

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	ii
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	5
2. UYGULAMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	7
2.1 Doğrudan Dönüşüm ile Kamera Kalibrasyonu (Direct Linear Transform, DLT)...	7
2.2 İlave Parametrelerle Işın Desteleri ile Dengeleme	10
2.2.1 Geometrik Koşullar Yardımıyla Kamera Kalibrasyonu	13
2.2.2 Çalışmada Geliştirilen Yöntem.....	17
2.2.3 Bilgisayarla Görme’de Kullanılan Yaklaşımlar	20
3. FOTOGRAMETRİK RÖLÖVE BÜTÜNLEMESİ.....	23
3.1 Yıldız (Hamidiye) Cami Örneği	23
3.1.1 Verilerin Toplanması	25
3.1.2 Fotoğraflar	25
3.1.3 Haritalar	30
3.2 Tek Fotoğraf İçin Çözümler	33
3.3 Çoklu Fotoğraflar İçin Çözümler	39
3.3.1 Yeni Fotoğrafların Değerlendirilmesi.....	39
3.3.2 Eski Fotoğrafların Değerlendirilmesi	41
3.4 Farklı Kalibrasyon Yöntemleri	41
3.4.1 DLT Yöntemi.....	41
3.4.2 Bilgisayarlı Görmede Kullanılan Yöntemler.....	41
3.5 Çalışmada Geliştirilen Yöntemle Uygulama	45
3.5.1 Yıldız Camisi Veri Setiyle Uygulama	46
3.5.2 Yapay Verilerle Uygulama	62
3.6 İrdellemeler	67
3.7 Lazer Tarama	68
3.8 3B Modelleme	69
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR	78
EKLER	87
EK-1 Uygulamada Kullanılan DLT İçin MATLAB Kodları	87
EK-2 Çalışmada Geliştirilen Yöntem İçin MATLAB Kodları	91
EK-3 Kaçış Noktası İle Kalibrasyon İçin MATLAB Kodları.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	102

SİMGE LİSTESİ

- x_0, y_0 : Asal noktanın koordinatları
 c :Asal uzaklık
 c_x, c_y :x ve y yönündeki asal uzaklık
 k : Ölçek faktörü
 k_i :Radyal distorsiyon katsayıları
 L_i : DLT katsayıları
 p_i :Teğetsel distorsiyon katsayıları
 R :Dönüklük matrisi
 r_{ij} :Dönüklük matrisi elemanları
 X, Y, Z :Objekt noktası koordinatları
 X_0, Y_0, Z_0 :İzdüşüm merkezinin koordinatları
 ω, φ, κ : 3 eksenindeki dönüklük açıları

KISALTMA LİSTESİ

- CV : Computer Vision (Bilgisayarla Görme)
CAD :Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
DLT : Direct Lineer Transformasyon
DPI :Dot Per Inch (İnç başına düşen nokta sayısı)
YFA :Yıldız Fotoğraf Albümleri
TLS : Terrestrial Laser Scanning

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Hiyerarşik Model (El-Hakim, vd., 2005)	3
Şekil 2.1 Kaçış noktaları ve izdüşüm merkezi (Rother,2002).....	15
Şekil 3.1: İş Akış Şeması.....	24
Şekil 3.2: Yıldız Cami (http://sehirrehberi.ibb.gov.tr)	25
Şekil 3.3: Kongre kütüphanesindeki fotoğraflar (1890-1895)	26
Şekil 3.4: Yıldız Fotoğraf Albümlerindeki fotoğraflar (1890-1895).....	27
Şekil 3.5: Rollei 6008 yarı-metrik kamerası ile çekilen günümüzdeki fotoğraflar	28
Şekil 3.6 Olympus E20P dijital kamerası ile çekilen günümüzdeki fotoğraflar	29
Şekil 3.7 Osmanlı Dönemi Haritası (1/1000, 1910)	30
Şekil 3.8 Pervititch Haritası (1/600, 1922)	31
Şekil 3.9 1/1000 ölçekli harita (İSTANBUL-F22-d-16-d-4-c)	32
Şekil 3.10 1/5000 ölçekli harita (İSTANBUL-F22-d-21-a, 2005)	32
Şekil 3.11 Eski ve yeni haritalarda Yıldız Camisi.....	33
Şekil 3.12 Kontrol noktalarının dağılımı.....	34
Şekil 3.13 Tek fotoğraf değerlendirmesi	35
Şekil 3.14 Tek fotoğraf değerlendirmesi ile detay çizimi	36
Şekil 3.15 Yapıya ait ilk fotoğrafın projektif dönüşümü.....	37
Şekil 3.16 Kaçış çizgileri.....	38
Şekil 3.17 Asal noktanın konumu	39
Şekil 3.18: Kontrol noktalarının model üzerindeki dağılımı.....	40
Şekil 3.19: Kontrol ve bağlantı noktalarının dağılımı	42
Şekil 3.20 YFA, Olympus E20P ve Rollei 6008'e ait fotoğrafların çekim durumları	60
Şekil 3.21 Rollei 6008 ve YFA fotoğraflarının durumları	60
Şekil 3.22 Rollei 6008 ve Olympus E20P kameraları ile çekilen fotoğrafların durumları	61
Şekil 3.23 Yapay verilerin çekim durumları	62
Şekil 3.24 Lazer Tarama ile yapının ön cephesi.....	68
Şekil 3.25 Nokta kümesi.....	69
Şekil 3.26 Eski fotoğraflarda üretilen 3B model	70
Şekil 3.27 Eski fotoğraflarla doku kaplanmış 3B model.....	70
Şekil 3.28 Günümüzdeki durumunun 3B modeli	71
Şekil 3.29 Günümüzdeki fotoğraflarından dokuyla kaplanmış 3B model	71
Şekil 3.30 Tahrip olan kısma ait 3B nokta kümesi.....	72
Şekil 3.31 Tahrip olan kısmın eski fotoğrafla kaplanmış 3B modeli	73
Şekil 3.32 Eski ve yeni fotoğraflardan üretilen 3B modellerin üst üste çakıştırılması	73
Şekil 3.33 Fotogrametrik ve lazer tarama 3B modellerin bütünleştirilmesi.....	74
Şekil 3.34 Rölöve ve lazer nokta bulutu.....	75

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Obje bilgisine göre uygun yöntemler	34
Çizelge 3.2	Dönüşüm sonuçlarının X ve Y yönündeki karesel ortalama hataları.....	36
Çizelge 3.3	Kaçış noktası yardımıyla 5 nolu fotoğrafın iç yöneltme parametreleri.....	39
Çizelge 3.4:	Dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları.....	40
Çizelge 3.5:	Kontrol ve bağlantı noktalarının doğrulukları.....	40
Çizelge 3.6:	DLT yöntemiyle eski fotoğraflara ait yaklaşık değerler	41
Çizelge 3.7	DLT ile 815-6 nolu fotoğrafa ait sonuçlar.....	43
Çizelge 3.8	DLT ile 815-7 nolu fotoğrafa ait sonuçlar.....	43
Çizelge 3.9	Faugeras'ın yöntemiyle 815-6 nolu fotoğrafa ait sonuçlar	43
Çizelge 3.10	Faugeras'ın yöntemiyle 815-7 nolu fotoğrafa ait sonuçlar	44
Çizelge 3.11	Heikkila'nın yöntemiyle 815-6 ve 815-7 nolu fotoğraflara ait sonuçlar.....	44
Çizelge 3.12:	LPS ile 815-6 ve 815-7 nolu fotoğraflara ait sonuçlar	44
Çizelge 3.13:	Çalışmada geliştirilen yöntemle 3 numaralı fotoğraf yardımıyla eski fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları	47
Çizelge 3.14	Çalışmada geliştirilen yöntemle 18 numaralı fotoğraf yardımıyla eski fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları	47
Çizelge 3.15	Çalışmada geliştirilen yöntemle 815-7 ve 815-6 nolu fotoğrafların aynı kamera ile çekildiğinin kabul edilmesi durumunda sonuçlar	49
Çizelge 3.16	Çalışmada geliştirilen yöntemle 815-7, 815-5 ve 815-6 nolu fotoğrafların aynı kamera ile çekildiğinin kabul edilmesi durumunda sonuçlar	50
Çizelge 3.17	LPS yazılımı ile 815-7 ve 815-6 nolu fotoğrafların aynı kamera ile çekildiğinin kabul edilmesi durumunda sonuçlar	51
Çizelge 3.18	LPS yazılımı ile 815-7, 815-5 ve 815-6 nolu fotoğrafların aynı kamera ile çekildiğinin kabul edilmesi durumunda sonuçlar	52
Çizelge 3.19	DLT yöntemiyle Olympus E20P ile çekilen fotoğraflara ait yaklaşık değerler ..	53
Çizelge 3.20	Çalışmada geliştirilen yöntemle 3 numaralı fotoğraflar yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları.....	54
Çizelge 3.21	Çalışmada geliştirilen yöntemle 3 numaralı fotoğraflar yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları.....	55
Çizelge 3.22	Çalışmada geliştirilen yöntemle 18 numaralı fotoğraf yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları.....	56
Çizelge 2.23	Çalışmada geliştirilen yöntemle 18 numaralı fotoğraflar yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları.....	57
Çizelge 3.24	Çalışmada geliştirilen yöntemle Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların aynı kabul edilmesi durumunda iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları..	58
Çizelge 3.25	Çalışmada geliştirilen yöntemle Olympus E20 P ile çekilen fotoğraflar farklı kabul edilmesi durumunda iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları..	59
Çizelge 3.26	LPS yazılımı ve önerilen yöntemle hesaplanan noktaların koordinat farkları	61
Çizelge 3.27	Dönüklük elemanlarının asal uzaklığa göre değişimi	63
Çizelge 3.28	İzdüşüm merkezinin konumunun asal uzaklığa göre değişimi	64
Çizelge 3.29	İç yöneltme elemanlarının asal uzaklığa göre değişimi	64
Çizelge 3.30	Dönüklük elemanlarının çekim durumlarına göre değişimi.....	65
Çizelge 3.31	İzdüşüm merkezinin konumunun çekim durumlarına göre değişimi.....	66
Çizelge 3.32	İç yöneltme parametrelerinin çekim durumlarına göre değişimi	66

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bana yol gösteren, destek olan, yardımını esirgemeyen ve kendisiyle çalışmaktan mutluluk duyduğum tez danışmanım ve değerli hocam sayın Prof.Dr. Zübeyde ALKIŞ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda ilgi ve yapıcı yorumlarını esirgemeyen değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Abdullah PEKTEKİN, sayın Prof. Dr. Gönül TOZ, sayın Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR, sayın Prof. Dr. Fatmagül BATUK, sayın Prof. Dr. Ayhan ALKIŞ ve sayın Prof. Dr. Ahmet YAŞAYAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam süresince sabır ve anlayış gösteren eşim ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.

Nisan 2009

Yük. Müh. Murat UYSAL

ÖZET

Tarihi eserlerin korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması insanlık adına önemli görevlerden biridir. Günümüzde insanoğluna ve doğal olaylara karşı ayakta hala kalan yapılar olmasına rağmen, tarihi eserlerin birçoğu deprem, sel, erozyon gibi doğal olaylar ve insan aktivitelerinden dolayı yok olmuş veya yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bundan dolayı bu tehlikelere karşı tarihi yapıların dokümantasyonunun yapılması gerekir. Fotogrametri, birçok alanda olduğu gibi mimarlıkta, tarihi eserlerin korunması ve dokümantasyonunda da büyük bir öneme sahiptir. Mimari Fotogrametri, fotogrametrinin en eski dallarından biridir ve yapıların, geometrik doğruluğu yüksek 3B modellerinin üretiminde kullanılır. Geçen zaman içerisinde 3B modelleme yöntemlerindeki ilerlemelere paralel olarak 3B modellerin kullanım alanları da genişlemiştir. Kamera kalibrasyonu ve yöneltme işlemleri görüntülerden güvenilir 3B bilgi elde etmek için gereklidir.

Kültürel mirasın korunmasında fotogrametri ve lazer tarama yöntemleri birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Kısmen yok olmuş yapıların yeniden oluşturulmasında kayıtların yetersizliği nedeniyle büyük problemlerle karşılaşmaktadır. Tarihi yapıların, dokümantasyonu fotogrametri ve lazer tarama gibi yöntemlerle yapılabilmesine rağmen tahrip olmuş kısımlara ait bilgilerin elde edilmesi mümkün değildir. Tarihi fotoğraflar bu iş için sadece görsel bilgi niteliğinde kullanılmaktadır. Ancak tarihi fotoğraflar yapıya ait önemli bilgiler taşır. Tarihi fotoğraflar yardımıyla objenin 3B yeniden oluşturulması için bir takım çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, bir kısmı tahrip olan kültürel mirasın korunması için fotogrametri ve lazer tarama yöntemlerinin birlikte kullanılması Yıldız Camisi örneğinde gerçekleştirilmiştir. Eski fotoğraflar, yeni fotoğraflar ve lazer tarama verileri yardımıyla yapının dokümantasyonu yapılmıştır. Yapıya ait eski fotoğrafların kamera parametrelerinin, yeni çekilen fotoğraflardan belirlenmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem için yeni fotoğrafların uygun çekim durumunun belirlenmesi amacıyla yapay verilerle uygulamalar yapılmıştır. Bilgisayarla görme ve fotogrametride yaygın olarak kullanılan kamera kalibrasyon yöntemleri ile uygulamalar yapılmıştır. Fotogrametrist olmayan mimar, arkeolog gibi diğer kullanıcılar içinde yapıya ait eski fotoğraflardan güvenilir bilgilerin elde edilmesi için farklı çözüm yolları sunulmuştur. Ayrıca kamera parametrelerinin farklı yöntemlerle hesaplanmasındaki doğruluk araştırılmıştır. Fotogrametri ve lazer tarama verilerinden üretilen yapının günümüzdeki ve tahrip olmadan önceki durumuna ait 3B modelleri birleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: **Kamera Kalibrasyonu, Kültürel Miras, Tarihi Yapılar, Eski Fotoğraflar, DLT, Işın Desteleri ile Dengeleme, Lazer Tarama**

3D RECONSTRUCTION OF HISTORICAL BUILDINGS BY MEANS OF GEOMETRICAL CONDITIONS

ABSTRACT

Conservation of historical monuments and transferring them to future generations is one of important tasks of mankind. Today, although there are many historical monuments which have stood against humankind and the natural events, most of them have been destroyed by natural events such as earthquakes, floods, erosion and human activities or face destruction. Documentation of historical buildings must be fulfilled against these threats. Photogrammetry, as in many fields is very important in architecture documentation and conservation of historical monuments. Architectural Photogrammetry is one of the oldest branches in photogrammetry and used in the production 3D models of building with high geometric accuracy. Together with advances in methods of 3D modeling in time, usage of 3D models has also become widespread. Camera calibration and image orientation processes are required to obtain reliable 3D information.

Photogrammetry and laser scanning method are used together to protect cultural heritage. Due to insufficient records for creating partially destroyed monuments, serious problems have been met. Documentation of historical monuments by photogrammetry and laser scanning can be made, but acquiring information in damaged sections is impossible. Historical photographs serve only as visual information; however, they bear important information about buildings. With help of historical photographs some studies have been made for 3D reconstruction of objects.

In this study, utilization of photogrammetry with laser scanning methods for conservation of partially damaged cultural heritage is demonstrated in the example of Yildiz Mosque. Documentation of the building is made by old and new photographs along with laser scanning data. A method developed for determination of camera parameters of old photographs from recently taken photographs. Applications by artificial data were made for determination of appropriate positions of new photographs for methods developed. Applications were made by camera calibration methods, which have widely used in photogrammetry and computer vision. Various solutions were suggested for obtaining reliable information from old photographs for other users, who are not photogrammetrists, such as architects and archeologists. In addition, accuracy of camera parameters in different methods was investigated. Current and previous 3D models of the mosque, which were produced from photogrammetry and laser scanning data, were combined.

Keywords: Camera Calibration, Cultural Heritage, Historical Monuments, Old Photographs, DLT, Bundle Adjustment, Laser Scanning

1. GİRİŞ

Tarihi yapıların birçoğu deprem, sel, erozyon ve yangın gibi doğal olaylar veya insan aktiviteleri ile tamamen ya da kısmen yok olmuştur. Günümüzde birçok tarihi yapı ise yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Tarihi yapıların korunması ile ilgili hususlar ulusal ve uluslararası kanunlarla belirlenmiştir. 1972 yılındaki Paris konferansında mimari ve kültürel mirasın korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması tüm katılımcı devletlerin güvencesi altına alınmıştır (UNESCO, 1972). 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ile korunması gerekli kültür ve tabiat varlıklarının belirlenmesi, yapılacak işlemler ve faaliyetler ve uygulayacak teşkilatın kuruluş ve görevleri tespit edilmiştir. Aynı kanunun tanımlar kısmında, “ *“Koruma” ve “Korunma”; taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarında muhafaza, bakım, onarım, restorasyon, fonksiyon değiştirme işlemleri; taşınır kültür varlıklarında ise muhafaza, bakım, onarım ve restorasyon işleridir.*” şeklinde tanımlanmıştır. Venedik Tüzüğü’nün, 2. maddesi “*Kültür varlığının korunması ve onarımı için, mimari mirasın incelenmesine ve korunmasına yardımcı olabilecek bütün bilim ve tekniklerden yararlanılmalıdır*” şeklinde ifade edilmiştir.

Tarihi eserlerin korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması çağdaş toplumların yapması gereken önemli faaliyetlerden biridir. Bu nedenle mevcut tarihi yapıların dokümantasyonunun yapılması gereklidir. Günümüz teknolojisinde yaşanan gelişmeler sayesinde mevcut yapılarla ilgili bu çalışmaları hızlı ve doğru bir şekilde yapmak mümkündür. Fakat günümüze kadar tamamı ya da bir kısmı tahrip olmuş yapıların sadece günümüzdeki mevcut kısımlarının dokümantasyonu yapılabilmektedir. Tahrip olan kısımlarına ait güvenilir bilgiler her zaman elde edilememektedir.

Fotogrametri, objenin fotoğrafları yardımıyla obje hakkında güvenilir 3B bilgiler elde etme bilimi ve tekniği olarak tanımlanabilir. Fotoğraflar kullanarak mimari objelerin dokümantasyonu fikri ilk Meydanbauer tarafından verilmiştir. Fotogrametri, birçok alanda olduğu gibi mimarlıkta, tarihi eserlerin korunması ve dokümantasyonunda da önemli katkılar sağlar. Mimari Fotogrametri, fotogrametrinin en eski dallarından biridir ve yapıların geometrik doğruluğu yüksek 3B modellerinin üretiminde kullanılmaktadır. Geçen zaman içerisinde 3B modelleme yöntemlerindeki ilerlemelere paralel olarak 3B modellerin kullanım alanları da genişlemiştir. Bilgisayar oyunlarından bilimsel araştırmalara kadar birçok farklı alanda 3B modellere gereksinim duyulmaktadır.

Tarihi yapıların 3B yeniden oluşturulması için son yıllarda, 3B modelleme yazılımı, görüntü tabanlı modelleme teknikleri, bilgisayar teknolojisi, sanal gerçeklik ve lazer tarama tekniğindeki gelişmelerden dolayı 3B sayısallaştırma ve modelleme kullanımında yaygın bir artış olmuştur. Bu amaç için farklı yaklaşımlar kullanılır. Bu yaklaşımlar fotogrametri, lazer tarama ve klasik ölçme yöntemlerine dayanır. Bununla beraber klasik yaklaşımlar büyük ölçekli yerler için pratik değildir. Çok zaman alıcı ve maliyetlidir. Son zamanlarda lazer tarama verilerine dayanan modelleme yöntemleri ve daha çok otomatik olan görüntü tabanlı teknikler kullanılmaya başlamıştır. Bununla beraber, temel şekil ve yapısal elemanlar için görüntü tabanlı teknikleri, ince detaylar ve heykel yüzeyleri için lazer taramayı kullanan karma yaklaşımlarda önerilmektedir (El-Hakim vd., 2004). Tarihi yapıların ve yerlerin 3B yeniden oluşturulmasındaki önemli nedenler aşağıdaki şekilde sıralanabilir (El-Hakim vd., 2002).

- Deprem, taşkın, savaş, erozyon, yangın vb. nedenlerden zarar görmüş tarihi yapılar ve objelerin restorasyonu ve yeniden oluşturma için dokümantasyon
- Araştırmacılar ve öğrenciler için eğitim kaynaklarının oluşturulması
- Sadece bir bölümü ya da büyük bir kısmı tahrip olmuş tarihi yapıların yeniden oluşturulması
- Boyut ve ulaşılabilirlik gibi nedenlerden dolayı görüş olmayan noktalardan manzaranın görselleştirilmesi
- Zarar verme riski olmaksızın objelerle etkileşim
- Sanal turizm ve sanal müze sergilerinin sağlanması

Özellikle son yıllarda teknolojide yaşanan gelişimlere paralel olarak objelerin 3B yeniden oluşturulması ve daha gerçekçi modelleme ihtiyaçları yukarıda sıralanan nedenlerle birlikte artmıştır. Amaç insanın duyu organlarıyla algıladığı çevrenin bir benzerini sanal ortamda oluşturma çabasıdır. Tabii ki bu anlamda talepler sadece tarihi yapıların oluşturulmasıyla sınırlı değildir. Fakat 3B yeniden oluşturma ile ilgili olarak yapılacak bir çok uygulamada önem sırasına göre sıralanmış 8 gereksinim El-Hakim vd. (2002) tarafından belirtilmiştir.

- Yüksek geometrik doğruluk
- Tüm detayların elde edilmesi
- Foto-gerçekçilik (Photo-realism)
- Yüksek otomasyon seviyesi
- Düşük maliyet
- Taşınabilirlik
- Esnek uygulama
- Model boyut verimliliği

Bu gereksinimlerin önem sırası çalışmanın amacına göre değişmektedir. Bu 8 gereksinimin tümünü sağlayacak tek bir sistem günümüzde henüz mevcut değildir. 3B modellerin özellikle çok çeşitlilikteki objeler ve ulaşılması güç yerler için tamamen otomatik bir sistem ile hassas bir şekilde elde edilmeleri zordur (El-Hakim vd., 2002). Fotogrametri ve Bilgisayarla Görme (Computer Vision, C.V.) topluluklarında, 3B yeniden oluşturma konusu üzerinde oldukça fazla çalışmalar yapılmaktadır ve farklı yöntemler ortaya konulmaktadır. Genellikle uygun bir sınıflandırma yapmak oldukça zor olmaktadır. El-Hakim vd. (2002, 2004) çalışmalarında 3B oluşturmaya 3 gruba ayırmışlardır.

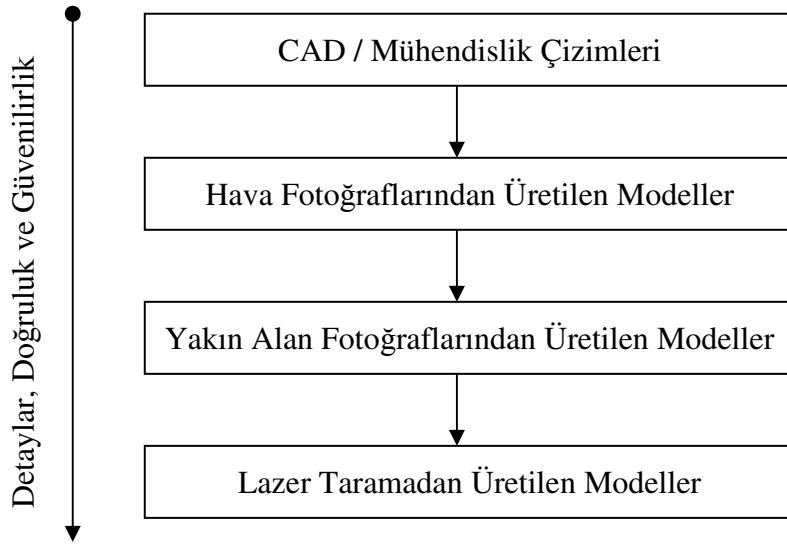
- Geometrik tabanlı modelleme (CAD, Mühendislik çizimleri ve arazi ölçümleri)
- Görüntü tabanlı modelleme
- Dizi tabanlı modelleme (Lazer tarayıcı gibi)

Kültürel mirasın dokümantasyon projelerinin birçoğunda bu yöntemlerden sadece biri kullanırken bazı projelerde bir kaç yöntemin birleşimi kullanır. Yapılacak çalışmanın özelliği ve yukarıda belirtilen 8 gereksinim göz önünde bulundurularak bu yaklaşımlardan biri ya da bir kaçı beraber kullanılabilir.

Genel olarak 3B modelleme çalışmaları aşağıdaki aşamalar ile gerçekleştirilir.

- Verilerin toplanması
- Verilerin değerlendirilmesi
- Modelleme

3B modelleme çalışmaları veri toplama işlemlerinde kullanılan donanıma göre bir takım farklılıklar gösterir. Donanımlar, yukarıda belirtilen 8 gereksinim göz önünde bulundurularak belirlenebilir. El-Hakim, vd., (2005) çalışmalarında detay, doğruluk ve güvenilirliği veri kaynağına bağlı olarak hiyerarşik bir modelde göstermişlerdir (Şekil 1.1). Şekil 1.1 de görüldüğü gibi yukarıdan aşağıya doğru detay, doğruluk ve güvenilirlik artmaktadır.



Şekil 1.1 Hiyerarşik Model (El-Hakim, vd., 2005)

Görüntü tabanlı yaklaşımlarda objenin 3B modellenmesi, görüntü elde etmeyle başlayan ve 3B sanal model üretimiyle son bulan işlemlerin bütünüdür. Peyzaj ya da objelerin 3B modellerinin üretimi fotogrametri ve bilgisayarla görme alanlarında önemli bir araştırma problemidir. 3B sayısal modeller kontrol, navigasyon, obje tanımlama, görselleştirme ve animasyon gibi birçok uygulama için gereklidir. Son zamanlarda özellikle kültürel mirasın sayısal ortamda arşivlenmesi için çok önemli olmaya başlamıştır (Remondino,2006). Görüntü tabanlı yaklaşımlar mevcut donanımla geniş oranda kullanılmaktadır. Ayrıca görüntü tabanlı yaklaşımlar gerçekçi modelleri üretme kapasitesine ve fotogrametri'nin yüksek geometrik doğruluğuna sahiptir.

3B modelleme işlemleri verilerin toplanmasıyla başlayan bir süreçtir. Bu nedenle verilerin toplandığı zaman önemlidir. Özellikle tarihi yapılar için yapılan çalışmalarda, çalışmanın amacına göre yapının ilk haliyle ya da belirli bir tarihteki durumuna ait bilgiler istenmektedir. Bu durumda yapının o zamandaki durumuna ait bilgi ve belgelere ihtiyaç duyulmaktadır. Yapıya ait daha önce yapılmış rölöveler, eski fotoğraflar, haritalar, planlar, kayıtlar ve gezgin notları gibi bilgiler bu çalışmalar için kullanılabilir. Fakat bu veri kaynaklarını bulmak ve güvenilir bilgiler elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Yapıya ait eski fotoğraflar genellikle görsel bilgi niteliğinde kullanılmaktadır. Yapıya ait fotoğraflardan her zaman güvenilir metrik bilgiler elde etmek mümkün değildir. Genellikle yapıya ait fotoğraf ya da fotoğraflar fotogrametrik amaçlarla çekilmemişlerdir ve kamera bilgileri mevcut değildir.

Tarihi yapının mevcut durumuna ait yapılacak çalışmalar için farklı yöntemler kullanılabilir. Yapının tahrip olmuş kısmına ait güvenilir bilgilerin elde edilmesi oldukça zahmetli bir çalışmadır. Çoğu zaman eldeki verilerin yetersizliği nedeniyle istenilen sonuca ulaşılamamaktadır. Yapıların eski fotoğrafları yardımı ile yeniden oluşturulmasıyla ilgili olarak fotogrametri ve bilgisayarla görme alanlarında çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüze kadar ayakta kalmayı başaran tarihi yapılar bu zamana kadar pek çok bakım ve onarım görmüştür. Bu esnada çoğu tarihi yapının bir takım özellikleri korunamamış ve maalesef günümüze ilk haliyle ulaşamamıştır. Tarihi yapının tahrip olmadan önce çekilen fotoğrafları, planları ve diğer belgeler yapı hakkında önemli bilgiler taşırlar.

Fransız Bilimler Akademisinden Arago tarafından 1839 yılında fotoğrafın bulunmasının duyurulmasıyla başlayan bu süreçte gelişen teknolojiyle birlikte çevremizdeki çoğu önemli yapının fotoğrafları bir şekilde kayıt altına alınmıştır. Fakat bu fotoğraflar farklı amaçlarla çekildiklerinden dolayı, fotogrametrik olarak değerlendirilmeleri ve güvenilir metrik bilgilerin elde edilmesi her zaman mümkün değildir. Ayrıca fotoğrafın bulunduğu ilk yıllarda çekilen fotoğrafların kendisinde tarihi eser niteliğindedir. Eski fotoğraflar yapının 100 – 150 yıl öncesindeki durumuna ait bilgileri taşıyan eşsiz bir veri kaynağıdır. Fotoğraflar yapıya ait sadece görsel bilgileri değil aynı zamanda yapı ile ilgili konumsal bilgileri de taşırlar. Bu fotoğraflardan konuma ait bilgilerin çıkartılması pek mümkün değildir. Fotoğraflar tahrip olan tarihi yapılar için çok önemli bir veri kaynağıdır. Yapıya ait bu fotoğraflar için en uygun değerlendirme yöntemleriyle güvenilir bilgiler elde etmek mümkündür.

Tarihi fotoğraflar genellikle tarihçiler, mimarlar ve restaratörler için önemli görsel bilgi kaynağıdır. Bu fotoğraflar görsel bilginin yanında obje hakkındaki konumsal bilgileri de içerir. Tarihi yapıların tarihi fotoğraflarından dokümantasyonu ve 3B modellenmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Bitelli vd., 2007, Kalisperakis vd. 2003, Wiedemann vd., 2000). Hemleb, (1999) ve Bräuer-Burchardt vd (2001) tarihi fotoğrafların rektifiyesi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Çeşitli araştırmacılar Meydanbauer'in arşivindeki görüntüleri kullanarak tarihi yapıların yeniden oluşturulmasıyla ilgili çalışmalar yapmıştır (Wiedemann vd., 2000 ve Heuvel, 2001a, 2001b, 2003). Chandler ve Cooper, (1989) tarihi fotoğraflarla yapılan fotogrametrik çalışmalarda değerlendirme için uygun fotoğrafın elde edilmesinde, yer kontrol noktalarının yetersizliği ve kamera parametrelerinin bilinmemesi gibi problemlerle karşılaşıldığını belirtmişlerdir.

Afganistan'daki Buda heykellerinin 3B yeniden oluşturulması için çalışmalar yapılmıştır.

(Gruen vd. 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2004). Taliban güçleri tarafından tahrip edilmiş Buda heykellerinin 3B modellerinin oluşturulabilmesi için 3 farklı fotoğraf veri seti kullanılmıştır. İlk veri seti, farklı zamanlarda çekilen, kamera parametreleri bilinmeyen, farklı çözünürlüğe ve boyuta sahip internet üzerinde bulunan 4 düşük çözünürlüklü görüntüden oluşmaktadır. İkinci veri seti ise, 1970 yılında çekilen yüksek çözünürlüklü metrik fotoğraflardır. Üçüncü veri seti, 1965 ve 1969 yılları arasında çekilen bazı turistik amaçla çekilen amatör görüntülerden oluşmaktadır. Bu 3 veri setinden yararlanarak Büyük Budanın 3B modeli elde edilerek 1/25 ölçeğinde fiziksel bir kopyası üretilmiştir.

Heuvel (2003) Meydanbauer arşivinde bulunan fotoğraftan bir yapının 3B yeniden oluşturulması için obje üzerindeki diklik, paralellik ve simetri bilgisinden yararlanmıştır. Kaçış noktası bilgisini kullanarak kamera parametrelerini belirlemiştir. Benzer şekilde Bräuer-Burchardt ve Voss , (2001a, 2001b) yok olmuş yapıların cephelerinin yeniden oluşturulması için kaçış noktası bilgisinden yararlanmıştır. Novak, (1986) kaçış noktası bilgisinden yararlanarak kamera parametrelerini hesaplanmıştır. Bräuer-Burchardt ve Voss (1999) obje bilgisi ve fotoğraflar yardımıyla objenin 3B modelinin elde edilmesinde paralellik ve diklik gibi koşulları kullanmışlardır.

Görüntü transferi ve obje yeniden oluşturma ile ilgili işlerde Temel Matrise (Fundamental matrix) dayalı yaklaşımlar kullanılmıştır (Theiss, vd. (2000), Barakat ve Mikhail, 1998). Dönen kameranın yöneltme ve kalibrasyon örnekleri ve kendi etrafında dönen kamera sistemi ile elde edilen görüntülerden 3B obje yeniden oluşturma imkanı ortaya konmuştur (Remondino ve Börlin,2006). Salvi vd (2002) ve Armangue (2003) farklı kamera kalibrasyon yöntemlerini karşılaştırdılar. Wang vd. (2008) mercek distorsiyonu için yeni kamera modeli önermişlerdir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması gelişmiş toplumların en önemli faaliyetlerindedir. Günümüzde teknolojiye yaşanan gelişmeler kültürel mirasın korunması için önemli katkılar sağlamaktadır. Fotogrametri kültürel mirasın dokümantasyonu için çok önemli imkanlar sunmaktadır. Kültürel mirasın dokümantasyonunda lazer tarayıcıların kullanımı önemli derecede artmıştır. Lazer tarayıcılarla obje yüzeyine ait hızlı ve güvenli milyonlarca nokta kümesi üretmek mümkündür. Fakat bu teknolojik imkanlar günümüze kadar ayakta kalabilen tarihi yapılar için söz konusudur. Günümüze kadar ayakta kalamayan ya da bir takım değişikliklere uğrayarak günümüze kadar ayakta kalan yapıların orijinal olarak dokümantasyonunun yapılabilmesi için ise çok fazla bir alternatif yoktur.

Bu çalışmanın amacı, bir kısmı tahrip olmuş yapıların tahrip olan kısımlarına ait bilgilerin fotogrametrik tekniklerle elde edilmesidir. Bu çalışmada kültürel mirasın dokümantasyonu için fotogrametri ve lazer taramanın birleştirilme potansiyeli araştırılmıştır. Yapının tahrip olmadan önceki ve günümüzdeki durumunun dokümantasyonu; fotogrametri ve lazer tarama yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla hazırlanmıştır. Fotogrametri ile lazer taramanın güçlü yönleri birleştirilerek detaylı ve görsel kalitesi yüksek 3B modelleri üretmek mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada yapının tahrip olmadan önceki durumuna ait fotoğraflar, haritalar, planlar vb. bilgi ve belgeler yardımıyla tarihi yapının dokümantasyonu yapılmıştır. Bu çalışmada sadece bir örnek üzerinde çalışma yapılmıştır. Ülkemizde aynı özelliğe sahip yüzlerce tarihi yapı bulunmaktadır. Bu yapıların, tahrip olmuş kısımlarının dokümantasyonunu çalışmada geliştirilen yöntem yardımıyla yapmak mümkündür.

Çalışmada, öncelikle yapının tahrip olmadan önce çekilen fotoğraflarının iç yöneltme parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bir kısmı tahrip olmuş yapılara ait eski fotoğrafların iç yöneltme parametrelerinin günümüzde çekilen fotoğraflar yardımıyla elde edilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Bunun için yaygın olarak kullanılan doğrudaşlık (kolinearite) eşitlikleri; yeni iki fotoğrafın görüntü koordinatları, iç ve dış yöneltme parametrelerine göre düzenlenerek bir bağıntı elde edilmiştir. Önerilen yöntemle ilgili detaylı bilgiler 2. bölümde verilmiştir. Çalışmada ayrıca, bilgisayarla görme ve fotogrametri alanlarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerle uygulamalar yapılmıştır.

2. UYGULAMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1 Doğrudan Dönüşüm ile Kamera Kalibrasyonu (Direct Linear Transform, DLT)

Abdel Aziz ve Karara (1971) tarafından önerilen yöntem doğrudan doğrusal dönüşüm yöntemidir. Yöntemin avantajı basit ve hızlı olmasıdır. 3B obje koordinatları ile 2B görüntü koordinatları arasındaki ilişkiler 11 parametre ile ifade edilmiştir.

$$x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad (2.1)$$

$$y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

Bu eşitlikte $L1, \dots, L11$ DLT katsayılarını, x, y fotoğraf koordinatlarını ve X, Y, Z obje uzay koordinatlarını göstermektedir. Bu eşitliğe ilave parametreler eklenip yeniden düzenlenirse,

$$x + \Delta x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad (2.2)$$

$$y + \Delta y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= \bar{x} (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1 (r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2 \bar{x}\bar{y} \\ \Delta y &= \bar{y} (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 2p_1 \bar{x}\bar{y} + p_2 (r^2 + 2\bar{y}^2) + A_1 \bar{x} + A_2 \bar{y} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \bar{x} &= x - x_0 \\ \bar{y} &= y - y_0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$r^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2 \quad (2.5)$$

Bu bağıntılara ilaveten iki eşitlik daha yazılabilir ki bunlar genişletilmiş DLT yönteminde kullanılabilir. Bu bağıntılardan ortogonallik koşuluna dayalı olarak DLT katsayıları üretilebilir.

$$(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2) - (L_5^2 + L_6^2 + L_7^2) + \frac{(L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11})^2 - (L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11})^2}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} = 0 \quad (2.6)$$

$$(L_1L_5 + L_2L_6 + L_3L_7) - \frac{(L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11})(L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11})}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} = 0$$

DLT katsayıları ile iç ve dış yöneltme parametreleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$x_0 = \frac{(L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11})}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} \quad (2.7)$$

$$y_0 = \frac{(L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11})}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} \quad (2.8)$$

$$c_x = \sqrt{\frac{(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} - x_k^2} \quad (2.9)$$

$$c_y = \sqrt{\frac{(L_5^2 + L_6^2 + L_7^2)}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} - y_k^2} \quad (2.10)$$

$$c = \frac{(c_x + c_y)}{2} \quad (2.11)$$

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} L_1 & L_2 & L_3 \\ L_5 & L_6 & L_7 \\ L_9 & L_{10} & L_{11} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} L_4 \\ L_8 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$\omega = \tan^{-1} \left(-\frac{L_{10}}{L_{11}} \right) \quad (2.13)$$

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{-L_9}{\sqrt{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)}} \right) \quad (2.14)$$

$$\kappa = \cos^{-1} \left(\frac{(L_1 - x_h L_9)}{\cos \varphi \sqrt{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)}} \right) \quad (2.15)$$

DLT katsayılarının belirlenmesinde aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir.

$$f = x + \Delta x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad (2.16)$$

$$g = y + \Delta y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

$$c_1 = (L_1^2 + L_2^2 + L_3^2) - (L_5^2 + L_6^2 + L_7^2) + \frac{(L_5 L_9 + L_6 L_{10} + L_7 L_{11})^2 - (L_1 L_9 + L_2 L_{10} + L_3 L_{11})^2}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} \quad (2.17)$$

$$c_2 = (L_1 L_5 + L_2 L_6 + L_3 L_7) - \frac{(L_1 L_9 + L_2 L_{10} + L_3 L_{11})(L_5 L_9 + L_6 L_{10} + L_7 L_{11})}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} \quad (2.18)$$

$$c_3 = x_0 - \frac{(L_1 L_9 + L_2 L_{10} + L_3 L_{11})}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} \quad (2.19)$$

$$c_4 = y_0 - \frac{(L_5 L_9 + L_6 L_{10} + L_7 L_{11})}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} \quad (2.20)$$

$$c_5 = c - \sqrt{\frac{(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)}} - x_0^2 \quad (2.30)$$

$$c_6 = c - \sqrt{\frac{(L_5^2 + L_6^2 + L_7^2)}{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)}} - y_0^2 \quad (2.31)$$

Bu eşitlikler, bilinmeyenlere göre doğrusal hale getirilerek en küçük kareler yöntemine göre hesaplanır. İteratif çözümde bilinmeyen parametrelerin hesabında yeterli yakınsama oluncaya kadar iterasyona devam edilir.

Yeni noktaların koordinatlarının bulunması ve DLT yönteminin konum doğruluğunun araştırılması için uzay önden kestirme işlemi yapılması gerekir.

$$\begin{bmatrix} L_1 - \bar{x}L_9 & L_2 - \bar{x}L_{10} & L_3 - \bar{x}L_{11} \\ L_5 - \bar{y}L_9 & L_6 - \bar{y}L_{10} & L_7 - \bar{y}L_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_4 - \bar{x} \\ L_8 - \bar{y} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

3B uzayda bir noktanın koordinatlarının hesaplanabilmesi için en az iki fotoğrafta bulunması gereklidir. Bu eşitlik ikiden fazla fotoğraf için genişletilerek uygulanabilir.

2.2 İlave Parametrelerle Işın Desteleri ile Dengeleme

Tutarlı ve doğru yöneltme işlemine fotogrametrik ışın desteleri ile dengeleme ile ulaşılmaktadır (Brown,1976). Nokta ve çizgi özellikler dengelemenin gözlemleri olarak kullanılabilirler. Işın desteleri ile dengelemenin matematiksel modeli kollinearite eşitliğidir. Yani obje noktası, fotoğraf düzleminde bu noktaya karşı gelen nokta ve izdüşüm merkezi aynı doğru üzerindedir. Kollinearite denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$F_x = x - x_0 = -c \frac{Z_x}{N} + \Delta x \quad (2.33)$$

$$F_y = y - y_0 = -c \frac{Z_y}{N} + \Delta y$$

$$\begin{aligned} Z_x &= r_{11}(X_i - X_0) + r_{21}(Y_i - Y_0) + r_{31}(Z_i - Z_0) \\ Z_y &= r_{21}(X_i - X_0) + r_{22}(Y_i - Y_0) + r_{32}(Z_i - Z_0) \\ N &= r_{13}(X_i - X_0) + r_{23}(Y_i - Y_0) + r_{33}(Z_i - Z_0) \end{aligned} \quad (2.34)$$

$$x - x_0 = -c \frac{r_{11}(X_i - X_0) + r_{21}(Y_i - Y_0) + r_{31}(Z_i - Z_0)}{r_{13}(X_i - X_0) + r_{23}(Y_i - Y_0) + r_{33}(Z_i - Z_0)} + \Delta x \quad (2.35)$$

$$y - y_0 = -c \frac{r_{21}(X_i - X_0) + r_{22}(Y_i - Y_0) + r_{32}(Z_i - Z_0)}{r_{13}(X_i - X_0) + r_{23}(Y_i - Y_0) + r_{33}(Z_i - Z_0)} + \Delta y$$

x, y : görüntü koordinatları

x_0, y_0 : asal noktanın konumu

c : asal uzaklık

X, Y, Z : obje noktası koordinatları

X_0, Y_0, Z_0 : izdüşüm merkezi koordinatları

r_{ij} : R Kameranın 3 eksenindeki dönüklüğünü ifade eden dönüklük matrisinin elemanları

$\Delta x, \Delta y$: İlave parametreler

Kollinearite modeli sistematik hataları içine alacak şekilde ilave parametreler ile genişletilebilir (Wolf ve Dewitt, 2000).

$$\Delta x = (x - x_0)(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1(r^2 + 2(x - x_0)^2) + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \quad (2.36)$$

$$\Delta y = (y - y_0)(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + 2P_1(x - x_0)(y - y_0) + P_2(r^2 + 2(y - y_0)^2)$$

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (2.37)$$

Fotogrametrik olarak kalibrasyon ve yöneltme işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntem ilave parametrelerle ışın desteleri ile dengeleme yöntemidir (Gruen ve Beyer, 2001 Remondino, 2006).

Işın desteleri eşitliğinin çözümü ile ilave parametreler, iç ve dış yöneltme parametreleri ile obje noktalarının konumları belirlenebilir. (2.33) eşitlikleri bilinmeyenlerin çözümü için gözlem denklemleridir. Gözlem denklemleri bilinmeyenlere göre doğrusal değildir ve bilinmeyenlerin çözülmesi için doğrusallaştırılması gerekir. Eşitliği doğrusal hale getirmek için Taylor serisine açılarak 1. derece terimler alınır, diğer terimler ihmal edilir. Sistemin çözümü en küçük kareler yöntemine göre yapılır. A katsayılar matrisi, e gerçek hata vektörü, l gözlemlerin vektörü ve x bilinmeyenler vektörü olmak üzere;

$$l - e = Ax \quad (2.38)$$

\hat{x} bilinmeyenler vektörünün hesaplanması iteratif olarak yapılır. Bunun için bilinmeyenlerin yaklaşık değerlerine ihtiyaç duyulur. Yaklaşık değerlerin çözümü doğrusal yöntemlerle yapılabilir. Bilinmeyenlerin yaklaşık değerleriyle başlayan çözümde, bilinmeyenlerin son bulunan değerleri ile bir önceki iterasyondan bulunan değerleri aralarındaki fark belirlenen değere ulaşmaya kadar iterasyona devam edilir (Remondino, 2006).

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} (A^T P l) \quad (2.39)$$

P gözlemlerin ağırlık matrisidir.

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & & \\ & \frac{1}{\sigma_2^2} & \\ & & \ddots \\ & & & \frac{1}{\sigma_n^2} \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

$$v = A\hat{x} - l \quad (2.41)$$

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{v^T P v}{n - u}} \quad (2.42)$$

n gözlem sayısı, u bilinmeyen sayıdır. Bilinmeyenlerin hesaplanmasından sonra yeni obje noktalarının koordinatları bulunur. Hesaplanan koordinatlar ve dengeleme modelinden doğruluk ve duyarlık analizi yapılabilir. Hesaplanan kontrol noktalarının X,Y ve Z bileşenleri için standart sapmaları (Beyer, 1992, Karşlı, 2004);

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} \quad (2.43)$$

$$\sigma_{x_i} = \sigma_0 \sqrt{Q_{x_i x_i}}, \quad \sigma_{y_i} = \sigma_0 \sqrt{Q_{y_i y_i}}, \quad \sigma_{z_i} = \sigma_0 \sqrt{Q_{z_i z_i}} \quad (2.44)$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{x_i}^2}{n_X}}, \quad \sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{y_i}^2}{n_Y}}, \quad \sigma_Z = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{z_i}^2}{n_Z}} \quad (2.45)$$

n_X, n_Y, n_Z denetleme nokta sayısıdır. Karesel ortalama hata, bilinen nokta koordinatları ile hesapla bulunan nokta koordinat farklarından (2.46) eşitliği ile hesaplanır.

$$\mu_X = \sqrt{\frac{\sum (X^r - X_i)^2}{n_X}}, \quad \mu_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y^r - Y_i)^2}{n_Y}}, \quad \mu_Z = \sqrt{\frac{\sum (Z^r - Z_i)^2}{n_Z}} \quad (2.46)$$

Burada X^r, Y^r, Z^r denetleme noktalarının referans koordinatlarıdır (Beyer,1992 ve Karşlı,2004).

Eşitlik 2.43 de Q_{xx} normal denklem matrisinin tersinden (ölçeklenmemiş kovaryans matrisi olarak adlandırılan), K_{xx} simetrik kovaryans matrisi hesaplanır.

$$K_{xx} = \hat{\sigma}_0^2 Q_{xx} \quad (2.47)$$

Hassasiyet ölçmeleri kovaryans matrisinden hesaplanır (Grün,1978). İlk olarak K_{xx} in köşegen elemanların fonksiyonu dengelemenin her bilinmeyen standart sapmalarını gösterir.

$$\hat{\sigma}_{kk} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{q_{kk}} \quad (2.48)$$

İkinci olarak, hesaplanan obje nokta koordinatlarının hassasiyetinin değerlendirilmesi kovaryans matrisinin izinin kullanılmasıyla elde edilebilir. Q_{xx} matrisi (q_{ii} elemanları ile) bilinmeyen parametrelerin korelasyonu ile ilgilidir.

$$\rho_{ij} = \frac{q_{ij}}{\sqrt{q_{ii}q_{jj}}} \quad (2.49)$$

ρ_{ij} nin mutlak değeri 1'e yakınsarsa parametreler arasında yüksek korelasyona işaret eder. Eğer yüksek korelasyonlu parametreler varsa, ikisinden biri sabitlenmeli ya da dengelemeden kaldırılmalıdır. (Remondino, 2006)

2.2.1 Geometrik Koşullar Yardımıyla Kamera Kalibrasyonu

Fotogrametrik çalışmalarda genellikle metrik kameralar kullanılır. Bu kameraların iç yöneltme parametreleri ve mercek distorsiyon parametreleri önceden laboratuvar ortamında hassas bir şekilde belirlenir. Fakat eski yapılara ait fotoğraflar genellikle amatör kameralarla çekilmiştir ve bu kameralara ait iç yöneltme parametreleri genelde bilinmemektedir. Bu bilgileri elde etmek için kameranın kalibrasyonunun yapılması gereklidir. Eğer sabit odak uzaklıklı kamera kullanılıyorsa iç yöneltme parametrelerinin zamanla ilişkili olarak değişmediği göz önünde bulundurulur. Bu durumda kamera kalibrasyonu; dış yöneltme parametrelerinin belirlenmesine indirgenir. Bu problem fotogrametride sık sık uzay geriden kestirme problemi olarak adlandırılır.

Klasik kalibrasyon yada uzay geriden kestirme yöntemleri, problem çözümünde kontrol noktaları kullanırlar. Kontrol noktalarının koordinatları görüntü ve obje referans sisteminde bilinir. Modelin doğrusal olmayışı ve sayısal görüntülerde nokta konumlarındaki problemler klasik yaklaşımların temel problemidir. Noktalar yerine çizgilerin kullanılması problemin çözümüne yeni bakış açıları sağlamıştır. Noktalar yerine çizgisel modellerin (Lenz ve Tsai 1988, Fischler ve Bolles 1981) ya da çizgisel özelliklerin kullanımı (Tommaselli ve Lugnani 1988, Mulawa ve Mikhail 1988, Tommaselli ve Tozzi 1996, Prescott ve McLean 1997, Quan ve Kanade 1997) da araştırılmıştır. Prescott ve McLean (1997), Tsai'nin noktaya dayalı doğrusal yöntemi ile radyal mercek distorsiyonunun kalibrasyonu için çizgiye dayalı yaklaşımları karşılaştırmışlar ve çizgiye dayalı yaklaşımların benzer sonuçlar gösterdiğini belirtmişlerdir.

Kaçış noktası ile kamera parametrelerinin hesaplanması fotogrametri ve bilgisayarla görme topluluklarında önemli araştırma konularından biridir. Bu konu ile ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Kaçış noktaları yardımıyla kamera kalibrasyonu için bina vb. detaylar uygundur. Genellikle düz hatlı çizgiler oldukça fazladır ve diklik, paralellik, doğrusallık ve simetri gibi obje bilgileri oldukça fazladır. Bundan dolayı binaların kalibre edilmemiş kameralarla çekilen fotoğraflarından kaçış noktaları yardımıyla iç yöneltme parametreleri hesaplanır. Örnek olarak otomatik araçlar ve robot navigasyonu ya da obje yeniden oluşturma alanları verilebilir.

Kaçış noktası tesbiti ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır (Barnard, 1983; Quan ve Mohr, 1989; Brillault ve O'Mahony, 1991; Heuvel, 1998, Tuytelaars vd., 1998; Coughlan ve Yuille, 1999; Rother, 2002; Rother, 2002, Grammatikopoulos, 2007). Literatürdeki yaklaşımlar,

- Kutupsal uzaydaki yaklaşımlar
- Gauss küresine dayalı yaklaşımlar olarak iki gruba ayrılabilir.

Polar uzayda, görüntü düzlemindeki noktalar 2.50 eşitliğine göre sinisoidal olarak dönüştürülürler.

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2.50)$$

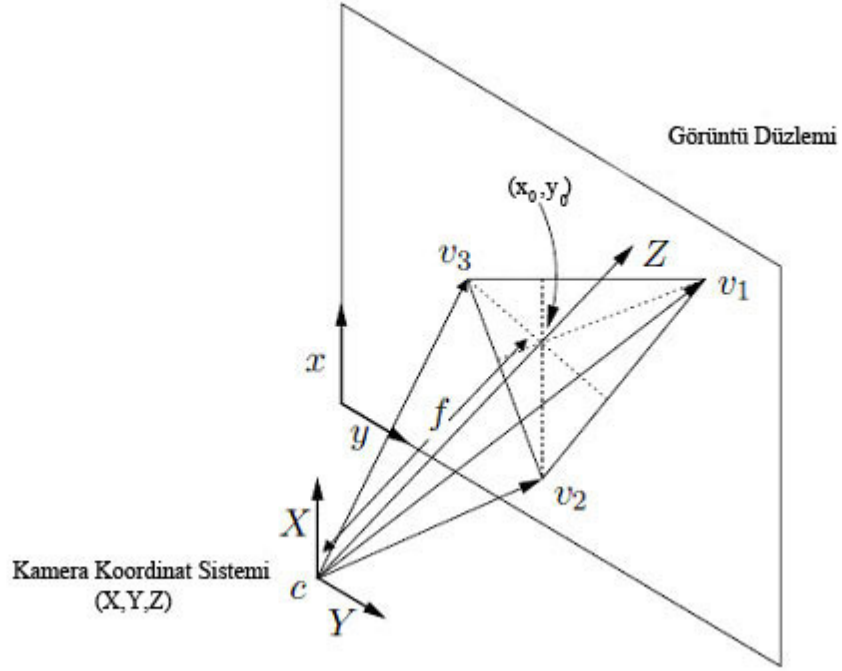
x ve y görüntü düzlemindeki p noktasının koordinatları, ρ ise koordinat sisteminin orjininden p noktasından geçen düz bir çizginin geometrik yerine kadar olan en kısa mesafedir. Kutupsal uzayı kullanmanın asıl avantajı parametrelerin sınırlı olmasıdır. Görüntü düzleminde aynı düz çizgi üzerinde bulunan noktalar kutupsal uzayda tek noktada kesişen sinüsoidlere karşılık gelir.(Avinash, vd., 2005)

İlk olarak Barnard (1983) tarafından önerilen Gauss küresine dayalı teknikler, kaçış noktasının hesaplanmasında optik merkezle çakışık birim yarı çaplı küreyi kullanır. Sonlu ve sonsuzdaki kaçış noktalarının her ikisini de gösterebilmesi Barnard'ın yönteminin asıl avantajı olmasına rağmen, çeşitli sınırlamalarda vardır.

1980'lerden beri otomasyon üzerine yoğunlaşan ilk çalışmaların çoğunda hesaplama gücü çok sınırlıydı. Bu problem Gauss küresi üzerine görüntüdeki çizgi parçalarının eşlenmesiyle basitleştirilir (Barnard,1983). Diğer bir yüzey üzerine görüntü eşlemesinde kaçış noktası ve çizgi parçaları arasındaki mesafenin dikkate değer şekilde değiştiği düşünülür. Caprile ve Torre (1990), yöntemi mercek distorsiyonunu hesaba katmaz, kaçış noktalarının özelliklerine dayanır. Eğer uzayda 3 ortogonal doğrultuda kaçış noktaları bulunursa o zaman bu üçgenin diklerinin kesim noktası asal noktaya karşılık gelir.

Kaçış noktasıyla iç yöneltme parametrelerinin hesaplanması

Birbirine dik üç ana doğrultudaki kaçış noktalarının oluşturduğu üçgenin, yüksekliklerinin kesim noktası asal noktanın konumunu $P(x_0, y_0)$ verir (Şekil 2.1). Kameranın diğer iç yöneltme parametresi asal uzaklık, kaçış noktalarının birbirine dik üç eksende olmasından dolayı izdüşüm merkezi ile kaçış noktaları arasındaki vektörlerin birbirlerine dik olmasından yararlanarak hesaplanabilir. (Rother,2002).



Şekil 2.1 Kaçış noktaları ve izdüşüm merkezi (Rother,2002)

Bu vektörler birbirlerine dik olduğundan dolayı skaler çarpımları sıfırdır.

$$\langle V_1 V_2 \rangle = \langle V_2 V_3 \rangle = \langle V_3 V_1 \rangle = 0 \quad (2.51)$$

Kaçış noktasının koordinatları 2.52 eşitliği ile ifade edilir (Bräuer-Burchardt ve Voss,2000).

$$\begin{aligned} V_1 &= (\xi_1 - x_0, \eta_1 - y_0, -f)^T \\ V_2 &= (\xi_2 - x_0, \eta_2 - y_0, -f)^T \\ V_3 &= (\xi_3 - x_0, \eta_3 - y_0, -f)^T \end{aligned} \quad (2.52)$$

f odak uzaklığı üç kaçış noktasının ikisi ve asal nokta tarafından belirlenir.

$$f = \left(- \left[(x_0 - x_i)(x_0 - x_j) + (y_0 - y_i)(y_0 - y_j) \right]^{1/2} \right) \quad i, j \in 1,2,3; i \neq j \quad (2.53)$$

Eğer asal uzaklık biliniyorsa o zaman iki kaçış noktası yardımıyla üçüncü kaçış noktası $V_k = (\xi_k, \eta_k)$ eşitlik (2.54) ile hesaplanır (Bräuer-Burchardt ve Voss, 2001a, 2001b).

$$\begin{aligned} \xi_k &= x_0 + \frac{f^2}{q^2}(x_0 - x_L) \\ \eta_k &= y_0 + \frac{f^2}{q^2}(y_0 - x_L) \quad k \in 1,2,3 \end{aligned} \quad (2.54)$$

$P_L (x_L, y_L)$, P den diğer iki kaçış noktasını birleştiren düz hatlı çizgiye inilen dikin kestiği noktadır. q ise P ve P_L arasındaki mesafedir.

Asal Nokta Dönüşümü

Kanatani (1988) tarafından önerilen asal nokta dönüşümü kullanılarak üç ana doğrultunun birine dik herhangi bir düzleme dönüştürülmesiyle hesaplanabilir. Bu dönüşüm verilen görüntü noktası (ξ, η) asal noktaya göre dönüştürülür. Projeksiyon merkezi ve p den geçen t ışını yardımıyla optik eksene döndürülebilir. t'ye ortogonal düzlemler, dönüşümden sonra görüntü düzlemine paraleldir. Projektif ve affin distorsiyonun kaldırılması sebebiyle 2B görüntü düzleminde benzerlik dönüşümü yardımıyla 3B koordinatlardan daha hassas olarak eşlenir. Üç kaçış noktasından birine dönüştürülmesi 5 parametrelili 2B-2B dönüşümdür. (Kanatani 1988, Bräuer-Burchardt ve Voss 2001a, 2001b).

$$(\xi', \eta', 1)^T = \text{norm} T(\xi, \eta, 1)^T \quad (2.55)$$

Dönüşüm matrisi,

$$T = C^{-1}RC \quad (2.56)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

R dönüklük matrisi,

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = (1 - \cos \alpha) \begin{bmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \end{bmatrix} (s_x, s_y, s_z) + \begin{bmatrix} \cos \alpha & -s_z \sin \alpha & s_y \sin \alpha \\ s_z \sin \alpha & \cos \alpha & -s_x \sin \alpha \\ -s_y \sin \alpha & s_x \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

$$\alpha = \arctan \frac{\sqrt{(x_0 - \xi_q)^2 + (y_0 - \eta_q)^2}}{f} \quad (2.59)$$

$$\mathbf{v}_s = (\mathbf{v}_t \times \mathbf{v}_c) \quad (2.60)$$

$$\mathbf{v}_t = (x_0 - \xi_q, y_0 - \eta_q, -f)^T \quad (2.61)$$

$$\mathbf{v}_c = (0, 0, -f)^T \quad (2.62)$$

$$(s_x, s_y, s_z)^T = \frac{\mathbf{v}_s}{|\mathbf{v}_s|} \quad (2.63)$$

Eğer kaçış noktalarının üçü asal noktadan çok uzak değilse bu yöntemle çok iyi sonuçlar elde edilir. Aksi takdirde, kaçış noktalarından biri sonsuzda ise, kaçış noktasının hesaplanması hatalı olur ve odak uzaklığı ve asal noktanın hesabı sayısal olarak kararsız olur (Bräuer-Burchardt ve Voss, 2001a, 2001b).

Eğer koşullar iyi ise objenin ana düzlemlerinin dönüşümü kolaylıkla elde edilebilir. Kameranın optik eksenini yatay alınarak fotoğraf çekilirse yani düşey kaçış noktası sonsuzda olursa daha önce bahsedilen yöntemle asal noktanın konumu belirlenemez. Bu nedenle çözüm için üç kaçış noktası ya da iki kaçış noktası ile kamera odak uzaklığının bilinmesi gerekir.

2.2.2 Çalışmada Geliştirilen Yöntem

Tarihi yapıların tahrip olmadan önceki durumlarına ait fotoğrafların kamera bilgileri mevcut değildir. Bu fotoğraflardan doğru ve güvenilir bilgilerin elde edilmesi için kamera kalibrasyonu ve yöneltme işlemlerinin doğruluğu önemlidir. Bu amaçla, yapının tahrip olmuş durumuna ait bilgiler taşıyan eski fotoğraflara ilaveten yapının şu anki durumuna ait fotoğrafları yarı metrik bir kamera ile çekilmiştir. Yeni fotoğraflar ile eski fotoğraflara ait kamera bilgileri elde edilmiştir. Eski ve yeni fotoğrafların görüntü koordinatlarını tek bir bağıntıda ifade edebilmek için kolinearite eşitlikleri yeniden düzenlenmiştir.

Görüntü koordinatları ve obje koordinatları arasındaki ilişki kolinearite eşitlikleri yardımıyla matris formunda ifade edildiğinde;

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.64)$$

Aynı obje noktasının koordinatları her iki fotoğrafın koordinatlarına göre yazılırsa ve bir birine eşitlenirse (2.65) eşitliği elde edilir.

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \lambda_1 R_1 \begin{bmatrix} x_{1i} - x_{01} \\ y_{1i} - y_{01} \\ -c_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{01} \\ Y_{01} \\ Z_{01} \end{bmatrix} = \lambda_2 R_2 \begin{bmatrix} x_{2i} - x_{02} \\ y_{2i} - y_{02} \\ -c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{02} \\ Y_{02} \\ Z_{02} \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{01} \\ Y_{01} \\ Z_{01} \end{pmatrix} + \frac{1}{k_1} R_1^T \begin{pmatrix} x_1 - x_{01} \\ y_1 - y_{01} \\ -c_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{02} \\ Y_{02} \\ Z_{02} \end{pmatrix} + \frac{1}{k_2} R_2^T \begin{pmatrix} x_2 - x_{02} \\ y_2 - y_{02} \\ -c_2 \end{pmatrix} \quad (2.66)$$

2.66 eşitliği her iki fotoğrafın koordinatlarına göre ifade edilirse,

$$R_1 \begin{pmatrix} X_{01} \\ Y_{01} \\ Z_{01} \end{pmatrix} + \frac{1}{k_1} R_1 R_1^T \begin{pmatrix} x_1 - x_{01} \\ y_1 - y_{01} \\ -c_1 \end{pmatrix} = R_1 \begin{pmatrix} X_{02} \\ Y_{02} \\ Z_{02} \end{pmatrix} + \frac{1}{k_2} R_1 R_2^T \begin{pmatrix} x_2 - x_{02} \\ y_2 - y_{02} \\ -c_2 \end{pmatrix} \quad (2.67)$$

(2.67) eşitliğini düzenlendiğinde;

$$\begin{aligned} DZ_i &= Z_i - Z_{02} \\ \Delta Z &= Z_{02} - Z_{01} \\ \Delta Y &= Y_{02} - Y_{01} \\ \Delta X &= X_{02} - X_{01} \end{aligned} \quad (2.68)$$

$$\begin{pmatrix} x_1 - x_{01} \\ y_1 - y_{01} \\ -c_1 \end{pmatrix}_i = k_1 R_1^T \left(R_2 + \frac{1}{DZ} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{231} & r_{232} & r_{233} \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} x_2 - x_{02} \\ y_2 - y_{02} \\ -c_2 \end{pmatrix}_i \quad (2.69)$$

$$R_1 \begin{pmatrix} x_1 - x_{01} \\ y_1 - y_{01} \\ -c_1 \end{pmatrix}_i = k_1 R_1 R_1^T \left(R_2 + \frac{1}{DZ} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{231} & r_{232} & r_{233} \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} x_2 - x_{02} \\ y_2 - y_{02} \\ -c_2 \end{pmatrix}_i \quad (2.70)$$

(2.70) eşitliği düzenlenirse,

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{y}_1 \\ -c_1 \end{pmatrix}_i = k_1 \left(R_2 + \frac{1}{DZ} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{231} & r_{232} & r_{233} \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} x_2 - x_{02} \\ y_2 - y_{02} \\ -c_2 \end{pmatrix}_i \quad (2.71)$$

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{y}_1 \\ -c_1 \end{pmatrix}_i = k_1 \left[\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} + \frac{1}{DZ} \begin{pmatrix} \Delta X r_{31} & \Delta X r_{32} & \Delta X r_{33} \\ \Delta Y r_{31} & \Delta Y r_{32} & \Delta Y r_{33} \\ \Delta Z r_{31} & \Delta Z r_{32} & \Delta Z r_{33} \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} x_2 - x_{02} \\ y_2 - y_{02} \\ -c_2 \end{pmatrix}_i \quad (2.72)$$

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{y}_1 \\ -c_1 \end{pmatrix}_i = k_1 \begin{pmatrix} r_{11} + \frac{\Delta X}{DZ} r_{31} & r_{12} + \frac{\Delta X}{DZ} r_{32} & r_{13} + \frac{\Delta X}{DZ} r_{33} \\ r_{21} + \frac{\Delta Y}{DZ} r_{31} & r_{22} + \frac{\Delta Y}{DZ} r_{32} & r_{23} + \frac{\Delta Y}{DZ} r_{33} \\ r_{31} + \frac{\Delta Z}{DZ} r_{31} & r_{32} + \frac{\Delta Z}{DZ} r_{32} & r_{33} + \frac{\Delta Z}{DZ} r_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 - x_{02} \\ y_2 - y_{02} \\ -c_2 \end{pmatrix}_i \quad (2.73)$$

Kamera distorsiyon hatası dikkate alınıp (2.73) eşitliği yeniden düzenlenirse,

$$(x_2 - x_{02})c = (x_2 - x_{02})(1 - K_1 r^2) \quad (2.74)$$

$$(y_2 - y_{02})c = (y_2 - y_{02})(1 - K_1 r^2)$$

$$f(x) = \bar{x}_{1i} = \frac{-c_1}{(Z_i - Z_{01})} \left((Z_i - Z_{02}) \frac{r_{11}(x_{2i} - x_{02})_c + r_{12}(y_{2i} - y_{02})_c + r_{13}(-c_2)}{r_{31}(x_{2i} - x_{02})_c + r_{32}(y_{2i} - y_{02})_c + r_{33}(-c_2)} + \Delta X \right) \quad (2.75)$$

$$f(y) = \bar{y}_{1i} = \frac{-c_1}{(Z_i - Z_{01})} \left((Z_i - Z_{02}) \frac{r_{21}(x_{2i} - x_{02})_c + r_{22}(y_{2i} - y_{02})_c + r_{23}(-c_2)}{r_{31}(x_{2i} - x_{02})_c + r_{32}(y_{2i} - y_{02})_c + r_{33}(-c_2)} + \Delta Y \right)$$

Eşitlik doğrusal hale getirilip en küçük kareler yöntemine göre iteratif olarak çözülmüştür. (2.75) eşitliği için objenin Z değerleri gerekmektedir. Böylece iç ve dış yöneltme parametreleri bilinen kamera ve obje noktalarının Z değerleri yardımıyla diğer kameranın iç ve dış yöneltme parametreleri hesaplanabilir. Eğer yeni çekilen fotoğraflara ait iç ve dış

yönelme parametreleri bilinirse, her iki fotoğrafta görülen noktaların görüntü koordinatları ve obje Z değerleri yardımıyla eski fotoğrafa ait iç ve dış yönelme parametreleri (2.75) eşitlikleri yardımıyla hesaplanabilir. Hesaplama işlemleri birden daha çok eski ve yeni fotoğraflar için uygulanabilir.

2.2.3 Bilgisayarla Görme’de Kullanılan Yaklaşımlar

Bilgisayarla görmede kamera kalibrasyonu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bilgisayarlı görmede yapılan kalibrasyon işlemleri genellikle koordinatları belirli bir referans gride ait görüntüler yardımıyla yapılır. Tsai (1987), Faugeras ve Toscani (1986), Heikkila ve Silven (1997) ve Zhang (2000) tarafından önerilen yöntemler yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir.

Tsai’nin yönteminde üretici tarafından kameranın bazı bilgilerinin sağlandığı kabul edilir. İkinci derece radyal distorsiyon modeli kullanılır. Tegetsel distorsiyon parametreleri dikkate alınmaz. İki adımlı yöntem tek ya da çoklu görüntüler için uygulanabilir. Tsai’nin iki adımlı kalibrasyon tekniği hızlı ve başlangıç paramaterelerine gereksinim duymaz. İlk adımda, tüm dış parametreler hesaplanır. İkinci adımda tüm parametreler doğrusal olmayan optimizasyonla elde edilir (Zollner ve Sablatnig, 2004, Salvi vd., 2002, Gonzalez, vd. 2005, Sun ve Cooperstock, 2006).

Faugeras ve Toscani tarafından önerilen yöntemde distorsiyon dikkate alınmamıştır. Bu yöntemde dönüklük matrisi ortogonalı optimizasyon prosedürleri kullanılarak projeksiyon matrisi elde edilir. İlk hesaplama yöntemin yakınsaması için gereklidir. Kalibrasyon parametreleri projeksiyon matrisinin ayrıştırılmasıyla elde edilebilir (Gonzales, vd. 2005, Salvi, vd., 2002).

Heikkila’nın yönteminde başlangıç değerleri DLT kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanır. Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak doğrusal olmayan en küçük kareler hesaplaması iç yönelme ve distorsiyon parametrelerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu yöntemde hem radyal distorsiyon hemde tegetsel distorsiyon iki parametre ile modellenir. Başlangıçta doğrusal yöntem (DLT) bazı parametrelerin başlangıç değerlerinin elde edilmesinde kullanılır. Levenberg-Marquardt yöntemi hata fonksiyonunu minimize için kullanılır (Gonzales, vd. 2005, Sun ve Cooperstock, 2006).

Bilgisayarla görmede tercih edilen yöntemler genellikle otomasyon ve hız önceliklidir. Bu nedenle hazır kalibrasyon modellerinin kullanılması yada kameraya ait bazı bilgiler gerekmektedir. Bu yöntemlerden bazıları eskiden çekilen görüntüler için uygun değildir. Çünkü kalibrasyon için kalibrasyon giridinin fotoğraflarının çekilmesi gerekmektedir.

Obje koordinatları ile kamera koordinatları arasındaki ilişki eşitlik (2.76) ile ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + T \quad (2.76)$$

$$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \quad (2.77)$$

Burada, obje ve kamera koordinat sistemi arasındaki R dönüklük matrisini T ise öteleme vektörünü göstermektedir.

$$\begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = \frac{f}{z} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.78)$$

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.79)$$

$$\alpha = \frac{fs_x}{d_x} \quad (2.80)$$

$$\beta = \frac{f}{d_y} \quad (2.81)$$

(x_u, y_u) distorsiyonsuz görüntü koordinatları, (x_d, y_d) distorsiyonlu görüntü koordinatlarını f odak uzaklığını, (u_0, v_0) görüntü merkezini, s_x görüntü ölçeğini ve d_x, d_y ise x ve y eksenlerindeki piksellerin boyutunu göstermektedir.

Faugeras'ın yönteminde distorsiyon dikkate alınmamıştır. Tsai ve Heikkila, yöntemlerinde distorsiyonu dikkate almışlardır. Tsai'ye göre distorsiyon eşitlik (2.82) görüldüğü gibi sadece radyal distorsiyonun bir parametresi ile modellenmiştir.

$$\begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = (1 + k_1 r^2) \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \end{bmatrix} \quad (2.82)$$

$$r = \sqrt{x_d^2 + y_d^2} \quad (2.83)$$

Heikkilä ise eşitlik (2.84) de görüldüğü gibi radyal ve teğetsel distorsiyonu dikkate almıştır.

$$\begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2p_1 x_d y_d + p_2 (r^2 + 2x_d^2) \\ p_1 (r^2 + 2y_d^2) + 2p_2 x_d y_d \end{bmatrix} \quad (2.84)$$

3. FOTOGRAMETRİK RÖLÖVE BÜTÜNLEMESİ

Kültür varlıklarının korunması için fotogrametri ve lazer tarama yöntemlerinin birlikte kullanılması önemli katkılar sağlar. Bu amaçla tahrip olmuş yapılara ait, tahrip olmadan önceki fotoğrafları, günümüzdeki fotoğrafları ve lazer tarama verileri ile yapının dokümantasyonu yapılmıştır. Uygulama için İstanbul Beşiktaş'ta bulunan Yıldız (Hamidiye) Camisi seçilmiştir. Yıldız Camisine ait eski fotoğraflar farklı değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilip tahrip olan kısma ait rölöve çizimleri ve 3B modelleri elde edilmiştir. Ayrıca yapının ön cephesine ait lazer tarama verilerinden 3B nokta kümesi elde edilmiştir.

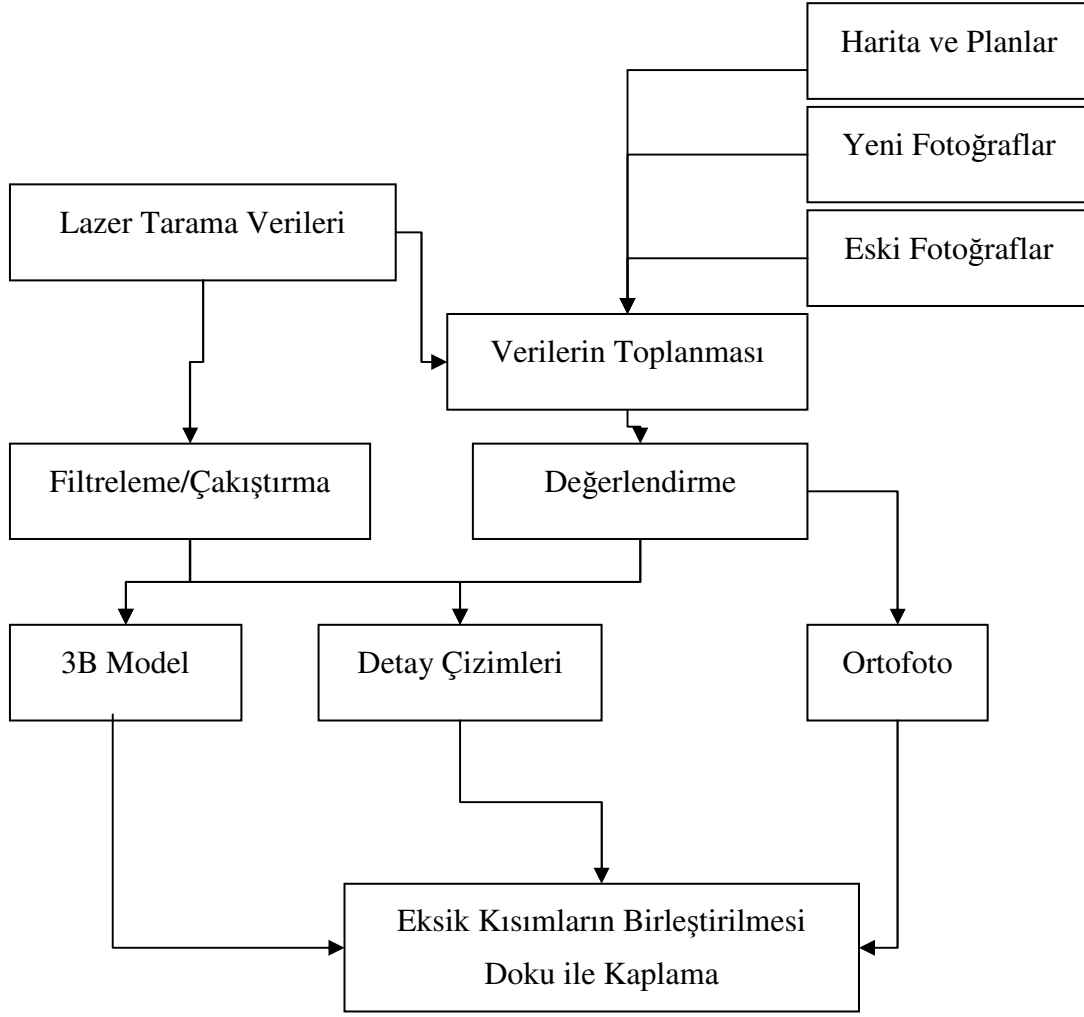
3.1 Yıldız (Hamidiye) Cami Örneği

Geçen zaman içerisinde tarihi yapıların tahribatına en iyi örneklerden birisi Beşiktaş'ta bulunan Yıldız Camisidir. Yıldız Cami yapıldığı ilk yıllarda geçirdiği büyük tahribatla günümüze kadar gelmiştir. Bu çalışmada Yıldız Camisine ait eski ve yeni fotoğraflar mevcut yöntemlerle ve çalışmada geliştirilen yöntemle değerlendirilmiştir. Yapılan uygulamada eski fotoğraflar, yeni fotoğraflar ve lazer tarama verileri kullanılmıştır. Elde edilen eski ve yeni duruma ait 3B modeller ve rölöveler birleştirilmiştir. Çalışmada sadece yapıya ait fotoğraflardan değil konumsal veri içeren harita ve planlardan da faydalanılmıştır. Yapılan çalışmaya ait iş akış şeması Şekil 3.1 de verilmiştir.

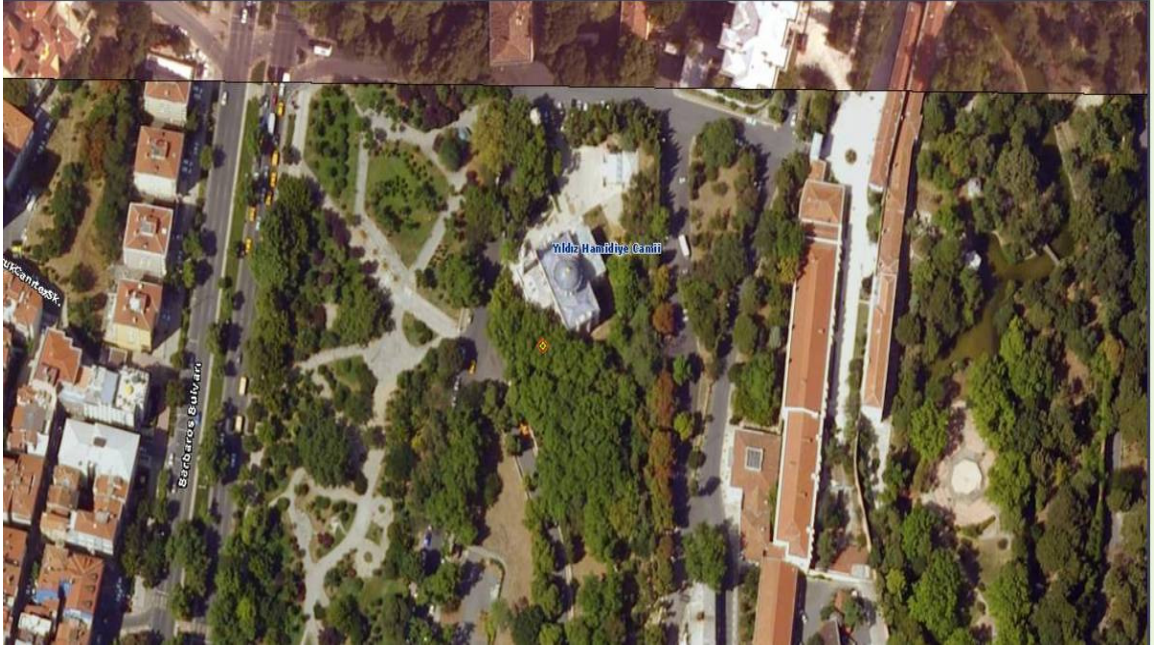
Çalışmada geliştirilen yaklaşım için gerçek verilerle ve yapay verilerle ayrı ayrı uygulama yapılmıştır. Yapay verilerle yapılan uygulamada yeni fotoğrafların çekildikleri kameranın asal uzaklığı ve konumunun, eski fotoğrafın kamera parametrelerinin belirlenmesine etkisi araştırılmıştır. Yapının çevresinin zamanla değiştiği düşünülürse istenilen her noktadan fotoğraf çekme imkanı maalesef yoktur. Bu nedenle eski ve yeni fotoğrafları birlikte değerlendirmek için yeni fotoğrafların olası çekim noktaları araştırılmıştır.

Yıldız Camisi II. Abdülhamid tarafından 1884-1886 yılları arasında yaptırılmıştır. Mimari olarak diğer camilerden farklılık gösteren cami barok tarzında yapılmıştır. 21 Temmuz 1905 yılında II. Abdülhamid'e düzenlenen suikast sonucu meydana gelen patlamada caminin ön cephesi hasar görmüştür. Kavisli mermer merdivenler ve yağmur cumbaları tamamen yıkılmış ve bahçedeki saat kulesi büyük zarar görmüştür. Günümüzdeki durumu ile eski fotoğraflar karşılaştırıldığında caminin ön cephesinde önemli değişiklikler olduğu görülmektedir.

Yapının tahrip olmayan kısımlarında uygun dağılımda ve fotoğrafta net olarak görülebilen doğal ve işaretli noktalar kontrol noktası olarak alınmış ve koordinatları hesaplanmıştır. Günümüzdeki durumuna ait fotoğraflar değerlendirilmiş ve dış yöneltme parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca bu değerlendirme esnasında yapı üzerinde eski ve yeni fotoğraflarda net olarak görülen ve değişmediği kabul edilen noktaların koordinatları fotogrametrik olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1: İş Akış Şeması



Şekil 3.2: Yıldız Cami (<http://sehirrehberi.ibb.gov.tr>)

3.1.1 Verilerin Toplanması

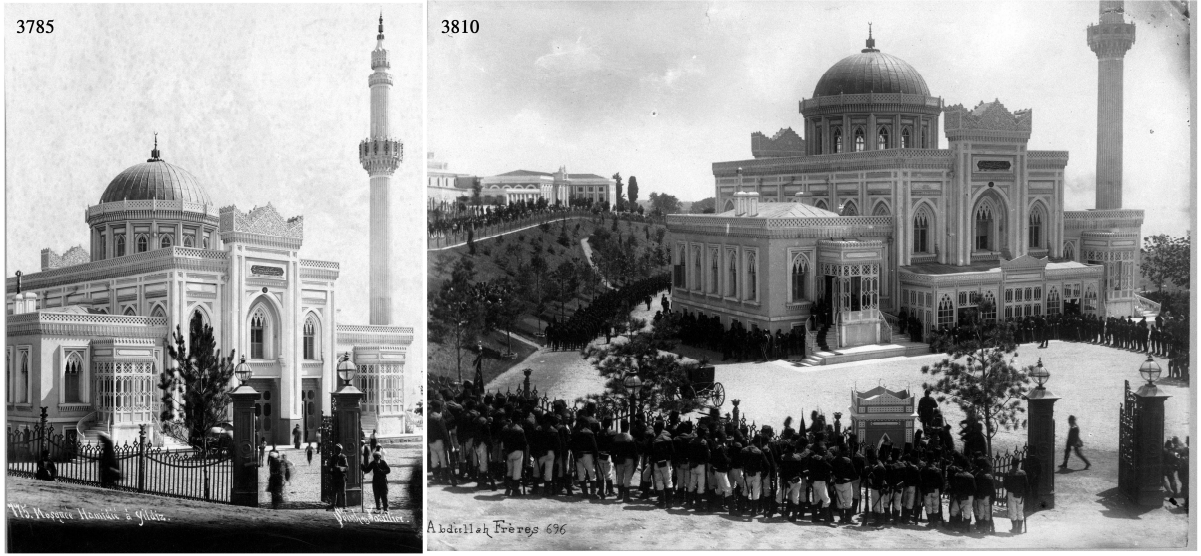
Yapının tahrip olan kısımlarına ait bilgilerin elde edilmesi için yapının tahrip olmadan önceki fotoğraflarına, harita, plan vb bilgi ve belgelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verileri elde etmek için çok iyi bir araştırma yapılmalıdır. Yıldız Camisine için yapılan araştırmalar sonucunda bir takım haritalara ve yapının tahrip olmadan önceki fotoğraflarına ulaşılmıştır. Bununla beraber yapının günümüzdeki durumunun dokümantasyonu için yapının hem günümüzdeki durumuna ait fotoğrafları hemde lazer tarama verileri kullanılmıştır.

3.1.2 Fotoğraflar

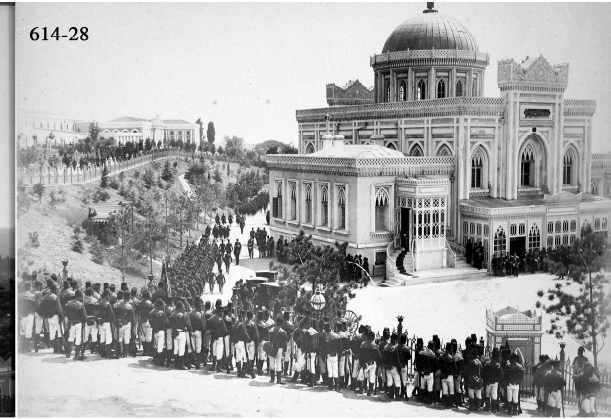
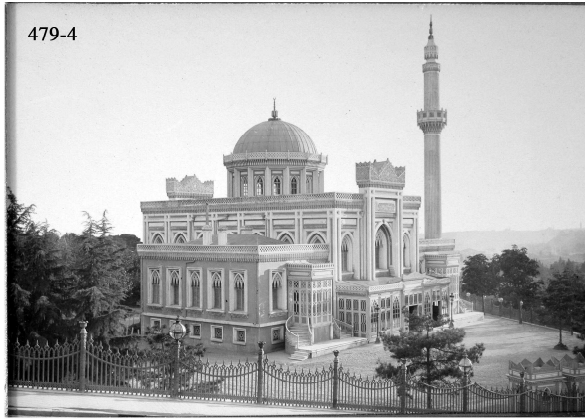
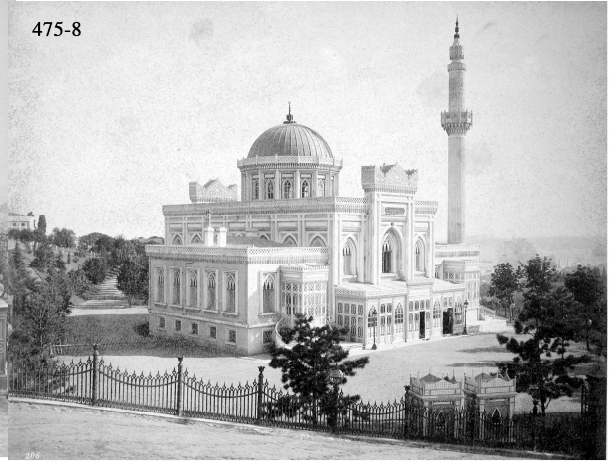
Yıldız Camisinin ön cephesinde bulunan kavisli mermer merdivenli haremlik ve selamlık girişleri 21 Temmuz 1905 yılında II. Abdülhamid'e düzenlenen suikast sonucu tahrip olmuştur. Yapının tahrip olan kısmına ait fotoğrafların bu tarihten önce çekilmesi gerekir. Yapının en eski fotoğrafları Yıldız Fotoğraf Albümleri (YFA) adı verilen albümlerde yer almaktadır. Yıldız fotoğraf albümleri 19. ve 20. yüzyıl sonlarındaki Osmanlı sınırları içindeki sosyal ve kültürel yapıyı gösteren yaklaşık 20 000 den fazla fotoğraf içermektedir. Bugün Yıldız Fotoğraf Albümleri İslam Tarih, Sanat ve Kültür Araştırma Merkezi (IRCICA) ve İstanbul Üniversitesi Nadir Eserler Kütüphanesinde bulunmaktadır. Ayrıca Amerika Birleşik Devletlerindeki (ABD) Kongre kütüphanesinde de Yıldız Camisine ait fotoğraflar bulunmaktadır. Bu fotoğraflar, dönemin ABD başkanına hediye olarak gönderilmiştir. Fotoğraflar 1890-1895 yılları arasında çekilmiştir. Kongre kütüphanesindeki fotoğraflara internet ortamından erişim sağlanabilmektedir (<http://lcweb2.loc.gov/pp/ahiiquery.html>). Bu çalışma için kongre kütüphanesinin web sayfasından alınan fotoğraflar 600 DPI çözünürlükte taranarak sayısal ortama aktarılmıştır (Şekil 3.3). İstanbul Üniversitesi Nadir Eserler Kütüphanesinde bulunan fotoğrafların sayısal ortama aktarılmasında hazırlanan bir düzenek yardımıyla fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 3.4). Bu fotoğrafların çözünürlükleri düşüktür ve

yaklaşık 300 DPI çözünürlüktedir.

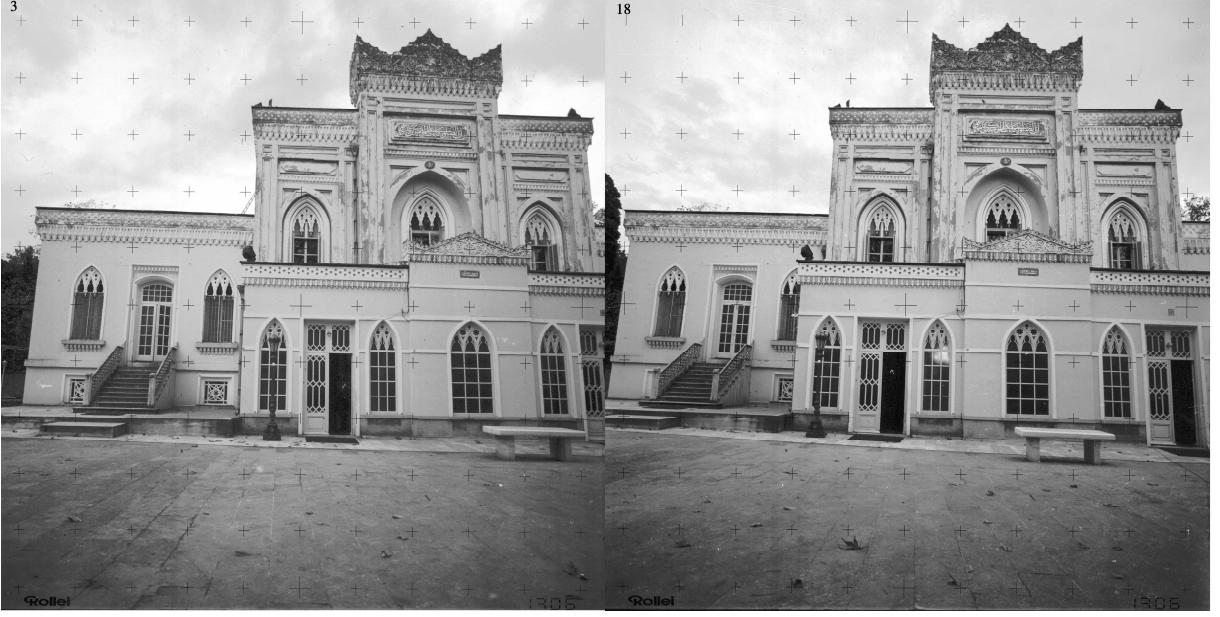
Yapının günümüzdeki durumuna ait fotoğrafları Rollei 6008 yarı-metrik kamerasıyla ve Olympus E20P dijital kamerasıyla çekilmiştir. Rollei 6008 kamerasıyla çekilen fotoğraflar Zeiss Scai tarayıcısıyla 1200 DPI çözünürlükte taranarak sayısal ortama aktarılmıştır (Şekil 3.5). Bu fotoğraflar normal alım durumunda baz-derinlik oranı 1/6 olacak şekilde çekilmiştir. Şekil 3.6'da görülen Olympus E20P dijital kamerasıyla çekilen fotoğraflar konvergent alım durumuna göre çekilmiştir. Eski fotoğrafların 1890'larda çekildiği düşünülürse aradan geçen 120 yıllık sürede ağaçların büyümesi gibi caminin çevresindeki değişimler eski fotoğraf çekimi yapılan noktalardan ya da bu noktaların yakınlarından fotoğraf çekimine imkan vermemektedir.



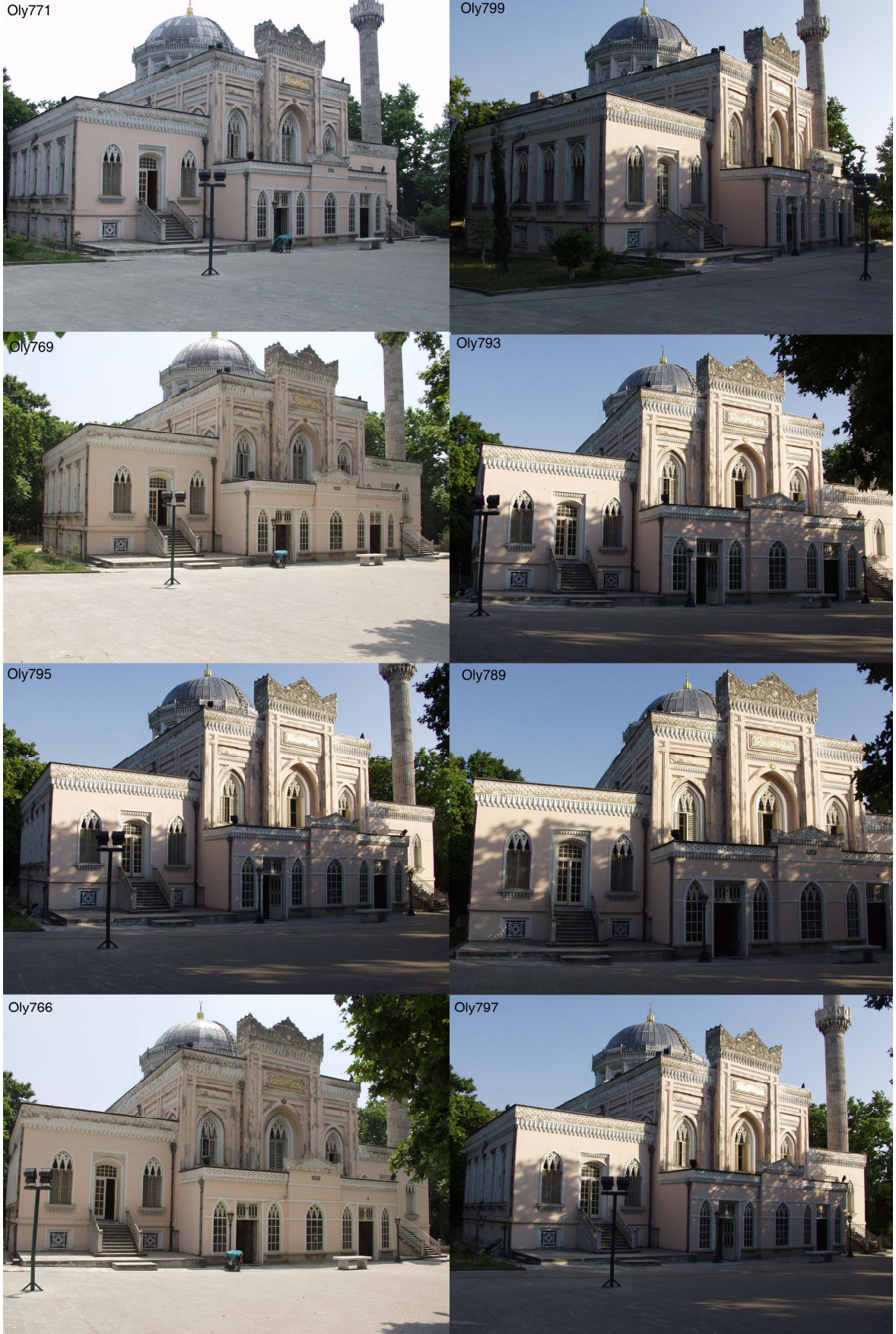
Şekil 3.3: Kongre kütüphanesindeki fotoğraflar (1890-1895)



Şekil 3.4: Yıldız Fotoğraf Albümlerindeki fotoğraflar (1890-1895)



Şekil 3.5: Rollei 6008 yarı-metrik kamerası ile çekilen günümüzdeki fotoğraflar

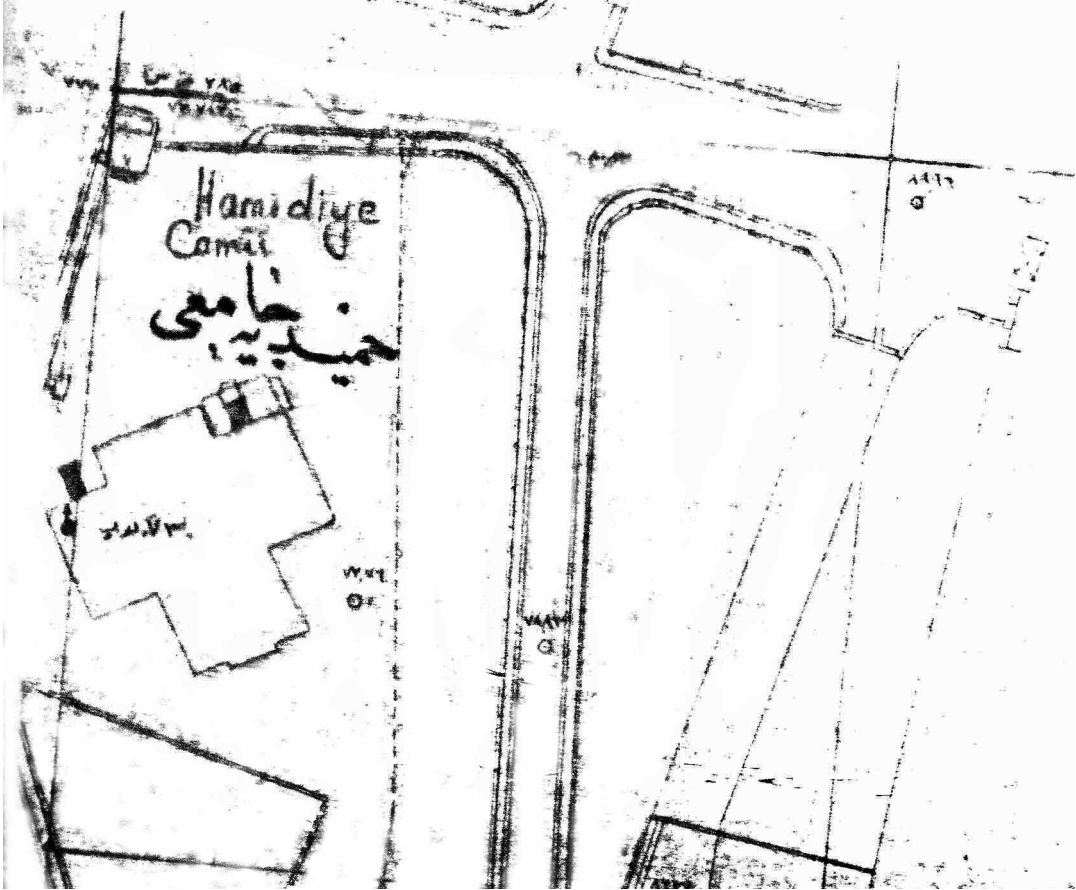


Şekil 3.6 Olympus E20P dijital kamerası ile çekilen günümüzdeki fotoğraflar

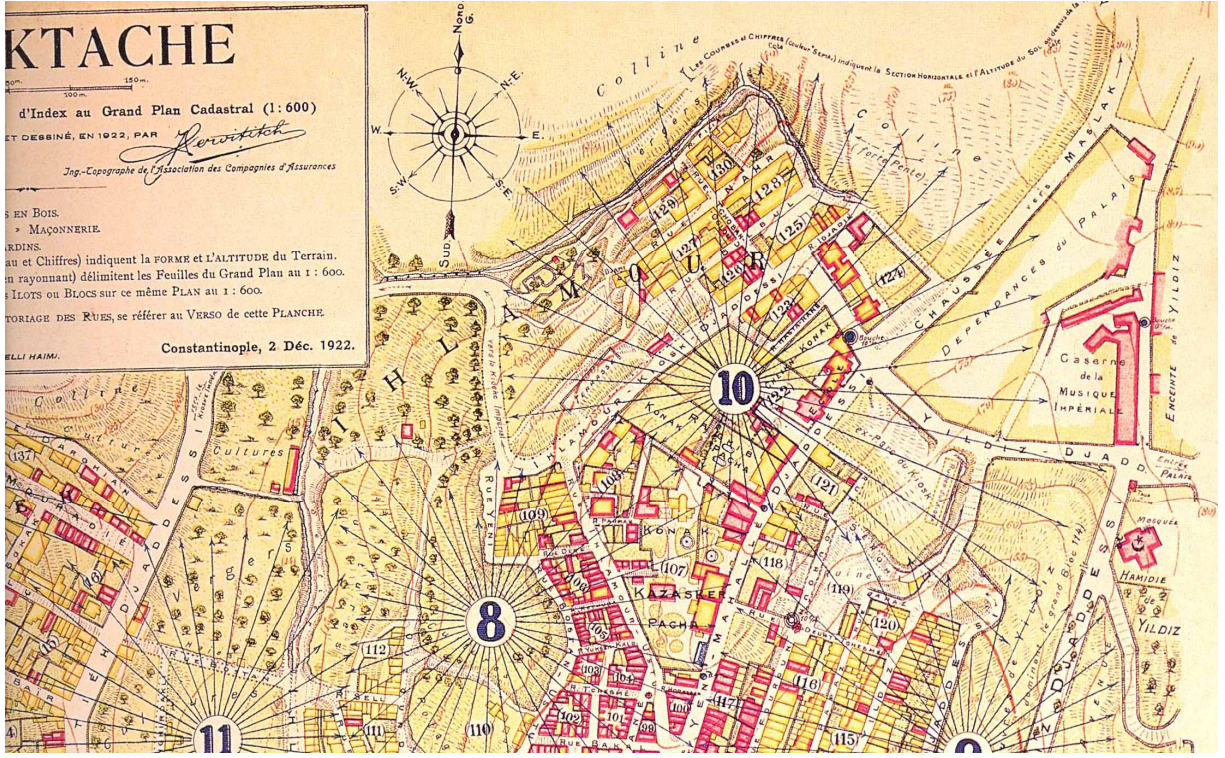
3.1.3 Haritalar

Yapılan araştırmalarda Yıldız Camisinin bulunduğu bölgeye ait iki eski harita İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre ve Şehircilik Uygulama Merkezinde bulunmuştur. Bu haritalardan biri 1910 tarihli Osmanlı dönemine ait 1/1000 ölçekli haritadır (Şekil 3.7). Diğeri ise 1922 yılına ait 1/600 ölçekli Pervititch haritasıdır (Şekil 3.8). Pervititch haritaları, Türkiye Sigortacılar Daire-i Merkeziyesi adına topoğraf J.Pervititch idaresinde, 1922 ve 1945 yılları arasında yapılan çalışmalarla üretilen haritalardır. Bu haritalar sigortalama amacıyla yapılmıştır. Yapı tipinden çatı malzemesi ve eğimine kadar birçok detay bu haritalar üzerinde özel kod ve sembolleri ile gösterilmiştir.

Her iki haritada yapının tahrip olmasından sonra üretildiği için yapının tahrip olan kısmına ait bilgiler yoktur. Haritalar yapıda bundan sonraki dönemde meydana gelen başka önemli bir değişikliğin olup olmadığı konusunda yardımcı olmuştur.



Şekil 3.7 Osmanlı Dönemi Haritası (1/1000, 1910)

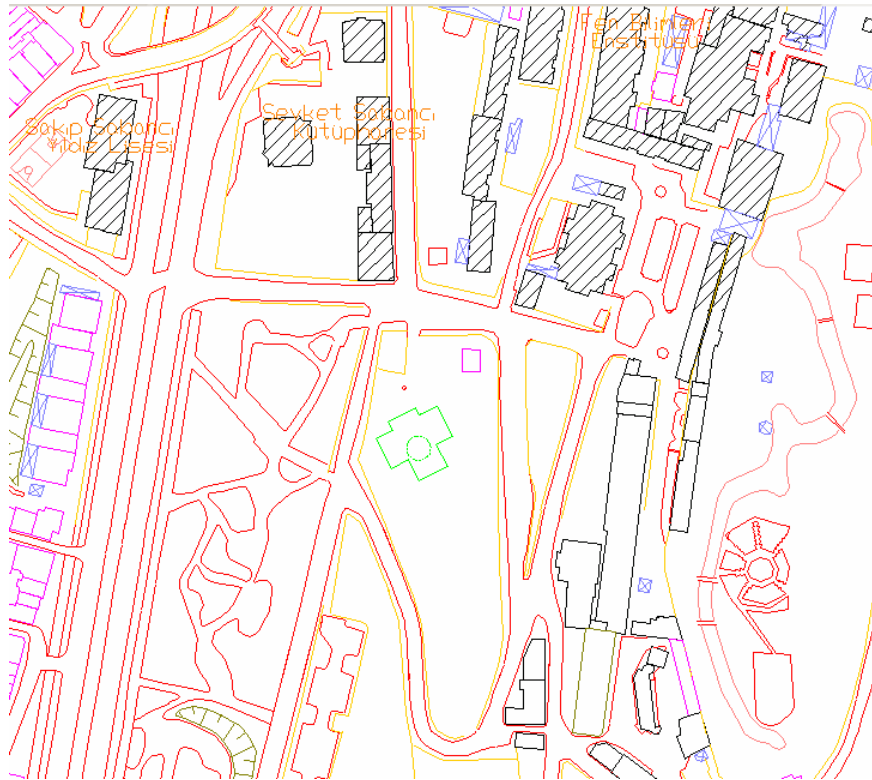


Şekil 3.8 Pervititch Haritası (1/600, 1922)

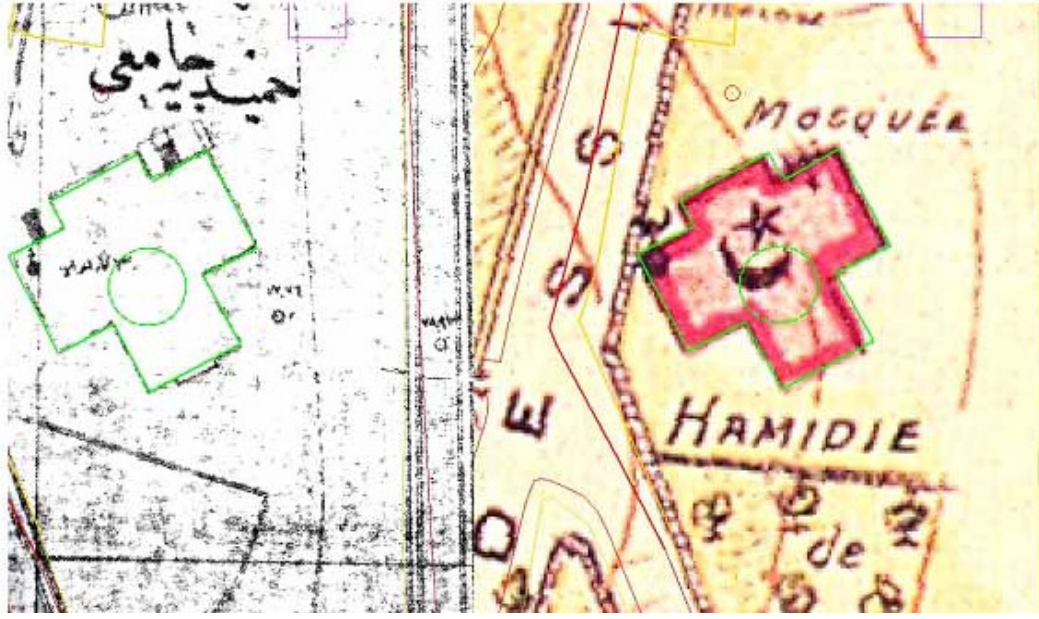
Yapının bulunduğu bölgeye ait 2005 yılında üretilen 1/1000 (Şekil 3.9) ve 1/5000 ölçekli haritaları (Şekil 3.10) mevcuttur. Yıldız Camisinde başka bir değişikliğin olup olmadığını belirlemek amacıyla eski ve yeni haritalar ortak bir koordinat sistemine dönüştürülmüştür (Şekil 3.11). Farklı yıllarda üretilen haritaların üst üste getirilmesi sonucunda bir farklılık belirlenmemiştir. Yapı üzerinde değişikliğe uğrama olasılığı bulunan kısım yapının ön giriş bölümüdür. Yapının eski fotoğraflarının birinde (Şekil 3.3) ön giriş kısmına ait çıkıntı bulunmamaktadır. Yapıya ait en eski fotoğraf budur. Günümüze gelinceye kadar yapının ön giriş kısmında değişikliğin meydana geldiği görülmektedir. Bu değişikliğin yapının sadece yüzeyinde yapıldığı bu işlemlerle belirlenmiştir.



Şekil 3.9 1/1000 ölçekli harita (İSTANBUL-F22-d-16-d-4-c)



Şekil 3.10 1/5000 ölçekli harita (İSTANBUL-F22-d-21-a, 2005)



Şekil 3.11 Eski ve yeni haritalarda Yıldız Camisi

3.2 Tek Fotoğraf İçin Çözümler

Eğer yapıya ait sadece tek fotoğraf varsa ve/veya obje yüzeyinde yükseklik farkları yoksa tek fotoğraf değerlendirmesi yapılabilir. Mevcut obje bilgisine bağlı olarak farklı rektifikasyon işlemleri tek fotoğraftan yapının yeniden oluşturulması için uygulanabilir (Streilein ve Heuvel, 1999, Hemmleb ve Wiedemann, 1997). Rektifiye edilecek yüzeye göre seçilecek yöntem Kozan (2004) de verilmiştir.

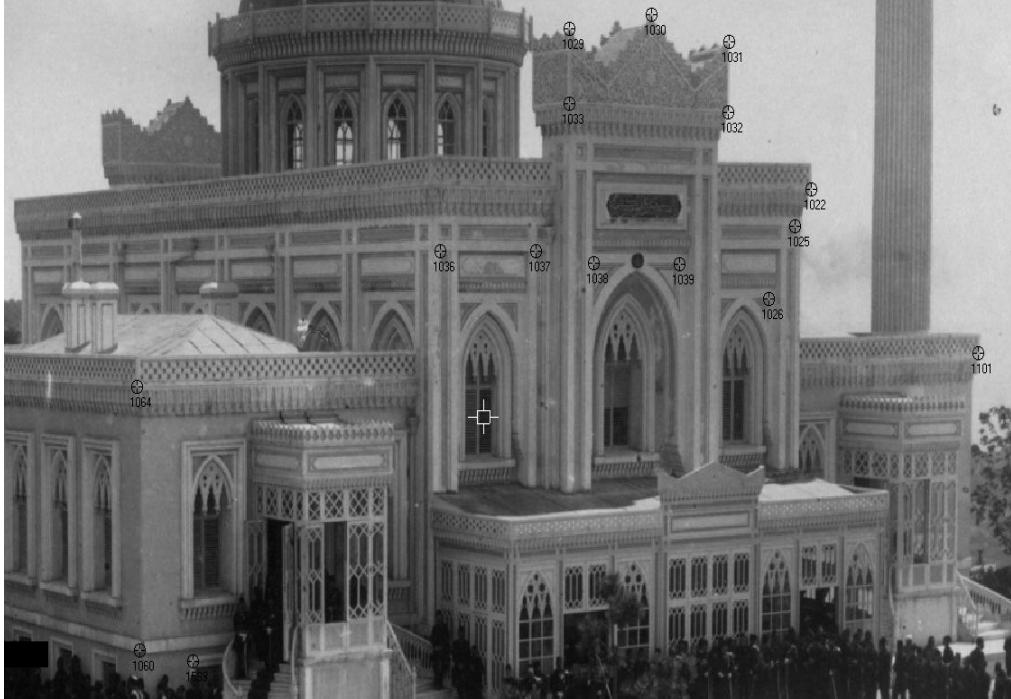
- Düzlem yüzey için projektif dönüşüm
- Yüzeyde küçük düz olmayan alanlar varsa polinomlarla dönüşüm
- Matematiksel olarak tanımlanan yüzeyler için parametrik rektifikasyon
- Kompleks yüzeyler için diferansiyel rektifikasyon

Objeye yüzeyi ve mevcut obje bilgisine göre seçilecek yöntem Çizelge 3.1 de gösterilmiştir (Streilein ve Heuvel, 1999).

Çizelge 3.1 Obje bilgisine göre uygun yöntemler

Obje Bilgisi	Yöntem
Düzlem obje 4 kontrol noktası	Projektif dönüşüm
Parça parça düzlemlerden oluşan obje Her düzlemde 4 nokta	Projektif dönüşümlerin birleşimi
Herhangi bir obje Fazla sayıda kontrol noktası	Polinomlarla dönüşüm
Matematiksel olarak tanımlanan obje	Parametrik rektifikasyon
Sayısal Arazi Modeli (SAM)	Diferansiyel rektifikasyon

Yıldız Camisi için polinomlarla ve projektif dönüşümlerle uygulama yapılmıştır. Yapının eski fotoğraflarında bulunan tahrip olan kısma ait bilgilerin elde edilmesi için yapının günümüzdeki kısımlarında bulunan kontrol noktalar kullanılmıştır. Kontrol noktalarının dağılımı Şekil 3.12 de görülmektedir.

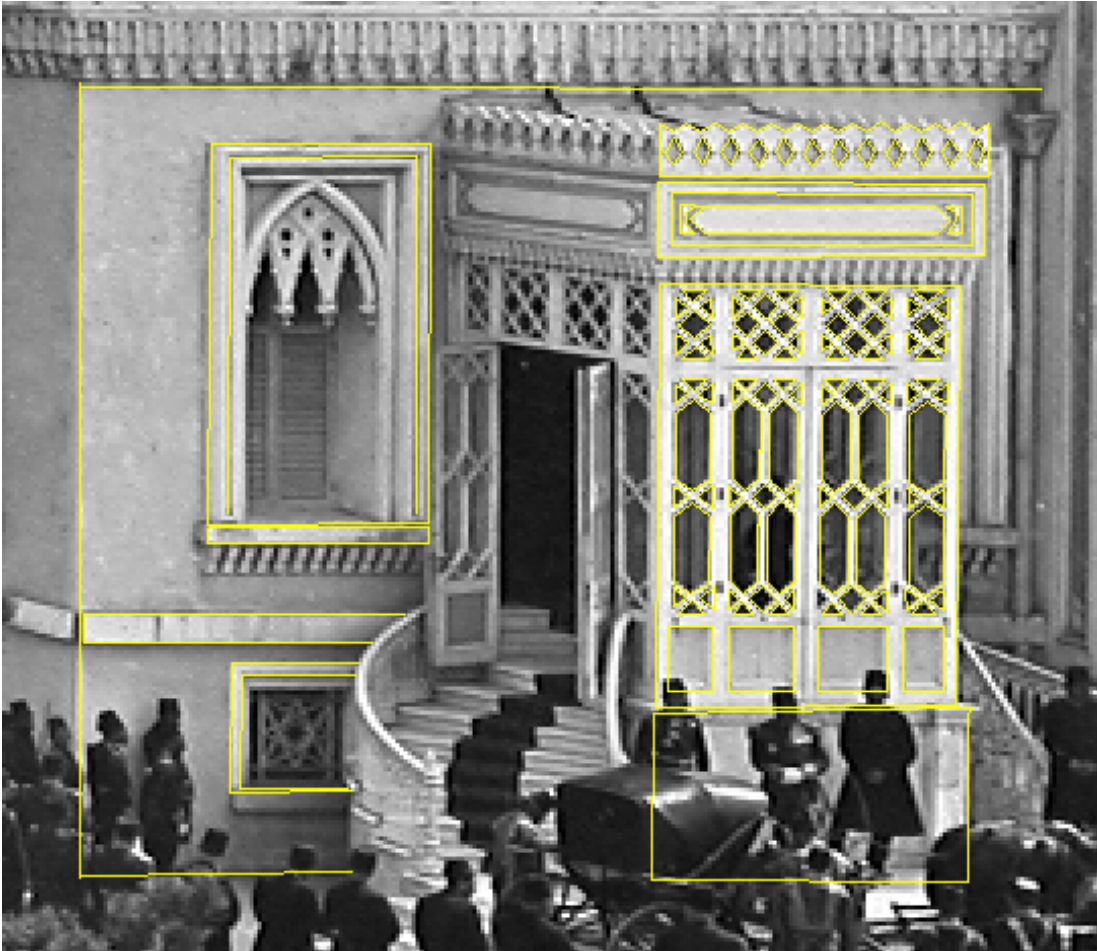


Şekil 3.12 Kontrol noktalarının dağılımı

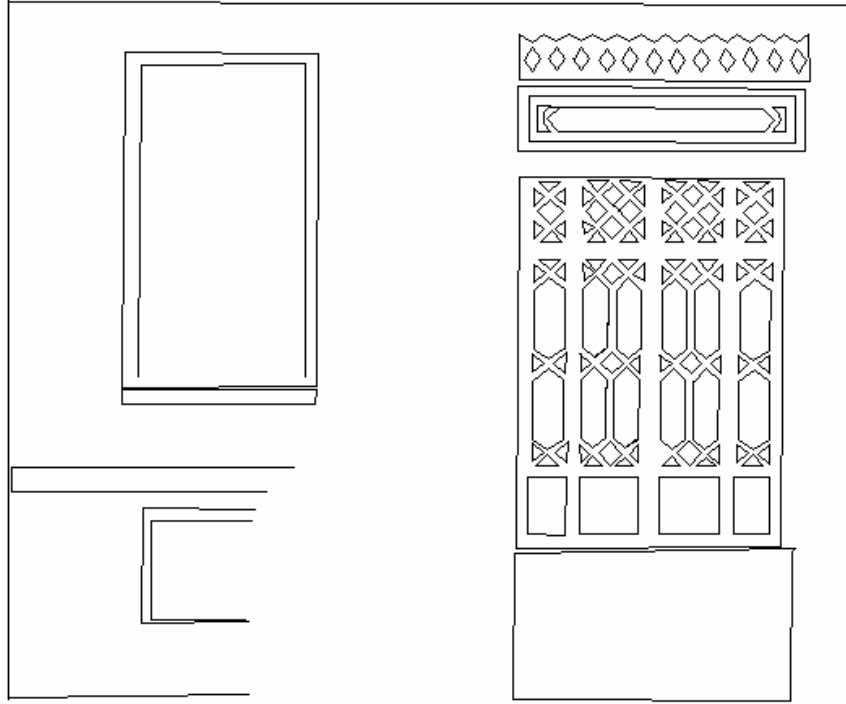
Rektifikasyon için Kongre Kütüphanesinden alınan fotoğraflar kullanılmıştır. Farklı kameralarla çekilmiş olan bu fotoğrafların çözünürlükleri 600 DPI'dır. Fotoğraflardan birisinde yapının ana girişindeki kısım bulunmamaktadır. Bu fotoğrafın yapıya ait en eski fotoğraf olduğu söylenebilir.

Tek fotoğraf değerlendirmesinde eski fotoğrafta ve günümüzde bulunan noktalar kontrol noktası olarak seçilmiştir. Polinomla ve projektif dönüşümlerle görüntüler rektifiye edilmiştir (Şekil 3.13). Rektifiye edilen bu görüntüler üzerinde obje detayları çizilmiştir. (Şekil 3.14)

Tek fotoğraf değerlendirmesinde ayrıca kaçış noktası yardımıyla kamera iç yöneltme parametreleri hesaplanmıştır. Kaçış noktası ile elde edilen kamera parametrelerinden asal nokta dönüşümü ile 3 ana eksen den birine dik olarak görüntünün rektifikasyonu yapılmıştır.



Şekil 3.13 Tek fotoğraf değerlendirmesi



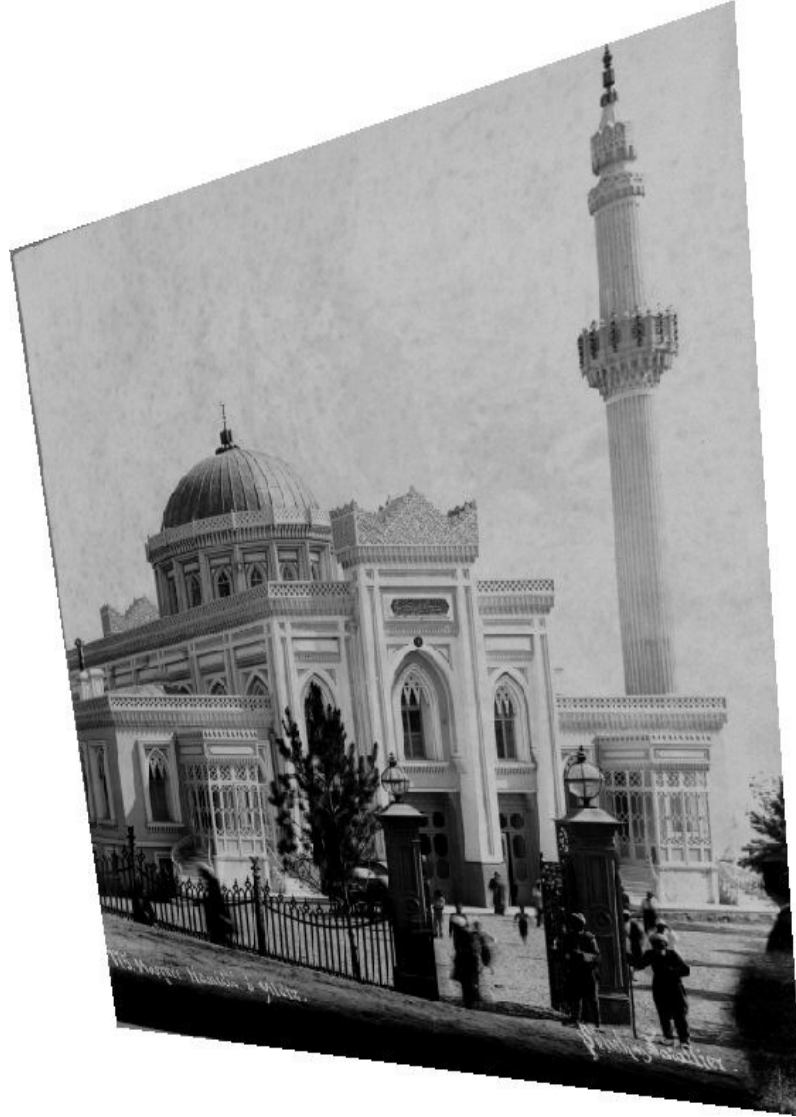
Şekil 3.14 Tek fotoğraf değerlendirmesi ile detay çizimi

Tek fotoğraf değerlendirmesi için polinomlarla ve projektif dönüşümler için ERDAS IMAGINE yazılımı kullanılmıştır. Polinomlarla ve 2B projektif dönüşüm için yapılan uygulamaya ait sonuçlar Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. 3B projektif dönüşüm uygulamasında sabit bir derinlik değerine göre görüntü rektifiye edilmiştir. Aslında yapının özellikleri nedeniyle Çizelge 3.1 de görüldüğü gibi her bir düzlem için ayrı ayrı projektif dönüşüm yapılmalıdır. Bunun için her bir düzlemde 4 noktaya gereksinim duyulur. Uygulamada tahrip olan kısmın kendisi ayrı bir düzlem olduğu için bu yöntemi uygulamak mümkün değildir. Bundan dolayı polinomlarla çözüm alternatif olarak düşünülebilir.

Çizelge 3.2 Dönüşüm sonuçlarının X ve Y yönündeki karesel ortalama hataları

Fonksiyon	mx (m)	my (m)	mxy (m)
1.derece Polinomla	0.1053	0.072	0.1277
2.derece Polinomla	0.0391	0.0097	0.0403
3.derece Polinomla	0.0285	0.0019	0.0286
Projektif (2B)	0.0505	0.0301	0.0588
Projektif (3B)	0.0369	0.0084	0.05378

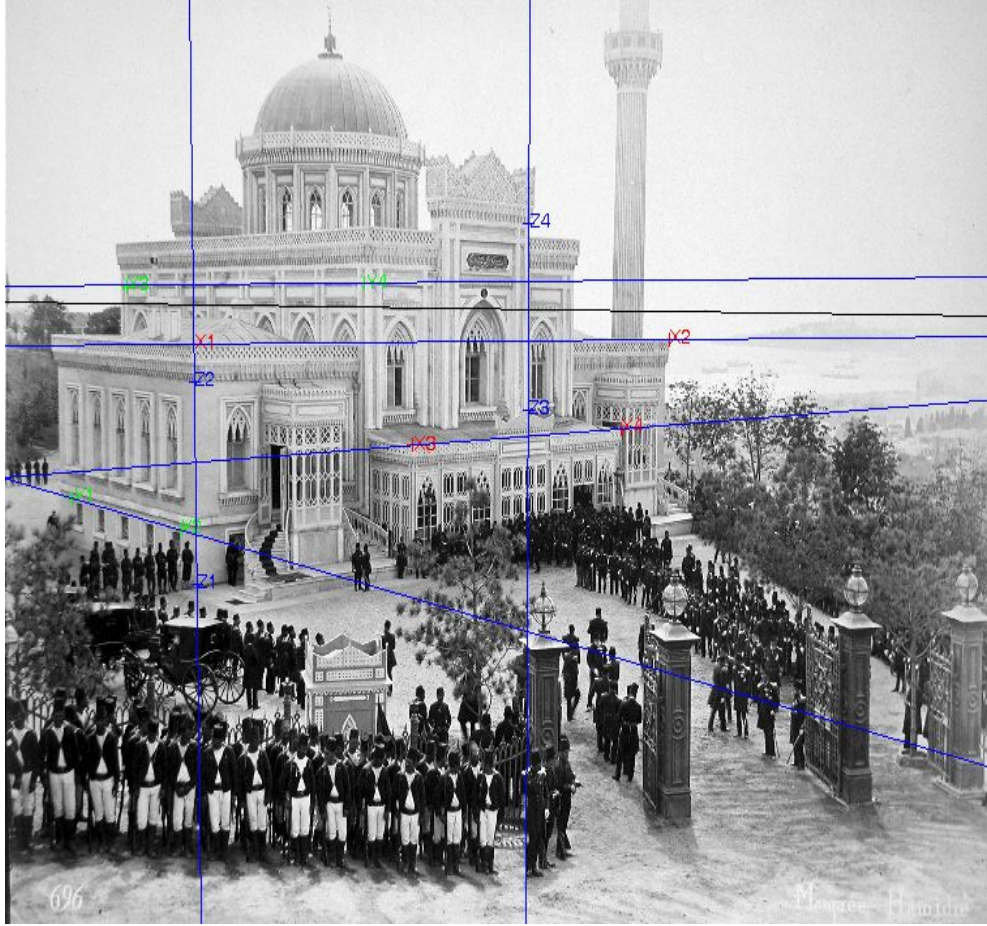
Yapıya ait ilk fotoğraf olarak kabul edilen fotoğraf için 2B projektif dönüşüm işlemi yapılmıştır (Şekil 3.15). Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi 3.derece polinomla dönüşümde en iyi sonuç elde edilse de elde edilen görüntüde çok fazla bozulmalar olması sebebiyle kullanmak mümkün değildir. Kontrol nokta sayısının ve dağılımının çok uygun olması gerekmektedir. Yapının bir kısmı tahrip olması nedeniyle kontrol noktaları seçilirken eski fotoğraflar üzerinde net olarak görülebilen değişmeyen noktalar olmasına dikkat edilmiştir.



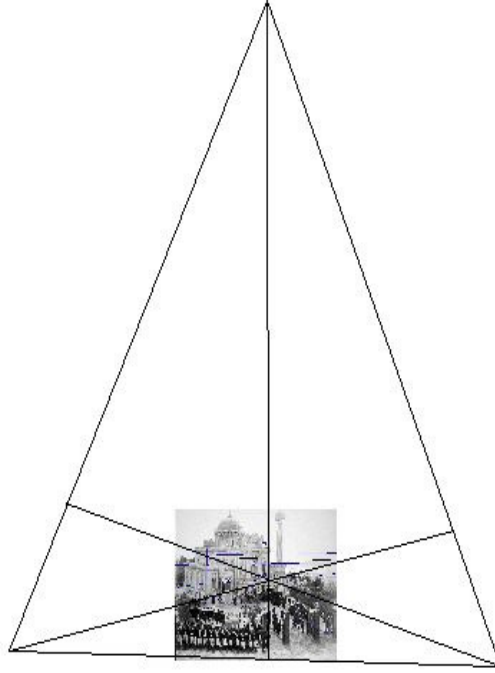
Şekil 3.15 Yapıya ait ilk fotoğrafın projektif dönüşümü

Kaçış noktası ile kamera parametrelerinin hesaplanması için daha önceden belirlenen, yapı üzerinde bulunan düz hatlı çizgiler ile uygulamalar yapılmıştır. Günümüzde yapılan çalışmaların çoğu otomasyona yönelik olması sebebiyle düz hatlı çizgilerin belirlenmesi işlemi otomatik olarak yaptırılmaktadır. Bu uygulama için geliştirilen Matlab kodu Ek-3’te

verilmiştir. Kullanıcı tarafından belirlenen düz hatlı çizgiler yardımıyla 3 ana doğrultudaki kaçış noktası belirlenir. Kaçış noktalarını birbirine birleştiren kaçış çizgileri çizilir (Şekil 3.16). Kaçış noktalarından oluşan üçgenin (Şekil 3.17) diklerinin kesim noktası asal noktanın konumunu verir. Kaçış noktası yardımıyla hesaplanan kameranın iç yöneltme parametreleri Çizelge 3.3’de sunulmuştur.



Şekil 3.16 Kaçış çizgileri



Şekil 3.17 Asal noktanın konumu

Çizelge 3.3 Kaçış noktası yardımıyla 5 nolu fotoğrafın iç yöneltme parametreleri

f (mm)	u_0 (mm)	v_0 (mm)
263.2647	130.4842	75.6946

3.3 Çoklu Fotoğraflar İçin Çözümler

3.3.1 Yeni Fotoğrafların Değerlendirilmesi

Yapının günümüzdeki durumuna ait Rollei 6008 yarı-metrik kamerası ile çekilen fotoğrafların değerlendirilmesinde 33 işaretli nokta 18 doğal nokta kullanılmıştır. Kontrol noktalarının dağılımı Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Değerlendirme işlemleri LPS (Leica Photogrammetry Suite) yazılımında yapılmıştır. Bu değerlendirmede ayrıca yapının eski fotoğrafları üzerinde değişmediği kabul edilen 79 noktanın koordinatları bağlantı noktası olarak hesaplanmıştır. Bu değerlendirme işlemleri sonunda dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları Çizelge 3.4'de verilmiştir. Kontrol ve bağlantı noktalarının doğrulukları Çizelge 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.18: Kontrol noktalarının model üzerindeki dağılımı

Çizelge 3.4: Dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

Fotoğraf No	X_0 (m) mX_0	Y_0 (m) mY_0	Z_0 (m) mZ_0	ω (g) $m\omega$	ϕ (g) $m\phi$	κ (g) $m\kappa$
3	1000.899 0.0021	101.353 0.002	2004.353 0.0015	11.0809 0.0074	-2.4849 0.0065	1.2067 0.0028
18	1003.636 0.0021	101.317 0.002	2004.36 0.0016	11.2497 0.0075	2.1577 0.0063	1.347 0.0028

Çizelge 3.5: Kontrol ve bağlantı noktalarının doğrulukları

	mX (m)	mY (m)	mZ (m)
Kontrol Noktaları	0.0054	0.0069	0.0105
Bağlantı Noktaları	0.0085	0.0147	0.028

3.3.2 Eski Fotoğrafların Değerlendirilmesi

Yapıya ait 6 fotoğraf seçilmiştir. Bu fotoğraflara ait kamera bilgileri mevcut değildir. Kamera bilgilerinin belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılmıştır. Eski fotoğraflardan doğru 3B bilgiler elde etmek doğru kalibrasyon ve yöneltmeye bağlıdır. Bu nedenle eski fotoğrafların kamera parametrelerinin uygun yöntemle belirlenmesi için farklı yöntemlerle uygulamalar yapılmıştır. Uygulamalara ait sonuçlar 3.4 ve 3.5 bölümlerinde ayrıntılı olarak incelenmiştir

3.4 Farklı Kalibrasyon Yöntemleri

3.4.1 DLT Yöntemi

DLT ile elde edilen dönüşüm parametrelerinden kameranın iç ve dış yöneltme elamanları hesaplanmıştır. Hesaplama işlemleri için geliştirilen Matlab kodu Ek-1 de verilmiştir. Bu yazılımla yapılan uygulamada elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6 da sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu fotoğrafların hepsinin farklı kameralarla çekildiği görülebilecektir.

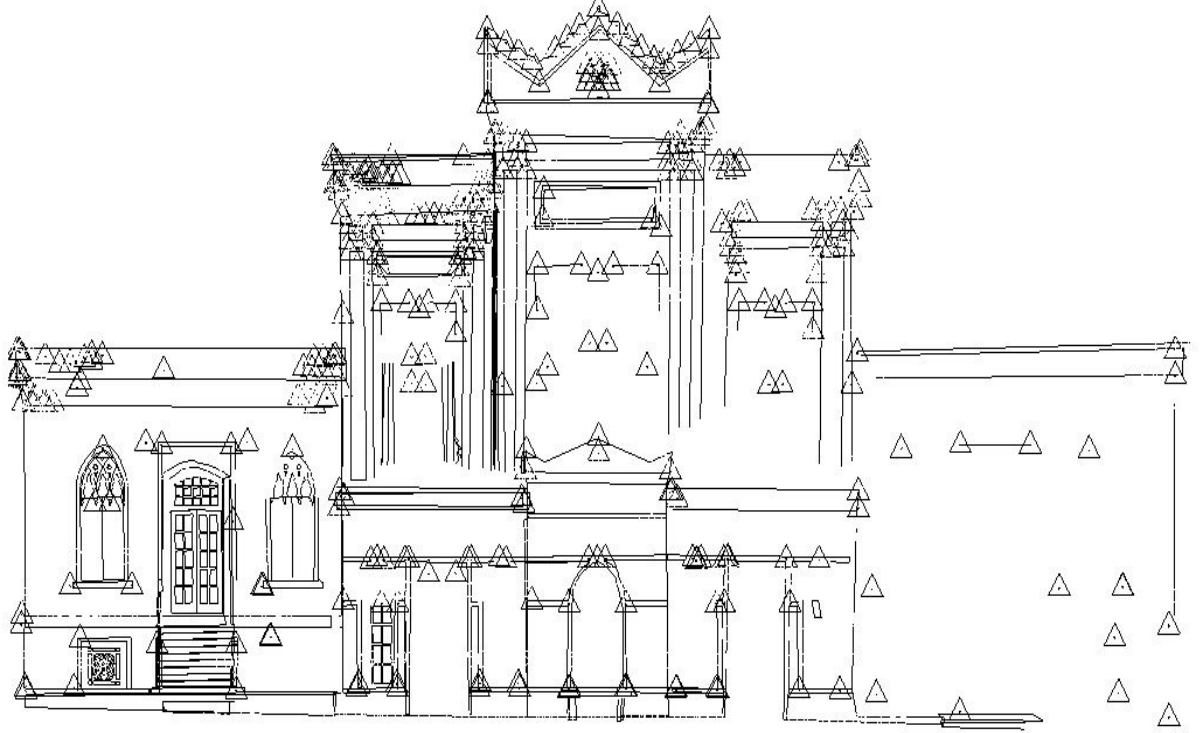
Çizelge 3.6: DLT yöntemiyle eski fotoğraflara ait yaklaşık değerler

	815-7	815-5	815-6	3810	614-28	3785
c (mm)	225.375	219.86	256.123	262.313	248.175	362.374
x₀ (mm)	-32.341	-55.334	-15.883	-24.348	-5.564	-53.729
y₀ (mm)	15.255	25.774	6.206	22.134	11.022	-9.558
X₀ (m)	965.9	966.286	963.843	968.463	961.729	971.992
Y₀ (m)	108.476	107.831	108.091	108.093	108.023	104.18
Z₀ (m)	2026.77	2025.96	2034.09	2027.96	2029.56	2027.81
ω(g)	-2.772	3.2348	-3.4661	1.55328	-1.3558	7.94197
φ(g)	-41.158	-36.14	-45.117	-27.422	-31.376	-31.589
κ(g)	-2.8881	1.56251	-3.2444	0.71171	-0.6192	4.44691

3.4.2 Bilgisayarlı Görmede Kullanılan Yöntemler

Bilgisayarla görmede kullanılan yöntemlerle kalibrasyon çalışmalarında genellikle düzlem modeller yardımıyla işlemlerin otomatik olarak yaptırılması üzerinde çalışılmaktadır. Bu nedenle her yöntemi uygulamak bu çalışma için uygun değildir. Çalışmada DLT, Faugeras ve Heikkila'nın önerdiği yöntemlerle uygulamalar denenmiştir. Bu yöntemlerden DLT ve Faugeras'ın yöntemi doğrusal yöntemlerdir. Heikkila'nın yöntemi iki adımlıdır. İlk adımda

doğrusal yöntemlerle yaklaşık değerler hesaplanır. Daha sonraki adımda doğrusal olmayan yöntemlerle hesaba devam edilir. Uygulama için fotoğraflar üzerinde ortak noktalar belirlenmiştir. Yapılan bu uygulamada kontrol noktalarının sayısının değişiminin kameranın iç yöneltme parametrelerinin hesaplanmasındaki etkisi araştırılmıştır. DLT için gerekli yazılım daha önce belirtildiği gibi Matlab ortamında kodlanmıştır. Faugeras'ın yöntemine ait kod, <http://eia.udg.es/~armanguie/research/> adresinden çekilmiştir. Heikkilä'nin yöntemine ait Matlab ortamında yazılan kodlar <http://www.ee.oulu.fi/~jth/calibr/> internet adresinden çekilmiştir. Uygulamada kullanılan kontrol noktalarının dağılımı Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Kontrol ve bağlantı noktalarının dağılımı

DLT ve Faugeras'ın yöntemine göre yapılan uygulamalarda 815-6 ve 815-7 numaralı fotoğraflara ait parametreler ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.7, 3.8, 3.9, 3.10'da sunulmuştur. Heikkilä'nin yönteminde her iki fotoğraf birlikte değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.11'de gösterilmiştir. Yapılan uygulamalarda bilgisayarla görme yöntemlerinin nokta sayısına göre değişimini incelemek amacıyla bu iki görüntünün aynı kamera ile çekildiği kabul edilerek LPS programında kendi kendine kalibrasyon yöntemi ile kamera parametreleri hesaplanmıştır. Daha sonra her iki fotoğraf üzerinde var olan belirgin noktalar seçilmiş ve bu noktaların koordinatları hesaplanmıştır. Yapının ön giriş kısmının da değişmesi sebebiyle bu noktaların koordinatları fotogrametrik olarak hesaplanmıştır. LPS ile yapılan değerlendirme sonucunda iç yöneltme parametreleri Çizelge 3.12'de sunulmuştur. Aynı şekilde diğer yöntemlerin nokta sayısına göre iç yöneltme parametrelerinin değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.7 DLT ile 815-6 nolu fotoğrafa ait sonuçlar

NS	f (mm)	u_0 (mm)	v_0 (mm)
101	cx=252.986 cy=252.830	-19.824	9.484
62	cx=253.056 cy=253.074	-19.591	9.211
25	cx=252.572 cy=252.140	-21.782	8.880

Çizelge 3.8 DLT ile 815-7 nolu fotoğrafa ait sonuçlar

NS	f (mm)	u_0 (mm)	v_0 (mm)
101	cx=252.478 cy=252.523	-19.092	9.925
62	cx=253.134 cy=253.042	-19.138	9.320
25	cx=250.423 cy=250.478	-20.185	9.413

Çizelge 3.9 Faugeras'ın yöntemiyle 815-6 nolu fotoğrafa ait sonuçlar

NS	f (mm)	u_0 (mm)	v_0 (mm)
101	cx=255.460 cy=255.258	-18.693	9.603
62	cx=255.217 cy=255.235	-18.307	9.092
25	cx=253.836 cy=253.354	-21.245	8.746

Çizelge 3.10 Faugeras'ın yöntemiyle 815-7 nolu fotoğrafa ait sonuçlar

NS	f (mm)	u_0 (mm)	v_0 (mm)
101	cx=254.584 cy=254.546	-19.619	9.326
62	cx=254.246 cy=254.106	-19.838	8.425
25	cx=250.518 cy=250.363	-22.322	8.370

Çizelge 3.11 Heikkila'nın yöntemiyle 815-6 ve 815-7 nolu fotoğraflara ait sonuçlar

NS	f (mm)	u_0 (mm)	v_0 (mm)	k_1	k_2	p_1	p_2
101	251.555	98.679	84.986	1.7×10^{-6}	-2.07×10^{-10}	4.6×10^{-6}	1.87×10^{-6}
62	251.639	98.917	86.009	1.8×10^{-6}	-2.64×10^{-10}	8.9×10^{-6}	3.11×10^{-6}
25	248.916	96.238	86.282	2.3×10^{-6}	-3.62×10^{-10}	1.39×10^{-5}	1.67×10^{-6}

Çizelge 3.12: LPS ile 815-6 ve 815-7 nolu fotoğraflara ait sonuçlar

NS	f (mm)	u_0 (mm)	v_0 (mm)	k_1	k_2
101	252.351	-19.284	10.102	1.7×10^{-6}	-2.35×10^{-10}
62	252.351	-19.2848	10.1011	2.61×10^{-6}	-4.73×10^{-10}
25	252.351	-19.2848	10.101	2.61×10^{-6}	-4.68×10^{-10}

DLT ve Faugeras'ın yönteminde distorsiyon parametreleri modele dahil edilmemiştir. Yapılan uygulamada LPS'de elde edilen sonuçlar doğru olarak kabul edildiğinde nokta sayısındaki artışın doğrusal yöntemler için katkısı olduğu söylenebilir. DLT yönteminde elde edilen sonuçların Faugeras'ın yönteminde elde edilen sonuçlardan daha iyi yakınsadığı görülmektedir. DLT yöntemi için 25 ve 101 tane nokta arasında önemli bir fark yoktur. 62 nokta için elde edilen sonuçta nokta dağılımının etkisi olduğu söylenebilir. Heikkila'nın iki adımlı yönteminde elde edilen sonuçların DLT ve Faugeras'ın doğrusal tabanlı yöntemlerinden elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak hesaplama işlemlerinde asal noktanın konumu resim orta noktasına göre değil, sayısal görüntünün başlangıç noktasına göre belirlenmektedir.

Yapılan uygulamaların sonuçlarından, ışın desteleri yönteminin dışındaki yöntemlerde daha fazla sayıda kontrol noktası kullanılması durumunda daha iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir. Ancak kontrol nokta sayısının artması pek pratik değildir. Eldeki mevcut verilerin durumuna ve beklenen hassasiyete göre doğrusal tabanlı yöntemler, doğrusal olmayan ya da iki adımlı tekniklerden birisi tercih edilebilir.

3.5 Çalışmada Geliştirilen Yöntemle Uygulama

Yapının eski fotoğrafları ve günümüzdeki fotoğrafları yardımıyla, eski fotoğraflara ait kamera parametrelerinin belirlenmesi için bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Bu yönteme ait matematiksel model Bölüm 2.2.2’ de sunulmuştur. Bu modelde yaygın olarak kullanılan kolinearite eşitlikleri iki fotoğraf için yeniden düzenlenmiştir. Bu eşitlikte eski ve yeni fotoğrafın görüntü koordinatları, iç yöneltme ve dış yöneltme parametreleriyle obje Z koordinatına bağlı olarak ifade edilmektedir. 2.75 eşitliği eski fotoğrafın iç ve dış yöneltme parametrelerine ve obje Z değerine göre yeni fotoğrafın görüntü koordinatlarını ifade etmektedir. (2.75) eşitliği doğrusal değildir, eski fotoğrafın iç ve dış yöneltme parametreleri bilinmeyen olarak kabul edilir ve buna göre doğrusal hale getirilir. En küçük kareler yöntemine göre iteratif olarak çözülür. Dengeleme için gereken yaklaşık değerler DLT yöntemi yardımıyla elde edilir. Yeni çekilen bir fotoğraf yardımıyla, tek ya da çok sayıda eski görüntüler, aynı ya da farklı kameralarla çekilen eski görüntülerin kamera parametrelerinin hesapları Matlab ortamında yazılan kodlar ile yapılmıştır. Çalışmada geliştirilen yönteme ait uygulamalar, Yıldız Camisine ait veri seti ve yapay veri seti kullanılarak yapılmıştır. Yıldız Camisi için oluşturulan veri setinde eski fotoğraflar, Rollei 6008 ve Olympus E20P kameraları ile çekilen fotoğraflar yer almaktadır. Rollei 6008 yarı-metrik kamerası ile çekilen fotoğraflar kullanılarak eski fotoğraflara ait kamera parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca Rollei 6008 yarı-metrik kamerası ile çekilen fotoğraflar kullanılarak Olympus E20P dijital kamerasının da kamera parametreleri hesaplanmıştır.

Uygulamanın amacı çalışmada geliştirilen yöntemin doğruluğunun belirlenmesidir. Çalışmada geliştirilen yöntem sadece eski fotoğrafların kamera parametrelerinin elde edilmesinde değil, günümüzdeki dijital kameralarla yapılan çalışmalarla da kullanılabilir. Amaç iç ve dış yöneltme parametreleri bilinen fotoğraf yardımıyla yapının tahrip olmadan önce çekilen fotoğraflarına ait kamera parametrelerinin elde edilmesidir. Bu nedenle metrik kameralarla yapının günümüzdeki fotoğraflarının çekilip dış yöneltme parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Daha sonra yapının tahrip olmadan değişmeden kalan kısımlarında her iki fotoğrafta da net olarak görülen detay noktaları belirlenir. Bu noktaların, her iki fotoğraf üzerinde görüntü koordinatları ölçülür. Çalışmada geliştirilen yöntemde noktaların obje Z koordinatlarına ihtiyaç duyulur. Bu nedenle bu noktaların değerleri ya jeodezik ölçümlerle ya da eldeki mevcut fotoğrafların değerlendirilmesi suretiyle elde edilir.

Eski ve yeni çekilen fotoğrafların konumlarının ve çekimde kullanılan kameraların asal uzaklıklarının doğruluğa etkisini belirlemek amacıyla yapay veriler kullanılarak uygulama yapılmıştır. Uygulama için, Yıldız Camisindeki koşullar dikkate alınarak Matlab ortamında yazılan kodla yapay veriler üretilmiştir. Bu yapay veri seti ile yapılan uygulamaya ait sonuçlar Bölüm 3.5.2’de gösterilmiştir. Bu uygulama ile yeni çekilecek fotoğrafın çevre koşullarında dikkate alınarak en uygun çekim konumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.5.1 Yıldız Camisi Veri Setiyle Uygulama

Çalışmada geliştirilen yöntemle iki fotoğrafın koordinatları arasındaki ilişki, fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleriyle obje derinliğine bağlı olarak ifade edilmiştir. Bu bağıntı yardımıyla iç ve dış yöneltme parametreleri bilinen bir fotoğraf yardımıyla başka bir fotoğrafın iç ve dış yöneltme parametreleri belirlenmektedir. Önce yeni çekilen fotoğrafların kamera parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Eski fotoğrafların bir taneden fazla olması durumu göz önüne alınarak aynı kameralarla ve farklı kameralarla çekilmesi durumu dikkate alınmıştır. Aynı ve farklı kameralara göre çekilmesi durumu için kamera parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca eski fotoğraflara ilaveten Olympus E20P dijital kamerası ile çekilen fotoğrafların, Rollei 6008 kamerası ile çekilen fotoğraflar yardımıyla kamera parametreleri hesaplanmıştır.

Rollei 6008 yarı-metrik kamerası ile çekilen 3 ve 18 numaralı fotoğraflar yardımıyla eski fotoğraflara ait iç ve dış yöneltme parametreleri hesaplanmış ve sonuçları Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14 de gösterilmiştir. Yapılan uygulamada her fotoğrafın farklı kamera ile çekildiği kabul edilmiştir. Yeni çekilen fotoğrafların çekim noktalarının konumu eski fotoğrafların kamera parametrelerinin elde edilmesini etkilemektedir. Bu nedenle yeni fotoğrafların çekim noktasının yerinin belirlenmesi önemlidir. Yapay verilerle yapılan uygulamalarda yeni fotoğrafların en uygun çekim konumunun belirlenmesi üzerinde durulmuştur.

Mevcut fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametrelerini aynı kamera ile çekildiği kabul edilerek hesaplanabilir. Eski fotoğraflardan 815-7 ve 815-6 numaralı fotoğrafların aynı kamera ile çekildiği kabul edilerek yapılan uygulamada elde edilen sonuçlar Çizelge 3.15’de gösterilmiştir. 815-7, 815-5 ve 815-6 numaralı fotoğrafların aynı kamera ile çekildiği kabul edilerek yapılan uygulamada elde edilen sonuçlar Çizelge 3.16’de sunulmuştur.

Çizelge 3.13: Çalışmada geliştirilen yöntemle 3 numaralı fotoğraf yardımıyla eski fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

	815-7	815-5	815-6	3810	614-28	3785
c (mm)	250.001	255.674	245.529	322.637	313.883	373.093
mc (mm)	0.153	0.815	0.146	0.227	0.223	0.336
x₀ (mm)	-20.765	-43.135	-27.452	-13.801	3.495	-50.141
mx₀ (mm)	0.079	0.401	0.098	0.135	0.155	0.186
y₀ (mm)	13.699	26.070	11.724	15.326	-9.255	-4.531
my₀ (mm)	0.037	0.234	0.035	0.087	0.157	0.106
k₁	-2.63E-06	-2E-06	-9.3E-07	2.75E-07	-1.3E-07	1.12E-07
mk₁	1.254E-08	6.63E-08	7.75E-09	6.84E-09	1.22E-08	4.88E-09
ω(g)	-3.04381	2.32763	-2.12271	-2.11647	-7.33997	7.25980
mω	0.00023	0.00093	0.00021	0.00030	0.00055	0.00024
φ(g)	-46.02778	-40.84887	-42.62315	-33.02132	-37.31162	-32.66215
mφ	0.00032	0.00151	0.00040	0.00037	0.00047	0.00049
κ(g)	-3.39149	0.93766	-2.51518	-1.80759	-4.86552	3.95335
mκ	0.00014	0.00066	0.00013	0.00017	0.00031	0.00015
X₀ (m)	961.377	961.063	965.241	961.556	952.057	971.025
mX₀	0.024	0.117	0.022	0.025	0.032	0.023
Y₀ (m)	108.316	108.327	108.500	109.567	109.070	105.239
mY₀	0.002	0.011	0.002	0.003	0.004	0.004
Z₀ (m)	2029.810	2031.412	2031.751	2035.482	2038.503	2028.836
mZ₀	0.026	0.138	0.027	0.034	0.037	0.037

Çizelge 3.14 Çalışmada geliştirilen yöntemle 18 numaralı fotoğraf yardımıyla eski

fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

	815-7	815-5	815-6	3810	614-28	3785
c (mm)	250.480	257.286	245.155	324.171	325.907	375.321
mc (mm)	0.166	0.844	0.146	0.243	0.233	0.356
x₀ (mm)	-20.678	-42.991	-27.896	-15.731	-7.408	-50.024
mx₀ (mm)	0.089	0.430	0.100	0.146	0.230	0.202
y₀ (mm)	13.159	25.822	11.545	13.822	-35.374	-4.823
my₀ (mm)	0.043	0.245	0.036	0.100	0.301	0.112
k₁	-2.4E-06	-1.8E-06	-7.7E-07	4.31E-07	1.05E-06	1.79E-07
mk₁	1.33E-08	6.7E-08	7.7E-09	7.16E-09	1.03E-08	5.04E-09
ω(g)	-3.26142	2.22332	-2.20232	-2.44757	-13.08064	7.17809
mω	0.00027	0.00098	0.00022	0.00034	0.00098	0.00025
φ(g)	-46.06077	-40.92214	-42.53057	-32.68442	-34.68467	-32.72165
mφ	0.00036	0.00162	0.00041	0.00040	0.00074	0.00053
κ(g)	-3.53702	0.87396	-2.57015	-1.99105	-8.07423	3.90747
mκ	0.00016	0.00069	0.00013	0.00019	0.00054	0.00016
X₀ (m)	961.296	960.829	965.287	961.356	950.082	970.860
mX₀	0.026	0.121	0.022	0.026	0.034	0.025
Y₀ (m)	108.346	108.342	108.518	109.586	109.417	105.235
mY₀	0.003	0.011	0.002	0.003	0.006	0.005
Z₀ (m)	2029.875	2031.670	2031.655	2035.733	2041.371	2029.070
mZ₀	0.028	0.143	0.026	0.036	0.036	0.040

Çizelge 3.15 Çalışmada geliştirilen yöntemle 815-7 ve 815-6 nolu fotoğrafların aynı kamera ile çekildiğinin kabul edilmesi durumunda sonuçlar

	815-7	815-6
c (mm)	254.4995	254.4995
mc (mm)	0.2372	0.2372
x₀ (mm)	-20.6871	-20.6871
mx₀ (mm)	0.1676	0.1676
y₀ (mm)	10.6795	10.6795
my₀ (mm)	0.0638	0.0638
k₁	-1.08E-06	-1.08E-06
mk₁	1.10E-08	1.10E-08
ω(g)	-4.135630	-2.580232
mω	0.000403	0.000377
φ(g)	-46.085633	-44.350681
mφ	0.000652	0.000654
κ(g)	-4.064749	-2.789589
mκ	0.000257	0.000236
X₀ (m)	960.6724	963.8685
mX₀	0.0373	0.0375
Y₀ (m)	108.4172	108.5783
mY₀	0.0038	0.0029
Z₀ (m)	2030.4998	2033.4086
mZ₀	0.0403	0.0433

Çizelge 3.16 Çalışmada geliştirilen yöntemle 815-7, 815-5 ve 815-6 nolu fotoğrafların aynı kamera ile çekildiğinin kabul edilmesi durumunda sonuçlar

	815-7	815-5	815-6
c (mm)	254.9726	254.9726	254.9726
mc (mm)	0.8723	0.8723	0.8723
x₀ (mm)	-29.2032	-29.2032	-29.2032
mx₀ (mm)	0.5292	0.5292	0.5292
y₀ (mm)	16.1602	16.1602	16.1602
my₀ (mm)	0.2142	0.2142	0.2142
k₁	-1.31E-06	-1.31E-06	-1.31E-06
mk₁	5.08E-08	5.08E-08	5.08E-08
ω(g)	-2.054799	-0.613195	-0.624001
mω	0.001240	0.001154	0.001160
φ(g)	-44.542026	-43.200825	-42.686604
mφ	0.002080	0.002080	0.002082
κ(g)	-2.644178	-1.080950	-1.494982
mκ	0.000776	0.000715	0.000713
X₀ (m)	960.3323	962.0094	963.5992
mX₀	0.1304	0.1290	0.1302
Y₀ (m)	108.3133	108.1898	108.5018
mY₀	0.0117	0.0094	0.0092
Z₀ (m)	2030.1739	2031.9047	2033.1190
mZ₀	0.1463	0.1530	0.1567

LPS'de eski fotoğraflardan 815-7 ve 815-6 numaralı fotoğrafların aynı kamera ile çekildiği kabul edilerek yapılan Kendi kendine kalibrasyon'da elde edilen sonuçlar Çizelge'3.17'de gösterilmiştir. 815-7, 815-5 ve 815-6 numaralı fotoğrafların aynı kamera ile çekildiği kabul edilerek yapılan Kendi kendine kalibrasyonda elde edilen sonuçlarda Çizelge 3.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.17 LPS yazılımı ile 815-7 ve 815-6 nolu fotoğrafların aynı kamera ile çekildiğinin kabul edilmesi durumunda sonuçlar

	815-7	815-6
c (mm)	253.166	253.166
mc (mm)	0.0049	0.0049
x₀ (mm)	-19.2765	-19.2765
mx₀ (mm)	0.0049	0.0049
y₀ (mm)	10.0424	10.0424
my₀ (mm)	0.0049	0.0049
k₁	1.83E-07	1.83E-07
mk₁	5.40E-08	5.40E-08
ω(g)	1.51E-13	1.51E-13
mω	1.31E-12	1.31E-12
φ(g)	-4.7468	-2.9698
mφ	0.0214	0.0221
κ(g)	-46.4436	-44.657
mκ	0.0124	0.0134
X₀ (m)	-4.3844	-2.9997
mX₀	0.0073	0.0071
Y₀ (m)	960.9559	964.1442
mY₀	0.0084	0.0093
Z₀ (m)	108.6346	108.6582
mZ₀	0.015	0.0163
c (mm)	2030.1845	2033.1759
mc (mm)	0.0125	0.0131

Çizelge 3.18 LPS yazılımı ile 815-7, 815-5 ve 815-6 nolu fotoğrafların aynı kamera ile çekildiğinin kabul edilmesi durumunda sonuçlar

	815--7	815-5	815--6
c (mm)	253.5095	253.5095	253.5095
mc (mm)	0.0055	0.0055	0.0055
x₀ (mm)	-19.2047	-19.2047	-19.2047
mx₀ (mm)	0.0055	0.0055	0.0055
y₀ (mm)	10.017	10.017	10.017
my₀ (mm)	0.0055	0.0055	0.0055
k₁	1.55E-07	1.55E-07	1.55E-07
mk₁	3.44E-07	3.44E-07	3.44E-07
ω(g)	1.27E-13	5.73E-08	5.73E-08
mω	1.40E-12	9.23E-11	9.23E-11
φ(g)	-4.759	-2.2099	-2.982
mφ	0.0199	0.0315	0.0205
κ(g)	-46.4732	-45.3015	-3.0048
mκ	0.0126	0.0203	0.0134
X₀ (m)	-4.3895	-2.5391	-3.0019
mX₀	0.007	0.0115	0.0068
Y₀ (m)	960.9004	962.4449	964.0892
mY₀	0.0087	0.0117	0.0096
Z₀ (m)	108.6402	107.8049	108.6634
mZ₀	0.0127	0.0212	0.0133
c (mm)	2030.23	2031.878	2033.225
mc (mm)	0.0003	0.0003	-0.0002

Çalışmada geliştirilen yöntem, Olympus E20P ile çekilen fotoğraflara ait kamera parametrelerinin elde edilmesi için uygulanmıştır. Rollei 6008 yarı-metrik kamerasıyla çekilen 3 ve 18 nolu fotoğraflar yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri hesaplanmıştır. İlk olarak Olympus E20P kamerasıyla çekilen 8 fotoğrafa ait yaklaşık değerler DLT ile hesaplanmış ve Çizelge 3.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.19 DLT yöntemiyle Olympus E20P ile çekilen fotoğraflara ait yaklaşık değerler

	oly771	oly799	oly797	oly789
c (mm)	9.709	5.005	9.623	9.289
x₀ (mm)	0.306	-0.854	0.256	0.133
y₀ (mm)	-0.002	1.303	-0.011	-0.072
X₀ (m)	980.237	984.560	983.357	992.873
Y₀ (m)	101.671	105.274	102.049	102.088
Z₀ (m)	2011.065	1997.135	2012.112	2009.599
ω(g)	8.77745	16.03921	9.97133	11.22473
φ(g)	-45.26160	-34.66808	-38.62475	-21.24641
κ(g)	5.91767	15.30524	6.91072	4.04231
	oly769	oly795	oly766	oly793
c (mm)	8.610	9.744	8.318	8.947
x₀ (mm)	-0.087	0.394	-0.370	-0.053
y₀ (mm)	0.295	-0.055	0.343	0.061
X₀ (m)	984.945	985.908	991.058	990.693
Y₀ (m)	102.415	102.061	102.798	101.699
Z₀ (m)	2012.009	2012.853	2009.628	2011.320
ω(g)	6.73305	7.50489	11.57533	11.22498
φ(g)	-32.81674	-35.42031	-26.19574	-25.63542
κ(g)	4.50158	4.06231	6.96741	5.52020

Çalışmada geliştirilen yöntemle 3 nolu fotoğraf yardımıyla oly771, oly799, oly797 ve oly789 nolu fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri hesaplanmış ve Çizelge 5.20’de, oly 769, oly795, oly766 ve oly793 nolu fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.21’de sunulmuştur. 18 nolu fotoğraf yardımıyla oly771, oly799, oly797 ve oly789 nolu fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri hesaplanmış ve Çizelge 3.22’de, oly 769, oly795, oly766 ve oly793 nolu fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri hesaplanmış ve Çizelge 3.23’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20 Çalışmada geliştirilen yöntemle 3 numaralı fotoğraflar yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

	oly771	oly799	oly797	oly789
c (mm)	9.985	9.605	9.805	9.47460
mc (mm)	0.003	0.011	0.007	0.00442
x₀ (mm)	0.366	0.296	-0.108	0.04855
mx₀ (mm)	0.005	0.014	0.006	0.00184
y₀ (mm)	-0.408	0.096	-0.241	-0.12990
my₀ (mm)	0.003	0.009	0.004	0.00148
k₁	0.00268	0.00179	0.00240	0.00188
mk₁	0.24195	1.68162	0.43728	0.22581
ω(g)	3.71334	11.04702	6.84284	10.51777
mω	0.00031	0.00114	0.00037	0.00013
φ(g)	-46.11445	-56.86237	-37.06516	-21.01836
mφ	0.00057	0.00172	0.00076	0.00022
κ(g)	2.45273	8.41130	5.09460	3.80626
mκ	0.00027	0.00102	0.00027	0.00006
X₀ (m)	979.372	974.033	982.586	992.48973
mX₀	0.008	0.029	0.015	0.00538
Y₀ (m)	102.298	102.352	102.445	102.09392
mY₀	0.003	0.005	0.004	0.00242
Z₀ (m)	2011.821	2003.457	2012.614	2010.19721
mZ₀	0.006	0.018	0.016	0.01127

Çizelge 3.21 Çalışmada geliştirilen yöntemle 3 numaralı fotoğraflar yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

	oly769	oly795	oly766	oly793
c (mm)	9.303	9.657	9.046	9.32445
mc (mm)	0.008	0.007	0.006	0.00613
x₀ (mm)	-0.061	-0.003	-0.378	-0.18577
mx₀ (mm)	0.005	0.005	0.003	0.00323
y₀ (mm)	-0.048	-0.146	0.169	-0.05438
my₀ (mm)	0.004	0.004	0.002	0.00225
k₁	0.00190	0.00213	0.00228	0.00212
mk₁	0.47812	0.35086	0.36501	0.33861
ω(g)	3.31597	5.82055	9.71439	9.99776
mω	0.00045	0.00033	0.00019	0.00020
φ(g)	-34.59177	-33.07989	-27.70707	-25.68008
mφ	0.00066	0.00063	0.00042	0.00041
κ(g)	2.31513	3.32569	5.92525	4.96329
mκ	0.00029	0.00022	0.00011	0.00011
X₀ (m)	982.951	985.859	989.474	989.77371
mX₀	0.017	0.014	0.009	0.00972
Y₀ (m)	102.543	102.446	102.685	101.65549
mY₀	0.003	0.004	0.003	0.00374
Z₀ (m)	2013.847	2012.702	2011.499	2012.32607
mZ₀	0.021	0.018	0.015	0.01698

Çizelge 3.22 Çalışmada geliştirilen yöntemle 18 numaralı fotoğraf yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

	oly771	oly799	oly797	oly789
c (mm)	10.081	9.626	9.910	9.48989
mc (mm)	0.003	0.011	0.006	0.00446
x₀ (mm)	0.502	0.307	-0.034	0.04702
mx₀ (mm)	0.005	0.015	0.007	0.00187
y₀ (mm)	-0.528	0.088	-0.312	-0.13513
my₀ (mm)	0.003	0.009	0.004	0.00150
k₁	0.00276	0.00183	0.00247	0.00190
mk₁	0.22745	1.71632	0.41114	0.22605
ω(g)	2.82272	10.94292	6.34583	10.43027
mω	0.00032	0.00118	0.00038	0.00013
φ(g)	-47.13966	-56.98027	-37.70324	-21.04981
mφ	0.00057	0.00180	0.00078	0.00022
κ(g)	1.72285	8.32703	4.75602	3.76239
mκ	0.00028	0.00106	0.00028	0.00006
X₀ (m)	979.107	973.983	982.345	992.45967
mX₀	0.008	0.030	0.015	0.00545
Y₀ (m)	102.259	102.364	102.425	102.11210
mY₀	0.003	0.005	0.004	0.00244
Z₀ (m)	2011.985	2003.473	2012.849	2010.23103
mZ₀	0.005	0.018	0.015	0.01138

Çizelge 2.23 Çalışmada geliştirilen yöntemle 18 numaralı fotoğraflar yardımıyla Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

	oly769	oly795	oly766	oly793
c (mm)	9.405	9.752	9.215	9.40955
mc (mm)	0.008	0.007	0.006	0.00631
x₀ (mm)	-0.020	0.041	-0.308	-0.17282
mx₀ (mm)	0.006	0.006	0.004	0.00346
y₀ (mm)	-0.118	-0.206	0.106	-0.08947
my₀ (mm)	0.005	0.004	0.002	0.00238
k₁	0.00200	0.00220	0.00240	0.00220
mk₁	0.46263	0.33441	0.35578	0.33312
ω(g)	2.76288	5.38259	9.28095	9.71585
mω	0.00049	0.00034	0.00021	0.00021
φ(g)	-35.00308	-33.50407	-28.38076	-25.88898
mφ	0.00074	0.00067	0.00047	0.00043
κ(g)	1.98068	3.06053	5.68897	4.82795
mκ	0.00032	0.00023	0.00012	0.00012
X₀ (m)	982.709	985.658	989.183	989.62334
mX₀	0.018	0.014	0.010	0.01017
Y₀ (m)	102.543	102.435	102.624	101.63895
mY₀	0.003	0.004	0.004	0.00387
Z₀ (m)	2014.116	2012.927	2011.943	2012.54784
mZ₀	0.022	0.017	0.016	0.01735

Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların kamera parametrelerinin çekim esnasında değişmediği kabul edilerek yapılan uygulamada elde edilen sonuçlar Çizelge 3.24'de sunulmuştur. Fotoğrafların çekim esnasında kamera parametrelerinin değiştiği kabul edilerek yapılan uygulamaya ait sonuçlar Çizelge 3.25'te görülmektedir.

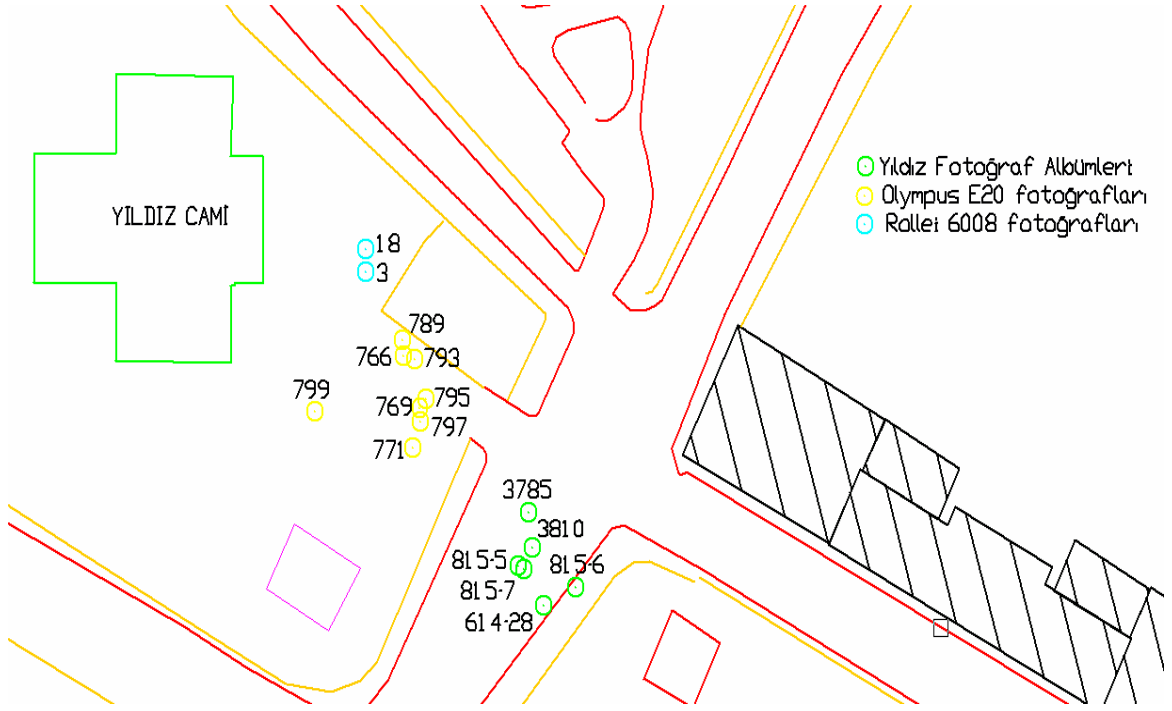
Çizelge 3.24 Çalışmada geliştirilen yöntemle Olympus E20P ile çekilen fotoğrafların aynı kabul edilmesi durumunda iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

	oly799	oly797	oly789	oly769	oly795	oly766	oly793
c (mm)	9.5129	9.5129	9.5129	9.5129	9.5129	9.5129	9.5129
mc (mm)	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142
x₀ (mm)	-0.0194	-0.0194	-0.0194	-0.0194	-0.0194	-0.0194	-0.0194
mx₀ (mm)	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
y₀ (mm)	-0.0085	-0.0085	-0.0085	-0.0085	-0.0085	-0.0085	-0.0085
my₀ (mm)	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091
k₁	0.0020877	0.0020877	0.0020877	0.0020877	0.0020877	0.0020877	0.0020877
mk₁	1.27E-05	1.27E-05	1.27E-05	1.27E-05	1.27E-05	1.27E-05	1.27E-05
ω(g)	9.33245	8.61452	10.97303	3.52845	6.67867	9.02023	10.43775
mω	0.00115	0.00095	0.00087	0.00101	0.00096	0.00091	0.00088
φ(g)	-54.81907	-37.19072	-20.55295	-35.18258	-32.77556	-30.51466	-26.90038
mφ	0.00155	0.00146	0.00129	0.00144	0.00143	0.00142	0.00139
κ(g)	7.20634	6.06233	4.08805	2.46611	3.81522	5.37811	5.09303
mκ	0.00102	0.00063	0.00040	0.00065	0.00058	0.00051	0.00047
X₀ (m)	974.1969	983.2815	992.4696	982.4908	986.1761	988.6710	989.4957
mX₀	0.0390	0.0312	0.0139	0.0318	0.0275	0.0259	0.0226
Y₀ (m)	102.4320	102.5855	102.2394	102.5907	102.5665	102.3116	101.5812
mY₀	0.0087	0.0101	0.0117	0.0086	0.0095	0.0114	0.0123
Z₀ (m)	2003.3606	2011.8775	2010.2667	2014.2940	2012.3127	2012.7930	2012.8065
mZ₀	0.0226	0.0373	0.0398	0.0383	0.0377	0.0399	0.0416

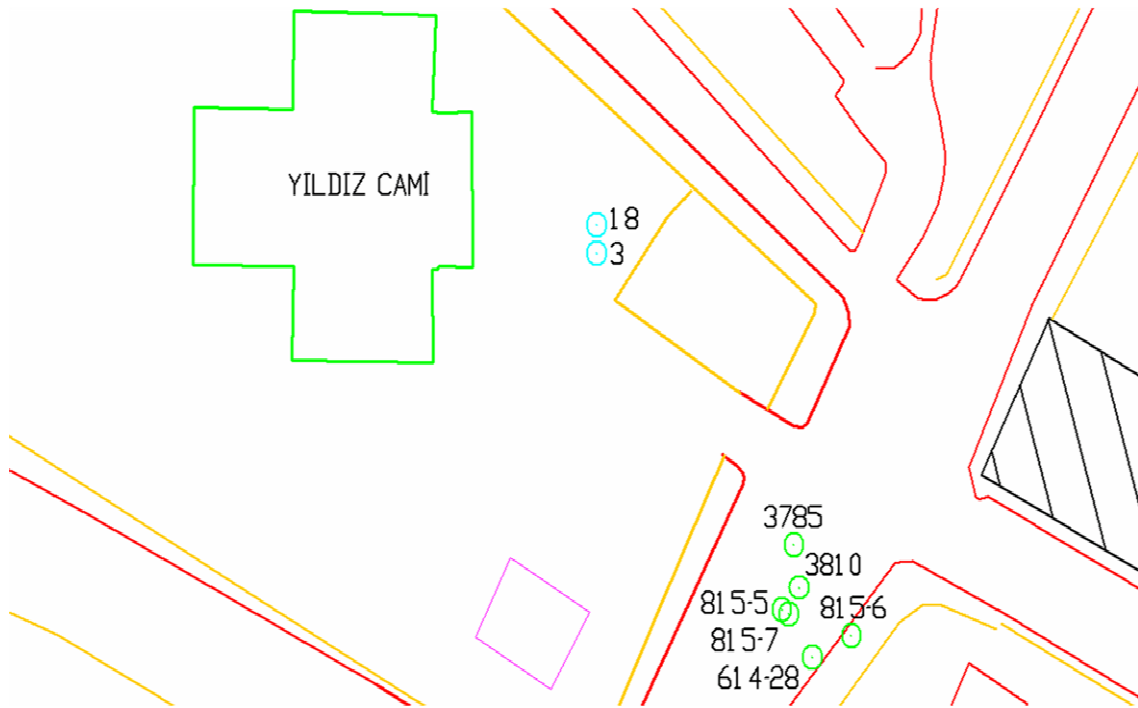
Çizelge 3.25 Çalışmada geliştirilen yöntemle Olympus E20 P ile çekilen fotoğraflar farklı kabul edilmesi durumunda iç ve dış yöneltme parametreleri ve doğrulukları

	oly797	oly789	oly769	oly766	oly793
c (mm)	9.7632	9.5888	9.5881	9.0604	9.3962
mc (mm)	0.0369	0.0416	0.0395	0.0416	0.0427
x₀ (mm)	-0.1959	0.1201	0.1212	-0.3862	-0.1173
mx₀ (mm)	0.0321	0.0168	0.0347	0.0234	0.0232
y₀ (mm)	-0.0910	-0.1262	-0.1669	0.2416	-0.0584
my₀ (mm)	0.0205	0.0129	0.0251	0.0149	0.0158
k₁	0.0023879	0.0019495	0.0021297	0.002337463	0.0021797
mk₁	2.58E-05	2.00E-05	2.04E-05	2.88E-05	2.36E-05
ω(g)	7.80126	10.51457	2.39766	10.16512	9.93349
mω	0.00190	0.00114	0.00256	0.00136	0.00140
φ(g)	-36.42959	-21.47463	-36.09205	-27.66409	-26.14085
mφ	0.00389	0.00204	0.00413	0.00306	0.00294
κ(g)	5.74543	3.77872	1.72288	6.16117	4.91659
mκ	0.00135	0.00054	0.00180	0.00077	0.00077
X₀ (m)	982.6747	992.3988	982.3344	989.4474	989.6884
mX₀	0.0801	0.0506	0.0923	0.0680	0.0684
Y₀ (m)	102.5228	102.0727	102.5376	102.7296	101.6564
mY₀	0.0208	0.0220	0.0183	0.0245	0.0261
Z₀ (m)	2012.4867	2010.4856	2014.5827	2011.5052	2012.5337
mZ₀	0.0914	0.1057	0.1067	0.1141	0.1180

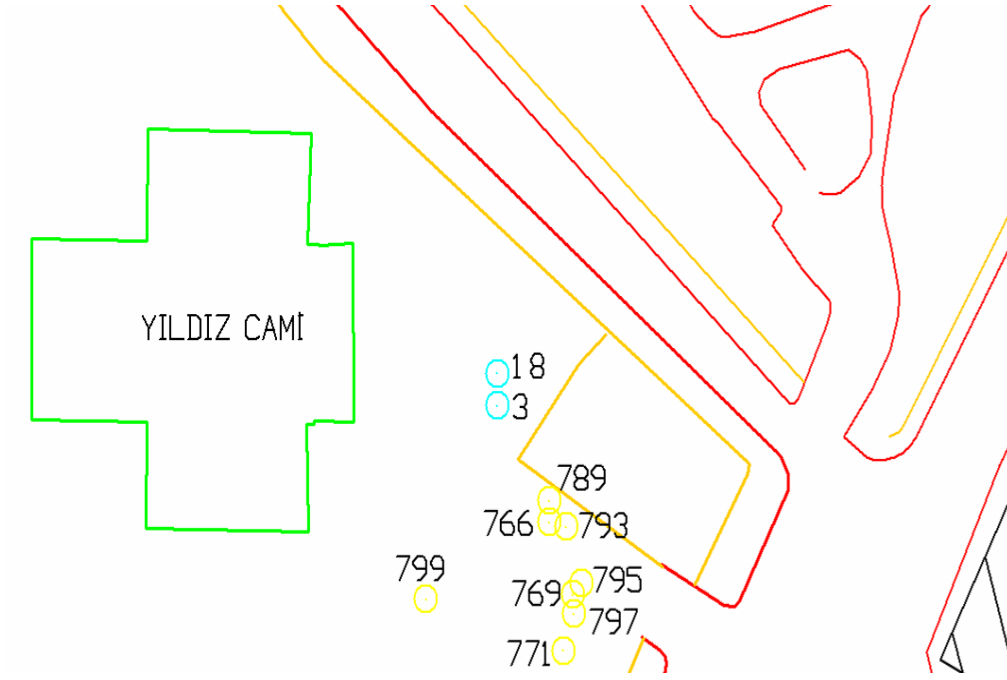
Uygulamada kullanılan tüm fotoğrafların Yıldız Camisine göre çekim konumları Şekil 3.20’de görülmektedir. Şekil 3.21’de Rollei 6008 yarı-metrik kamerasıyla YFA fotoğraflarının çekim durumları görülmektedir. Günümüzde eski fotoğrafların çekildikleri konumdan fotoğraf çekme imkanı yoktur. Ağaçların büyümesi gibi nedenlerden dolayı bu bölgeden fotoğraf çekmek mümkün değildir. Şekil 3.22’de Rollei 6008 yarı-metrik kamerası ve Olympus E20P fotoğraflarının çekim durumları görülmektedir.



Şekil 3.20 YFA, Olympus E20P ve Rollei 6008'e ait fotoğrafların çekim durumları



Şekil 3.21 Rollei 6008 ve YFA fotoğraflarının durumları



Şekil 3.22 Rollei 6008 ve Olympus E20P kameraları ile çekilen fotoğrafların durumları

Eski fotoğraflar için önerilen yaklaşımla elde edilen kamera parametrelerinden yeni noktaların obje koordinatları hesaplanmıştır. Aynı uygulama LPS'de kendi kendine kalibrasyonla yapılmıştır. Her iki yöntemle yapılan uygulamadan elde koordinatlar arasındaki farklar Çizelge 3.26'de sunulmuştur.

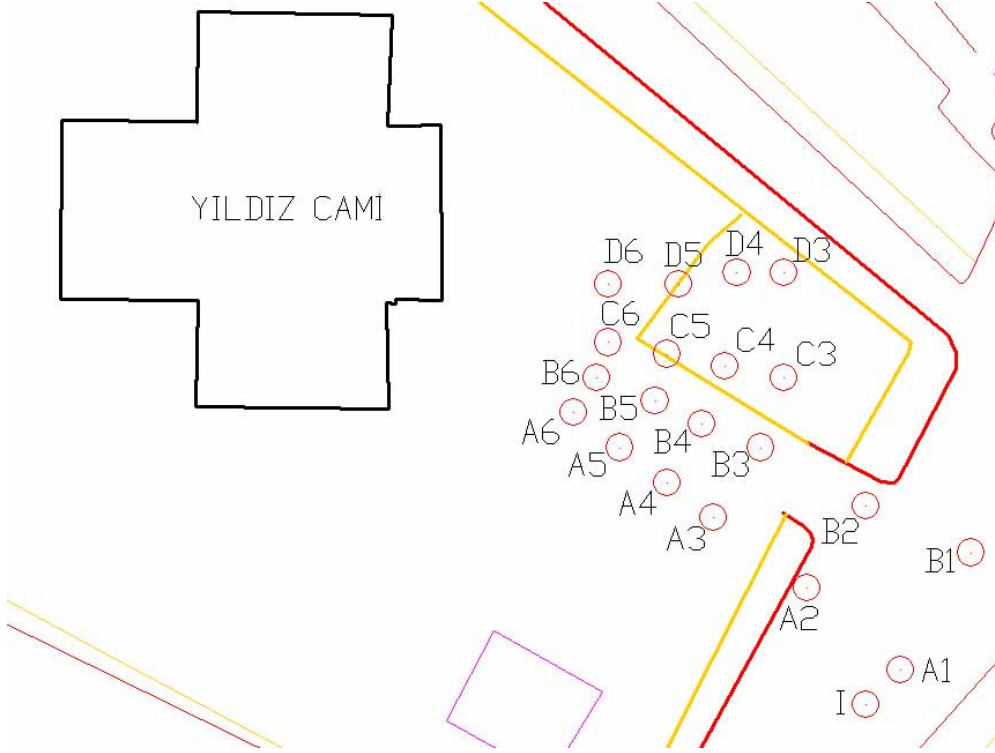
Çizelge 3.26 LPS yazılımı ve önerilen yöntemle hesaplanan noktaların koordinat farkları

N.No	DX	DY	DZ
5075	-0.014	-0.055	0.097
5076	-0.015	-0.032	0.076
5077	0.023	0.037	0.138

Yapılan bu uygulamalarda eski fotoğrafların kamera parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan yeni fotoğrafların çekim konumlarının kamera parametrelerinin belirlenmesini etkilediği görülmektedir. Bunun için uygulama bölgesi dikkate alınarak yapay veriler üretilmiş ve yeni fotoğrafların çekim durumlarının eski fotoğrafların kamera parametrelerinin belirlenmesi üzerindeki etkisi ortaya konmuştur.

3.5.2 Yapay Verilerle Uygulama

Çalışmada geliştirilen yöntemle eski fotoğraflara ait kamera parametrelerinin hesaplanmasında yeni çekilen fotoğrafların çekildikleri konum önemlidir. Uygulama için seçilen bölgede eski fotoğrafların çekildiği konumdaki bir fotoğrafın kamera parametrelerinin belirlenmesi için yapay veriler üretilmiştir (Şekil 3.23). Farklı çekim noktaları ve farklı kameralarla üretilen yapay verilerle uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamanın amacı, çalışmada geliştirilen yöntemle eski fotoğrafların parametrelerinin belirlenmesinde yeni fotoğrafın uygun çekim noktasının belirlenmesidir.

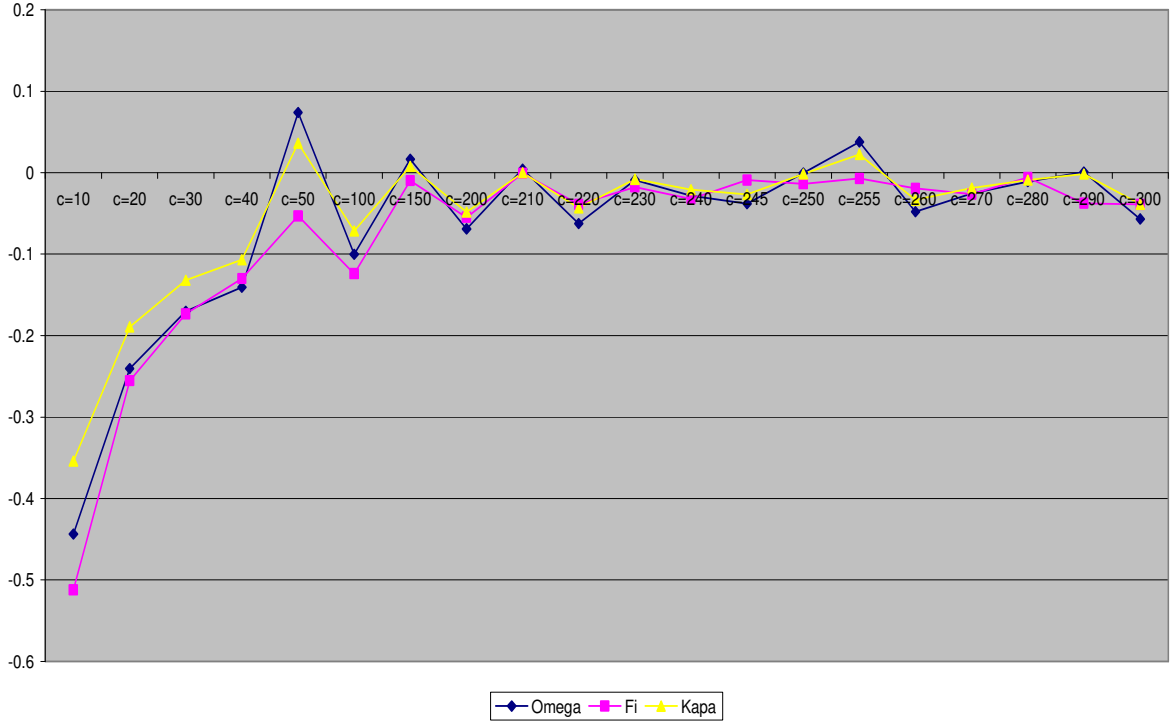


Şekil 3.23 Yapay verilerin çekim durumları

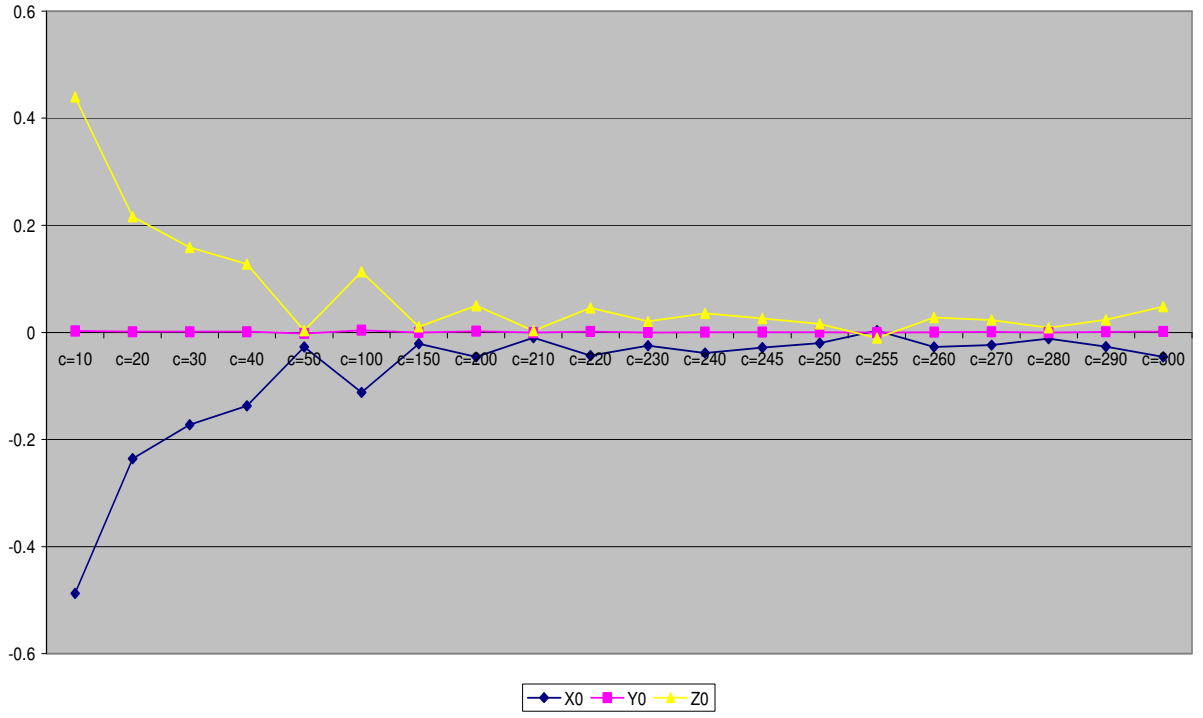
Şekil 3.23’de üretilen yapay verilerin çekim durumları görülmektedir. Uygulamada kamera parametreleri bilinen, I noktasından çekilen bir fotoğrafın kamera parametrelerinin A, B, C, ve D doğrultularındaki her çekim istasyonundan çekilecek fotoğraflar yardımıyla elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle uygulamayı iki kısımda incelemek uygun olacaktır. İlk olarak, I noktasına yakın bir noktadan fakat farklı kameralarla çekilen fotoğraflardan kamera parametrelerinin belirlenmesine etkisi araştırılmıştır. Yani A1 noktasından farklı kamera asal uzaklıkları için üretilen verilerle uygulama yapılmıştır. İkinci olarak ise farklı noktalardan farklı kameralarla çekilen fotoğraflardan kamera parametrelerinin belirlenmesinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaç için yapının çevresindeki fiziksel koşullar dikkate alınarak çekim yapılacak noktalar belirlenmiştir. Çekimlerin A, B, C ve D doğrultularında yapılması planlanmıştır. Her doğrultuda verilen 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaraları sırasıyla yapıdan 50, 40, 30, 25, 20 ve 15 m uzaklıkları göstermektedir. Bu noktalardan yapılacak çekimler için yapay veriler üretilmiştir.

A1 noktasında farklı kamera asal uzaklıklarına sahip yapay verilerle uygulama yapılmıştır. 10-300 mm asal uzaklığa sahip kameralarla A1 noktasından çekim yapılması durumunda I noktasındaki kameranın iç ve dış yöneltme parametreleri hesaplanmıştır. Kameranın iç ve dış yöneltme parametrelerinin gerçek değerinden olan farkları ve kamera asal uzaklıklarına göre değişimleri grafikler ile gösterilmiştir. Dönüklük elemanlarının asal uzaklığa göre değişimi Çizelge 3.27’de, izdüşüm merkezinin konumunun asal uzaklığa göre değişimi Çizelge 3.28’de ve iç yöneltme elemanlarının asal uzaklığa göre değişimi Çizelge 3.29’da görülmektedir.

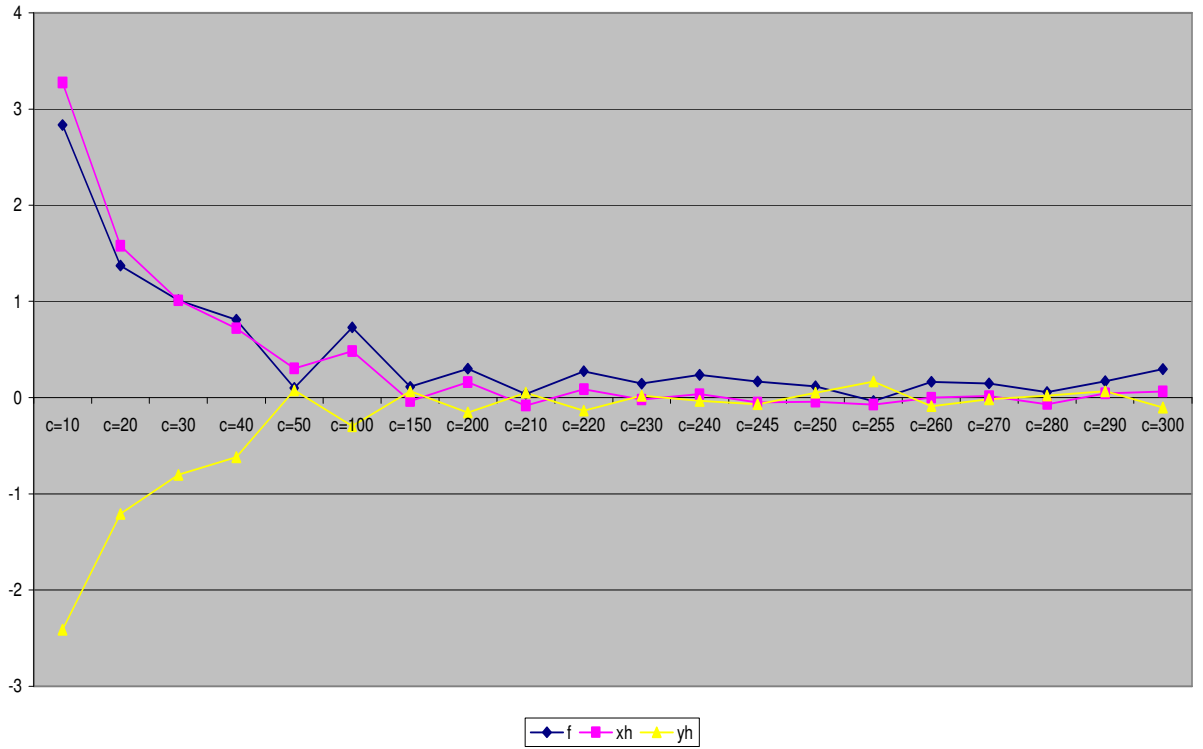
Çizelge 3.27 Dönüklük elemanlarının asal uzaklığa göre değişimi



Çizelge 3.28 İzdüşüm merkezinin konumunun asal uzaklığa göre değişimi



Çizelge 3.29 İç yöneltme elemanlarının asal uzaklığa göre değişimi

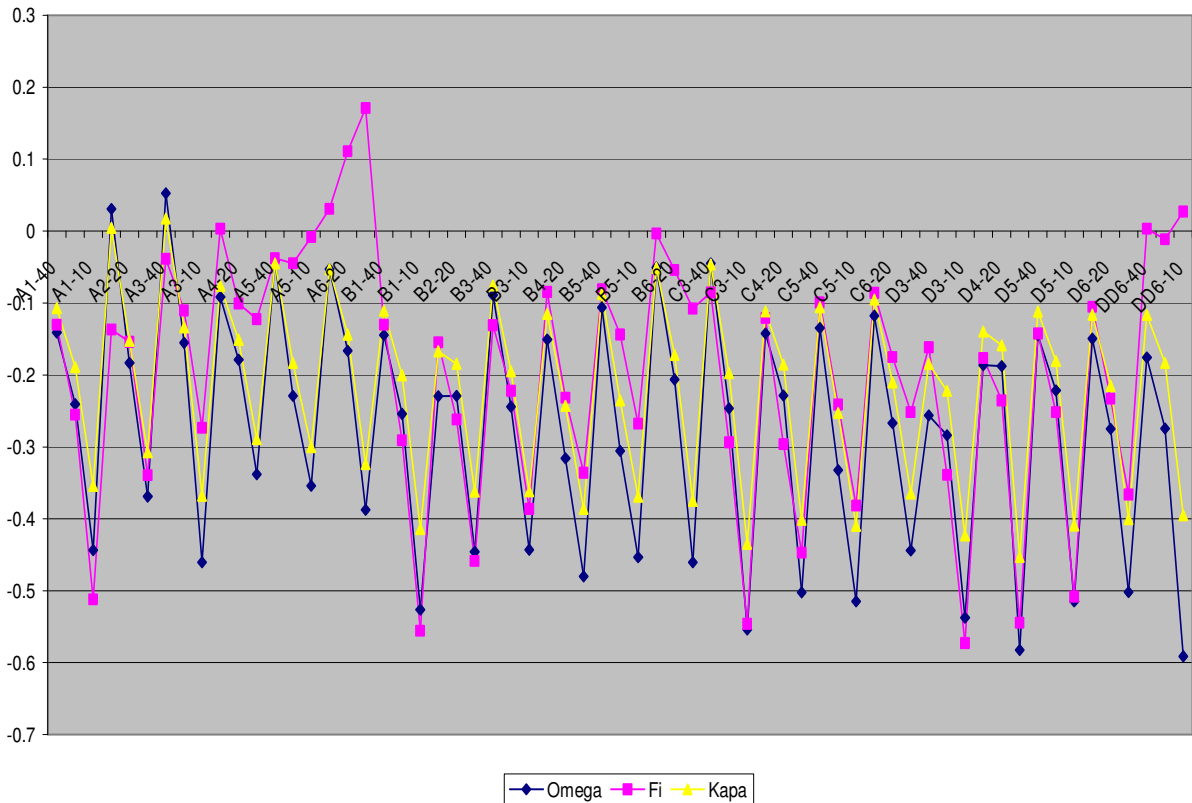


A1 noktasından 10 mm ila 300 mm asal uzaklığa sahip kameralarla yapılan uygulamada 150 mm ve daha üzerinde bir kamera kullanılması durumunda sonuçların gerçek değerlerine daha iyi yakınsadığı görülmektedir. Yeni fotoğrafların çekimi için kullanılacak kameranın asal uzaklığının eski kameranın asal uzaklığına yakın olması sonuçların doğruluğunu olumlu yönde etkilemektedir. Diğer bir deyişle çalışmada geliştirilen yöntemle uygulama yapılması durumunda eski fotoğrafların asal uzaklığına yakın kameralarla fotoğrafın çekilmesi değerlendirmenin doğruluğunu artıracaktır.

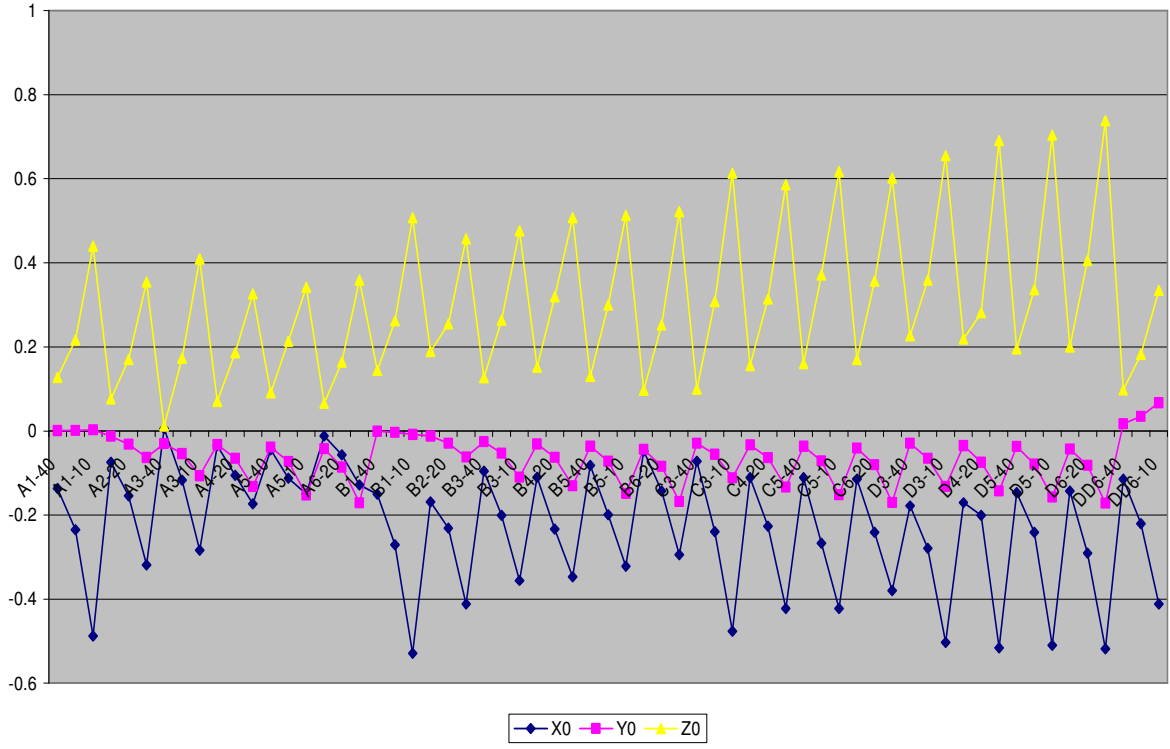
Diğer bir durum ise yeni fotoğrafların çekim konumunun etkisinin belirlenmesidir. Birçok uygulamada eski fotoğrafların çekim yapıldığı noktadan yeni fotoğrafların çekilmesi mümkün değildir. O zaman en iyi doğruluğu sağlayacak konumdan en uygun kamera ile çekim yapılmalıdır. Üretilen yapay verilerle uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalarda mevcut kameraların asal uzaklıkları dikkate alınarak sınırlı bir uygulama planı yapılmıştır. Bu nedenle A, B, C ve D gruplarının 6 durumu için 10, 20 ve 40 mm asal uzaklığa sahip kameralarla çekim yapılması durumunda I noktasındaki fotoğrafa ait iç ve dış yöneltme parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerleriyle gerçek değerleri arasındaki farklar iç ve dış yöneltme parametrelerine göre hazırlanan grafiklerde göstermiştir.

Dönüklük elemanlarının çekim durumlarına göre değişimi Çizelge 3.30'da sunulmuştur. Çizelge 3.31'de izdüşüm merkezinin konumunun çekim durumlarına göre değişimi görülmektedir. Çizelge 3.32 de iç yöneltme parametrelerinin çekim durumlarına göre değişimi görülmektedir.

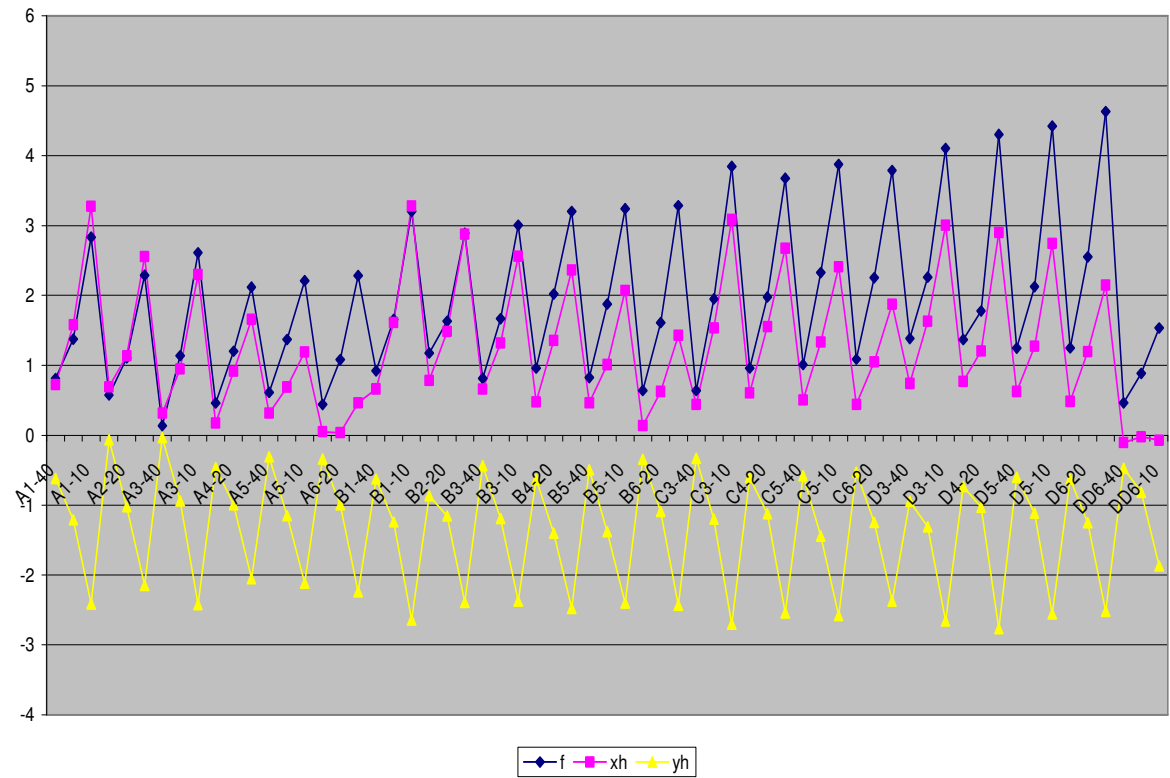
Çizelge 3.30 Dönüklük elemanlarının çekim durumlarına göre değişimi



Çizelge 3.31 İzdüşüm merkezinin konumunun çekim durumlarına göre değişimi



Çizelge 3.32 İç yöneltme parametrelerinin çekim durumlarına göre değişimi



Yapay verilerle yapılan ikinci uygulamada en iyi sonuçların 40 mm asal uzaklığa sahip kameralar için elde edildiği görülmektedir. Bunun dışında en iyi çekim uzaklığında 3. noktalarda yani A3 ve C3 de elde edildiği görülmüştür.

Yapay verilerle yapılan uygulamalarda çekim için kullanılacak kameranın asal uzaklığının eski kameranın asal uzaklığına yakın olması ve mümkün olduğunca eski fotoğrafın çekim noktasından yapılması gereği sonucu çıkmıştır. Çekim planının yapılması ile elimizdeki mevcut donanım ve çekim koşullarına göre en uygun çekim noktaları belirlenebilir.

3.6 İrdellemeler

Mevcut verilerin durumlarına göre fotoğraflar değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Uygulamada kullanılan yöntemler ile farklı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Yapılan uygulamalarda en doğru sonuçların kendi kendine kalibrasyon ve çalışmada geliştirilen yöntem ile elde edildiği görülmüştür.

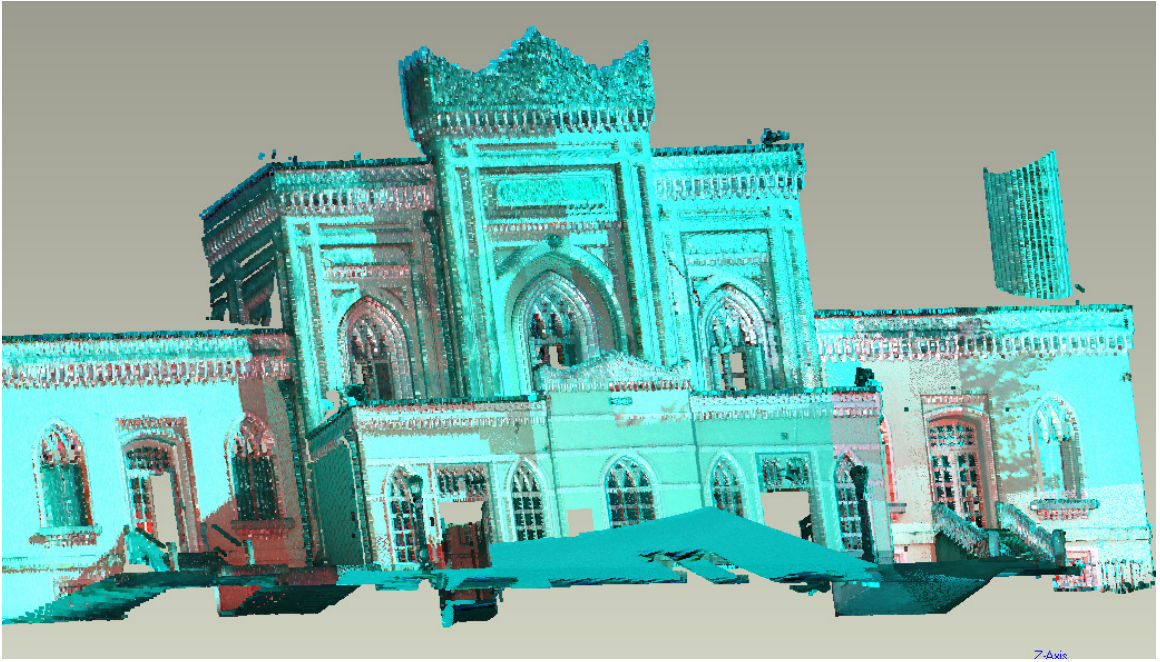
Eğer yapıya ait tek fotoğraf varsa uygulanacak yöntemler sınırlıdır. Yapının tahrip olan cephesi için yataylanan fotoğraflar üzerinden rölöve yapılır. Tek fotoğraf için kullanılan 2B dönüşümlerde kamera bilgilerine gerek duyulmaz. Fotoğrafın kamera parametrelerinin elde edilmesi ile de belirli obje düzlemleri için rektifiye etmek söz konusudur. Özellikle bu uygulamadaki gibi tahrip olan kısım varsa derinlik bilgisi olmadan tek resim rektifikasyonu hatalı olur.

DLT ve Faugeras'ın yöntemi doğrusal yöntemlerdir. Heikkila'nın yöntemi tek fotoğraf için uygulanamaz. Kaçış noktası ile yapılan uygulamada sadece fotoğraflardaki çizgilerin paralelliği ve dikliğinden yararlanılarak kamera parametreleri belirlenmiştir. Bu yöntem yapının sadece tek fotoğrafının olduğu ve yapının tamamen tahrip olduğu durumlar için uygulanabilecek bir yöntemdir. Bu yöntem 3 ana doğrultuda kaçış noktaları varsa ve asal noktadan çok uzakta değil ise sonuçlar güvenilirdir.

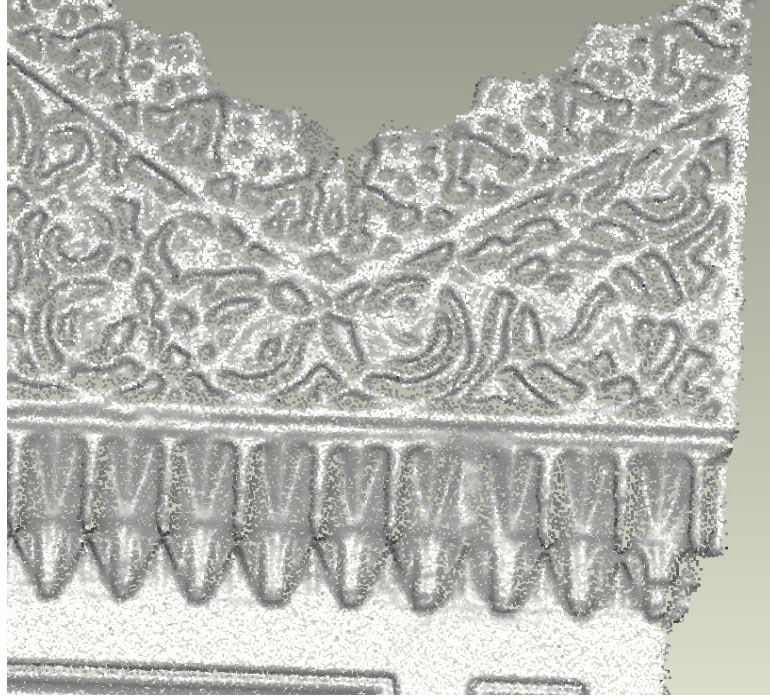
Önerilen yöntemde yeni çekilen fotoğrafların konumu sonuçları etkilemektedir. Yapıların eski fotoğraflarının çekildiği noktadan tekrar çekim yapma imkanı olamayabilir. Bu durum sık karşılaşılan bir durumdur. Yapay verilerle yapılan uygulamada yeni çekilecek fotoğrafların çekim koşullarının mümkün olduğunca eski fotoğrafa uygun olması sonucu olumlu etkileyeceği görülmüştür. Fakat bu durumda en uygun çekim noktasının belirlenmesi için mevcut koşullara göre plan yapılmalıdır. Planlama için kullanılacak kameranın özellikleri, fotoğraf çekimine hangi noktaların uygun olduğu belirlenmelidir. Çalışmada geliştirilen yöntemle eski tek ya da çok sayıda fotoğrafa ait kamera parametreleri belirlenebilmektedir. Ayrıca önerilen yöntem, eski ve yeni fotoğrafların bir birlerine göre dönüştürülmesi için kullanılabilir.

3.7 Lazer Tarama

Yıldız Camisinin günümüzdeki durumunu belgelemek amacıyla yapının dış ve iç mekanı lazer tarayıcı ile taranmıştır. Tarama işlemi Mensi GS 100 yersel lazer tarayıcı ile 6 mm çözünürlüğünde gerçekleştirilmiştir. Tarama işlemi, tarayıcının yatay ve düşey tarama açıları ve çevre koşullarına bağlı olarak parça parça taranarak yapılmış ve nokta kümeleri elde edilmiştir. Geomagic yazılımı kullanarak yapının dış kısmına ait taramalardan elde edilen nokta kümeleri birbirleriyle ortalama 1 cm hata ile çakıştırılmıştır. Nokta kümelerinin birbirleriyle çakıştırma işlemlerinden sonra boşlukların doldurulması ve yüzey geçirme işlemleri yapılmış ve yapının ön kısmının 3B modeli elde edilmiştir (Şekil 3.24). Bu nokta kümelerinde gürültü gibi istenmeyen durumlar yazılımlarla otomatik olarak giderilebilmektedir (Şekil 3.25).



Şekil 3.24 Lazer Tarama ile yapının ön cephesi



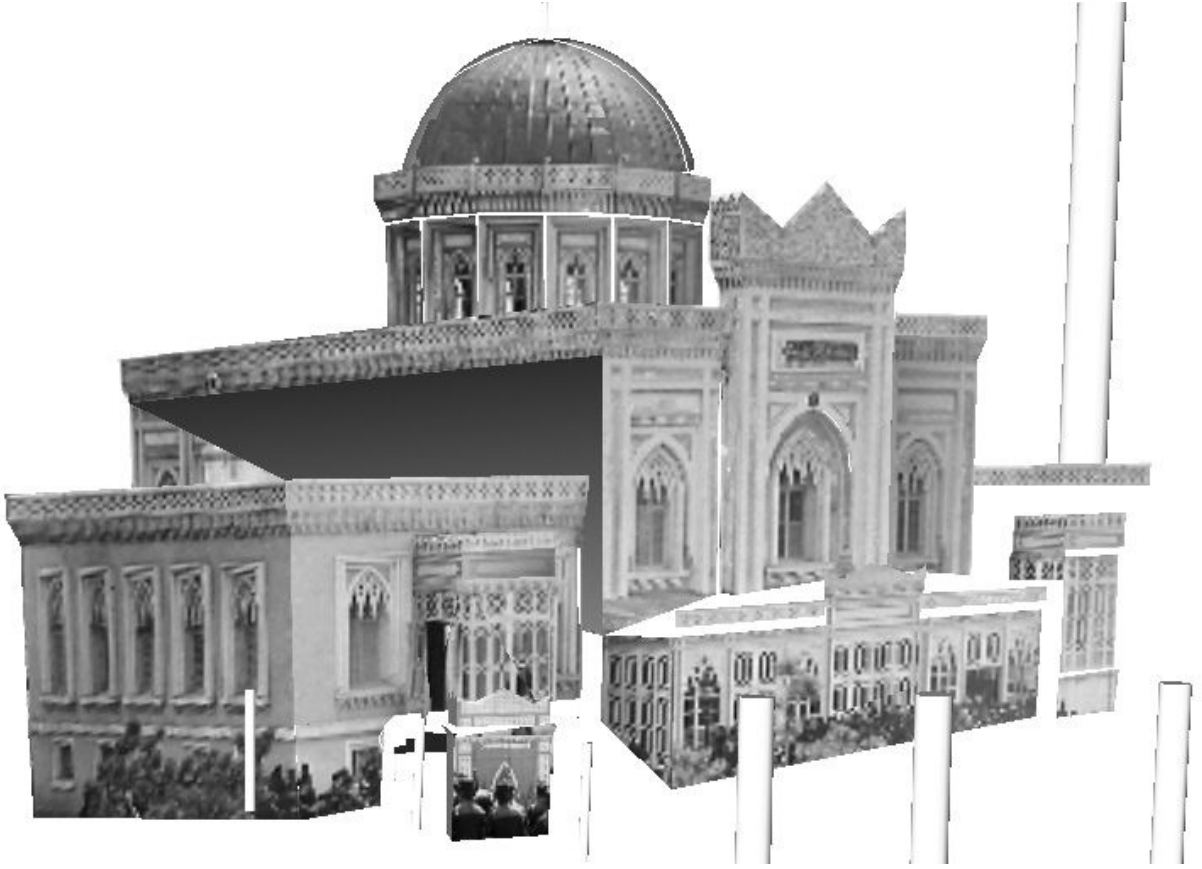
Şekil 3.25 Nokta kümesi

3.8 3B Modelleme

Uygulamada kullanılan eski, yeni fotoğraflar ve lazer tarama verileri ile 3B modeller üretilmiştir. Yapının eksik olan kısımları bu modeller üzerinden birleştirilmiştir. Yapının eski ve yeni fotoğrafları Photomodeller programında değerlendirilerek detay çizimleri ve 3B modelleri üretilmiştir. Yapının tahrip olan kısmına ait verilerle lazer tarama verilerinden elde edilen modeller birleştirilmiştir. Yapılan uygulamada yapının eski fotoğrafları fotogrametrik olarak değerlendirilmiş ve 3B modelleri üretilmiştir (Şekil 3.26). Üretilen modeller gerçek dokularıyla kaplanmıştır (Şekil 3.27). Yeni çekilen fotoğraflar içinde 3B modelleri üretilmiştir (Şekil 3.28). Üretilen modeller gerçek dokularıyla kaplanmıştır (Şekil 3.29).



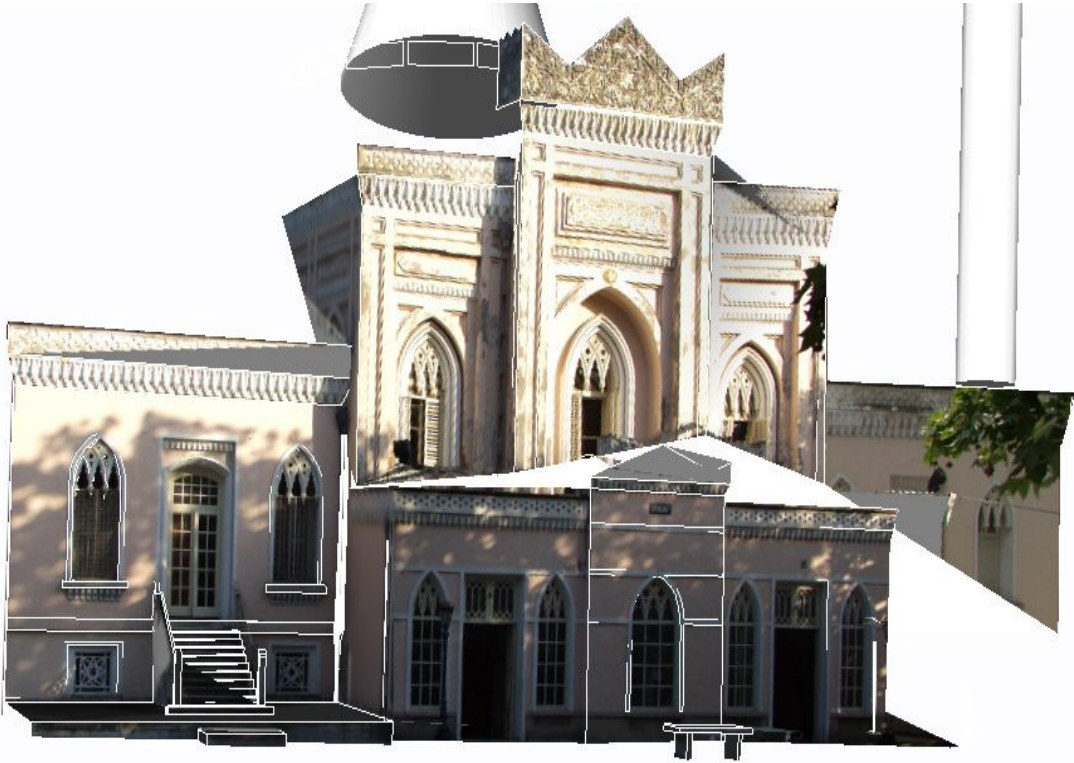
Şekil 3.26 Eski fotoğraflarda üretilen 3B model



Şekil 3.27 Eski fotoğraflarla doku kaplanmış 3B model



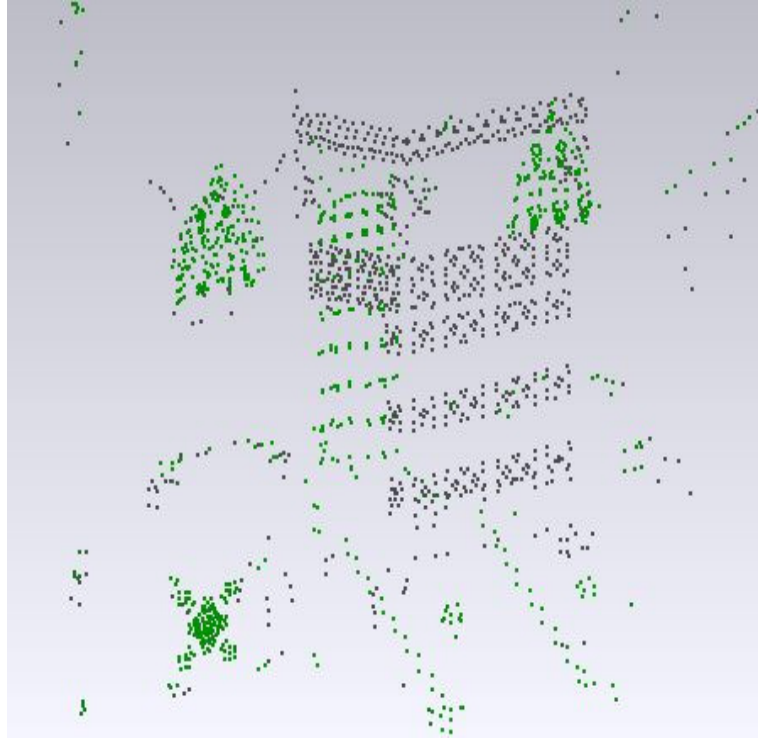
Şekil 3.28 Günümüzdeki durumunun 3B modeli



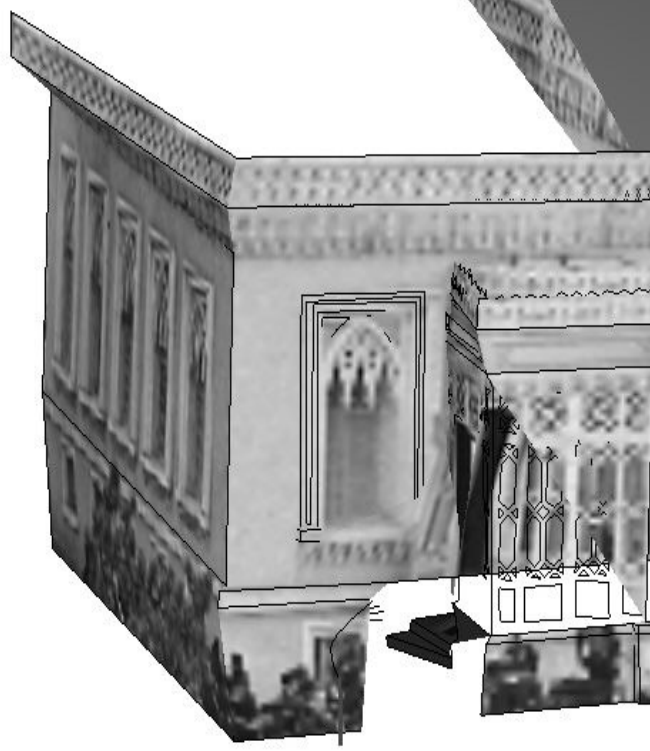
Şekil 3.29 Günümüzdeki fotoğraflarından dokuyla kaplanmış 3B model

Yapının ön cephesi eldeki mevcut veri kaynaklarının değerlendirilmesi sonucu modellenmiştir. Bu çalışmada fotogrametri ve lazer tarama verileri bütünleştirilmiştir. Kontrol noktalarının lazer taramadaki koordinatlarıyla eski ve yeni fotoğraflar değerlendirilerek 3B modelleri üretilmiştir. Şekil 3.30'da yapının tahrip olan kısmının eski ve yeni fotoğrafların değerlendirilmesi sonucu elde edilen nokta kümesi görülmektedir. Yeşil noktalar yapının günümüzdeki durumuna, siyah noktalar ise tahrip olmuş detaya ait noktaları göstermektedir. Yapının eski fotoğrafları değerlendirilmiş, detaylar çizilmiş ve gerçek dokularıyla kaplanmış 3B modeli Şekil 3.31' de görülmektedir.

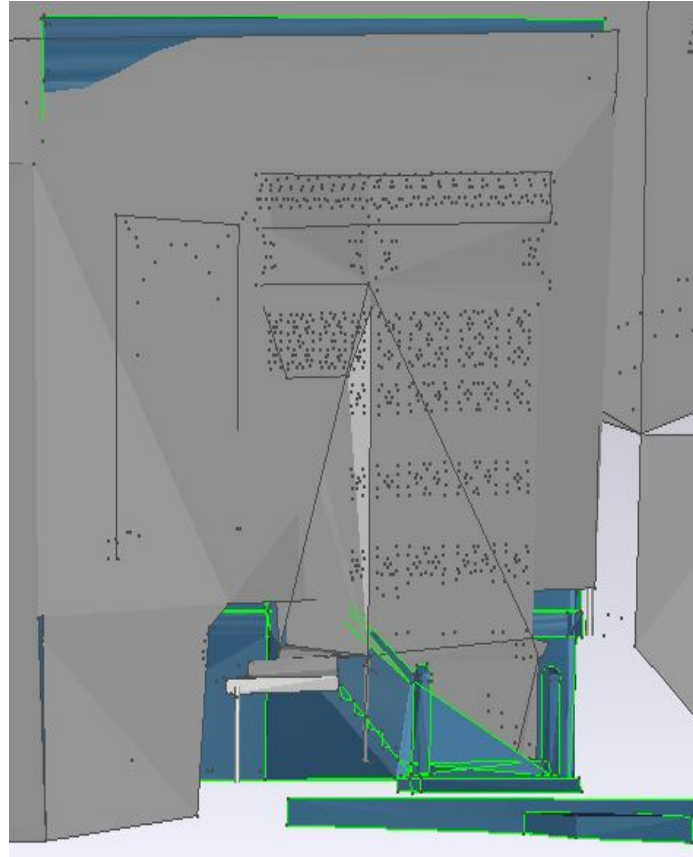
Eski ve yeni fotoğrafların değerlendirmesinden elde edilen nokta kümelerinden geçirilen yüzeyle 3B model üretilmiştir. Eski ve yeni fotoğraflardan elde edilen 3B modeller üst üste getirilmiştir (Şekil 3.32). Şekil 3.32'de mavi yüzey ve yeşil noktalar yeni fotoğraftaki, gri yüzey ve siyah noktalar eski fotoğraftaki detayları göstermektedir.



Şekil 3.30 Tahrip olan kısma ait 3B nokta kümesi



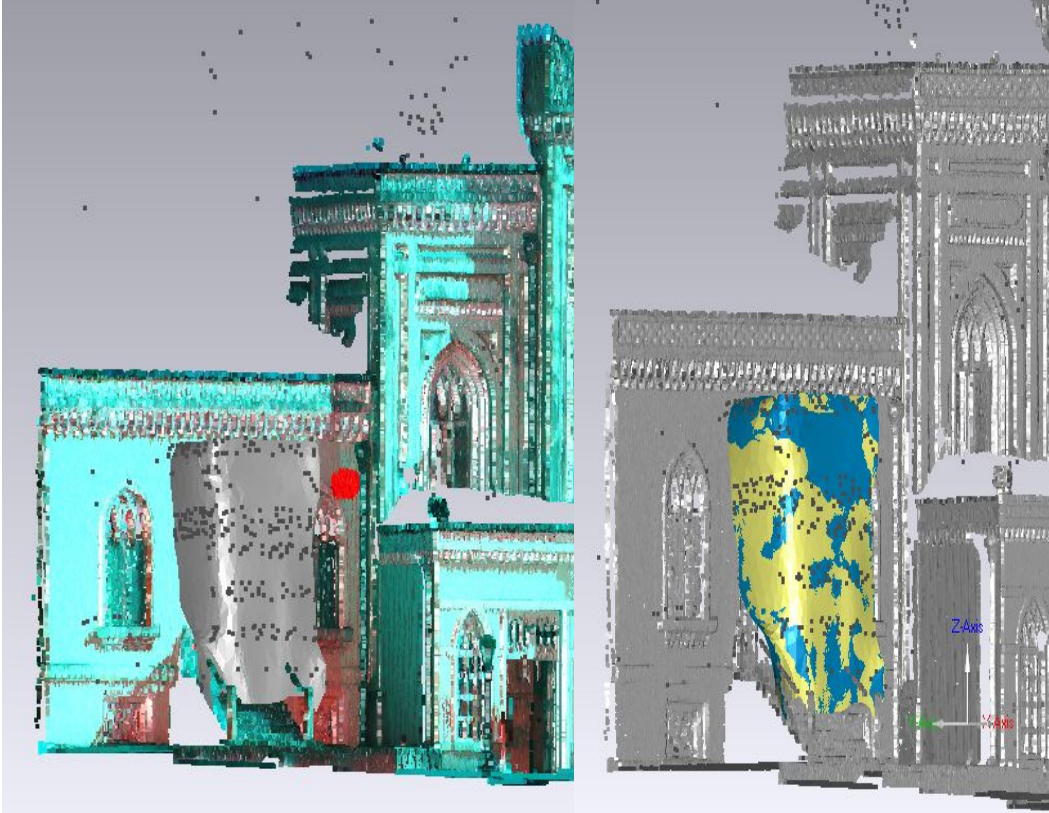
Şekil 3.31 Tahrip olan kısmın eski fotoğrafla kaplanmış 3B modeli



Şekil 3.32 Eski ve yeni fotoğraflardan üretilen 3B modellerin üst üste çakıştırılması

Fotogrametrik olarak üretilen 3B noktalar yardımıyla tahrip olan kısımdan geçirilen yüzey ile obje modellenerek lazer tarama verileriyle bütünleştirilmiştir (Şekil 3.33). Tahrip olan kısmın fotogrametrik olarak üretilen noktaları Geomagic programına aktarılmıştır. Geomagic ortamında bu noktalar yardımıyla yeniden yüzey geçirilmiştir. Bu işlem için noktalar arası boşluklar doldurulmuştur. Tahrip olan kısma ait 3B model lazer tarama verileriyle bütünleştirilmiştir. Lazer tarayıcı yardımıyla elde edilen nokta kümesi ile fotogrametrik değerlendirme sonucu üretilen çizimler üst üste getirilmiştir (Şekil 3.34).

Yıldız Camisi örneğinde yapının tahrip olan kısmının ve günümüzdeki durumuna ait 3B modelleri ve rölöveleri hazırlanmıştır. Yapının tahrip olan kısmına ait bilgiler yapının eski fotoğrafları yardımıyla elde edilmiş ve lazer tarama verileriyle birleştirilmiştir. Bu özelliğe sahip olan tarihi yapılar mevcut verilerine göre uygun yöntemlerle belgelenebilir.



Şekil 3.33 Fotogrametrik ve lazer tarama 3B modellerin bütünleştirilmesi



Şekil 3.34 Rölöve ve lazer nokta bulutu

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kültürel mirasın korunmasında fotogrametri ve lazer tarama verilerinin birleştirilmesi önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada yapılan uygulamada lazer tarama verilerinin yapının mevcut olmayan kısmına ait fotoğraflardan üretilen verilerle birleştirilmesi denenmiştir. Fotogrametri ve lazer tarama verilerinin birlikte kullanımı için son zamanlarda birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Fakat yapılan bu uygulamaların amacı günümüzde mevcut olan tarihi yapının her iki yöntemle toplanan verilerinin birleştirilmesine dayanır. Burada yapılan çalışmada ise, tarihi yapının tahrip olan kısmına ait verilerle lazer tarama verileri birleştirilerek yapının tahrip olan kısmıyla birlikte 3B modeli elde edilmiştir.

Bir kısmı tahrip olmuş tarihi yapının, fotogrametri ve lazer tarama verilerinin birleştirilmesiyle yapının hem tahrip olan kısmının hem de tamamının dokümantasyonu yapılmıştır. Tahrip olan kısma ait verilerin elde edilmesi için yapının tahrip olmadan önce çekilmiş fotoğraflarına ihtiyaç duyulur. Bu bakımdan Yıldız Fotoğraf Albümleri ülkemizdeki önemli birçok tarihi yapının ilk fotoğraflarını barındırması bakımından önemlidir. Özellikle bu tip çalışmalar için eşsiz bir veri kaynağıdır.

Bu çalışma ile yöneltmesi bilinen fotoğraflar yardımıyla yapının tahrip olmuş kısımlarına ait bilgilerin elde edilmesi için eski fotoğraflara ait kamera parametrelerinin hesaplanmasında yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemle göre, yapıya ait yeni fotoğraflar yardımıyla eski fotoğrafların kamera parametreleri elde edilebilmektedir. Yöntemde kamera parametrelerinin doğruluğu yeni çekilen fotoğrafların çekiminde kullanılan kamera ve çekim konumlarına göre değişmektedir. Bu yöntem ile uygulama yapılırken kamera çekim planının dikkatli yapılması gerekir. Çalışmada geliştirilen yöntemin uygunluğunun belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ümit vericidir. Bu yöntemle yapıya ait tek bir fotoğraf yada çok sayıda fotoğrafın iç ve dış yöneltme parametrelerinin hesabı yapılabilmektedir. Genellikle bu durumdaki fotoğraflar için yaygın olarak kullanılan DLT gibi doğrusal tabanlı yöntemlerden çok daha iyi sonuçlar vermesi doğaldır. Çünkü çalışmada geliştirilen yöntemde bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri DLT gibi doğrusal tabanlı teknikler yardımıyla hesaplanmaktadır. Kameranın iç ve dış yöneltme parametrelerinin yüksek doğrulukla belirlenmesi için gerekli koşulların sağlanması eski fotoğraflar için mümkün değildir. Bir kısmı tahrip olmuş tarihi yapıların tahrip olmadan önceki verileri ve lazer tarama verileri birleştirilerek hem tahrip olmadan önceki hemde günümüzdeki durumunun dokümantasyonu yapılabilir.

Çalışmada kullanılan fotoğrafların çekildikleri döneme bakıldığında kullanılan makinelerin fotoğraf makinesinin gelişim sürecindeki ilk modelleri olduğu söylenebilir. Bu durumda bu makinelerin iç yöneltme parametrelerinin çok stabil olması beklenemez. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara bakıldığında, iç yöneltme parametrelerinin çok büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar kullanılan kameranın özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca çalışmada geliştirilen yöntem günümüzde kullanılan Olympus E20P dijital kamerası için uygulandığında elde edilen sonuçların çok makul olduğu görülmektedir.

Yapay verilerle yapılan uygulamalarda eski fotoğrafın özelliklerine yakın özelliklere sahip kameralarla çekim yapılması durumunda daha iyi sonuçların elde edileceği görülmektedir. Bu nedenle her çalışma için, mevcut verilere ve çalışma koşullarına göre çekim planları yapılmalıdır. En uygun sonuçları alacak şekilde yeni fotoğrafların çekimi yapılmalıdır.

Eski fotoğrafların saklama koşulları ve sayısal ortama aktarılması çalışmanın doğruluğu ve görsel kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle, çalışmada kullanılan Yıldız Fotoğraf Albümleri bu amaçla yapılacak çalışmalar için temel bir veri kaynağıdır. Yıldız Fotoğraf Albümlerinde bulunan fotoğraflar şayet yüksek çözünürlükte sayısal ortama aktarılırsa bundan sonra yapılacak çalışmalar için önemli katkılar sağlayacaktır.

Çalışmada geliştirilen yöntem, sadece eski fotoğrafların kamera parametrelerinin hesaplanması için değil aynı zamanda farklı kameralarla çekilen fotoğrafların kamera parametrelerinin hesaplanması için kullanılabilir. Bununla beraber farklı zamanlarda çekilen iki görüntünün bir birlerine göre dönüştürülmüş yeni görüntülerinin üretilmesi için alternatif bir bağıntı olarak kullanmak mümkündür. Görüntüden görüntüye dönüşüm, obje derinlik bilgisi ile fotoğrafların iç ve dış yöneltme parametreleri yardımıyla yapılır.

Yapının mevcut durumunun dokümantasyonu için son zamanlarda fotogrametri ve lazer tarama yöntemlerinin birlikte kullanılması yaygınlaşmaktadır. Her iki yöntemin avantajlı yönleri birleştirilerek yapının tam ve gerçek dokularıyla kaplanmış 3B modeli oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, yapının tahrip olmadan önceki durumunun dokümantasyonu eski fotoğraflar yardımıyla fotogrametrik olarak yapılmıştır. Yapının tahrip olmuş, günümüzde bulunmayan kısımlarına ait bilgilerin günümüzdeki mevcut kısımlara ait bilgilerle birleştirilmeyle yapının orijinal haline en yakın dokümantasyonu yapılmış olur.

KAYNAKLAR

- Abdel-Aziz, Y., Karara, H., (1971), "Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates." Close range Photogrammetry, pp. 1-18, ASPRS, Falls Church, Virginia
- Armangue X., (2003), "Modelling Stereoscopic Vision Systems for Robotic Applications, Ph.D dissertation, University de Girona.
- Atkinson, K.B. (Editor), 1996. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing, Scotland.
- Avinash, N., Murali, S.(2005), "A voting scheme for inverse hough transform based vanishing point determination." In: International Conference on Cognition and Recognition, Mysore, India, Dec. 2005
- Baltsavias, E.P., (1991), "Multiphoto geometrically constrained matching." PhD Thesis, MitteilungenNr. 49, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland
- Barnard, S.T., (1983), "Interpreting Perspective Images". Artificial Intelligence, Vol. 21, pp. 435-462, 1983.
- Barakat, H.F., ve Mikhail, E.D., (1998), "Invariance-supported photogrammetric triangulation", Proceedings of ISPRS Commission III Symposium, vol 32, part 3/1, July, 1998.
- Beşdok, E., Özkan, C., Palancıoğlu, M.H., (2006), "Fotogrametrik Siluet İmgelerinden 3B Model Geri Çatımı" Akademik Bilişim 2006, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Beyer, H. A., (1992), "Geometric and Radiometric Analysis of a CCD Camera Based Photogrammetric Close-Range System." Phd Thesis, No.9701, ETH, Zurich.
- Bitelli, G., Girellia, V.A., Marziali, M., Zanutta, A., (2007), "Use of Historical Images for the Documentation and the Metrical Study of Cultural Heritage by means of Digital Photogrammetric Techniques" XXI International CIPA Symposium, 01-06 October, Athens, Greece
- Böhler, W., ve Marbs, A., (2002), "3D scanning instruments." International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Corfu, Greece.
- Brillault, B., O'Mahony, (1991), "New method for vanishing point detection." CVGIP: Image Underst. **54**(2), 289-300.
- Bräuer-Burchardt, C., ve Voss, K., (1999), Monocular 3D reconstruction of buildings. In: Vision, Modeling and Visualisation, VMV '99, B. Girod, H. Niemann & El-Seid H.P. (eds.), Infix Verlag, Erlangen, pp. 109-116.
- Bräuer-Burchardt, C., ve Voss, K., (2000), Robust vanishing point determination in noisy images. - Proc.15th ICPR, vol. I, IEEE Computer Society, 559-562
- Bräuer-Burchardt, C., ve Voss, K., (2001a), "Facade Reconstruction of Destroyed Buildings Using Historical Photographs" . XVIII CIPA International Symposium, Potsdam, pp. 543-550
- Bräuer-Burchardt, C., ve Voss, K., (2001b), Image rectification for reconstruction of destroyed buildings using single views. Proc. Virtual and Augmented Architecture (VAA'01), Springer, 159-170
- Brown, D. C., (1971), "Close-range camera calibration." Photogrammetric Engineering, 37(8):

855–866.

Brown, D. C., (1976), "The bundle-adjustment - progress and prospects." *Int. Archives of Photogrammetry*, 21(3)

Caprile, B., ve Torre, V., (1990) Using Vanishing Points for Camera Calibration. *International Journal of Computer Vision* 4, pp. 127-139.

Chandler, J. H. ve Cooper, M. A. R., (1989), "The extraction of positional data from historical photographs and their application to geomorphology". *Photogrammetric Record*, 13(73): 69-78.

Clarke, T. A. ve Fryer, J. G., (1998), "The development of camera calibration methods and models." *Photogrammetric Record*, 16(91): 51–66.

Clarke, T. A., Wang, X. and Fryer, J. G., (1998), "The principal point and CCD cameras." *Photogrammetric Record*, 16(92): 293–312.

Coughlan, J.M., ve Yuille, A.L., (1999), "Manhattan world: Compass direction from a single image by bayesian inference." In *Proc. 7th International Conference on Computer Vision, Kerkyra, Greece*, pages 941–947, 1999

Criminisi, A., Reid, I., ve Zisserman, A., (1999), "Single View Metrology." *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision (ICCV'99)*, Kerkyra, Greece, pp. 434-441.

Criminisi, A., (1999), "Accurate Visual Metrology from Single and Multiple Uncalibrated Images." PhD thesis, University of Oxford, Dept. Engineering Science, December 1999.

D'Apuzzo, N., (2003), "Surface Measurement and Tracking of Human Body Parts from Multi Station Video Sequences." Ph.D. Thesis, Nr. 15271, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland

Ergün, B., (2003), "Yakın Fotoğraf Fotogrametrisinde Mikrofotogrametrik Uzman Sistem Tasarımı, Tesisi ve Kalibrasyonu", Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

El-Hakim, S., (2000), "A practical approach to creating precise and detailed 3D models from single and multiple views." *IAPRS*, 33(B5A), pp 122-129

El-Hakim, S., (2001), "Three-dimensional modeling of complex environments. Videometrics and Optical Methods for three-dimensional Shape Measurement, SPIE Vol. 4309, pp. 162-173

El-Hakim, S., (2002), "Semi-automated 3D reconstruction of occluded and unmarked surfaces from widely separated views." *IAPRS*, 34(5), pp. 143-148, Corfu, Greece

El-Hakim, S., Beraldin, J., A., ve. Picard, M., (2002), "Detailed 3D Reconstruction of Monuments using Multiple Techniques." In: *ISPRS/CIPA International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*, Corfu, Greece, pp 13-18.

El-Hakim, S.F., Beraldin, J.A., ve Blais, F., (2003), "Critical factors and configurations for practical image-based 3D modeling." In: *6th Conference on 3D Measurement Techniques*. Zurich, Switzerland. Sept. 22-25, Vol. II, pp. 159-167.

El-Hakim, S., Beraldin, J.A., Picard, M. and Godin, G., (2004), "Detailed 3D reconstruction of large-scale heritage sites with integrated techniques." *IEEE Computer Graphics and Application*, 24(3), pp. 21-29

El-Hakim, S., Whiting, E., Gonzo, L., Girardi, S. (2005), "3D reconstruction of complex architectures from multiple data." *3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures (3D-Arch'2005)*. Venice-Mestre, Italy. August 22-24, 2005. NRC 48227.

- Ethrog, U., (1984), "Non-metric camera calibration and photo orientation using parallel and perpendicular lines of the photographed objects", *Photogrammetria*, 39:13–22.
- Fangi, G., Gagliardini, G., ve Malinverni, E.S., (2001), "Photointerpretation and small scale stereoplotting with digitally rectified photographs with geometrical constraint "Proceedings of the XVIII. International Symposium of CIPA 2001 Potsdam (Germany) September 18-21, 2001
- Faugeras, O. D. ve Toscani, G.,(1986)"The Calibration Problem for Stereo". In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 15-20, Los Alamitos, CA, June 1986.
- Fischler, M. ve Bolles, R., (1981),"Random sample consensus: a paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography." *Communications of ACM*, Vol. 24, pp. 381-385
- Forstner, W, (1994), "Diagnostics and performance evaluation in computer vision." In: NSF/ARPA Workshop: Performance versus Methodology in Computer Vision, pp. 11-25.
- Fox, A.I., Czifersky, A., (2008), "Unlocking the time capsule of historic aerial photography to measure changes in Antarctic peninsula glaciers" *Photogrammetric Record*, 23(121): 51-68.
- Fraser, C.S, (1987), "Limiting error propagation in network design." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(5), pp. 487-493.
- Fryer, J. G., (1996),"Camera calibration." Chapter 6 in *Close Range Photogrammetry and Machine Vision* (Ed. K. B. Atkinson). Whittles, Caithness. 371 pages: 156–179.
- Fulton, J.R., (2007),"Sensor Orientation in Image Sequence Analysis", Phd, Department of Geomatics The University of Melbourne, Australia
- Gonzalez, J. I., Gomez, J. C., Artal, C. G., Cabrera, A.M. N., (2005), "Stability Study of Camera Calibration Methods." VI Workshop en Agentes Físicos, WAF'2005, I Congreso Español Informática.
- Grammatikopoulos, L., Karras, G., ve Petsa, E., (2007),"An automatic approach for camera calibration from vanishing points." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62 (2007) 64–76
- Gruen, A., (1978),"Accuracy, reliability and statistics in close-range photogrammetry." *ISP Commission V Symposium*, Stockholm
- Gruen, A., (1981),"Precision and reliability aspects in close-range photogrammetry." *The Photogrammetric Journal of Finland*, 8(2), pp. 117-132
- Gruen, A. ve Beyer, H., (2001),"System calibration through self-calibration." In Grün/Huang (Eds.), *Calibration and Orientation of cameras in computer vision*, Springer, Vol. 34, pp. 163-193
- Gruen, A. ve Huang, T. S., (2001),"Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision." Springer, Berlin. 262 pages.
- Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L., (2002a),"Reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan." *ICOMOS International Symposium*, Madrid, 15 December 2002).
- Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L., (2002b),"Reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan." *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34(5): 363-368.
- Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L., (2003a),"Automated Modeling of the Great Buddha Statue in Bamiyan, Afghanistan." *IC II/IV, WG III/4, III/5, III/6 Workshop*, Photogrammetric

- Image Analysis, (Munich, Germany, 17-19 Sept.), International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(3/W8): 11-16
- Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L., (2003b), "Computer Reconstruction and Modeling of the Great Buddha Statue in Bamiyan, Afghanistan." ISPRS International Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, (Tarasp-Vulpera, Switzerland, 24-28 February 2003), International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(5/W10):
- Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L., (2003c), "Computer Reconstruction and Modeling of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan," 18th CIPA International Symposium 2003 (Antalya, Turkey, 30 Sept. - 4 Oct.), International Archives of Photogrammetry Remote Sensing, 34(5/C15): 440-445.
- Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L., (2003d), "Image-based reconstruction and modeling of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan." International workshop on Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives, (Ancona, Italy, July 1-3), International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(5/W12): 173-175.
- Gruen, A., Remondino, F. and Zhang, L., (2004), "Photogrammetric Reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan." Photogrammetric Record, 19(107): 177-199.
- Hall, E.L., Tio, J.B.K., McPherson, C.A. and Sadjadi, F.A., (1982), "Measuring curved surfaces for robot vision." Computing Journal, Vol. 15, pp. 42-54
- Hartley, R. ve Zisserman, A., 2003. Multiple View Geometry in Computer Vision. Second edition. Cambridge University Press, Cambridge. 655 pages.
- Heikkila, J., ve Silven, O., (1997), "A Four-Step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction." In Proc. of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1106-1112,
- Heikkila, J., (2000) Geometric camera calibration using circular control points. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 22(10), 1066-1077
- Hemmler, M., (1999), "Digital Rectification of Historical Images", CIPA International Symposium, Olinda Brazil,
- Hemmler, M., ve Wiedemann, A. (1997). Digital Rectification and Generation of Orthoimages in Architectural Photogrammetry. *CIPA International Symposium 1997*, Gotenborg, Sweden.
- Henze, F., Lehmann, H., Fischer-Genz, B., (2005), "Development of An Internet-Based Information System For Archaeological Research And Studies on Urban History In Baalbek/Lebanon", XX. CIPA-Symposium, Turin, 26. September - 01. October 2005, pp. 849 - 854, ISSN 1682-1750
- Heuvel, F.A., (1998), "Vanishing point detection for architectural photogrammetry", IAPRS, Vol. 32, Part 5, 652-659.
- Heuvel, F.A., (1999), "Estimation of interior orientation parameters from constraints on line measurements in a single image." Int. Arch. Phot. & Rem. Sens., 32(5W11), pp. 81-8.
- Heuvel, F.A., (2001a), "Reconstruction from a single architectural image from the meydanbauer archives" XVIII CIPA International Symposium, Potsdam,
- Heuvel, F.A., (2001b), "Object reconstruction from a single architectural image taken with an uncalibrated camera." Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, 4, pp. 247-260.

- Heuvel, F.A., (2003), "Automation in Architectural Photogrammetry – Line-Photogrammetry for the Reconstruction from Single and Multiple Images." PhD Thesis, Delft University, ISBN 90 6132 281, Delft
- Jahne, B., ve Haubsecker, H., (2000), "Computer Vision and Applications: A Guide for Students and Practitioners", Academic Press, New York
- Kalisperakis, I., Rova, M., Petsa, E., Karras, G. E., (2003), "On Multi-Image Reconstruction From Historic Photographs", XIX CIPA International Symposium, Antalya, Turkey, 30 September - 4 October 2003, pp. 216-219.
- Kanatani, K., (1988), "Constraints on length and angle." Computer Vision and Graphics for Images and Patterns 41, 28-42
- Karslı, F., (2004), "Orta ve Yüksek Çözünürlüklü Dijital Kameraların Fotogrametrik Potansiyellerinin Araştırılması", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karras, G. E. ve Mavrommati, D., 2001. Simple calibration techniques for non-metric cameras. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(5C7): 39–46.
- Karras, G., ve Petsa, E., (1999), Metric information from uncalibrated single images. Int Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol.33,
- Kraus, K., Jansa, J. ve Kager, H., 1997. Photogrammetry. Volume 2. Advanced Methods and Applications. Dümmler, Bonn. 466 pages.
- Külür, S., (1985), "Fotogrametrik ve Fotogrametrik Olmayan Ölçmelerin Birlikte Değerlendirilmesi ve Uygulaması", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kozan, J.M., (2004), Virtual Heritage Reconstruction: The Old Main Church of Curitiba, Brazil; Master thesis, University of Cincinnati
- Kwon, Y.-H., 2001. DLT method. <http://www.kwon3d.com/theory/dlt/dlt.html> [Accessed: 13th December 2006
- Lerma, J.L. ve Cabrelles, M., (2007), "A Review And Analyses Of Plumb-Line Calibration" The Photogrammetric Record 22(118): 135–150
- Lee, R.; Lu, P.C ve Tsai, W.H., 1990. Robot location using single views of rectangular shapes, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No. 2, pp. 231-238.
- Lenz, R. K. ve Tsai, R. Y., (1988), "Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3-D Machine Vision Metrology." IEEE Transactions on PAMI. Vol.10, No. 5.
- Liebowitz, D., ve Zisserman, A., (1999) Combining Scene and Auto-calibration Constraints. Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision (ICCV'99), Kerkyra, Greece, pp. 293-300.
- Liebowitz, D., (2001), "Camera Calibration and Reconstruction of Geometry from Images." PhD thesis, University of Oxford.
- Liu, Y.; Huang, T. S. ve Faugeras, O. D., 1990. Determination of camera location from 2-D to 3-D line and point correspondences, IEEE Transactions on PAMI, Vol. 12, No. 1, pp. 28-37.
- Lugnani, J.B., 1980. Using digital entities as control, PhD Dissertation, Department of Surveying Engineering, The University of New Brunswick, Fredericton, 159 p.
- Masry, S.E., 1981. Digital Mapping Using Entities: A new concept, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(11).

- Mulawa, D. C. ve Mikhail, E. M., (1988), "Photogrammetric treatment of linear features." In: Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1988, Kyoto, Commission III, pp. 383-393.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. ve McGlone, J. C., 2001. Introduction to Modern Photogrammetry. John Wiley, New York. 479 pages.
- Mohan, A.M., Solanki, S.S., ve Ramulu, V.S., (2002), "On-the-Job Calibration of a Digital Camera for Industrial Photogrammetry" Indian Cartographer, DAPI-11
- Miller P, Mills J, Edwards S, Bryan P, Marsh S, Hobbs P, Mitchell Harvey Lawson, (2007), "A robust surface matching technique for integrated monitoring of coastal geohazards", Marine Geodesy, 30 109-123
- Novak, K., (1986), "Orientierung von Amateuraufnahmen ohne Paßpunkte." Geowissenschaftliche Mitteilungen der Studienrichtung Vermessungswesen der TU Wien, Heft 28, 1986, 93 Seiten.
- Prescott, B. ve Mclean G.I., (1997). "Line Base Correction of Radial Lens Distortion." Graphical Models and Image Processing. Vol. 59, No 1, pp. 39-47.
- Pfeifer, N., Briese, C., (2007), "Laser scanning — principles and applications." 3rd International Exhibition & Scientific Congress on Geodesy, Mapping, Geology, Geophysics, Cadaster GEO-SIBERIA 2007, Novosibirsk, Russia.
- Quan, L. ve Kanade, T., (1997), "Affine Structure from Line Correspondences With Uncalibrated Affine Cameras." *IEEE Transactions on PAMI*. Vol. 19, No. 8, pp. 834-845.
- Quan, L., ve Mohr, R., (1989), "Determining Perspective Structures Using Hierarchical Hough Transform." *Pattern Recognition Letters*, vol. 9, no. 4, pp. 279-286.
- Remondino, F., (2006), "Image-Based modeling for object and human reconstruction" Phd Thesis, ETH, Switzerland.
- Remondino, F. ve Börlin, N., (2006). "Photogrammetric calibration of image sequences acquired with a rotating camera" Proceedings ISPRS Commission V Symposium, Dresden, 25.-27. Sept. 2006
- Remondino, F. ve Fraser, C., (2006). Digital Camera Calibration Methods: Considerations and Comparisons. Proceedings ISPRS Commission V Symposium, Dresden, 25.-27. Sept. 2006
- Reshetyuk, Y., (2006) Investigation and calibration of pulsed time-of-flight terrestrial laser scanners, Licentiate thesis in Geodesy, Royal Institute of Technology (KTH).
- Reshetyuk, Y., (2009), Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning, Thesis in Geodesy, Royal Institute of Technology (KTH).
- Rother, C., (2002), "A new approach to vanishing point detection in architectural environments." *Image-and-Vision-Computing*, 20(9-10): 647-655.
- Rother, C., ve Carlsson, S., (2001) Linear Multi View Reconstruction and Camera Recovery. Proceedings of the 8th International Conference on Computer Vision, Vancouver, Canada, pp. 42-51.
- Salvi, J., Armangue, X. ve Batlle, J., (2002), "A comparative review of camera calibration methods with accuracy evaluation." *Pattern Recognition*, Vol. 35, pp. 1617-1635
- Schuur, W., & Kanngieser, E. (1999). Single Images in Conservation. CIPA International Symposium 1999, Olinda, Brazil.
- Straforini, M., Coelho, C., ve Campani, M., (1993) Extraction of vanishing points from

- images of indoor and outdoor scenes. *Image and Vision Computing*, Vol. 11(2), pp. 91-99.
- Streilein, A., ve Heuvel, F.A. (1999). Potential and limitation for the 3D documentation of cultural heritage from a single image. *CIPA International Symposium 1999*, Olinda, Brazil
- Sun, W., ve. Cooperstock, J.R., (2006), "An empirical evaluation of factors influencing camera calibration accuracy using three publicly available techniques" *Machine Vision and Applications* (2006) 17(1): 51–67
- Svedberg, D., ve Carlsson, S., (1999) Calibration, Pose and Novel Views from Single Images of Constrained Scenes. *Proceedings of the 11th Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA'99)*, Kangerlussuaq, Greenland, pp. 111-117
- Svoboda, T., Martinec, D., Pajdla, T., (2005), "A convenient multi-camera self-calibration for virtual environments.", *PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(4), August 2005.
- Theiss, H.J., Mikhail, E.M., Aly I.M., Bethel J.S., Lee C., (2000), "Photogrammetric Invariance" *IAPRS*, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000
- Tommaselli, A.M.G. ve Lugnani, J. B., (1988), "An alternative mathematical model to the collinearity equation using straight features." In: *Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Kyoto, Commission III, pp. 765-774.
- Tommaselli, A.M.G. ve Tozzi, C. L., (1996), "A recursive approach to Space Resection using straight lines." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 62, No 1, pp. 57-66.
- Tommaselli, A.M.G., (2000), "Orientation and Reconstruction of Close-Range Images using Lines." In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Amsterdam. V. XXXIII, pp. 838-845.
- Toz, G., (1985), "Yersel Fotogrametride Analog, Analog-Analitik ve Analitik Değerlendirme Yöntemlerinin Yapı Konstrüksiyon Deneylerinde Uygulama Olanakları", *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Trigg, B., (1998), "Autocalibration from planar scenes." *ECCV 98*, pp. 89-105
- Tsai, R.Y., (1987), "A versatile camera calibration technique for high accuracy 3d machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses." *IEEE J. Robotics Automat.* 3(4), 323–344
- Tuytelaars, T., Van Gool, L., Proesmans, M., ve Moons, T., (1998) "The cascaded Hough transform as an aid in aerial image interpretation." In *Proc. 6th International Conference on Computer Vision, Bombay, India*, pages 67–72, January 1998
- UNESCO (1972), "Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage", 16th November 1972, Paris
- Villa-Uriol M.-C., Chaudhary G., Kuester F., Hutchinson T. C., Bagherzadeh N., 2004. Extracting 3D from 2D: selection basis for camera calibration. *IASTED Computer Graphics & Imaging*, Kauai, USA, pp.315-321.
- Yaşayan, A., (1996), *Fotogrametri-1,2,3 ders Notları*, YTÜ.
- Zanutta A., Baldi P., Bitelli G., Cardinali M., Carrara A., (2006), "Qualitative and quantitative photogrammetric techniques for multi-temporal landslide analysis." *Annals of Geophysics*, 49, 4/5, 1121-1134.
- Zhang, Z., (2000), "A flexible new technique for camera calibration." *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 22(11), 1330–1334
- Zollner, H., ve Sablatnig, R., (2004), *Comparison of Methods for Geometric Camera*

- Calibration using Planar Calibration Targets” Proc. 28th Workshop Austrian Assoc. of Pattern Recognition, pp. 234-244, 2004.
- Walstra, J., Chandler, J.H., Dixon, N., Dijkstra, T.A., (), “Time For Change – Quantifying Landslide Evolution Using Historical Aerial Photographs And Modern Photogrammetric Methods”
- Wang, J., Shi,F.,Zhang,J., Liu, Y., (2008),”A new calibration model of camera lens distortion” Pattern Recognition 41 (2008) 607 – 615.
- Wang, L.L. ve Tsai, W.H., 1990. Computing camera parameters using vanishing-line information from a rectangular parallelepiped, Machine Vision and Applications, Vol.3, pp.12.
- Wei, G. ve De Ma, S., (1994), Implicit and explicit camera calibration: theory and experiments. IEEE Trans. on PAMI, Vol. 16(5), pp. 469-479
- Weng, J., Cohen, P. ve Herniou, M., (1992), Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. v14 no:10. 965-980.
- Wiedemann, A., Hemmleb, M., Albertz, J., (2000), “Reconstruction Of Historical Buildings Based On Images From The Meydenbauer Archives”, IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam
- Wiedemann, A.,(2000),”Photogrammetrische Rekonstruktion zerstörter Bauten aus historischen Photographien”, Proceedings of Intergeo 2000, Tagungsband DGPF Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung 2000, pp. 23-31,
- Wolf, P. R. ve Dewitt, B. A., (2000),”Elements of Photogrammetry with Applications in GIS”. Third edition. McGraw-Hill, New York.

İNTERNET KAYNAKLARI

<http://sehirrehberi.ibb.gov.tr/>

http://mimoza.marmara.edu.tr/~hseker/kavram%20inceleme/YUSUF/BILIM_TARIHI.htm

(<http://lcweb2.loc.gov/pp/ahiquery.html>)

<http://eia.udg.es/~armangue/research/>

<http://www.ee.oulu.fi/~jth/calibr/>

<http://www.geomagic.com>

EKLER**EK-1 Uygulamada Kullanılan DLT İçin MATLAB Kodları**

```

clear all
clc
data=[];
[L,noksay]=funcDLT(data);
u0=0;
v0=0;

Dx(noksay,2)=0;
for i=1:noksay
    X=data(i,3);
    Y=data(i,4);
    Z=data(i,5);
    x(i,1)=(L(1)*X+L(2)*Y+L(3)*Z+L(4))/(L(9)*X+L(10)*Y+L(11)*Z+1);
    x(i,2)=(L(5)*X+L(6)*Y+L(7)*Z+L(8))/(L(9)*X+L(10)*Y+L(11)*Z+1);
end
for j=1:15
    for i=1:noksay
        ii=(2*i)-1;
        X=data(i,3);
        Y=data(i,4);
        Z=data(i,5);
        u=data(i,1);
        v=data(i,2);
        r=(u-u0)^2+(v-v0)^2;
        R=L(9)*X+L(10)*Y+L(11)*Z+1;
        P=L(1)*X+L(2)*Y+L(3)*Z+L(4);
        Q=L(5)*X+L(6)*Y+L(7)*Z+L(8);
        x(i,1)=(L(1)*X+L(2)*Y+L(3)*Z+L(4))/(L(9)*X+L(10)*Y+L(11)*Z+1);
        x(i,2)=(L(5)*X+L(6)*Y+L(7)*Z+L(8))/(L(9)*X+L(10)*Y+L(11)*Z+1);
        Dx(i,1)=(u-u0)*(r*L(12)+r^2*L(13)+r^3*L(14));%+L(15)*(r+2*(u-u0)^2)+L(16)*(u-u0)*(v-
v0);
        Dx(i,2)=(v-v0)*(r*L(12)+r^2*L(13)+r^3*L(14));%+L(15)*(u-u0)*(v-v0)+L(16)*(r+2*(v-
v0)^2);
    end
end

```

```
A(ii ,:)= [X/R Y/R Z/R 1/R 0 0 0 0 -X*P/R^2 -Y*P/R^2 -Z*P/R^2 (u-u0)*r (u-u0)*r^2 (u-u0)*r^3]; % (r+2*(u-u0)^2) (u-u0)*(v-v0)];
```

```
A(ii+1,:)= [0 0 0 0 X/R Y/R Z/R 1/R -X*Q/R^2 -Y*Q/R^2 -Z*Q/R^2 (v-v0)*r (v-v0)*r^2 (v-v0)*r^3]; % (u-u0)*(v-v0) (r+2*(v-v0)^2)];
```

```
l(ii )=u-Dx(i,1)-x(i,1);
```

```
l(ii+1)=v-Dx(i,2)-x(i,2);
```

```
end
```

```
N=A'*A;
```

```
XL=inv(N)*A'*l';
```

```
v=A*XL-l';
```

```
vv=v'*v;
```

```
m0=sqrt(vv/(2*noksay-14));
```

```
L(1)=L(1)+XL(1);
```

```
L(2)=L(2)+XL(2);
```

```
L(3)=L(3)+XL(3);
```

```
L(4)=L(4)+XL(4);
```

```
L(5)=L(5)+XL(5);
```

```
L(6)=L(6)+XL(6);
```

```
L(7)=L(7)+XL(7);
```

```
L(8)=L(8)+XL(8);
```

```
L(9)=L(9)+XL(9);
```

```
L(10)=L(10)+XL(10);
```

```
L(11)=L(11)+XL(11);
```

```
L(12)=L(12)+XL(12);
```

```
L(13)=L(13)+XL(13);
```

```
L(14)=L(14)+XL(14);
```

```
XD=det(N)
```

```
XL
```

```
L
```

```
LL=L(9)^2+L(10)^2+L(11)^2;
```

```
a=[L(1) L(2) L(3)];
```

```
b=[L(5) L(6) L(7)];
```

```
c=[L(9) L(10) L(11)];
```

```
u0=(a*c')/LL;
```



```

v0=(b*c')/LL;
cx=sqrt(((a*a')/LL)-u0^2);
cy=sqrt(((b*b')/LL)-v0^2);
cc=(cx+cy)/2;
p=sqrt(LL);
d=((a*b')*LL-(a*c')*(b*c'))/((a*a')*LL-(a*c')^2);
m=-det([a;b;c])/(p^3*cc^2);
R=(1/(p*m*cc))*[m 0 -m*u0;-d 1 u0*d-m*v0;0 0 -m*cc]*[a;b;c];
X0=-inv([a;b;c])*[L(4);L(8);1];
phi=asin(R(3,1))*200/pi;
kap=atan(-R(2,1)/R(1,1))*200/pi;
omg=atan(-R(3,2)/R(3,3))*200/pi;
%DLT L1-L11 iterasyon için ilk 11 parametrenin yaklaşık değ.
%data x y X Y Z
function[L,noksay]=funcDLT(data);
[r,cr]=size(data);
noksay=r;
for i=1:noksay
    u=data(i,1);
    v=data(i,2);
    X=data(i,3);
    Y=data(i,4);
    Z=data(i,5);
    ii=(2*i)-1;
    A(ii,:)= [X Y Z 1 0 0 0 0 -u*X -u*Y -u*Z];
    A(ii+1,:)= [0 0 0 0 X Y Z 1 -v*X -v*Y -v*Z];
    l(ii)=u;
    l(ii+1)=v;
end
N=A'*A;
L=inv(A'*A)*A'*l';
v=A*L-l';
vv=v'*v;
m0=sqrt(vv/2*noksay-11);
LL=L(9)^2+L(10)^2+L(11)^2;
a=[L(1) L(2) L(3)];

```

```

b=[L(5) L(6) L(7)];
c=[L(9) L(10) L(11)];
u0=(a*c')/LL;
v0=(b*c')/LL;
cx=sqrt(((a*a')/LL)-u0^2);
cy=sqrt(((b*b')/LL)-v0^2);
cc=(cx+cy)/2;
p=sqrt(LL);
d=((a*b')*LL-(a*c')*(b*c'))/((a*a')*LL-(a*c')^2);
m=-det([a;b;c])/(p^3*cc^2);
R=(1/(p*m*cc))*[m 0 -m*u0;-d 1 u0*d-m*v0;0 0 -m*cc]*[a;b;c];
X0=-inv([a;b;c])*[L(4);L(8);1];
phi=asin(R(3,1))*200/pi;
L(12,1)=0;L(13,1)=0;L(14,1)=0;L(15,1)=0;L(16,1)=0;
for i=1:noksay
    u=data(i,1);
    v=data(i,2);
    X=data(i,3);
    Y=data(i,4);
    Z=data(i,5);
    x=(L(1)*X+L(2)*Y+L(3)*Z+L(4))/(L(9)*X+L(10)*Y+L(11)*Z+1);
    y=(L(5)*X+L(6)*Y+L(7)*Z+L(8))/(L(9)*X+L(10)*Y+L(11)*Z+1);
    fx=u-x;
    fy=v-y;
end

```

EK-2 Çalışmada Geliştirilen Yöntem İçin MATLAB Kodları

```

clc
clear all
ro=pi/200;
%x=[image1x image1y image2x image2y .....imageNx imageNy Z]
x=[];
[sayi,cs]=size(x);
imsa=(cs-3)/2;
%bilinenler
%BL=[iç ve dış yöneltme elamanları bilinen fotoğraflar
%om, fi, kapa,X0,Y0,Z0,f
BL=[];
[s,m]=size(BL);
blx=[];

%yaklaşık değerler
%[Yak,omg,phi,kap,X,Y,Z,u0,v0,cc]=iterDLT(x,sayi,imsa)
Yak=[];
[ep,es]=size(Yak);
for i=1:imsa
    XX(1,1)=Yak(7,1);
    XX(2,1)=0;%Yak(8,i);
    XX(3,1)=0;%Yak(9,i);
    XX(4,1)=0;
    XX(6*i-1,1)=Yak(4,i)-BL(4,1);
    XX(6*i,1)=Yak(5,i)-BL(5,1);
    XX(6*i+1,1)=Yak(6,i);
    XX(6*i+2,1)=Yak(2,i);
    XX(6*i+3,1)=Yak(1,i);
    XX(6*i+4,1)=Yak(3,i);
end
K0=0;
for i=1:m
    for j=1:m
        om1=BL(1,j)*ro;

```

```

fi1=BL(2,j)*ro;
ka1=BL(3,j)*ro;
X01=BL(4,j);
Y01=BL(5,j);
Z01=BL(6,j);
f1=BL(7,j);
m11=cos(fi1)*cos(ka1);
m21=sin(om1)*sin(fi1)*cos(ka1)+cos(om1)*sin(ka1);
m31=-cos(om1)*sin(fi1)*cos(ka1)+sin(om1)*sin(ka1);
m12=-cos(fi1)*sin(ka1);
m22=-sin(om1)*sin(fi1)*sin(ka1)+cos(om1)*cos(ka1);
m32=cos(om1)*sin(fi1)*sin(ka1)+sin(om1)*cos(ka1);
m13=sin(fi1);
m23=-sin(om1)*cos(fi1);
m33=cos(om1)*cos(fi1);
MT=[m11 m21 m31;m12 m22 m32;m13 m23 m33];

x1=blx(:,2*j-1)';
y1=blx(:,2*j)';
    end
ff1=-f1*ones(1,sayi);
birx=[x1;y1;ff1];
normx=(inv(MT)*birx)';
for t=1:sayi
normx(t,:)=(-f1/normx(t,3))*normx(t,:);
end
for k=1:imsa
for jj=1:sayi
    ii=i-1;
    kk=k-1;
    normL(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,1)=normx(jj,1);
    normL(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,1)=normx(jj,2);
end
end
end
%dengeleme

```

```

A=zeros(2*sayi*imsa,6*imsa+4);
for sms= 1:50

for k=1:imsa

f2=XX(1,1);
x02=XX(2,1);
y02=XX(3,1);
k1=XX(4,1);
delX=XX(6*k-1,1);
delY=XX(6*k,1);
Z2=XX(6*k+1,1);
fi=XX(6*k+2,1)*ro;
om=XX(6*k+3,1)*ro;
ka=XX(6*k+4,1)*ro;
r11=cos(fi)*cos(ka);
r21=sin(om)*sin(fi)*cos(ka)+cos(om)*sin(ka);
r31=-cos(om)*sin(fi)*cos(ka)+sin(om)*sin(ka);
r12=-cos(fi)*sin(ka);
r22=-sin(om)*sin(fi)*sin(ka)+cos(om)*cos(ka);
r32=cos(om)*sin(fi)*sin(ka)+sin(om)*cos(ka);
r13=sin(fi);
r23=-sin(om)*cos(fi);
r33=cos(om)*cos(fi);
R=[r11 r12 r13;r21 r22 r23;r31 r32 r33;];
for z=1:m
for i= 1:sayi
rr(i)=(x(i,2*k-1)-x02)^2+(x(i,2*k)-y02)^2;
xc(i,2*k-1)=(x(i,2*k-1)-x02)*(1+k1*rr(i));
xc(i,2*k)=(x(i,2*k)-y02)*(1+k1*rr(i));
Nx(i)=r11*xc(i,2*k-1)+r12*xc(i,2*k)-r13*f2;
Ny(i)=r21*xc(i,2*k-1)+r22*xc(i,2*k)-r23*f2;
Nz(i)=r31*xc(i,2*k-1)+r32*xc(i,2*k)-r33*f2;
a(i+(z-1)*sayi,1)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*(-r13*Nz(i)+r33*Nx(i))/Nz(i)^2;
a(i+(z-1)*sayi,2)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*((r11*(-(1+k1*rr(i))-
2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)^2)+r12*(-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)*(x(i,2*k)-y02)))*Nz(i)-(r31*(-

```

$$(1+k1*rr(i))-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)^2+r32*(-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)*(x(i,2*k)-y02))*Nx(i)/Nz(i)^2;$$

$$a(i+(z-1)*sayi,3)=((-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*((r11*(-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)*(x(i,2*k)-y02))+r12*(-(1+k1*rr(i))-2*k1*(x(i,2*k)-y02)^2)))*Nz(i)-(r31*(-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)*(x(i,2*k)-y02))+r32*(-(1+k1*rr(i))-2*k1*(x(i,2*k)-y02)^2))*Nx(i)/Nz(i)^2;$$

$$a(i+(z-1)*sayi,4)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*((r11*(x(i,2*k-1)-x02)*rr(i)+r12*(x(i,2*k)-y02)*rr(i))*Nz(i)-(r31*(x(i,2*k-1)-x02)*rr(i)+r32*(x(i,2*k)-y02)*rr(i))*Nx(i)/Nz(i)^2;$$

$$a(i+(z-1)*sayi,5)=(-f1/(x(i,cs)-Z01));$$

$$a(i+(z-1)*sayi,6)=0;$$

$$a(i+(z-1)*sayi,7)=f1*Nx(i)/(Nz(i)*(x(i,cs)-Z01));$$

$$a(i+(z-1)*sayi,8)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*(Nz(i)*(-sin(fi)*cos(ka)*xc(i,2*k-1)+sin(fi)*sin(ka)*xc(i,2*k)-cos(fi)*f2)-Nx(i)*(-cos(om)*cos(fi)*cos(ka)*xc(i,2*k-1)+cos(om)*cos(fi)*sin(ka)*xc(i,2*k)+cos(om)*sin(fi)*f2))/(Nz(i)^2);$$

$$a(i+(z-1)*sayi,9)=(f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*(Nx(i)*Ny(i)/Nz(i)^2);$$

$$a(i+(z-1)*sayi,10)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*(Nz(i)*(r12*xc(i,2*k-1)-r11*xc(i,2*k))-Nx(i)*(r32*xc(i,2*k-1)-r31*xc(i,2*k)))/Nz(i)^2;$$

$$b(i+(z-1)*sayi,1)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*(-r23*Nz(i)+r33*Ny(i))/Nz(i)^2;$$

$$b(i+(z-1)*sayi,2)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*((r21*(-(1+k1*rr(i))-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)^2)+r22*(-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)*(x(i,2*k)-y02)))*Nz(i)-(r31*(-(1+k1*rr(i))-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)^2)+r32*(-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)*(x(i,2*k)-y02)))*Ny(i))/Nz(i)^2;$$

$$b(i+(z-1)*sayi,3)=((-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*((r21*(-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)*(x(i,2*k)-y02))+r22*(-(1+k1*rr(i))-2*k1*(x(i,2*k)-y02)^2)))*Nz(i)-(r31*(-2*k1*(x(i,2*k-1)-x02)*(x(i,2*k)-y02))+r32*(-(1+k1*rr(i))-2*k1*(x(i,2*k)-y02)^2))*Ny(i))/Nz(i)^2;$$

$$b(i+(z-1)*sayi,4)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*((r21*(x(i,2*k-1)-x02)*rr(i)+r22*(x(i,2*k)-y02)*rr(i))*Nz(i)-(r31*(x(i,2*k-1)-x02)*rr(i)+r32*(x(i,2*k)-y02)*rr(i))*Ny(i))/Nz(i)^2;$$

$$b(i+(z-1)*sayi,5)=0;$$

$$b(i+(z-1)*sayi,6)=(-f1/(x(i,cs)-Z01));$$

$$b(i+(z-1)*sayi,7)=f1*Ny(i)/(Nz(i)*(x(i,cs)-Z01));$$

$$b(i+(z-1)*sayi,8)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*(Nz(i)*(sin(om)*cos(fi)*cos(ka)*xc(i,2*k-1)-sin(om)*cos(fi)*sin(ka)*xc(i,2*k)-sin(om)*sin(fi)*f2)-Ny(i)*(-cos(om)*cos(fi)*cos(ka)*xc(i,2*k-1)+cos(om)*cos(fi)*sin(ka)*xc(i,2*k)+cos(om)*sin(fi)*f2))/(Nz(i)^2);$$

$$b(i+(z-1)*sayi,9)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*((-Nz(i)^2-Ny(i)^2)/Nz(i)^2);$$

$$b(i+(z-1)*sayi,10)=(-f1*(x(i,cs)-XX(6*k+1,1))/(x(i,cs)-Z01))*(Nz(i)*(r22*xc(i,2*k-1)-r21*xc(i,2*k))-Ny(i)*(r32*xc(i,2*k-1)-r31*xc(i,2*k)))/Nz(i)^2;$$

end

end

kk=k-1;

for n=1:m

for jj= 1:sayi

ii=n-1;

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,1)=a(jj,1);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,2)=a(jj,2);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,3)=a(jj,3);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,4)=a(jj,4);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k-1)=a(jj,5);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k)=a(jj,6);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k+1)=a(jj,7);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k+2)=a(jj,8);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k+3)=a(jj,9);$

$A(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k+4)=a(jj,10);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,1)=b(jj,1);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,2)=b(jj,2);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,3)=b(jj,3);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,4)=b(jj,4);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k-1)=b(jj,5);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k)=b(jj,6);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k+1)=b(jj,7);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k+2)=b(jj,8);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k+3)=b(jj,9);$

$A(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,6*k+4)=b(jj,10);$

$ll(2*jj-1+ii*2*sayi+kk*2*sayi,1)=normL(2*jj-1+ii*2*sayi,1)-((-f1/(x(jj,cs)-Z01))*((x(jj,cs)-XX(6*k+1,1))*Nx(jj)/Nz(jj))+XX(6*k-1,1)));$

$ll(2*jj+ii*2*sayi+kk*2*sayi,1)=normL(2*jj+ii*2*sayi,1)-((-f1/(x(jj,cs)-Z01))*((x(jj,cs)-XX(6*k+1,1))*Ny(jj)/Nz(jj))+XX(6*k,1)));$

end

end

end

N=A'*A;

N1=inv(N);

X=inv(N)*A'*ll;

%XX=XX+X;

XX(1,1)=XX(1,1)+X(1,1);

XX(2,1)=XX(2,1)+X(2,1);

XX(3,1)=XX(3,1)+X(3,1);

XX(4,1)=XX(4,1)+X(4,1);

for i=1:imsa

XX(6*i-1,1)=XX(6*i-1,1)+X(6*i-1,1);

XX(6*i,1)=XX(6*i,1)+X(6*i,1);

XX(6*i+1,1)=XX(6*i+1,1)+X(6*i+1,1);

XX(6*i+2,1)=XX(6*i+2,1)+X(6*i+2,1)*(1/ro);

XX(6*i+3,1)=XX(6*i+3,1)+X(6*i+3,1)*(1/ro);

XX(6*i+4,1)=XX(6*i+4,1)+X(6*i+4,1)*(1/ro);

end

X

XX

if X<0.0001

fprintf('işlem tamam...\r')

fprintf('%g döngü say \n',sms)

sms=50;

break

else

fprintf('işleme devam...\r')

fprintf('%g döngü say \n',sms)

sms=1;

end;

v=A*X-ll;

vv=v'*v;

m0=sqrt(vv/(4*sayi-10));


```

kx=m0^2*(N1);
kxx=m0*sqrt(diag(kx));

end

yyx=MT*normx';
yx=yyx';
for i=1:sayi
    yx(i,:)=(-f1/yx(i,3))*yx(i,:);
end
for i=1:imsa
i
fprintf('%g FOTOĞRAFa ait parametreler ve \n',i)
fprintf('%g NOLU FOTOĞRAF ait doğruluk değerleri \n',i)
%pause
F=XX(1,1)
sf=kxx(1,1)
x02=XX(2,1)
sx02=kxx(2,1)
y02=XX(3,1)
sy02=kxx(3,1)
K1=XX(4,1)
sk1=kxx(4,1)
omega=XX(6*i+3,1)
somega=kxx(6*i+3,1)
fi=XX(6*i+2,1)
sfi=kxx(6*i+2,1)
Kapa=XX(6*i+4,1)
skapa=kxx(6*i+4,1)
X0=X01+XX(6*i-1,1)
sX0=kxx(6*i-1,1)
Y0=Y01+XX(6*i,1)
sY0=kxx(6*i,1)
Z0=XX(6*i+1,1)
sZ0=kxx(6*i+1,1)

end

```

EK-3 Kaçış Noktası İle Kalibrasyon İçin MATLAB Kodları

%vanishingpoint kaçış noktası yardımıyla görüntülerin yataylanması
%image rectification for reconstruction of destroyed buildings using single
%views, Christian Brauer-Burchardt and Klaus Voss, VAA'01,159-170, 2001, springer
%Murat UYSAL, AKÜ 2009

```

clc
clear all
[oim, map] = imread('5.tif');
figure(1), clf, imshow(oim);
%pixsize
pxs=0.084666;
%im = rgb2gray(oim);
[rows,cols] = size(oim);
x1 = [470 728 1]'; plotPoint(x1,'r+','X1');
x2 = [1637 719 1]'; plotPoint(x2,'r+','X2');
x3 = [1008 934 1]'; plotPoint(x3,'r+','X3');
x4 = [1518 901 1]'; plotPoint(x4,'r+','X4');

y1 = [173 1042 1]'; plotPoint(y1,'g+','Y1');
y2 = [436 1106 1]'; plotPoint(y2,'g+','Y2');
y3 = [306 609 1 ]'; plotPoint(y3,'g+','Y3');
y4 = [889 604 1]'; plotPoint(y4,'g+','Y4');

z1 = [478 1217 1]'; plotPoint(z1,'b+','Z1');
z2 = [472 805 1]'; plotPoint(z2,'b+','Z2');
z3 = [1291 862 1]'; plotPoint(z3,'b+','Z3');
z4 = [1293 481 1]'; plotPoint(z4,'b+','Z4');

l1 = hcross(x1,x2); hline(l1);
l2 = hcross(x3,x4); hline(l2);
u = hcross(l1,l2);          % One vanishing point

l3 = hcross(y1,y2); hline(l3);
l4 = hcross(y3,y4); hline(l4);

```

```

v = hcross(13,14);

l5 = hcross(z1,z2); hline(l5);
l6 = hcross(z3,z4); hline(l6);
w = hcross(15,16);

u
v
w
vu = hcross(v,u);           % Vanishing line of the plane
hline(vu, 'black');
figure(2), clf
hline(u,v,'red');
hline(v,w,'red');
hline(w,u,'green');

t=[u(1) v(1) w(1);u(2) v(2) w(2)];
t
% asal noktanın konumu
c = triangle_orthocenter_2d ( t );
c
cx=pxs*c(1)
cy=pxs*c(2)
%asal uzaklık
f1=sqrt(-((c(1)-u(1))*(c(1)-v(1))+(c(2)-u(2))*(c(2)-v(2))));
f1

ff1=f1*pxs
f2=sqrt(-((c(1)-u(1))*(c(1)-w(1))+(c(2)-u(2))*(c(2)-w(2))));
f2=f2*pxs
f3=sqrt(-((c(1)-v(1))*(c(1)-w(1))+(c(2)-v(2))*(c(2)-w(2))));
f3=f3*pxs

%principal point transformation

```

```
C=[1 0 c(1);0 1 c(2);0 0 1];
```

```
C
```

```
v1=c(1)-v(1);
```

```
v2=c(2)-v(2);
```

```
vt=[v1; v2; -f1;]';
```

```
vt
```

```
vc=[0; 0; -f1;]';
```

```
vc
```

```
vs=cross(vt,vc);
```

```
vss=norm(vs);
```

```
vss
```

```
vsx=vs/vss
```

```
alf=atan((sqrt(c(1)-v(1))^2+(c(2)-v(2))^2)/f1);
```

```
alf
```

```
R1=(1-cos(alf))*vsx'*vsx;
```

```
R2=[cos(alf) -vsx(3)*sin(alf) vsx(2)*sin(alf);
```

```
vsx(3)*sin(alf) cos(alf) -vsx(1)*sin(alf);
```

```
-vsx(2)*sin(alf) vsx(1)*sin(alf) cos(alf)];
```

```
R=R1+R2;
```

```
R2
```

```
R
```

```
T=inv(C)*R*C;
```

```
T1=T/norm(T);
```

```
R0=R/norm(R);
```

```
T1
```

```
T
```

```
al=asin((v(2)-c(2))/(sqrt((v(1)-c(1))^2+(v(2)-c(2))^2)));
```

```
alf
```

```
al
```

```
RR=[cos(alf) sin(alf) c(1);
```

```
-sin(alf) cos(alf) c(2);
```

```
0 0 1;];
```

```

RR1=[cos(al) sin(al) c(1);
     -sin(al) cos(al) c(2);
     0 0 1;];
%rectify
nx = size(oim,2)/2; ny = size(oim,1)/2;
corners = pflat(T*[-nx -ny 1; nx -ny 1; -nx ny 1; nx ny 1]);

minx = floor(min(corners(1,:))-1);
miny = floor(min(corners(2,:))-1);
maxx = ceil(max(corners(1,:))+1);
maxy = ceil(max(corners(2,:))+1);

b = [minx,miny,maxx,maxy];
newim = rectify_im(oim, T, b);
figure(3), clf, imagesc(newim), title('Rectified image'), colormap gray, axis image;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%başka bir algoritma ile rektifikasyon
region = [0 rows 0 cols];
newim = imTrans(oim, T, region, 1000);
figure(4), clf, imagesc(newim), title('Rectified image'), colormap gray, axis image;

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	31.01.1974	
Doğum yeri	Akşehir	
Lise	1988-1990	Akşehir Selçuklu Lisesi
Lisans	1991-1995	Selçuk Üniversitesi MühendislikMimarlık Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1997-1999	Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora	2002-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

1996-1997	Yağmur Harita Ltd.Şti.
1997-2000	AKÜ Mühendislik Fakültesi Araştırma Görevlisi
2000-Devam ediyor	AKÜ Mühendislik Fakültesi Öğretim Görevlisi