çizelge 4.4 : Photomodeler dengeleme sonuçları.

	PM Kontrol N.	PM Scanner
Total Error	0,445	2,325
Overall RMS	0,623	0,277
Maximum	0,859	0,760
Maximum RMS	0,752	0,488



Şekil 4.17 : Iwitness yazılımında kontrol noktalarının bağlanması.

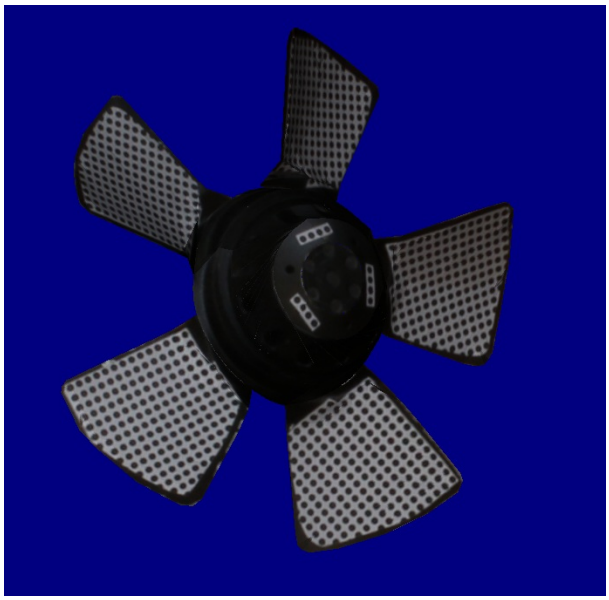
Projede Total RMS değerinin 0.2 ve Geometry Quality Factor değerinin 1.0 çıkması üzerine, bu değerler istenilen aralıkta oldukları için, yöneltmeler kabul edilmiştir.

Pictran yazılımında kontrol noktalarının ölçme işlemi Pictran D modülünde gerçekleştirilmiş ve Pictran B modülünde yöneltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yöneltme öncesi iç doğruluk 0.0005 piksel olarak belirlenmiştir. Yöneltme sonrası değerler istenilen aralıkta hesaplanana kadar Pictran D modülünde kontrol noktaları ölçme işlemleri tekrarlanmıştır. En son olarak Sigma değeri 1.011125 ve NV (Normalized Residual) değeri 2.33 olarak hesaplanınca yöneltme kabul edilmiştir.

4.8 Değerlendirme

Değerlendirme aşamasında obje için 2 farklı yöntem izlenmiştir. İlk yöntemde pallerin üzerindeki noktaları ve pallerin sınırlarının manuel veya otomatik yöntemlerle ölçülmesi ve yüzeylerin bu noktalardan üçgenleme ile oluşturulmasıdır. İkinci Yöntem ise Photomodeler Scanner ve Arc 3d Webservice tarafından oluşturulan nokta bulutlarından yüzeylerin oluşturulmasıdır.

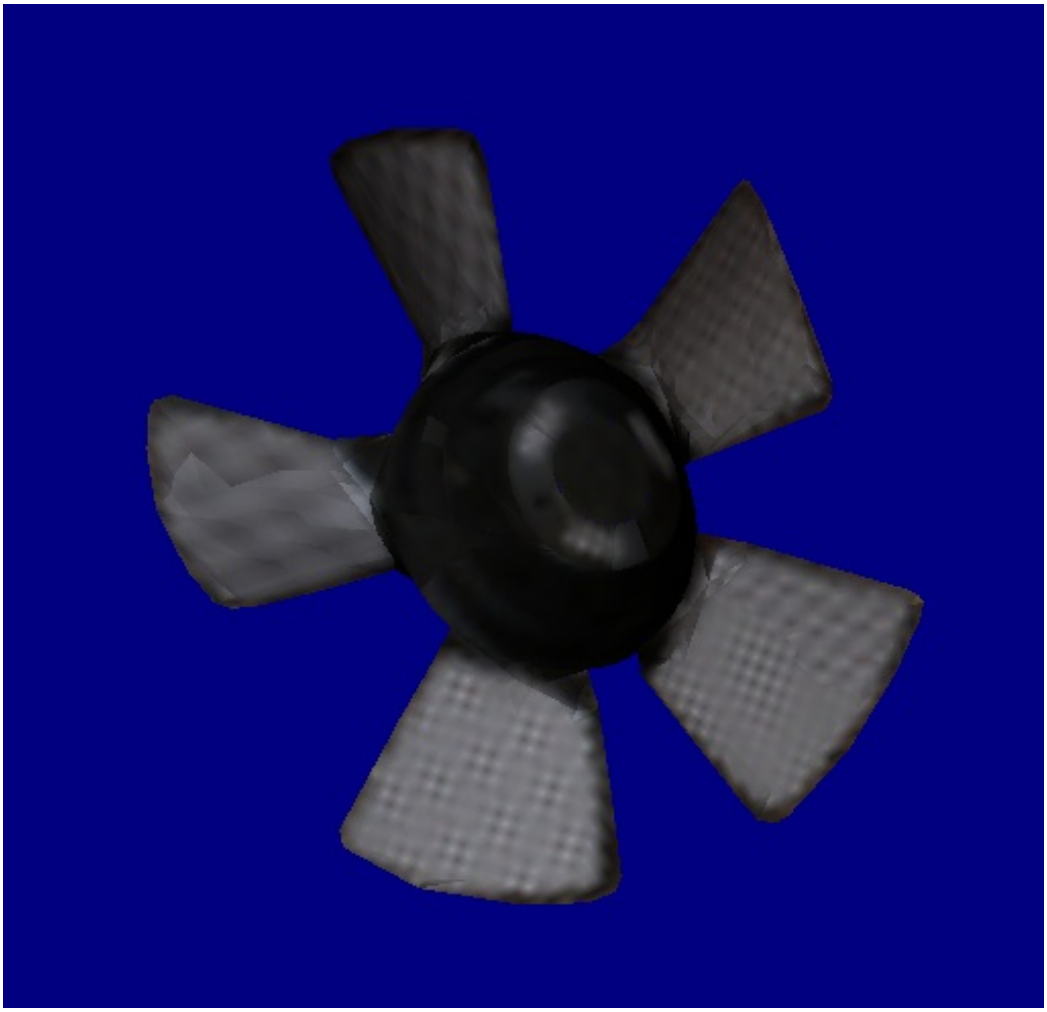
Dengeleme sonrası Photomodeler yazılımında pallerin üzerindeki nokta hedefler "Automatic target marking" menüsü kullanılarak her resim üzerinde otomatik olarak ölçülmüştür. Daha sonra "Automatic Referencing" menüsü kullanılarak farklı resimlerdeki noktalar birbirleriyle eşlenmiştir bu menüde proje birimine göre 0.5 milimetre arama alanı belirlenerek yanlış noktaların eşlenmesi engellenmiştir. Geriye kalan eşlenmemiş noktalar "Weld Unreferenced Pairs" menüsü ile aynı nokta oldukları kontrol edilerek eşleme işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra pallerin sınırları ve objenin orta kısmı manuel olarak "Referencing mode" çalıştırılarak değerlendirilmiştir. Otomatik ve manuel ölçmelerle edilen noktalar her pal için ayrı ayrı seçilerek ve "Automatic Surfacing/Triangulation" aracı kullanılarak otomatik olarak pal yüzeyleri otomatik olarak oluşturulmuştur. Objenin ortasında ise dairesel kısımların üzerinde bulunan ortak noktalar değerlendirilmiş ve bu noktalardan eğriler geçirilerek bu eğriler arasında yüzeyler tanımlanmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 : Photomodeler yazılımında oluşturulan yüzeyler.

Pictran yazılımında ise otomatik hedef tanıma modülü olmadığı için resimlerdeki hedefler ve ortak noktalar manuel olarak değerlendirilmiş ve bu noktalar yüzey işlemleri için Photomodeler yazılımına aktarılmıştır. Photomodeler yazılımında bu noktalar aracılığıyla eğriler ve yüzeyler tanımlanmıştır (Şekil 4.19).

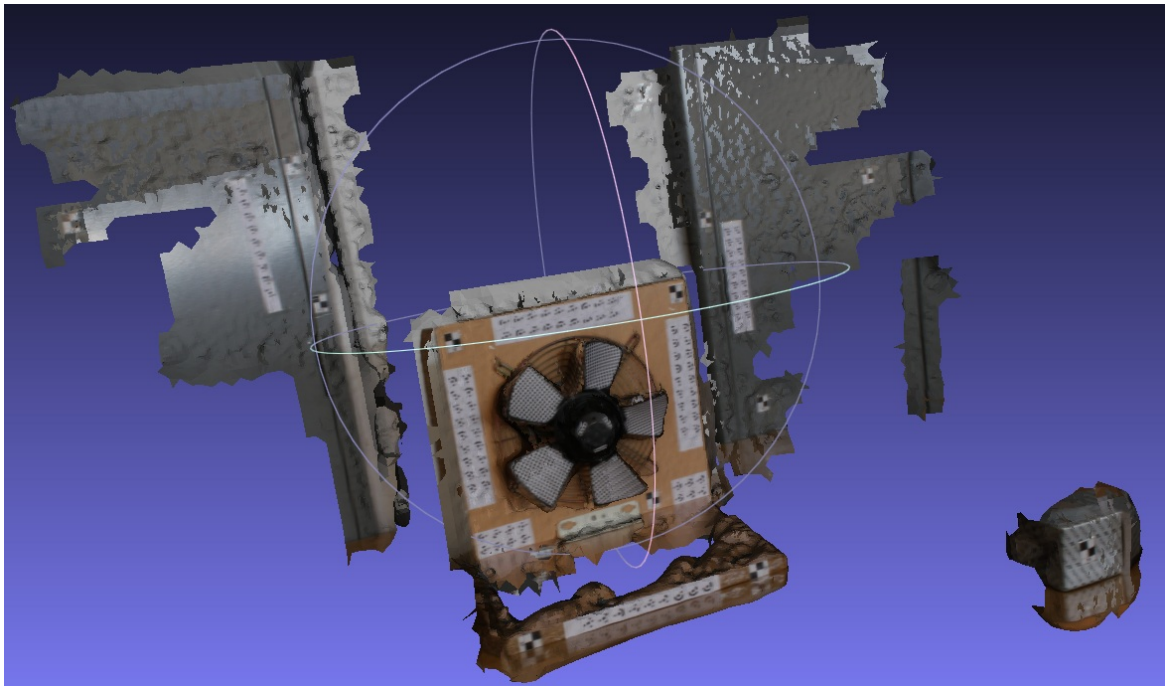
Arc 3d Webservice için çekilen resimler yazılımın kendi ara yüzü kullanılarak hizmetin sağlandığı sunuculara yüklenmiştir. Yükleme öncesi yazılım tarafından resimlerde netlik kontrolü yapılmış ve tüm resimler uygun görülmüştür. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra sunucularda yöneltme, nokta bulutu oluşturma, üçgenleme ve doku kaplaması gerçekleştirilmiştir. İşlem bittiği zaman .obj formatlı modeli indirilmiştir (Şekil 4.20).



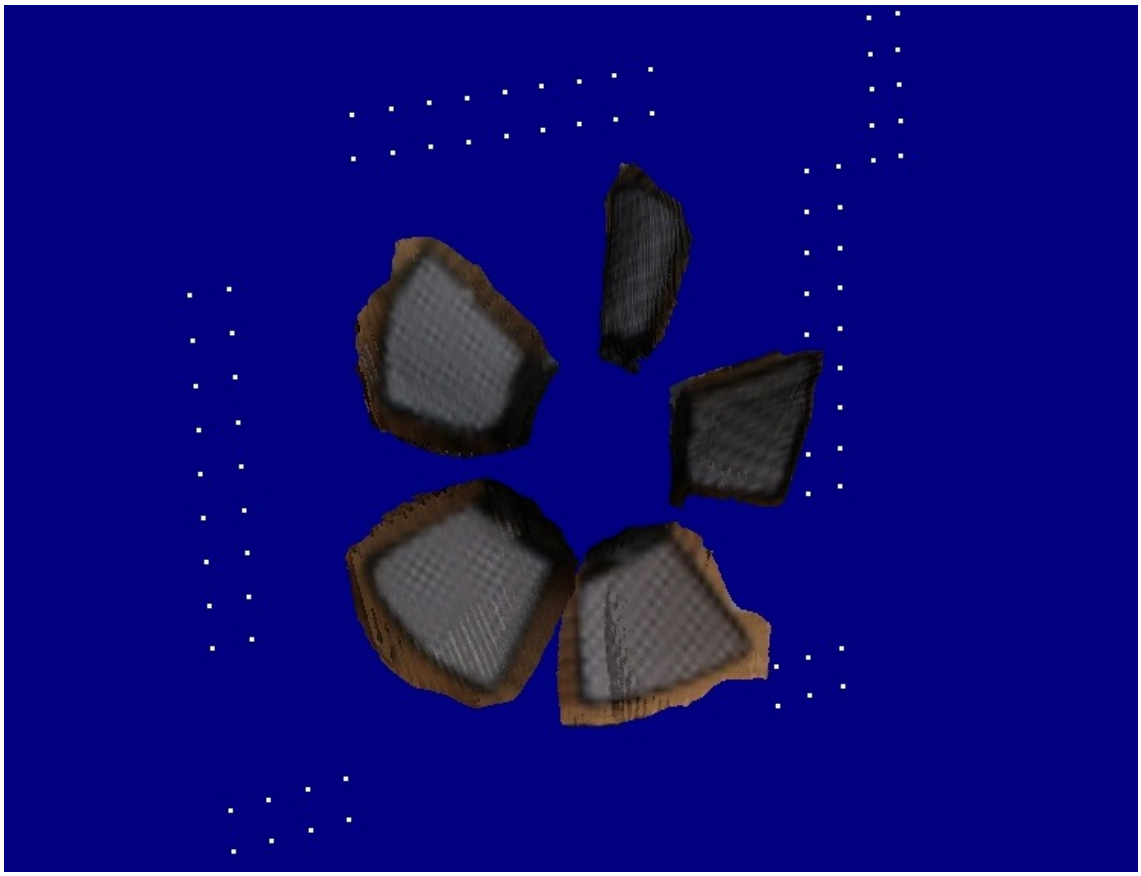
Şekil 4.19 : Pictran yazılımında oluşturulan yüzeyler.

Photomodeler Scanner yazılımında dengeleme işlemi Photomodeler yazılımı ile aynı şekilde yapılmış ve Scanner modülünden nokta bulutu otomatik olarak oluşturulmuştur. Deneme çalışmalarında denenmiş olan şartlar sağlanmasına rağmen

kaba hatalar oluşmuştur. Bu hata pallerin farklı resim çiftlerinden oluşturularak birleştirilmesi ile çözülmüştür (Şekil 4.21).



Şekil 4.20 : Arc3d Webservice tarafından oluşturulan model.



Şekil 4.21 : Photomodeler Scanner tarafından oluşturulan model.

4.9 Sonuçların Karşılaştırılması

Sonuçlar 2 şekilde karşılaştırılmıştır. İlk önce kontrol noktaları ile dengelenen modeller üzerinden jeodezik yöntemlerle koordinatı belirlenen ama dengelemeye dahil edilmeyen noktaların koordinatları modelden ölçülmüş ve jeodezik yöntemlerle belirlenen koordinatlarla karşılaştırılmıştır. İkinci yöntemde ise değerlendirme aşamasında oluşturulan yüzeyler ve resimlerden oluşturulan nokta bulutları lazer tarayıcıdan elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

4.9.1 Referans noktaların koordinatlarının jeodezik ölçmelerle karşılaştırılması

Dengeleme hesabına katılmayan kontrol noktaları yazılımlar içinde ölçülmüş ve jeodezik olarak total station kullanarak elde edilen koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için empirik hata(RMS) formülü kullanılmıştır.

$$\mu_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{nx}} \qquad \mu_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y_i^2}{ny}} \qquad \mu_z = \sqrt{\frac{\sum \Delta z_i^2}{nz}} \tag{4.2}$$

Δx = Xölçülen – Xhesaplanan

Δx = Xölçülen - Xhesaplanan

Δx = Xölçülen – Xhesaplanan

nx, ny ,nz = kullanılan nokta sayısı [13].

Elde edilen sonuçlarda model kontrol noktaları ile dengelendiği zaman hesaplanan nokta koordinatları jeodezik ölçmelerle karşılaştırıldığında koordinatlar arasında maksimum uzaklık farkı 2.1 milimetreyi geçmemektedir ve karesel ortalama hata Pictran yazılımında 1.0 milimetre, Photomodeler yazılımında 1.0 milimetre ve Iwitness'da 1.2 milimetre olarak gözlemlenmiştir. Bu hata vektörleri her bir nokta için her bir eksende ve noktanın jeodezik yöntemle elde edilen koordinatı ve yazılımlardan elde edilen koordinatı arasındaki fark olmak üzere yapılmıştır. Δl noktanın 3 boyutlu hata vektörünü belirtmektedir (Çizelge 4.5).

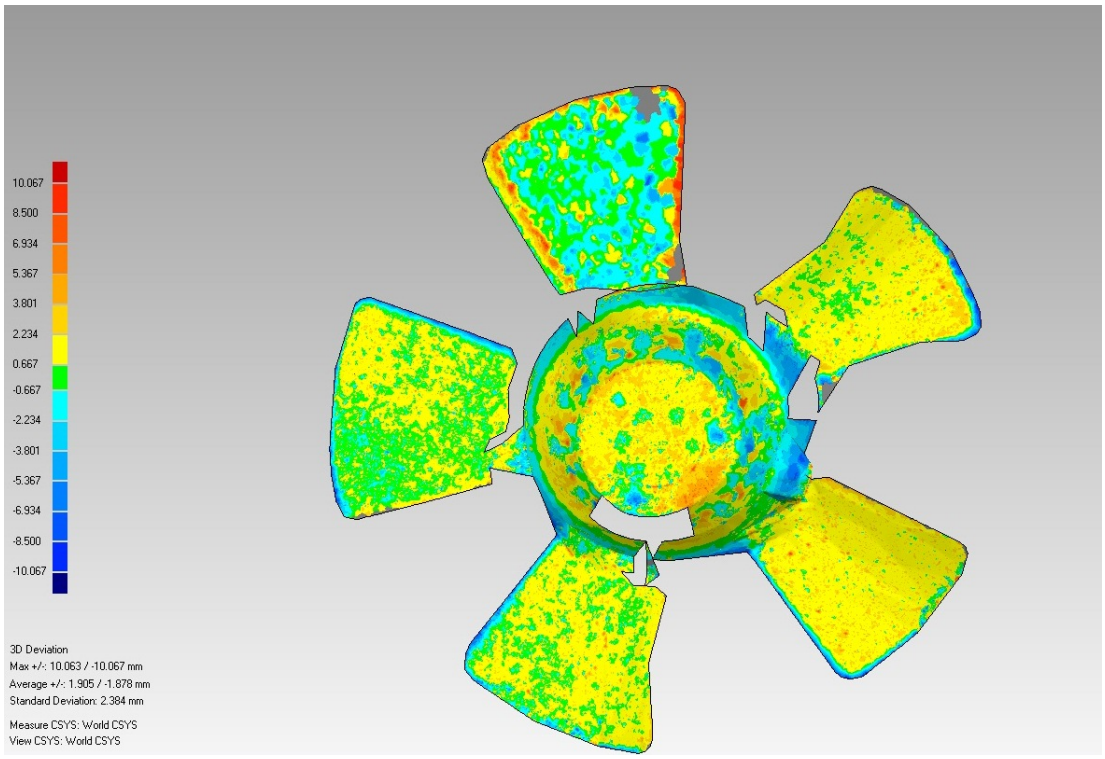
Çizelge 4.5 : Koordinat karşılaştırmasından elde edilen sonuçlar.

	Photomodeler				IWitness				Pictran			
Nokta No	Δx(mm)	Δy(mm)	Δz(mm)	Δl(mm)	Δx(mm)	Δy(mm)	Δz(mm)	Δl(mm)	Δx(mm)	Δy(mm)	Δz(mm)	Δl(mm)
111	0,3	0,1	0,2	0,4	-0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	-0,2	0,0	0,3
112	1,8	0,1	-0,2	1,8	1,5	0,3	-0,3	1,6	1,7	0,0	-0,4	1,7
113	0,3	0,4	-0,1	0,5	0,5	0,4	-0,1	0,6	0,3	0,1	-0,1	0,3
114	1,8	-0,4	0,4	1,9	2,0	-0,3	0,4	2,1	1,8	-0,6	0,2	1,9
101	-0,6	0,1	-0,1	0,6	-0,8	0,2	0,2	0,8	-0,6	0,0	-0,2	0,6
102	-0,2	0,3	0,5	0,6	-0,8	0,3	0,5	1,0	-0,2	0,1	0,3	0,4
103	1,2	0,3	0,5	1,3	1,6	0,4	0,4	1,7	1,2	0,1	0,3	1,2
105	0,9	0,1	0,0	0,9	1,2	0,4	-0,2	1,3	0,8	-0,2	-0,3	0,9
106	-1,0	0,2	0,2	1,0	-1,5	0,6	0,1	1,6	-1,0	-0,1	0,1	1,0
107	0,4	-0,2	-0,5	0,7	0,9	0,2	-0,4	1,0	0,2	-0,4	-0,7	0,8
108	0,4	-0,4	-0,5	0,7	-0,7	-0,1	-0,5	0,9	0,2	-0,6	-0,7	0,9
109	0,0	0,5	0,2	0,5	-0,1	0,6	0,3	0,7	-0,1	0,3	0,0	0,3
110	-0,5	0,4	-0,7	0,9	-1,3	0,5	-0,4	1,4	-0,7	0,2	-0,6	0,9
21	0,1	-1,0	1,0	1,4	0,7	-0,7	0,7	1,2	0,6	-0,5	0,7	1,0
40	1,5	-0,3	0,1	1,5	1,8	-0,1	-0,1	1,8	0,8	-0,1	0,3	0,9
11	-0,4	-0,4	-0,2	0,6	-0,5	0,1	-0,5	0,7	-0,3	-0,5	-0,5	0,8
3	-0,4	-0,2	-0,3	0,6	-0,4	0,0	-0,2	0,4	-0,5	-0,3	-0,5	0,8
32	0,4	0,1	0,1	0,4	1,2	0,5	0,1	1,3	0,3	0,0	-0,1	0,3
33	1,3	0,1	0,5	1,4	1,2	-0,1	0,4	1,3	1,5	-0,3	0,6	1,6
34	1,3	0,0	0,1	1,3	1,3	0,0	-0,1	1,3	1,1	-0,1	0,0	1,1
25	0,6	0,1	-0,4	0,7	-0,3	0,1	-0,4	0,5	0,5	-0,2	-0,4	0,7
μ	0,9	0,3	0,4	**1,0**	1,1	0,3	0,3	**1,2**	0,9	0,3	0,4	**1,0**

4.9.2 Oluşturulan üç boyutlu yüzeylerin karşılaştırılması

Photomodeler yazılımında üretilen otomatik ve manuel ölçülen noktalardan oluşturulan yüzeyler Geomagic Qualify yazılımında incelenerek kontrol noktalarından lazer tarama verileri ile üstü üste çakıştırılmış ve pervanenin palleri ile lazer tarama verisindeki nokta bulutu arasındaki fark 3 boyutlu olarak karşılaştırılmıştır. Maksimum fark 0.831 milimetre olarak gözlemlenmiştir. Yazılım standart sapmayı 0.423 milimetre olarak hesaplamıştır.

Objenin tümü göz önüne alındığında lazer tarama verisi ile Pictran yazılımında oluşturalan model karşılaştırılmış ve farklar arasındaki standart sapma 2.384 milimetre olarak hesaplanmıştır. Maksimum hata ise pallerin uç kısımlarında olmak üzere 10.067 milimetre olarak gözlenmiştir (Şekil 4.22).

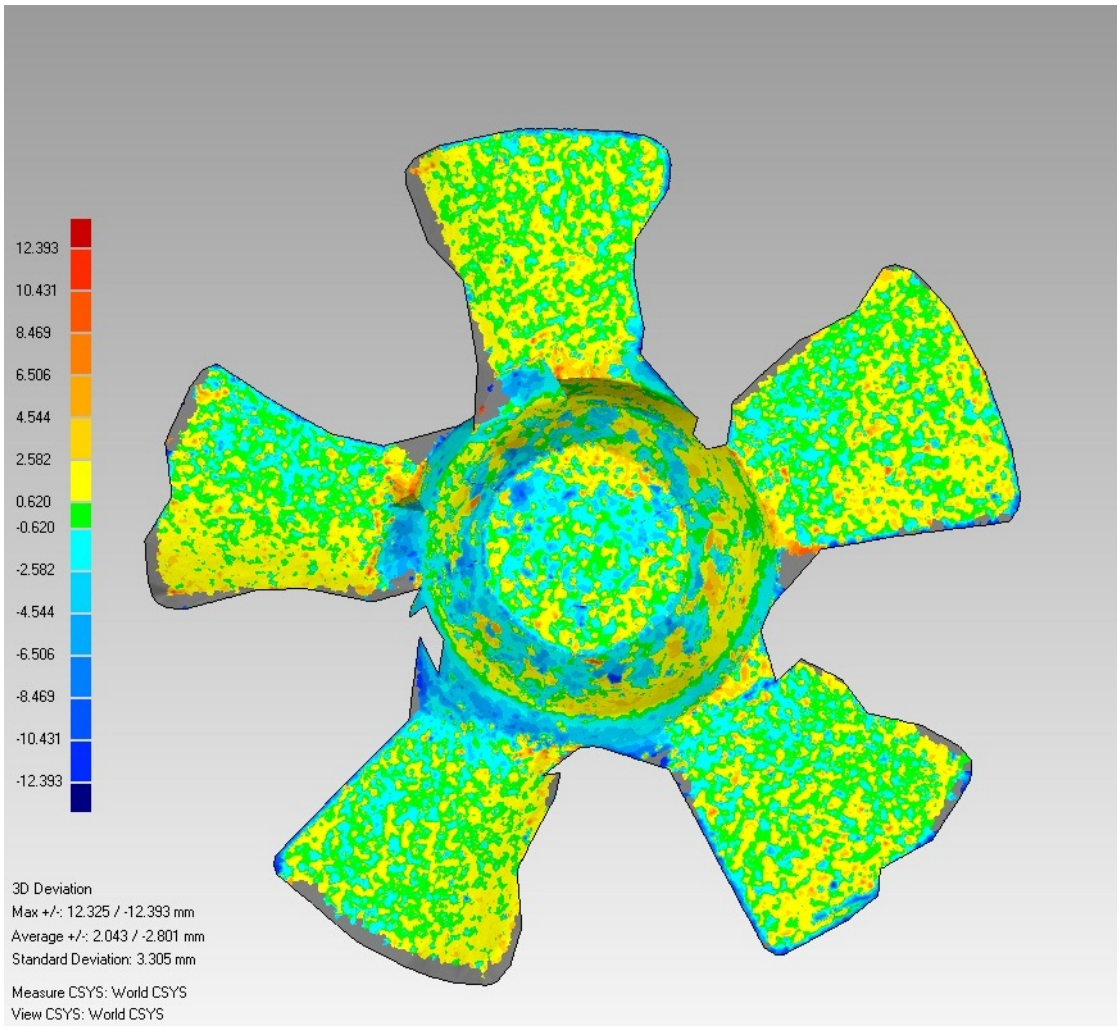


Şekil 4.22 : Pictran ile lazer tarama karşılaştırma sonucu.

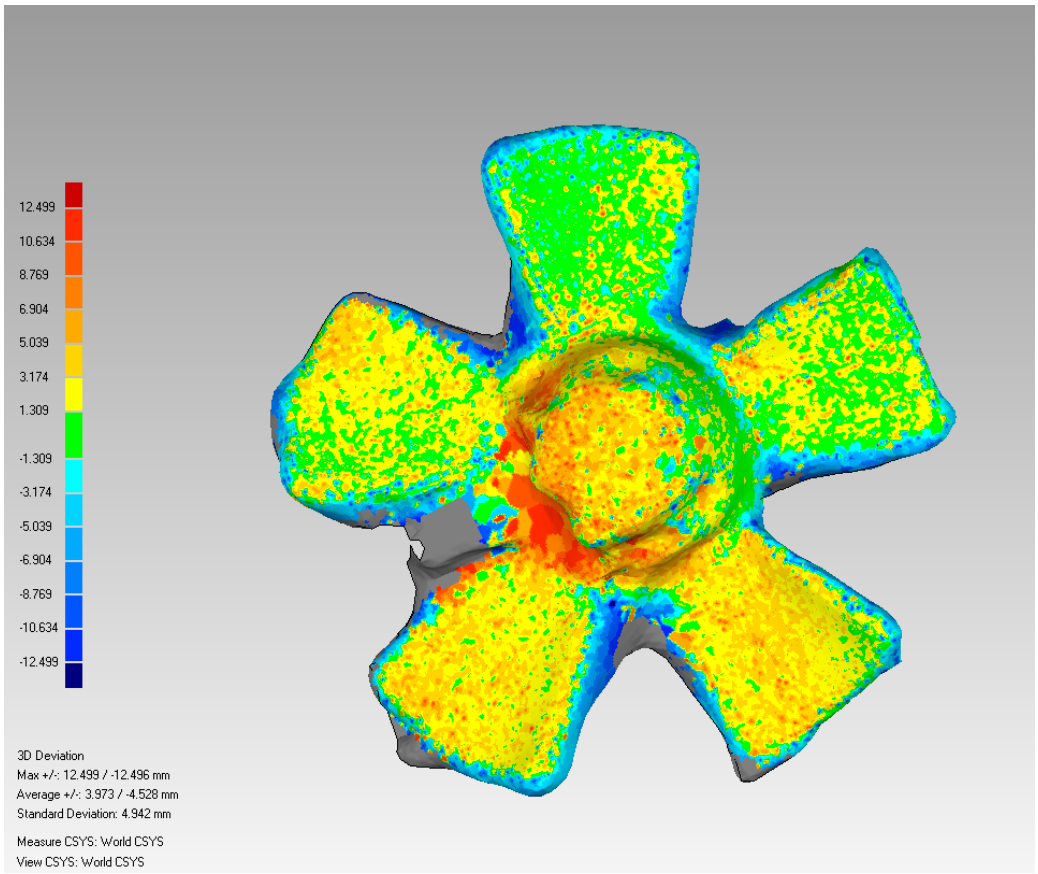
Photomodeler yazılımından oluşturulan model ile ile lazer verisi arasında ise maksimum hata paller ile gövdenin birleşim kısımlarında olmak üzere 12.393 milimetre ve standart sapma 3.305 milimetre olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.23).

Arc3d Webservice internet hizmetinden alınan model sadece karşılıklı yöneltme yaptığı için alınan model ölçeksizdir. Model Meshlab yazılımında açılarak ölçek noktalarının arasındaki uzaklık ölçülmüş ve ölçek katsayısı olarak 0.38847976

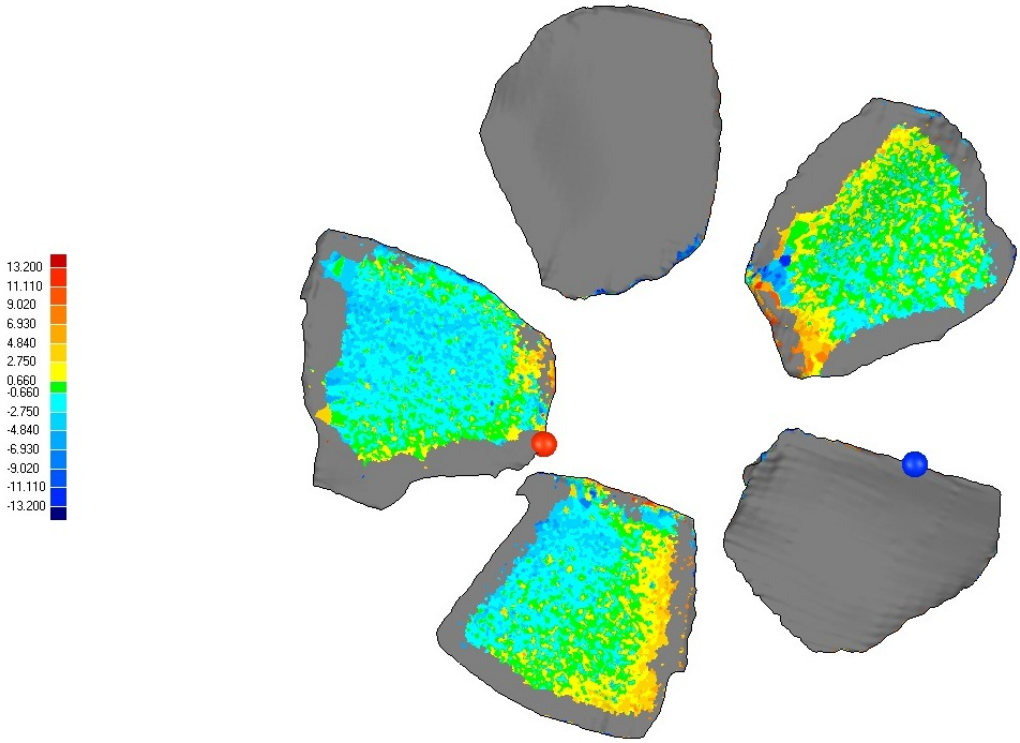
hesaplanmıştır. Daha sonra model Geomagic yazımında bu katsayı kullanılarak ölçeklendirilmiştir. Lazer tarama ile yapılan karşılaştırma sonucunda standart sapma 4.942 milimetre olarak bulunmuştur ama bu değerin sebebi pallerin dışında oluşan kaba hatalardır. Pallerin yüzeyinde en yüksek hata değeri 3 milimetre olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.24). Photomodeler Scanner yazılımda oluşturulan yüzeyler Geomagic Qualify yazılımında oluşan bir hata sonucu 5 palden 2 tanesi yazılım içinde ters dönmüş ve bu sebeple karşılaştırması yapılamamıştır. Geri kalan pallerde yaygın olarak hatanın 3 milimetrenin altında olduğu gözlemlenmiştir. Pal sınırlarında oluşan kaba hatanın Arc3d yazılımına göre çok fazla miktarda olduğu gözlemlenmiştir. Scanner modülü palleri daha geniş olarak oluşturmuştur (Şekil 4.25).



Şekil 4.23 : Photomodeler ile lazer tarama karşılaştırma sonucu.



Şekil 4.24 : Arc3d Webservice ile lazer tarama karşılaştırma sonucu.



Şekil 4.25 : Photomodeler Scanner ile lazer tarama karşılaştırma sonucu.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında düşük maliyetli amatör RÇM olan Canon Eos 550d ve Photomodeler, Photomodeler Scanner, Iwitness ve Arc3d Webservice yazılımları kullanılarak değerlendirilen küçük objelerin Geomax marka total station ve Leica Scanstation C10 marka yersel lazer tarayıcı ve profesyonel fotogrametrik bir yazılım olan Pictran gibi profesyonel yöntemlerle karşılaştırılması ve hangi koşullarda küçük objelerin 3 boyutlu modellenmesi çalışmalarında kullanılabileceklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Proje için soğutma sistemlerinde kullanılan bir adet pervane seçilmiş ve bu şekilde kontrol noktaları dışında eğimli yüzeylerde sistemlerin performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yazılımlardan elde edilen sonuçlar farklı yöntemler kullanılarak jeodezik yöntemlerden ve iç matematiği bilinen profesyonel fotogrametrik yazılım olan Pictran'dan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Kontrol noktaları ile yöneltilen modellerde jeodezik ölçmelerden elde edilen koordinatlar ile Pictran ve Photomodeler yazılımlarından ölçülen koordinatlar arasında karesel ortalama hata 1 milimetre, Iwitness ile 1.2 milimetre olarak gözlenmiştir. Bu sayede düşük maliyetli bir sistem kullanılarak total station ile alınan detayların fotogrametrik olarak ta ölçülebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle sahada zaman sorunu olan durumlarda fotogrametri jeodezik ölçmelere göre daha hızlı bir alternatif olabilmektedir. Photomodeler ve Iwitness belirli koşullar sağlandığı zaman yüksek doğruluk gerektirmeyen küçük objelerin 3 boyutlu modellenmesi çalışmalarında total station gibi jeodezik yöntemlere alternatif olmak için umut vaat etmektedirler.

Yüzey karşılaştırmalarında ise sadece pal yüzeyleri göz önüne alındığında yazılımlardan nokta ölçme yöntemiyle oluşturulan yüzeyler ve Leica lazer tarayıcının ölçtüğü yüzeyler arasında farklar 1 milimetrenin altında kalmıştır. Objenin tümü karşılaştığında ise Pictran ile lazer tarama arasında karesel ortalama hata 2.4 milimetre, Photomodeler ile lazer tarama arasında 3.3 milimetre olarak

gözlemlenmiştir, Arc3d Webservice tarafından oluşturulan modelde ise bu değer 4.9 milimetre olarak hesaplanmıştır. Photomodeler Scanner ise tüm modeli ve pal sınırlarında derinlik farkını ölçememiş ve paller olduklarından daha geniş olarak modellenmiştir. Bu sorun el ile ölçmeler ve bu ölçmelere göre nokta bulutunun temizlenmesi ile çözülebilecek bir sorundur. Arc3d Webservice internet hizmetinde gönderilen resimler ve oluşan model üzerinde bir kontrol olmadığı için sahaya geri dönülemeyecek durumlarda kullanımı risk içermektedir ama bu sorunda farklı açılardan gerekenden fazla resim çekimi ile aşılabilir.

Çalışma sırasında kullanılan yazılımların 1:1 ölçekli projelerde el ile ölçme yapılan modüllerde gerekli şartlar sağlandığında özellikle küçük objelerin modellenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Otomatik nokta bulutu oluşturan yazılımlarda ise tüm modeli güvenilir bir şekilde elde etmek el ile ölçme yapılan yöntemler kadar başarılı olmamıştır ama bu modüller beraber kullanılarak belli sınırların el ile ölçmeler ve değerlendirme noktaları kullanılarak, karmaşık yüzeylerinde bu nokta bulutu oluşturan modüller kullanılarak oluşturulması ile lazer tarayıcıya göre çok daha düşük maliyetli bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Bu çalışma sırasında başlıca olarak RÇM seçiminde algılayıcı boyutu ve piksel boyutunun proje amacına uygun olarak seçilmesi ve sabit odaklı lens seçimi, otomatik algılayıcı temizleme ve otomatik lens netlik ayarı gibi RÇM iç geometrisini değiştirecek özelliklerin kapatılması, dış yöneltme ve değerlendirmede piksel altı doğrulukla ölçülebilen otomatik noktaların kullanılması gibi şartlar yerine getirilerek amatör yazılımların yüksek doğruluk istenmeyen küçük objelerin modellenmesi çalışmalarında fotogrametrik amaçlarla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmada kullanılan bu donanım ve yazılımlar, belirtilen şartlar sağlandığında, sanal müzeler için küçük boyutlu gerek tarihi eser gerekse sanat eserlerinin yeterli doğrulukta sanal ortama aktarılmasında, gayrimenkul alanında iç mekânların modellenmesi ve sanal ortamda müşteriye sunulması gibi birçok alanda, 3 boyutlu oyunlar veya simülasyonlarda kullanılacak objelerin modellenmesinde, kaza ve suç mahallinde hızlı bir şekilde ölçmeler için gerekli olan verinin sahadan toplanması çalışmalarında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Külür, Sıtkı ve Toz, Gönül** (2002) Fotogrametri I Ders Notları (basılmamış).

[2] **Duran, Zaide** (2003) Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemlerine Aktarılması, Doktora Tezi.

[3] **Kraus, Karl (**2007) Fotogrametri, Cilt 1, Nobel Basımevi, Ankara

[4] **Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. ve Harley, I.** (2006). Close Range Photogrammetry Principles, Methods and Aplications. Sf. 146.

[5] **Canon USA Inc.** (2006). Canon Full Frame CMOS Sensors: The Finest Tools For Digital Photography, White Paper.

[6] **Url-1** <http://www.photomodeler.com> alındığı tarih: 30.09.2012.

[7] **Hanke, K.** (1995). Accuracy Study Project of Eos Systems' PhotoModeler. University of Innsbruck, Austria.

[8] **Mills. J. P., Peirson, G. C., Newton, I. ve Bryan, P. G.** (2000). Photogrammetric Investigation Into The Suitability Of Desktop Image Measurement Software For Architectural Recording. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B5. Amsterdam.

[9] **Url-2** <http://www.photometrix.com.au/> alındığı tarih: 05.10.2012.

[10] **Url-3** <http://www.iwitnessphoto.com> alındığı tarih: 05.10.2012.

[11] **Nuikka, M., Rönnholm, P., Kaartinen, H., Kukko, A., Suominen, A., Salo, P., Pöntinen, P., Hyyppä, H., Hyyppä, J., Haggrén, H., Absetz, I., Puttonen, J., ve Hirsi, H.** (2008) Comparison of Three Accurate 3d Measurement Methods for Evaluating As-Built Floor Flatness. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing.

[12] **Url-4**<http://homes.esat.kuleuven.be/~visit3d/webservice/v2/index.php> alındığı tarih: 07.10.2012.

[13] **Remondino F.** (2000). Praktikum in Photogrammetry, Investigation and Calibration of Sony DSC-F505 Cybershot, Institue of Geodesy and Photogrammetry ETH-Hönggerberg, Zurih, Switzerland.

EKLER

EK A: Photomodeler Kontrol Noktaları ile Dengeleme Raporu
EK B: Photomodeler Scanner Dengeleme Raporu

EK A

Project Name: pmn2_3(sadece_cp).pmr

Problems and Suggestions (0)
  Project Problems (0)
  Problems related to most recent processing (0)

Information from most recent processing
  Last Processing Attempt: Tue Nov 20 17:02:21 2012
  PhotoModeler Version: 6.4.0.821 - final,full
  Status: successful
  Processing Options
    Orientation: off
    Global Optimization: on
    Calibration: off
    Constraints: on
  Total Error
    Number of Processing Iterations: 2
    Number of Processing Stages: 1
    First Error: 0.445
    Last Error: 0.445
  Precisions / Standard Deviations
    Photograph Standard Deviations
      Photo 1: IMG_1307.JPG
        Omega
          Value: 67.611995 deg
          Deviation: Omega: 0.013 deg
          Correlations over 95.0%: Z:-95.7%
        Phi
          Value: 48.588925 deg
          Deviation: Phi: 0.007 deg
        Kappa
          Value: 16.821576 deg
          Deviation: Kappa: 0.013 deg
        Xc
          Value: 996.290233
          Deviation: X: 3.1e-004
        Yc
          Value: 999.255857
          Deviation: Y: 2.3e-004
        Zc
          Value: 1001.303525
          Deviation: Z: 3.8e-004
          Correlations over 95.0%: Omega:-95.7%
      Photo 2: IMG_1309.JPG
        Omega
          Value: -70.141657 deg
          Deviation: Omega: 0.011 deg
          Correlations over 95.0%: Z:95.8%

Phi
Value: 42.807119 deg
Deviation: Phi: 0.007 deg
Kappa
Value: 165.990277 deg
Deviation: Kappa: 0.011 deg
Xc
Value: 996.195321
Deviation: X: 2.9e-004
Yc
Value: 1002.421359
Deviation: Y: 2.3e-004
Zc
Value: 1001.308425
Deviation: Z: 3.5e-004
Correlations over 95.0%: Omega:95.8%
Photo 3: IMG_1311.JPG
Omega
Value: -104.831258 deg
Deviation: Omega: 0.134 deg
Correlations over 95.0%: Kappa:-99.9%
Phi
Value: 86.483169 deg
Deviation: Phi: 0.010 deg
Correlations over 95.0%: Y:-97.0%
Kappa
Value: -166.041490 deg
Deviation: Kappa: 0.134 deg
Correlations over 95.0%: Omega:-99.9%
Xc
Value: 996.923759
Deviation: X: 2.2e-004
Yc
Value: 1000.759847
Deviation: Y: 4.1e-004
Correlations over 95.0%: Phi:-97.0%
Zc
Value: 1000.713256
Deviation: Z: 3.3e-004
Photo 4: IMG_1308.JPG
Omega
Value: 2.999327 deg
Deviation: Omega: 0.043 deg
Correlations over 95.0%: Kappa:-99.3%, Y:-99.3%
Phi
Value: 75.991476 deg
Deviation: Phi: 0.009 deg
Correlations over 95.0%: Z:-97.9%
Kappa
Value: 86.667533 deg

Deviation: Kappa: 0.040 deg
Correlations over 95.0%: Omega:-99.3%, Y:98.6%
Xc
Value: 996.663229
Deviation: X: 1.6e-004
Yc
Value: 1000.656695
Deviation: Y: 4.1e-004
Correlations over 95.0%: Omega:-99.3%, Kappa:98.6%
Zc
Value: 1001.310006
Deviation: Z: 3.3e-004
Correlations over 95.0%: Phi:-97.9%
Photo 5: IMG_1310.JPG
Omega
Value: 94.209779 deg
Deviation: Omega: 0.013 deg
Correlations over 95.0%: Z:-98.5%
Phi
Value: 51.015966 deg
Deviation: Phi: 0.008 deg
Kappa
Value: -4.198402 deg
Deviation: Kappa: 0.013 deg
Xc
Value: 996.367847
Deviation: X: 3.4e-004
Yc
Value: 999.181197
Deviation: Y: 2.4e-004
Zc
Value: 1000.708914
Deviation: Z: 3.2e-004
Correlations over 95.0%: Omega:-98.5%
Photo 6: IMG_1312.JPG
Omega
Value: -95.115036 deg
Deviation: Omega: 0.013 deg
Correlations over 95.0%: Z:98.6%
Phi
Value: 54.981780 deg
Deviation: Phi: 0.008 deg
Kappa
Value: -176.597858 deg
Deviation: Kappa: 0.014 deg
Xc
Value: 996.640612
Deviation: X: 3.4e-004
Yc
Value: 1002.132492

Deviation: Y: 2.8e-004
Zc
Value: 1000.713533
Deviation: Z: 3.4e-004
Correlations over 95.0%: Omega:98.6%

Quality
Photographs
Total Number: 6
Bad Photos: 0
Weak Photos: 0
OK Photos: 6
Number Oriented: 6
Number with inverse camera flags set: 0
Cameras
Camera1: Canon EOS 550D [28.00]._10_18_2
Calibration: yes
Number of photos using camera: 6
Average Photo Point Coverage: 97%
Photo Coverage
Number of referenced points outside of the Camera's calibrated coverage: 0
Point Marking Residuals
Overall RMS: 0.623 pixels
Maximum: 0.859 pixels
Point 14 on Photo 5
Minimum: 0.623 pixels
Point 11 on Photo 1
Maximum RMS: 0.752 pixels
Point 14
Minimum RMS: 0.438 pixels
Point 11
Point Tightness
Maximum: 0.00041 m
Point 18
Minimum: 0.00015 m
Point 32
Point Precisions
Overall RMS Vector Length: 0 m
Maximum Vector Length: N/A
Point: N/A
Minimum Vector Length: N/A
Point: N/A
Maximum X: N/A
Maximum Y: N/A
Maximum Z: N/A
Minimum X: N/A
Minimum Y: N/A
Minimum Z: N/A

EK B

Project Name: pms3_AutoSave.pmr

Problems and Suggestions (0)
  Project Problems (0)
  Problems related to most recent processing (0)

Information from most recent processing
  Last Processing Attempt: Sat Nov 03 00:48:48 2012
  PhotoModeler Version: 6.4.0.821 - final,full
  Status: successful
  Processing Options
    Orientation: off
    Global Optimization: on
    Calibration: off
    Constraints: on
  Total Error
    Number of Processing Iterations: 4
    Number of Processing Stages: 2
    First Error: 1.284
    Last Error: 1.288
  Precisions / Standard Deviations
    Photograph Standard Deviations
      Photo 1: IMG_1305_ideal.JPG
        Omega
          Value: 1.748600 deg
          Deviation: Omega: 0.004 deg
          Correlations over 95.0%: Y:-99.7%
        Phi
          Value: 0.806158 deg
          Deviation: Phi: 0.003 deg
          Correlations over 95.0%: X:99.4%
        Kappa
          Value: 0.223806 deg
          Deviation: Kappa: 0.001 deg
        Xc
          Value: 0.025046
          Deviation: X: 9.8e-005
          Correlations over 95.0%: Phi:99.4%
        Yc
          Value: -0.051657
          Deviation: Y: 9.4e-005
          Correlations over 95.0%: Omega:-99.7%
        Zc
          Value: -0.082399
          Deviation: Z: 9.1e-005
      Photo 2: IMG_1306_ideal.JPG
        Omega
          Value: 1.989187 deg

Deviation: Omega: 0.004 deg
Correlations over 95.0%: Y:-99.8%
Phi
Value: 0.324952 deg
Deviation: Phi: 0.003 deg
Correlations over 95.0%: X:99.4%
Kappa
Value: 0.000269 deg
Deviation: Kappa: 0.001 deg
Xc
Value: 0.358501
Deviation: X: 9.5e-005
Correlations over 95.0%: Phi:99.4%
Yc
Value: -0.046255
Deviation: Y: 9.7e-005
Correlations over 95.0%: Omega:-99.8%
Zc
Value: -0.080418
Deviation: Z: 8.9e-005
Photo 3: IMG_1301_ideal.JPG
Omega
Value: 5.702882 deg
Deviation: Omega: 0.006 deg
Correlations over 95.0%: Y:-99.0%
Phi
Value: -41.989310 deg
Deviation: Phi: 0.006 deg
Kappa
Value: -3.470521 deg
Deviation: Kappa: 0.004 deg
Xc
Value: -1.002669
Deviation: X: 1.2e-004
Yc
Value: -0.022324
Deviation: Y: 1.2e-004
Correlations over 95.0%: Omega:-99.0%
Zc
Value: -0.623010
Deviation: Z: 1.4e-004
Photo 4: IMG_1304_ideal.JPG
Omega
Value: 4.223279 deg
Deviation: Omega: 0.004 deg
Correlations over 95.0%: Y:-99.7%
Phi
Value: 41.272913 deg
Deviation: Phi: 0.004 deg
Kappa

Value: 3.851466 deg
Deviation: Kappa: 0.002 deg
Xc
Value: 1.301957
Deviation: X: 9.8e-005
Yc
Value: 0.005605
Deviation: Y: 7.6e-005
Correlations over 95.0%: Omega:-99.7%
Zc
Value: -0.605307
Deviation: Z: 7.8e-005

Quality
Photographs
Total Number: 4
Bad Photos: 0
Weak Photos: 0
OK Photos: 4
Number Oriented: 4
Number with inverse camera flags set: 0
Cameras
Camera1: Canon EOS 550D [28.00]._10_18_2
Calibration: yes
Number of photos using camera: 0
Average Photo Point Coverage: 97%
Camera2: Canon EOS 550D [28.00]._10_18_2 - Idealized
Calibration: yes
Number of photos using camera: 4
Average Photo Point Coverage: 97%
Photo Coverage
Number of referenced points outside of the Camera's calibrated coverage: 0
Point Marking Residuals
Overall RMS: 0.123 pixels
Maximum: 0.288 pixels
Point 3192 on Photo 2
Minimum: 0.002 pixels
Point 94 on Photo 2
Maximum RMS: 0.266 pixels
Point 3192
Minimum RMS: 0.002 pixels
Point 94
Point Tightness
Maximum: 0.0001
Point 3171
Minimum: 9.2e-007
Point 94
Point Precisions
Overall RMS Vector Length: 6.27e-005
Maximum Vector Length: 0.00027

Point 181
Minimum Vector Length: 3.54e-005
Point 1140
Maximum X: 5.16e-005
Maximum Y: 4.79e-005
Maximum Z: 0.000261
Minimum X: 1.82e-005
Minimum Y: 1.45e-005
Minimum Z: 2.66e-005

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Kemal Emre ARPACI

Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL - 01.01.1984

E-Posta: kemalemrearpaci@gmail.com

Lisans: İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- (Ekim 2009 - Ocak 2010) Cemre Mühendislik Müteahhitlik Planlama ve Ticaret Ltd. Şti.
- (Ocak 2010 - Kasım 2010) Akropol Bilgisayar Mühendislik Mimarlık Sanayi Tic. Ltd. Şti.
- (Kasım 2010 - Ocak 2013) Mapaktif Coğrafi Bilgi Sistemleri A.Ş.