T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ YAPILARDA FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE DOKU DEFORMASYONLARININ BELİRLENMESİ

ESRA GÜLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILMA VE CBS PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. NACİ YASTIKLI

İSTANBUL, 2013

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ YAPILARDA FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE DOKU DEFORMASYONLARININ BELİRLENMESİ

Esra GÜLER tarafından hazırlanan tez çalışması 02.01.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Naci YASTIKLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Naci YASTIKLI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Zaide DURAN

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2010-05-03-KAP01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek, çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Naci YASTIKLI'ya teşekkürlerimi arz ederim.

Bu çalışmanın, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2010-05-03-KAP01 numaralı projesi ile desteklenmesini sağlayan üniversiteme teşekkürlerimi bildirmeyi borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca ve çalışmalarım süresince desteklerini benden esirgemeyen babam Mahmut Güler'e ve annem Nurşen Güler'e teşekkürlerimi bildirmeyi borç bilirim.

Ocak, 2014

Esra GÜLER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti 3
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 7

BÖLÜM 2

YERSEL FOTOGRAMETRİ 8

2.1 Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları 9
2.1.1 Yersel Fotogrametrinin Mimarlıkta Kullanımı 10
2.2 Yersel Fotogrametrinin Sınıflandırılması 10
2.3 Yersel Fotogrametride Kullanılan Kameralar 11
2.3.1 Metrik kameralar 11
2.3.2 Yarı metrik kameralar 11
2.3.3 Amatör kameralar 11
2.3.4 Sayısal Kameralar 11
2.4 Yersel Fotogrametride Alım Yöntemleri 12
2.5 Yersel Fotogrametride Değerlendirme Yöntemleri 14
2.5.1 Sayısal Tek Fotoğraf Değerlendirmesi 14
2.5.2 Stereo değerlendirme 15
2.5.3 Sayısal Ortofoto 15

2.5.4 Stereo Görüş Olmadan Birden Fazla Fotoğraf Yardımıyla Değerlendirme 16
2.6 Yersel Fotogrametride İş Adımları 16

BÖLÜM 3

KAMERA KALİBRASYONU 18

3.1 Kameraların Optik Temelleri 19
3.1.1 Distorsiyon hatası 20
3.2 Işın Desteleri ile Dengeleme 21
3.3 Yöneltmeler 24
3.3.1 İç Yöneltme 24
3.3.2 Dış yöneltme 25

BÖLÜM 4

SEGMENTASYON VE GÖRÜNTÜ SINIFLANDIRMA 26

4.1 Öznitelik Çıkarımı 26
4.2 Segmentasyon 27
4.3 Sınıflandırma 30
4.3.1 Piksel-Tabanlı Sınıflandırma 32
4.3.1.1 Kontrollü Sınıflandırma 33
4.3.1.1.1 En Kısa Uzaklık Karar Kuralı 34
4.3.1.1.2 Paralelkenar Karar Kuralı 35
4.3.1.1.3 Maksimum Olabilirlik Karar Kuralı (En Çok Benzerlik) 36
4.3.1.1.4 Mahalanobis Uzaklığı Karar Kuralı 37
4.3.1.2 Kontrolsüz Sınıflandırma 37
4.3.1.2.1 Ardışık Kümeleme Yöntemi 38
4.3.1.2.2 ISODATA Yöntemi 39
4.3.1.2.3 İstatistiksel Kümeleme Yöntemi 39
4.3.1.2.4 RGB Kümelemesi 40
4.3.2 Bulanık Mantık ile Sınıflandırma 40
4.3.3 Nesne-Tabanlı Sınıflandırma 42
4.4 Sınıflandırmada Doğruluk Analizi 43

BÖLÜM 5

SAYISAL KAMERALAR VE TERMAL GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ 45

5.1 Kullanım Alanları 47
5.2 Üstünlükleri 49

BÖLÜM 6

FOTOGRAMETRİK BELGELEME VE DEFORMASYON ANALİZİNDE SAYISAL VE TERMAL KAMERALARIN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI 50

6.1 Kamera Kalibrasyonu 51
6.1.1 Geometrik Kalibrasyon İçin 3B Test Objesinin Tasarlanması 51
6.1.2 Kullanılan kameralar 52

6.1.3 Sayısal ve termal kameraların geometrik kalibrasyonu 53
6.2 Fotogrametrik Belgeleme ve Deformasyon Analizi 57
6.2.1 Termal Görüntüleme Sistemleri ve Nem Analiz ve Yöntemleri 58
6.2.2 Çalışma Alanı 61
6.2.3 Fotoğraf Alımı ve Ölçüm İşlemleri 64
6.2.4 Fotoğrafların Işın Desteleri İle Dengelenmesi 65
6.2.5 Tek Fotoğraf Değerlendirmesi 67
6.2.6 Fotogrametrik Belgeleme 69
6.2.7 Segmentasyon ve Sınıflandırma 70

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER 78

KAYNAKLAR 82

ÖZGEÇMİŞ 89

SİMGE LİSTESİ

B_1	Ölçek Faktörü
B_2	Fotoğraf Koordinat Eksenlerinin Dik Olmaması
c	Kamera Odak Uzaklığı
K_1, K_2, K_3	Çapsal Distorsiyon (Radyal) Parametreleri
m_{ij}	Fotoğraf Koordinat Sistemi ile Referans Koordinat Sistemi Arasındaki Dönüklük Matrisi Elemanları
P_1, P_2	Teğetsel Distorsiyon Parametreleri
X, Y, Z	Referans Koordinat Sistemindeki Koordinatlar
X_0, Y_0, Z_0	İzdüşüm Merkezinin Referans Koordinat Sistemindeki Koordinatları
x, y	Fotoğraf Koordinatları
x_0, y_0	Asal Noktanın (PP) Fotoğraf Koordinatları
$\bar{x}$ ve $\bar{y}$	Ötelenmiş Fotoğraf Koordinatları
Δx ve Δy	Ek Parametreler
Δx_0, Δy_0, Δc	İç Yöneltme Parametreleri

KISALTMA LİSTESİ

CAD	Computer Aided Design
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇA	Çalışma Alanı
RH	Bağıl Nem
SLR	Sabit Odak Uzaklıklı
SYM	Saysal Yükseklik Modeli
YKN	Yer Kontrol Noktası

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Normal alım [13]. 12
Şekil 2. 2 Konvergent Alım [13]. 13
Şekil 2. 3 Dönük alım (a), 3x3 kuralı (b) [13]. 13
Şekil 2. 4 Yersel fotogrametri iş adımları [15]. 17
Şekil 3. 1 Mercek sisteminde görüntü oluşumu [13]. 19
Şekil 3. 2 Distorsiyon Hatası (a) Teğetsel ve Çapsal Distorsiyon (b) [13]. 20
Şekil 3. 3 İç yöneltme elemanları ve fotoğraf koordinat sistemi [1]....25
Şekil 4. 1 Görüntünün hiyerarşik yapısı [27]. 28
Şekil 4. 2 Farklı ölçek parametresi (a 150-b 200) kullanılarak elde edilmiş segmentasyon görüntüsü [26] 28
Şekil 4. 3 Çoklu çözünürlüklü segmentasyon için ölçek parametresinin genel diyagramı [26]. 29
Şekil 4. 4 İki Boyutlu Uzayda Sınıflandırma [29]. 33
Şekil 4. 5 En kısa uzaklık (spektral uzaklık) sınıflandırıcısı. 35
Şekil 4. 6 Paralelkenar sınıflandırıcısı [35]. 36
Şekil 4. 7 Bulanık model sisteminin yapısı [29]. 41
Şekil 5. 1 (a) sayısal kamera ve (b) termal kamera 45
Şekil 5. 2 Spektral aralık [4]. 46
Şekil 5. 3 Termal görüntüleme sistemlerinin kullanım alanları [42]. 47
Şekil 5. 4 Bir binanın sayısal kamera ve termal infrared kamera ile alınan görüntüleri [42]. 48
Şekil 5. 5 Termal kameraların a) dış cephe yalıtımı, b) iç cephe ısı yalıtımı, c) su kaçaklarının belirlenmesi uygulamaları [42]. 48
Şekil 5. 6 Termal kameraların tarihi yapılardaki deformasyon analizi uygulamalarında kullanımı [42]. 49
Şekil 6. 1. 3 boyutlu test objesi ve 3 farklı düzlem 51
Şekil 6. 2 3 Boyutlu kamera kalibrasyon düzeneği 52
Şekil 6. 3 Sayısal kamera (Nikon D3X SLR) (a), termal kamera (Flir A320) (b) 52
Şekil 6. 4 Nikon D3X SLR fotoğraf makinesi (a) ve Flir A320 termal kamera (b) ile çekilen fotoğraflar 53
Şekil 6. 5 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının fotoğraf koordinatlarının Nikon D3X SLR fotoğraf makinesi çekilen fotoğraflar üzerindeki ölçümleri 54
Şekil 6. 6 Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Cami konumu 62
Şekil 6. 7 Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Cami 62
Şekil 6. 8 Fotoğraf alımı ve YKN ölçüm işlemleri 65

Şekil 6. 9 Nikon D3X SLR ile kuzeybatı (a), güneydoğu (b), güneybatı (c) cephe fotoğrafları üzerindeki kontrol noktalarının koordinat ölçümleri 66
Şekil 6. 10 Flir A320 termal kamera ile kuzeybatı cephe fotoğrafları üzerindeki kontrol noktalarının koordinat ölçümleri 66
Şekil 6. 11 NikonD3XSLR sayısal kamera ile çekilen fotoğrafın tek fotoğraf değerlendirmesi 68
Şekil 6. 12 FlirA320 termal k. ile çekilen fotoğrafın tek fotoğraf değerlendirmesi 68
Şekil 6. 14 373 nolu görüntüye sobel operatörü uygulanarak elde edilmiş görüntü 71
Şekil 6. 15 Bulanık mantık sınıflandırma işleminde doğrusal aralık (linear range) yöntemi ile parlaklık değerlerine göre sınıf aralıklarının belirlenmesi.....72
Şekil 6. 16 Çalışma alanı 1, 373 nolu renkli (sol) ve 231 nolu termal (sağ) görüntülere ait; oluşan segmentler (a), (b), sınıflar (c), (d) ve sınıflandırma sonucu oluşan vektör veri ve sınıfların bindirilmiş halleri (e), (f) 74
Şekil 6. 17 Çalışma alanı 2, 366 nolu renkli (sol) ve 271 nolu termal (sağ) görüntülere ait; oluşan segmentler (a), (b), sınıflar (c), (d) ve sınıflandırma sonucu oluşan vektör veri ve sınıfların bindirilmiş halleri (e), (f) 77

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6. 1 Sayısal kamera ve termal kamera teknik özellikleri……..53
Çizelge 6. 2 Nikon D3X SLR sayısal kamera geometrik kalibrasyon parametreleri…..55
Çizelge 6. 3 Nikon D3X SLR sayısal kamera geometrik kalibrasyon parametreleri…..56
Çizelge 6. 4 Flir A320 termal kamera geometrik kalibrasyon parametreleri……56
Çizelge 6. 5 Işın desteleri ile dengeleme sonucunda kestirilen fotoğraf koordinatlarına ilişkin standart sapmalar……57
Çizelge 6. 6 Güneybatı cephesi dengeleme sonuçları…… 67
Çizelge 6. 7 Kuzeybatı cephesi dengeleme sonuçları…….. 67
Çizelge 6. 8 Kuzeybatı cephesine ait tek fotoğraf değerlendirmesi sonucunda yer kontrol noktalarındaki artık hatalara ilişkin standart sapmalar…… 68

ÖZET

TARİHİ YAPILARDA FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE DOKU DEFORMASYONLARININ BELİRLENMESİ

Esra GÜLER

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Naci YASTIKLI

Bu tez çalışması ile sayısal ve termal infrared kameraları birlikte kullanarak tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan yapıların fotogrametrik yöntemle belgelenmesi, nem ve ıslak yüzeylerin yalıtım problemleri sebebi ile meydana gelen rutubet sonucu oluşan deformasyonların görüntü sınıflandırma, segmentasyon işlemleri ile analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek üzere sayısal ve termal kameraların geometrik kalibrasyonu için 3 boyutlu test objesi tasarlanmış ve imalatı yaptırılmıştır. Bu araştırma kapsamında kullanılan Nikon D3X SLR (50 mm ve 20 mm) sayısal fotoğraf makinesi ve Flir A320 termal kameranın geometrik kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanı olarak seçilen Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nde bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşım test edilmiştir. Çekilen fotoğraflara ait dış yöneltme elemanları ışın desteleri ile dengeleme işlemi sonucunda belirlenmiş, iki farklı alanda (çalışma alanı 1 ve çalışma alanı 2) sayısal ve termal kamera ile alınan görüntüler kullanılarak rektifiye edilmiş fotoğraflar üretilmiştir. Rektifiye edilmiş fotoğraflar kullanılarak çoklu çözünürlüklü segmantasyon işlemi, renkli ve termal görüntüler için belirlenen ölçek, şekil ve parlaklık parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Sınıflandırma işlemi bulanık mantık algoritması ile gerçekleştirilmiştir ve oluşan sınıflar vektör dosya olarak kaydedilmiştir.

Her iki çalışma alanında rektifiye edilmiş renkli ve termal görüntüler kullanılarak yapılan sınıflandırma işlemi sonucunda görüntülerdeki nem ve zemin kaynaklı rutubet

problemi nedeniyle oluşan deformasyonların belirlenmesi amacıyla analiz gerçekleştirilmiştir. Sayısal kamera ile alınan görüntüler kullanılarak yapılan analiz sonucunda nem ve rutubet sebebiyle oluşan deformasyonların belirlenmesinde zorluklar yaşanmasına karşın termal görüntüdeki sınıflandırma sonuçları kullanılarak zeminden yükseldikçe nem ve rutubet sebebiyle oluşan deformasyon dereceleri kolaylıkla elde edilmiş ve proje hedefleri başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi Yapılar, deformasyon, sayısal kamera, termal kamera, geometrik kalibrasyon, ışın desteleri ile dengeleme, ek parametre, segmantasyon, sınıflandırma.

ABSTRACT

DETERMINING THE TEXTURE DEFORMATION OF HISTORICAL BUILDINGS WITH PHOTOGRAMMETRIC METHOD

Esra GULER

Department of Geomatics Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Naci YASTIKLI

In this thesis study, photogrammetric documentation and deformation analysis of cultural and historical buildings with image segmentation and classification techniques caused by moisture and isolation problem is aimed with combine use of digital and thermal camera. To realize this aim, 3D test object was designed and manufactured to perform geometric calibration of digital and thermal cameras. The geometric calibration of Nikon D3X SLR (50 mm and 20 mm focal length) digital camera and Flir A320 thermal camera was performed.

The Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Mosque was selected as test side and developed approach was tested. The exterior orientation parameter of the recorded image in two different side (study area 1 and study area 2) were determined with bundle block adjustment and rectified images were generated with using digital and thermal images. The multi resolution segmentation was utilized for digital and thermal images with determined scale, shape and compactness parameters using the rectified images. The classification was performed with fuzzy algorithm and generated classes were recorded as vector file.

The deformation analyses caused by moisture and isolation problem were not possible using classification results from digital images in both study area (study area 1 and study area 2). The deformations, caused by moisture and isolation problem, have been analyzed easily from ground to different height level using the thermal

classifications from thermal images and thesis study objectives accomplished successfully.

In defiance of the analyses which caused by moisture and isolation problem with the digital camera images, this deformations have been analyzed easily from ground to different height level using the thermal classifications from thermal images and thesis study objectives accomplished successfully.

Keywords: Historical building, deformation, digital camera, termographic camera, geometric calibration, bundle block adjustment, additional parameters, segmentation, classification.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Fotogrametri, cisimler ve çevresinden yansıyan ışınların kaydedilmesi suretiyle oluşan fotoğrafik görüntülerin ve yaydıkları elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonunda bu cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji, bilim ve sanatıdır [1].

Günümüzde teknolojik ilerlemelere bağlı olarak, fotogrametrik yöntemlerle veri elde edilmesi oldukça popüler hale gelmiştir. Fotogrametrik yöntemlerin maliyet açısından uygunluğu, kullanım açısından kolaylığı gibi birçok sebepten bugün yaygın olarak kullanılan bir yöntem halini almıştır. Fotogrametrinin kapsamı içerisinde yer alan yersel fotogrametrinin kullanım alanlarının genişlemesi ile birlikte bu alana olan ilgi de her geçen gün artmaktadır.

Yersel fotogrametri yöntemiyle tarihi ve kültürel yapıların, belgelenmesi ve rölövelerinin hazırlanması yıllardır başarı ile gerçekleştirilmektedir. Yersel fotogrametri yöntemiyle belgeleme ve rölöve çizimi konusundaki projeler ve bilimsel araştırmalar, ICOMOS (International Council of Monuments and Sides) ve ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) gibi uluslararası organizasyonlar tarafından düzenlenen sempozyum ve diğer aktivitelerle desteklenmektedir. Özellikle bu iki organizasyonun etkin işbirliğiyle kurulan CIPA (International Committee for Architectural Photogrammetry) düzenlediği sempozyumlarla bu konuda çalışan üniversitelere, proje geliştiren, yürüten kamu kurumları ve ticari firmalara yeni teknolojilerin tanıtılması ve projelerde etkin kullanımı konusunda ışık tutmaktadır.

Uzun yıllar boyunca kullanılan klasik yersel fotogrametri yönteminde, belgeleme ve rölöve üretimi amacıyla fotoğraflar metrik kameralarla çekilmiştir. Tarihi ve kültürel mirasın özellikleri göz önünde bulundurularak mono olarak çekilen fotoğraflar tek fotoğraf değerlendirmesi (rödresman), ya da stereo çekim durumunda analog stereo değerlendirme aletlerinde değerlendirilmiştir. Sayısal fotogrametri yöntemi ile birlikte yarı metrik kameralar ya da sayısal (dijital) kameralar ile çekilen fotoğraflar sayısal fotogrametrik değerlendirme aletlerine aktarılmaktadır. Bütün yöneltme ve çizim işlemleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir. Sayısal fotogrametri yöntemi, otomatik ölçme işlemleri, sayısal üç boyutlu vektör veri, sayısal ortofoto, sayısal arazi ve yüzey modelleri gibi bir çok imkan sunmaktadır [1].

Sayısal kamera ve termal görüntüleme sistemleri modern tıp, otomotiv, endüstri, mimari ve askeri uygulamalarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu görüntüleme sistemleri ve kameraların tarihi ve kültürel mirasın belgelenmesi, 3 boyutlu modellenmesi, deformasyon analizi, restorasyon ve koruma amaçlı kullanımı son yıllarda önemi ve kullanımı artan diğer uygulama alanlarıdır [2]. Teknolojideki gelişmelere paralel olarak sayısal fotogrametri ile belgeleme çalışmalarında kullanılan kameraların çözünürlükleri artmış ve sağladıkları otomasyon imkanları ile fotogrametrik belgelemede oldukça popüler hale gelmiştir. Fotogrametrik belgeleme amaçlı çalışmalarda çoğunlukla sabit odak uzaklıklı (SLR) sayısal kameralar tercih edilmektedir.

Termal (Termografik) görüntüleme ve/veya termal video sistemleri, kara cisim ışıması kanununa göre objeler tarafından belirli bir sıcaklığın üzerinde elektromanyetik spektrumun kızılötesi bandında yayınladıkları enerjiyi görüntüye dönüştürürler. Cisimler tarafından yayınlanan ışınım miktarı sıcaklık arttıkça artar. Termal görüntüleme sistemleri yardımıyla elde edilen termal görüntüler yardımı ile obje yüzeyindeki sıcaklık değişimleri belirlenebilir. Termal kameralar, sayısal kameralar gibi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde (0.4-0.7 µm) kayıt yapan görüntüleme sistemleri dışında kızılötesi bölgede özellikle uzun kızılötesi bölgede (7-20 µm) kayıt yaparlar. Bu nedenle normal sayısal görüntülerde yapılması mümkün olmayan cisim yüzeyindeki deformasyonların analizi ve belgelenmesi çalışmalarında da kullanılmaktadırlar. Özellikle tarihi ve kültürel yapı yüzeyindeki deformasyon

analizlerinin, gizli yapı ayrıntılarının belirlenmesi, izolasyon problemlerinin çözülmesi gibi farklı çalışmalarda termal kameralar kullanılmaktadır. Yapılan deformasyon analizi çalışmalarının hepsi tarihi ve kültürel binalar ile doğrudan herhangi bir temas olmadan bir numune almaksızın dokuya zarar vermeden yapılabilmektedir.

Sayısal kameralar, tarihi ve kültürel binaların restorasyonu çalışmalarında binaların mevcut durumunun belirlenmesi amacı ile fotogrametrik belgelemede yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bu kameralarla yapılan kayıt işleminin elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde olması nedeniyle sadece bina yüzeyinde görünen sorunlar görsel olarak belirlenebilmektedir. Termal kameraların kullanımı ise, çıplak gözle algılanamayan sorunların tespit, belgeleme ve analiz çalışmalarına imkan sunmaktadır.

Bu tez çalışması ile, termal kameralar ve sayısal kameraların birlikte kullanımı ile sayısal kameralarla alınan görüntülerde algılanamayan ve tarihi binalarda nem, ıslak yüzeylerin yalıtım problemleri sebebi ile meydana gelen rutubet sonucu oluşan deformasyonlar görüntü sınıflandırma, segmentasyon işlemleri ile belirlenmiştir. Sayısal ve termal kamera verileri birlikte kullanılarak deformasyonlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar, gelecekteki tarihi ve kültürel binaların restorasyonunda fazladan herhangi bir harcama olmaksızın detaylı deformasyon analizi olanağı sunacaktır. Bu şekilde gelecekte tarihi binalarda ortaya çıkacak hasarların önceden tespiti ve restorasyon aşamasında ortaya çıkacak büyük bir maddi yükün önüne geçilmesine olanak sağlayacak ve bu şekilde ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

1.1. Literatür Özeti

Termal görüntüleme sistemleri, nitel ya da nicel yolla bina gözlemlemesi için 30 yıldan fazla süredir uygulanmaktadır. Elektromanyetik spektrumuna kızılötesi bölgesi, askeri hedef yakalama ve izleme, uzaktan sıcaklık algılama, kısa mesafede wireless iletişimi, hava tahmini ve astronomi gibi birçok teknolojik alanda kullanıma sahiptir [3].

Termal bantta görüntü kaydedilmesi, diğer bir ifade ile IR (infrared) termografi, elektromanyetik spektrumun kızılötesi bandındaki bir obje tarafından yayımlanan termal enerjiyi görülebilir görüntüye dönüştürür. Yapıyı kapsayan kısmi çevreden dolayı, mikroklimatik koşulların haritalanması için hızlı bir metot gerekmektedir. Tüm bu ögelere IR termografisinin nitel kullanımı ile erişilmektedir. Yapının doğrudan analizleri (geometrik ölçümler) yapı hakkındaki bilgileri zenginleştirir ve deformasyon izlerinin tespitine izin verir. En uygun koruma projesini gerçekleştirmek için, yapısal kalıp kimliği ve bütünleyici duvar elemanlarına bağlı olarak doğru yapı analizi ve değerlendirmesi gerekmektedir. Aksi takdirde meydana gelen deformasyonların izlerini belirlemek için yapıya zarar vermek uygun değildir. Diğer önemli bir nokta ise test için yapının açısı, kullanımı, malzemesi ve boyutlarına bağlı olarak doğru zaman ve havanın seçilmesidir. Termal sinyaller ısı fazı boyunca görülebilmektedir. Nicel değerlendirme için bir dizi zaman ve yer analizi gerekmektedir. Bozuklukların konumlanması, optimum bir zamanda bir referansa göre kusurlu alanların tepkilerinin karşılaştırılması ile elde edilebilmektedir [3].

Eksiksiz yüzey sıcaklıklarını elde etmeyi gerektirmeyen (fresklerin yapışmaları gibi) bazı uygulamalarda termal işaretleri belirlemek yeterlidir. Bu yöntem görüntü yorumlamaya dayalı nitel görsel kontrol yöntemi olarak adlandırılırken, diğer yandan doğru mesafe ve yüzey ölçümünü elde etmek amacıyla termal görüntülerin geometrik düzeltmelerinin gerçekleştirilmesi gerekir. Bu durumda ise nicel yöntem söz konusudur [4].

Termal görüntüleme sistemleri yüzeylerin termografik koşullarını değerlendiren ve yüzey sıcaklıklarını hassas bir şekilde okuyarak görsel bir sonuç ürün sunan, yapıya zarar vermeyen ve sayısal kameralar ile entegre çalışabilen bir sistemdir. Termal anomalilerin analizinde, çalışılacak alandaki bağıl nem, hava sıcaklığı, direkt güneş ışığı ve rüzgar gibi atmosferik koşullar ve alanın hangi kapsamda incelenmesi isteğine bağlı olarak aktif ve pasif yaklaşımlar söz konusudur. Rosina ve Spodek [5], yaptıkları çalışmada Hindistan'ın Muncie kentinde yer alan masonik tapınağa ilişkin sıcaklık haritaları oluşturulurken, Grinzato [3], Scrovengi şapeline ait fresklerin analizinde pasif termal görüntüleme yönteminin adımlarını detaylı bir şekilde anlatarak yapıya ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir.

Grinzato [3]'de yapılan çalışmada, tarihi Arselanal of Venice yapısının masif duvarları üzerinde termal yayınımın malzeme çürümesi ve nem ile ilgili verdiği sonuçların analizi amaçlamıştır. Bu çalışmada gerekli analizlerin yapılabilmesi için yüzey sıcaklık haritalarını oluşturmak üzere yüzey sıcaklık ölçümleri gerçekleştrilmiştir. Sıva tabakasının altındaki duvar yapıştırıcısını bulma işleminin deneysel sonuçları göreceli nümerik termal modelleme yöntemiyle elde edilmiştir. Geniş yüzey araştırmaları için çok sayıda termogram çekimi ile mozaik oluşturulmuştur. Termal görüntüleme sistemleri ile yapıya ait malzemelerin (tuğla, sıva, harç) ve yapıda oluşan nemin farklı çevresel koşullar altında analizi başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Rizzi [4]'de yapılan çalışmada tarihi ve kültürel yapıların, yersel fotogrametri ya da kızılötesi kameralarla elde edilen görüntülerle doku haritalarının çıkarımı ve mesafe sensörleri aracılığıyla 3B geometrik modellerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, farklı algılama sistemleri ile elde edilen verilerin birlikte kullanımını ile İtalya'daki tarihi eserlerin belgelenmesi ve tavanlarda bulunan resimlerin analizlerinin yapımı için termal görüntüleme sistemleri başarı ile kullanılmıştır.

Binda [6]'da yapılan çalışmada İtalya'nın Milano kenti yakınlarında bulunan Villa Litta Modignani isimli tarihi binanın termal görüntüleme sistemleri kullanılarak morfolojik detaylarının, binada sonradan kapatılan gizli kısımlarının bulunması, bina yüzeyinde normal fotoğraflarda anlaşılamayan gizli yapı elemanlarının belirlenmesi, binada kullanılan malzeme ve yapı tekniklerinin belirlenmesi vb. amaçlanmıştır. Bu çalışmada termal görüntüleme sistemleri ile elde edilen bulgular, RADAR ile desteklenmiştir. Aynı tarihi yapı için kullanılan termal görüntüleme sisteminin geometrik kalibrasyonu için kullanılan iki boyutlu test hedefi ve geometrik kalibrasyon için kullanılan yöntem ve sonuçlar [7]'de verilmiştir.

Binda [6] 'da yapılan çalışmada İspanyada kırsal kesimde bulunan sivil mimarlık özelliği taşıyan tarihi binaya ilişkin restorasyon çalışmasında binadaki yapı elemanları ve özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarında termal görüntüleme sistemleri ve sayısal kameraların birlikte kullanımı olanakları araştırılmıştır. Bu çalışma ile termal ve sayısal kameralar birlikte kullanılarak binadaki nem ve rutubet sebebiyle oluşan deformasyonlar elle çizilmiştir.

Kordatos [8]'de yapılan çalışmada Yunanistan'da bulunan tarihi Molybdoskepastos manastırındaki duvar yazılarına ve duvarlara ait 3D ısı haritaları oluşturarak pasif ve aktif yöntemlerle deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Paoletti [9]'da yapılan çalışmada Santa Maria kilisesine ait 2009 yılında gerçekleşen deprem öncesi ve sonrasında oluşan hasarların tespit ve analizi için termal görüntüleme sistemleri kullanılarak hasar tespit işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Lagüela vd., [10]'da yapılan çalışmada fotogrametrik doğrulama için geometrik bilgiyi elde etmek üzere bir adet sayısal ve iki adet farklı çözünürlükteki termal kameraların kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ayrı test alanları kullanılmış termal kamera kalibrasyonu için yüksek yansıtıcılık ve düşük yayıcılık değerine sahip malzemeler seçilmiştir. Kalibrasyon yöntemi ve elde edilen sonuçlar [10]'da verilmiştir.

Luhmann vd., [11]'de yapılan çalışmada, termal görüntüleme sistemlerinin iki boyutlu ve üç boyutlu veri işleme, pan sharpening gibi uygulamalardaki olanaklarını sunarak, lambalardan oluşturdukları test düzeneği ile farklı odak uzaklığı, piksel boyutu ve çözünürlüğüne sahip dört adet termal kameranın kalibrasyon işlemini gerçekleştirerek elde edilen standart sapmaları ve ek parametre değerleri sunulmuştur.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, sayısal ve termal infrared kameraları birlikte kullanarak tarihi ve kültürel yapıların fotogrametrik yöntemle belgelenmesi, yapılardaki deformasyonların görüntü segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri sonucunda tespit edilmesidir. Bu amaçla, sayısal kameraların sağladığı yüksek çözünürlük ve geometrik doğruluk tarihi yapının fotogrametrik belgeleme çalışmalarında kullanılmıştır. Bu proje kapsamında termal infrared kamera, sayısal kameralar ile algılanamayan ve tarihi binalardaki nem ve ıslak yüzeylerin yalıtım problemleri sebebi ile meydana gelen rutubet sonucu oluşan deformasyonların belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu işlemler için elle sayısallaştırma yerine deformasyonların segmantasyon ve sınıflandırma işlemleri sonucunda otomatik olarak belirlenmesi hedeflenmiştir.

1.3. Hipotez

Tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan yapılarda rutubet, nem ve ıslak yüzeylerin yalıtım problemleri sebebiyle meydana gelen deformasyonların analiz ve tespit işlemlerinin sayısal kamera ile elde edilen görüntülerle yapılması mümkün değildir. Sayısal ve termal infrared kameraların birlikte kullanımı ise nem kaynaklı bu deformasyonların, görüntü sınıflandırma ve segmentasyon işlemleri ile analiz edilmesini sağlamaktadır.

BÖLÜM 2

YERSEL FOTOGRAMETRİ

Fotogrametri yöntemi ile, ölçülmek istenen nesnelerin ve yakın çevresinin ya da yeryüzü parçasının fotoğrafları çekilir ve nesneye ilişkin 2 boyutlu ya da 3 boyutlu koordinat bilgileri fotoğraf üzerinde yapılan ölçümlerle belirlenir. Bu bilgiler sadece metrik bilgilerden ibaret değildir. Bu bilgiler, nesneler ve yakın çevresine ait bilgiler, yer yüzeyinin ya da bir parçasının yapısal özellikleri, yüzey bitki örtüsüne ilişkin bilgiler gibi farklı bilgiler olabilir. Bu çalışmalar için metrik koordinat ölçümü yanında fotoğraftaki bilgilerin yorumlanmasına yani foto yorumlama yeteneğine ihtiyaç duyulur. Fotogrametri, fotoğrafik görüntüleri, elektromagnetik enerji ışınım paketlerini ve diğer fiziksel fenomenleri, kayıt, ölçme ve yorumlama suretiyle nesneler ve yakın çevreleri hakkında güvenilir bilgi elde etme sanatı, bilimi ve teknolojisidir [1].

Alım merkezinin yer üzerinde bir noktada olması durumunda uygulanan fotogrametrik yöntem yersel fotogrametri olarak isimlendirilir. Nesneler katı, sıvı ve gaz halinde, hareketli veya sabit, küçük veya büyük olarak olabilirler. Nesnelerin konumu ve şekilleri (biçimleri) zamanla veya dış etkenlerle değişebilir. Yersel fotogrametri yöntemi ile sabit ve/veya hareketli nesnelerin konumları ve biçimleri belirlenebilmektedir. Yersel fotogrametri bu tanıma uygun bütün alanlarda kullanılabilir. Yersel fotogrametri özellikle yanına varılamayan, ama görüntüsü alınabilen nesnelerin ölçümünde, hareket halindeki nesnelerin ölçümünde, fiziksel boyutu çok farklı olan nesnelerin (büyük / küçük) ölçümünde kullanılan bir yöntemdir. İstenildiği şekilde ve yoğunlukta nokta seçimi yapılabilir. Zaman boyutu ele alındığında, nesnenin hareketi incelenebilir. Zira bütün noktalar aynı anda iz düşürüldüğünden fotogrametrik ölçüler, nesnenin o andaki

durumunu canlandırır. Kaydedilen görüntüler, nesne hakkında bütün verileri içerir ve istenildiği zaman değerlendirme yapılır. Bu nedenle bu görüntüler önemli yapıtların belgelenmesinde ve arşivlenmesinde önemlidir. Nesneler herhangi bir etkenle ortadan kalktığında, aynı konumda ve aynı biçimde tekrar inşası olanaklıdır [13].

2.1. Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları

Fotogrametrik yöntemle görüntü elde etmek ve nesneler hakkında bilgi edinmek, diğer veri toplama yöntemlerine göre üstünlük sağladığı için çok sayıda uygulama alanında kullanılmaktadır. Yersel fotogrametrinin haritacılık alanındaki uygulama alanları;

- Hava fotogrametrisine göre daha ucuz donanım gerektirdiği için küçük, düz (yükseklik farkının az olduğu), açık olan alanların haritalarının yapımı,
- Baraj rezerv alanlarının haritalarının yapımı,
- Yol inşaatlarında, yarma ve dolgu ölçmeleri,
- Taş ve maden ocaklarında hacim hesapları,
- Mimarlık fotogrametrisinde tarihsel mirasın envanteri ve deformasyon ölçüleri,
- Profil alımları (nesne üzerinde ışık şeridi oluşturarak),
- Hız ve hareket ölçümleri (hareketli nesnelerin hızlarının ölçülmesinde),
- Su dalgaları ve gaz hareketlerinin incelenmesi (nesne içine ışın yansıtıcı renkli parçacıkların atılmasıyla),
- Endüstri ürünlerinin yapımı (malzeme niteliği, araba, uçak, gemi gibi ulaşım araçlarının yapımında, uçağın hava akımlarına karşı, gemilerin çeşitli su hareketlerine karşı, arabaların rüzgara karşı davranışlarının saptanması),
- Mühendislik uygulamalarında yol, baraj ve köprü vb. planlanmasında ve yapımında, deformasyon ölçmelerinde, endüstri ürünlerinin geliştirilmesinde,
- Arkeolojide, tarihsel alanların saptanması ve korunmasında, buluntuların fotogrametrik yöntemle belgelenmesinde,
- Kaza, kriminal, balistik araştırmalarında, bir olay sonrası fotogrametrik yöntemle çekilen fotoğrafların büroda değerlendirilmesi ile olayın oluş nedeninin araştırılmasında, kurşun izlerinin değerlendirilmesi ile çıktığı silahın belirlenmesinde,

- Tıp ve Spor vb. uygulamalarda, canlıların gelişiminin incelenmesinde, uzuvlarındaki değişimlerin ya da anormalliğin saptanmasında ve antrenmanlarda veya karşılaşmalarında yapılan hataların düzeltilmesinde kullanılmaktadır [13].

2.1.1. Yersel Fotogrametrinin Mimarlıkta Kullanımı

Artan nüfus ve sanayileşmenin doğurduğu hızlı bir kentleşme sonucu eski yerleşim bölgelerine gereken ilgi ve özen gösterilememiştir. Son yıllarda ekonomik refahın ve turizm hareketlerinden elde edilen gelirlerin artması ile birlikte tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan bu alanların eski fonksiyonlarının kazandırılması amacıyla restorasyon projeleri hız kazanmıştır. Bu bakımdan yersel fotogrametrinin mimarlık ve arkeolojideki uygulamaları ön plana çıkmaktadır. Bu uygulamalardaki yersel fotogrametri iş adımları;

- Tarihi ya da arkeolojik eser niteliği taşıyan obje ve yakın çevresinin seçilecek değerlendirme yöntemine göre yerden ve havadan fotoğraflarının çekilmesi,
- Yöneltme işlemleri sonucunda 2 boyutlu ya da 3 boyutlu rölövelerinin çizilmesi,
- Ortofotolarının hazırlanması ve 3 boyutlu perspektif görüntülerinin hazırlanması şeklinde sıralanabilir.

Buna ek olarak düşey ya da yatay kesitler alınabilir. Bu veriler restorasyon projeleri ve arkeolojik kazılarda kullanılarak tarihi eserlerin korunması ve restore edilmesi çalışmalarında kolaylıklar sağlar. Gelişen bilgisayar ve bilgi teknolojileri ile birlikte sayısal yersel fotogrametri yöntemi ile elde edilen sonuç ürünler, belgeleme ve fotogrametrik rölöve amacı dışında sayısal CAD ortamında tarihi ve kültürel mirasın üç boyutlu modellenmesi, üç boyutlu verinin görselleştirilmesi, elde edilen verilerin yönetilmesi ve CBS ortamına aktarılarak bu verilerin sorgulanması gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır [12].

2.2. Yersel Fotogrametrinin Sınıflandırılması

Yersel fotogrametri uygulanılan kullanılan fotoğraf ölçeğine göre;

- $500 > m_r > 15$ Yakın fotogrametri
- $0.25 > m_r > 0.01$ Mikrofotogrametri
- $0.0002 > m_r$ Nanofotogrametri olarak sınıflandırılmaktadır [13].

2.3. Yersel Fotogrametride Kullanılan Kameralar

Yersel fotogrametri uygulamalarında kullanılan kameralar, metrik kameralar, yarı metrik kameralar, amatör kameralar ve sayısal kameralar olmak üzere dört farklı gurupta toplanmaktadır.

2.3.1. Metrik kameralar

Metrik kameralar üretim aşamasında merkezsel izdüşüme oldukça sadık üretilmiştir ve iç yöneltme elemanları bilinir. Fotoğraf koordinat sistemini tanımlamak için hava fotogrametrisinde olduğu gibi çerçeve işaretleri mevcuttur. Bu kameraların kullanımı gün geçtikçe azalmaktadır. Bu kameralarda kullanılan mercek sistemlerinin geometrik doğrulukları oldukça yüksektir fakat fiyatları oldukça pahalıdır. Kamera iç yöneltme elemanları kalibrasyon raporlarında verilmektedir [13].

2.3.2. Yarı metrik kameralar

Bu kameralar aynı zamanda reseau kameralar olarak da bilinir. Bu kameralarda kullanılan mercek sistemlerinin doğruluğu metrik kameralar kadar yüksek değildir. Reseau adı verilen kalibre edilmiş grid yapı film üzerine pozlanmaktadır. Bu reseau'lar yardımıyla film deformasyonları matematiksel olarak düzeltilmektedir. Farklı üretici firmalar, farklı formatta yarı metrik kameralar üretmişlerdir [13].

2.3.3. Amatör kameralar

Yüksek kaliteli amatör kameralar, kalibrasyon ölçüleri ve sonrasında kalibrasyon işlemi yapılarak yersel fotogrametride kullanılabilir.

2.3.4. Sayısal Kameralar

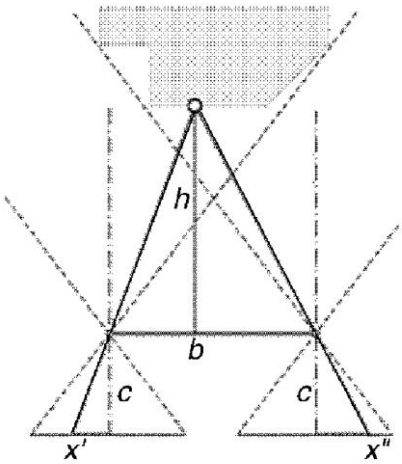
Metrik ve yarı metrik kameralara göre oldukça ucuz olmaları, fotoğrafın doğrudan sayısal olarak elde edilmesi ve sağladığı fotoğrafın heryerinde aynı radyometrik çözünürlük ve görüntü işleme yöntemleri ile sağladıkları geniş analiz işlemleri sayesinde bugün fotogrametrik belgeleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kameralar;

- Görüntünün doğrudan sayısal alınması online değerlendirme işlemine olanak sağlar.
- Otomasyon işlemler için yüksek potansiyele sahiptirler.
- Geometrik doğrulukları yüksektir.
- Banyo işlemleri ortadan kaldırılmaktadır.
- Elde edilen görüntünün kalite kontrolü anında yapılır ve gerektiğinde görüntü yeniden kaydedilir.
- Maliyetleri metrik yada yarı metrik kameralara göre oldukça düşüktür.

Yersel fotogrametride kullanılan kameralar sayısal SLR kameralardır. Sayısal SLR kameralar klasik SLR kameralarda film yerine CCD ler kullanılması ile üretilmiştir. Bu konuda Kodak ve Nikon farklı çözünürlüklere sahip kameralar piyasaya sürmüşlerdir. Bu SLR kameralarda merceğin kalitesi önemlidir [13].

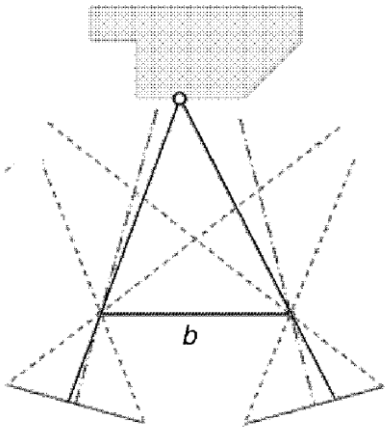
2.4. Yersel Fotogrametride Alım Yöntemleri

Yersel fotogrametride stereo değerlendirme yöntemi için tercih edilen yöntem normal alım yöntemidir. Bu yöntemde stereo model oluşturan fotoğrafların her ikisininde alım eksenleri birbirine paralel ve baza dik durumdadır (Şekil 2. 1).



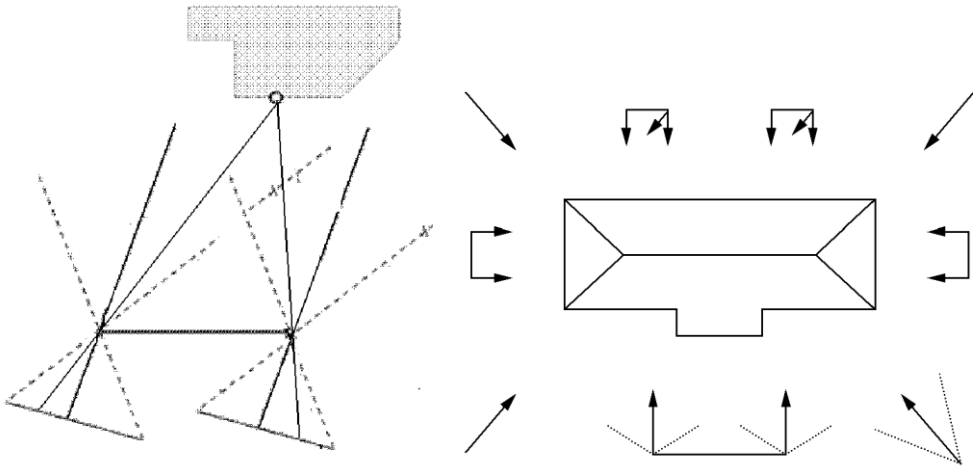
Şekil 2. 1 Normal alım [13]

Konvergent alım yönteminde normal alım yönteminden farklı olarak kamera eksenleri birbirine paralel değildir ve bindirmeli olarak çekilmiş fotoğrafların kamera eksenleri obje üzerinde bir noktada kesişebilir (Şekil 2. 2).



Şekil 2. 2 Konvergent Alım [13]

Dönük alım yönteminde kamera eksenleri birbirine paralel olmakla birlikte kamera eksenleri baza göre belirli bir ϕ açısı kadar döndürülerek fotoğraflar çekilir. 3x3 kuralı ise yersel fotogrametri uygulamalarında tercih edilen normal alım ve konvergent alım yöntemlerinin birlikte düşünüldüğü bir alım yöntemidir (Şekil 2. 3).



(a) (b)

Şekil 2. 3 Dönük alım (a), 3x3 kuralı (b) [13]

2.5. Yersel Fotogrametride Değerlendirme Yöntemleri

Yersel fotogrametri yönteminde nesne koordinat sistemi ile fotoğraf koordinat sistemi arasındaki ilişkinin sağlanması için farklı yaklaşımlar kullanılır. Sayısal fotogrametri yöntemi ile değerlendirme yöntemi, söz konusu objenin özellikleri, büyüklüğü, konumu, sonuç ürünün kullanım amacı ve beklenen doğruluk, kullanılacak yazılım ve donanım vb. birçok özelliğe bağlı olarak belirlenir. Fotogrametrik rölöve projelerinde pek çoğunda sonuç ürün genellikle 1/20 ya da 1/50 ölçekli rölöve çizimleridir. Projenin amacına göre sayısal ortofoto, sayısal yüzey modeli ve üç boyutlu yüzey modeli istenilen diğer sonuç ürünlerdir [13].

Sayısal fotogrametri yöntemi ile sonuç ürünlerin üretiminde kullanılan yöntemler, sayısal tek fotoğraf değerlendirmesi, stereo değerlendirme, sayısal ortofoto ve stereo görüş olmadan birden fazla fotoğraf yardımıyla değerlendirme yöntemleri olarak sıralanabilir [13].

2.5.1. Sayısal Tek Fotoğraf Değerlendirmesi

Sayısal tek fotoğraf değerlendirmesi, obje yüzeyinin düzlem olduğu diğer bir söylemle obje yüzeyinde derinlik farklarının bulunmadığı nesneler için iyi bilinen ve başarı ile kullanılan bir yöntemdir. Sayısal tek fotoğraf değerlendirmesinde fotoğraf üzerinde ölçülen x, y koordinatları ile nesne koordinat sistemi (X, Y) arasındaki matematiksel ilişki projektif dönüşüm eşitlikleri ile sağlanır:

$$X = \frac{a_1.x + a_2.y + a_3}{a_7.x + a_8.y + 1}$$

$$Y = \frac{a_4.x + a_5.y + a_6}{a_7.x + a_8.y + 1} \qquad (2.1)$$

Burada, önce her iki koordinat sisteminde koordinatları bilinen kontrol noktaları yardımı ile bilinmeyen parametreler (a1,a2,....a8) hesaplanır. Bilinmeyenlerin hesaplanması için minimum 4 kontrol noktasına ihtiyaç vardır. İdeal durumda kontrol noktası sayısının 4 den fazla olması istenir. Eşitlik 2.1' de görüldüğü üzere bu yaklaşımda kameranın metrik olması yani iç yöneltme elemanlarının belirlenmesine

ihtiyaç yoktur. Sayısal tek fotoğraf değerlendirmesi yöntemi ile aynı ya da farklı kameralar ile çekilen fotoğraflar kullanılarak mozaikler hazırlanabilir [13].

2.5.2. Stereo değerlendirme

Sayısal tek fotoğraf değerlendirmesi, obje yüzeyinin düz olmadığı, derinlik farklarının bulunduğu durumlarda uygun bir değerlendirme yöntemi değildir. Tarihi ve kültürel yapıların, sanat eserlerinin yüzeylerinde derinlik farkının bulunduğu durumlarda stereo değerlendirme yöntemi tercih edilmelidir. Bu durum obje yüzeyinin iki boyutlu değil üç boyutlu olarak ifade edilebilmesi ile açıklanabilir. Bilindiği gibi, fotoğraf yardımı ile üçüncü boyut ancak objenin farklı bir noktadan çekilmiş ikinci bir fotoğrafı yardımıyla elde edilebilir. Eğer stereo değerlendirme yapılacak ise, çekim sırasında stereo görüş için gerekli koşulların yerine getirmesi gerekmektedir. Ayrıca iki fotoğraf çekim noktası arasındaki baz uzunluğu ile alım mesafesinin oranı belirli sınırlar içerisinde olmalıdır. Stereo değerlendirme yönteminde, fotoğraf alım yöntemi olarak normal alım durumu tercih edilmekle birlikte kullanılan yazılım ve donanımın özelliklerine bağlı olarak eğik ve dönük alım da yapılabilir.

Stereo değerlendirme yönteminde, fotoğraf çiftlerinin karşılıklı yöneltilmesi her iki fotoğrafta ölçülen bağlama noktaları yardımıyla hesapla yapılır. Modelin mutlak yöneltilmesi için model alanına uygun dağılmış en az üç, ideali model köşelerine dağılmış dört adet üç boyutlu koordinatları bilinen (X,Y,Z) kontrol noktalarına ihtiyaç vardır. Çizim işlemleri sayısal ortamda deneyimli operatörler tarafından yapılır [13].

2.5.3. Sayısal Ortofoto

Ortofotolar, eğiklik dönüklük ve diferansiyel alanlarda yükseklik etkileri giderilmiş, ölçeklenmiş, bir haritanın geometrik niteliklerine sahip yeniden örneklenmiş bir fotoğraf, görüntü olarak tanımlanabilir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak fotoğrafın fotogrametrik tarayıcılarla taranarak sayısal hale getirilmesi ile birlikte gelişen sayısal fotogrametri yöntemi ile ortofoto sayısal olarak üretilmektedir. Sayısal ortofotolar genellikle tek bir hava fotoğrafından üretilir. Fotoğraf uçuşu genellikle pafta ortası planlanır. İzdüşüm merkezi yaklaşık pafta ortasına gelecek şekilde uçuş

planlaması yapılır. Enine ve boyuna bindirmeler genellikle fotogrametrik harita üretiminde olduğu şekildedir [14], [15].

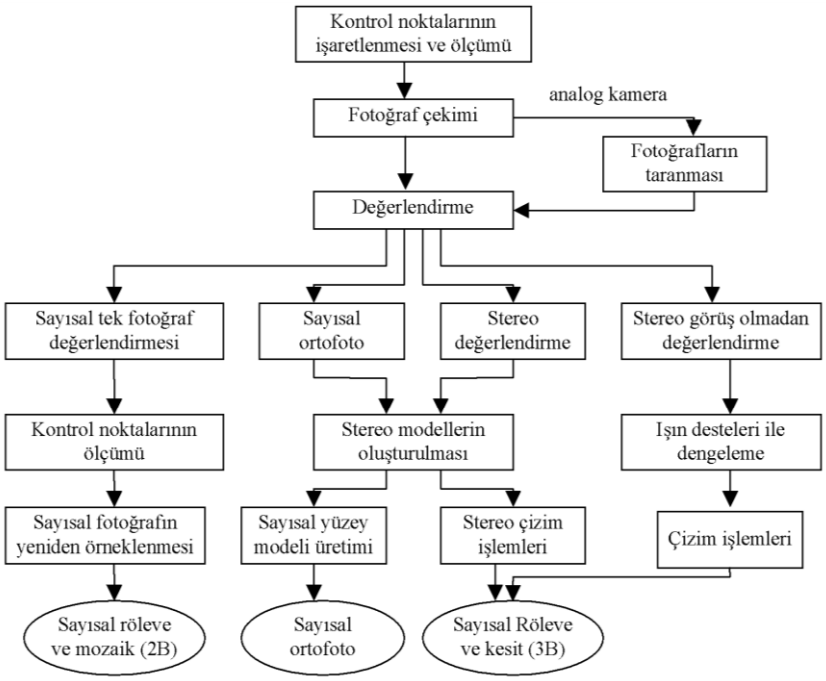
2.5.4. Stereo Görüş Olmadan Birden Fazla Fotoğraf Yardımıyla Değerlendirme

Farklı açılardan bindirmeli olarak çekilmiş birden fazla fotoğraf yardımıyla stereo görüş olmaksızın değerlendirme yapılabilir. Buradaki temel mantık, fotoğraf üzerinde üç boyutlu koordinatları belirlenecek her nokta koordinatlarının en az iki fotoğraf da yapılan ölçüler yardımıyla kestirilmesidir. Çekilen bu fotoğraflar konvergent olarak çekilmiş bindirmeli fotoğraflardır.

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

2.6. Yersel Fotogrametride İş Adımları

Yersel fotogrametri yöntemi ile sayısal tek fotoğraf değerlendirilmesi, stereo değerlendirme, sayısal ortofoto ve stereo görüş olmadan birden fazla fotoğrafla değerlendirme yöntemleri kullanılarak üretilen 2 boyutlu yada 3 boyutlu rölöveler mozaikler, kesitler ve ortogörüntüler için gerçekleştirilecek iş adımları Şekil 2.4'de verilmiştir [15].



Şekil 2. 4 Yersel fotogrametri iş adımları [15]

BÖLÜM 3

KAMERA KALİBRASYONU

Fotogrametri, cismin şekli, boyutları ya da konumunun bir algılama sistemi ile kaydedilen fotoğraf ya da fotoğraf topluluğunu kullanarak belirlemeyi amaç edinir. Bu amacı yerine getirmek için bir dizi ölçüm ve yöneltme işlemleri gerçekleştirilir. Bu amaçla kullanılan algılama sistemi ya da kameranın geometrisinin bilinmesine ihtiyaç duyulur [16], [17], [11], [10], [18], [19], [20]. Bu durum klasik fotogrametrik yaklaşımda kameranın odak uzaklığı ve izdüşüm merkezinin konumunun yani iç yöneltme elemanlarının belirlenmesi olarak ifade edilir. Kısmen veya tamamen iç yöneltme elemanlarının bilinmemesi ve görüntü üzerinde çerçeve işaretlerinin olmaması nedeniyle, fotogrametrik açıdan sayısal kameralar metrik olmayan kamera olarak adlandırılırlar. Bu kameraların mercek distorsiyonu, alıcı (sensör) düzlemi deformasyonu ve elektronik transfer hataları gibi görüntülerin metrik kalitesini etkileyen bir takım sistematik bozulmalar oluşmaktadır. Bu hataların belirlenmesi ve düzeltilmesi gereklidir. Fotogrametrik nokta belirlenmesinde iç yöneltme elemanları bilinir ve cisim noktalarının koordinatları bulunur. Kalibrasyonda ise cisim koordinatları bilinir ve iç yöneltme elemanları bulunur.

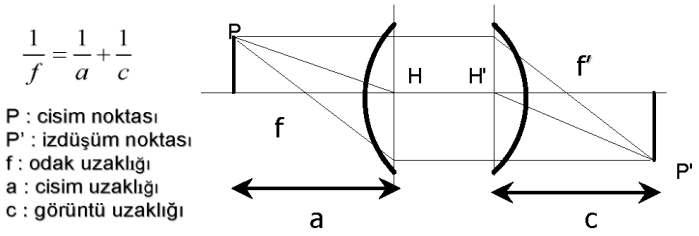
Algılama sistemi ya da fotoğraf makinesinin mercek distorsiyonunun belirlenmesi de belirlenen konum, şekil, boyut ya da koordinat doğruluğu için son derece önemlidir.

Fotoğraflardan, yani iki boyutlu görüntülerden, üç boyutlu bilgi elde edebilmek için bazı koşulların yerine getirilmesi gerekir. Üç boyutlu ölçüm ve değerlendirme yapabilmek için kullanılan farklı yöntemlerin çoğunda iç yöneltme elemanları ve distorsiyon

hatalarından oluşan kamera kalibrasyon parametreleri bilinmesi ve söz konusu objenin az iki farklı noktadan görüntüsünün kaydedilmesi gereklidir [21].

3.1 Kameraların Optik Temelleri

Objektiften a kadar uzakta bulunan bir nesnenin görüntüsü, yine objektiften itibaren c kadar uzakta bulunan bir düzlemde oluşuyorsa mercek denklemine göre Şekil 3.1'deki gibi oluşur [13].



Şekil 3. 1 Mercek sisteminde görüntü oluşumu [13]

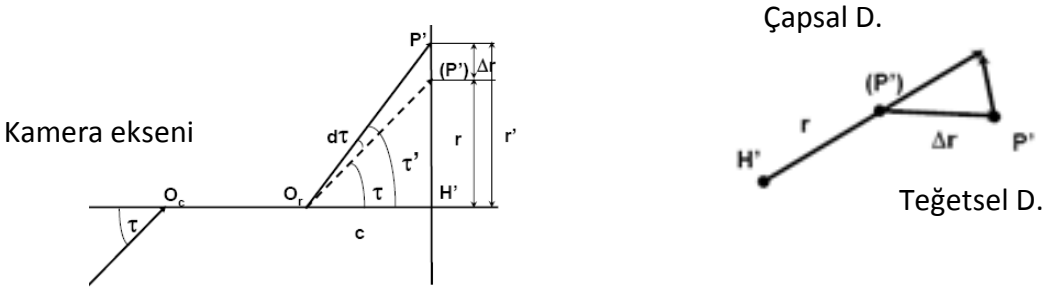
Fotogrametride nesnenin objektife uzaklığı a, f odak uzaklığına göre çok büyüktür ve bu nedenle a= ∞ alınabilir. Fotogrametride net görüntü odak düzleminde oluşur. Bu nedenle hava kameralarında f odak uzaklığı yerine c görüntü uzaklığı özel deyimi ile asal uzaklık alınır. Fotogrametrik kameralarda mercek sistemi çok sayıda merceğin bir araya gelmesinden oluşan bir sistemdir. Geometrik olarak nokta şeklinde düşünülen izdüşüm merkezi yerine biri nesne diğeri fotoğraf uzayında olmak üzere iki izdüşüm merkezi vardır. Bu iki noktanın tek bir izdüşüm merkezi olarak alınmasında, ışının optik eksenle yaptığı açının çıktıktan sonrada aynı kalması koşulu ile hiçbir sakınca yoktur. Mercek kusurları;

- Eksene yakın bölgede olan ancak farklı yükseklikten merceğe gelen ışınların iz düşümündeki kusurlar; Küresel aberasyon,
- Eksenin uzağında bulunan bölgelerin iz düşümünde ortaya çıkan kusurlar; Koma, Astigmatizm, Görüntü alanının eğriliği, Distorsiyon,
- Farklı dalga boyundaki ışık için; Kromatik veya renksel aberasyon şeklinde sıralanabilir. Bu hatalardan küresel aberasyon, koma, astiğmatizm, görüntü alanının eğriliği, kromatik veya renksel aberasyon görüntü kalitesini; distorsiyon ise görüntü

geometrisini etkileyen hatalardır. Görüntü geometrisi koordinat doğruluğunu etkilediğinden hesaplanması gereken değerler distorsiyon değerleridir [13].

3.1.1. Distorsiyon hatası

Kameralarda kullanılan mercek sistemleri tek bir mercek yerine çok sayıda merceğin bir araya gelmesinden oluşmaktadır ve mercek sistemindeki hatalar nedeni ile obje üzerindeki bir P noktasının fotoğraf üzerindeki izdüşümü olması gereken yerden farklı bir yerde oluşmaktadır. Bu P noktasından gelen ışın, kamera ekseni ile τ açısı yaparken kamera objektif sistemindeki kusurlardan dolayı fotoğraf uzayında τ' açısı yaparak çıkacaktır. Sonuç olarak P noktasının görüntüsü P noktası yerine olması gerekenden Δr kadar farklı bir konumda P' noktasında oluşacaktır. Bu farka kamera distorsiyon hatası denir. Kamera kalibrasyonu ile distorsiyonun fotoğraf üzerinde yapılan ölçülere etkisi belirlenir. Kamera kalibrasyonu ile belirlenen distorsiyon değerleri kullanılarak fotoğraf koordinatları düzeltilir. (P') ve P' noktasını birleştiren Δr doğru parçası vektörel hatadır (Şekil 3.2 (a)). Bu çap ve teğet yönünde iki bileşene ayrılabilir. Çap yönünde (r yönünde) olan bileşenine çapsal (radyal) distorsiyon, diğerine de teğetsel distorsiyon denir (Şekil 3.2 (b)) [13].



(a) (b)

Şekil 3. 2 Distorsiyon Hatası (a) Teğetsel ve Çapsal Distorsiyon (b) [13]

Distorsiyonsuz izdüşüm, r = c. tan τ fonksiyonu ile elde edilir ve buna görüntü fonksiyonu denilir. Teorik ve teknik nedenlerden dolayı distorsiyonsuz objektiflerin yapımı olanak dışıdır ancak distorsiyon değeri belirli bir değerin altında tutulabilir. Bu nedenle gerçek fiziksel izdüşümün görüntü fonksiyonu f(τ) ile teorik görüntü fonksiyonu r = c.tanτ arasındaki fark distorsiyon nedeni ile doğan Δr sapmasıdır. Bu

sapma; $\Delta r = r' - r = r' - c.\tan\tau = f(\tau) - c.\tan\tau$ dir. Fotogrametrik kameralarda distorsiyon hatasının minimum olması için kameralar üretilirken gerekli önlemler alınır. Fakat yine de yukarıda açıklanan etkilerin ortaya çıkmasını sağlayan hatalar oluşur. Metrik kameralarda, laboratuvar ortamında yapılan duyarlı ölçmeler sonunda kameranın belirli koşullara göre distorsiyonu hesaplanır. Bu durum bir raporla kullanıcılara verilir [13].

Distorsiyon hatası nesnelerin fotoğraf üzerindeki izdüşümünü etkilediği için fotoğraf koordinatlarının değişmesine sonuç olarak da fotoğraf düzleminde ölçek değişimine sebep olur. Bu değişim iki şekilde gerçekleşir. İlkinde ölçek izdüşüm düzleminin kenarlarına doğru artar. Bu durumda pozitif bir distorsiyondan söz edilir ve bir kare biçimindeki cismin izdüşümü yastık biçiminde olur. Eğer izdüşüm ölçeği kenara doğru azalacak olursa, distorsiyon negatif olur aynı kare biçimindeki cismin izdüşümü fıçı şekline dönüşür [13].

3.2 Işın Desteleri ile Dengeleme

Geometrik kamera kalibrasyon işlemi ile, sayısal kamera ve termal kameraların kalibrasyon parametreleri, diğer bir deyişle odak uzaklığı ve distorsiyon hataları belirlenmektedir. Kalibrasyon işlemi genellikle, laboratuvar ortamında özel olarak hazırlanmış test objelerinin fotoğrafları kullanılarak gerçekleştirilir. Sayısal ve termal kameralar ile elde edilen görüntüler kullanılarak fotogrametrik belgeleme ve deformasyon analizi çalışmalarının sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için geometrik kamera kalibrasyonunun yapılması gereklidir [19].

Fotogrametrik olarak konum belirleme ve kalibrasyon metotlarında yaygın olarak kullanılan yöntem ışın desteleri ile dengelemeye ek parametreler dahil edilmesidir [21]. Işın desteleri ile dengelemede kolinarite eşitliklerini esas alan matematiksel model yardımıyla ek parametreler, fotoğraf çekim noktalarının konum ve dönüklükleri (dış yöneltme elemanları) ve obje koordinatları belirlenir. Fotoğraf üzerinde ölçülen her bir noktanın fotoğraf koordinatları için kolinarite eşitliği yazılır. Işın desteleri ile dengeleme sırasında bindirmeli olarak çekilmiş fotoğraf bloğunda ölçülen bütün noktalar için kolinarite eşitlikleri bir bütün olarak ele alınır ve bilinmeyenler kestirilir. Kolinarite eşitlikleri bilinmeyenlere göre doğrusal değildir. Bilinmeyenlerin çözümünde

doğrusallaştırma işlemi için 1. derece Taylor serisi kullanılır ve sistemin çözümü en küçük kareler ilkesine (Gauss-Markov modeli) göre yapılır. Bu yaklaşımda bilinmeyenlerin yaklaşık değerlerine ihtiyaç vardır. Yaklaşık değerler genelde bilinmediği için çözüm iteratif olarak gerçekleştirilir. İterasyon işlemini sonlandırmak için farklı fotoğraflarda ölçülen aynı noktaların hesaplanan koordinat değerleri arasındaki farklar ve/veya iterasyon sonunda kestirilen dış yöneltme elemanları ile bir önceki iterasyon sonrasında hesaplanan dış yöneltme elemanları arasındaki farklar kontrol edilir.

Kolinarite eşitliklerinin çözümü için hem fotoğraf koordinatları hem de referans koordinat sistemindeki koordinatları bilinen kontrol noktalarına ihtiyaç vardır. Ek parametreler yardımıyla iç yöneltme elemanlarının özellikle kamera asal uzaklığının sağlıklı bir şekilde kestirilmesi için kontrol noktalarının farklı derinlik seviyelerinde bulunması gerekir. Fotogrametrik belgeleme amaçlı kullanılan sayısal ve termal kameraların geometrik kalibrasyonunun sağlıklı bir biçimde yapılabilmesi için, 3 boyutlu test objesinin iyi bir şekilde tasarlanması gerekir. 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının uygun dağılmış olmaları, farklı derinlik seviyesinde olmaları ve farklı açılardan çekilen fotoğraflarda kontrol noktalarının birbirini kapatmaması gerekmektedir. 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının koordinatları hassas bir şekilde belirlenmelidir [23].

Ek parametrelerle yapılan ışın desteleri İle dengeleme sonucunda, birden fazla fotoğraf üzerinde ölçülen noktaların referans koordinat sistemindeki koordinatları ile kamera kalibrasyon parametreleri elde edilir. Işın desteleri ile dengeleme yönteminin matematik temeli merkezsel izdüşüm denklemleri diğer bir deyişle kolinarite eşitliklerine dayanır [23];

$$x - x_0 = -c\frac{m_{11}(X - X_0) + m_{21}(Y - Y_0) + m_{31}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x = -c\frac{U}{W} + \Delta x \tag{3.1}$$

$$y - y_0 = -c\frac{m_{12}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{32}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y = -c\frac{U}{W} + \Delta y$$

Burada;

x, y: fotoğraf koordinatları,

x0, y0 : asal noktanın (PP) fotoğraf koordinatları,

c : kamera odak uzaklığı,

X, Y, Z : referans koordinat sistemindeki koordinatlar,

X0, Y0, Z0 : izdüşüm merkezinin referans koordinat sistemindeki koordinatları,

m ij : fotoğraf koordinat sistemi ile referans koordinat sistemi arasındaki dönüklük matrisi (M) elemanları

Δx ve Δy : ek parametreler

Kolinarite eşitlikleri, bazı sistematik hataları içerecek şekilde genişletilir. Bu sistematik hataların düzeltilmesi için ışın desteleri ile dengelemeye dahil edilen ek parametreler kullanılır. Ek parametrelerin en yaygın dizisi, CCD kameralardaki sistematik hataları gidermek için kullanılan, 1971' de Brown tarafından formüle edilen fiziksel modeldir [24]. Fotogrametride yaygın olarak kullanılan ek parametre seti;

- İç yöneltme parametreleri (Δx_0, Δy_0, Δc),
- Ölçek faktörü (B1),
- Fotoğraf koordinat eksenlerinin dik olmaması (B2),
- Çapsal distorsiyon (radyal) parametreleri (K1, K2, K3),
- Teğetsel distorsiyon parametreleri (P1, P2) den oluşur.

Ek paralemetreler Δx ve Δy [23];

$$\Delta x = -x_0 - \frac{x}{c}\Delta c - \bar{x}A + \bar{y}B + \bar{x}r^2K_1 + \bar{x}r^4K_2 + \bar{x}r^6K_3 + (2\bar{x}^2 + r^2)P_1 + 2P_2\overline{xy}$$
$$\Delta y = -y_0 - \frac{\bar{y}}{c}\Delta c - \bar{x}B + \bar{y}r^2K_1 + \bar{y}r^4K_2 + \bar{y}r^6K_3 + 2P_1\overline{xy} + (2\bar{y}^2 + r^2)P_2 \quad (3.2)$$

dir. $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ ötelenmiş fotoğraf koordinatları ve r ise çapsal uzaklığı;

$$\bar{x} = x - x_0; \bar{y} = y - y_0; r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (3.3)$$

ifade etmektedir. Radyal distorsiyon Δr ise;

$$\Delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada Ki radyal distorsiyon katsayılarını göstermektedir. P1 ve P2 ise teğetsel distorsiyon parametrelerini ifade etmektedir [23].

3.3 Yöneltmeler

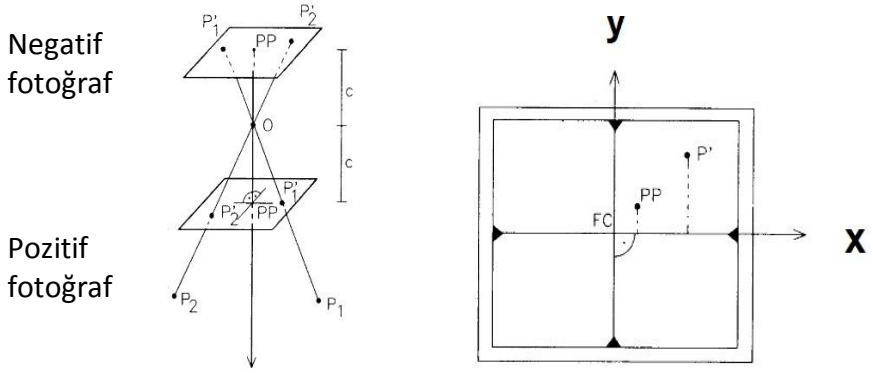
Fotogrametrik yöntemle cismin şekli, boyutları ya da konumunun belirlenmesi, bilinen iç yöneltme elemanları ve cisme ait ölçülen fotoğraf koordinatları yardımıyla yöneltme aşamaları sonucunda elde edilen dış yöneltme elemanları kullanılarak gerçekleştirilir.

3.3.1. İç Yöneltme

İç yöletmede amaç, fotoğraf çekim anındaki ışın demetini yeniden oluşturmaktır. Böylece izdüşüm merkezine göre fotoğraf noktalarının konumunu esas alarak cisim uzayındaki ışınların aralarındaki açısal bağıntıyı ifade eder. Fotoğraf koordinat sistemine göre izdüşüm merkezinin konumu yöneltmenin geometrik elemanlarıyla ifade edilir.

Fotogrametrik kameraların asal uzaklığı (c) ile asal noktanın konumuna (x0, y0) iç yöneltme elemanları denir. Bu üç eleman yardımı ile fotoğraf noktasından geçen izdüşüm ışını doğru olarak konumlandırılabilir. Analog fotogrametrik kameralarda asal noktanın konumu çerçeve işaretlerinin oluşturduğu bir koordinat sistemine göre tanımlanır (Şekil 3.3). Asal uzaklık, net görüntünün oluştuğu fotoğraf düzleminin izdüşüm düzlemine olan uzaklığıdır. Asal noktanın konumu, fotoğraf çerçeve işaretlerinin belirlediği fotoğraf koordinat sistemine göre tanımlanır. Fotogrametrik bir kamera ile çekilen bir fotoğraf ile ölçü yapılabilmesi için izdüşüm parametrelerinin yani iç yöneltme elemanlarının bilinmesi gerekir [1].

Afin dönüşümüyle fotoğraf asal noktası tespit edilerek piksel koordinatlarından fotoğraf koordinat sistemindeki koordinatlarına geçilmiş olur. Dönüşüm sonucu artık hatalar 10 µ değerini aşmamalıdır.



Şekil 3. 3 İç yöneltme elemanları ve fotoğraf koordinat sistemi [1]

3.3.2. Dış yöneltme

Dış yöneltme işleminin amacı bir stereo modeli oluşturan fotoğrafların fotoğraf çekim anında referans koordinat sistemindeki konumlarına getirilmesidir. Bunun için bir fotoğrafa ilişkin üç öteleme ve üç dönüklük verisinin belirlenmesi gerekir. Dış yöneltme elemanlarını oluşturan parametreler, fotoğraf çekim noktasının X0, Y0, Z0 koordinatları ile ışın demetinin üç dönme parametresi ϕ, ω, κ 'dır. Bu altı parametreye dış yöneltme elemanları denir. Bir fotoğraf çiftinin iki ışın destesini uzayda konumlandırmak ve yönlendirmek için 12 adet dış yöneltme elemanları karşılıklı ve mutlak yöneltme aşamalarında çözülür [1].

BÖLÜM 4

SEGMENTASYON VE GÖRÜNTÜ SINIFLANDIRMA

Bu bölümde, termal infrared kamera ile kaydedilen görüntüler kullanılarak, sayısal kameralarla algılanamayan ve tarihi binalarda nem ve ıslak yüzeylerin yalıtım problemleri sebebi ile meydana gelen rutubet sonucu oluşan deformasyonların segmentasyon ve görüntü sınıflandırma aşamalarına ilişkin temel bilgiler verilecektir.

4.1. Öznitelik Çıkarımı

Öznitelik çıkarımı, görüntü içerisinde yer alan verielerin istenilen amaca hizmet edecek şekilde elde edilmesi işlemidir. Basit anlamda bir sınıflandırmada şekil, renk, doku, boyut, gölge gibi farklı öznitelikler elde edilebilmektedir. Geleneksel görüntü işleme teknikleri öznitelikleri belirlerken sadece objelere ait yansıma değerlerini kullanmaktadır. Yüksek çözünürlüklü hava görüntülerinin kullanılmaya başlanmasıyla, elde edilen detayların artmasından dolayı geleneksel görüntü işleme teknikleri yetersiz kalmaya başlamıştır.

Teknolojik gelişmelerle, yüksek çözünürlüklü hava kameraları ile elde edilen görüntülerinden otomatik öznitelik çıkarımı, düşük maliyet ile yüksek doğruluğu vermesi ile karar verme mekanizmaları açısından önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bina, yol, su alanı, yerleşim alanı, sanayi alanı gibi özniteliklerin hava fotoğraflarından otomatik olarak elde edilmesi ile değişim analizleri, afet yönetimi, kent planlanması gibi her türlü coğrafik çalışmaya altlık oluşturacak tematik haritaların elde edilmesi bakımından oldukça önemlidir [26].

Öznitelik, bir nesneye ait ayırt edici karakteristik özelliklerin fonksiyonu olarak tanımlanır. Öznitelik çıkarımında sayısal görüntü işleme teknikleri kullanılabilmektedir. Bu teknikler geliştirilerek yol, yerleşim alanı, yeşil alan, su alanı gibi öznitelikler çıkarılabilmektedir. Özellikle bu öznitelik verilerinin çıkarımı; kentsel değişim ve gelişimin görüntülenmesinde, kaçak yapılaşmanın tespitinde, zamansal değişimin belirlenmesinde, tarihi yapıların belgelenmesinde kullanılmaktadır. Öznitelik çıkarımın kullanım alanları arttıkça sayısal görüntü işleme tekniklerinin de önemi ve kullanım alanları artmaktadır [26].

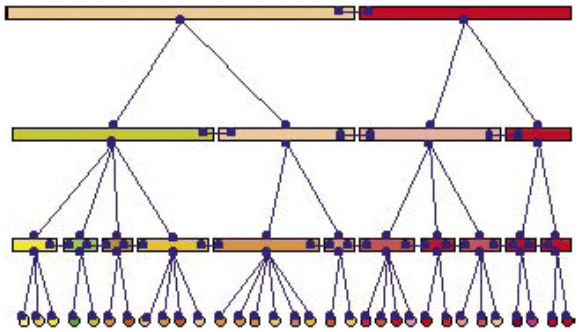
4.2. Segmentasyon

Segmentasyon, görüntünün birbirinden farklı alt bölümlere ayrılmasıdır. Segmentasyon, "homojen bölgelerin belirlenmesi ve bu homojen bölgelerin sınıflandırılması" olarak tanımlanır [26]. Görüntü segmentasyonu işlemleri, yıllar boyunca görüntü analizi alanında ana araştırma odağı olmuş ve çözüm için farklı yaklaşımlar izlenmiştir. Ayrıca başka bir zorluk da, çoğu durumda ilgilenilen alanların heterojen olmasıdır. Heterojenlik durumunda belirsizlikler ortaya çıkar ve gerekli olan, anlaşılması gereken bilgi direkt olarak çıkarılamaz. Bu şekilde problemlerle baş edebilecek, kalite ve performansı ilgilendiren gereklilikleri (veri setinin boyutu ve işletim süresi) ve yeniden üretilebilirliği aynı anda yerine getirebilecek çok az sayıda yaklaşım mevcuttur [27].

Birçok segmentasyon çeşidi olmasına karşın çoklu çözünürlüklü segmentasyon; ölçek, bütünlük, yumuşaklık, şekil, renk gibi farklı parametreleri birlikte kullanarak homojen gruplar oluşturduğu için en çok tercih edilen segmentasyon çeşididir. Kullanıcı parametrelere amaca bağlı olarak [0-1] arasında değerler verilerek farklı seviyelerde segmentler elde edebilir. Bu parametrelerden 2 tanesi objelerin homojenliğini kontrol etmekte kullanılır [26].

Segmentasyon aşamasında görüntü üzerinde bulunan her bir piksel görüntü üzerinde bir nesneye hiyerarşik olarak bağlıdır. Bu hiyerarşi eCognition yazılımında segmentasyon için hazırlanmış olan algoritmada, bazı değişkenlere bağlı olarak kurulur. Burada önemli olan uygun homojenliği sağlayarak pikselden nesneye doğru, uygun yapıyı kurmaktır. Segmentasyon aşamasında bunun için kullanılan değişkenler; ölçek,

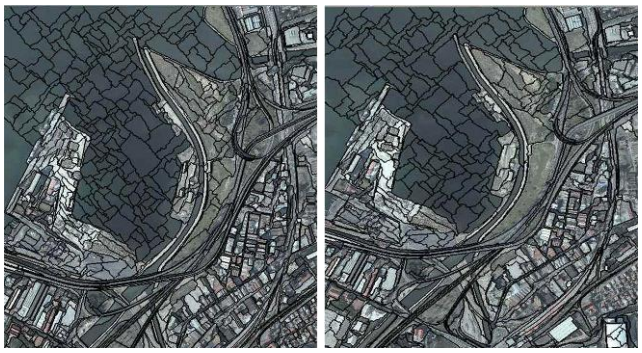
renk, biçim, yumuşaklık ve bütünlük değişkenleridir. Bu değişkenlerin dahil olduğu bir fonksiyon yardımıyla pikselden segmente ve buradan da daha büyük segmentlere doğru bir zincir yapı kurulur. Şekil 4.1 'de piksel ve nesneler arasındaki hiyerarşik yapı gösterilmektedir [27].



Şekil 4. 1 Görüntünün hiyerarşik yapısı [27]

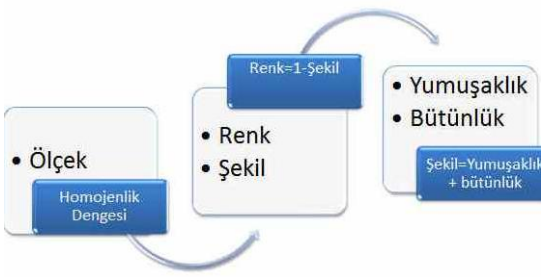
Segmentasyon aşamasında kullanılan parametreler şu şekilde açıklanabilir:

- Ölçek parametresi (Scale Parameter): Bu parametre, ortalama nesne boyutunu dolaylı yoldan etkiler. Aslında bu parametre nesnelerin heterojenliğine izin veren maksimum değeri belirler. Ölçek parametresi ne kadar büyürse nesneler de o kadar büyür [27]. Ölçek faktörü spektral homojenliği dengelerken bütünlük faktörü bütünlük ve yumuşaklık dengelemesini yaparak, yumuşak kenarlar ve bütün kenarlara bağlı olarak objenin şekli belirlenmektedir. Ölçek parametresi, segmentasyon aşamasında kullanıcının istediği ölçü seviyesinin belirlenmesinde anahtar rol oynar bu neden ile yapılan işin amacına göre belirlenir (Şekil 4.2).



(a) (b)

Şekil 4. 2 Farklı ölçek parametresi (a 150-b 200) kullanılarak elde edilmiş segmentasyon görüntüsü [26]



Şekil 4. 3 Çoklu çözünürlüklü segmentasyon için ölçek parametresinin genel diyagramı [26]

- Renk / Biçim (Color / Shape): Bu parametrelerle renk ve biçim çatışmasının homojenliğinin nesne üretimi etkisi düzeltilebilir. Biçim kriteri ne kadar yüksek olursa, spektral homojenliğinin nesne üretimine etkisi daha az olacaktır [27].

- Yumuşaklık / Bütünlük (Smoothness / Compactness): Biçim kriteri 0'dan büyük olduğunda kullanıcı, nesnelerin daha bütün (yoğun) veya daha yumuşatılmış olması gerektiğine karar verebilir [27].

Gerçekte bir arazi sınıfını temsil eden segment veya segmentlerin, ilgili sınıfa dahil edilmesi için uygun fonksiyonlar belirlenir. Burada en yakın komşuluk ilişkileri veya bulanık üyelik fonksiyonları devreye girer. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken husus, segmentlerin belirlenmesi aşamasında parametrelerin uygunsuz seçilerek heterojenliğin artması ve segmentlerin birleşerek yanlış sınıflara dahil olmasıdır. Böyle problemlerle karşılaşmamak için olabildiğince gerçekteki yapıları en az segmentle ifade edebilecek yapıyı oluşturmak bunun yanında heterojenliği de dengede tutmak gerekmektedir [27].

Segmentasyon aşamasını görüntüleri sınıflandırma işlemi takip eder. eCognition yazılımı iki temel sınıflandırıcı ile çalışmayı sağlar; en yakın komşu sınıflandırıcı ve bulanık üyelik (fuzzy membership) fonksiyonlarıdır. Her ikisi de sınıf tanımcıları olarak görev yaparlar. En yakın komşu sınıflandırıcı, kullanıcının her sınıf için karar vermesi gereken örnek nesneler yardımıyla ortaya çıkacak sınıfları tanımlarken, bulanık üyelik fonksiyonları nesnelerin belirli bir sınıfa ait olduğu veya belli bir seviyede olmadığı yerdeki önemli özellik aralıklarını tanımlarlar. Bu bağlamda, eCognition yazılımının önerdiği her bir özellik ya bulanık üyelik fonksiyonlarını tanımlamak ya da en yakın komşu sınıflandırıcı için özel alanı belirlemek amacıyla kullanılabilir. Böylece bir sınıf,

bulanık mantık operatörleri, kalıtım (inheritance) veya her ikisinin birleşmesi aracılığıyla bir ya da daha fazla sınıf tanımlayıcılarının toplanması olarak tanımlanabilir. Sınıf hiyerarşisi ölçeğe bağlı olarak nesnenin özelliğini yansıttığından, katman sınıflarını yaratmak yararlıdır. Bu sınıflar, görüntü segmentasyonundan çıkartılmış katmanları ifade ederler ve belirli bir katmana ait olduklarını belirterek tanımlanırlar. Sadece bu katmanlarda beliren sınıflar, bu özelliği katman sınıflarından alırlar. Bu teknik genellikle, sınıf hiyerarşisini yapılandırmaya yardım eder [28].

4.3 Sınıflandırma

Sınıflandırma; birçok bilim dalında kullanılan bir karar verme işlemidir. Görüntü sınıflandırma işleminde amaç, bir görüntüdeki bütün pikselleri arazide karşılık geldikleri sınıflar veya temalar içine otomatik olarak atamak, yerleştirmektir [18].

Uzaktan algılamada sınıflandırma, cisimlerin farklı spektral yansıtma değerleri esasına dayanarak orijinal görüntüdeki her görüntü elemanını ait olduğu özellik grubuna ayırma işlemidir. Ayırt etme ya da tanıma problemi her pikselin, algılama yapılan spektral bantlara göre farklılık gösteren sayısal değerler kümesinden yaralanılarak aşılmaktadır. Sınıflandırmada amaç, yeryüzü üzerinde aynı spektral özellikleri taşıyan nesnelerin gruplandırılmasıdır. Sınıflandırmanın yapılabilmesi için çok spektrumlu veri kullanılır. Her bir piksele ait spektral özellik verisi sınıflandırma için nümerik değerleri oluşturur. Her nesne çeşidi doğasındaki spektral yansıtım ve yutulmaya bağlı olarak farklı DN (dijital numaralarla) ifade edilirler [29].

Sayısal görüntü sınıflandırma, bir görüntüdeki tüm piksellerin sınırlı sayıdaki sınıflar içerisinde gruplandırılması işlemidir. Spektral sınıflandırma, desen tanıma (pattern recognition), doku analizi (textural analysis), değişim belirleme (change detection) işlemleri sınıflandırmanın farklı türleridir. Sınıflandırma işlemi bir görüntüdeki farklı özelliklerin belirlenmesi, ayırt edilebilir şekillerin ve uzaysal desenlerin ayrımı, Bir görüntüdeki zamana bağlı değişimlerin tanımlanması olmak üzere üç temel konu üzerine odaklanmaktadır [30]. Sınıflandırma işlemi, genel olarak şu adımları içerir;

- Sınıflandırma projesi dizayn edilir; kullanılacak sınıflar tasarlanır, bu sınıflar, kent, tarım veya orman alanları olabilir. Arazi çalışması yapılarak, çalışma bölgesine ait yer bilgileri ve yardımcı veriler toplanır.
- Görüntüdeki yeryüzü özelliklerini ortaya koyabilecek örnekleme bölgeleri seçilir ya da bilgisayarda kümeleme yöntemiyle örnekleme bölgeleri yaratılır.
- Uygun algoritmalar seçilerek sınıflandırma yapılır.
- Son işleme; geometrik düzeltme tamamlanır, filtreleme yapılır ve sınıflandırma düzenlenir.
- Doğruluk değerlendirilmesi yapılır. Sınıflandırma sonuçları arazi çalışmalarıyla karşılaştırılır [29].

Sınıflandırma işleminde, başlangıçta var olan veri ve bilgilerin tür ve miktarına göre problem yaklaşım ve çözüm yolları farklı olmaktadır. Sınıflandırmada kullanılacak bant kombinasyonlarını belirlemek amacıyla çalışma alanına ait çok spektrumlu veri dizisindeki korelasyon irdelenmelidir. Bunun için korelasyon matrisi oluşturulmalı, ve korelasyon katsayıları incelenerek minimum korelasyona sahip bantlar sınıflandırmada kullanılmalıdır [31].

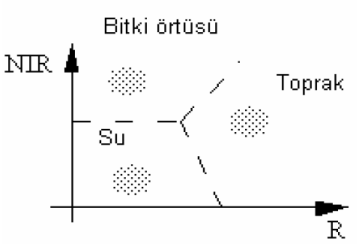
Sınıflandırma işleminde, sınıfların oluşturulması, yapılacak çalışmanın amacına ve ölçeğine bağlı olmaktadır [32]. Ayrıca, çalışmada kullanılacak spektral aralığın belirlenmesi, yeterli doğrulukta ve sayıda kontrol alanlarının seçimi ve sınıflandırılmış görüntülerde doğruluk değerlendirilmesinin yapılması, bu işlemin gerçekleştirilmesinde büyük önem taşımaktadır.

Dijital görüntülerde farklı özellik tipleri, doğal spektral yansıtma ve yayma özelliklerine bağlı olarak farklı sayısal değerler içeren kombinasyonlar oluşturmaktadır. Bu farklılıktan yararlanılarak aynı spektral özellikleri taşıyan yeryüzündeki nesneler gruplandırılabilmektedir. Amaç görüntülerindeki her pikseli spektral özelliklerine göre farklı gruplara ayırmak ve pikseli yansıtma değerlerine göre yeryüzünde karşılık geldiği kümeye atamaktır. Çalışmanın amacı kapsamında sınıflandırma işlemini piksel-tabanlı sınıflandırma ve nesne-tabanlı sınıflandırma olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür [27]. Sınıflandırma teknikleri ele alınırken kullanılan algoritmalardaki işlem

birimi önem kazanmaktadır. Görüntü sınıflandırmada, günümüze kadar piksel tabanlı yaklaşımlar söz sahibi olmuştur. Bu yaklaşımlarda görüntü içerisindeki tekil pikseller, renk değerlerine ve birbirleriyle olan komşuluk ilişkilerine göre ele alınmaktadır. Günümüz görüntü işleme ve dolayısıyla uzaktan algılama teknolojilerinde, piksel tabanlı yaklaşımların yanında nesne tabanlı yaklaşımlar da kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür yazılımlarda kullanılan algoritmalar, sınıflandırmaların düzenlenmesi konusunda segmentleri daha uygun hale getirmek için, spektral bilginin yanında yapısal veya dokusal ek bilgilerle daha uygun çözümler sunar [28]. Piksel tabanlı yaklaşımların aksine, nesne-tabanlı yaklaşım, yapıyı, dokuları ve spektral bilgileri dikkate alır. Bu sınıflandırma aşaması, komşu piksellerin gruplandırılmasının, sınıflandırmanın sonraki basamağında ele alınabilir anlamlı bölgelere dönüştürmesi ile başlar. Bu tür segmentasyon ve topoloji oluşumu, çözünürlüğe ve çıkarılması düşünülen nesnelerin ölçeğine göre ayarlanmalıdır. Bu metotla, sadece tekil pikseller sınıflandırılmakla kalmaz, ayrıca bir önceki segmentasyon basamağı sırasında homojen görüntü nesneleri de ortaya çıkar. Bu segmentasyon değişik çözünürlüklerde yapılabilirken, nesne kategorilerinin katmanlarını ayırt etmeye de izin verir [33].

4.3.1. Piksel-Tabanlı Sınıflandırma

Sınıflandırma işleminde, edilmek istenen bilgiye göre yapılmış spektral sınıflar, piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerine göre bir görüntüdeki tanımlanmış özelliklerle ilişkilendirilebilir (kontrollü sınıflandırma) ya da istatiksel olarak belirlenebilir (kontrolsüz sınıflandırma) [30]. Kontrollü sınıflandırmada farklı spektral grupları temsil eden kontrol alanları kullanılarak spektral ayrılabilirlik incelemekte, buna karşılık kontrolsüz sınıflandırmada ise spektral olarak ayrılabilir sınıflar belirlenmekte ve bunlardan bilgi elde etme yoluna gidilmektedir. Bu iki sınıflandırma arasındaki farkın ortaya koyulabilmesi için iki tür kavramdan söz etmek gerekir. Bu kavramlar; bilgi sınıfı ve spektral sınıftır. Bilgi sınıfı; kontrollü sınıflandırmada kullanılır ve belli bir kategoriyi temsil etmek üzere analist tarafından seçilir. Öte yandan, spektral sınıf, benzer parlaklık değeri vektörlerinden oluşur ve bilgisayar tarafından belirlenir. Bilgi elde etmek için en ideal yöntem, bilgi sınıflarının ve spektral sınıfların birlikte kullanılmasıdır [29].



Şekil 4. 4 İki Boyutlu Uzayda Sınıflandırma [29]

Sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesi aşamasında, kullanılacak dalga boyunun, yeterli doğruluk ve sayıda kontrol alanlarının, sınıflandırma algoritmasının belirlenmesi ve doğruluk analizlerinin yapılması, yapılacak çalışmanın doğruluğu açısından son derece önemlidir. Uzaktan algılamada; En Çok Benzerlik, Euklid Uzaklığı ve Mahalanobis Uzaklığı gibi sınıflandırma algoritmalarının yanında Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Fuzzy C-Means, Neuro-Fuzzy gibi farklı sınıflandırma teknikleri de kullanılmaktadır.

4.3.1.1. Kontrollü Sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırma görüntü üzerindeki alanlara ait dış verilere dayalı olarak gerçekleştirilir. Bu veriler arazi çalışmaları yapılarak, hava fotoğraflarının analiz edilmesiyle veya konu ile ilgili mevcut haritalardan elde edilebilir [34]. Yöntemde görüntünün hangi sınıflara ayrılacağı, ya da görüntüden hangi sınıfların elde edilmek istenildiği önceden belirlenir. Bunun için görüntüden belirlenen sınıflara ait kontrol alanlarının seçilmesi gerekmektedir. Kontrol alanlarının seçimi sınıflandırmanın doğruluğunu etkileyen bir aşamadır. Uygulamada sıkça karşılaşılan sınıf çakışması sorunu kontrol alanlarının ölçümünde yapılan hatalardan kaynaklıdır [35].

Kontrollü sınıflandırma da, çalışma alanındaki yeryüzü özelliklerini tanımlayan yeteri sayıdaki örnekleme alanları kullanılarak, piksel değerlerinin özellik dosyaları oluşturulur. Kontrol alanlarının örneklediği özellik dosyalarının görüntü verilerine uygulanması ile her bir görüntü elemanı (piksel), hesaplanan olasılık değerine göre en çok benzer olduğu sınıfa atanmaktadır. Kontrollü sınıflandırma üç adımda incelenilebilir [36];

- Örnekleme adımı ,

- Sınıflandırma adımı ,
- Çıktı adımı.

Kontrollü sınıflandırma da, ilk adım örnekleme adımıdır. Örnekleme aşamasında, analist her bir arazi örtüsü çeşidini temsil edecek örnekleme bölgeleri seçer ve bu bölgelerin spektral özelliklerini açıklayacak sayısal değerler geliştirir. İkinci adım, sınıflandırma adımıdır. Sınıflandırma adımında, görüntü verisindeki her bir piksel en çok benzer olduğu arazi örtüsü kategorisine dahil edilir. Görüntü elemanı örnekleme bölgeleriyle uyum sağlamıyorsa 'bilinmeyen' olarak etiketlenir. Bilinmeyen piksel değerinin hangi arazi örtüsü grubuna dahil olacağı daha sonra belirlenir [36]. İyi bir sınıflandırma için örnekleme bölgeleri başarıyla belirlenmelidir [29]. Bütün veriler kategorize edildikten sonra sonuçlar çıktı adımında sunulur. Sonuçlar tematik haritalar, istatistiksel tablolar veya coğrafi bilgi sistemlerine dahil edilebilecek nitelikteki dijital veri kütükleri şeklinde ortaya koyulurlar [36].

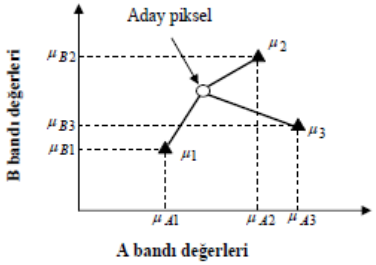
Kontrollü sınıflandırma yönteminde kullanılan en önemli algoritmalar, en kısa uzaklık karar kuralı, paralelkenar karar kuralı, Mahalanobis uzaklığı ve en çok benzerlik algoritmalarıdır.

4.3.1.1.1. En Kısa Uzaklık Karar Kuralı

En kısa uzaklık sınıflandırıcısında her bir örnek sınıf için hesaplanan ortalama vektör ile aday piksel arasındaki spektral uzaklık hesaplanır. Hesaplanan spektral uzaklıklara göre aday piksel en kısa mesafedeki örnek sınıfa atanır. Örnek sınıf ortalama vektörü ile bilinmeyen piksel arasındaki uzaklığa spektral uzaklık denir ve uzaklığın bulunması öklit uzaklığı esasına dayanmaktadır [35].

$$SD_{xyc} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\mu_{ci} - X_{xyi})^2} \qquad (4.1)$$

Bu eşitlikte; n, bant sayısını (boyutu); i, belirli bir bandı; c, belli bir sınıfı; , i. banttaki pikselin x, y değerlerini; , i bandındaki c sınıfına ait örneklere ait değerlerin ortalamasını; , aday piksel 'nin c sınıfına ait ortalama vektöre olan spektral uzaklığı olarak ifade edilebilir [35].

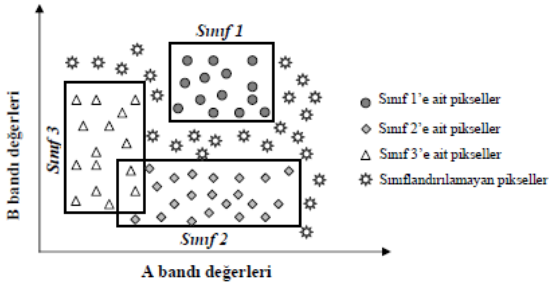


Şekil 4. 5 En kısa uzaklık (spektral uzaklık) sınıflandırıcısı

En kısa uzaklık yöntemi matematiksel ifadesi anlaşılabilir, basit ve hesaplama zamanı açısından hızlı olan bir kontrollü sınıflandırma algoritmasıdır. Yöntemin bu önemli avantajlarının yanında en önemli eksikliği görüntü üzerindeki objelerin spektral olarak birbirine çok yakın değerlere sahip olması ve yüksek varyans değerlerine sahip olması durumlarında ürettiği düşük doğruluktur. Bununla beraber yöntemle yapılan sınıflandırma sonucunda spektral uzaklıklar göz önüne alındığından her bir aday pikselin örnek sınıflardan birine atanması söz konusudur [35].

4.3.1.1.2. Paralelkenar Karar Kuralı

Paralelkenar sınıflandırıcısında her bir örnek sınıfın her bir banttaki en düşük ve en yüksek spektral değerleri dikkate alınarak, dikdörtgen bölgeler oluşturulur. Daha sonra sınıflandırılmak istenen aday piksel içerisinde bulunduğu dikdörtgen bölgenin ait olduğu örnek sınıfa atanır. Parametrik olmayan bir yaklaşım olan paralelkenar karar kuralı hesaplama zamanı açısından hızlı ve matematiksel ifadesi basit olan bir yöntemdir. Bu yöntemin sonucunda sınıflandırılamayan piksel sayısı fazladır. Sınıflar arasında çakışan alanlar olması durumunda sınıflandırma işlemi zorlaşmaktadır. Bu durumda aday piksellerin çakışan sınıflardan birine rastgele atanması ile problem çözülür. Ancak aday pikselin olması gerekenden farklı bir sınıfa atanması da söz konusu olabilmektedir [35].



Şekil 4. 6 Paralelkenar sınıflandırıcısı [35]

4.3.1.1.3. Maksimum Olabilirlik Karar Kuralı (En Çok Benzerlik)

En çok benzerlik yöntemi literatürde en yaygın olarak kullanılan etkili bir algoritmadır. Bu yöntemde ortalama değer, varyans ve kovaryans gibi istatistiki değerlerin tümü dikkate alınır. Kontrol alanlarını oluşturan sınıflar için olasılık fonksiyonları hesaplanmakta ve buna göre her bir pikselin hangi sınıfa daha yakın olduğuna karar verilmektedir. Bir pikselin hangi sınıfa ait olduğu her bir sınıfa ait olma olasılıklarının hesabından sonra en yüksek olasılıklı grubu atama şeklinde yapılır. Bu noktada kullanıcı tarafından tespit edilecek bir eşik değer, sınıflandırılacak pikselin belirlenen sınıflardan veya bu sınıfların dışında bir sınıftan olduğunun tespitinde kullanılır. Bu yöntemde, sınıf kontrol verilerini oluşturan noktalar kümesindeki dağılımın, normal dağılım olduğu kabul edilir. Sınıfların ilk olasılıkları hakkında bilgi mevcut değilse, hepsi eşit olasılıklı olarak kabul edilir. Yöntem, pikselleri sadece parlaklık değerlerine göre değil, her sınıf için ayrım oluşturacak varyans-kovaryans matris değerine göre oluşturur. Böylece örnek piksellerin özellik uzayındaki dağılımları da dikkate alınmış olur. Olasılık yoğunluk fonksiyonları, bilinmeyen piksellerin olasılıklarının hesaplanarak belirli bir sınıfa atanması için kullanılır. Aday piksel olasılık değerine göre en çok benzediği sınıfa atanır. Eğer aday pikselin olasılığı tüm sınıflar için belirlenen eşik değerinin altındaysa piksel bilinmeyen olarak etiketlenir [35]. En çok benzerlik yönteminde kullanılan formül [35]:

$$D = \ln(a_c) - [0.5 * \ln(|Cov_c|)] - \left[0.5 * (X - M_C)^T * (Cov_c^{-1}) * (X - Mc\right] \qquad (4.2)$$

Bu eşitlikte; D, uzaklık ağırlıklı olasılık değerini; C, örnek bir sınıfı; X, aday pikselin ölçüm vektörünü; Mc, C örnek sınıfının ortalama vektörünü; a, aday pikselin C sınıfına ait olma yüzdesini, Cov, C örnek sınıfındaki piksellerin varyans-kovaryans matrisini göstermektedir.

4.3.1.1.4. Mahalanobis Uzaklığı Karar Kuralı

Mahalanobis uzaklığı sınıflandırıcısı, bantlardaki verilerin normal dağılımda olduğunu kabul eder ve bu kabulle iyi sonuçlar vermektedir. Yöntem en kısa uzaklık karar kuralına benzemekte ancak bu yöntemde eşitliklerde kovaryans matrisi de kullanılmaktadır. Varyans ve kovaryans değişik özellikteki çeşitli sınıflar için denklemde karşılıklı olarak hesaplanır. Yüksek varyansa sahip kümeler aynı şekilde varyansa sahip sınıflara, düşük varyansa sahip kümeler düşük varyanslı sınıflara atanmaktadır. Mahalanobis uzaklığı sınıfandırıcısı, minimum uzaklık ya da paralelkenardan faklı olarak sınıf değişimi göz önüne alınır. Mahalanobis uzaklığı sınıflandırıcısı için kullanılan eşitlik [35];

$$D = (X - Mc)^T (Cov_c^{-1})(X - Mc) \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu eşitlikte; D, mahalanobis uzaklığını; c, belirli bir sınıfı; X, aday pikselin ölçüm vektörünü; Cov_c , c sınıfındaki özelliklere ait ortalama vektörü; Cov_c^{-1}, c sınıfındaki piksellere ait kovaryans matrisini; Cov_c^{-1}, Cov_c 'nin ters matrisini ve T ise transpoze fonksiyonunu ifade etmektedir. Yöntemin temel çalışma prensibi, sınıflandırılacak aday pikselin eşitlik 4.3 ile hesaplanan mahalanobis uzaklığının en düşük olduğu sınıfa atanması şeklindedir. Yöntem istatistiki değerlerin önem taşıdığı durumlarda en kısa uzaklık yönteminden daha doğru sonuçlar verirken hesaplama süresi olarak paralelkenar ve en kısa uzaklık yöntemine göre daha uzundur [35].

4.3.1.2. Kontrolsüz Sınıflandırma

Kontrolsüz sınıflandırma yöntemi, görüntü üzerindeki piksellerin kullanıcı müdahalesi olmaksızın belirli algoritmalar kullanılarak otomatik olarak kümelenmesi veya gruplandırılması temeline dayanmaktadır. Kontrolsüz sınıflandırma, görüntüdeki veri tanımlanamadığında başvurulan yöntemdir. Çalışma alanına ait yeterli bilginin olmaması ve bölgenin genel yapısı hakkında ön bilgiye gereksinim duyulan çalışmalarda bu sınıflandırma yöntemi kullanılmaktadır [37]. Bu yöntem; sınıflandırma, yorumlama ve sunum olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır [29].Bu yöntemde, arazi örtüsü tipini bilinmesine gerek yoktur, öncelikle görüntü üzerinde sınıf sayıları belirlenir. Kontrolsüz sınıflandırmada görüntü üzerindeki piksellere ait farklı bantlardaki sayısal değerler

kullanılarak benzer piksellerin otomatik olarak bulunması ve bu piksellerin bir sınıfa atanması temel alınmaktadır. Ortak özelliklere sahip veya benzer pikseller sembol, değer ya da sınıf etiketine atanır, gerektiğinde de aynı tip sınıflarla birleştirilir. Kontrolsüz sınıflandırma sonucu oluşacak sınıflar, spektral sınıflardır. Elde edilen bu spektral sınıfların ne olduğu önceden bilinmemekte olup, daha sonra o bölgeye ait topoğrafik haritalar, hava fotoğrafları ve mevcut yardımcı bilgilerle karşılaştırılarak oluşturulan sınıfların doğal özellikleri belirlenebilmektedir [37]. Kontrolsüz sınıflandırma da karar kuralı olarak minimum uzaklık kullanır. Pikseller, görüntünün sol üst köşesinden başlanarak soldan sağa ve satır satır analiz edilir. Aday piksel ile her bir küme ortalaması arasında spektral uzaklık hesaplanır ve en yakın kümeye atanır. Tam otomatik bir sınıflandırma yöntemi olan kontrolsüz sınıflandırmada pikseller arasındaki spektral uzaklıklar, Mahalonobis ve Öklit uzaklığı gibi formüllerle hesaplanır. Öncelikle istenilen sınıf sayısı kadar oluşturulan kümenin ortalaması hesaplanır ve her iterasyondan sonra, her bir kümenin yeni ortalaması hesaplanılarak, bu ortalamalar bir sonraki iterasyon kümelerinin tanımlanmasında kullanılır. Kontrolsüz sınıflandırmada küme merkezleri geçici olarak hesaplanarak, piksellerin dahil olacağı sınıflar belirlenir ve bu işlem küme merkezlerinin konumlarında değişim olmayana kadar devam eder. Uygulamada ISODATA, ardışık kümeleme ve istatistiksel kümeleme gibi çeşitli kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır [35].

Kontrollü sınıflandırma da önce kategorilere ait bilgiler tanımlanır ve sonra spektral özellik araştırılır; diğer taraftan, kontrolsüz sınıflandırmada, önce spektral özellikler tanımlanır ve daha sonra bilgiler atanır. Kontrolsüz sınıflandırma tekniğinde görüntüdeki bütün spektral sınıflar tanımlanır. Bu yöntemde insan kaynaklı hatalar minimize edilir. Kontrollü sınıflandırma da analistin vermesi gerektiği kararlara, kontrolsüz sınıflandırma da gerek olmadığı için analist kaynaklı hatalar azalır [29].

4.3.1.2.1.Ardışık Kümeleme Yöntemi

Ardışık kümeleme yönteminde, pikseller aynı anda incelenir. Her bir analiz edilen piksel ile önceden oluşturulmuş kümelerin orta noktaları arasındaki mesafe hesaplanır. Her bir piksel, spektral uzaklıklarına göre var olan bir kümeye atanır ya da yeni bir küme oluşturur. Çok fazla küme oluşması durumunda kümeler birleştirilir. Ardışık kümeleme

yöntemi, çok az hazırlık ister ve bu yöntemde az parametre tanımlanmalıdır. ISODATA gibi iteratif metotlara göre daha hızlıdır. Fakat ardışık kümeleme yönteminde veri dosyasının üst kısmına yönelme olabilir. Bu yöntem parametriktir, yani algoritma verilerinin normal dağılımlı olduğu kabul edilerek çalışır, komşu piksellerin homojenliği hesaba katılmaz. Arzu edilen sonucu elde etmek için belirlenen girdi parametrelerini hesaplamak için deneme yanılma analizi gerekmektedir [29].

4.3.1.2.2. ISODATA Yöntemi

ISODATA yönteminde de ardışık kümeleme yönteminde olduğu gibi spektral uzunluklar kullanılır. Fakat bu metotta; Keyfi belirlenmiş bir küme ortalama sayısı ile çalışma başlar. Böylece bu keyfi ortalama değerler verideki kümenin ortalama değerine dönüşür. ISODATA metodu iteratiftir çünkü belirlenen sonuçlara ulaşana kadar uzaktan algılama verisi üzerinde işlem yapar. Aday piksel ve her bir sınıfın ortalama vektörü arasındaki spektral mesafe hesaplanır. Piksel kendine en yakın olan kümeye atanır [29].

ISODATA algoritması diğer kümeleme algoritmaları kadar parametrik olmadığı için normal dağılımlı olmayan verilerde iyi sonuçlar verir. Verideki spektral kümelerin bulunmasında başarılı bir algoritmadır. ISODATA algoritması kümeleme işlemini pek çok kez tekrar ettiği için kümeleme metotları içinde en yavaş olanıdır ve piksellerin homojenliğini hesaba katmaz [29].

4.3.1.2.3. İstatistiksel Kümeleme Yöntemi

İstatistiksel kümelemede, tek tek pikselleri eşit olarak dikkate almak yerine, komşu piksel gruplarının homojenliğini hesaba katar. Bunu yaparken spektral ve uzaysal bilgiler dikkate alınır. Algoritmada, benzer ölçme vektörlerine sahip 3x3’ lük sürekli pikseller kullanılır. İstatistiksel testin sonuçları, homojenlik testi için analist tarafından girilen parametrelerle çok ilgilidir. Bu parametrelerin veri hakkında öncül bilgi olmadan hesaplanması zordur. İstatistiksel olarak kümelenmiş verinin, en çok benzerlik yöntemiyle sınıflandırılması uygundur. Her iki metodun algoritması da aynı istatistiksel kriterleri kullanır [29].

4.3.1.2.4. RGB Kümelemesi

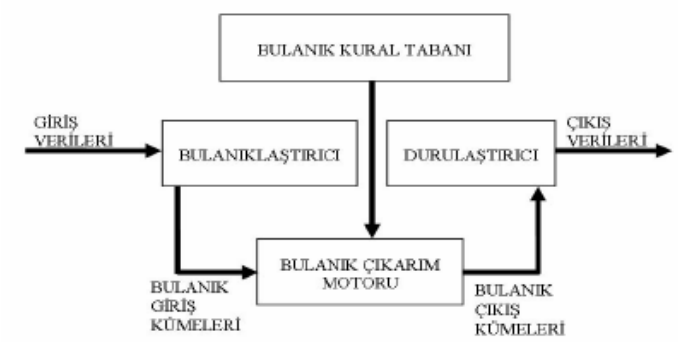
RGB kümelemesi basit bir sınıflandırmadır ve 3 bantlık 8 bit verinin sıkıştırılması için uygun bir tekniktir. Çok çeşitli sınıfların tanımlanmasına ihtiyaç duyulmadığı durumlarda kullanılabilecek hızlı bir yöntemdir. Algoritma her bir pikseli 3 boyutlu spektral uzayda tarar ve bu uzayı 32x32x32 'lik gride böler. Bir kümenin sınıf olabilmesi için minimum sayıda piksele ihtiyaç vardır. RGB kümelemesinde, 3 boyutlu ölçme uzayının her bir ekseni boyunca, her bir veri histogramı ölçeklenir. Böylece, her bir eksendeki 32 pikselden oluşan bölmeler histogramları belli bir limite böler. Bu algoritma da, 3 boyutlu ölçme uzayındaki her bir boyut 32 ve daha küçük olma şartıyla analistin belirleyeceği bölme sayısına ayrılır. Bölme sayısı her bir banttaki histograma göre değişir. Eğer histogram geniş bir aralıktaysa çok bölmeye, eğer histogram dar bir aralıktaysa az bölmeye ayrılır. Bu algoritma, veri dosyasının hiçbir yerine yönelme göstermez. Diğer taraftan, giriş verisi olarak mutlaka üç bant gereklidir ve bu yöntem her uygulama için uygun olmayabilir [29].

4.3.2. Bulanık Mantık ile Sınıflandırma

Bulanık mantık; insan yorumlama gücüne yakın bir yorumlamayı bilgisayara aktarılabilmeyi hedefler. Bulanık küme kavramında klasik kümelerdeki elemanıdır veya değildir ifadesi yerine şu kadar elemanıdır ya da şu kadar elemanı değildir ifadeleri yer alır. Bir elemanın, eleman olma durumu 1 ve olmama durumu 0 ile değil, 1 veya 0'a yakın olma derecesi ile gösterilir. Bulanık sınıflandırma sistemleri, uzaktan algılama veya fotogrametrik görüntülerden bilgi elde edilmesi aşamasında çoğu belirsizliği daha dikkate alabilen bir yapıdadır. Bu sebeple sınıflandırma aşamasında objeleri üyelik derecelerine göre belirleyerek sınıf karışıklarını azaltarak daha doğru sonuçlar elde edilmesi olanağı sağlamaktadır [35].

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı 1960'lı yılarda California Berkeley Üniversitesinde çalışmalarını sürdüren bilim adamı Prof. Lütfü A. Zadeh tarafından ortaya çıkmıştır. Günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin matematiksel bir ifade ile tanımlanmasında bir çok uygulama alanında kullanılma imkanı bulan önemli bir karar vericidir [25]. Bulanık mantık ile gerçekleştirilen sınıflandırma sonuçları, oluşturulan segmentlerin hangi objeyi temsil ettiği daha doğru şekilde hesaplanır. Bulanık

sınıflandırma sistemleri, görüntülerden bilgi elde edilmesi aşamasında birçok belirsizliği ortadan kaldırabilmektedir. Ayrıca, parametre ve model belirsizlikleri, üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanarak bulanık ayarlamalar ile analiz edilir ve doğru sınıf oluşturulmasında etkili rol oynarlar [25].



Şekil 4. 7 Bulanık model sisteminin yapısı [29]

- Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olayın etkilendiği girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

- Bulanıklaştırıcı: Sayısal girdi değerlerini sözel olarak nitelendirilmiş bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atayan bir işlemcidir.

- Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER – İSE türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm ara (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.

- Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

- Durulaştırıcı: Bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür.

- Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir [29].

4.3.3. Nesne-Tabanlı Sınıflandırma

Nesne tabanlı görüntü analizinin temel işlem birimi, alışılagelmiş görüntü işleme yöntemlerinin tersine tekil piksel değil, görüntü segmentleri veya nesneleridir. Burada sınıflandırma işlemi görüntü nesneleri üzerinden yapılır. Nesne tabanlı yaklaşıma bir sebep, çoğu görüntü analizi uygulamasından beklenen sonucun, gerçek dünya nesnelerinin, gerçek sınıflandırma ve gerçek şekillerinde olmasıdır. Bu beklenti alışılagelmiş piksel tabanlı yaklaşımlarla sağlanamamaktadır [33].

Her sınıflandırma işlemi kesin bir ölçeğe bağlıdır. Bu nedenle, görüntü nesnelerinin ortalama çözünürlüğünün istenilen ölçeğe uygunluğu çok önemlidir. Görüntü bilgisi, görüntü nesnelerinin ortalama büyüklüğüne bağlı olarak farklı ölçeklerde sunulabilir. Aynı görüntü daha küçük veya daha büyük objeler olarak segmentlere ayrılabilir ki bu görüntü nesnelerinden türetilecek tüm bilgileri pratik olarak büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle her ölçekte farklı bilgiler çıkarılabilir. Bu bilgileri farklı nesne tabakalarında eş zamanlı olarak farklı ölçekteki görüntü bilgileri gibi sunmak mümkündür. Bu yapıdaki nesne tabakaları birbirleriyle ilişkilendirilerek, birçok ek bilginin çıkarımına katkıda bulunulabilir [38]. Örneğin buna, hiyerarşik ağ düzeniyle ve nesnelerin bu ağ yapısındaki sunumuyla varılabilir. Düzenli bir hiyerarşik yapıdaki nesneler, alt ve üst nesnelerini de tanırlar. Bu durum alt nesnelerin hassas analizine olanak tanır. Alt nesnelerin yapısına bağlı olarak, üst nesnelerin şekilleri değiştirilebilir [27].

Sınıflandırmanın temelinde, görüntü nesnelerinin işlenmesi özel yollardan yapılabilir. Bir nesne orman olarak sınıflandırıldığı andan itibaren, örneğin lokal olarak yapay zeka uygulanabilir ve prensipte o andan itibaren bu nesneyle veya ilişkili çevresiyle yapılan her şey orman mantığı kullanılarak sürdürülür. Bir görüntünün tüm alanlarını aynı algoritmayla işlemek yerine, değiştirilmiş bir işlem uygulamak çok daha uygun olacaktır. Bu nesne tabanlı görüntü analizinin öne çıkan özelliklerinden biridir [27].

Nesne tabanlı yaklaşım, sonuçları birbirlerini etkilese de, pratikte birbirinden bağımsız olarak uygulanan, özel segmentasyon ve sınıflandırma teknikleridir. Örneğin,

sınıflandırmaya esas olan yapı, segmentasyon sonucunda oluşan nesnelerdir, ancak iki aşama kesinlikle yapılırken birbirlerine bağlı değillerdir. Bununla beraber, bu iki ayrık uygulama içinde kullanılacak işlem metotlarının doğru seçimi, uygulamaya güç katabilir ve doğru bir segmentasyon ve sınıflandırma yöntemi, kullanıcıya yaklaşımın muhtemel tüm avantajlarını sağlar [39].

4.4. Sınıflandırmada Doğruluk Analizi

Sınıflandırma yapıldıktan sonra sınıflandırma performansının belirlemesi için doğruluk analizi yapılması zorunludur [40]. Genellikle sınıflandırma sonuçları herhangi bir karar verme ya da başka bir analiz için kullanılır ve bu durumlarda analizlerin ya da kararların ne tür bir belirsizlik düzeyinde yapıldığının bilinmesi için doğruluk analizine ihtiyaç vardır. Hata matrisinin oluşturulması ile referans veriler (sütunlar) kullanılarak sınıflandırılmış piksellerin (satırlar) atanma doğrulukları elde edilmektedir. İstatiksel analiz amacıyla kullanılan kappa katsayısı, hata matrisinin satır-sütun toplamları ve köşegeni üzerindeki elemanlar kullanılarak elde edilir, 0 ile 1 arasındadır. Sınıflandırmada doğruluk analizi, sınıflandırılmış görüntüden seçilen örnek sınıflandırılmış hücrelerin referans hücre sınıfları ile karşılaştırılması esasına dayanır. Sınıflandırılmış görüntüden seçilen örneklerin her bir sınıfı temsil etmesi ve görüntünün mümkün olduğunca her bölümünden toplanması doğruluğu etkileyen en önemli iki faktördür. Referans hücre sınıfları ise görüntünün alındığı bölgeye ait halihazır haritalar, CBS verileri gibi kaynaklardan bulunabileceği gibi, bu kaynakların olmaması durumunda örnek hücre koordinatlarına gidilerek araziden elde edilebilir [40]. Sınıflandırılmış uydu görüntülerinin doğruluklarının belirlenmesi amacıyla iki farklı yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır [30]:

- Chi-Kare (X^2) testi ile hatalı sınıflandırılan piksellerin belirlenmesi,
- Hata matrisi ve Kappa katsayısı ile doğruluk analizi

Sınıflandırma doğruluğu için kullanılan Kappa (κ) katsayısı:

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+}.x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+}.x_{+i})} \qquad (4.4)$$

Burada;

r = Sınıf sayısı

xii = Hata matrisinin köşegen elemanları

xi + = Satır toplamı

x+ i = Sütun toplamı

N = Hata matrisindeki toplam hücre sayısıdır.

κ değeri 0 ila 1 arasında değişir. 1 Mükemmel bir sınıflandırma performansına 0 ise en kötü sınıflandırma performansına karşılık gelir. Genellike κ deperinin %80'in üzerindeki değerleri iyi bir sınıflandırmayı gösterirken %40'ın altı ise kötü bir sınıflandırmaya karşılık gelir.

BÖLÜM 5

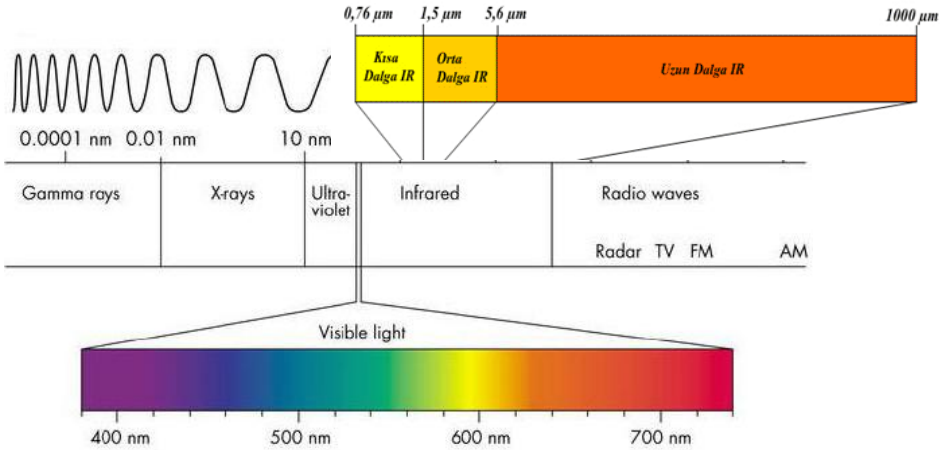
SAYISAL KAMERALAR VE TERMAL GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ

Sayısal kameralar, analog görüntü üreten film kameraların tersine, bilgisayar ortamında işlenebilecek görüntü sinyallerini sayısal forma dönüştüren optik elemanlı elektronik cihazlardır. Sayısal kameralar, silikon detektör, bilgisayar işlem hızı ve depolama kapasiteleri ile ilgili teknolojik gelişmelerle kullanılmaktadır. Sayısal kameralar, klasik hava kameralarındaki banyo işlemleri ve hava fotoğraflarının taranması işlemlerini ortadan kaldırmakta, yüksek çözünürlük sağlamakta, elektromanyetik spektrumun görünür ve kızıl ötesi bölgesinde aynı anda görüntü kaydını olanaklı hale getirmekte, renkli ve yapay renkli görüntüler elde edilebilmektedir. Sayısal kameralarda kullanılan görüntü kayıt sistemi CCD ve CMOS detektör kullanılmaktadır [1]. Bu detektörler, sayesinde görüntü dijital formda kaydedilir ve alınan görüntü üzerinde görüntü işleme operasyonlarının yapılmasını da kolaylaştırır. Görüntüler doğrudan bilgisayar ortamına aktarılarak (veri depolama kolaylığı-taşınabilirlik) hızlı bir şekilde işlenebilmektedir. Sayısal kameralar, artan çözünürlükleri ve sağladıkları otomasyon imkanları ile yersel fotogrametri ile belgeleme çalışmalarında oldukça popüler hale gelmiştir (Şekil 5. 1).



Şekil 5. 1 (a) sayısal kamera ve (b) termal kamera

Termal görüntüleme sistemleri, sayısal kameralar gibi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde (0.4-0.7 µm) kayıt yapan görüntüleme sistemleri dışında kızılötesi bölgede özellikle uzun kızılötesi bölgede (7-20 µm) kayıt yapan algılama sistemleridir. (Şekil 5.2).



Şekil 5. 2 Spektral aralık [4]

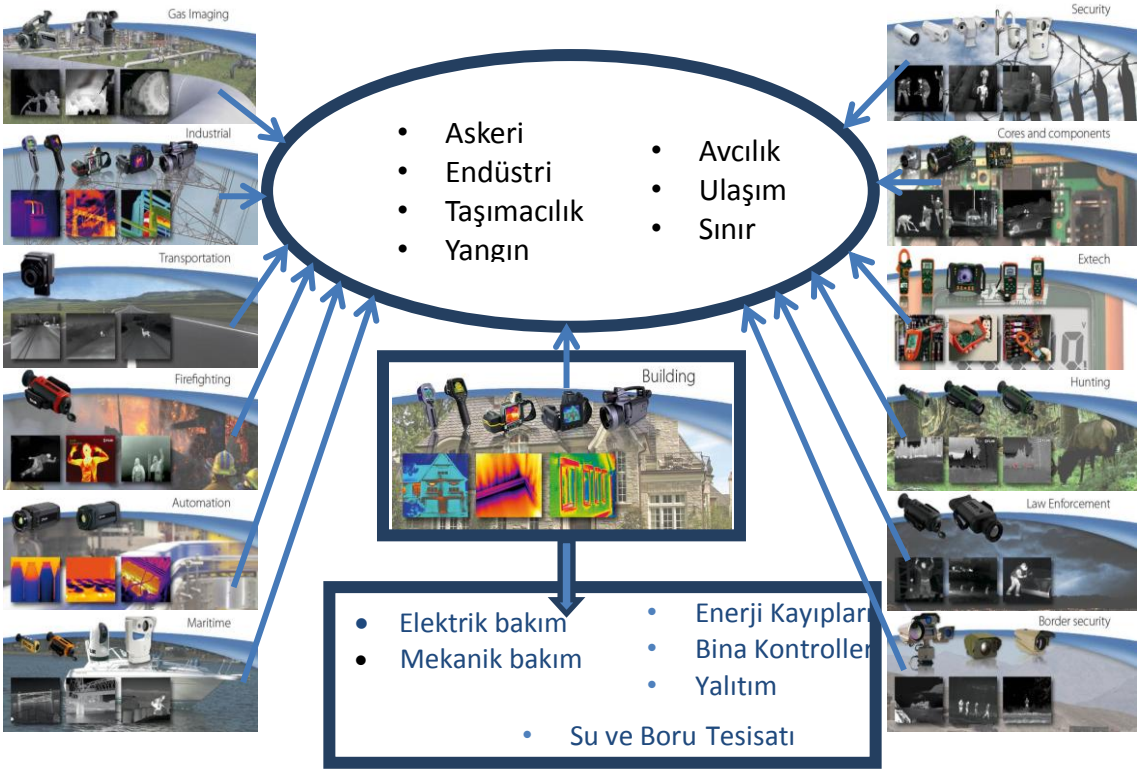
Termal (termografik) görüntüleme ve/veya video sistemleri, kara cisim ışıması kanununa göre objeler tarafından belli bir sıcaklığın üzerinde elektromanyetik spektrumun kızılötesi bandında yayınladıkları enerjiyi görüntüye dönüştürürler. Cisimler tarafından yayınlanan ışınım miktarı sıcaklık arttıkça artar. Termal görüntüleme sistemleri yardımıyla elde edilen termal görüntüler yardımı ile obje yüzeyindeki sıcaklık değişimleri belirlenebilir. Bu nedenle normal sayısal görüntülerde yapılması mümkün olmayan cisim yüzeyindeki deformasyonların analizi ve belgelenmesi çalışmalarında da kullanılabilir. Bu algılama sistemleri tarihi binalarda nem, ıslak yüzeylerin yalıtım problemleri sebebi ile meydana gelen cisim yüzeyindeki deformasyonların analiz ve belgelemesi gibi sayısal kameralarla yapılması mümkün olmayan yeni uygulamalara olanak vermektedir [4]. Özellikle tarihi ve kültürel bina yüzeyindeki deformasyon analizi, gizli yapı ayrıntılarının belirlenmesi, izolasyon problemlerinin çözülmesi gibi farklı çalışmalarda termal kameralar kullanılmaktadır [6]. Yapılan deformasyon analizi çalışmalarının hepsi tarihi ve kültürel binalar ile doğrudan herhangi bir temas olmadan bir numune almaksızın dokuya zarar vermeden yapılabilmektedir [4].

Görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlediği

görüntüleme sistemidir. Günümüzde, termal kameralar tarihi ve kültürel mirasın belgelenmesinde, nem, rutubet vb. çevresel etkenlerle tarihi dokuda oluşan deformasyonların belirlenmesi ve belgelenmesinde başarı ile kullanılmaktadır [41].

5.1. Kullanım Alanları

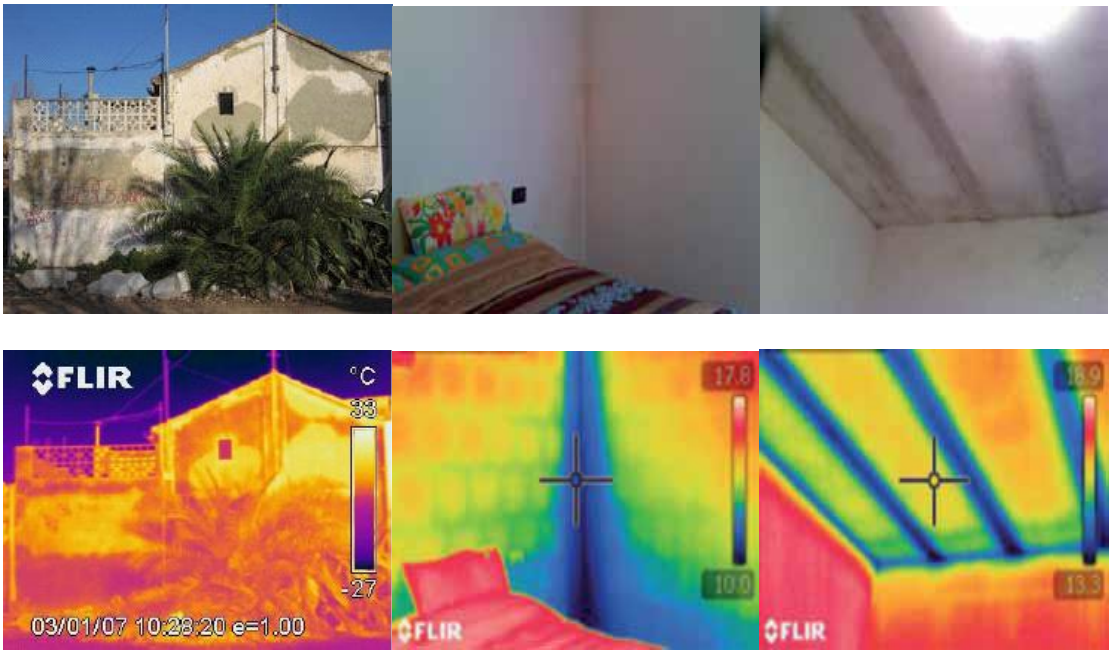
Sayısal kameralar ve termal görüntüleme sistemleri sağladıkları geniş tespit olanakları sayesinde modern tıp, otomotiv, endüstri, denizcilik, avcılık, sınır güvenliği ve askeri uygulamaları kapsayan geniş bir alanda kullanılmaktadırlar [4]. Yersel fotogrametrinin mimari rölöve çalışmalarında en yoğun olarak kullanıldığı yer, tarihi yerlere ait cephelerin restorasyon ve belgeleme amaçlı planlarının çıkarılması ve bunların analiz edilmesidir. Mimari eserlerin ölçüm ve belgelenmesi, onların mimarlık tarihi açısından incelenmesi için önemlidir [19].



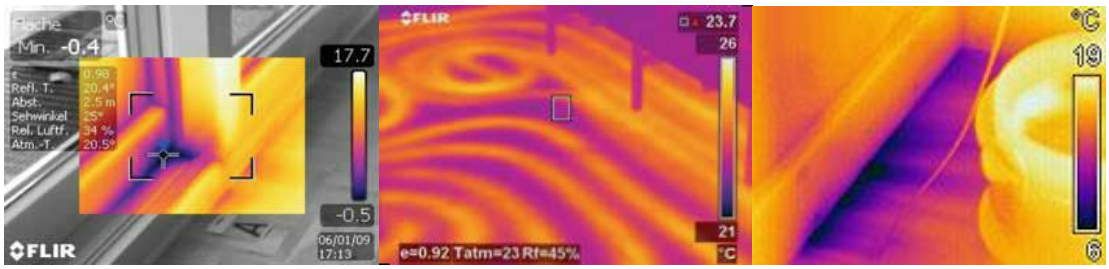
Şekil 5. 3 Termal görüntüleme sistemlerinin kullanım alanları [42]

Günümüzde mimarlık fotogrametrisinin kullanıldığı en önemli alanlardan biri de yapı sektörüdür. Termal görüntüleme sistemleri her tür yapının mevcut durum kontrolünün sağlanması, problemlerinin giderilmesi ve en önemlisi korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple deformasyon analizi çalışmaları, ısı yalıtımının

standartlara uygunluğunun kontrolü, binalardaki su kaçaklarının belirlenmesi, nem sorununun çözümü gibi birçok farklı uygulama alanında da kullanılmaktadır. (Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6).



Şekil 5. 4 Bir binanın sayısal kamera ve termal infrared kamera ile alınan görüntüleri [42]



Şekil 5. 5 Termal kameraların a) dış cephe yalıtımı, b) iç cephe ısı yalıtımı, c) su kaçaklarının belirlenmesi uygulamaları [42]

Termal kameraların tarihi ve kültürel yapıların izlenmesi, deformasyon analizi, belgeleme, restorasyon ve koruma amaçlı kullanımı son yıllarda kullanılan diğer güncel uygulama alanıdır [6] , [7], [43], [44].



Şekil 5. 6 Termal kameraların tarihi yapılardaki deformasyon analizi uygulamalarında kullanımı [42]

Özellikle tarihi ve kültürel bina yüzeyindeki deformasyon analizi, gizli yapı ayrıntılarının belirlenmesi, izolasyon problemlerinin çözülmesi gibi farklı çalışmalarda termal kameralar kullanılmaktadır.

5.2. Üstünlükleri

Sayısal kameralar ile görüntüler doğrudan bilgisayar ortamına aktarılarak (veri depolama kolaylığı-taşınabilirlik) hızlı bir şekilde işlenebilmektedir [45]. Sayısal kameralar, artan çözünürlükleri ve sağladıkları otomasyon imkanları ile kısa süreli ve düşük maliyetli çalışmalar gerçekleştirilmesine imkan sağlamaktadır.

Termal kameralar sayısal kameralar gibi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi dışında kızılötesi bölgede özellikle uzun kızılötesi bölgede kayıt yapmaları sebebiyle normal sayısal görüntülerde yapılması mümkün olmayan cisim yüzeyindeki deformasyonların analizi ve belgelenmesi çalışmalarında kullanılabilirler.

Yapılan deformasyon analizi çalışmalarının hepsi tarihi ve kültürel binalar ile doğrudan herhangi bir temas olmadan bir numune alınmaksızın dokuya zarar vermeden yapılabilmektedir.

BÖLÜM 6

FOTOGRAMETRİK BELGELEME VE DEFORMASYON ANALİZİNDE SAYISAL VE TERMAL KAMERALARIN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Bu bölümde, tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan yapıların fotogrametrik belgeleme ve deformasyon analizlerinin yapılması amaçlı, sayısal ve termal kameraların geometrik kalibrasyonu, belgeleme ve deformasyon analizi için kullanım olanaklarının proje alanında incelenmesi ve bu tez çalışması sonucunda elde edilen bulgular hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, tarafından ayrılan proje bütçesi ile sayısal SLR kamera ve iki farklı odak uzaklığına sahip objektifin satın alma yoluyla temin edilmesi için araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda Nikon D3X SLR sayısal fotoğraf makinesi ve 50 mm ve 20 mm odak uzaklığına sahip iki adet objektif satın alma yoluyla temin edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektrronik Fakültesi envanterinde bulunan Flir A320 termal kamera termal görüntülerin elde edilmesi için kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan sayısal kamera ve termal kameraların teknik özellikleri ilerki bölümlerde verilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan Nikon D3X SLR sayısal fotoğraf makinesine ait 50 mm ve 20 mm lik objektifler ve A320 termal kameranın geometrik kalibrasyonun yapılması için 3 boyutlu test objesi tasarlanmış ve Yıldız Teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan atölyede imalatı gerçekleştirilmiştir. 3 boyutlu test objesinin tasarlanması aşamasında, kamera kalibrasyon işlemlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için

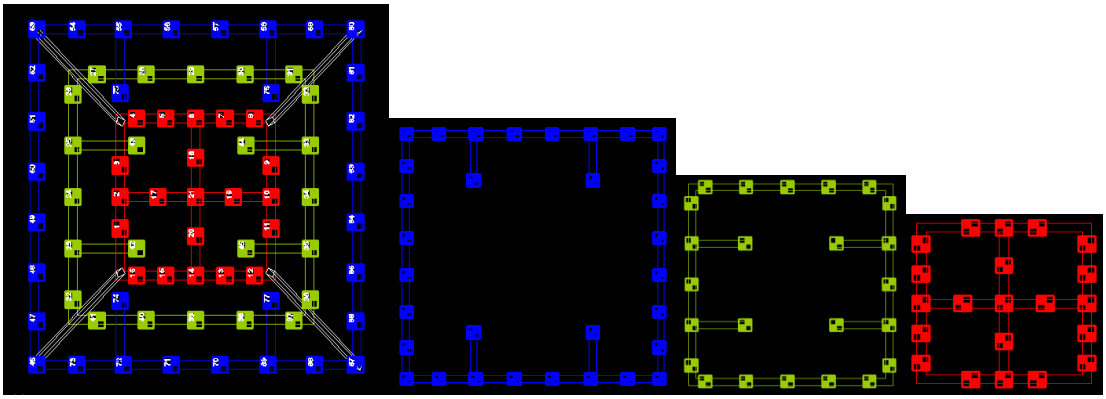
uluslararası araştırma merkezlerinde yer alan 3 boyutlu test objeleri incelenmiştir. Geometrik kalibrasyon işlemi için izlenen yaklaşım ve elde edilen geometrik kalibrasyon parametreleri ve standart sapmaları verilmiştir.

Araştırmalar sonucunda proje amaçına uygun olarak, nem ve yalıtım problemi sebebiyle rutubet sorunu olan İstanbul Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii proje alanı olarak seçilmiştir. Literatür araştırması sonucunda belirlenen yaklaşımlarla fotoğraf alımı, fotoğrafların yöneltilmesi, değerlendirilmesi, normal ve termal görüntülerin belgeleme ve deformasyon analizi amaçlı segmantasyon ve sınıflandırma işlemlerinin yapılmasında izlenilen yaklaşımlar açıklanmıştır.

6.1. Kamera Kalibrasyonu

6.1.1. Geometrik Kalibrasyon İçin Üç Boyutlu Test Objesinin Tasarlanması

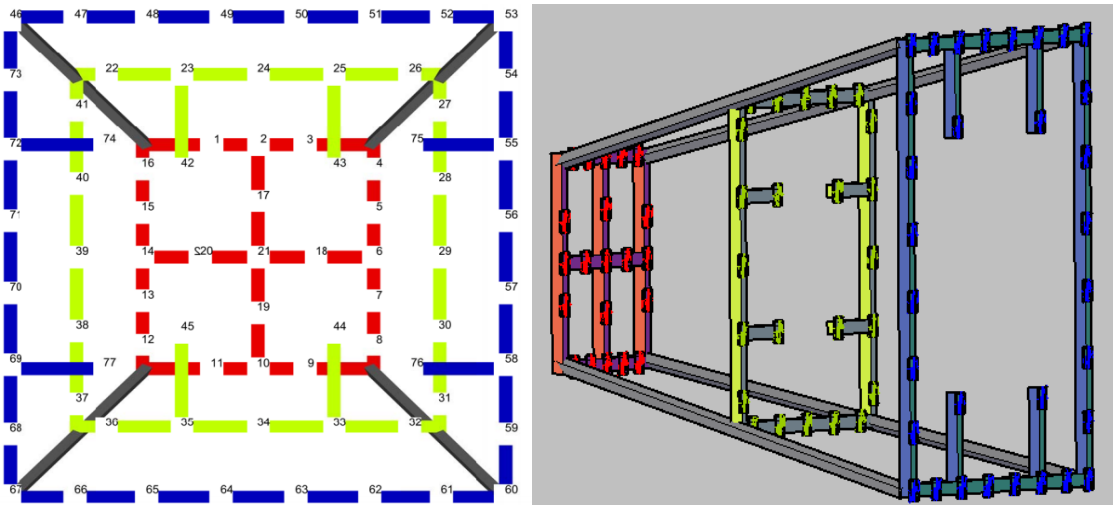
Bu tez çalışmasında geometrik kamera kalibrasyon parametrelerinin bulunması için 77 kontrol noktasından oluşan 3 boyutlu bir test objesi tasarlanmıştır. Bu tasarımın gerçekleştirilmesinde sayısal hava kameralarının laboratuvar kalibrasyonlarında kullanılan test objeleri incelenmiştir. Kontrol noktalarının yerleri, 3 farklı düzlenme dağılmış şekilde farklı fotoğraf çekim noktalarından fotoğraf çekildiğinde kontrol noktaları birbirini örtmeyecek şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 6. 1 3 boyutlu test objesi ve 3 farklı düzlem

Geometrik kalibrasyon işlemi sırasında kamera asal uzaklığının sağlıklı bir şekilde kestirilmesi için, kontrol noktaları üç farklı derinlik seviyesindedir. Tasarlanan 3 boyutlu test objesi Autocad programında 3 boyutlu modellenmiştir. Şekil 6. 1 ve Şekil 6. 2'de

mavi, yeşil ve kırmızı ile gösterilen farklı derinlik seviyeleri arasındaki mesafe yaklaşık 70 cm dir. Tasarlanan test objesinin imalatı demir profilden yapılmış ve kontrol noktalarına hazırlanan özel işaretler yapıştırılmıştır. Özel işaretlerin orta noktalarının koordinatları reflektörsüz totalstation ile 1-2 mm doğrulukla ölçülmüştür.



Şekil 6. 2 3 Boyutlu kamera kalibrasyon düzeneği

6.1.2. Kullanılan kameralar

Fotogrametrik belgeleme amaçlı kullanılan sayısal kamera ve termal kameraların geometrik kalibrasyonu için Nikon D3X SLR (50 mm ve 20 mm) fotoğraf makinesi ve Flir A320 termal kamera kullanılmıştır (Şekil 6. 3). Flir A320 termal kamera, 7.5-13 µm spectral aralığa sahiptir. Bu tez çalışmasında kullanılan kameraların teknik özellikleri Çizelge 6. 1' de verilmiştir.



(a) (b)

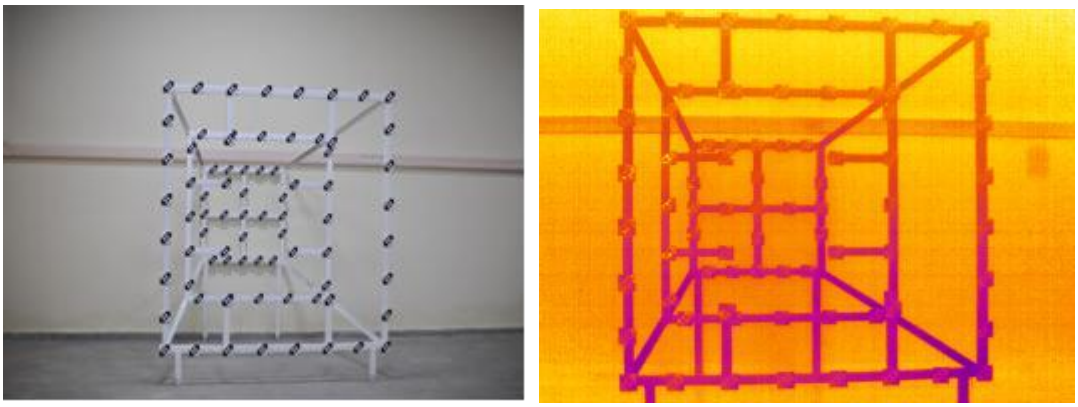
Şekil 6. 3 Sayısal kamera (Nikon D3X SLR) (a), termal kamera (Flir A320) (b)

Çizelge 6. 1 Sayısal kamera ve termal kamera teknik özellikleri

Özellikler	**Sayısal Kamera**	**Termal Kamera**
Kamera Modeli	Nikon D3X	Flir A320
Piksel Sayısı	6048 x 4032	320x240
Piksel Boyutu	6 µm	25µm
Odak Uzaklığı	20mm 50mm	18mm
Termal Çözünürlük	-	±2 Cº

6.1.3. Sayısal ve termal kameraların geometrik kalibrasyonu

Geometrik kamera kalibrasyonu amacı ile, farklı derinlikte kontrol noktalarına sahip test objesinin sayısal fotoğrafları, 50 mm ve 20 mm odak uzaklığındaki iki ayrı objektif kullanılarak Nikon D3X SLR sayısal kamera ve Flir A320 termal kamera ile çekilmiştir. Farklı noktalardan ve farklı dönüklülerle (90º sola, 90º sağa ve 180º) çekilen fotoğraflarda kontrol noktalarının fotoğraf koordinatları ölçülmüştür (Şekil 6.4).



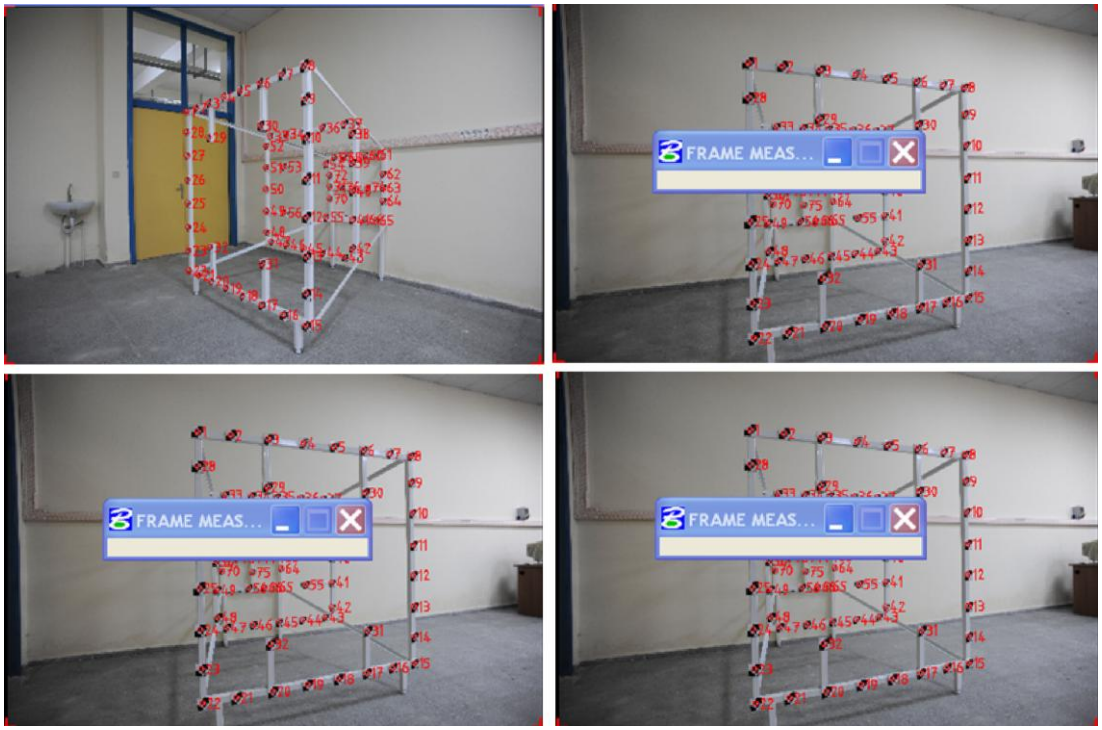
(a) (b)

Şekil 6. 4 Nikon D3X SLR fotoğraf makinesi (a) ve Flir A320 termal kamera (b) ile çekilen fotoğraflar

Işın desteleri ile dengeleme işlemine yaklaşık değer olarak kamera asal noktalarının konumları fotoğraf orta noktaları ile çakışık kabul edilmiş ve fotoğraf koordinat sistemi tanımlanmıştır. Daha sonra sayısal kamera ve termal kamera için ayrı ayrı tanımlanan bu koordinat sistemleri yardımıyla 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının fotoğraf koordinatları sayısal ve termal kamera ile kaydedilen görüntüler üzerinde ölçülmüştür. Fotoğraf koordinatlarının ölçümü ve ışın desteleri ile dengeleme işlemleri

için PHOCAD firması tarafından geliştirilmiş PHIDIAS yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım yersel fotogrametriye oldukça kolay çözümler getiren, binaların 3 boyutlu ölçümü, heykeller ve benzeri yapıtları koruma amaçlı modellerin yapılması, endüstriyel bitkilerin görüntülenmesi, arkeoloji, kazaların ve kriminal olayların belgelenmesi gibi birçok olayda ve coğrafi bilgi sistemleri için veri işleme amacıyla üretilmiştir. Bu program MicroStation programı ile uyumlu çalışmaktadır.

Şekil 6. 5 ’de 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının Nikon D3X SLR fotoğraf makinesi ile farklı noktalardan çekilen fotoğraflar üzerindeki koordinat ölçümleri görülmektedir. Ölçülen fotoğraf koordinatları ile birlikte 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının referans koordinat sistemindeki koordinatları ışın desteleri ile dengeleme yazılımında sayısal kamera ve termal kamera için ayrı ayrı açılan proje dosyalarına girilmiştir. Fotoğraf bloğundaki tüm fotoğraflar kullanılarak, 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının fotoğraf koordinatları ve referans koordinat sistemindeki koordinatları ve Çizelge 6. 1’de verilen kamera odak uzakları ve fotoğraf orta noktası ile çakışık kabul edilerek belirlenen iç yöneltme elemanları ile iç yöneltme, karşılıklı yöneltme ve mutlak yöneltme işlemleri yapılmıştır.



Şekil 6. 5 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının fotoğraf koordinatlarının Nikon D3X SLR fotoğraf makinesi çekilen fotoğraflar üzerindeki ölçümleri

Işın desteleri ile dengeleme işleminde öncelikle kaba hata ayıklama seçeneği aktif edilerek kaba hatalı ölçümler düzeltilmiştir. Işın desteleri ile dengeleme işlemi kaba hataları düzeltilmiş ölçülerle yapılmıştır. Işın desteleri ile dengeleme işlemi sonrasında sayısal kamera ve termal kamera ile çekilen fotoğraflara ilişkin dış yöneltme elemanları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, belirlenen bu dış yöneltme elemanları kullanılarak ışın desteleri ile dengelemeye iç yöneltme parametreleri (Δx0, Δy0, Δc), çapsal (radyal) (K1, K2, K3) ve teğetsel distorsiyon (P1, P2) parametrelerinin belirlenmesi için ek parametreler dengelemeye dahil edilmiştir. Işın desteleri ile dengelemeye dahil edilen ek parametreler yardımıyla Nikon D3X SLR Sayısal kameranın iki ayrı objektifi için kestirilen geometrik kalibrasyon parametreleri Çizelge 6. 2 ve Çizelge 6. 3'de standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 6. 2 Nikon D3X SLR sayısal kamera geometrik kalibrasyon parametreleri

20 mm lik objektif için kamera kalibrasyon parametreleri		
Ek parametre	**Parametre**	**Standart Sapma**
Kamera odak uzaklığı, c (mm)	19.7582	0.0293
Asal noktanın konumu x_0 (mm)	-0.0502	0.0102
Asal noktanın konumu y_0 (mm)	-0.0955	0.0104
Çapsal distorsiyon K_1	$-2.8036 * 10^{-4}$	$0.0267* 10^{-4}$
Çapsal distorsiyon K_2	$5.6921 * 10^{-7}$	$0.2301* 10^{-7}$
Çapsal distorsiyon K_3	$-2.7187 * 10^{-10}$	$0.5545* 10^{-10}$
Teğetsel distorsiyon P_1	$-4.3235 * 10^{-5}$	$0.6193* 10^{-5}$
Teğetsel distorsiyon P_2	$-7.2408 * 10^{-5}$	$0.6136* 10^{-5}$

Çizelge 6. 3 Nikon D3X SLR sayısal kamera geometrik kalibrasyon parametreleri

50 mm lik objektif için kamera kalibrasyon parametreleri		
Ek parametre	**Parametre**	**Standart Sapma**
Kamera odak uzaklığı, c (mm)	49.1689	0.1501
Asal noktanın konumu x_0 (mm)	0.6691	0.0665
Asal noktanın konumu y_0 (mm)	-0.2326	0.0610
Çapsal distorsiyon K_1	$-0.8696 * 10^{-4}$	$0.0367* 10^{-4}$
Çapsal distorsiyon K_2	$3.3041 * 10^{-7}$	$0.3448* 10^{-7}$
Çapsal distorsiyon K_3	$-9.0946 * 10^{-10}$	$0.9233* 10^{-10}$
Teğetsel distorsiyon P_1	$9.9277 * 10^{-5}$	$0.6965* 10^{-5}$
Teğetsel distorsiyon P_2	$-1.9393 * 10^{-5}$	$0.6085* 10^{-5}$

Flir A320 termal kamera için kestirilen geometrik kalibrasyon parametreleri ise Çizelge 6. 4'de standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 6. 4 Flir A320 termal kamera geometrik kalibrasyon parametreleri

Flir A320 termal kamera kalibrasyon parametreleri		
Ek parametre	**Parametre**	**Standart Sapma**
Kamera odak uzaklığı, c (mm)	17.2262	0.1288
Asal noktanın konumu x_0 (mm)	0.2883	0.0512
Asal noktanın konumu y_0 (mm)	-0.1995	0.0656
Çapsal distorsiyon K_1	$-30.6381 * 10^{-4}$	$4.6329* 10^{-4}$
Çapsal distorsiyon K_2	$2599.4545* 10^{-7}$	$493.9109* 10^{-7}$
Çapsal distorsiyon K_3	$-98791.5437* 10^{-10}$	$16416.952* 10^{-10}$
Teğetsel distorsiyon P_1	$-22.6353* 10^{-5}$	$4.6768* 10^{-5}$
Teğetsel distorsiyon P_2	$28.1114* 10^{-5}$	$4.8051* 10^{-5}$

Nikon D3X SLR Sayısal kameranın iki ayrı objektifi için ışın desteleri ile dengeleme sonucunda 20 mm odak uzaklığına sahip objektifin odak uzaklığı 19.7582 mm olarak 0.0293 mm standart sapma ile, 50 mm odak uzaklığına sahip objektifin odak uzaklığı 49.1689 mm olarak 0.1501 mm standart sapma ile belirlenmiştir. Nikon D3X SLR sayısal kamera için ışın desteleri ile dengelemeye 0, 0 girilen asal noktanın konumu (x_0, y_0) -

0.0293 mm, -0.0955 mm olarak 0.0102 mm ve 0.0104 mm standart sapmalarla belirlenmiştir. Flir A320 termal kamera için odak uzaklığı 17.2262 mm olarak 0.1288 mm standart sapma ile belirlenmiştir. Flir A320 termal kamera için ışın desteleri ile dengelemeye 0, 0 girilen asal noktanın konumu (x_0, y_0) 0.2883 mm, -0.1995 mm olarak 0.0512 mm ve 0.0656 mm standart sapmalarla belirlenmiştir. 50 mm ve 20 mm odak uzaklığındaki iki ayrı objektif kullanılarak Nikon D3X SLR sayısal kamera ve Flir A320 termal kamera için çapsal ve teğetsel distorsiyon parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 6. 2, 6. 3 ve 6. 4). Bu değerler incelendiğinde Flir A320 termal kamera için hesaplanan distorsiyon parametrelerinin Nikon D3X SLR sayısal kameraya göre büyük olduğu görülebilir. Bu sonuçlar esas alındığında, termal kamera mercek kalitesi sayısal kamera mercek kalitesine göre daha düşüktür. Benzer durum bu parametreler için hesaplanan standart sapmalar için de geçerlidir. Her iki kameranın geometrik performansları karşılaştırılırken kameraların çözünürlükleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Sayısal kameradaki 1 pikselin büyüklüğü 6 µm iken termal kamerada 25 µm dur (Çizelge 6. 1). Işın desteleri ile dengelemeye dahil edilen ek parametreler ile iç yöneltme elemanları ve çapsal ve teğetsel distorsiyon parametreleri kestirilmiş ve fotoğraflar üzerinde yapılan koordinat ölçümlerine ilişkin dengeleme sonucunda hesaplanan standart sapmalar Çizelge 6. 5'te verilmiştir.

Çizelge 6. 5 Işın desteleri ile dengeleme sonucunda kestirilen fotoğraf koordinatlarına ilişkin standart sapmalar.

Kamera	**σ_x (mm)**	**σ_y (mm)**
Nikon D3X SLR sayısal kamera	0.00801	0.00752
Nikon D3X SLR sayısal kamera	0.00830	0.00770
Flir A320 termal kamera	0.00963	0.01054

6.2. Fotogrametrik Belgeleme ve Deformasyon Analizi

Tarihi ve kültürel binaların restorasyonu çalışmalarında binaların mevcut durumunun belirlenmesi amacı ile fotogrametrik belgeleme yapılmakta bu aşamada deformasyon analizi yapılamamaktadır. Sayısal kameraların kullanımı ile yalnızca bina yüzeyinde görülen bazı sorunlar görsel olarak belirlenebilmektedir. Termal ve sayısal kameraların birlikte kullanımı ile fotogrametrik belgeleme aşamasında termal görüntüler

kullanılarak normal görüntülerde algılanamayan ve tarihi binalarda nem, rutubet problemleri sebebi ile meydana gelen deformasyonların görüntü sınıflandırma, segmentasyon işlemleri ile belirlenmesi olanaklı hale gelmektedir.

6.2.1. Termal Görüntüleme Sistemleri ve Nem Analiz ve Yöntemleri

Nem, havada bulunan su buharı miktarı olarak adlandırılmaktadır. Yapıdaki suyun varlığı ve durum değiştirmesi (katı, sıvı, gaz) yapı elemanları ve malzemelerinin deformasyonuna yol açarken içeride yaşayan insanların sağlığı içinde büyük tehlike oluşturmaktadır [46]. Duvarlarda bulunan su, yapıdaki çürüme vb. deformasyonların temelini oluşturarak yapıda derin tahribatlara yol açmakta, nemli alanların sınırında sık sık çiçeklenmelere sebep olmaktadır. Soğuk iklim bölgelerinde kışın su duvarların içinde donmakta ve donma erime döngüsünden dolayı tehlike yüzeyde (birkaç cm derinde) sınırlı kalmaktadır. Yüzeydeki nem ise duvar ve çevre arasındaki su geçişine ve çiğe sebep olmaktadır. Birçok tarihi yapı çevredeki kılcal kapilarite yüzünden nem sorununa sahiptir. Bu durum mevsimsel termal değişikliklere çok fazla bağlı değildir. Nemin diğer bir kaynağı, çatı ve borulardan sızan yağmur sularıdır. Bu durumun sebep olduğu lekeler yapıların en üst katının tavanında görülmektedir. Sızmanın boyutu duvarların kalınlığına ve absorbe özelliğine göre değişmektedir. Termal görüntüleme sistemleri yardımıyla yapılacak analizlerle duvardaki borulardan oluşan sızmalarda belirlenebilmektedir. Islak alanların konumu, şekli ve zamandaki değişimi suyun kaynağını göstermektedir [5].

Nem, mutlak ve bağıl nem olmak üzere iki çeşittir. Mutlak nem, havanın hacim birimi (m^3) başına içerdiği su buharının gram cinsinden kütlesi olarak adlandırılırken gram/metreküp olarak verilmektedir. Hacmin esas alındığı bu değerlendirmede havanın içerdiği su buharı miktarı sıcaklığa bağlıdır. Zira çevresinden hacim olarak soyutlandıktan sonra basınç değişikliklerine maruz kalsa da o hacme giren havanın miktarı değişmeyeceğinden içerisinde tutabileceği su buharı miktarı sadece sıcaklıktan etkilenecektir. Burada, 1 m^3 havanın belirli bir sıcaklık derecesinde tutabileceği en yüksek su buharı miktarı "doygunluk nemi" olarak tanımlanmaktadır. Mutlak nem buharlaşma olanaklarına bağlıdır. Özellikle yüksek sıcaklıkta ve buharlaşmaya elverişli yüzeylerde fazla olmaktadır. Bağıl nem ise havanın bünyesinde su buharı halinde

tuttuğu mutlak nemin, bulunduğu sıcaklık ve basınç koşullarında tutabildiği azami su miktarına olan oranıdır. Başka bir deyişle, belli bir yerdeki hava kütlesinin sıcaklığına ve basıncına bağlı olarak taşıyabileceği azami nemin yüzde kaçı kadar neme (su buharına) sahip olduğunu ifade eden bir kavram olarak nitelendirilmektedir. Bağıl nemin %100 olması, havanın artık suyla doyurulmuş olması demektir. Bu durumda hava daha fazla su alamayacak ve katılan buhar yoğuşarak sıvı haline dönüşecektir. Bağıl nemin %100'den küçük olması durumunda buharlaşma gözlenmektedir.

Bağıl nem (RH-Relative hummidty) ve ısı düşmesi durumunda daha soğuk yüzeylerde buhar yoğuşmaktadır. Yoğuşma riski çevresel RH değeri ve soğuk yüzeylere bağlıdır. Duvarların bir kısmı duvardaki termal sıcaklığa bağlı olarak çiğ etkisinde kalabilmektedir. Yapılardaki sınırlı hava hızından dolayı köşelerdeki yoğuşmalara sıklıkla rastlanmaktadır. Yoğuşma zamanla yok olup mevsim değiştiğinde yine oluşabilmektedir. Yoğuşan alanlarda küf ve lekeler gözlemlenirken bu durum insan sağlığını olumsuz etkilemektedir [5].

Nem artışı, sınır koşulları ve geometrik şartlara bağlı olarak normalden daha sıcak ya da soğuk alanlarda görülür. Bu yüzden termal görüntüleme sistemleri ile belgeleme çalışmalarının geçici termal koşulların daha anlaşılabilir olduğu zaman gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Termal görüntüleme sistemleri ile duvarlardaki buharlaşma oranı tahmin edebilmektedir. Bu method gizli suyun sıcaklığına dayanmaktadır [3].

Termal kameralar gri değer aralığında ya da 256 renk düzeyinde hassas yüzey sıcaklık ölçümü yapabilen ve duvar karakteristiklerini ve bozulmaları çürümeleri termal anomalileri haritalayan görüntüleme sistemleridir. Termal görüntüleme sistemleri, tarihi yapıları oluşturan yığma taş duvarlar üzerindeki nemin bulunduğu yerlerin konumunun ve kapladığı alanın belirlenmesinde etkili ve yapıya zarar vermeyen bir yöntemdir. Termal görüntüleme sistemleri yüzeylerin termografik koşullarını değerlendirme ve yüzey sıcaklıklarını hassas bir şekilde okuma özelliğine sahiptir. Elde edilen sonucun görsel bir ürün olması sebebiyle termal görüntüleme sistemleri yapıya zarar vermeyen ve sayısal kamerlar ile entegre çalışabilen bir sistemdir. Termal

anomalilerin analizinde, çalışılacak alandaki atmosferik sınır koşulları (bağıl nem, hava sıcaklığı, direkt güneş ışığı ve rüzgar) ve alanın ne kapsamda hangi ölçüde incelenmesi isteğine bağlı olarak kullanılabilcek aktif ve pasif olmak üzere iki yaklaşım söz konusudur. Termal görüntüleme sistemleri ile pasif olarak nem analiz ve değerlendirmesinin ilk aşaması sıcaklık haritasının oluşturulması ile başlar. Fresklerin yapışmaları gibi bazı uygulamalarda eksiksiz yüzey sıcaklıklarını elde etmeye gerek yoktur. Bunlarda termal işaretleri belirlemek yeterlidir. Bu yöntem görüntü yorumlamaya dayalı nitel görsel kontrol yöntemidir. Nitel olarak serin yerlerin takip edilmesi ile nemli yüzeylerdeki soğutma etkisi buharlaşması sebebiyle nem dağılım haritasını çıkartmak mümkündür. Buharlaşan her gram su buharı 2,500 joules (J) enerjiyi absorbe etmektedir ve böylece yüzeyde etkin bir soğuma gerçekleşmektedir. Bu yüzden aynı atmosferik sınır değerler altındaki nemli alanlar kuru alanlara göre daha soğuk olmaktadır. Bu olay hava sıcaklığı, bağıl nem seviyesi, havanın hareketi ve direk güneş ışığına bağlıdır. Dengedeki nemli malzeme, malzemenin gözenekliliğine ve çözünür tuz içeriğine bağlı su akısı sağlamaktadır. Örneğin sıva yüksek yüzey uçuculuğuna sahipken vernik buna imkan vermemektedir. Termal görüntüleme ile nem analizi çalışmalarında teftiş yüzeyi görüntülemeden altı saat öncesine kadar direk ışımanın dışında tutulmalıdır. Çünkü yüzeydeki farklı absorbe katsayıları buharlaşma nedeniyle yüzey serinlemesiyle çelişen etkilere sebep olabilir. Isı ve rölatif nem, termografik görüntü alımından en az 24 saat önce ve süresince kaydedilmelidir. Termogram sınırlarını belirlemek için, bazı hareket ettirilebilen işaretler yüzeyde konumlandırılmalıdır. Operatör termogramların konumlarını inceleme boyunca kaydetmelidir. Kamera konumu mümkün olduğunca yüzeye dik olmalıdır [3].

Nicel yöntemde ise doğru mesafe ve yüzey ölçümünü sağlamak için termal görüntülerin rektifikasyonunu (düzeltme) gerektirir. 0 kelvin derecesi üzerindeki tüm objeler termal infrared enerji yaymaktadırlar. Bu yüzden termal görüntüleyici/tarayıcılar tüm objelerin sıcaklıklarını pasif olarak görebilmektedirler.

Nemli malzemeler ısı akısını desteklemektedir. Bu yüzden akı, malzemenin gözenekliliğine ve çözünür tuz içeriğine bağlıdır. Difüzyon katsayısı (D) buhar özelliğine ve sürekli fonksiyona (R) , Sıcaklığa (T) ve buharın ortalama moleküler hareketliliğine (u) bağlıdır. Ø ölçümü özel bir noktadan duvar yüzeyinde çok kapalı ve serbest havanın

RH ölçümü ile elde edilebilir. Sınır katmanının kalınlığı (d) moleküler göçün yer aldığı yaklaşık Δz dir. Suyun molar konsantrasyonu (C) havadaki rölatif nemin fonksiyonu olarak ifade edilir. Isı akısı rölatif nem gradyantı (RHs-Rha) ile hesaplanabilir. Csat suyun doymadaki molar derişimidir. Ø , uRT/d olarak tanımlanan ortam ile konvektif değişim tarafından etkilenir. Bunu gerçek testlerle belirlemek zordur. Laboratuarda Ø test örneklerinin ölçülmesi ile elde edilir [3].

Uçucu suyun akısı ø Fick'in kuralında belirtilmektedir. Bu kural su ile gözenekli yüzey ve sınır katmanı dışındaki havayı bir araya getirme eğimi ile orantılıdır [3].

$$\phi = -D\frac{\Delta C}{\Delta z}$$

$$\phi = \frac{u.R.T}{d}(RH_S - RH_a).C_{sat} \qquad (6.1)$$

Geleneksel nitel testler günümüz nicel tekniklerine entegre edilerek daha aktif hale getirilebilmektedir. Termografik çalışmaların matematiksel modeller ile entegre edilmesiyle ise büyük yapıların güvenilir ve uygun maliyetli analiz işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, sahip olduğu mimarisi, tarihi ve kültürel miras özelliği ile önem taşıyan Sokullu Mehmet Paşa Cami proje alanı olarak seçilmiştir. Yapı, denize yakın olması ve dolgu zemin üzerine deniz seviyesinin altında inşa edilmesi sebebiyle zamanla bir takım deformasyonlara uğramış ve deniz suyunun alt katta oluşturduğu nem ve rutubet sorunu ile karşı karşıya kalmıştır. Nemli alanların tespit ve analiz çalışmaları aktif yöntem ile gerçekleştirilmiştir.

6.2.2. Çalışma Alanı

Bu tez çalışması ile, Sadrazam Sokullu Mehmet Paşa tarafından yaptırılan Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nin, İstanbul İl Özel İdaresi'nce yaptırılan restorasyon projesi kapsamında oluşturulan bilim kurulunun isteği ve talebi doğrultusunda camiinin Haliç kıyısında bulunması, deniz seviyesinde olması nedeniyle nem ve rutubet sonucu oluşan deformasyonlarının incelenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 6. 6 Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Cami konumu

Sokullu Mehmet Paşa Cami İstanbul'un Beyoğlu semtinde Azapkapı'da yer almaktadır. 1578'de yapımı tamamlanan cami Sokullu Mehmet Paşa için Mimar Sinan tarafından yapılmıştır [46].



Şekil 6. 7 Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Cami

Üst kattaki ibadet mekanı, sekizgen tabana oturan yaklaşık 12 metre çapındaki bir kubbenin örttüğü bir orta şahın ile bunu üç yandan (batı, kuzey ve doğu) saran yan ve

arka satımlardan oluşur. Mihrap, kıble duvarından dışarıya taşan enine dikdörtgen planlı bir çıkıntının içine yerleştirilmiştir. Kubbeyi taşıyan sekiz ayağın altı tanesi açıktadır; öndeki iki tanesi ise mihrap çıkıntısının iç köşelerinde, beden duvarının içindedir. Caminin örtü sisteminin en önemli yanı, sekizgen tabana oturan merkezî kubbenin sekiz yandan birer yarım kubbeyle çevrelenmiş, böylece strüktürel düzeninin iyice vurgulanmış olmasıdır. Bu yarım kubbelerin dördü tromp olarak köşelerde, biri mihrap çıkıntısının üzerindedir. Öbür üç yarım kubbe de, her biri dörder birime ayrılmış yan ve arka satımların orta bölümlerini örter. Yan satımların uçlarına ise, kareye yakın dikdörtgen planlı cami kütlesinin dört köşesini örten dört küçük kubbe getirilmiştir. Kuzey cephesini boydan boya kaplayan son cemaat yeri tek eğimli bir çatıyla örtülüdür. Buraya zemin katından iki uçtaki birer merdivenle çıkılır. Minare dışarıda, son cemaat yerinin solunda, ayrı bir kütle olarak yapılmış, yapıya kemerli bir köprüyle bağlanmıştır. 1807 yangınında yanan bu minare yüzyılın ikinci yarısında Barok üslupta yeniden yapılmış, 1958'de de yıkılarak Klasik Dönem üslubuna uygun bugünkü biçimine getirilmiştir. Cami 1894 depreminde büyük hasar görmüş, uzun süre kapalı kaldıktan sonra Atatürk Köprüsü yapılırken onarılmıştır [46].

Sokullu Mehmet Paşa Camii, deniz seviyesinin altında kalması sebebiyle dikkat çekmektedir. Cami, kayıkların ve insanların yoğun biçimde toplandıkları bir yerde bulunduğundan alt katına tonozlu mahzenler yapılarak yükseltilmiştir, iki merdivenle çıkılan son cemaat yeri bir sıra pencere ile aydınlanan, üstü tek meyilli çatı ile örtülü, dikdörtgen biçimli kapalı bir mekân halindedir. Son cemaat yerinin esas cephesinin Mimar Sinan tasarımında ne biçimde olduğu bugün anlaşılmamaktadır. Bu bölümün aslında galeri biçiminde sütunlu ve açık olduğu da düşünülebilir.

Caminin harem bölümü hemen hemen kare şeklindedir. Mihrap kıble tarafında dışarı taşkın bir çıkıntının içinde bulunmaktadır. Mimar Sinan bu camide Edirne'deki Selimiye Cami'ndeki sistemi daha küçük ölçülerde uygulamış, orta kubbeyi sekiz payenin taşıdığı kemerler üzerine oturtmuştur. kubbe baskısı dört tromp ve dört yarım kubbe ile karşılanır. Kubbeyi çevreleyen sekizgen ile dış beden duvarları arasında küçük ana bölümler yer almıştır.

Cami 30 yıldan daha uzun bir süre harabe halinde kaldığından süslemesinin büyük kısmını kaybetmiştir. Kapıların mermer söveleri, geçmeli renkli taşlar kullanılarak ahenkli bir biçimde yapılmıştır. Minber gerek kapısı, gerek yan kanatları ve külahı ile cinsinin en güzel örneklerinden birini oluşturmaktadır. Çevre mekanlarının içindeki mahfiller ile mermer mihrap da aynı itinalı ve ahenkli işçiliğe sahiptir. Caminin orijinal çinilerinin çoğu çalındığından 1941 tamirinde yeni Kütahya çinileri konulmuş ve kalem işi nakışlar da yeniden yapılmıştır. Kubbe yazısı son devir hattatlarından Halim Efendi'nin eseridir. 1936'da bir kısmı hala duran renkli alçı pencerelerin yerlerine 1941 onarımında yeni pencereler konulmuştur [46].

Sokullu Mehmet Paşa Cami'nin bir özelliği de minaresinin yerleştirilişidir. Minare kürsüsüne son cemaat yerinin kuzey tarafında yükselen bir mekandan, sivri kemerli ve yüksek bir köprüye oturan kapalı bir geçitle ulaşılır.

Köprünün altındaki kısımda görülen kum saati ile yapının nispet ve biçimi bunun klasik döneme ait olduğunu göstermektedir. Minare 1826' dan sonra yenilenmiş ve pabuç kısmından itibaren gövdesi ve şerefesi 19. yy. zevkine göre, çok ince olarak ve şerefe çıkması da boğumlu biçimde inşa edilmiştir. 1955'te bu gövde yıktırılarak yine aynı incelikte fakat şerefe altı mukarnaslı olarak yeniden yapılmıştır. Böylece şerefe caminin mimarisine uydurulmuşsa da gövde, Sinan devrine göre ince kalmıştır. Sokullu Mehmed Paşa Cami'nin minaresi altında eski bir çeşme de vardır. Caminin tam arkasında bulunan ve belki de evkafına ait olan iki dükkan dizisi, 1985`te Haliç kıyı düzenlemeleri sırasında tamamen yıktırılmıştır [46].

6.2.3. Fotoğraf Alımı ve Ölçüm İşlemleri

Çalışma alanına ilişkin analiz ve belgeleme çalışmalarının yapılabilmesi için ilk adım olarak sayısal ve termal kamera ile görüntü alım işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar, yapıya ait sorunların en çok görüldüğü, caminin deniz seviyesi kotundaki alt katında gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf alım işleminden önce yapının iç cephe duvarlarına yöneltme işlemleri için kullanılmak üzere yer kontrol noktaları yerleştirilmiştir. Normal alım ve konvergent alım yöntemi ile bindirmeli olarak NikonD3XSLR sayısal kamera (20 mm lens) ve FlirA320 termal kamera ile fotoğraf alım işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra duvar yüzeyine yapıştırılan kontrol noktalarının 3 boyutlu koordinatlarının

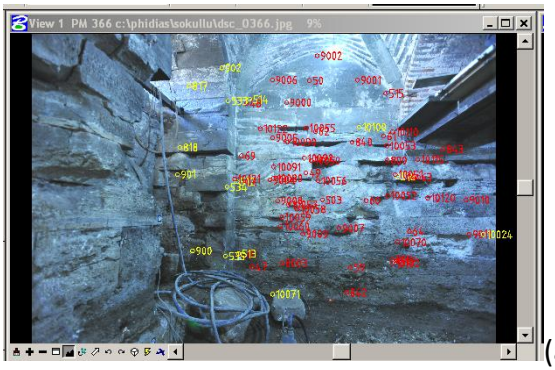
ölçümü total station ile yapılmıştır. Yapının güneybatı, güneydoğu ve kuzeybatı cephelerine ait iç cephe fotoğraf alımları gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.8).



Şekil 6. 8 Fotoğraf alımı ve YKN ölçüm işlemleri

6.2.4. Fotoğrafların Işın Desteleri İle Dengelenmesi

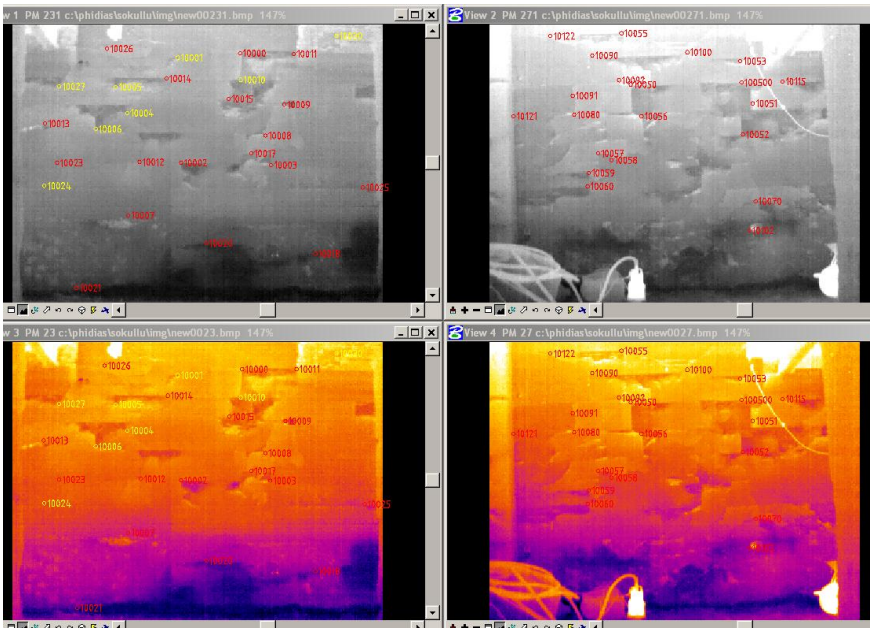
Fotoğrafların ışın desteleri ile dengelemesi işlemi PHIDIAS yazılımında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kamera kalibrasyon işlemi sonucunda belirlenen kamera kalibrasyon parametreleri kullanılarak her iki kamera ile çekilen fotoğrafların dengelenmesi için ayrı proje dosyası oluşturulmuş ve dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.19'de Nikon D3X SLR fotoğraf makinesi ve Şekil 6.10'de FlirA320 termal kamera ile farklı noktalardan çekilen fotoğraflar üzerindeki kontrol noktalarının koordinat ölçümleri görülmektedir. Ölçülen kontrol noktalarının referans koordinatları ışın desteleri ile dengeleme yazılımında sayısal kamera ve termal kamera için ayrı ayrı açılan proje dosyalarına girilmiştir. Fotoğraf bloğundaki tüm fotoğraflar kullanılarak, kontrol noktalarının fotoğraf koordinatları ve referans koordinat sistemindeki koordinatları, Çizelge 6.1' de verilen kamera odak uzakları ve fotoğraf orta noktası ile çakışık olarak kabul edilen asal noktanın fotoğraf koordinatları ile iç yöneltme, karşılıklı yöneltme ve mutlak yöneltme işlemleri yapılmıştır.


(a)

(b)


(c)

Şekil 6. 9 Nikon D3X SLR ile kuzeybatı (a), güneydoğu (b), güneybatı (c) cephe fotoğrafları üzerindeki kontrol noktalarının koordinat ölçümleri



Şekil 6. 10 Flir A320 termal kamera ile kuzeybatı cephe fotoğrafları üzerindeki kontrol noktalarının koordinat ölçümleri

Işın desteleri ile dengeleme işlemi öncelikle kaba hata ayıklama seçeneği aktif edilerek kaba hatalı ölçümler düzeltilmiştir. Işın desteleri ile dengeleme işlemi kaba hataları

düzeltilmiş ölçülerle yapılmıştır. Işın desteleri ile dengeleme işlemi sonrasında sayısal kamera ve termal kamera ile çekilen fotoğraflara ilişkin dış yöneltme elemanları belirlenmiştir. Çizelge 6. 6 ve Çizelge 6. 7'de güneybatı ve kuzeydoğu cephe fotoğraf koordinatlarına ilişkin dengeleme sonucunda hesaplanan standart sapmalar verilmiştir.

Çizelge 6. 6 Güneybatı cephesi dengeleme sonuçları

Fotoğraf No	σ_x (mm)	σ_y (mm)
341	0.01108	0.00405
343	0.00454	0.00586
344	0.00323	0.00414
346	0.00354	0.00372
347	0.01101	0.00472
349	0.03532	0.00826
352	0.00728	0.00555
353	0.00473	0.00553
354	0.00628	0.00545
355	0.00833	0.00676
356	0.00456	0.00417
360	0.00295	0.00303
362	0.00296	0.00524

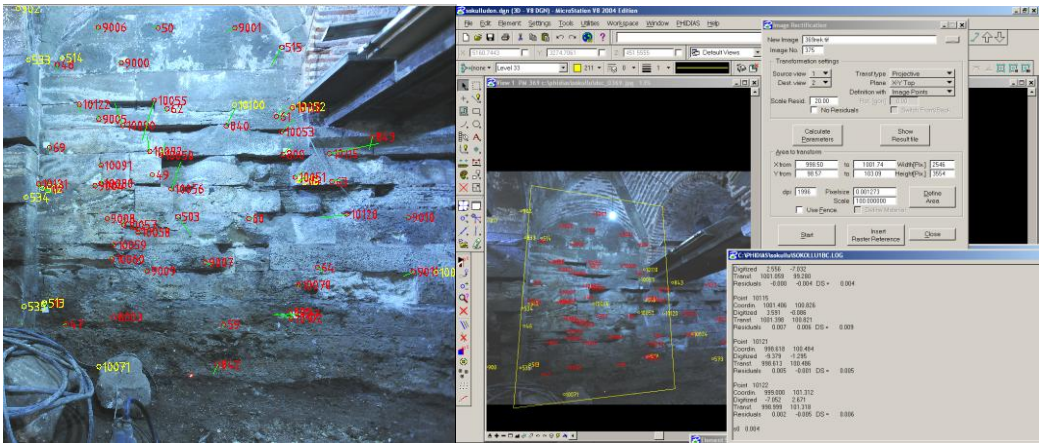
Çizelge 6. 7 Kuzeybatı cephesi dengeleme sonuçları

Fotoğraf No	σ_x (mm)	σ_y (mm)
336	0.00734	0.00476
337	0.00719	0.00489
338	0.00582	0.00498
339	0.00780	0.00489

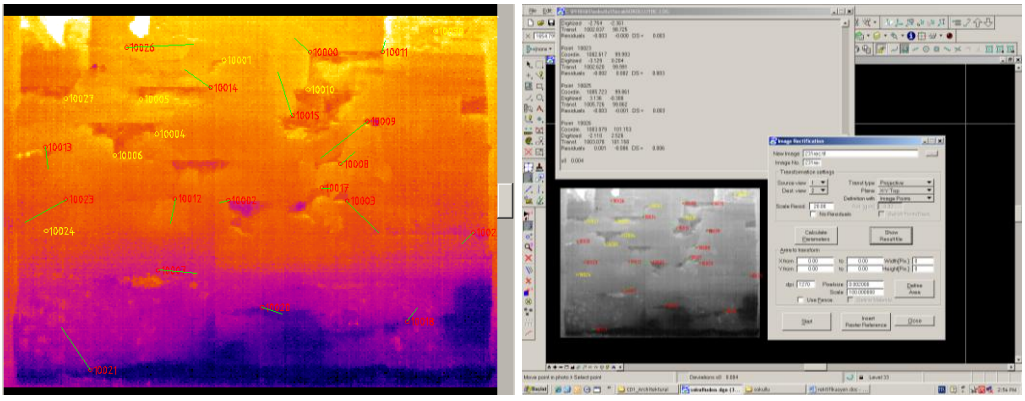
6.2.5. Tek Fotoğraf Değerlendirmesi

Tek fotoğraf değerlendirmesi, obje yüzeyinin düzlem olduğu diğer bir deyişle obje yüzeyinde derinlik farklarının bulunmadığı nesneler için iyi bilinen ve başarı ile kullanılan bir yöntemdir [1]. Çalışma alanına ilişkin analiz ve değerlendirmelerin yapılması için gerçekleştirilen segmentasyon işlemine altlık oluşturması amacıyla sayısal ve termal kamera ile alınan fotoğraflarla ışın desteleri ile dengeleme sonucunda elde edilen kalibrasyon parametreleri kullanılarak tek fotoğraf değerlendirmesi PHIDIAS yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6. 8'de kuzeybatı cephesine ait

iki farklı alanın sayısal kamera ve termal kamera ile elde edilen görüntülerinin tek fotoğraf değerlendirmesi sonucunda yer kontrol noktalarındaki artık hatalara ilişkin standart sapmalar verilmiştir. Şekil 6. 11 ve Şekil 6. 12'de sayısal kamera ve termal kamera ile elde edilen görüntülerle ilişkin tek fotoğraf değerlendirmesi sınırları ve seçilen parametrelerin bulunduğu tablolar yer almaktadır.



Şekil 6. 11 NikonD3XSLR sayısal kamera ile çekilen fotoğrafın tek fotoğraf değerlendirmesi



Şekil 6. 12 FlirA320 termal kamera ile çekilen fotoğrafın tek fotoğraf değerlendirmesi

Çizelge 6. 8 Kuzeybatı cephesine ait tek fotoğraf değerlendirmesi sonucunda yer kontrol noktalarındaki artık hatalara ilişkin standart sapmalar

Kamera	Fotoğraf no	Standart sapma (mm)
Flir A320	23	0.010
Flir A320	27	0.006
Nikon D3X SLR	366	0.006
Nikon D3X SLR	373	0.003

6.2.6. Fotogrametrik Belgeleme

Tarihi eserlerin korunabilmesi, rölöve projeleri ile mevcut durum tespitinin doğru ve yeterli bir şekilde gerçekleşebilmesi, restitüsyon projelerine altlık oluşturulabilmesi ve restorasyon projelerinin sağlıklı bir şekilde hazırlanabilmesi için doğru ölçüm tekniklerini kullanarak belgeleme yapılması büyük önem taşımaktadır. Mimari rölöve ölçümlerinde fotogrametri kullanımı neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde klasik yöntemlerle kullanılan ölçme tekniği hem zaman, hem doğruluk, hem de pratiklik açısından tercih edilen bir yöntem olmaktan çıkmaktadır [47]. Bu sebepler tarihi yapıların belgelenmesinde fotogrametrinin önemini açıkça ifade etmektedir. Belgelemedeki hassasiyet için mutlaka kalibrasyonu yapılmış bir kamera kullanılmalıdır. Fotoğraf üzerinde referans alınacak kontrol noktalarının doğruluğu, sıklığı ve dağılımına önem verilmelidir. Bu yüzden noktalar hassas bir şekilde ölçülmelidir. Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra fotoğraf üzerinden ölçü alım ve rölöve çizim işlemi yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir [47].

Yapılan bu çalışmada rektifiye edilmiş sayısal görüntü üzerinden duvar yüzeyindeki taşların çizimi gerçekleştirilerek rölövesi hazırlanmış, böylece fotogrametrik belgeleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6. 13).



Şekil 6. 13 Rölöve çizimi ile fotogrametrik belgeleme

6.2.7. Segmentasyon ve Sınıflandırma

Bu tez çalışması ile, çalışma alanı olarak seçilen Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nin temelinin deniz seviyesinde olması ve zemin problemlerinin sebep olduğu rutubet, nem gibi nedenlerle oluşan deformasyonların analizi ve belgelenmesi gerçekleştirilmiştir.

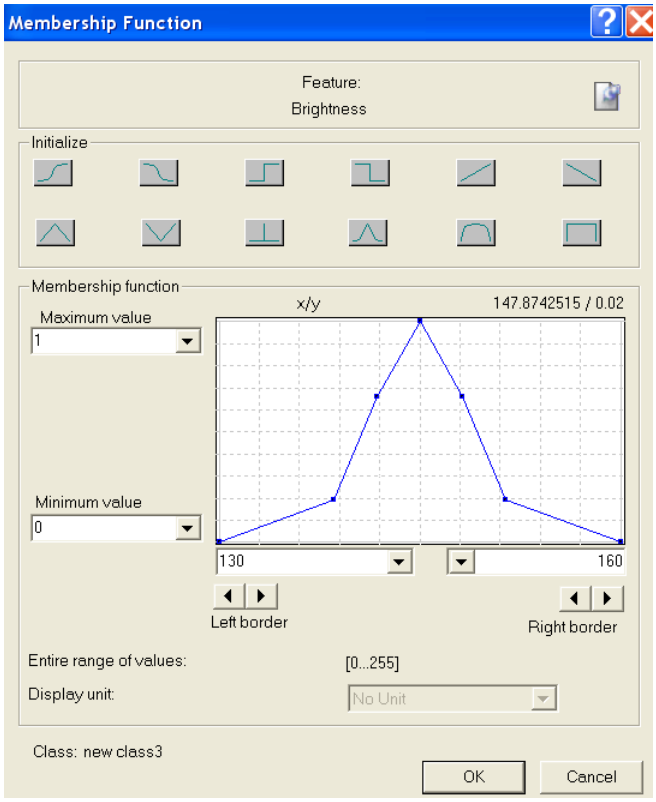
Bu amaçla kuzeybatı cephesine ait iki farklı alanda (Çalışma Alanı 1 ve 2) sayısal ve termal kamera ile alınan tek fotoğraf değerlendirmesi rektifiye edilmiş fotoğraflar kullanılarak segmantasyon ve sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Segmantasyon ve sınıflandırma işlemi için Ecognition yazılımı kullanılmıştır.

Segmantasyon aşamasında aynı alana ait sayısal tek fotoğraf değerlendirmesi sonucunda ortak koordinat sistemine rektifiye edilmiş renkli ve termal görüntüler kullanılmıştır. Bu şekilde renkli ve termal görüntülerin segmentasyon ve sınıflandırma aşamaları sonucunda oluşan sınıflar karşılaştırılabilmiştir. Rektifiye edilmiş renkli ve termal görüntülerin segmantasyon aşamasında çoklu çözünürlüklü segmantasyon yöntemi tercih edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında önerilen yaklaşımın test edilmesi için seçilen Çalışma Alanı 1 (ÇA1)' de rektifiye edilmiş 373 numaralı renkli ve 231 numaralı termal görüntüler kullanılmıştır. Renkli görüntünün segmentasyon aşamasında sınıflandırma işleminde doğruluğunu artırmak için sobel operatörü (çift yöntü kernel size 3x1) kullanılarak kenarlar çıkarılmıştır. Kenarların çıkarıldığı bu görüntü segmentasyon aşamasında (çoklu çözünürlüklü segmentasyon) farklı ağırlıkla kullanılmıştır. RGB görüntü için ağrılık 1 olarak seçilirken Sobel görüntü için ağırlık 10 alınarak segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sobel görüntünün ağırlığı artırılarak nesne (taş) sınırlarının daha anlamlı bir şekilde yakalanması sağlanmıştır (Şekil 6. 14). Çoklu çözünürlüklü segmantasyon aşamasında ölçek parametresi 50, şekil parametresi 40 ve parlaklık değeri ise 60 alınmıştır. Renkli ve termal görüntülerin analizi ile faklı yansıma değerleri için sınıf sınır değerleri (threshold value) tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değerlerle renkli görüntünün sınıflandırma işlemi bulanık mantık algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi sonucunda aynı sınıfa ait nesneler birleştirme işlemi (merge region) ile tek bir sınıf altında toplanmıştır. Daha sonra sınıflandırma sonucu oluşan sınıflar vektör dosya olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6. 14 373 nolu görüntüye sobel operatörü uygulanarak elde edilmiş görüntü

ÇA1'e ait 231 numaralı rektifiye edilmiş termal görüntüye görüntünün segmentasyonu aşamasında aynı yaklaşımla çoklu çözünürlüklü segmantasyon işlemi uygulanmıştır. Çoklu çözünürlüklü segmentasyon aşamasında ölçek parametresi 40, şekil parametresi 50 ve parlaklık değeri ise 50 alınmıştır. Sınıflandırma aşamasında ise daha önce renkli ve termal görüntülerin analizi ile tespit edilen sınıf sınır değerleri (threshold value) kullanılmıştır. Tespit edilen bu değerler kullanılarak termal görüntünün sınıflandırma işlemi bulanık mantık algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantıkla sınıflandırma işlemi sırasında doğrusal aralık (linear range) yöntemi kullanılmış ve sınıflandırma işlemi belirlenen sınıf sınır parlaklık değeri esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6. 15). Sınıflandırma işlemi sonucunda aynı sınıfa ait nesneler birleştirme işlemi (merge region) ile tek bir sınıf altında toplanmıştır. Daha sonra sınıflandırma sonucu oluşan sınıflar vektör dosya olarak kaydedilmiştir.

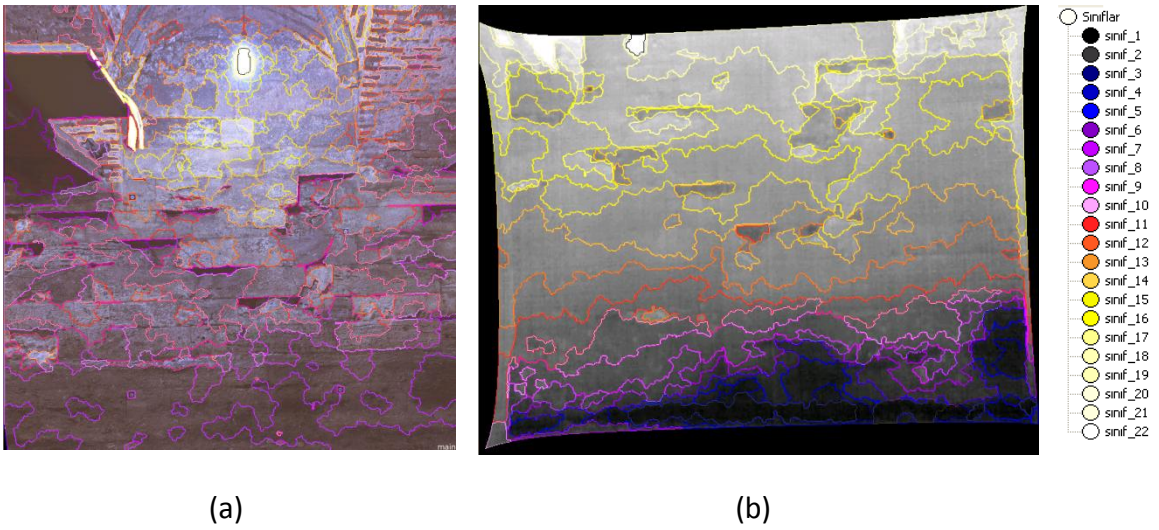


Şekil 6. 15 Bulanık mantık sınıflandırma işleminde doğrusal aralık (linear range) yöntemi ile parlaklık değerlerine göre sınıf aralıklarının belirlenmesi

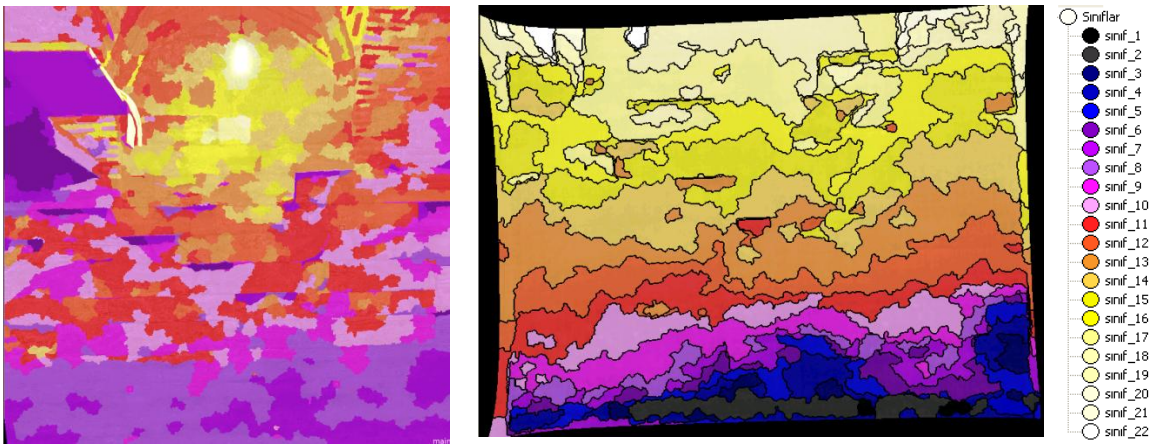
Çalışma alanı 1 için 373 numaralı renkli ve 231 numaralı termal görüntüler segmantasyon sonucu oluşan segmentler Şekil 6. 16a ve Şekil 6. 16b'de gösterilmiştir. Şekil 6. 16c ve Şekil 6. 16d'de ise sınıflandırma işlemi sonucunda oluşan sınıflar gösterilmiştir. Renkli görüntüde oluşan sınıflara sınırlarına ait vektör siyah çizgi ile gösterilmiş ve sınıflar lejantta gösterilen renklerle ifade edilmiş biçimde Şekil 6. 16e'de verilmiştir. Termal görüntü ile birebir renkli görüntü ile aynı alanı kapatmadığından termal görüntü ile elde edilen sınıf sınırlarına ilişkin vektör kırmızı renkte gösterilerek Şekil 6. 16e'de verilmiştir. Şekil 6. 16f'de termal görüntüye ilişkin sınıflandırma sonuçları lejantta gösterilen renklerle ifade edilmiş biçimde verilerek renkli görüntüde oluşan sınıflara sınırlarına ait vektör üzerine bindirilmiştir.

Şekil 6. 16c ve 6. 16d karşılaştırıldığında renkli görüntüdeki sınıflandırma sonuçları ile termal kameradaki sınıflandırma sonuçlarının tamamen farklı olduğu görülmektedir. Her iki sınıflandırma sonucunun üst üste bindirilerek gösterildiği Şekil 6. 16e ve 6.16f incelendiğinde bu durum daha belirgin bir biçimde görülmektedir. Renkli görüntüde

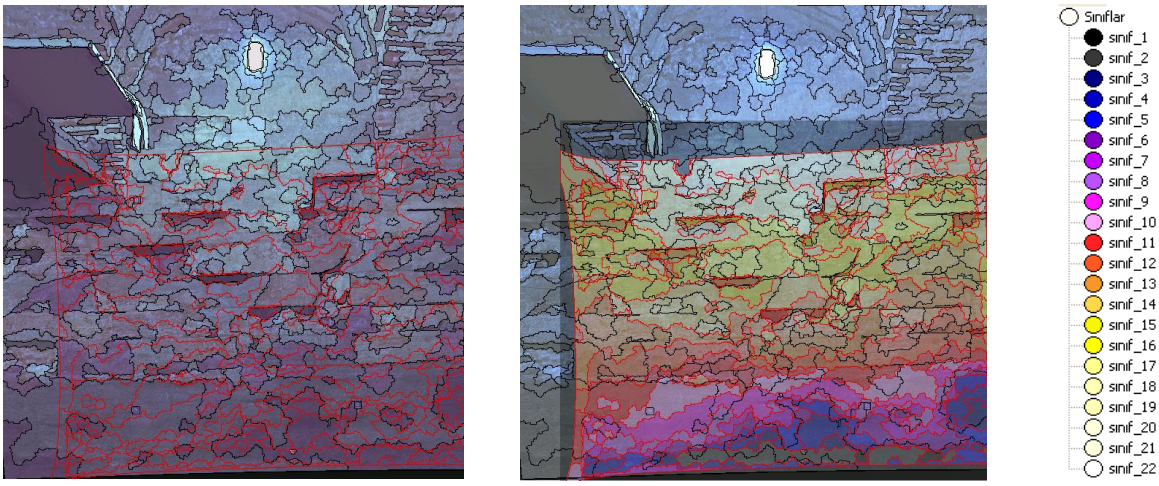
nem ve zemin kaynaklı rutubet problemi hakkında sınıflandırma sonuçlarında bir çıkarım yapılamazken termal görüntüdeki sınıflandırma sonuçları zeminden üst kısma doğru nem ve rutubet sebebiyle oluşan deformasyon derecelerini göstermektedir. Bu deformasyonlar vektör hale dönüştürülmüş ve kaydedilmiştir. Termal görüntüdeki sınıflandırma sonucunda kaydedilen sınıf sınırları rektifiye edilmiş görüntüler üzerinden elde edildiğinden ülke koordinat sistemindedir ve ölçekli olarak plan düzlemine aktarılabilir daha önce hazırlanmış sayısal rölöveler üzerine katman olarak çağırılabilir niteliktedir. Diğer bir deyişle nem ve rutubet sebebiyle Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nin kuzey batı cephesi caminin deniz seviyesi kotundaki alt katında oluşan deformasyonlar başarıyla belgelenmiştir. Bu deformasyonların sayısal kamera ile alınan görüntülerden belirlenmesi mümkün olmamıştır.



(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)

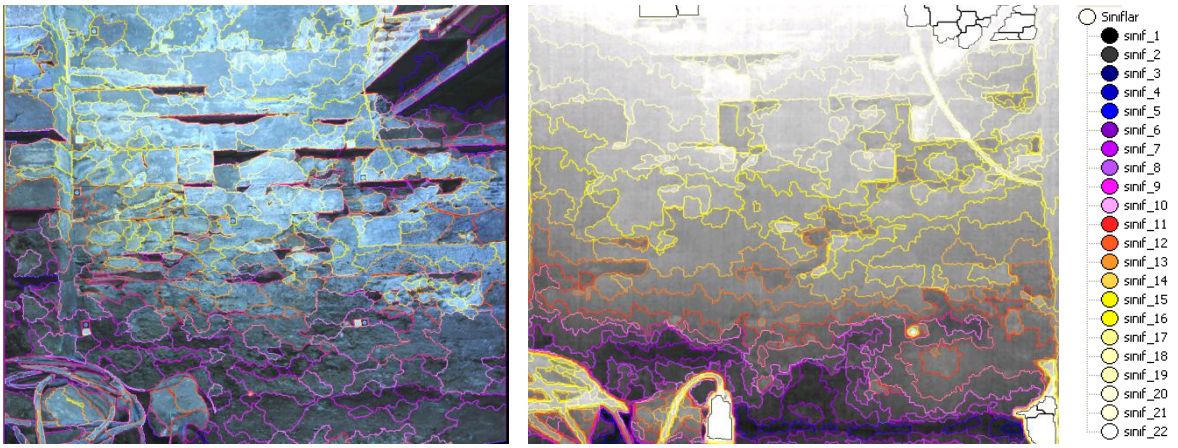
Şekil 6. 16 Çalışma alanı 1, 373 nolu renkli (sol) ve 231 nolu termal (sağ) görüntülere ait; oluşan segmentler (a), (b), sınıflar (c), (d) ve sınıflandırma sonucu oluşan vektör veri ve sınıfların bindirilmiş halleri (e), (f)

Çalıma alanı 1 için geliştirilen yaklaşım aynı cephe üzerinde (Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nin kuzey batı cephesi) başka bir alanda çalışma alanı 2' de test edilmiştir. ÇA2'de rektifiye edilmiş 366 numaralı renkli ve 271 numaralı termal görüntüler kullanılmıştır. Sobel operatörü kullanılarak elde edilen görüntü segmantasyon aşamasında kullanılmıştır. Çoklu çözünürlüklü segmantasyon aşamasında ölçek parametresi 60, şekil parametresi 50 ve parlaklık değeri ise 50 alınmıştır. ÇA1 için tespit edilen sınıf sınır değerleri (threshold value) ÇA2'de de aynen kullanılarak renkli görüntünün sınıflandırma işlemi bulanık mantık algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi sonucunda aynı sınıfa ait nesneler birleştirme işlemi (merge region) ile tek bir sınıf altında toplanmıştır. Daha sonra sınıflandırma sonucu oluşan sınıflar vektör dosya olarak kaydedilmiştir.

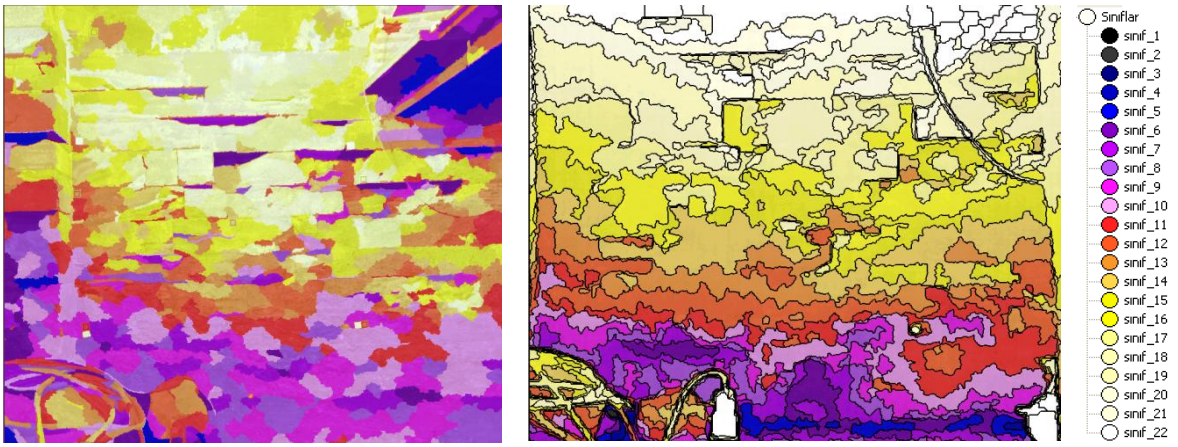
ÇA2'e ait 271 numaralı rektifiye edilmiş termal görüntü görüntünün segmantasyonu aşamasında aynı yaklaşımla çoklu çözünürlüklü segmantasyon işlemi ile ölçek parametresi 40, şekil parametresi 50 ve parlaklık değeri ise 50 alınarak gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma aşamasında ise daha önce renkli ve termal görüntülerin analizi ile tespit edilen sınıf sınır değerleri (threshold value) kullanılmıştır. Tespit edilen bu değerler kullanılarak termal görüntünün sınıflandırma işlemi bulanık mantık algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi sonucunda aynı sınıfa ait nesneler birleştirme işlemi (merge region) ile tek bir sınıf altında toplanmıştır. Daha sonra sınıflandırma sonucu oluşan sınıflar vektör dosya olarak kaydedilmiştir.

Çalışma alanı 2 için 366 numaralı renkli ve 271 numaralı termal görüntüler segmantasyon sonucu oluşan segmentler Şekil 6. 17a ve Şekil 6. 17b'de gösterilmiştir. Şekil 6. 17c ve Şekil 6. 17d'de ise sınıflandırma işlemi sonucunda oluşan sınıflar gösterilmiştir. Renkli görüntüde oluşan sınıf sınırlarına ait vektör siyah çizgi ile gösterilmiş ve sınıflar lejantta gösterilen renklerle ifade edilmiş biçimde Şekil 6. 17e'de verilmiştir. Termal görüntü ile birebir renkli görüntü aynı alanı kapatmadığından termal görüntü ile elde edilen sınıf sınırlarına ilişkin vektör kırmızı renkte gösterilerek Şekil 6. 17e'de verilmiştir. Şekil 6. 17f'de termal görüntüye ilişkin sınıflandırma sonuçları lejantta gösterilen renklerle ifade edilmiş biçimde verilerek renkli görüntüde oluşan sınıf sınırlarına ait vektör üzerine bindirilmiştir.

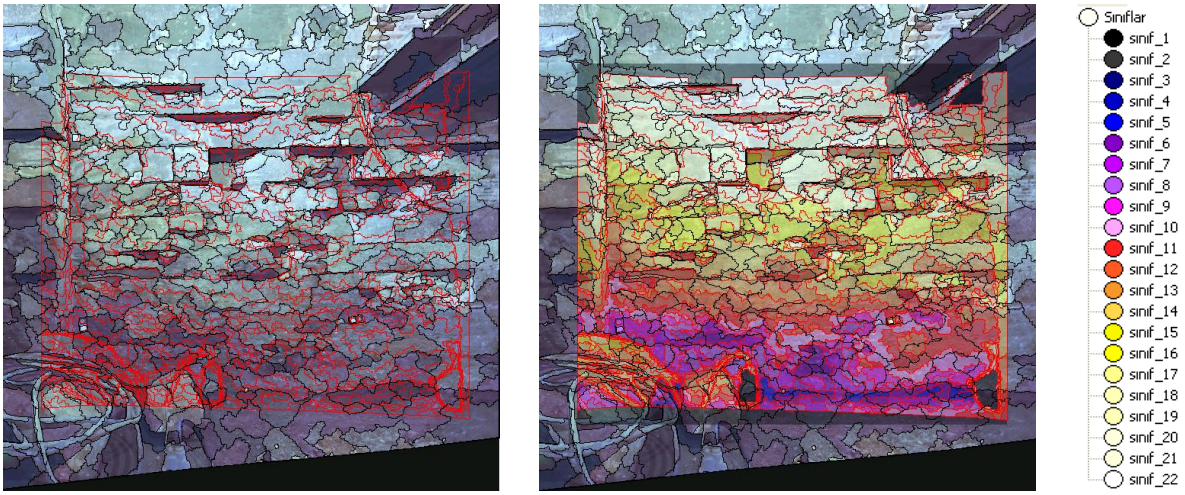
Şekil 6. 17c ve 6. 17d karşılaştırıldığında ÇA2 içinde renkli görüntüdeki sınıflandırma sonuçları ile termal kameradaki sınıflandırma sonuçlarının tamamen farklı olduğu görülmektedir. Her iki sınıflandırma sonucunun üst üste bindirilerek gösterildiği Şekil 6. 17e ve 6. 17f incelendiğinde bu durum daha belirgin bir biçimde görülmektedir. ÇA2'de renkli görüntüde nem ve zemin kaynaklı rutubet problemi hakkında sınıflandırma sonuçlarında bir çıkarım yapılamazken termal görüntüdeki sınıflandırma sonuçları zeminden üst kısma doğru nem ve rutubet sebebiyle oluşan deformasyon derecelerini göstermektedir. Bu deformasyonlar vektör hale dönüştürülmüş ve kaydedilmiştir. ÇA2' de de geliştirilen yaklaşım başarıyla uygulanarak nem ve rutubet sebebiyle oluşan deformasyonlar başarıyla belgelenmiştir. Bu deformasyonların sayısal kamera ile alınan görüntülerden belirlenmesi ÇA2' de de mümkün olmamıştır.



(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)

Şekil 6. 17 Çalışma alanı 2, 366 nolu renkli (sol) ve 271 nolu termal (sağ) görüntülere ait; oluşan segmentler (a), (b), sınıflar (c), (d) ve sınıflandırma sonucu oluşan vektör veri ve sınıfların bindirilmiş halleri (e), (f)

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, termal kameralar ve sayısal kameraların birlikte kullanımı ile tarihi binalarda nem, ve ıslak yüzeylerin yalıtım problemleri sebebi ile meydana gelen rutubet sonucu oluşan deformasyonların görüntü sınıflandırma, segmentasyon işlemleri ile belgelenmesi olanakları araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan sayısal ve termal kameraların geometrik kalibrasyonu için 3 boyutlu test objesi tasarlanmıştır. Tasarlanan test objesisin imalatı yapılarak çalışmada kullanılan Nikon D3X SLR (50 mm ve 20 mm) sayısal fotoğraf makinesi ve Flir A320 termal kameranın geometrik kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Işın desteleri ile dengelemeye dahil edilen ek parametreler yardımıyla Nikon D3X SLR sayısal kamera ve Flir A320 termal kamera için iç yöneltme parametreleri (x0, y0, c), çapsal distorsiyon (radyal) parametreleri (K1, K2, K3) ve teğetsel distorsiyon parametreleri (P1, P2) ve standart sapmaları kestirilmiştir.

Geometrik kalibrasyon işlemi sonucunda, Nikon D3X SLR sayısal kameranın iki ayrı objektifi için ışın desteleri ile dengeleme sonucunda 20 mm odak uzaklığına sahip objektifin odak uzaklığı 19.7582 mm olarak 0.0293 mm standart sapma ile, 50 mm odak uzaklığına sahip objektifin odak uzaklığı 49.1689 mm olarak 0.1501 mm standart sapma ile belirlenmiştir. Nikon D3X (20mm) SLR sayısal kamera için ışın desteleri ile dengelemeye 0, 0 girilen asal noktanın konumu (x_0, y_0) -0.0502 mm, -0.0955 mm olarak 0.0102 mm ve 0.0104 mm standart sapmalarla belirlenmiştir. Nikon D3X (50mm) SLR sayısal kamera için ışın desteleri ile dengelemeye 0, 0 girilen asal noktanın konumu (x_0, y_0) 0.6691 mm, -0.2326 mm olarak 0.0665 mm ve 0.0610 mm standart sapmalarla

belirlenmiştir. Flir A320 termal kamera için odak uzaklığı 17.2262 mm olarak 0.1288 mm standart sapma ile belirlenmiştir. Flir A320 termal kamera için ışın desteleri ile dengelemeye 0, 0 girilen asal noktanın konumu (x_0, y_0) 0.2883 mm, -0.1995 mm olarak 0.0512 mm ve 0.0656 mm standart sapmalarla belirlenmiştir. Geometrik kalibrasyon işlemi ile elde edilen iç yöneltme elemanları ve distorsiyon hataları değerlendirilme yazılımına girilerek uygulama aşamasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuç veriler göstermiştirki Flir A320 termal kamera için hesaplanan distorsiyon parametrelerinin Nikon D3X SLR sayısal kameraya göre büyüktür. Bu sonuçlar esas alındığında, termal kamera mercek kalitesi sayısal kamera mercek kalitesine göre daha düşüktür. Benzer durum bu parametreler için hesaplanan standart sapmalar için de geçerlidir. Her iki kameranın geometrik performansları karşılaştırılırken kameraların çözünürlükleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Sayısal kameradaki 1 pikselin büyüklüğü 6 µm iken termal kamerada 25 µm olduğu göz ardı edilmemelidir.

Sayısal ve termal kameraların birlikte kullanımı ile tarihi binalarda nem, yalıtım problemleri sebebi ile meydana gelen rutubet sonucu oluşan deformasyonların görüntü sınıflandırma, segmentasyon işlemleri ile belgelenmesi olanaklarının araştırılması için geliştirilen yaklaşım çalışma alanı olarak seçilen Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nde test edilmiştir. Bu çalışma alanında yapılan çalışmada İstanbul İl Özel İdaresi'nce yaptırılan restorasyon projesi kapsamında oluşturulan bilim kurulunun isteği ve talebi doğrultusunda Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii çalışma alanı olarak seçilmiştir. Camii'nin Haliç kıyısında bulunması ve dolgu zemin üzerine deniz seviyesinin altında inşa edilmesi sebebiyle zamanla bir takım deformasyonlara uğramış ve deniz suyunun alt katta oluşturduğu nem ve rutubet sorununun sebep olduğu deformasyonların belirlenmesi ve analizi hedeflenmiştir. Bu amaçla, yapının güneybatı, güneydoğu ve kuzeybatı cephelerine ait iç cephe fotoğraf alımları sayısal ve termal kameralarla gerçekleştirilmiştir. Çekilen fotoğraflara ait dış yönetme elemanları ışın desteleri ile dengeleme işlemi sonucunda belgelenmiştir. Çalışma alanında kuzeybatı cephesine ait iki farklı alanda (Çalışma Alanı 1 ve Çalışma Alanı 2) sayısal ve termal kamera ile alınan tek fotoğraf değerlendirmesi ile rektifiye edilmiş fotoğraflar üretilmiştir.

Rektifiye edilmiş bu fotoğraflar kullanılarak, çoklu çözünürlüklü segmantasyon işlemi renkli ve termal görüntüler için belirlenen en uygun ölçek, şekil parametresi ve parlaklık parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Renkli görüntünün segmentasyon ve sınıflandırılma doğruluğunu artırmak için işleminin sobel operatörü (çift yöntü kernel size 3x1) kullanılarak kenarlar çıkarılmıştır. Sobel görüntü segmantasyon işlemine renkli görüntüden farklı ağırlık değeri ile dahil edilmiştir. Renkli ve termal görüntülerin analizi ile faklı yansıma değerleri için sınıf sınır değerleri tespit edilerek, sınıflandırma işlemi bulanık mantık algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi sonucunda aynı sınıfa ait nesneler birleştirme işlemi ile tek bir sınıf altında toplanmıştır. Daha sonra sınıflandırma sonucu oluşan sınıflar vektör dosya olarak kaydedilmiştir.

Çalışma alanı 1 ve Çalışma alanı 2' de sayılsal kamera ile alınan görüntüde nem ve zemin kaynaklı rutubet problemi hakkında sınıflandırma sonuçlarında bir çıkarım yapılamazken, termal görüntüdeki sınıflandırma sonuçları zeminden üst kısma doğru nem ve rutubet sebebiyle oluşan deformasyon dereceleri kolaylıkla analiz edilebilmektedir. Bu deformasyonlar otomatik olarak vektör hale dönüştürülmüş ve kaydedilmiştir. Termal görüntüdeki sınıflandırma sonucunda kaydedilen sınıf sınırları rektifiye edilmiş görüntüler üzerinden elde edildiğinden ülke koordinat sistemindedir ve ölçekli olarak plan düzlemine aktarılabilir ve daha önce hazırlanmış sayısal rölöveler üzerine katman olarak çağırılabilir niteliktedir. Bu deformasyonların bulunduğu ve sayısal kameralarla tespiti mümkün olmayan alanlarda her türlü uzunluk alan ölçümü kolaylıkla yapılabilir.

Bu tez çalışması kapsamında ortaya konulan araştırma hedefleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ortaya konulan yaklaşım ve yöntemler, nem ve yalıtım problemleri sebebi ile meydana gelen rutubet sonucu oluşan deformasyonların bulunduğu çalışma alanı olarak seçilen Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nde test edilmiştir ve başarıyla uygulanmıştır.

Sayısal ve termal kameraların birlikte kullanımı tarihi ve kültürel miras özelliği olan yapılarda nem, rutubet ve yalıtım problemleri analiz edilerek bunu oluşturan sebeplerin gelecekte yapıya zarar vermesi ve telafisi imkansız hasarlar vermesinin

önüne geçilecektir. Önerilen yöntemlerin uygulanması durumunda, nem ve yalıtım vb. problemler sebebiyle oluşan deformasyonlar nedeniyle yapının yıkılıp yok olması ya da sonraki restorasyon çalışmalarında ortaya çıkacak büyük bir maddi yükün önüne geçilmesine olanak sağlanacak ve bu şekilde ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Yastıklı, N., (2010). “Fotogrametrinin Temelleri Ders Notu”, İstanbul.

[2] Grinzato, E., (2012). “IR Thermography Applied to the Cultural Heritage Conservation”, 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16-20 April 2012, Durban, South Africa

[3] Grinzato, E., Bison, P.G. ve Marinetti, S., (2002). “Monitoring of ancient buildings by the thermal method”. Journal of Cultural Heritage 3: 21–29.

[4] Rizzi, A., Voltolini, F., Girardi, S., Gonzo, L. ve Remondino, F., (2007). “Digital Preservation, Documentation And Analysis Of Paintings, Monuments And Large Cultural Heritage With Infrared Technology, Digital Cameras And Range Sensors”, XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece.

[5] Rosina, E. ve Spodek, J., (2002) “Using Infrared Thermography to Detect Moisture in Historic Masonry : A Case Study In India”, Association of Preservation Technology, 11-16.

[6] Binda, L., Lualdi, M., Saisi, A., Zanzi, L., Gianinetto, M. ve Roche, G., (2003). “NDT Applied To The Diagnosis Of Historic Buildings: A Case History”. In Proc. of the Int. Conf. on Structural Faults and Repair, 1-3 July, 10, on CD-ROM.

[7] Gianinetto, M., Giussani, A. , Roncoroni, F. ve Scaioni, M., (2005) .“Integration Of Multi-Source Close-Range Data”. CIPA 2005 XX International Symposium, 26 September – 01 October, Torino, Italy.

[8] Kordatos, E.Z., Exarchos, D.A., Stavrakos, C., Moropoulou, A. ve Matikas, T.E., (2012). “Infrared thermographic inspection of murals and characterization of degradation in historic monuments”, Construction and Building Materials, Greece.

[9] Paoletti, D., Ambrosinia, D., Sfarraa, S. ve Bisegnab, F., (2013). “Preventive thermographic diagnosis of historical buildings for consolidation”. Journal of Cultural Heritage 14: 116–121.

[10] Lagüela, S., González, H., Armesto, J. ve Arias, P., (2011). “Calibration and verification of thermographic cameras for geometric measurements”, Infrared Physics & Technology 54: 92–99.

[11] Luhnmann, T., Ohm, J., Piechel, J. ve Roelfs, T., (2010). “Geometrik Calibration of Thermographic Cameras”, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK, Commission V, WG V/5.

[12] Duran, Z, (2004). Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemlerine Aktarılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[13] Yastıklı, N., (2010). “Yersel Fotogrametri Ders Notu”, YTÜ, İstanbul.

[14] Yastıklı, N., (2011). “Ortofoto Ders Notu”, YTÜ, İstanbul.

[15] Yastıklı, N., (2005). “Sayısal Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarayıcılar İle Belgeleme ve Üç Boyutlu Modelleme”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart - 1 Nisan, Ankara.

[16] Fraser, C.S., (1997). “Digital Camera Self- Calibration”. The University of Melbourne, Parkville, Vic. 3052, Australia, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 52: 149-159.

[17] Cramer, M., (2003). “Euro SDR Project Digital Camera Calibration”. Presentation of project proposal, Institut für Photogrammetrie, 103rd EuroSDR Science and Steering Committee Meetings, München, Germany.

[18] Karslı, F. ve Ayhan, E., (2005). “Orta ve Yüksek Çözünürlüklü Dijital Kameraların Metrik Performanslarının Belirlenmesi”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

[19] Yıldız, F., Karabörk, H., Yakar, M. ve Yılmaz, H.M., (2005). “Yersel Fotogrametride Kullanılan Metrik Olmayan Dijital Kameraların Kalibrasyonunda Kullanılan Yazılımların İncelenmesi Üzerine Bir Çalışma”, Harita Dergisi, 134: 61-70.

[20] Taşdemir, Ş., Ürkmez, A, Yakar, M. ve İnal, Ş., (2009). “Sayısal Görüntü Analiz İşleminde Kamera Kalibrasyon Parametrelerinin Belirlenmesi”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük.

[21] Remondino, F. ve Fraser, C., (2006). “Digital Camera Calibration Methods Considerations and Comparisons”,ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology', Commission V, WG V/1.

[22] Merrill, K.R. ve James, D.H., (2006). “Remote Sensing of Human Settlements Manual of Remote Sensing Third Edition”, 747.

[23] McGlone, J.C., (2004). “Manuel of Photogrammery Fifth Edition”, ASPRS, ISBN 1-57083-071-1, 652, 653.

[24] Brown, D.C. (1971). “Close-Range Camera Calibration, Photogrammetric Engineering”, 37(8):855–866.

[25] Uzar Dinlemek, M., (2010). Otomatik Bina Çikarimi Uygulamalarinda Çoklu Algilama Sistemi Verilerinin Kullanim Olanaklarinin Analizi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[26] Yastıklı, N. ve Altunkaya, Z., (2011). "Ortogörüntüler Yardimiyla Nesne Tabanlı Sınıflandirma Yöntemi Kullanılarak Öznitelik Çıkarımı", TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 31 Ekim – 4 Kasım, Antalya

[27] Oruç, M., Marangoz, M. ve Karakış, S., (2007). " Pan- Sharp Landsat 7 ETM+ Görüntüsü Kullanılarak Piksel Tabanlı ve Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımlarının Karşılaştırılması", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

[28] Karakış, S., (2005). "Quickbird ÖrneğindeYüksek Çözünürlüklü UyduGörüntüsüÜzerinden Kentsel Ayrıntıların Otomatik ve Manuel Çıkarımı Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

[29] Kansu, O., (2006). Uzaktan Algılamada Görüntü Sınıflandırma Yöntemleri Analizi, KTÜ Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

[30] Ekercin, S. "Uzaktan Algılama Uygulamaları", (2011). Ders Notu.

[31] Ayhan, E., Karslı, F., Tunç, E., (2003). "Uzaktan Algılanmış Görüntülerde Sınıflandırma Ve Analiz".

[32] Kavzoğlu, T., (2008). "Uzaktan Algılama Ve Uygulamaları". Ders Notları, G.Y.T.E , Yüksek Lisans Programı, Gebze.

[33] Hoffman, R. ve Jain, A.K., (1987). "Segmentation and Classification of Range Images", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, 9: 608–620.

[34] Mather, P. ve Koch, M., (2011). "Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction", Fourth Edition, John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-74239-6.

[35] Çölkesen, İ., (2009). Uzaktan Algılamada İleri Sınıflandırma Tekniklerinin Karşılaştırılması ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze YTE.

[36] Lillesand, T.M. ve Kiefer, R.W., (2000). "Remote Sensing and Image Interpretation", John Wiley&Sons Inc., New York.

[37] Özkan, C., (1998). Uzaktan Algılama Verileriyle Orman Yangını Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[38] Marangoz, A. M., Oruç, M. ve Büyüksalih, G., (2004). "Object-oriented Image Analysis and Semantic Network for Extracting The Roads and Buildings from Ikonos Pan-sharpened Images", XXth Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 12-23 July, İstanbul, Turkey.

[39] Baatz, M., Benz, U., Dehghani, S., Heynen, M., Höltje, A., Hofmann, P., Lingenfelder, I., Mimler, M., Sohlbach, M., Weber, M. ve Willhauck, G., (2004). "eCognition Professional: User Guide 5", Munich: Definiens-Imaging.

[40] Düzgün Ş., (2010). "UADMK - Açık Lisans Bilgisi". Ders Notu.

[41] Ghedini N. Sabbioni C. ve Pantani M.," (2003). Thermal analysis in cultural heritage safeguard: an application", Italy Thermochimica Acta 406: 105–113.

[42] URL1, FlirA320 Termal Kamera, www.flir.com, 5 Aralık 2012.

[43] Lerma, J.L., Mileto, C. , Vegas, F. ve Cabrelles, M., (2007)." Visible And Thermal IR Documentation of A Masonry Brickwork Building". XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece.

[44] Parian, J. A., Cozzani, A., Appolloni, M. ve Casarosa G., (2009). "New Developments With Design And Construction Of A Thermal/Vacuum Qualified Photogrammetric System". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64: 317-327.

[45] Yastıklı, N., (2011). "Proje Öneri Formu".

[46] URL3, Sokullu Mehmet Paşa Camii, www.wikipedia.com, 5 Aralık 2012.

[47] Duman G., (2011). Kamera Kalibrasyonu Ve Stereo Görüş Olmadan Birden Fazla Fotoğraf Yardimiyla Bina Rölövesi Üretimi , YTÜ Lisans Tezi, İstanbul.

[48] Avdelidis, N.P. ve Moropoulou, A., (2004). "Applications Of Infrared Thermography For The Investigation Of Historic Structures", Journal of Cultural Heritage 5: 119–127, Greece.

[49] Ballard, D.H. ve Brown, C.M., (1982). Computer Vision,Prentice Hall, 539, New Jersey.

[50] Beger, R., Gedrange, C., Hecht, R. ve Neubert, M., (2011). "Data Fusion Of Extremely High Resolution Aerial Imagery And LIDAR Data For Automated Railroad Centre Line Reconstruction", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66: 40–51.

[51] Beşdok, E. ve Kasap, B., (2006). 3D Nesne Modellemeye Yönelik Lazerli Bir Tarayıcı Sistemin Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.

[52] Blaschke, T., (2010). "Object Based Image Analysis for Remote Sensing". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 65: 2–16.

[53] Clark, M.R., McCann, D.M. ve Forde M.C., (2003). "Application Of Infrared Thermography To The Non-Destructive Testing Of Concrete And Masonry Bridges", Department of Civil and Environmental Engineering, School of Engineering and Electronics, University of Edinburgh,The King's Buildings, Edinburgh EH9 3JN, UK, NDT&E International 36: 265–275.

[54] Cramer M., (2003). "Digital camera self-calibration, ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing", 52: 149–159.

[55] Dash, J., Steinle, E., Singh, R.P. ve Bähr, H.-P., (2004). "Automatic Building Extraction From Laser Scanning Data, An Input Tool For Disaster Management", Advances in Space Research, 33(3): 317-322.

[56] Definiens E-cogniton Developer 8.64 Reference Book, Germany.

[57] Dorninger, P. ve Pfeifer N. (2008). “A Comprehensive Automated 3D Approach for Building Extraction, Reconstruction, and Regularization from Airborne Laser Scanning Point Clouds”, 8(11): 7323-7343, Vienna.

[58] E-cognition Developer 8.64 User Guide, www.definiens-imaging.com, 3 Mart 2011.

[59] Elberink, O., (2010). “Acquisition of 3D Topography: Automated 3D Road and Building Reconstruction Using Airborne Laser Scanner Data and Topographic Maps”, Ph.D. Thesis, University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC, Enscheda, The Netherlands.

[60] Filin, S., (2002). “Surface Clustering From Airborne Laser Scanning Data”, In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXII, (3A): 119–124, Graz, Austria.

[61] Gao, Y., (2003), Pixel Based and Object Oriented Image Analysis for Coal Fire Research, MSc. Thesis, University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC, Enscheda, The Netherlands.

[62] Grinzato, E., Peron, F. ve Strada, M., (1999). “Moisture monitoring of historical buildings by long-period temperature measurements”.

[63] Grinzato, E., Vavilov, V. ve Kauppinen, T. (1998). “Quantitative infrared thermography in buildings”, Energy and Buildings 29: 1-9.

[64] Haralick, R. ve Shapiro, L. (1993). Mathematical Morphology, Computer and Robot Vision, Addison Wesley.

[65] Honkavaara, E., Ahokas, E., Hayyppa, J., Kaartinen, H., Kuittinen, R., Markelin, L. ve Nurminen, K., (2006). “Geometric test field calibration of digital photogrammetric sensors”. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 60: 387–399, Masala, Finland.

[66] Ilic, S. ve Ulicny, B., (2000). "Seeded Region Growing Method for Image Segmentation", Assignment for Computer Vision Work Paper Presentation, The Swiss Federal Institute of Technology.

[67] Kordatos E.Z., Exarchos D.A., Stavrakos C., Moropoulou A. ve Matikas T.E. (2012)."Infrared Thermographic Inspectıon Of Murals and Characterization of degradation In Historic Monuments", Construction and Building Materials.

[68] Kalkan, K. ve Maktav, D. (2010) “Nesne Tabanlı ve Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması (IKONOS Örneği)”. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu.

[69] Kılıç, F.G., (2011). “Fotogrametri”, Ders Notu, YTÜ, İstanbul.

[70] Kim, N. (2011). “2.5D Reconstruction of Building from very High Resolution SAR and Optical Data by Using Object-Oriented Image Analysis Technique”. The Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente, Master of Science, The Netherlands.

[71] Lichti, D., Kim, C. ve Jamtsho, S., (2010). “An Integrated Bundle Adjustment Approach to Range Camera Geometric Self- Calibration”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65: 360-368.

[72] Lucchese, L., (2005). “Geometric calibration of digital cameras through multi-view rectification”, School of Electrical Engineering and Computer Science, Oregon State University, 313 Owen Hall, Corvallis, OR 97331, USA, Image and Vision Computing 23:517–539.

[73] Marangoz, A.M., Topan, H. ve Oruç, M. (2007). “Fotogrametrinin Optik Temelleri Ders Notu”, 2007-2008 Öğretim Yılı Bahar Dönemi.

[74] Mccafferty D.J., (2007). “The Value Of Infrared Thermography For Research On Mammals; Previous Applications And Future Directions”, Mammal Rev., 37(3): 207–223.

[75] Meola, C., Di Maio, R., Roberti, N. ve Carlomagno, G.M., (2005). “Application of Infrared Termography and Geophysical Methods for Defect Detection in Architectural Structures”, Engineering Failure Analysis 12: 875–892.

[76] Molenaar, M. (1989). “Single Valued Vector Maps: A Concept in Geographic Information Systems”, Geo-Information-Systems (GIS), 18-26.

[77] Navulur, K., (2007). “Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm, CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW”, Suite 300, Boca Raton, 33487-2742.

[78] Nixon, M. ve Aguado, A., (2008). Feature Extraction & Image Processing, Second edition, Elsevier.

[79] Pal, N. R. ve Pal, S. K., (1993). ”A Review on Image Segmentation Techniques”, Pattern Recognition, 26(9): 1274-1294.

[80] Peipe, J. ve Tecklenburg, W., (2006). “Photogrammetrıc Camera Calıbratıon Software-A Comparison”, Commission V, WG V/1.

[81] PHIDIAS Kullanım Klavuzu (www.phocad.com), 5 Aralık 2012.

[82] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S. ve Kubik, K., (2005). “Using The Dempster Shafer Method For The Fusion Of LIDAR Data And Multispectral Images For Building Detection”, Information Fusion, 6(4): 283-300.

[83] Schenk, T. (1999). Digital Photogrammetry, Terra-Science, Laurelville.

[84] Shan, J., ve Toth, C. K. (2009). “Topographic Laser Ranging And Scanning, Principles and Processing”, Edited by Jie Shan and Charles K. Toth, 600.

[85] Sithole, G., (2005). “Segmentation And Classification Of Airborne Laser Scanner Data”, Ph.D. Thesis, University of Delft, Publications on Geodesy, The Netherlands.

[86] Türker, M., (2010). “Görüntü İşleme Teknolojisi”, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı -Akademik Perspektif: CEBIT Bili.

[87] Yücel, A.K., Tavukcuoglu, A., Caner ve E.N., (2007). “In Situ Assessment Of Structural Timber Elements Of A Historic Building By Infrared Thermography And Ultrasonic Velocity”, Infrared Physics & Technology 49: 243–248, Ankara.

[88] Zadeh, L. A., (1965). “Fuzzy Sets”, Information Control, 8: 338-353.

[90] Zevenbergen, L. ve Thorne, C., (1987). “Quantitative Analysis of Land Surface Topography”, Earth Surface Processes and Landforms 12: 47–56.

[91] URL2, Nikon D3XSLR Kamera, www.nikon.com, 5 Aralık 2012.

[92] Çamlıbel, N., (1998). Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi, YTÜ.

[93] Grinzato, E., Bressan, C., Marinetti, S., Bison, P.G. ve Bonacina, C., (2002). “Monitoring of the Scrovengi Chapel by IR thermography: Giotto at infrared ”.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Esra GÜLER

Doğum Tarihi ve Yeri : 23.08.1987 iSTANBUL

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : esragulerytu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Harita Mühendisliği	YTÜ	2014
Lisans	Mimarlık	YTÜ	2011
Lisans	Harita Mühendisliği	YTÜ	2009
Lise	Fen	Sabit BÜYÜKBAYRAK YDA L.	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2011-	ESFA MİM. MÜH VE RESTORASYON LTD. ŞTİ.	Mimar –Harita Müh.

YAYINLARI

Makale

1. N. YASTİKLİ, E. GULER," Performance Evaluation Of Thermographic Cameras For Photogrammetric Documentation of Historical Buildings ", BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version, ISSN 1982-2170, Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 19, no 4, p.711-728, out-dez, 2013.

Bildiri

1. N. YASTİKLİ, E. GULER," Performance Evaluation Of Thermographic Cameras For Photogrammetric Measurements", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W1, ISPRS Hannover Workshop 2013, 21 – 24 May 2013, Hannover, Germany.

2. N. YASTIKLI, E. GÜLER, A. BAL, "Fotogramerik Belgelemede Kullanılan Sayısal ve Termal Kameraların Geometrik Kalibrasyonu", IV. Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (Uzal-Cbs 2012), 16-19 Ekim 2012.

3. N. ERSOY, G. AKDENİZ, İ. ÇETİN, E. GÜLER, "Laser Total Station Aletinin Rölöve Alımında Kullanımı", Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VI. Teknik Sempozyumu (TUFUAB 2011), 23- 26 Şubat 2011.

ÖDÜLLERİ

1. YTÜ HARİTA MÜHENDİLİĞİ BÖLÜM 3.SÜ