

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VIDEO VE GPS VERİLERİNE DAYALI
HARİTA ÜRETİMİ**

**Tezi Hazırlayan
Tuba KURBAN**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Derviş KARABOĞA**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FBY-08-389 kodu ile desteklenmiştir.**

**Temmuz 2008
KAYSERİ**

Prof. Dr. Derviş KARABOĞA danışmanlığında **Tuba KURBAN** tarafından hazırlanan “**Video ve GPS verilerine dayalı harita üretimi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

22./07./2008

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Derviş KARABOĞA

Üye : Yard. Doç. Dr. Veysel ASLANTAŞ

Üye : Yard. Doç. Dr. H. Mustafa PALANCIOĞLU

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 05/08/2008 tarih ve 2008/23-14 sayılı kararı ile onaylanmıştır.
05/08/2008.


N. Ayıldız
Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Derviş KARABOĞA'ya, değerli hocam Yard. Doç. Dr. H. Mustafa PALANCIOĞLU'na, eşim Arş. Gör. Rifat KURBAN'a, çalışmaya doğrudan ya da dolaylı olarak katkıda bulunmuş tüm arkadaşlarıma, değerli hocalarıma ve hayatımın her döneminde desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

VIDEO VE GPS VERİLERİNE DAYALI HARİTA ÜRETİMİ

Tuba KURBAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2008

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Derviş KARABOĞA

ÖZET

Yeryüzüne ait yüksek çözünürlüklü sayısal görüntüler (resimler), uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri için çok önemli veri kaynaklarıdır. Gelişen teknolojiyle beraber yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri elde edilebilmektedir. Ancak, bu gibi teknolojiler halen oldukça maliyetlidir. Yeryüzü görüntülerinin elde edilmesinde hava fotoğrafçılığı da yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan, videolar elde edilmesi kolay veri kaynaklarıdır ve havadan çekilmiş videolar kullanılarak geniş ve ulaşılabilen bölgelere ait hava fotoğrafları elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, model bir hava aracı yardımıyla elde edilen hava videoları ve GPS verileri kullanılarak, geniş arazilere ait koordinatlı görüntülerinin elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Hava videolarının çerçevelere ayrılarak resimlere dönüştürülmesinin ardından her bir görüntüyle ilişkili olan GPS verisinden faydalanılarak bu görüntüler birleştirilmiştir. Görüntülerin birleştirilmesinde Genetik Algoritma ve Diferansiyel Gelişim Algoritması'na dayalı bir yöntem geliştirilmiştir. GPS verisi, başlangıç çözüm popülasyonunun oluşturulmasında algoritmalara kabaca bilgi vererek, arama uzayını küçültmekte ve yanlış çakıştırmaları önlemektedir. Birleştirilmiş sonuç resim, K-ortalama, Bulanık C-ortalama, Genetik Algoritma ve Diferansiyel Gelişim Algoritması yöntemleri ile bölütlenerek analize uygun hale getirilmektedir. Birleştirme ve bölütleme işlemlerinde kullanılan yöntemlere ait simülasyon tabanlı ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek, sonuçları verilmiştir. Önerilen sistem, acil durumlarda ulaşılması zor ya da mümkün olmayan alanların hızlı bir şekilde haritalarının üretilmesini daha düşük maliyetlerle elde edebilme imkânı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Video, GPS, Görüntü Çakıştırma/Birleştirme, Görüntü Bölütleme, Gelişime dayalı optimizasyon algoritmaları

MAP GENERATION BASED ON VIDEO AND GPS DATA

Tuba KURBAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, July 2008

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Derviş KARABOĞA

ABSTRACT

High resolution aerial images are very important data sources in remote sensing and geographical information systems. Due to the advances in technology, high resolution satellite images can be obtained. But, this kind of technologies is still too expensive. Aerial photography is a commonly used technique for obtaining aerial images of a wide area. Another source for data acquisition is aerial videos from which aerial images of wide and unreachable areas can be obtained.

In this thesis, aerial image of a wide area is generated using aerial videos and GPS data taken from a model aerial vehicle. After decomposing the aerial video to frames, each frame is associated with corresponding GPS coordinate. Then, the images associated with GPS coordinates are registered and stitched. A genetic algorithm (GA) and differential evolution (DE) algorithm based new method is proposed for stitching aerial images. GPS information are employed for generating initial population to these algorithms. Through this way, the execution time and misregistrations are reduced. The stitched image is segmented for further analysis using K-means, fuzzy c-means, genetic algorithm and differential evolution algorithm methods. By employing the mentioned methods, simulation and experimental results were obtained. With the proposed system, generating digital maps of unreachable areas can be realized under emergency situations.

Keywords: Video, GPS, Image Registration/Stitching, Image Segmentation, Evolutionary Optimization Algorithms

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
 1. BÖLÜM	 1
GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür Özeti	4
1.3. Tezin Organizasyonu	7
 2. BÖLÜM	 8
KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMLERİ	8
2.1. Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri	8
2.2. Küresel Konumlama Sistemi (GPS).....	9
2.3. GPS Alıcısı ve Anten Sistemleri	13
 3. BÖLÜM	 14
SAYISAL VIDEO VE GÖRÜNTÜ İŞLEME	14
3.1. Sayısal Görüntü ve Görüntü İşleme	14
3.2. Sayısal Video	15
3.3. Görüntü Çakıştırma ve Birleştirme	16
3.3.1. Hareket Modelleri	20
3.3.2. Doğrudan (Piksel Temelli) Çakıştırma	25
3.3.3. Özellik Temelli Çakıştırma	31
3.3.4. Genel Çakıştırma.....	32
3.3.5. Sonuç İmge	32
3.4. Görüntü Bölütleme.....	32
3.4.1. Sınıflandırma Metotları.....	33
3.4.2. Kümeleme Metotları	33

3.4.3. Histogram Temelli Metotlar	34
3.4.4. Kenar Tespit Metotları	35
3.4.5. Bölge Büyütme Metotları	35
4. BÖLÜM	37
GELİŞİME DAYALI YAPAY ZEKÂ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI	37
4.1. Genetik Algoritma	37
4.1.1. Basit Genetik Algoritma	38
4.1.2. Standart Genetik Algoritma Temel Adımları	42
4.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması	42
5. BÖLÜM	47
ÖNERİLEN YÖNTEMİN UYGULAMASI	47
5.1. Ölçme Sisteminin Oluşturulması ve Verilerin Toplanması	47
5.2. Videodan Resimlerin Elde Edilmesi	49
5.3. GPS Verisiyle Resimlerin Eşleştirilmesi	51
5.4. Resim Birleştirme	52
5.4.1. Çoklu-Ölçekli Yönelimli Yamalar Yöntemi ile Birleştirme	52
5.4.2. GA ve DGA ile Resim Birleştirme	53
5.4.3. Önerilen Yöntem: GA ve DGA ile GPS Destekli Resim Birleştirme	54
5.5. K-ortalama, Bulanık C-ortalama, GA ve DGA ile Resim Bölütleme	58
5.6. Simülasyon Sonuçları ve Deneysel Sonuçlar	60
5.6.1. Simülasyon Sonuçları	61
5.6.2. Deneysel Sonuçlar	81
6. BÖLÜM	85
SONUÇ	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	97

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Resim çakıştırma için amaç fonksiyonu.	53
Tablo 5.2. Hava görüntülerine ait GPS destek bilgileri.	69
Tablo 5.3. Optimizasyon algoritmaları için parametre limitleri.	70
Tablo 5.4. Optimizasyon algoritmaları için örnek parametre limitleri	70
Tablo 5.5. Optimizasyon algoritmaları için örnek başlangıç popülasyonu.....	71
Tablo 5.6. GA için uygulamada kullanılan kontrol parametreleri.	71
Tablo 5.8. GA ve DGA ile elde edilen birleştirme sonuçları.....	75
Tablo 5.9. 4 sınıf için farklı algoritmalara ait MSE hataları ve sınıf merkezleri.	78
Tablo 5.10. 6 sınıf için farklı algoritmalara ait MSE hataları ve sınıf merkezleri.	78
Tablo 5.11. 8 sınıf için farklı algoritmalara ait MSE hataları ve sınıf merkezleri.	78

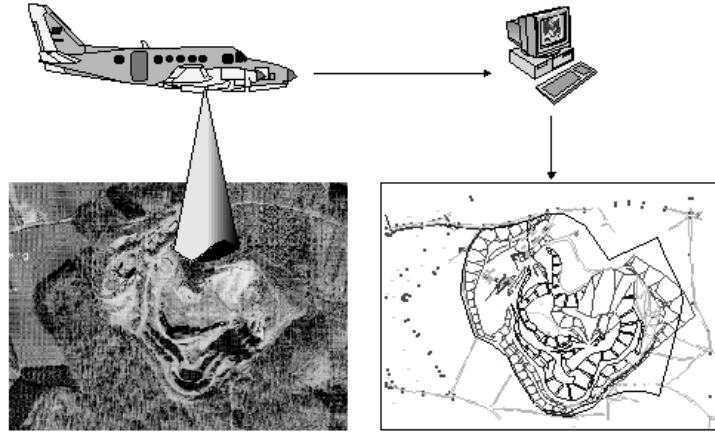
ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Hava fotoğraflarının elde edilmesi ve işlenmesi.....	1
Şekil 1.2. Tasarlanan Sistemin Genel İşleyişi.....	3
Şekil 3.1. 2B Düzlemde Dönüşümler	21
Şekil 3.2. Merkez izdüşüm	23
Şekil 3.3. Bir noktaya iki görüntünün iz düşümü	25
Şekil 4.1. Mutasyon Operasyonu	40
Şekil 5.1. Model uçak ile oluşturulan ölçme sistemi.	48
Şekil 5.2. Model uçaklı ölçme sistemi ve sensörlerin yerleşimi.	49
Şekil 5.3. Videoda uzaysal ve zamansal örnekleme	50
Şekil 5.4. Videodan resimlerin elde edilmesi.....	51
Şekil 5.5. Videodan elde edilen resimlerin GPS verileri ile ilişkilendirilmesi.	51
Şekil 5.6. 5 Piramit seviyesinde çıkartılmış çoklu-ölçekli yönelimli yamalar	52
Şekil 5.7. Resim karşılaştırma: B resminin A resmine karşılaştırılması.....	53
Şekil 5.8. Resim karşılaştırma: Dönme açılarının hesaplanması.	55
Şekil 5.9. Simülasyon çalışmasında kullanılan uçuş güzergahı.....	61
Şekil 5.10. Simülasyon tabanlı çalışma için Google Earth yazılımından alınan görüntüler.	67
Şekil 5.12. GA ile 72. adımda elde edilen birleşik resim.....	74
Şekil 5.13. DGA ile 72. adımda elde edilen birleşik resim.....	75
Şekil 5.14. K-ortalama algoritması ile 6 sınıfa bölütlenmiş resim.....	79
Şekil 5.15. Bulanık C-ortalama algoritması ile 6 sınıfa bölütlenmiş resim.	79
Şekil 5.16. GA ile 6 sınıfa bölütlenmiş resim.	80
Şekil 5.17. DGA ile 6 sınıfa bölütlenmiş resim.	80
Şekil 5.18. Model uçakla yapılan deneye ait uçuş güzergahı.	81
Şekil 5.19. Model uçak ile yapılan deneye ait elde edilen videodan bir kare.	82
Şekil 5.20. Model uçak ile elde edilen resimlerin bir bölümünün birleştirilmesi.	83
Şekil 5.21. Model uçak ile elde edilen birleşik resmin bölütlenmesi.....	84

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Hava fotoğrafçılığı, yüksek bir konumdan, uzaktan otomatik olarak veya sürekli olarak yeryüzünün fotoğraflarının çekilmesidir. Bu fotoğrafları elde etmek için sabit kanatlı uçaklar, helikopterler, balonlar, keşif balonları ve zeplinler, roketler, uçurtmalar ve paraşütler kullanılabilir. Hava fotoğrafları özellikle, topoğrafik haritaların temellerini oluşturan fotogrametrik yüzeylerde, toprak kullanımını planlamada, arkeolojide, film yapımında, çevresel çalışmalarda, denetlemelerde, ticari reklamcılıkta, nakil işlemlerinde ve sanatsal projelerde kullanılmakta ve genellikle bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) tarafından işlenmektedir [1]. Hava fotoğraflarının elde edilmesi ve işlenmesini gösteren temel yapı Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Hava fotoğraflarının elde edilmesi ve işlenmesi.

Geniş alanda bir hava fotoğrafı oluşturmak için çok sayıda fotoğraf çekilmelidir. Bu fotoğrafları tek bir geniş fotoğraf haline getirmek için görüntü birleştirme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem sonucunda dikişsiz bir görüntü arzu edilmektedir. Elde edilen görüntü yüksek çözünürlüğe sahiptir ve çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Genellikle görüntü birleştirme işlemine, uzaktan algılama, değişim tespiti, görüntü mozaikleme,

hava tahmini, süper çözünürlüklü görüntü elde etme, tıp, kartoğrafya ve bilgisayar görme gibi alanlarda ihtiyaç duyulmaktadır [2].

Görüntü bölütleme birçok görüntü, video ve bilgisayar görme uygulamalarında çok önemli bir işlemdir. Bir görüntüyü her biri farklı bir gerçek dünya nesnesine karşı gelen farklı bölgelere ayırmak için kullanılır. İçerik analizi ve görüntü yorumlama işlemleri için çok önemli bir adımdır. Bir hava fotoğrafı için de farklı bölgeleri analiz etmek birçok uygulama için çok önemlidir. Bu işlem sonucunda yollar, binalar ve parklar gibi sınıflar ortaya çıkarılmakta ve birçok uygulamada bu özelliklerin anlamsal içerikle birlikte kullanılması sağlanmaktadır.

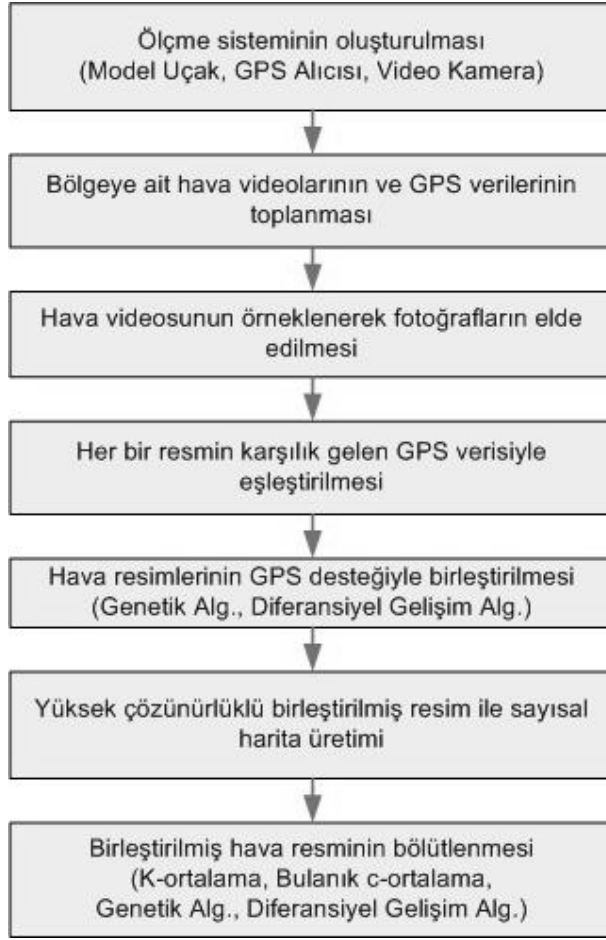
1.1. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, acil durumlarda ulaşılması zor ya da mümkün olmayan alanların hızlı bir şekilde haritalarının üretilmesidir (deprem, yangın, su baskını durumları, radyoaktif ve sağlık riski olan bölgeler, arkeolojik bölgeler ve askeri bölgeler).

Bu tez çalışmasında, bir model hava aracı ile bir bölgeye ait hava videosunun elde edilmesi, videodan elde edilen hava fotoğraflarının küresel konumlama sistemi (Global Navigation System-GPS) verileri yardımıyla yapay zeka optimizasyon teknikleri de kullanılarak birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Böylece bölgenin yüksek çözünürlüklü geniş bir hava resminin elde edilmesi ve bu resmin klasik teknikler ve yapay zeka optimizasyon teknikleri kullanılarak bölütlenmesine dayalı bir sistem önerilmiştir. Tasarlanan sistemin genel işleyişini gösteren akış diyagramı Şekil 1.2’de verilmektedir.

Bu tez kapsamında;

- Hava videolarının ve GPS verilerinin elde edilebilmesi için model uçak kullanılan deneysel bir veri toplama sistemi tasarımı,
- Yapay zeka optimizasyon algoritmaları kullanılarak GPS verileri yardımıyla geniş bir alana ait hava görüntüsünü üreten görüntü birleştirme yazılımı tasarımı,
- Birleştirilen hava görüntülerinin klasik tekniklerle ve yapay zeka optimizasyon teknikleriyle bölütlenmesini sağlayan görüntü bölütleme yazılımı tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.2. Tasarlanan Sistemin Genel İşleyişi

Tez çalışmasının özel amaçları ise şu şekilde özetlenebilir:

- Bir bölgeye ait yüksek çözünürlüklü dikişsiz ve koordinatlı genel hava fotoğrafının elde edilmesi,
- Genel hava görüntüsünü elde eden görüntü birleştirme yazılımında GPS desteği kullanarak işlem zamanının azaltılması,
- GPS desteği ile görüntü birleştirme sırasında oluşabilecek hataların azaltılması,
- Hava görüntüsünün bölütlenmesiyle yollar, binalar, parklar, arabalar ve yeşil alanlar gibi birçok farklı sınıfın oluşturularak görüntünün analize hazır bir hale getirilmesi şeklinde özetlenebilir.

Hava videolarından harita üretimi oldukça düşük maliyetlidir ve elde edilmeleri kolaydır. Bu nedenle oluşturulan sistemde hava videoları tercih edilmiştir.

1.2. Literatür Özeti

Literatürde GPS ve video verisinin birlikte kullanıldığı farklı amaçları olan birçok uygulama mevcuttur. Video verisi ile coğrafi verinin bir arada kullanıldığı uygulamalarda uzaysal konum hakkında daha detaylı bilgi elde etmek için, yer referanslı video verisi ile geleneksel coğrafi veriyi birleştirmek amaçlanmaktadır. 3 boyutlu (3B) dünya koordinatlarıyla ilişkilendirilmiş, yer referanslı video verisi ve coğrafi bilginin GPS kılavuzlu araçlara aktarıldığı birçok uygulama mevcuttur [3]. Video ve coğrafi bilgiyi içeren sayısal harita gibi bileşenlerden elde edilen veriler birbirine adapte edilmiştir. Ayrıca mobil cihazlar aracılığıyla uzak kullanıcılar da ağ yapısına dahil olup, ilgilendikleri nesne ile ilgili bilgiyi isteyebilmektedirler. Bunlar dışında video verisinin coğrafi bilgi tarafından yönetilmesi ve coğrafi içerik tarafından yönetilen dinamik videolar oluşturulması da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda coğrafi içerik, video bilgisinin indekslenmesinde ve coğrafi içeriğe dayalı sorgular yapılmasında kullanılmıştır [4].

Hava videoculuğu düşük maliyetli ölçme sistemlerinin oluşturulmasında kullanılan tekniklerden birisidir. Hava videoculuğunda, taşınabilir bir kamera sistemi hafif bir hava aracına yerleştirilir ve söz konusu alanın video görüntülerinin kaydedilmesi sağlanır. Helikopter tabanlı sayısal video sensörleri ile elde edilen yüksek çözünürlüklü renkli resimler, özelliklerin hem kolay ve hem de ekonomik şekilde elde edilmeleri sağlanmaktadır. Düşük maliyetli, kullanımı kolay, üretimi hızlı ve kaliteli haritalama sistemleri geliştirebilmek istenmektedir. Hava videoculuğu da düşük maliyetli bir sistemdir [5].

Kentsel afet riskinin yönetimi için özellikle kentleşme oranı yüksek ve gelişmekte olan ülkelerde, binalar gibi yaşam alanlarının yersel veritabanlarının güncellenmesi ve oluşturulması hayati öneme sahiptir. Buna rağmen, bu tip yapıların karakteristikleri hakkında bilgi toplanması çok masraflı ve zaman alıcıdır. Daha ekonomik ve etkili bir çözüm arayışı sonucu, satışa hazır, düşük maliyetli ve hızlı bir bina envanteri geliştirilmesi için uzaktan algılama, GPS, dijital video ve CBS birleşimi sistemler geliştirilmiştir [6].

Video aynı zamanda yol yüzeylerinin haritalanması ve incelenmesi için mobil

görüntüleme sistemlerinin gerçekleştirilmesi için de kullanılmıştır. 3B yol yüzeylerinin oluşturulması için GPS, video kamera ve 3B lazer mesafe sensörlerini kullanan sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler yol yüzeylerindeki çatlakların tespit edilmesi ve görselleştirilmesi için kullanılmaktadır [7].

Çevresel izleme uygulamalarında, optik veriler ve coğrafi olarak dünya koordinatlarıyla referanslanmış büyük arazi mozaiklerinin çakıştırılması gerekmektedir. Görüntü çakıştırma tek başına kullanıldığında, kesintisiz mozaikler elde edilir. Ancak bu veriler, hatanın toplanarak artmasından dolayı coğrafi olarak kesin ve doğru değildir. 3B rekonstrüksiyon veya karmaşık küresel çakıştırma gerektirmeyen iki farklı veri kaynağını birleştirerek kesintisiz ve yersel referanslı mozik eldesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Gerçek hava video resimleri ile yapılan deneyler, önerilen algoritmaların önemli çevresel uygulamalarda pratik olduğunu göstermektedir [8].

Araçların otomatik navigasyonu için video, GPS ve sayısal harita kullanımını içeren uygulamalar mevcuttur. GPS'in pozisyonlama hatalarını ortadan kaldırmak için, video kamera, ultrasonik sensorler ve 3B lazer mesafe tarayıcıları gibi çevresel algılama sistemleri kullanılmaktadır. 3B haritadan 3B çevresel bilgi elde edilmekte ve GPS pozisyon hatalarını düzeltmek için koordinatlar görüntü işleme sistemlerine iletilmektedir. Görüntü işleme sistemleri, aynı zamanda engellerin tespiti için de kullanılmaktadır. 3B lazer mesafe tarayıcıları engellerin hızlı ve kesin olarak tespiti için kullanılmaktadır. Böylece çoklu sensörler kullanılarak hataların minimize edilmesi amaçlanmakta ve daha doğru görsel verilerin elde edilmesi sağlanmaktadır [9].

Bir çok kameradan veya bir tek hareketli kameradan elde edilen verilerin GPS gibi algılayıcılardan elde edilen harici oryantasyon verisi ile 3B bilgi içeren görüntülerle birleştirilmesi sağlanmaktadır. Her iki durumda da, üst üste binen sanal bir 2B kamera dizisi sahnenin (nesnenin) tümünün elde edilmesi için oluşturulmaktadır [10].

Görüntü bölütleme çalışmamızın önemli adımlarından biridir. Görüntü bölütleme çok eskiden beri uygulanan bir görüntü analizi tekniğidir ve literatürde konuyla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Görüntü piksellerini otomatik olarak farklı homojen gruplara ayırmak için parçacık sürü algoritması tabanlı bölütleme algoritmaları önerilmiştir.

Mevcut görüntü bölütleme tekniklerine karşı bölütleme için uzaysal bilgi üyelik fonksiyonuna dahil edilmiştir. Uzaysal fonksiyon her bir piksel komşuluğunun üyelik fonksiyonunun toplamıdır. Bu tip uygulamaların, görüntüdeki bölümlerle ilgili ön bilgiye ihtiyaç duymamaları ve mevcut yöntemlerde bulunan gürültüye göre çok daha homojen bölgeler elde etmeleri gibi avantajları sıralanmaktadır [13,14].

Optimizasyon algoritmalarından diferansiyel gelişim algoritmasının sahip olduğu kolaylık, verimlilik, işlem basitliği ve küresel optimuma yakınsama gibi yetenekler görüntü bölütleme probleminin çözümüne taşınmıştır. Görüntü bölütlemesinde kullanılan klasik tekniklerden olan K-ortalama bölütleme algoritmasının performansı ile diferansiyel gelişim algoritmasının performansı karşılaştırılmış ve test görüntülerinde farklı sınıf sayıları ile elde edilen sonuçlar tartışılmıştır [15].

Bir parametrik olmayan danışmansız yapay sinir ağları olan Kohonen kendinden organize harita (SOM) ve hibrit genetik algoritma (HGA) kullanılarak çoklu bileşim bir görüntü bölütleme yöntemi geliştirilmiştir. Görüntüde bulunan özelliklerin tespiti için SOM kullanılmış ve daha sonra HGA kullanılarak bir ön bilgi olmadan görüntü homojen bölümlere ayrılmıştır. SOM-HGA yönteminin verimliliğini doğrulamak için farklı uydu görüntüleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir [16].

Tıbbi görüntülerin bölütlenmesi birçok hastalığın tespiti ve değişimlerinin izlenmesi açısından önemlidir. Tıbbi görüntülerdeki anormalliklerin tespiti ve tanımı için yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritmanın kullanıldığı sistemler önerilmiştir. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri bulanık sinir ağları adı altında tek bir sistemde birleştirilmiştir. Daha sonra genetik algoritma bu ağı eğitmek amaçlı kullanılmıştır. Bölgelerin çıkarımı tamamlandıktan sonra bulanık sinir ağları şüpheli bölgeleri tespit etmektedir. Bazı beyin görüntüleri üzerinde algoritmanın verimliliği deneysel sonuçlarla gösterilmiştir. Yine bir başka uygulama da hastalıkların tespiti ve değişiminin izlenmesi amacıyla MR görüntüleri sınıflandırılmış ve beyindeki birçok farklı bölgenin algılanması için yapay sinir ağları kullanılmış ve piksel değerleri giriş olarak YSA'ya verilmiştir [17-19].

Hava görüntülerinin de bölütlendiği uygulamalar vardır. Bu işlem sonucunda yollar,

binalar, parklar ve diğ er arazi özelliklerinin tespiti sağlanmaktadır. Bu  zelliklerin anlamsal içerikle birlikte kullanılması bilginin önemini daha da artırmaktadır. Hava fotoğraflarının bölütlendiği uygulamalarda da genetik algoritma, yapay bağışıklık algoritması, bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi zeki tekniklerden faydalanılmıştır [2,20].

Bunun yanında literatürde video bölütleme çalışmaları da mevcuttur. Bir gerçek zamanlı ve güvenilir otomatik video bölütleme sıkıştırma, iletim ve hareket gibi birçok bilgisayar görme uygulamasında önemli bir problemidir. E ik değerlerinden faydalanılarak homojen bölgeler oluşturulmaktadır. Her bir bölgenin homojenliği renk özellikleri ile belirlenmektedir [21].

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu çalışmada küresel navigasyon uydu sistemleri ile ilgili genel bilgiler Bölüm 2’de verilmiştir. Bölüm 3’te sayısal video ve görüntü işleme konularına genel olarak değinilmiş, görüntü çakıştırma, görüntü birleştirme ve görüntü bölütleme işlemleri anlatılmıştır. Gelişime dayalı yapay zeka optimizasyon algoritmalarına Bölüm 4’te değinilmiştir. Bölüm 5’de önerilen yaklaşım ve gerçekleştirilen uygulama sunulmuştur. Son olarak elde edilen sonuçlar Bölüm 6’da verilmiştir.

2. BÖLÜM

KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMLERİ

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri, her geçen gün gelişen ve artık modern toplumlarda yaşamın bir parçası olmaya başlayan, anında ve sürekli konum, hız ve zaman bilgisi sağlayan sistemlerdir. Bu bölümde küresel navigasyon uydu sistemleri (Global Navigation Satellite Systems-GNSS) ve bu sistemlerden en çok kullanılan küresel konumlama sistemi (GPS) hakkında genel bilgiler verilmiştir.

2.1. Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri

GNSS, küresel kapsamda konumlandırma sağlayan uydu navigasyon sistemleri için kullanılan genel bir terimdir. GNSS, bir görüş hattı boyunca uydulardan gönderilen zaman sinyallerini kullanarak küçük elektronik alıcılar ile birkaç metre doğrulukta konum (boylam, enlem, yükseklik) belirlemeye olanak sağlar. Bilimsel deneyler için yeryüzünde sabit noktalarda bulunan alıcılar referans olarak hassas zamanı hesaplamakta kullanılabilir.

Küresel navigasyon uydu sistemleri her geçen gün daha gelişmekte ve artık modern toplumlarda yaşamın bir parçası olmaya başlamaktadır. Uydu navigasyon sistemlerindeki tekne ve denizcilik navigasyonu, uçak ve helikopter navigasyonu, seyahat sırasında yol rehberliği, motorlu araçlarda hız tespiti, karada veya denizde sis, karanlık, fırtına gibi durumlarda en yakındaki yerleşim birimi veya kıyının tespit edilmesi ve su pompası montajı gibi yükseklik bilgisinin değerli olduğu durumlarda iki nokta arasında yükseklik farkı tayini gibi birçok uygulama günlük yaşantımızda çok önemli bir rol oynamaktadır.

Mevcut GNSS sistemleri; Amerika Birleşik Devletleri'nin GPS (Global Positioning

System) ve Rusya'nın GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) sistemleridir. GLONASS sisteminin tam olarak çalışabilmesi için gerekli düzenlemeler yapılmaktadır. Bu iki sisteme ek olarak, Avrupa'nın GALLIEO sistemi de bulunmaktadır. Ancak bu sistem tam kapasitesine 2010 yılında erişecektir. GNSS uydu ağlarının sayısının artması, uydularda kullanılan modülasyon türlerindeki gelişmeler ile birlikte kullanılan matematiksel algoritmalar konum kestirimindeki duyarlılığı arttırmaktadır [22].

2.2. Küresel Konumlama Sistemi (GPS)

GPS U.S Savunma Bakanlığı'nın NAVSTAR uydu programı altında geliştirdiği uydu tabanlı navigasyon sisteminin bir parçasıdır [23,24]. Elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının, uydu sinyalleri yardımıyla:

- Herhangi bir yer ve zamanda,
- Her türlü hava koşullarında,
- Global bir koordinat sisteminde,
- Yüksek duyarlılıkta,
- Ekonomik olarak,
- Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren,

bir radyo navigasyon sistemidir.

GPS'in kullanım alanları çok genel olarak iki ana başlık altında toplanabilir [25]:

Askeri Kullanım Alanları; kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, arama-kurtarma, hedef bulma, füze güdümü, INS sistemlerine destek ve uçaklarda görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş kalkış gibi.

Sivil Kullanım Alanları; kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçmeler, kadastral ölçmeler, kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar, yerel ve global deformasyon ölçmeleri, araç takip sistemleri, uçakların, görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş kalkışı, aktif kontrol ağları, CBS veri tabanlarının geliştirilmesi, turizm, tarım, ormancılık, spor, asayiş ve hidrografik ölçmeler gibi [25].

Tam işlevsel GPS, her birinde 4 veya daha fazla uydusu olan 6 dairesel yörünge

etrafında neredeyse düzgün şekilde yayılmış 24 veya daha fazla aktif uyduyu kapsar. Yörüngeler ekvatora göre 55° eğim açısıyla yerleştirilmiştir ve her biri diğerlerinden 60° 'nin katları şeklinde yukarı doğru ayrılmıştır. Yörüngeler yerdurağan değildir ve 26,560 km yarıçaplarla ve yarım yıldız günü ($\approx 11.967s$) yörüngesel peryotlarla neredeyse daireseldir. Teorik olarak 3 ve daha fazla GPS uydusu dünya yüzeyinde birçok noktadan daima görülebilir olacaktır. 4 veya daha fazla GPS uydusu dünya yüzeyindeki herhangi bir yerdeki gözlemcinin konumunu belirlemek için günde 24 saat kullanılabilecektir [26].

Her bir GPS uydusu, uydular tarafından iletilen sinyallerin zamanlama bilgisini sağlamak için bir sezyum ve/veya rubidyum atomik saati taşımaktadır. Her bir uydu saati için dahili saat doğrulama sağlanmaktadır. Her bir GPS uydusu iki yayılı spektrum iletmektedir; taşıyıcı frekansı $f_1 = 1575.42$ MHz olan L_1 sinyali ve taşıyıcı frekansı $f_2 = 1226.6$ MHz olan L_2 sinyali. Bu taşıyıcı frekanslar $f_0 = 1.023$ MHz merkez frekansının $f_1 = 1540f_0$, $f_2 = 1200f_0$ şeklinde çarpanlarıdır. Her bir uydudan gelen L_1 sinyali ikili faz kaydırmalı anahtarlama kullanmakta ve dik fazlarda iki PRN kod tarafından modüle edilmektedir. Bu kodlar C/A kod ve P kod olarak gösterilir. Her bir uydudan gelen L_2 sinyali sadece P kodu tarafından modüle edilir [26,27,28].

İki farklı taşıyıcı sinyali olan L_1 ve L_2 'nin kullanılmasının birtakım avantajları vardır. Gecikme, yaklaşık olarak sinyal frekansı f 'nin karesinin tersiyle değiştiğinden dolayı (gecikme $\propto f^{-2}$), iki taşıyıcı frekans arasındaki ölçülebilir farksal gecikme her bir taşıyıcının gecikmesini telafi etmekte kullanılabilir [29].

PRN kodları bilgisi, kullanıcılara aynı taşıyıcı frekanstaki çoklu GPS uydu sinyallerine bağımsız erişim izni verir. Belirli bir GPS uydusundan iletilen sinyal o uydu için PRN kodunu üreterek ve eşleştirerek veya ilintilendirerek seçilebilir. Tüm PRN kodları yeryüzündeki gözlemcilerin taşıdığı GPS uydu sinyal alıcıları tarafından bilinir, üretilir veya depolanır. Her bir GPS uydusu için P kodu veya doğruluk kodu olarak da adlandırılan ilk PRN kodu $10f_0 = 10.23$ MHz frekanslı nispeten uzun ve hassas bir koddur. Her bir GPS uydusu için C/A kodu veya açık kod olarak da adlandırılan ikinci PRN kodu, uydu sinyal edinimini kolaylaştırmak için tasarlanmıştır. Nispeten daha kısadır ve saat frekansı $f_0 = 1.023$ MHz'dir [26].

Almanak verileri efemeris ve saat parametrelerinin belirli bir kısmını kapsamaktadır. Amacı, GPS alıcısının ölçüye başlamak için ilk açılması anında süratli bir şekilde uydulara kilitlenebilmesi için gerekli olan doğruluğu oldukça düşük uydu koordinatlarını sağlamaktır. Ayrıca ölçü planlamalarında uydu görünürlük grafiklerinin çizilmesinde de kullanılmaktadır. Almanak verileri her uydu tarafından yayınlanmakta ve içerisinde tüm uydulara ait yaklaşık konum bilgileri bulunmaktadır. Almanak verileri navigasyon mesajının iki ve üç nolu alt bölümlerinde yayınlanan bilgilerin yalnızca bir kısmı olup doğruluğu çok düşük olmaktadır. Almanak verileri de Kontrol Bölümü tarafından en az 6 günde bir güncelleştirilmekle birlikte (eğer uydularda bir değişme ya da bozulma olmazsa) uzun bir süre için geçerli olmaktadır. Mevcut GPS uyduları için bu süre 180 gündür [25].

GPS sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uydulardan oluşan Uzay Bölümü, tüm sistemi yöneten Kontrol Bölümü ile hava, deniz ve karada kullanılan platformlardaki alıcıların bulunduğu Kullanıcı Bölümüdür.

Uzay Bölümü: 6 dairesel yörünge etrafında düzgün şekilde yayılmış 21 esas ve 3 yedek olmak üzere toplam 24 uydudan oluşmaktadır. Yörüngeler ekvatora göre 55° eğim açısıyla yerleştirilmiştir ve yörüngeler dünya yüzeyinin 20.200 km üzerinde bulunurlar. Bu yükseklikte bulunan uydular oldukça geniş bir görüş alanına sahiptirler. Uydular saatte 7.000 mil hızla hareket ederler ve 11 saat 58 dakikada dünya çevresinde bir tam devir yaparlar. Yeryüzünde herhangi bir yer ve zamanda gözlenebilecek en az uydu sayısı 4 tür ve her bir uydu yaklaşık 5 saat ufuk hattı üzerinde kalır. Güneş enerjisi ile çalışırlar ve en az 10 yıl kullanılmak üzere tasarlanmışlardır [30].

Uyduların her biri, iki değişik frekansta ve düşük güçlü radyo sinyalleri yayınlamaktadır. Sivil GPS alıcıları taşıyıcı frekansı $f_1 = 1575.42$ MHz olan L_1 sinyalini ve ABD Savunma bölümü alıcıları taşıyıcı frekansı $f_2 = 1226.6$ MHz olan L_2 sinyalini kullanır. GPS sinyalleri binalardan yansıdığı için şehir içlerinde araziye oranla hassasiyeti azalır. Yeraltına kazılan tünellerde ise sinyal elde edilemez. GPS uydularından temiz sinyal alabilmek için açık bir görüş alanı gereklidir. Hatalı sinyallerin elde edilebileceği ya da hiç sinyal elde edilemeyen bölgelerde kullanılmak

üzere geliştirilen Diferansiyel GPS'ler tarafından bu hatalar en aza indirilerek daha hassas bir yer ölçümü yapılabilir.

Bu yüzden GPS uyduları tarafından gönderilen elektromanyetik dalgalar atmosferden geçerken bükülmeye uğrarlar. L_1 ve L_2 bantları farklı dalga boylarına sahip olduğundan farklı oranda bükülmeye uğradığından aradaki farklılık hesaplanarak atmosferik bozulma engellenerek çok daha hassas bir yer bilgisi hesaplanabilir. Sadece L_1 bandı kullanılarak 98 m hassasiyet elde edilebilirken, L_1 ve L_2 bantlarının ortak kullanımı ile 1 m'nin altında hassasiyete ulaşmak mümkün olmaktadır [30,31].

Her uydu yerdeki alıcının sinyalleri tanımlamasını sağlayan iki adet özel pseudo-random kod (şifrelenmiş rastgele kod) yayınlar. Bunlar Korumalı kod (Protected P code) ve Coarse/Acquisition koddur (C/A code). Bu sinyallerin ana amacı yerdeki alıcının, sinyalin geliş süresini ölçerek uyduya olan mesafesini hesaplamayı mümkün kılmasıdır. Uyduya olan mesafe, sinyalin geliş süresi ile hızının çarpımına eşittir. Sinyallerin kabul edilen hızı ışık hızıdır. Gelen bu sinyal, uydunun yörünge bilgileri ve saat bilgisi, genel sistem durum bilgisi ve iyonosferik gecikme bilgisini içerir. Uydu sinyalleri çok güvenilir atomik saatler kullanılarak zamanlanır [30].

Kontrol Bölümü: Tüm GPS uyduları dünya üzerinde uygun dağılmış, çok hassas saatlerle donatılmış ve konumu iyi bilinen 6 sabit izleme istasyonundan (Havaii, Colorado Springs, Ascension, Diego Garcia, Cape Canaveral, Kwajelin) izlenmektedir. Bu istasyonlardan Colorado Springs ana kontrol istasyonu, diğerleri ise izleme istasyonlarını oluşturmaktadır. Bu istasyonların amacı, günlük olarak uyduların sağlıklı biçimde çalışmaları, toplanan verilerin irdelenmesi ile uydu yörüngelerinin belirlenmesi, uydu saatlerinin düzeltmelerinin hesaplanması ve yeni hesaplanan yörünge saat düzeltmesi ve SA (Selective Availability) etkileri gibi bilgilerin uydulara yüklenmesidir. Uydulara bilgi yükleme işlemleri günde bir yada iki defa yapılmaktadır. Almanak verileri ise efemeris parametrelerinin bir kısmından oluşmaktadır ve 15 efemeris bilgisinin yalnızca 7 tanesini kapsamaktadır. Almanak verileri tüm uyduların yaklaşık konumlarını hesaplamada kullanılmaktadır [31].

Kullanıcı Bölümü: Dünya üzerinde çeşitli amaçlarla GPS kullanarak yerini belirlemek

isteyen kişinin, GPS sinyallerini konum belirlemede kullanabilmek için GPS alıcısına ve anten sistemine ihtiyacı vardır. Dünya yüzeyinde herhangi bir yerdeki gözlemci 4 veya daha fazla GPS uydusuyla günde 24 saat konumunu belirleyebilmektedir [30,31].

2.3. GPS Alıcısı ve Anten Sistemleri

GPS ölçülerinde kullanılan en önemli donanım alıcı ve anten sistemidir. Kullanıcıların sahip olduğu alıcı-anten sistemi özellikleri ve kapasiteleri ölçü planlamasından ölçülerin arazi sonrası değerlendirme işlemlerine kadar tüm aşamaları doğrudan etkilemektedir.

GPS alıcısı temel işlev olarak uydu sinyalini kaydeder. Kaydedilen sinyali işleme tabi tutar ve anlık uygulamalar için koordinat dönüşümleri yapar ve gerektiğinde navigasyon için gerekli bilgileri hesaplar. GPS alıcı anteninin temel görevi uydulardan yayınlanan sinyalleri, çevresindeki objelerden yansıyan sinyalleri ayıklayarak almaktır. Bazı özel tasarımlı antenler bu özelliklere ilave olarak uydulardan gelen sinyallere diğer kaynaklardan karışan sinyalleri de ayıklama özelliğine sahiptir. Alıcı antenleri esas olarak uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgalar içerisindeki enerjiyi alıcı içerisindeki elektronik devrelerde işlenebilecek elektrik akımına dönüştürmektedir. Başka bir ifadeyle, GPS alıcısı anteni uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgaları belirler ve bu dalgalar içerisindeki enerjiyi elektrik akımına dönüştürür, güçlendirir ve alıcı elektrik devrelerine gönderir [25,27].

3. BÖLÜM

SAYISAL VIDEO VE GÖRÜNTÜ İŞLEME

Bu bölümde sayısal görüntü, sayısal video ve görüntü işleme hakkında genel bilgiler verilmektedir. Ayrıca görüntü çakıştırma, birleştirme ve bölütleme işlemleri anlatılacak ve bu işlemlerde kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilecektir.

3.1. Sayısal Görüntü ve Görüntü İşleme

Görüntü terimi, x ve y uzaysal koordinatlara ve f 'de görüntünün (x, y) noktasındaki gri seviye değeriyle orantılı olan bir değere karşı gelmek üzere, iki boyutlu ışık yoğunluk fonksiyonu $f(x, y)$ 'ye karşılık gelmektedir. Bir sayısal görüntü $f(x, y)$ şeklindeki uzaysal koordinatlarla ve o noktadaki parlaklıkla ifade edilmektedir. Satır ve sütunları resmin bir noktasına ve o noktadaki değere, o satır ve sütundaki elemanı gösteren bir matris gibi düşünülebilir. Her bir satır ve sütunun karşılık geldiği bir elemana piksel adı verilir.

Görüntü işleme, mevcut görüntüleri işlemek yani mevcut resim ve grafikleri değiştirmek ya da iyileştirmek için kullanılmaktadır. Sayısal görüntü işleme çok geniş donanım, yazılım ve teorik altyapı alanını kapsamaktadır.

Görüntü işlemedeki ilk adım sayısal görüntü elde etme aşamasıdır. Bunu yapmak için bir sensör ve sensör çıkışındaki işaretinde sayısallaştırılması gerekir. Kamera yada görüntüleme sensörünün çıkışı dijital formda değilse, bu sinyal analog-dijital dönüştürücü vasıtasıyla sayısallaştırılmaktadır. Sensörün özelliği ve oluşturduğu görüntü uygulamaya göre belirlenmektedir. Sayısal görüntüyü elde ettikten sonra bir sonraki adım işlem öncesi aşamasıdır. Ön işleme aşamasında, takip eden aşamalarda daha iyi sonuç elde edebilmek için, resim üzerinde iyileştirme işlemleri

gerçekleştirilmektedir. Bunlar, kontrast genişletme ve gürültü yok etme gibi işlemlerdir. Daha sonraki aşama olan gösterim belirleme aşamasında işlenmemiş veri takip eden aşamalarında değerlendirilebilecek hale getirilmektedir. Son olarak tanıma ve yorumlama aşaması gelmektedir. Bu aşamada sonuçlar değerlendirilmekte ve yapılmak istenen işleme göre kararlar alınmaktadır.

3.2. Sayısal Video

Hareketli bir sahneyi temsil eden sıralı görüntülerin elektronik olarak yakalanması, kaydedilmesi, işlenmesi, depolanması, iletilmesi ve yeniden elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir. İlk olarak televizyon sistemleri için geliştirilen video için daha sonra birçok format geliştirilmiştir.

Bir video sinyali bir dinamik 3B sahneden bir video kameranın görüntü düzlemine izdüşürülmüş 2B görüntüler dizisidir. Bir video çerçevesinde bir noktadaki renk değeri gözlemlenen sahnede bir 3B noktasındaki yayılan veya yansıtılan ışığı gösterir. Bir dijital video ya bir raster tarama örneklemeyle ya da doğrudan dijital video kamera kullanılarak elde edilebilir. Hali hazırda tüm dijital kameralar CCD sensörleri kullanmaktadır. Analog kameralarda olduğu gibi bir dijital kamera görüntülenen sahneyi ayrık çerçeveler olarak örnekler. Her bir çerçeve bir CCD dizisinin çıkış değerlerinden oluşur ki bunlar doğal olarak yatayda ve dikeyde ayrıktır [32].

Hareketli görüntülerin depolanması için birçok farklı biçim vardır. DVD, QuickTime ve MPEG-4 dijital video biçimleri örnek olarak verilebilir. Videonun kalitesi tercih edilen yakalama ve depolama yöntemine bağlıdır. Örneğin dijital televizyon önceki televizyon formatlarına göre daha kalitelidir ve artık televizyon videoculuğu için bir standarttır. 3B-video 20. yüzyılın sonlarında üç boyutta dijital video geliştirilmiştir. 3B-video akışları yakalamak için gerçek zamanlı derinlik ölçümü için birden fazla kamera kullanılmıştır [33,34].

Çerçeve hızı (frame per second-fps), videodaki her bir birim zamandaki sürekli görüntülerin sayısıdır. Bu değer yeni kameralarda 120 fps ve daha fazla olabilmektedir. Standart olarak genelde 25 fps seçilmektedir. Akıcı bir hareketli görüntü elde etmek için bu değer en az 15 fps olmalıdır. Geçmeli tarama, sınırlı bant genişliğinde iyi bir görsel

kalite elde etmek için geliştirilen bir tekniktir. NTSC, PAL, SECAM gibi formatları vardır.

Çerçeve oranı, video ekranlarının ve video resim elemanlarının boyutlarını tanımlar. Geleneksel televizyonların ekran oranı 4:3 veya 1,33:1'dir. Yüksek netlikteki standartlar için 16:9 veya 1,78:1'dir. Piksel tarafından temsil edilecek olan farklı renkler piksel başına düşen bit sayısına bağlıdır. Bit hızı, video akışı içindeki bilgi içeriği hızının ölçüsüdür. Yüksek bit hızı yüksek video kalitesi sağlar: VideoCD - 1Mbit/s, DVD - 5Mbit/s, HDTV - 20 Mbit/s gibi [33,34].

3.3. Görüntü Çakıştırma ve Birleştirme

Görüntü çakıştırma algoritmaları, değişik derecelerle üst üste binen görüntüler arasındaki benzerlik ilişkilerini ortaya çıkarabilir. İdealde video stabilizasyonu, özetleme ve panoramik mozaiklerin üretilmesi gibi uygulamalar için gerekli bir yöntemdir. Görüntü birleştirme algoritmaları çakıştırma algoritmaları tarafından üretilen hizalama tahminlerini alır ve değişik görüntü ışıktandırılmalarına, ıraklık açısı ve bölge hareketlerinden kaynaklanan bulanıklaşma ve gölgeleme gibi potansiyel problemlere dikkat ederek kusursuz şekilde görüntüleri harmanlar [35].

Görüntü çakıştırma, bir bölgeye ait farklı zamanlarda, farklı görüş açılarından veya farklı sensörlerden alınmış iki veya daha fazla görüntünün üst üste bindirilmesi işlemidir. Geometrik olarak, referans görüntüyü ve diğer görüntüyü hizalar. Görüntü çakıştırmada farklı veri setleri tek bir koordinat sistemine dönüştürülür ve farklı ölçümlerden elde edilen verilerin karşılaştırılması veya birleştirilmesi açısından önemlidir [36]. Görüntüler arasındaki farklılıklar farklı görüntüleme koşullarından kaynaklanır. Görüntü birleştirme, değişim tespiti ve çok kanallı görüntü onarımı gibi sonuç bilgisi farklı veri kaynaklarının kombinasyonlarından elde edilen tüm görüntü analiz işlemlerinde, görüntü çakıştırma çok önemli bir adımdır. Genellikle görüntü çakıştırma işlemine, uzaktan algılama, değişim tespiti, görüntü mozaikleme, hava tahmini, süper çözünürlüklü görüntü elde etme, tıp, kartoğrafya ve bilgisayar görme gibi alanlarda ihtiyaç duyulur [37].

Genelde görüntü çakıştırma uygulamaları görüntü elde etme şekillerine göre gruplara

ayrılır Aynı bölgenin farklı görüş açılarından elde edilmiş görüntüleri karşılaştırılabilir. Amaç daha büyük 2B görüş elde etmek ve bölgenin 3B gösterimini elde etmektir. Uzaktan algılamada, incelenen bölgenin görüntülerinin mozaiklenmesi ve bilgisayar görmede; yeniden şekillendirme, stereo görüntüden şekil elde etme gibi uygulamaları mevcuttur. Aynı bölgenin farklı zamanlarda ve genelde farklı koşullarda elde edilmiş görüntüleri karşılaştırılabilir. Amaç birbirini izleyen görüntülerde değişim tespiti izlemek ve değerlendirme yapmaktır. Aynı sahnenin farklı sensörlerden elde edilen görüntüleri karşılaştırılabilir. Daha detaylı sahne gösterimi elde etmek için farklı kaynaklardan elde edilen bilgilerin birleştirilmesi amaçlanır. Uzaktan algılamada, farklı sensörlerden farklı özellikleri olan bilgilerin birleştirilmesi, daha iyi uzaysal çözünürlük istenen pankromatik görüntüler, daha iyi tayf çözünürlüğü için çoklu tayf görüntüler, gölge ve parlama olmayan radar görüntüleri elde etme mevcut uygulama örnekleridir. Bir bölgeye ait görüntüler ve bölgenin modeli karşılaştırılabilir. Model haritalar veya CBS’de sayısal yükseklik modelleri gibi bölgenin bilgisayarda bir gösterimi olabilir. Uzaktan algılamada, CBS katmanları veya haritalarla hava veya uydu fotoğraflarının karşılaştırılması; bilgisayar görmede, gerçek zamanlı görüntülerde hedef şablon eşleştirme, otomatik kalite kontrolü; tıbbi görüntülemede, hasta görüntülerinin dijital omurlarla karşılaştırılması, numune sınıflandırılması gibi uygulamaları mevcuttur [37].

Görüntülerin farklılığından ve meydana gelen çeşitli bozulmalardan bağımsız tüm karşılaştırma işlemleri için evrensel bir metot geliştirmek mümkün değildir. Tüm metotlar, istenen karşılaştırma hassasiyeti ve uygulama bağımsız veri özellikleri için sadece görüntüler arasındaki geometrik bozulmaları değil radyometrik bozulmaları ve gürültü bozulmalarını da dikkate almalıdır.

Bununla birlikte, çoğu karşılaştırma yöntemi aşağıdaki dört adımı içermektedir [36,37]:

- Özellik tespiti, kolaylıkla ayırt edilebilen ve dikkat çeken nesneler (yakın sınır bölgeleri, kenarlar, dış hatlar, doğru kesişimleri, köşeler vb.) el ile veya tercihen otomatik olarak belirlenmesidir. Daha sonraki işlemler için bu özellikler literatürde kontrol noktaları olarak adlandırılan nokta sembolleri ile temsil edilebilir.
- Özellik eşleştirme, algılanan görüntü ile referans görüntü arasında tespit edilen özelliklerdeki benzerliklerin saptanmasıdır. Özellikler arasındaki uzaysal

benzerliklerle birlikte farklı özellik tanımlayıcılar ve benzerlik ölçütleri kullanılır.

- Dönüşüm modeli kestirimi, algılanan görüntü ile referans görüntüyü hizalayan haritalama fonksiyonlarının tipleri ve parametrelerinin kestirilmesidir. Haritalama fonksiyonlarını parametreleri saptanan özellik benzerlikleri ile hesaplanır.
- Görüntüyü tekrar örnekleme ve dönüşüm, algılanan görüntü haritalama fonksiyonları ile dönüştürülmesidir. Tamsayı olmayan koordinatlardaki görüntü değerleri uygun interpolasyon teknikleri ile hesaplanır.

Her bir çakıştırma adımının gerçekleştirildiği tipik problemler vardır. İlk olarak, verilen işlem için hangi tip özelliklerin uygun olduğu belirlenmelidir. Özellikler görüntüde kolayca ayırt edilebilen veya belirlenebilen nesneler olabilir. Genelde özelliklerin fiziksel olarak yorumlanabilmesi istenir. Görüntüler tam olarak aynı sahneyi kapsamadığı veya diğer bazı istenmeyen değişimlerin olduğu durumlarda bile algılanan görüntü ve referans görüntü kadar ortak eleman içermelidir [38].

Özellik eşleştirme adımında, yanlış özellik tespitinden dolayı problemler ortaya çıkabilir. Fiziksel olarak benzeyen özellikler farklı görüntüleme koşullarına veya sensörlerin farklı tayf hassasiyetine bağlı olarak farklılık gösterebilir. Özellik tanımlama ve benzerlik ölçütü seçimlerinde bu faktörler düşünülmelidir. Özellik tanımlayıcılar bu gibi bozulmalara karşı değişmez olmasının yanında farklı özellikleri de ayırt edebilir olmalıdır Ayrıca önemsiz beklenmeyen özellik değişmelerine ve gürültüye karşı da kararlı olmalıdır [39].

Haritalama fonksiyonları tipleri görüntü elde edilmesi ve beklenen bozulmalarla ilgili ön bilgiye göre seçilmelidir. Bir ön bilgi olmaması durumunda model mümkün olan tüm bozulmalara karşı esnek ve genel olmalıdır. Özellik tespiti metodunun hassasiyeti, özellik eşleştirme kestiriminin doğruluğu ve yaklaşık hata da dikkate alınmalıdır. Dahası çakıştırma tarafından görüntüler arasındaki hangi farklılıkların yok edileceğine karar verilmelidir. Eğer amaç değişim tespiti ise aranan değişikliklerin yok edilmemesi istenir. Bu çok önemli ve zor bir iştir [40,41].

Uygun tekrar örnekleme tekniğinin seçimi arzu edilen interpolasyon hassasiyeti ve hesaplama kompleksliği arasında bir tercih yapmaya bağlıdır. En yakın komşu veya bilineer interpolasyon çoğu durumda yeterli olmasına rağmen, bununla birlikte bazı uygulamalar çok daha hassas metotlar gerektirmektedir.

Kusursuz foto-mozaiikler oluşturan birleştirme algoritmaları en eski ve en çok kullanılan bilgisayar görme algoritmaları arasındadır. Görüntü birleştirme algoritmaları, bugün sayısal haritaların ve uydu fotoğraflarının üretilmesi için kullanılan yüksek çözünürlüklü foto-mozaiiklerini üretir [42-45].

Fotogrametri alanında, gözlemlenmiş yer kontrol noktaları temelli genelde manuel yoğun teknikler veya manuel çakıştırılmış düğüm noktaları, hava görüntülerinin büyük ölçekli foto-mozaiiklerle çakıştırılmasında uzun süre kullanılmıştır [46-49]. Bu alandaki anahtar ilerleme, tüm kamera pozisyonları için eş zamanlı olarak çözüm sağlayan bağlantı ayarlama algoritmalarının geliştirilmesidir. Böylece global olarak tutarlı çözümler sağlanmıştır [50]. Foto-mozaiik üretiminde görünür dikişlerin yok edilmesi yıllardır birçok teknik geliştirilen ve tekrarlanan bir problemidir [51-55].

Fotoğrafçılıkta, bu yüzyılın dönüşünde çok geniş açılı panoramalar çekmek için, filmi bir dikey yarık şeklinde açarak onun eksenini etrafında dönebilen özel kameralar geliştirilmiştir [56]. 1990'ların ortalarında sıradan el kameralarından geniş açılı dikişsiz panoramaların yapımı için görüntü hizalama teknikleri uygulanmaya başlamıştır [57-60]. Bu alandaki en son çalışmalar, ıraklık açısı ve nesne hareketlerinden kaynaklanan gölgeleri ortadan kaldıran ve farklı karelerle uğraşarak global olarak tutarlı hizalamaları [61-63] hesaplama ihtiyacını göstermektedir [55,57,64,65].

Görüntü çakıştırma işleminde, birçok algoritma piksel-piksel farklılıkları minimize etmeye çalışırken, bir grup farklı algoritma da bir özellik kümesini çıkarmakta ve daha sonra bunları diğerleriyle karşılaştırmaktadır [66-71]. Eğer doğru şekilde uygulanırsa özellik temelli yaklaşımların daha güçlü ve daha hızlı olması gibi avantajları vardır. Bununla beraber en büyük avantajları sıralanmamış bir resim kümesinin içinden ortak olan noktaları otomatik olarak bulabilmeleridir [71].

Görüntü çakıştırma ve birleştirme işlemlerinde bazı önemli problemler vardır. Görüntü çakıştırma için ilk önce bir görüntünün piksel koordinatlarını diğer bir görüntünün piksel koordinatlarıyla ilişkilendiren uygun matematiksel modelin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra çeşitli görüntü çiftleriyle ilişkili doğru hizalamaların bir şekilde doğru olarak kestirilmesi gerekmektedir. Bir panoramada çoklu görüntüler olduğunda, global olarak tutarlı hizalamalar kümesi hesaplamak ve hangi görüntülerin üst üste bindiğini verimli bir şekilde bulmak için teknikler geliştirilmelidir.

Görüntü birleştirme için, ilk önce çakıştırılmış görüntülerin yerleştirileceği bir sonuç birleşim yüzeyi seçilmelidir. Ayrıca ıraklık açısı, lens bozulması, sahne hareketi ve poz farklılıklarının varlığında bile üst üste binmiş görüntülerin dikişsiz olarak harmanlanması için algoritma geliştirilmesi gereklidir.

Yapılması gereken ilk işlem görüntüler arasındaki çakıştırmayı tanımlayan bir hareket modelinin seçilmesidir. Hareket modellerine bölüm 3.3.1’de değinilmiştir.

3.3.1. Hareket Modelleri

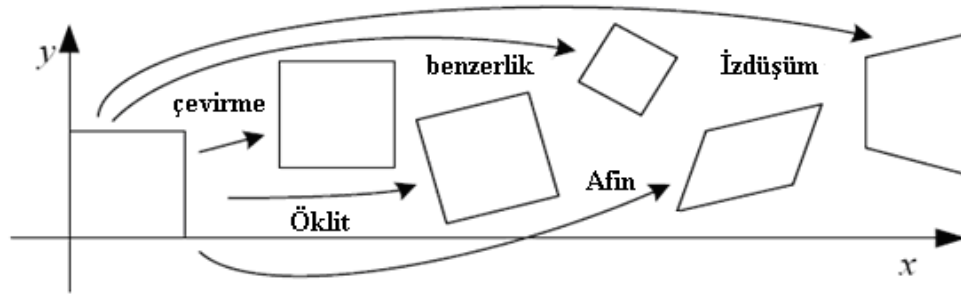
Görüntüleri çakıştırmadan önce bir görüntüden diğerine piksel koordinatları haritalayan matematiksel bağıntıların kurulması gereklidir. Böyle parametrik hareket modellerinin basit 2B transformlardan düzlemsel perspektif modellere, 3B kamera rotasyonlarından lens bozulmalarına ve düzlemsel olmayan yüzeylerin haritalanmasına kadar çeşitli türleri mevcuttur [60].

Farklı çözünürlüklerdeki görüntülerle çalışmayı kolaylaştırmak için bilgisayar grafikte kullanılan normalize edilmiş cihaz koordinatlarının bir türü seçilmiştir [35]. Tipik bir görüntü ve video çerçevesi için piksel koordinatları aralığı uzun eksen boyunca $[-1,1]$, kısa eksen boyunca $[-a,a]$ seçilmiştir. Burada a görüntü oranının (aspect ratio) tersidir. Denklem 3.1 W genişlikli ve H yükseklikli bir görüntü için $\bar{x} = (\bar{x}, \bar{y})$ tamsayı piksel koordinatlarını $x = (x, y)$ normalize edilmiş cihaz koordinatlarına haritalamaktadır.

$$x = \frac{2\bar{x} - W}{S} \quad \text{ve} \quad y = \frac{2\bar{y} - H}{S} \quad S = \max(W, H) \quad (3.1)$$

Eğer bir piramit içindeki resimlerle çalışılıyorsa her bir örnekleme adımından sonra S değerini $\max(W, H)$ ’dan hesaplamak yerine (W, H) değerleri kararsız bir davranış gösterene kadar, S değerinin yarısı alınabilir [35].

Koordinat sistemini tanımlayabilmek için koordinatların nasıl dönüştürüldüğü önemlidir. En basit dönüşümler 2B düzlemde gerçekleştirilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. 2B Düzlemde Dönüşümler [35]

Çevirme: 2B çevirmeler $x' = x + t$ veya $x' = [I \ t] \tilde{x}$ şeklinde yazılabilir. Burada I (2x2) birim matrisi ve $\tilde{x} = (x, y, 1)$ homojen ve izdüşümsel 2B koordinatları belirtmektedir [35].

Dönderme + Çevirme: Bu dönüşüm öklit mesafesi korunduğu için 2B öklit dönüşümü olarak bilinir. $x' = Rx + t$ olarak yazılabilir ve Denklem 3.2’ de gösterilmiştir [35].

$$x' = [R \ t] \tilde{x} \quad x' = [R \ t] \tilde{x} \quad (3.2)$$

Burada R ortonormal dönderme matrisidir ve $RR^T = I$ ve $|R| = 1$. Denklem 3.3’de dönderme matrisi gösterilmektedir.

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Ölçekli Dönderme: Genelde benzerlik dönüşümü olarak bilinir ve bu dönüşüm

$x' = [sRx + t]$ olarak belirtilir. Burada s keyfi seçilmiş bir ölçek faktörüdür ve Denklem 3.4'deki gibi yazılır [35].

$$x' = [sR \ t] \tilde{x} = \begin{bmatrix} a & -b & t_x \\ b & a & t_y \end{bmatrix} \tilde{x} \quad (3.4)$$

Burada $a^2 + b^2 = 1$ 'dir. Bu benzerlik dönüşümü doğrular arasındaki açıları korumaktadır.

Afin: $x' = Ax$ olarak yazılır. Burada A keyfi seçilmiş 2×3 'lük matristir ve Denklem 3.5'de gösterilmiştir. Paralel doğrular afin dönüşümünden sonra paralelliğini korur [35].

$$x' = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} \end{bmatrix} \tilde{x} \quad (3.5)$$

İzdüşüm: Bu dönüşüm genelde perspektif dönüşüm olarak bilinir ve homojen koordinatlar $\tilde{x}$ ve $\tilde{x}'$ üzerinde işlem yapar.

$$\tilde{x}' \sim \tilde{H} \tilde{x} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'da $\sim$ ölçeğe kadar olan eşitliği belirtir ve $\tilde{H}$ keyfi seçilmiş 3×3 'lük bir matristir. $\tilde{H}$ kendi içinde homojen olduğu ve sadece bir ölçeğe kadar tanımlanmıştır. Homojen olmayan sonuç x' elde etmek için sonuç homojen koordinat $\tilde{x}'$ normalize edilmelidir (Denklem 3.7) [35,72]. Perspektif dönüşümler düzgün doğruları korur.

$$x' = \frac{h_{00}x + h_{01}y + h_{02}}{h_{20}x + h_{21}y + h_{22}} \text{ ve } y' = \frac{h_{10}x + h_{11}y + h_{12}}{h_{20}x + h_{21}y + h_{22}} \quad (3.7)$$

Benzer bir hiyerarşi 4×4 dönüşüm matrisleri kullanılarak 3B koordinat dönüşümleri için de mevcuttur. Çevirme, rijit vücut (öklit) ve afin dönüşümleri için 3B eşitlikleri kullanılır [35,73].

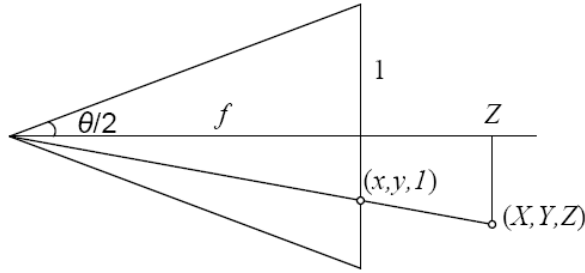
Merkez izdüşümü süreci, 3B izdüşüm düzlemine z eksenine boyunca f mesafesindeki kamera orijinindeki küçük bir delik aracılığıyla $p = (X, Y, Z)$ 3B koordinatları $x = (x, y, 1)$ 2B koordinatlara haritalar (Şekil 3.2). Aralarındaki ilişki Denklem 3.8’de gösterilmiştir.

$$x = f \frac{X}{Z}, \quad y = f \frac{Y}{Z} \quad (3.8)$$

Odak uzaklığı f ile görüş açısı θ arasındaki ilişki Denklem 3.9’daki gibidir:

$$f^{-1} = \tan \frac{\theta}{2} \text{ veya } \theta = 2 \tan^{-1} \frac{1}{f} \quad (3.9)$$

Odak uzaklığı f ’i çok kullanılan 35mm eşdeğerine çevirmek için üstteki sayıyı 1,75 ile çarpmak gerekir (35mm negatif fotoğraf çerçeve eninin yarısı). Piksel koordinatlarına çevirmek için Denklem 3.1.’den hesaplanan $S/2$ ile çarpmak gerekir [35].



Şekil 3.2. Merkez izdüşüm [35].

Bilgisayar görme literatüründe, perspektif izdüşüm son iki elemanını $p = (X, Y, Z, 1)$ homojen 4 vektörü ile değiştiren değiştirme matrisi olarak yazılır ve Denklem 3.10’daki gibi gösterilir [35].

$$\tilde{x} \sim \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} p \quad (3.10)$$

Ekrana ve z tampon koordinatlarına bir ölçekleme ve çevirme ile takip edilir. Bilgisayar görmede z tampon koordinatları iptal edilebilir. Çünkü bunlar bir resim içinde algılanamaz [35].

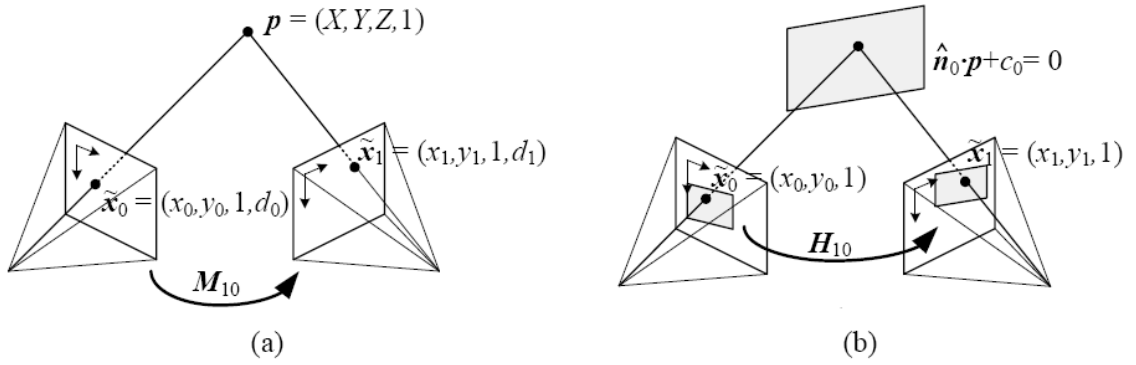
$$\tilde{x} \sim \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} p = [K | 0] p \quad (3.11)$$

Denklem 3.11’de K matrisi, kare olmayan pikselleri, çarpıklıkları ve değişken optik merkez konumunu göz önünde tutan genel bir matristir [73]. Bununla birlikte pratikte düzgün kameralardan elde edilen resimleri birleştirirken yukarıdaki basit odak uzaklığı ölçeklemeyi kullanmak daha kaliteli sonuçlar sağlar.

$p = (X, Y, Z, 1)$ homojen 4 vektörünü $\tilde{x} = (x, y, 1, d)$ özel bir tip homojen vektöre haritalayan bir 4x4 izdüşüm matrisi P seçilir ve Denklem 3.12’de gösterilmiştir [35].

$$\tilde{x} \sim \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} p = Pp \quad (3.12)$$

Şekil 3.3’de 3B nokta koordinatları $(X, Y, Z, 1)$ ve 2B izdüşürülen nokta $(x, y, 1, d)$ arasındaki ilişki ve tüm noktaların ortak bir düzlem $\hat{n}_0 \cdot p + c_0 = 0$ üzerinde olmasından kaynaklanan düzlemsel homografi gösterilmektedir [35].



Şekil 3.3. Bir noktaya iki görüntünün iz düşümü [35].

Rotasyonel Panoramalar, sonsuz uzayda tüm noktaların kameradan çok uzak kabul edildiği saf rotasyon olduğu zaman ilginç bir durum oluşur. $t_0 = t_1 = 0$ olur ve 3×3 'lük basitleştirilmiş homografi elde edilir ve Denklem 3.13'de gösterilmiştir [35].

$$H_{10} = K_1 R_1 R_0^{-1} K_0^{-1} \quad (3.13)$$

$K_k = \text{diag}(f_k, f_k, 1)$ basitleştirilmiş kamera iç parametreleridir [60] ve Denklem 3.14 ve 3.15'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} f_1 & & \\ & f_1 & \\ & & 1 \end{bmatrix} R_{10} \begin{bmatrix} f_0^{-1} & & \\ & f_0^{-1} & \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \sim R_{10} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

3.3.2. Doğrudan (Piksel Temelli) Çakıştırma

Görüntüler arasındaki çakıştırmayı tanımlayan uygun bir hareket modeli belirlendikten sonra, hareket modelinin parametrelerini kestirmek için bazı metotlar tasarlamak gerekmektedir. En basit yaklaşım görüntüleri birbirlerine göre kaydırmak veya çarpıtmak ve piksellerin ne derece uyduğuna bakmaktır. Piksel-piksel eşleştirmeyi

kullanan yaklaşımlar doğrudan metotlar olarak adlandırılır.

Bir doğrudan metodu kullanabilmek için önce görüntüleri karşılaştırmada kullanılacak uygun bir hata metriğinin seçilmesi gerekmektedir. Bu belirlendikten sonra uygun bir arama tekniği tasarlanır. En kolay teknik mümkün olan tüm çakıştırmaları ayrıntılı bir şekilde denemektir. Pratikte bu yöntem çok yavaştır bu yüzden görüntü piramitleri tabanlı hiyerarşik teknikler geliştirilmiştir. Alternatif olarak hesaplamayı hızlandırmak için Fourier transformları kullanılabilir. Çakıştırma işleminde piksel altında hassaslık elde etmek için genelde görüntü fonksiyonunda Taylor seri açılımı temelli artan metotlar kullanılır. Bunlar genelde parametrik hareket modellerine uygulanabilir [35,60].

İki görüntü arasındaki çakıştırmayı saptamanın en kolay yolu bir görüntüyü ilgili diğer görüntüye kaydırmaktır. Ayrık piksel konumlarında $\{x_i = (x_i, y_i)\}$ örneklenmiş olarak verilen bir $I_0(x)$ şablon görüntünün $I_1(x)$ görüntüsünün neresinde konumlandığı bulunmak isteniyor. Bu problemin bir çözümü Denklem 3.16'da bir karesel farkların toplamı fonksiyonunun minimumu şeklinde gösterilmektedir.

$$E_{SSD}(u) = \sum_i [I_1(x_i + u) - I_0(x_i)]^2 = \sum_i e_i^2 \quad (3.16)$$

Burada $u = (u, v)$ yer değıştirmedir ve $e_i = I_1(x_i + u) - I_0(x_i)$ artık hata olarak adlandırılır. şimdilik I_0 'ın parçalarının I_1 'in sınırlarının dışına çıkabilme olasılığı ihmal edilmiştir aksi takdirde görünmez olur. Genelde yer değıştirmede, u kesirli olabilir. Bu durumda $I_1(x)$ imgesine uygun bir ara-değerleme fonksiyonu uygulanmalıdır. Pratikte genellikle bir çift doğrusal ara-değerleyici kullanılır. Fakat çift-kübik ara-değerleme biraz daha iyi sonuçlar sağlayabilir. Her ne kadar ilk olarak renkli görüntülerini farklı bir renk uzayına dönüştürmek ya da sadece parlaklığı kullanmak mümkün olsa da, renkli görüntüler üç renk kanalının tamamı boyunca farkların toplanmasıyla işlenilebilir [35].

a) Güvenilir Hata Metrikleri

Denklem 3.16'daki hata metriğinin karesel hata terimlerini daha sağlam bir fonksiyon $\rho(e_i)$ ile değiştirmekle metriği dışa düşen değerlere karşı daha güçlü yapılabilir [74-77]. Denklem 3.17 ve 3.18 bu durumu göstermektedir.

$$E_{SSD}(u) = \sum_i [I_1(x_i + u) - I_o(x_i)]^2 = \sum_i e_i^2 \quad (3.17)$$

$$E_{SRD}(u) = \sum_i \rho(I_1(x_i + u) - I_o(x_i)) = \rho(e_i) \quad (3.18)$$

Güvenilir standart $\rho(e)$ minimum karelerle ilişkili kuadratik cezadan daha az hızla artan bir fonksiyondur. Böyle bir fonksiyon bazen hızından dolayı video kodlama için hareket kestiriminde kullanılan mutlak farklar toplamı metriğidir ve Denklem 3.19'daki gibi ifade edilebilir.

$$E_{SAD}(u) = \sum_i |I_1(x_i + u) - I_o(x_i)| = \sum_i |e_i| \quad (3.19)$$

Ancak, bu fonksiyon orijinde diferansiyellenebilir olmadığından dolayı gradyan inişli yaklaşımlara uygun değildir. Onun yerine genellikle düzgün bir şekilde değişen, küçük değerler için kuadratik olan fakat orijinden uzaklaştıkça daha yavaş artan bir fonksiyon kullanılır. Bu fonksiyon türlerinden bir tanesi de Geman-McClure fonksiyonudur ve Denklem 3.20'de gösterilmiştir [78].

$$\rho_{GM}(x) = \frac{x^2}{1 + x^2/a^2} \quad (3.20)$$

Burada a dışa düşen bir eşik değeri olarak düşünebileceğimiz bir sabittir. Eşik için uygun bir değer güvenilir istatistikler kullanılarak kendiliğinden [74,75,79] diğer bir ifadeyle mutlak farkların orta değeri hesaplanarak ve dışa düşmeyen gürültü işleminin standart sapmasının güçlü bir kestirimini elde etmek için 1,4 ile çarparak üretilebilir:

$$MAD = \text{med}_i |e_i| \text{ dir [77].}$$

b) Uzaysal Değişken Ağırlıkları

Bahsedilen hata metrikleri verilmiş bir karşılaştırma için karşılaştırılmış piksellerden bazılarının orijinal görüntü sınırlarının dışına uzanabileceği gerçeğini ihmal etmektedir. Üstelik belirli piksellerin katkılarının ağırlıkları kısmen veya tamamen aşağı çekilmek istenebilir. Örneğin, bir görüntünün bazı parçalarını seçerek silinmek istenebilir. Diğer bir ifadeyle bir mozaikte birleştirme yaparken istenmeyen ön plan nesneleri kesilip atılabilir. Bu şekilde arka plan dengesini sağlayan uygulamalar için genelde bağımsız bir şekilde hareket eden ve kamera tarafından izlenen nesneleri içeren görüntü parçasının ağırlıkları aşağı çekmek istenebilir [35].

Bu görevlerin tamamı, eşleştirilen görüntülerin her ikisi ile bir piksel başına uzaysal çeşitlemeli ağırlık değeri ilişkilendirilmesi sayesinde başarılabilir. Bu durumda hata metriği ağırlıklandırılmış SSD fonksiyonu haline gelir ve Denklem 3.21’de gösterilmiştir [35]:

$$E_{wSSD}(u) = \sum_i w_0(x) w_1(x_i + u) [I_1(x_i + u) - I_0(x_i)] \quad (3.21)$$

Buradaki w_0 ve w_1 değerleri görüntülerin geçerli sahalarının dışında sıfır olan ağırlıklandırma fonksiyonlarıdır. Eğer olası hareketlere geniş bir aralıkta izin verilmişse, yukarıdaki metrik daha küçük örtüşme çözümlerine doğru bir kutba sahip olabilir. Bu kutbu önlemek amacıyla, pencerelenmiş SSD sayısı piksel başına (veya ortalama) karesel piksel hatasını hesaplamak için örtüşme alanına bölünebilir [35]. Örtüşme alanı ve karesel yoğunluk hatası sırasıyla Denklem 3.22 ve 3.23’de verilmiştir.

$$A = \sum_i w_0(x) w_1(x_i + u) \quad (3.22)$$

Denklem 3.22 ifadesinin karekökü kök ortalama karesel yoğunluk hatası Denklem 3.23’ün genellikle karşılaştırmalı çalışmalarda bildirildiği görülür.

$$RMS = \sqrt{E_{WSSD} / A} \quad (3.23)$$

c) Kutup ve Kazanç (Işıklandırma Farklılıkları)

Hizalanmış olan iki görüntü genelde aynı ışıklandırma ile elde edilmez. İki görüntü arasındaki doğrusal yoğunluk değişiminin basit bir modeli kutup ve kazanç modelidir,

$$I_1(x+u) = (1+\alpha)I_0(x) + \beta \quad (3.24)$$

Denklem 3.24’de β kutup ve α da kazançtır [80-83]. Bu durumda en küçük kareler formülasyonu Denklem 3.25’deki şekli alır:

$$\sum_i [I_1(x_i+u) - (1+\alpha)I_0(x_i) - \beta]^2 = \sum_i [\alpha I_0(x_i) + \beta - e_i]^2 \quad (3.25)$$

Uygun yamalar arasında basit bir karesel fark almak yerine, masrafı oldukça yüksek olan bir lineer regresyon uygulamak gereklidir. Renk görüntülerinde, bazı dijital kameralarda uygulanan otomatik renk düzeltmeyi gidermek amacıyla her bir renk kanalı için farklı bir kutup ve kazanç kestirilmesi gerekebilir [35].

Yoğunluk değişiminin daha genel olan (uzaysal değişken–parametrik olmayan) ve kaydetme işleminin bir parçası olarak kullanılan bir modeli [84]’de sunulmuştur. Bu model geniş açılı lenslerin sebep olduğu yerel değişimlerle ilgilenirken faydalı olabilir. Ayrıca görüntülerin değerlerini karşılaştırmadan görüntülere bant geçirilmiş görüntüler [43,85] veya histogramlar ya da derece rank dönüşümleri gibi yerel dönüşümler [86,87] kullanarak ya da ortak bilgiyi maksimize ederek [88,89] ön-işlem yapmak da mümkündür.

d) Korelasyon

Korelasyonu bulmak için yoğunluk farklarını almaya alternatif bir yol hizalanmış iki görüntü çarpımını (ve ya çapraz korelasyonunu) minimize etmektir [35] (Denklem 3.26).

$$E_{CC}(u) = \sum_i I_0(x_i) I_1(x_i + u) \quad (3.26)$$

İlk bakışta, bu kutup ve kazanç modelleme, görüntüler ne olursa olsun kendilerine yakın olan ölçek ve ofsetleri sıralamayı tercih edecek olduklarından dolayı gereksiz gibi görünebilir. Ancak bu doğru değildir. Eğer $I_1(x)$ ’de mevcut çok parlak bir yama varsa gerçekte maksimum çarpım o alanın içinde olacaktır. Bu sebepten dolayı, genellikle kullanılan normalize edilmiş çapraz-korelasyon Denklem 3.27’de gösterilmiştir.

$$E_{NNC}(u) = \frac{\sum_i [I_0(x_i) - \bar{I}_0] [I_1(x_i + u) - \bar{I}_1]}{\sqrt{\sum_i [I_0(x_i) - \bar{I}_0]^2 [I_1(x_i + u) - \bar{I}_1]^2}} \quad (3.27)$$

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{N} \sum_i I_0(x_i) \quad (3.28)$$

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{N} \sum_i I_1(x_i + u) \quad (3.29)$$

Denklem 3.28 ve 3.29 ifadeleri yamalara ilişkin ortalama görüntüler ve N yamadaki piksellerin sayısıdır. Normalize edilmiş çapraz-korelasyon değeri her zaman $[-1,1]$ aralığındadır. Bu işlem bazı yüksek seviyeli (hangi yamaların doğru olarak eşleştiğine karar verme gibi) uygulamaları daha kolay işlemeyi sağlar. Ancak, yamalardan hiçbiri sıfır varyans değerine sahip değilse NNC değeri belirsizdir. Gerçekte gürültülü ve düşük kontrastlı bölgelerde performansı düşüktür [35].

e) Mutual Information (MI)

İki rasgele değişkenin birbirlerine karşılıklı bağımlılıklarını ölçen bir niceliktir. İki ayrık rastgele değişken X ve Y değişkenlerinin MI'sı Denklem 3.30'daki gibi tanımlanır:

$$I(X;Y) = \sum_{y \in Y} \sum_{x \in X} p(x,y) \log \left(\frac{p(x,y)}{p_1(x)p_2(y)} \right) \quad (3.30)$$

Burada $p(x, y)$ X ve Y' nin ortak olasılık dağılım fonksiyonudur ve $p_1(x)$ ve $p_2(y)$ sırayla X ve Y'nin marjinal olasılık dağılım fonksiyonlarıdır.

Sürekli durumda toplam sembolü yerine integral kullanılır ve Denklem 3.31'de gösterilmiştir

$$I(X;Y) = \int \int p(x, y) \log \left(\frac{p(x, y)}{p_1(x) p_2(y)} \right) dx dy \quad (3.31)$$

Bu tanımlamalar belirsizdir. Çünkü log fonksiyonunun tabanı belirtilmemiştir. Belirli hale getirmek için I fonksiyonu $I(X, Y, b)$ olarak parametrelendirilir ve burada b tabanı temsil etmektedir.

MI, X ve Y'nin paylaştığı bilgiyi ölçer. Diğer bir ifadeyle, bu değişkenlerin bilinmesinin diğeri hakkındaki belirsizliği ne kadar azaltacağını ölçüsüdür. Örneğin X ve Y bağımsız ise X değişkeninin bilinmesi Y hakkında hiçbir bilgi vermez ve $MI = 0$ olur. Diğer en uç noktada X ve Y tamamen birbiriyle aynı ise X'in taşıdığı tüm bilgi Y tarafından da paylaşılır, X'i bilmek Y değerini belirlemeye yarar.

MI, X ve Y ortak dağılımları arasındaki uzaklığı ölçer ve X ve Y bağımsız ise ortak dağılımın ne olması gerektiğini belirler. Sadece X ve Y'nin bağımsız rastgele değişkenler olması durumunda $I(X, Y) = 0$ olur. X ve Y bağımsız ise, $p(x, y) = p(x) \times p(y)$ olur [90].

3.3.3. Özellik Temelli Çakıştırma

Doğrudan piksel yoğunluklarının eşleştirilmesi görüntü çakıştırma için kullanılan yöntemlerden biridir. Diğer önemli yaklaşım ise önce her biri görüntüden ayırt edilebilen özelliklerin çıkarılması, genel bir uyum sağlamak için bu özelliklerin eşleştirilmesi ve daha sonra görüntüler arasındaki geometrik dönüşümün kestirilmesidir. Bu tip yaklaşım stereo eşleme için ilk zamanlarda kullanılmış [91-93] ve son zamanlarda görüntü birleştirme uygulamalarında da popüler olmuştur [67-71,94].

3.3.4. Genel Çakıştırma

Birçok uygulamada birden fazla görüntü çiftinin çakıştırılması gerekir. Bu durumda amaç görüntüler arasındaki çakıştırma kayıplarını azaltacak genel tutarlı hizalama parametreleri kümesi elde etmektir [61-63]. Bunu yapabilmek için eşleştirme kriterlerini genişletmeye ve tüm görüntü poz parametrelerini içeren genel bir enerji fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Genel hizalamayı hesapladıktan sonra genelde görüntü katlamalarını ve yerel çakıştırma kayıplarından kaynaklanan bulanıklaşmayı azaltmak için ıraklık açısının kaldırılması gibi yerel ayarlamalara ihtiyaç duyarız. Eğer çakıştırılacak görüntüler sıralı değilse panoramik görüntü elde etmek için görüntülerin hangi düzende yerleştirileceği belirlenmelidir. Bu işlem panorama tanıma olarak adlandırılır

3.3.5. Sonuç İmge

Giriş görüntüleri birbirine göre çakıştırdıktan sonra birleştirilmiş sonuç resmin nasıl üretileceğine karar vermek gerekmektedir. Bu aşama düzlem, silindirik ve küresel gibi bir sonuç birleşme yüzeyinin seçilmesini ve gösterilmesini içerir. Bu aşama aynı zamanda hangi piksellerin sonuç görüntüye katkıda bulunduğu belirlenmesine ve görünür dikşlerin, bulanıklaşmanın ve gölgelerin azaltılarak bu piksellerin nasıl en iyi şekilde harmanlanacağını içerir [35].

3.4. Görüntü Bölütleme

Görüntü bölütleme, bir görüntüyü her biri içerisinde farklı özelliklerin tutulduğu anlamlı bölgelere ayırma işlemidir. Bölütlemenin amacı görüntüyü daha anlamlı ve analiz edilmesi kolay bir şekilde göstermektir. Görüntü bölütleme bir görüntüdeki nesnelerin ve sınırların yerini öğrenmek için kullanılır. Görüntü bölütlemenin sonucu tüm resmi kaplayan bir grup bölge veya görüntüden çıkarılan bir grup eş yükselti eğrisi olabilir. Bir bölgedeki her bir piksel renk, yoğunluk veya doku gibi karakteristik veya hesaplanmış özelliklerine göre birbirine benzerdir. Farklı bölgelerdeki piksellerin özellikleri ise farklılık göstermektedir. Görüntü bölütleme tıbbi görüntüleme, uydu resimlerinden nesnelerin yerlerinin tespiti, yüz tanıma, parmak izi tanıma ve otomatik trafik kontrol sistemleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [95].

Görüntü bölütleme için birçok genel amaçlı algoritma ve teknik geliştirilmiştir. Fakat

görüntü bölütleme problemi için genel bir çözüm yoktur. Bir algoritma tüm görüntü bölütleme problemleri için iyi sonuç vermemektedir. Aynı zamanda tüm algoritmaların etkili olduğu bir görüntü bölütleme problemi de yoktur. Algoritmalar genellikle görüntülerin gürültüye karşı hassasiyet, aydınlatma koşulları ve büyüklükleri gibi özelliklerinden dolayı her zaman iyi performans gösteremeyebilmektedirler. Büyük değişimlere ve detaylara sahip görüntüler sınıflandırılmak istendiğinde hiçbir algoritma bütün görüntüler üzerinde başarılı olamamaktadır [15,96,97].

Görüntü bölütlemeye kullanılan sınıflandırma metotları, kümeleme metotları, histogram temelli metotlar, kenar tespit metotları ve bölge büyütme metotları ile ilgili bilgiler takip eden bölümlerde sunulmuştur.

3.4.1. Sınıflandırma Metotları

Sınıflandırma metotları, bilinen etiketlerle verileri kullanarak görüntüden elde edilen bir özellik uzayını bölümlenmek için uğraşan örüntü tanıma teknikleridir [98,99]. Bir özellik uzayı bir görüntünün fonksiyonunun aralık uzayıdır ve en genel özellik uzayı görüntü yoğunluklarıdır. Histogram tek boyutlu bir özellik uzayı örneğidir. Sınıflandırıcılar danışmanlı metotlar olarak bilinir. Çünkü manuel sınıflandırılmış eğitim verisine ihtiyaç duyarlar ve daha sonra bunlar yeni veriyi otomatik olarak sınıflandırmak için referans olarak kullanılırlar. Sınıflandırma metotlarına eğitim verisini uygulamanın birçok yolu vardır. En basit sınıflandırıcı, her pikselin en yakın yoğunluk değeri ile aynı sınıf içinde bulunduğu en yakın komşuluktur. K en yakın komşuluğu ise bu yaklaşımın genelleştirilmiş halidir ve pikselin k en yakın eğitim verisinin çoğunluğu ile aynı sınıfta sınıflandırıldığı tekniktir. Sık kullanılan bir diğer sınıflandırıcı ise maksimum olasılık veya Bayes sınıflandırıcısıdır. Bu teknik piksel yoğunluklarının olasılık dağılımlarının bağımsız örnekleri olduğunu kabul eder [100].

3.4.2. Kümeleme Metotları

Kümeleme metotları aslında eğitim verisini kullanmadan sınıflandırma metotları gibi aynı fonksiyonu gerçekleştirirler ve bundan dolayı danışmansız metotlar olarak adlandırılır. Eğitim verisinin eksikliğini telafi etmek için kümeleme metotları görüntüyü sınıflandırma ile her bir sınıfın özelliklerinin tanımlanması arasında değişimli olarak çalışır. Kümeleme metotları mevcut veri ile kendi kendilerini eğitirler.

En çok kullanılan kümeleme algoritmaları K-ortalama [101], bulanık c-ortalama [102] ve beklentinin maksimizasyonu [103, 104] algoritmasıdır. K-ortalama algoritması tekrarlı olarak her bir sınıf için yoğunluk ortalaması hesaplama ve görüntüyü her bir pikselin ortalamasına en yakın olduğu sınıfa atayarak sınıflandırır. Bulanık c-ortalama algoritması K-ortalama algoritmasını genelleştirir ve bulanık küme teorisine dayanarak daha yumuşak bir sınıflandırma sağlar [102]. Beklentinin maksimizasyonu algoritması da verinin bir Gaussian karışım modelini takip ettiğini farz ederek aynı kümeleme yöntemlerini uygular. Sonraki ihtimallerin hesaplanması ve ortalama kovaryans maksimum olasılığın kestirilmesi ve karışım modeli katsayılarının karıştırılması arasında tekrarlıdır.

K ortalama algoritması bir görüntüyü K sınıfa ayırmak için kullanılan iterasyon temelli bir tekniktir. Algoritmanın temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Rastgele veya sezgisel olarak K adet sınıfın merkezlerini belirle,
- Herbir piksel için, piksel ile sınıf merkezi arasındaki varyansı minimize eden sınıfa pikseli ata,
- Sınıf içindeki tüm piksellerin ortalamasını bularak yeni sınıf merkezini hesapla,
- Adım 2 ve 3'ü istenen sonuç elde edilene kadar tekrarla (hiçbir pikselde sınıf değişikliği olmayana kadar).

Burada varyans bir piksel ile bir sınıf merkezi arasındaki mutlak farkı veya karesidir. Değişim piksel rengi, yoğunluğu, dokusu ve konumu gibi özelliklere veya bu özelliklerin ağırlıklandırılmış kombinasyonlarına bağlıdır. K sınıf sayısı manuel, rastgele veya sezgisel yöntemlerle seçilebilir. Çözümün kalitesi sınıfların başlangıç gruplarına ve K değerine bağlıdır [101-104].

3.4.3. Histogram Temelli Metotlar

Histogram temelli metotlar piksellerden sadece bir kez geçmeye ihtiyaç duyduğu için diğer görüntü bölütleme metotlarına göre çok daha verimlidirler. Bu teknikte görüntüdeki tüm pikseller kullanılarak bir histogram çıkarılır ve histogramdaki tepe ve düzlük noktalar görüntüdeki sınıfları yerleştirmek için kullanılır. Renk veya yoğunluk ölçüt olarak kullanılabilir. Bu tekniğin bir avantajı, görüntüdeki kümeleri küçük

kümelere bölmek amacıyla kümelere tekrarlamalı histogram-araştırma metodu uygulanabilir olmasıdır. Bu işlem kümeler iyice küçülünceye ve biçimlenecek hiç küme kalmayınca kadar devam eder. Histogram-araştırma metodunun bir dezavantajı ise görüntüdeki önemli tepeleri ve düzlükleri belirleme işleminin zor olabilmesidir [105].

3.4.4. Kenar Tespit Metotları

Kenar tespiti görüntü işlemede çok gelişmiş bir alandır. Bölge sınırları ve kenarlar birbiriyle yakından ilgilidir. Çünkü genelde bölge sınırları yoğunluğunda keskinlik vardır. Bu nedenle kenar tespiti teknikleri diğer bölütleme tekniklerinin de temelinde kullanılır. Kenar tespiti ile tanımlanan kenarlar genelde bağlantısızdır. Bununla birlikte bir görüntüden bir nesneyi çıkarmak için kapalı bölge sınırlarına ihtiyaç duyulur. Eğer iki kenar arasındaki mesafe önceden belirlenen eşik değerler içinde ise kopukluklar birleştirilir [105].

3.4.5. Bölge Büyütme Metotları

İlk bölge büyütme metodu referans/tohum bölge büyütme metodudur. Referanslar sınıflandırılacak her bir nesneyi belirtir. Hiç bir bölgeye ait olmayan komşu pikseller bölgelerle karşılaştırılır ve bir pikselin yoğunluk değeri ile bölgenin ortalaması arasındaki fark benzerlik ölçütü olarak kullanılır. Hangi bölge ile olan fark en küçükse piksel o bölgeye ait olur ve böylece bölgeler büyütülmüş olur. Bu işlem tüm pikseller bir bölgeye ait oluncaya kadar devam eder. Referans bölge büyütme ek olarak referans girişine ihtiyaç duymaktadır ve bölütleme sonuçları referansların seçimine bağlıdır. Görüntüdeki gürültüler referansların başarısız olarak yerleştirilmelerine neden olabilir [100].

Referanssız bölge büyütme belirgin bir kaynağa ihtiyaç duymayan değiştirilmiş bir algoritmadır. Sadece bir bölge ile başlar. Burada bir piksel seçimi sonuç bölütlemeyi çok fazla etkilememektedir. Tıpkı referans bölge büyütmede olduğu gibi her bir iterasyonda komşu pikseller hesaba katılır. Referans bölge büyütmeden farkı eğer minimum fark ön tanımlanmış bir eşik değerden küçük ise o piksel bu bölgeye atanır. Eğer piksel hiçbir bölgeye uymuyor ise o zaman bu piksel ile yeni bir bölge yaratılmış olur. Bu tekniğin bir değişik biçimi de önerilmiştir ve piksel yoğunluklarına bağlıdır. Bölgenin ortalaması, dağılımı ve aday pikselin yoğunluğu bir test istatistiği

hesaplamakta kullanılır. Eğer test yeterince küçükse piksel o bölgeye dahil edilir. Bölgenin ortalaması ve dağılımı yeniden hesaplanır. Diğer durumda, piksel kabul edilmez ve yeni bir bölge oluşturmak için kullanılır [100,106,107].

4. BÖLÜM

GELİŞİME DAYALI YAPAY ZEKÂ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

Görüntü birleştirme ve görüntü bölütleme işlemleri birer optimizasyon problemi olarak ele alınabilir. Bu bölümde hem görüntü birleştirme hem de görüntü bölütlemeye çalışmada kullanılan gelişime dayalı algoritmalarından genetik algoritma ve diferansiyel gelişim algoritması anlatılmaktadır.

4.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar (GA) evrim teorisinden ilham alınarak modellenmiş olan ve doğada gözlemlenen sürece benzer bir şekilde çalışan yapay zeka optimizasyon metotlarından biridir. Çok boyutlu arama uzayında, doğal seleksiyon ve genetik yapıya dayanan araştırma yöntemiyle “en iyinin hayatta kalması” ilkesine göre en iyi olası çözümü arar.

Genetik algoritmaların temel ilkeleri ilk kez Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Holland 1975 yılında yaptığı çalışmaları “Adaptation in Natural and Artificial Systems” adlı kitabında bir araya getirmiştir. İlk olarak Holland evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde optimizasyon problemleri için kullanmıştır [108,109]. Günümüzde genetik algoritmalar birçok probleme uygulanmakta ve başarılı sonuçlar üretmektedir. Çünkü genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki çözümler birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür [110].

Holland (1975), basit bit dizileri (bit strings) kullanarak karmaşık yapıların

kodlanabileceğini göstermiştir. Yapılar çözülecek problem için çözümleri temsil etmektedir. Bunlar muhtemel tüm çözümleri içine alan araştırma uzayından alınır ve bu dizilerin veya çözümlerin belirli bir miktarı genetik algoritmanın kullanacağı yoğunluğu oluşturur. Daha sonra temel genetik operatörlerin belirli bir seti, art arda gelen kuşaklarda çözümleri geliştirmek amacıyla kullanılır. Şayet bu işlem uygun şekilde kontrol edilirse çözüm yoğunluğunun ortalama kalitesi çok hızlı olarak gelişme gösterir. Yani, çözülecek probleme çok iyi uyarlanmış yapıları içeren çözüm kümesinin ortaya çıkması sağlanır [108].

4.1.1. Basit Genetik Algoritma

İlk adımda başlangıç popülasyonu oluşturulmakta ve sonra doğal seleksiyon işlemi ile birlikte genetik operatörler çaprazlama ve mutasyon gelecek nesildeki çözümleri üretmek için kullanılmaktadır. Kalite veya uygunluk değerlendirme işlemi tekrar-üreme olayında uygulanan seçme işlemini gerçekleştirebilmek için popülasyondaki her bir bireye uygulanmaktadır. Birbirini izleyen nesillerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi çevrimi optimal bir çözüm bulununcaya kadar devam eder.

Basit bir genetik algoritma beş temel elemandan oluşmakta ve bunların her biri algoritmanın performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu parametreler: çözümlerin temsil şekli, başlangıç yoğunluğunu oluşturma yöntemi, uygunluk veya kalite değerlendirme fonksiyonu, kullanılan genetik operatörler ve kontrol parametreleridir [108].

4.1.1.1. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Genetik algoritmalarla problem çözümüne başlamadan önce problem için olası çözümleri içeren bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Başlangıç popülasyonu oluşturmada kullanılan iki yöntem vardır [111]:

- Rastgele bir sayı üretici tarafından rastgele üretilmiş olası çözümler,
- Problem için belirli koşul ve kısıtlamaları karşılayan olası çözümler.

İlk yöntemde popülasyon rastgele üretildiği için hakkında ön bilgi sahibi olunmayan problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. İkinci yöntem ise çözümü istenen

probleme ait ön bilgi gerektirmektedir. Bu ön bilgilerle belirli koşullar ve kısıtlamalar elde edilir ve başlangıç popülasyonu bu değerlere göre oluşturulur. Bu durumda genetik algoritma yaklaşık çözümlerden aramaya başlamaktadır ve çözüme daha hızlı bir şekilde ulaşmaktadır.

4.1.1.2. Uygunluk veya Kalite Değerlendirilmesi

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonraki popülasyondaki her üyenin uygunluk değeri hesaplanır. Eğer problem bir maksimizasyon problemi ise i . üyenin uygunluk değeri $f(i)$ genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir [112, 113]. Çözümü aranan her problem için bir uygunluk fonksiyonu mevcuttur. Verilen belirli bir kromozom için uygunluk fonksiyonu o kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bu bilgi her kuşakta daha uygun çözümlerin seçiminde yol göstermektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir.

4.1.1.3. Genetik Operatörler

İkili diziler üzerinde işlem yapmaya yarayan bu operatörler ile ilgili oldukça fazla sayıda çalışmalar yapılmış ve çok sayıda değişik genetik operatörler geliştirilmiştir. Buna rağmen GA'ların çoğunluğu tekrar üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin değişik formlarını ihtiva ederler. Bu operatörlerin uygun şekilde seçimi GA performansı için çok önemlidir.

4.1.1.4. Tekrar Üreme Operatörü

Doğal seleksiyon işlemi olarak adlandırılan kalitesi yüksek bireylerin hayatta kalmaları ve sayılarının artması, kalitesi düşük bireylerin ise sayılarının azalarak kaybolması prensibine göre çalışır. Bu seçme işlemi tabiatта çevre tarafından yapay sistemlerde ise amaç fonksiyonu ve diğer kalite değerlendirme işlemleri tarafından kontrol edilir. Bireysel yapılar bir kuşaktan diğer kuşağa geçerken kalite değerlerine göre daha fazla kopya edilme şansları vardır. Bundan dolayı daha kaliteli çözümlerin yoğunlukta baskın olmaları, kalitesiz olanların ise yavaş yavaş kaybolmaları yani ölmeleri sağlanır. Bu operatörün uygulanması için kullanılan en basit metot bayaslanmış rulet tekerleği tekniğidir [108].

Bu teknikte her bir çözüme, kalite değerinin yoğunluğun ortalama kalite değerine oranına göre tekerlek üzerinde bir delik verilir. Sonra tekerlek tekrar üremeye tabii tutulacak bireylerin seçimi için yeterli sayıda döndürülür. Her döndürüşte top, hangi bireye ait boşluğa girerse o döndürüş için o birey başarılı olmuş demektir. Başarılı adaylar eşleştirme havuzu (mating pool) olarak adlandırılan bir havuzda toplanarak diğer genetik operatörlerin uygulanması için hazırlanırlar [108].

4.1.1.5. Çaprazlama Operatörü

Çaprazlama operatörünün amacı yeni bireyler oluşturmak ve nesiller boyunca popülasyondaki bireylerin birbirlerinin aynısı olmalarını engellemektir. Çaprazlama işlemi ile kromozomların iyi özelliklerini birleştirilir ve iyi olmayan bireyler elenir. Böylece iyi bireyler birleştirilerek daha iyi bireyler üretilir ve en iyi bireye yani çözüme ulaşılır.

4.1.1.6. Mutasyon Operatörü

Çaprazlama işlemi sonucunda popülasyon gerekli tüm kodlanmış bilgiyi içermez ise bu durumda mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip bir operatör gerekmektedir. Mutasyon operatörünün işlevi budur ve nasıl gerçekleştiği Şekil 4.1’de görülmektedir. Yapay genetik sistemlerde mutasyon operatörü, bir daha elde edilemeyebilir iyi bir çözümün kaybına karşı koruma sağlamaktadır [109].

	Değişime uğrayan bitler								
	↓								
Eski dizi	1	1	1	0	0	1	1	0	1
Yeni dizi	1	1	0	0	0	1	1	1	1

Şekil 4.1. Mutasyon Operasyonu [108]

Mutasyon operatörü olmayan bir genetik algoritma, elemanların tekrar üreme ve çaprazlama operasyonlarında değişmediği varsayılırsa en iyi çözümü ancak çözüm elemanlarının başlangıç yoğunluğunda bulunması halinde bulabilir. Mutasyon; yeni,

görülmemiş ve araştırılmamış çözüm elemanlarının bulunmasını sağlar. Mutasyon operatörü kullanmayan genetik algoritma için iyi bir performans, ancak yoğunluğun oldukça büyük tutulmasıyla garanti edilebilir. Aynı zamanda mutasyon, genetik algoritmanın alt optimal (sub-optimal) çözümleri bulmasını engeller. Çünkü daha önceden atılmış iyi çözüm elemanlarının tekrar üretilmesini sağlar [114].

4.1.1.7. Kontrol Parametreleri

Basit bir genetik algoritmanın temel kontrol parametreleri şunlardır: Popülasyon büyüklüğü, maksimum kuşak (jenerasyon) sayısı, çaprazlama ve mutasyon oranları.

- **Popülasyon Büyüklüğü**

Popülasyon büyüklüğü algoritma performansı açısından önemli bir kriterdir. Seçilen değerin aşırı küçülmesi, yetersiz örneklemeye sebep olacağından yakınsamayı sağlamak zorlaşacak ve araştırma belirli bir alt en iyi noktaya doğru sürüklenecektir. Tersine, aşırı yüksek değer seçildiğinde bir kuşaklık gelişim oldukça uzun zaman gerektirecektir. Bu durum özellikle gerçek zamanlı problemlerin çözümünde hiç istenmez. Bu yüzden uygun bir yoğunluk büyüklüğü belirlenmelidir [108,109].

- **Çaprazlama Oranı**

Yeni bireylerin üretiminde ne oranda çaprazlama yapılacağını belirler. Bu değer düşük olursa popülasyona çok az sayıda yeni birey katılır. Dolayısıyla tekrar üreme operatörü algortmada aşırı etkili operatör haline gelmekte ve araştırmanın yakınsama hızı düşmektedir. Çaprazlama oranı yüksek seçilirse araştırma uzayı çok hızlı bir şekilde araştırılır. Fakat oran aşırı yüksek ise çaprazlama operatörü benzer veya daha iyi yapıları üretmeden kuvvetli olan yapılar çok hızlı olarak bozulacağından algoritmanın performansı düşmektedir [108].

- **Mutasyon Oranı**

Mutasyon oranı da algoritma performansını etkileyen diğer bir parametredir. Mutasyon operasyonu araştırma sahasına yeni bölgelerin girmesini sağlar. Yüksek mutasyon oranı, araştırmaya aşırı bir rastgelelik kazandıracak ve araştırmayı çok hızlı olarak ıraksatacaktır. Bu durumun tersine çok düşük mutasyon oranı ıraksamayı aşırı

düşürecek ve araştırmanın alt optimal noktaları çözüm olarak bulmasına sebep olacaktır [108].

4.1.2. Standart Genetik Algoritma Temel Adımları

Temel adımları verilen basit genetik algoritma birçok problemin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden basit genetik algoritmaya bazı diğer operatörler eklenmiş ve standart genetik algoritma yapısı oluşturulmuştur. Grefenstette tarafından tanımlanan standart genetik algoritmanın temel adımları aşağıda verilmiştir [108]:

Adım 1. Muhtemel çözümlerden başlangıç popülasyonu oluştur,

Adım 2. Popülasyondaki her çözümün uygunluk değerini hesapla,

Adım 3. Durdurma kriteri sağlanıyorsa araştırmayı durdur yoksa aşağıdaki adımları gerçekleştir,

- Uygunluk ölçekleme işlemini gerçekleştir,
- Tabii seleksiyon işlemini uygula (uygunluk değerleri daha yüksek olan çözümler yeni popülasyonda daha fazla temsilciye daha düşük olanlar ise daha az temsilciye sahip olacaktır),
- Rasgele seleksiyon işlemini uygula (popülasyonun çoğunluğu tabii seleksiyon az bir kısmı da rasgele seleksiyon işlemine tabii tutulur),
- Önceki popülasyonda var olan en iyi çözümü muhafaza et (Doğal olmayan bir işlem),
- Çaprazlama işlemini uygula (Mevcut iki yapıdan yeni iki yapı üretilir),
- Mutasyon işlemini uygula (Her pozisyon belirli bir olasılıkla mutasyona tabii tutulur).

4.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması

Diferansiyel gelişim algoritması (DGA), Storn ve Price tarafından gerçel değerli fonksiyonların minimizasyonu için geliştirilen popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. Global minimumun bulunmasında oldukça kararlı bir algoritmadır [15, 106, 107]. Gelişime dayalı algoritmalar mutasyon, yeniden üreme, değerlendirme ve seleksiyon operatörlerine dayalı olarak çalışır. Daha önce tanımlanmış olasılık dağılım fonksiyonuna dayalı olarak çalışan genetik algoritma gibi gelişim

temelli algoritmaların tersine diferansiyel gelişim algoritması rasgele seçilmiş vektörlerin farkına dayalı bir mutasyon işlemi kullanır. Diferansiyel gelişim algoritmasında kullanılan basit mutasyon işlemi algoritmanın performansını geliştirmekte, yeni araştırma bölgelerinin araştırılmasını sağlamakta ve onu daha kararlı yapmaktadır. Bu özelliğinin yanı sıra diferansiyel gelişim algoritması hızlılık, basitlik, kolayca kullanılabilirlik, global optimuma yakınsama kabiliyeti, paralellik, düşük hesaplama maliyeti, ayrık ve karmaşık parametre optimizasyonuna kolaylıkla uyarlanabilirlik, türev işlemleri gerektirmeme, gürültülü ve zamana bağlı amaç fonksiyonları için kullanılabilirlik gibi özelliklere de sahiptir [15,108].

Probleme özel sezgisel yaklaşımlar birçok zor optimizasyon problemi çözümünde tercih edilmektedir. Uzman bilgisinin tasarıma ilave edilmesine olanak sağlayan böyle teknikler bu gibi zor problemlerde bile oldukça üstün performans göstermektedirler [108].

Deterministik metotların doğrusal olmama, gürültü, yüksek boyutluluk, çok modluluk, sınırlamalar, değişmeme ve türev alınamama gibi özellikleri performansı olumsuz etkilemektedir. Gelişime dayalı algoritmalar, bu tür sınırlamaların çoğunun üstesinden gelebilmektedirler. Ancak bu metotlar da yüksek performans için sınırlandırma bilgisi gibi probleme özel bilgilere ihtiyaç duymaktadırlar [108].

Diferansiyel gelişim algoritması için literatürde çok sayıda farklı mutasyon/rekombinasyon stratejisi bulunmaktadır. Bu çalışmada oldukça sık tercih edilen DE/rand/1/exp [117] stratejisi (Denklem 4.1) kullanılmıştır. Diferansiyel gelişim algoritmasının temel adımları aşağıda gösterilmiştir:

Adım 1: Başlangıç popülasyonu S 'i belirle.

Adım 2: S 'deki çözümlerin kalite değerlerini hesapla.

Adım 3:

Mutasyon: S popülasyonundan x_i için

$$x_{P(1)}, x_{P(2)}, x_{P(3)} \mid x_{P(1)} \neq x_{P(2)} \neq x_{P(3)} \neq x_i \quad (4.1)$$

olacak şekilde rastgele üç çözüm seç ve aşağıdaki eşitlik ile mutasyona uğramış

yeni çözüm üret.

$$\hat{x}_i = x_{P(3)} + F(x_{P(1)} - x_{P(2)}) \quad (4.2)$$

F, değeri (0,1) arasında olan ölçekleme faktörüdür.

Çaprazlama: Üstteki eşitlik kullanılarak x_i ve $\hat{x}_i$ 'den y_i aday çözümünü üret.

Rastgele seçilen ve C_R (çaprazlama oranı) değeri daha önceden belirlenen (0,1) arasında sayılardır.

$$y_i = \begin{cases} \hat{x}_i, & R_j \leq C_R \\ x_i, & R_j > C_R \end{cases} \quad (4.3)$$

Adım 4: Kabul edilebilirlik kriterine göre $f(y_i) < f(x_i)$ değilse S popülasyonunda x_i ve y_i çözümlerini değiştir. Değilse x_i 'yi muhafaza et. Durma kriteri sağlanıyorsa dur yoksa Adım 2'ye geri dön [15, 118].

DGA'da üretilen her yeni vektör, amaç fonksiyonu vasıtasıyla değerlendirildikten sonra maliyeti ebeveyninin maliyeti ile karşılaştırılır. Şayet yeni vektör eşit veya daha düşük bir maliyete sahip olursa yeni vektör popülasyondaki ebeveyn vektörü ile yer değiştirir. Yoksa ebeveyn vektör yeni vektörle yer değiştirmeyip popülasyonda muhafaza edilir. Bir sonraki jenerasyonun üyeleri bu seleksiyon işlemiyle seçildikten sonra gelişim çevrimi ya problem çözülene kadar ya da tüm vektörler bir noktaya yakınsayana kadar tekrar etmektedir [108].

• Kodlama

Birçok gelişim algoritması nümerik parametreleri kodlamak amacıyla ikili tamsayıları kullanmaktadırlar. Ancak, kullanılan tamsayı formatıyla parametre değerlerinin geniş dinamik sahası verimli olarak temsil edilememektedir. Bu nedenle amaç vektörlerini kayan-noktalı sayılar kullanarak kodlamak tercih edilmektedir. Bundan dolayı diferansiyel gelişim algoritması, gerçek parametreleri bilinen kayan-noktalı sayılar kullanarak kodlamakta ve bu parametreler arasındaki işlemleri standart kayan-noktalı aritmetik mantığına göre gerçekleştirmektedir [108].

- **Popülasyon yapısı ve parametre sınırları**

Diferansiyel gelişim algoritması, sabit büyüklükte popülasyon kullanmaktadır. Başlangıç amaç vektörleri iyi tanımlanmış sınırlamalara sahip bir araştırma uzayından uniform dağılımla rastgele elemanlar seçilerek oluşturulur. Pratikte, başlangıç parametre sınırları genellikle fiziksel şartlara göre belirlenir. Fiziksel şartlar belirleyici değilse o zaman başlangıç alt ve üst parametre sınırları, küresel optimayı ihtiva eden bölgeleri kapsayacak kadar büyük seçilmelidir. Başlangıçta eğer iyi bir çözüm tesbit edilebilmişse veya zaten mevcutsa, algoritma bu nominal çözüm etrafında dağılmış amaç vektörlerinden oluşan popülasyonla araştırmaya başlayabilir. Ancak bu şekildeki bir uygulama araştırmayı bölgeselleştireceğinden pek tavsiye edilmez. Hatırlanması gereken önemli bir nokta, başlangıç parametre değerlerinin bir şekilde rastgele dağıtılmasıdır. Çünkü asıl araştırmayı yönlendiren amaç vektörleri arasındaki farklardır. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken uygun olmayan bir amaç vektörü kabul edilmeyip reddedilebilir ve tekrar üretilebilir [108].

- **Mutasyon**

Parametre optimizasyonu açısından mutasyon işlemi, varolan bir amaç vektörünün bir veya daha fazla parametreleri üzerine rastgele üretilmiş bir artışın ilave edilme işlemine karşılık gelir. İyi bir mutasyon işleminin amacı, varolan amaç vektörlerini doğru zamanda doğru miktar ile doğru yönde hareket ettirecek artışları başka bir ifadeyle adımları üretmektir. Bu hedefi başarmak esas olarak adımları üretecek dağılımın karakteristiklerine bağlıdır [108].

- **Seleksiyon**

Seleksiyon işlemi, yeni üretilen vektörlerin hangi şartlar altında popülasyona girebileceğini tanımlayan bir kriterdir. Seleksiyon işleminin dezavantajı, her jenerasyon sonunda popülasyonun kalite değerlerine göre sıraya dizilme maliyetidir. Diferansiyel gelişim algoritmasının seleksiyon işleminde yeni üretilen vektör ebeveynine göre daha gelişmiş veya en azından aynı gelişme seviyesinde değilse ebeveyn vektör en az bir jenerasyon daha popülasyonda kalmaya devam etmekte ve başka bir vektörle yer değiştirmemektedir [108].

- **Rekombinasyon**

Mutasyon işlemi, temel olarak bir popülasyonu robust yapmaktan ve yeni araştırma bölgelerinin araştırılmasından sorumludur. Rekombinasyon veya çaprazlama işlemi ise tamamlayıcı bir işlemdir. Amacı var olan amaç vektör parametrelerinden faydalanarak yeni vektörleri oluşturmak suretiyle araştırmanın başarılı olması için yardımcı olmaktır. Rekombinasyonun etkisi üzerine oldukça ciddi çalışmalar ve tartışmalar mevcuttur. Ama kesin olan bir sonuç, uniform rekombinasyon işleminin araştırmanın hesaplama maliyetini önemli miktarda artırdığıdır. Ancak önemli miktarda da araştırmaya hızlılık sağlamaktadır [108].

5. BÖLÜM

ÖNERİLEN YÖNTEMİN UYGULAMASI

Bu çalışmada, acil durumlarda ulaşılması zor ya da mümkün olmayan alanların, yüksek çözünürlüklü ve koordinatlı hava görüntülerinin ve sayısal haritalarının hızlı bir şekilde, üretilmesini sağlayacak bir ölçme sistemi oluşturulmuştur. Bir model hava aracı ile bölgeye ait hava videosu ve GPS verileri elde edilmektedir. Hava videosundan elde edilen hava fotoğrafları, gelişime dayalı zeki optimizasyon teknikleri kullanılarak GPS verisi desteğiyle birleştirilmekte ve çok geniş bir alana ait yüksek çözünürlüklü ve koordinatlı sayısal harita oluşturulmaktadır. Son olarak, birleştirilmiş geniş hava görüntüsü, klasik teknikler ve gelişime dayalı zeki optimizasyon teknikleri yardımıyla sınıflandırılarak analize hazır hale getirilmektedir. Bu bölümde yapılan simulasyon tabanlı ve deneysel çalışmalar anlatılmaktadır.

Uygulamanın gerçekleştirilmesinde, video ve GPS verilerinin alınabilmesi için gerekli ölçme sisteminin oluşturulması, bu ölçme sistemi yardımıyla verilerin toplanması, çekilen hava videosundan hava görüntülerinin elde edilmesi, bu hava görüntüleri ile havadan alınan GPS verilerinin eşleştirilmesi gibi ön işlemler bulunmaktadır.

5.1. Ölçme Sisteminin Oluşturulması ve Verilerin Toplanması

Uygulamada simulasyon tabanlı ve deneysel olarak elde edilen veriler kullanılmaktadır. Simulasyon verileri Google Earth yazılımından hava fotoğraflarının ve GPS verilerinin alınması ile elde edilmektedir. Deneysel veriler ise model uçak yardımıyla bölgeye ait hava videosu ve GPS verilerinin toplanmasıyla elde edilmektedir.

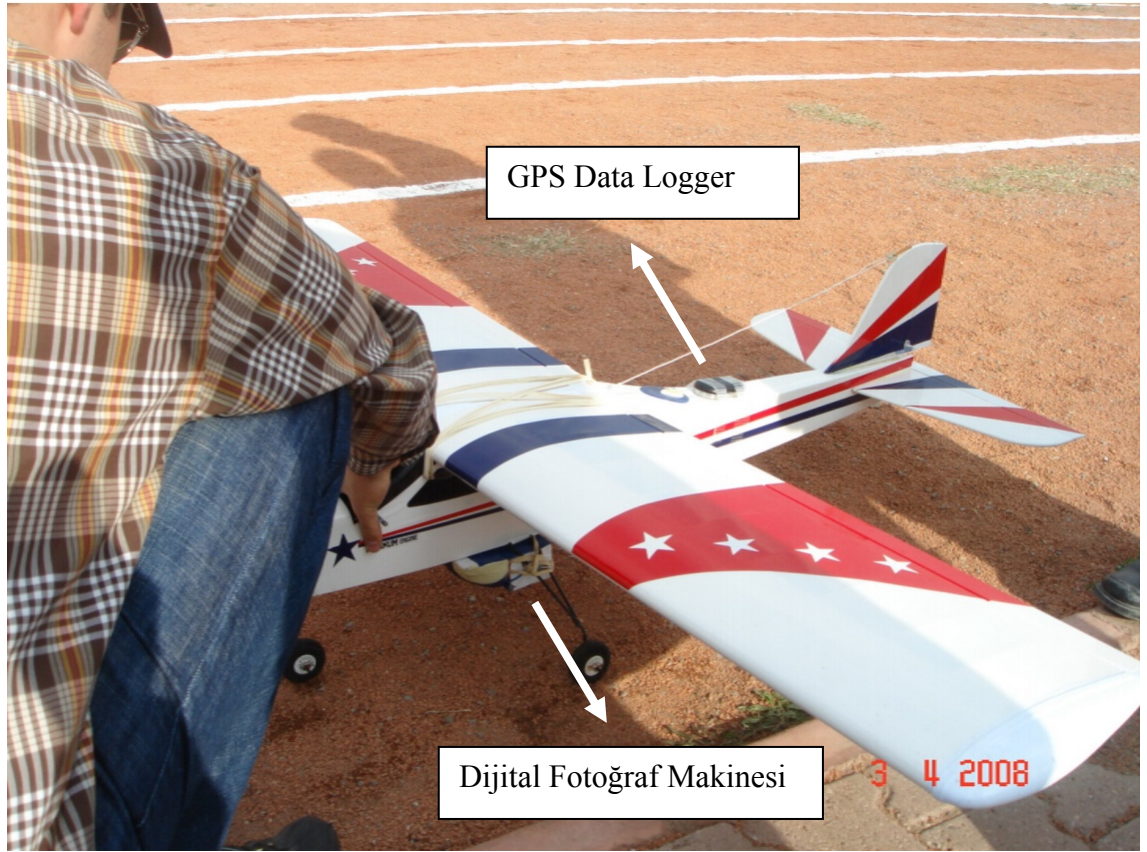
Veri toplama işlemi, patlar motora sahip 158cm kanat açıklığı ve 116cm uzunluğu olan, 0.46'lık olarak adlandırılan ve 2 zamanlı 7.46cm³ silindir hacimli bir model uçak ile

yapılmıştır. Model uçak üzerinde, Adapt-Mobile 850 1 Hz GPS Data Logger ve Panasonic Lumix FX-12 Dijital Fotoğraf Makinesi kullanılmıştır. Kullanılan GPS alıcısı saniyede bir veri almakta (1 Hz) ve bunları kendi hafızasında depolamaktadır. Bu da verileri aktarmak için herhangi başka bir cihaz gerektirmediği için daha kolay uygulanabilir ve oldukça hafif bir sistem sağlamaktadır. Dijital fotoğraf makinesi ise 640x480 yüksek çözünürlükte ve saniyede 30 kare video çekme özelliğine sahiptir. Model uçak hava görüntülerinin alınması için uygun bir hava aracıdır. Çünkü helikoptere göre kontrol edilmesi daha kolay bir sistemdir. Oluşturulan ölçme sisteminin toplam ağırlığı model uçakla birlikte yaklaşık 2.5kg'dır. Model uçak ile oluşturulan ölçme sistemi Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Model uçak ile oluşturulan ölçme sistemi.

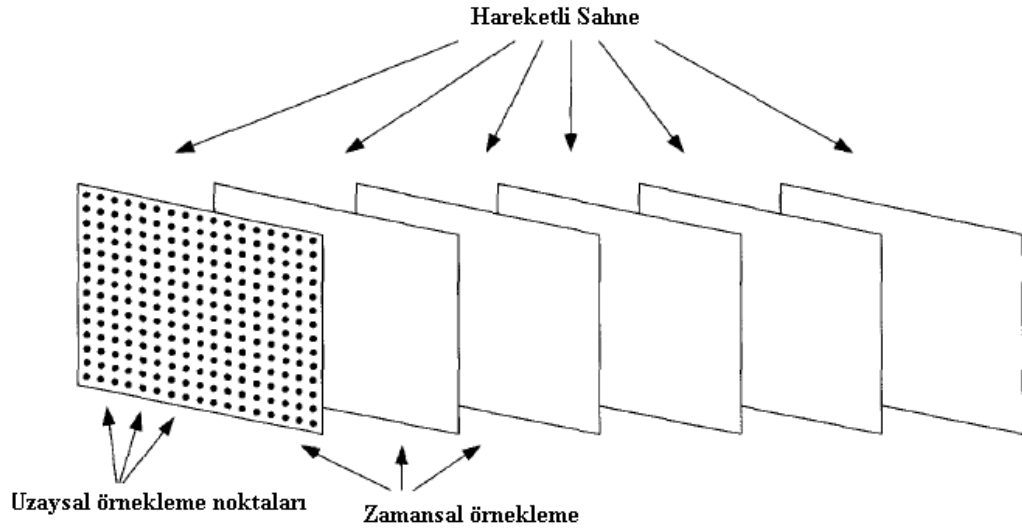
Uygulamada kullanılan model uçak ve üzerinde bulunan sensörlerin yerleşimi Şekil 5.2'de gösterilmektedir. GPS alıcısı uyduları görmesi için uçağın üst kısmına, video kamera ise yeryüzünü çekebilmesi için uçağın alt kısmına yerleştirilmiştir. Sensörlerin toplam ağırlığı 200gr civarındadır. Model uçaklı ölçme sistemi ile Nisan 2008'de Erciyes Üniversitesi kampüsünde çeşitli uçuşlar yapılmış ve bölgeye ait hava videoları ve GPS verileri toplanmıştır.



Şekil 5.2. Model uçaklı ölçme sistemi ve sensörlerin yerleşimi.

5.2. Videodan Resimlerin Elde Edilmesi

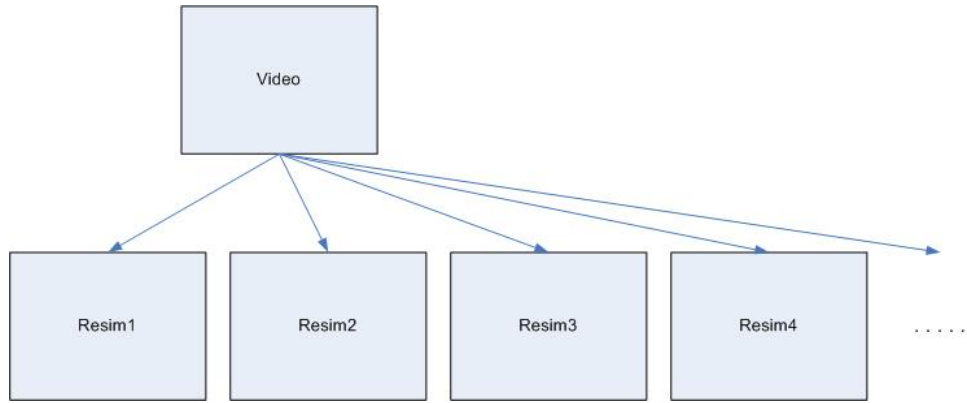
Bir video görüntüsü 3B bir çevrenin 2B düzleme izdüşürülmesidir. Bir 3B çevre, her biri farklı derinliğe, dokuya ve aydınlatmaya sahip nesneler içerir. 2B gösterim ise çeşitli dokular ve aydınlatmalar içermesine rağmen derinlik bilgisi barındırmaz. Resim anlık bir 2B gösterimi temsil eder, video dizisi ise bir zaman periyodu boyunca sahnenin gösterimini temsil eder. Bir gerçek görsel çevre zamansal ve uzaysal olarak süreklidir. Dijital olarak bir görsel çevreyi işlemek ve göstermek için gerçek çevrenin uzaysal (video görüntü düzleminde dikdörtgensel bir ızgarada) ve zamansal (belirli zaman aralıklarında örneklenmiş görüntüler veya çerçeveler) olarak örneklenmesi Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Videoda uzaysal ve zamansal örnekleme [119].

Bir hareketli video görüntüsü, video sinyalinden periyodik zaman aralıklarında anlık enstantaneler alınarak zamansal olarak örneklenmesiyle oluşturulmaktadır. Çerçeve serilerinin oynatılması hareket varmış gibi bir etki yaratmaktadır. Yüksek bir zamansal örnekleme hızı (çerçeve hızı) video sahnesindeki hareketin daha düzgün görünmesini sağlamaktadır. Fakat bunun için daha fazla örnek yakalamak ve depolamak gerekmektedir. Bazı durumlarda çerçeve hızı 10'un altında ise veri miktarının küçük olması sebebiyle çok düşük bit-oranı olan video haberleşmeleri için kullanılmaktadır. Fakat bu çerçeve hızıyla alınan video doğal olmamaktadır ve kesiklik meydana gelmektedir. Saniyede 10-20 çerçeve hızı, düşük bit-oranı olan video haberleşmeleri için kullanılmaktadır. Saniyede 25-30 çerçeve hızı ise televizyon resimleri için standarttır. Saniyede 50-60 çerçeve hızı ise genelde yüksek veri hızlarından yüksek kaliteli video elde etmek için kullanılmaktadır [119].

Yaptığımız uygulamada video 30 fps ile çekilmiştir. Saniyede 30 görüntü alınmaktadır. Ancak 1 saniye için bu veri çok fazladır. Bu yüzden resimler saniyede 1 tane olacak şekilde MATLAB ortamında örneklenmiştir. Video verileri ayrıştırılarak her bir yakalanan kare için resimler elde edilmektedir. Şekil 5.4'de bu durum şematik olarak gösterilmiştir.

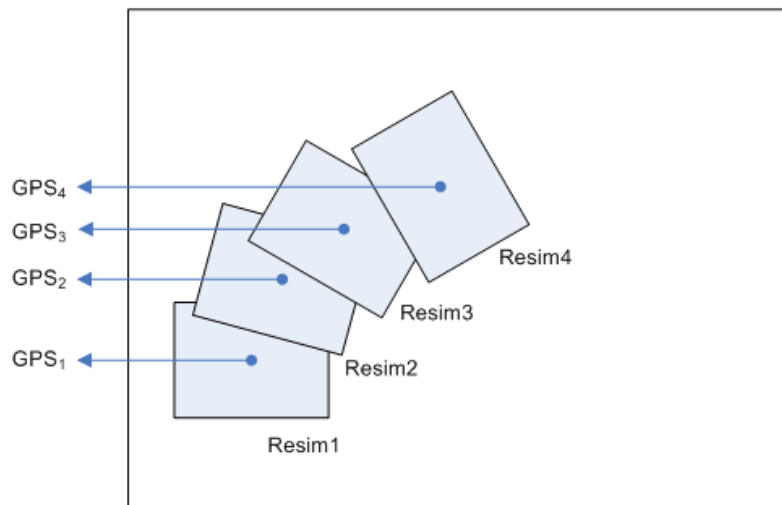


Şekil 5.4. Videodan resimlerin elde edilmesi.

5.3. GPS Verisiyle Resimlerin Eşleştirilmesi

GPS alıcısı saniyede 1 kez veri almakta ve bu veriyi depolamaktadır. Dijital kamera örnek sayısında saniyede 1 olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu durumda her bir görüntüye karşı gelen GPS verisi zaman bilgisinden faydalanılarak bulunmaktadır. İlk GPS verisi ile ilk video karesi arasındaki ilişki manuel olarak gerçekleştirildikten sonra, diğer GPS koordinatlarına karşılık gelen video kareleri de otomatik olarak eşleştirilmektedir.

Videodan elde edilen resimler, uygun şekilde birleştirilerek arazinin tamamının hava resmi elde edilebilmektedir. Uygulamada, video verisi elde edilirken eş zamanlı olarak GPS verisi de kaydedilmiştir. Şekil 5.5’de videodan elde edilen resimlerin GPS verileri ile ilişkilendirilmesi görülmektedir.



Şekil 5.5. Videodan elde edilen resimlerin GPS verileri ile ilişkilendirilmesi.

5.4. Resim Birleştirme

Resim birleştirmede en büyük sorun, ardışık resimlerin birbirlerinin üzerine nasıl çakıştırılacağıdır. Literatürde resim çakıştırma için çeşitli yöntemler önerilmiştir.

5.4.1. Çoklu-Ölçekli Yönelimli Yamalar Yöntemi ile Birleştirme

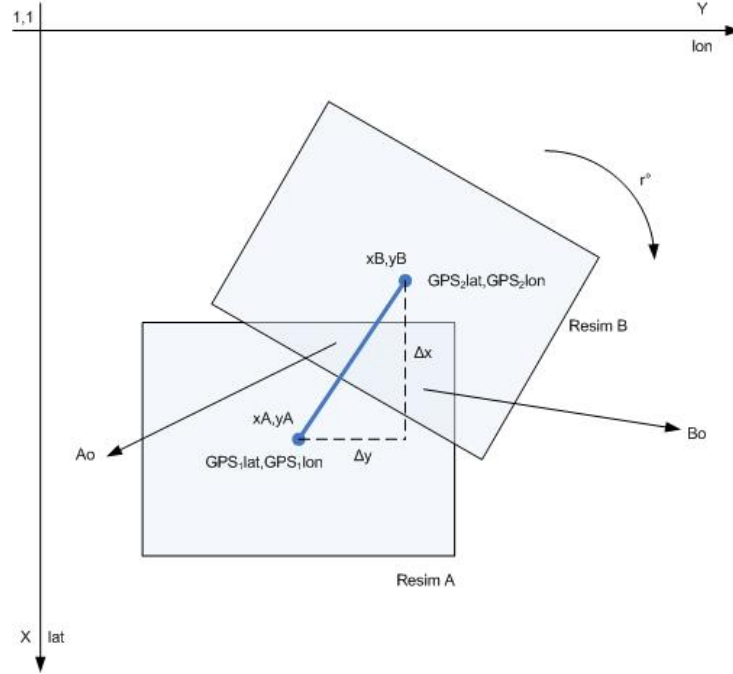
Çoklu-ölçekli Yönelimli Yamalar (ÇÖYY-Multi-scale oriented patches) yöntemi değişmez bir özellik üzerine kurulu bir görüntü eşleştirme yöntemidir. Bu yöntemde özellikler, ayrık ölçekli uzaydaki Harris köşeleri ve yerel bir gradyent kullanılarak elde edilir. Bu özellik, dönmeden bağımsız bir özniteliktir. Bias/kazanç normalize yoğunluk değerleri 8x8 boyutlarında yamalardan meydana gelmektedir. Resimdeki özniteliklerin yoğunluğu adaptif maksimal olmayan bastırma algoritması ile kontrol edilmektedir. Eşleştirme işlemi, hızlı en yakın komşu yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu algoritma, öznitelikleri alçak frekanslı Haar dalgacık katsayılarına göre indekslemektedir. 2 boyutlu birleştirme ile öznitelik eşleşmeleri RANSAC ile filtrelenmiş ve birleştirilmiş resim elde edilmiştir. Bu yöntemle ilişkin detaylar [120]'de bulunabilir. Şekil 5.6'daki kutucuklar öznitelik oryantasyonunu ve örneklenen Harris köşe vektörlerinin olduğu bölgeleri göstermektedir.



Şekil 5.6. 5 Piramit seviyesinde çıkartılmış çoklu-ölçekli yönelimli yamalar [120].

5.4.2. GA ve DGA ile Resim Birleştirme

Optimizasyon temelli çakıştırma işleminin temel yapısı Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Resim akıştırma: B resminin A resmine akıştırılması.

Şekil 5.7’de, A ve B kaynak resimleri, A_o ve B_o kaynak resimlerin çakışan bölgelerini, x_A , x_B , y_A , y_B , A ve B resimlerinin piksel koordinatlarını, GPS_1 ve GPS_2 A ve B resimlerinin merkezlerinin GPS koordinatları temsil etmektedir. akıştırma işleminde temel amaç, A_o ve B_o ’nun benzerliğini maksimum edecek şekilde x_B , y_B ve r ’yi optimize etmektir. Burada (x_B, y_B) B resminin merkezinin referans noktasına göre ne kadar öteleneceği (diğer bir ifadeyle orijine göre B resminin merkez koordinatlarını), r ise B resminin kaç derece döndürüleceğini göstermektedir. Bu işlem için kullanılacak olan amaç fonksiyonu Tablo 5.1’de gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Resim akıştırma için amaç fonksiyonu.

Amaç Fonksiyonu:
Uygunluk Değeri= (x_B, y_B, r, A, B)
B ’yi (x, y) kadar ötele (B ’nin merkezini x_B, y_B yap)
B ’yi r açısı kadar döndür
$O = A \cap B$ (Kesişim)
Uygunluk Değeri = $1 / MI(A_o, B_o)$

Amaç fonksiyonunda benzerlik ölçütü olarak MI (Mutual Information) kullanılmıştır. Denklem 5.1’de gösterilen MI, istatistiksel bir benzerlik ölçütüdür. Korelasyon gibi iki veri kümesinin birbirine ne kadar benzediğini ölçer. Ancak, histogram temelli olduğu için şablon karşılaştırma ve çakıştırma uygulamaları için çok büyük avantajlar sağlar. Bu yöntemde, optimizasyon algoritması olarak herhangi bir türeve dayalı klasik veya gelişime dayalı yapay zeka nümerik optimizasyon algoritması kullanılabilir.

$$I(X;Y) = \sum_{y \in Y} \sum_{x \in X} p(x,y) \log \left(\frac{p(x,y)}{p_1(x)p_2(y)} \right), \quad (5.1)$$

Videodan elde edilen resimler sıra ile birbirlerine birleştirilerek tüm resim elde edilebilir. Ancak;

- Resimler arttıkça araştırma uzayı çok fazla büyümekte dolayısıyla yöntemin işlem zamanı da ekponansiyel olarak artmaktadır.
- Hangi resmin nereye çakıştırılacağı bilgisi olmadığı için yanlış çakıştırmalar meydana gelebilmektedir.

5.4.3. Önerilen Yöntem: GA ve DGA ile GPS Destekli Resim Birleştirme

Bu çalışmada, bahsedilen problemleri gidermek için hava videosu elde edilirken her bir resme ait GPS bilgisi de toplandığı için bu bilgi resim çakıştırma işlemine destek olmak amacıyla kullanılmıştır.

Önerilen yöntem:

- Klasik yöntem ile ilk iki resim çakıştırılır.
- Resimlerin GPS koordinatları bilindiği için, GPS’deki değişimin piksel uzayındaki karşılığı bulunur. Yani GPS’in yatay ve dikeydeki birim değişimin piksel koordinat düzleminde kaç piksel olduğu hesaplanır. Böylece tüm resimlerin yaklaşık olarak piksel koordinatları elde edilmiş olur.
- Ardışık resimlere ait GPS verisinden yararlanılarak tüm resimlerin yaklaşık olarak ne kadar dönmesi gerektiği de hesap edilir.
- Bu bilgiler, optimizasyon işleminde başlangıç çözümlerinin oluşturmasında kullanılır ve arama uzayı olabildiğince küçültülür. Bu da hem hızlı ve

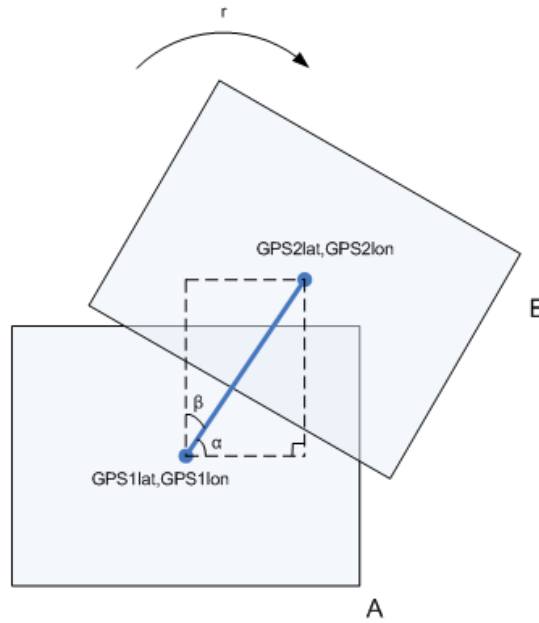
yüksek performanslı bir çözüm sunar, hem de yanlış çakıştırmaların önüne geçilmiş olunur.

GPS koordinatlarındaki yatay ve dikeydeki birim değişimin kaç piksel olduğunu hesaplamak için Şekil 5.7’de görülen çakıştırma işlemi gerçekleştirilir ve Denklem 5.2’de kullanılarak dönüşüm katsayıları hesaplanır.

$$\begin{aligned}\Delta x_{lat} &= |GPS_2lat - GPS_1lat| / \Delta x \\ \Delta y_{lon} &= |GPS_2lon - GPS_1lon| / \Delta y\end{aligned}\quad (5.2)$$

Denklem 5.2’de, Δx_{lat} GPS’deki derece cinsinden boylam değişimin piksel olarak karşılığı, Δy_{lon} GPS’deki derece cinsinden enlem değişimin piksel olarak karşılığıdır.

Resimlerin birbirlerine göre kaç derece döndükleri ise Şekil 5.8’de görüldüğü gibi bulunabilir.



Şekil 5.8. Resim çakıştırma: Dönme açılarının hesaplanması.

Burada, B resminin dönme açısı β Denklem 5.3’deki gibi hesaplanabilir:

$$\beta = \arctan \{ (GPS_2lat - GPS_1lat) / (GPS_2lon - GPS_1lon) \} \quad (5.3)$$

Tüm resimler için bu işlem yapılır ve yaklaşık dönme açıları belirlenir. Böylece optimizasyon algoritmasında kullanılmak üzere bir yardımcı bilgi elde edilmiş olur.

Sadece bu bilgiler kullanılarak, herhangi bir optimizasyon işlemi gerçekleştirilmeden eldeki bilgilerdeki kabaca koordinatlar ve dönme açıları yardımıyla bir birleştirme işlemi gerçekleştirilebilir. Ancak bu durumda, eldeki bilgiler resimlerin kesin koordinatlarını vermemekle birlikte dönme açıları da yaklaşık bir bilgi vermektedir. Dolayısıyla bu bilgiler kullanılarak elde edilen bir birleşik resimde pek çok kayma hatası meydana gelmesi muhtemeldir.

Bu çalışmada, önerilen yöntemin gerçekleştirilmesinde Genetik Algoritma (GA) ve Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılmıştır. Bu algoritmalar, gelişime dayalı popülasyon temelli yapay zeka optimizasyon algoritmalarıdır. Çözüm uzayını paralel olarak araştırarak bölgesel optimalara takılmadan global optimumu yakalayabilmektedirler.

Önerilen yöntemin algoritması takip eden şekilde özetlenebilir:

1. Video verisi resimlere dönüştürülür ve her bir resme karşılık gelen GPS koordinatları ile eşleştirilir.
2. Elde edilen resimler ve GPS bilgileri diskten çalışma ortamına yüklenir.
3. İlk iki resim veya kullanıcının belirleyeceği herhangi iki resim optimizasyon temelli yöntem ile birleştirilir ve resimlerin merkezleri arasındaki yatay ve dikeydeki piksel olarak değişim aynı noktaların GPS'deki değişimi ile eşleştirilerek yatay ve dikey için dönüşüm oranları belirlenir.
4. Veri setindeki en soldaki ve en üstteki koordinat referans olarak kabul edilerek, dönüşüm oranı yardımıyla veri kümesindeki tüm resimlerin merkezlerinin yaklaşık piksel koordinatlarının referansa göre uzaklıkları hesaplanır. Burada referansın sol-üst olarak seçilmesinin sebebi, uygulamada görüntülerin orijin noktasının sol-üst köşe olmasıdır.
5. Yine ardışık resimlere ait GPS koordinat bilgilerinden yararlanılarak yaklaşık dönme açıları (azimuth) hesaplanır.
6. Tüm resimleri ihtiva edecek boyutlarda boş bir resim oluşturulur (I) ve veri kümesindeki ilk resim GPS'den elde edilen yaklaşık koordinata yerleştirilir.

7. Veri kümesindeki diğer tüm resimler için durdurma kriterleri sağlanana kadar sırayla aşağıdaki işlemler tekrarlanır:
- I resmi ile sıradaki resim (I_i) birleştirilmek üzere çakıştırma fonksiyonuna GPS'den hesaplanan yaklaşık koordinat ve dönme bilgisi ile birlikte gönderilir.
 - Çakıştırma fonksiyonu, GPS destek bilgilerini kullanılarak başlangıç popülasyonunu bu bilgilerin civarında rastgele olarak oluşturur. Ayrıca, GPS destek bilgisinin kendisini de popülasyonun ilk bireyi olarak aynen kopyalanır.
 - Algoritma ile ilgili kontrol parametreleri ayarlanır ve uygunluk fonksiyonu minimize edilecek şekilde optimizasyon işlemine başlanır.
 - Optimize edilecek olan, yani uygunluk fonksiyonuna giren parametreler, I_i resminin merkezinin referansa göre uzaklığı (x,y) ve I_i resminin dönme açısıdır (r).
 - Optimizasyon tamamlandıktan sonra, elde edilen x , y ve r parametreleri kullanılarak I resmi ile I_i resmi çakıştırılarak birleştirilir. Elde edilen yeni resim I olarak kabul edilir.

Bu çalışmada çözümlerin kalitesi, çakışan bölgelerin MI'larının hesaplanmasıyla elde edilmektedir. Ne kadar yüksek MI değeri elde edilirse, o kadar iyi bir çakıştırma gerçekleştirilmiş olur. Optimizasyon algoritmaları uygunluk değerlerini minimize ettiğinden dolayı, elde edilen MI değerlerinin tersi uygunluk değeri olarak kabul edilmiştir. Her bir çözüme ait uygunluk değerleri Denklem 5.4 ile hesaplanmıştır:

$$F = 1 / \text{MI}(I_o, I_{io}) \quad (5.4)$$

burada, I_o ve I_{io} , I ve I_i resimlerinin çakışan bölgelerini göstermektedir.

Önerilen yöntem, mevcut yöntemlere göre oldukça avantajlıdır. Arama uzayı küçültülmüş, hatalı ve yanlış çakıştırmalar büyük ölçüde engellenmiştir. Bu yönteme ait, simülasyon sonuçları bölüm 5.4.1'de ve deneysel sonuçlar ise bölüm 5.4.2'de verilmiştir.

5.5. K-ortalama, Bulanık C-ortalama, GA ve DGA ile Resim Bölütleme

Yeryüzündeki cisimlerin elektromanyetik spektrumun değişik bölgelerinde yansıttıkları veya yaydıkları ışınım farklılık göstermektedir. Sayısal 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 gruplandırılabilir. Bölütlemeye amaç uydu görüntülerindeki her pikseli spektral özelliklerine göre farklı gruplara ayırmak ve pikseli yansıtma değerlerine göre yeryüzünde karşılık geldiği kümeye atamaktır [121-124].

Bölütleme işleminin gerçekleştirilmesinde dikkat edilecek hususlar şunlardır:

- Algılayıcı, algılama zamanı ve spektral bandların amaca uygun olarak seçimi,
- Yeryüzü özelliklerini ortaya koyabilecek kontrol alanlarının seçimi,
- Amaca yönelik bölütleme algoritmasının seçimi,
- Belirlenen bu özelliklerin tüm görüntüye uygulanması ve görüntülenmesi,
- Sonuç görüntülerinde doğruluk değerlendirmelerinin yapılması [121].

Bölütleme yöntemleri, kontrollü ve kontrolsüz bölütleme olarak ikiye ayrılır. Kontrollü bölütlemeye, farklı spektral grupları temsil eden kontrol alanları kullanılarak spektral ayrılabilirlik incelenebilmekte buna karşılık kontrolsüz bölütlemeye spektral olarak ayrılabilir sınıflar doğal gruplaşmalara dayalı olarak belirlenebilmekte ve bilgi edinme yoluna gidilmektedir [124].

Görüntü analizinde ve görmede resmin anlamlı bölümlere ayrılması kritik bir işlemdir. Görüntü bölütleme, ilgilenilen bir nesnenin resmin artalanından veya ikinci dereceden önemli nesnelerden ayrılması işlemidir. I tüm resmi temsil etmek üzere $I_1, I_2, \dots, I_n$ I 'nin parçaları olsun. Bu durumda aşağıdaki özellikler geçerlidir [15]:

- $\bigcup_{i=1}^n I_i = I$
- I_i , bağlı komşulukları olan bir bölgedir
- Tüm i 'ler ve j 'ler için $i \neq j$ olmak üzere
 $I_i \cap I_j = \emptyset$

- Tüm i 'ler için $P(I_i)=\text{DOĞRU}$
(I_i bölgesinin tüm piksel değerleri bir benzerlik kriterine göre benzer ise DOĞRU değeri üretilir).
- $i \neq j$ iken $P(I_i \cup I_j) = \text{YANLIŞ}$

görüntü bölütlemedeki temel mantık sınıflar arası benzerliği minimum ve sınıf içi benzerliği maksimum yapmaktır [15].

Literatürde, görüntü bölütleme için pek çok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada:

- K-ortalama,
- Bulanık C-ortalama,
- Gelişime Dayalı Algoritmalar (GA, DGA) yöntemleri kullanılmıştır.

K-ortalama algoritmasında, başlangıçta K adet sınıf merkezi belirlenir. Bu merkezler rastgele seçilebileceği gibi veri kümesinden örnekler seçilerek de elde edilebilir. Sonrasında resimdeki tüm pikseller en yakın sınıf merkezine atanır. Her bir sınıfın yeni merkezi, o sınıftaki piksel değerlerinin ortalaması alınarak elde edilir. Bu işlemler belli sayıda veya sınıf merkezlerinin değişiminin durmasına kadar devam edilir.

Bulanık C-Ortalama (Fuzzy C-means-FCM), her bir verinin bir sınıfa belli bir üyelik fonksiyonu derecesinde ait olduğu bir bölütleme yöntemidir. Bu teknik ilk olarak Jim Bezdek tarafından daha önceki bölütleme yöntemlerinin gelişmiş bir versiyonu olarak önerilmiştir [98, 125]. Çok boyutlu bir uzayda farklı sayıda sınıfa dağılan verilerin nasıl gruplanacağını gösteren bir yöntemdir. Sınıf merkezleri için rastgele değerler seçilir. FCM her bir veriyi bir üyelik fonksiyonu ile her bir sınıfa sırayla atar. İteratif olarak sınıf merkezlerinin ve üyelik fonksiyon derecelerinin güncellenmesiyle sınıf merkezleri doğru yerlerine oturmaya başlar. Bu iterasyonlar, her bir verinin ait olduğu sınıf merkezine uzaklığının ilgili verinin üyelik fonksiyonunun ağırlıklandırılması ile hesaplanan bir amaç fonksiyonunun minimize edilmesine bağlıdır.

Diğer taraftan, bölütleme problemi bir optimizasyon problemi olarak da ele alınabilir. Burada amaç sınıf içi benzerliği maksimize etmektir. Sınıf içi benzerliği maksimize etmenin bir yolu sınıftaki elemanların sınıf merkezine olan Öklit uzaklıklarının

toplamını minimize etmektir. Öklit uzaklığı Denklem 5.5’de verilmiştir.

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^N (R_i - C_j)^2} \quad (5.5)$$

Burada, R sınıftaki elemanları, N eleman sayısını ve C ise sınıf merkezlerini belirtmektedir. Bu durumda, optimizasyon algoritması için amaç fonksiyonundaki uygunluk değeri her bir sınıfa ait Öklit uzaklıklarını toplamı olarak Denklem 5.6’deki gibi tanımlanabilir.

$$F = \sum_{j=1}^K E_j \quad (5.6)$$

Burada K , sınıf sayısıdır. Optimizasyon algoritması, F uygunluk değerini minimize edecek C değerlerinin bulunmasını sağlamaktadır.

GA ve DGA tabanlı yöntemin adımları şu şekilde özetlenebilir:

1. Bir başlangıç popülasyonu üret. Popülasyondaki her bir birey muhtemel bir çözümü yani sınıf merkezlerinin değerlerini temsil etmektedir (C).
2. Resimdeki pikselleri popülasyondaki her bir olası sınıf merkezi için ilgili en yakın sınıfa ata ve her bir birey için F uygunluk değerini hesapla.
3. Araştırma operatörlerini kullanarak yeni bireyler üret.
 - a. GA için: Seleksiyon, Çaprazlama ve Mutasyon.
 - b. DGA için: Mutasyon, Rekombinasyon ve Seleksiyon.
4. Durdurma kriterleri sağlanıyorsa dur, yoksa adım 2’ye git.

GA ve DGA popülasyon tabanlı gelişime dayalı optimizasyon algoritmalarındandır. Araştırma uzayını paralel olarak tarayarak en uygun çözümün bulunmasını sağlarlar.

5.6. Simülasyon Sonuçları ve Deneysel Sonuçlar

Önerilen yöntemlerin başarımını test edebilmek amacıyla hem simülasyon tabanlı hem de deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

5.6.1. Simülasyon Sonuçları

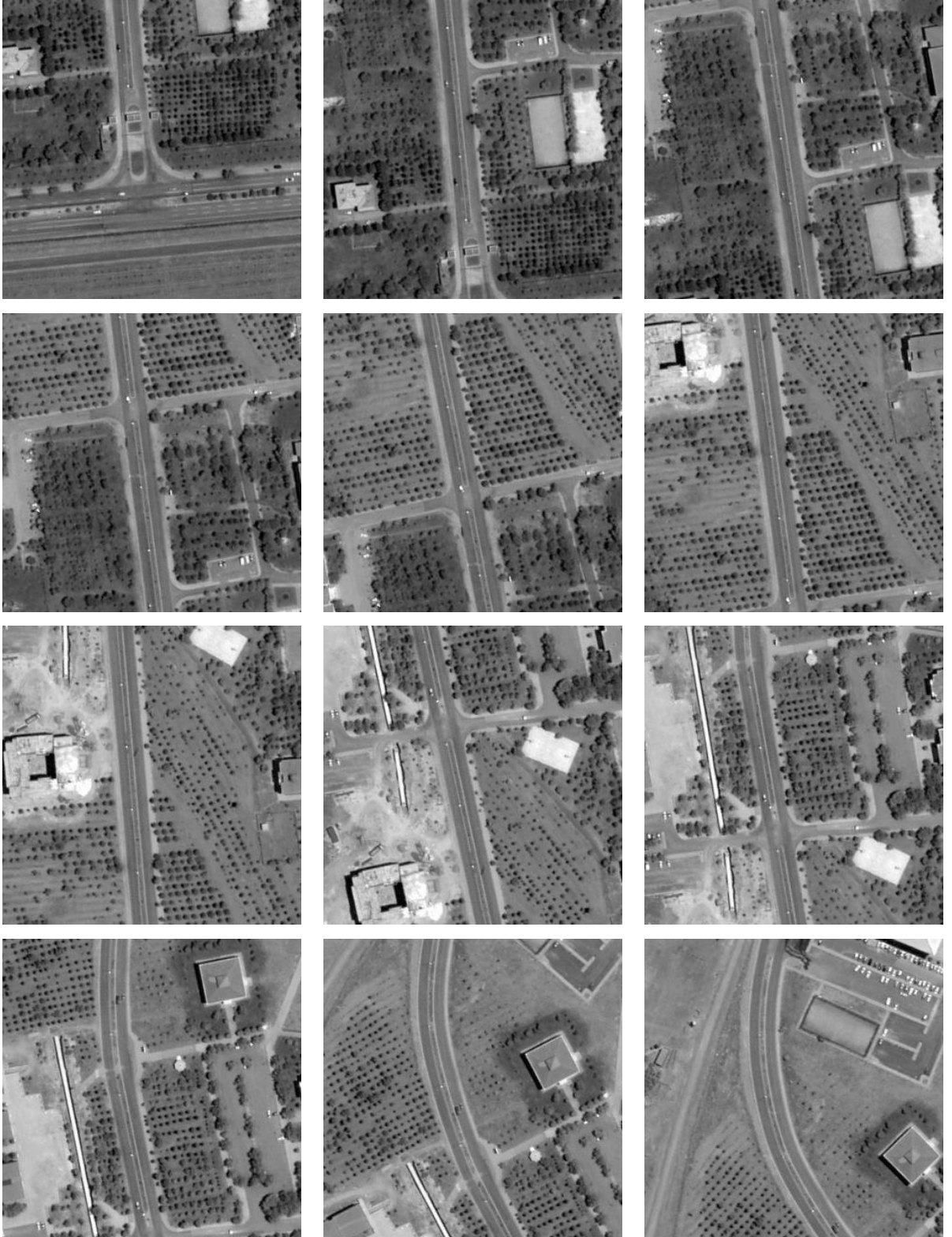
Bu bölümde gerçekleştirilen simülasyon tabanlı çalışmalara ait sonuçlar verilmiştir. İlk adımda, önerilen yöntemin test edilebilmesi için deneysel çalışmalar yapmak zahmetli ve maliyetli olduğundan dolayı yöntemin başarımı öncelikle bilgisayar ortamında gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları neticesinde elde edilen veriler üzerinde sınanmıştır. Simülasyon tabanlı çalışmalar için Google Earth yazılımından hava görüntüleri ve bu görüntülere ait GPS verileri alınmıştır. Elde edilen veriler önerilen yöntem yardımıyla birleştirilmiş ve sınıflandırılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada Erciyes Üniversitesi kampüsü üzerinde Google Earth yazılımından görüntüler alınmıştır. İzlenilen güzergah toplam 72 noktadan oluşmakta ve yaklaşık 0.5 km^2 'lik bir alanı ihtiva etmektedir. Uçuş güzergahı Şekil 5.9'da görülmektedir.

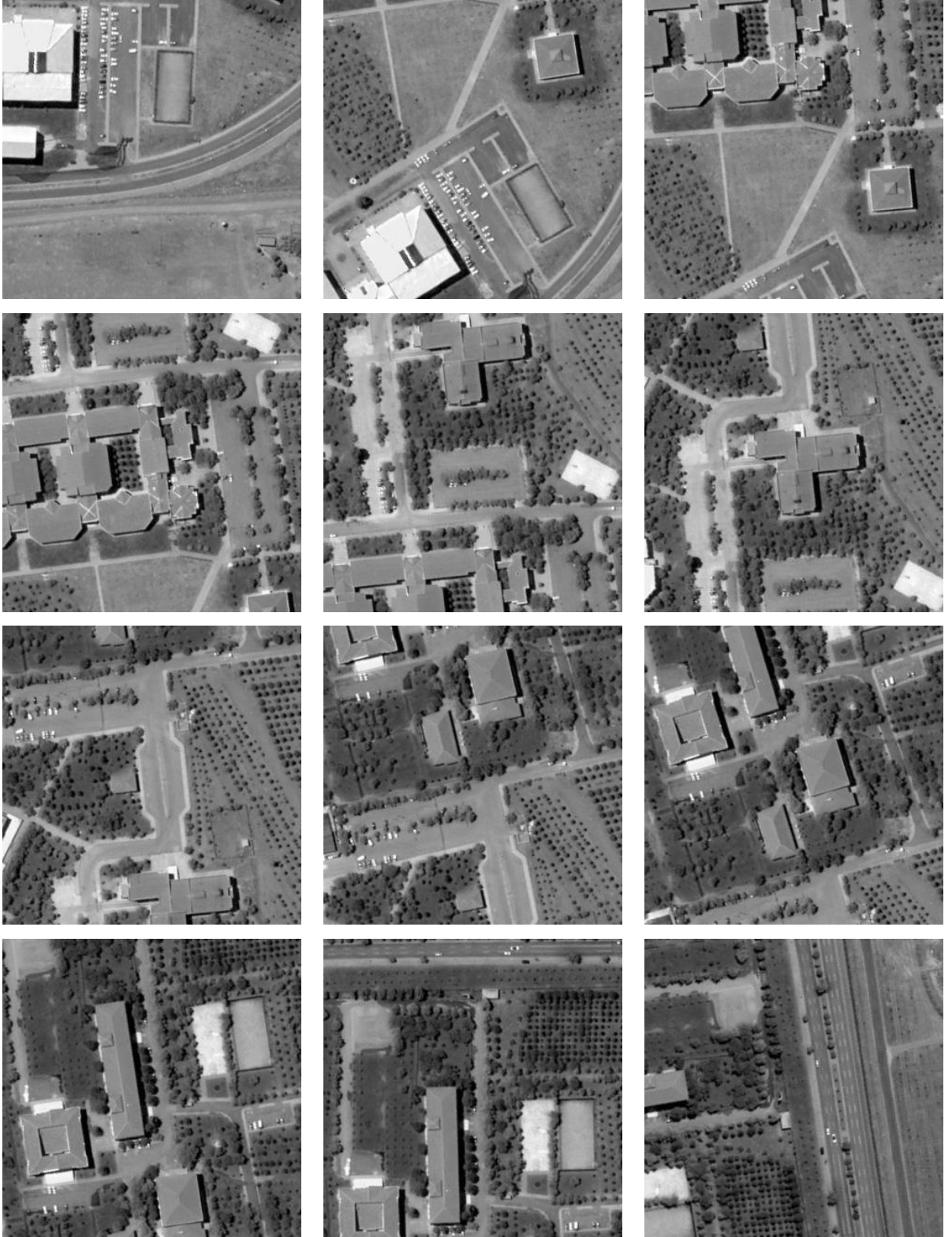


Şekil 5.9. Simülasyon çalışmasında kullanılan uçuş güzergahı.

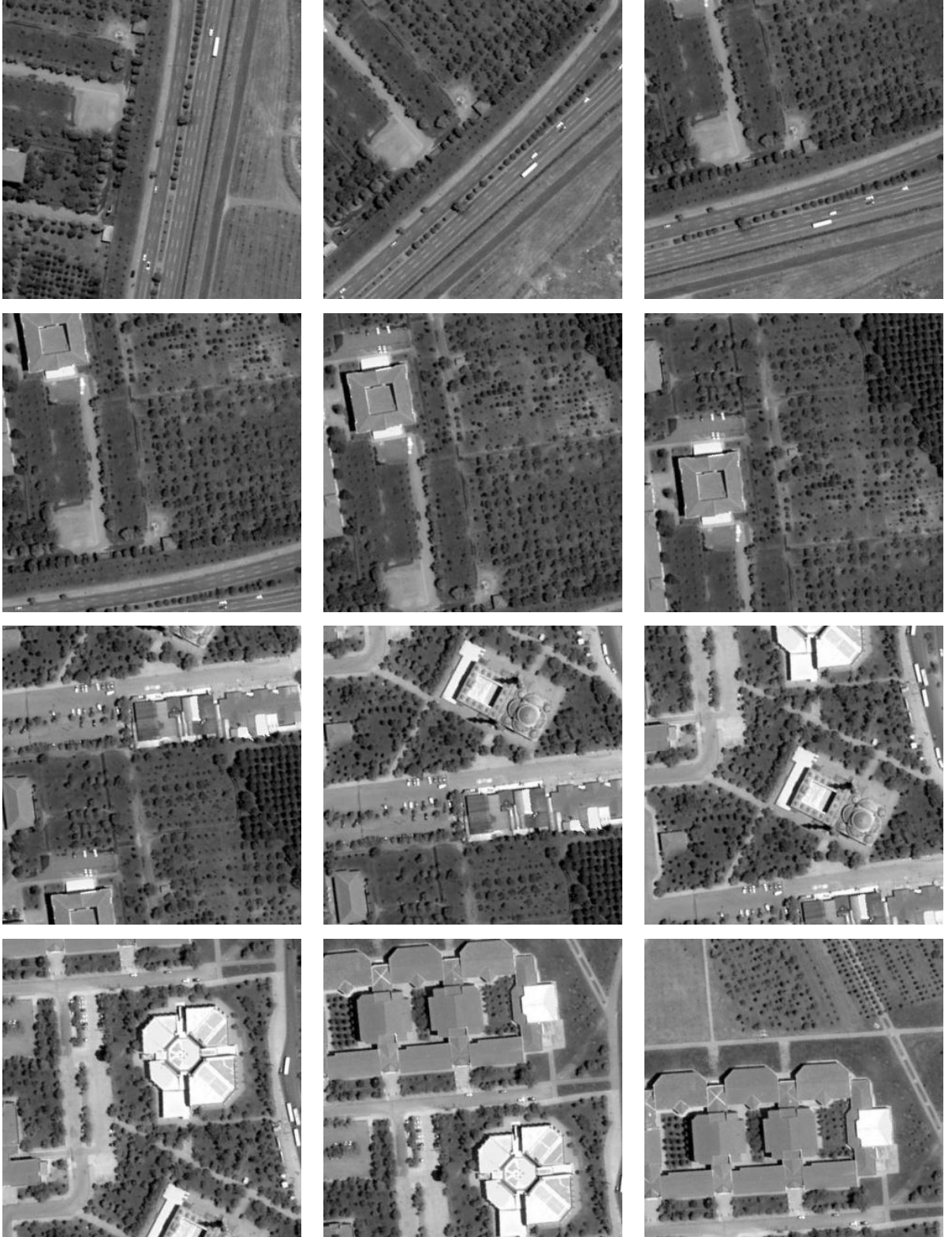
Simülasyon tabanlı çalışma için Google Earth yazılımından elde edilen görüntüler Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Simülasyon tabanlı çalışma için Google Earth yazılımından alınan görüntüler.



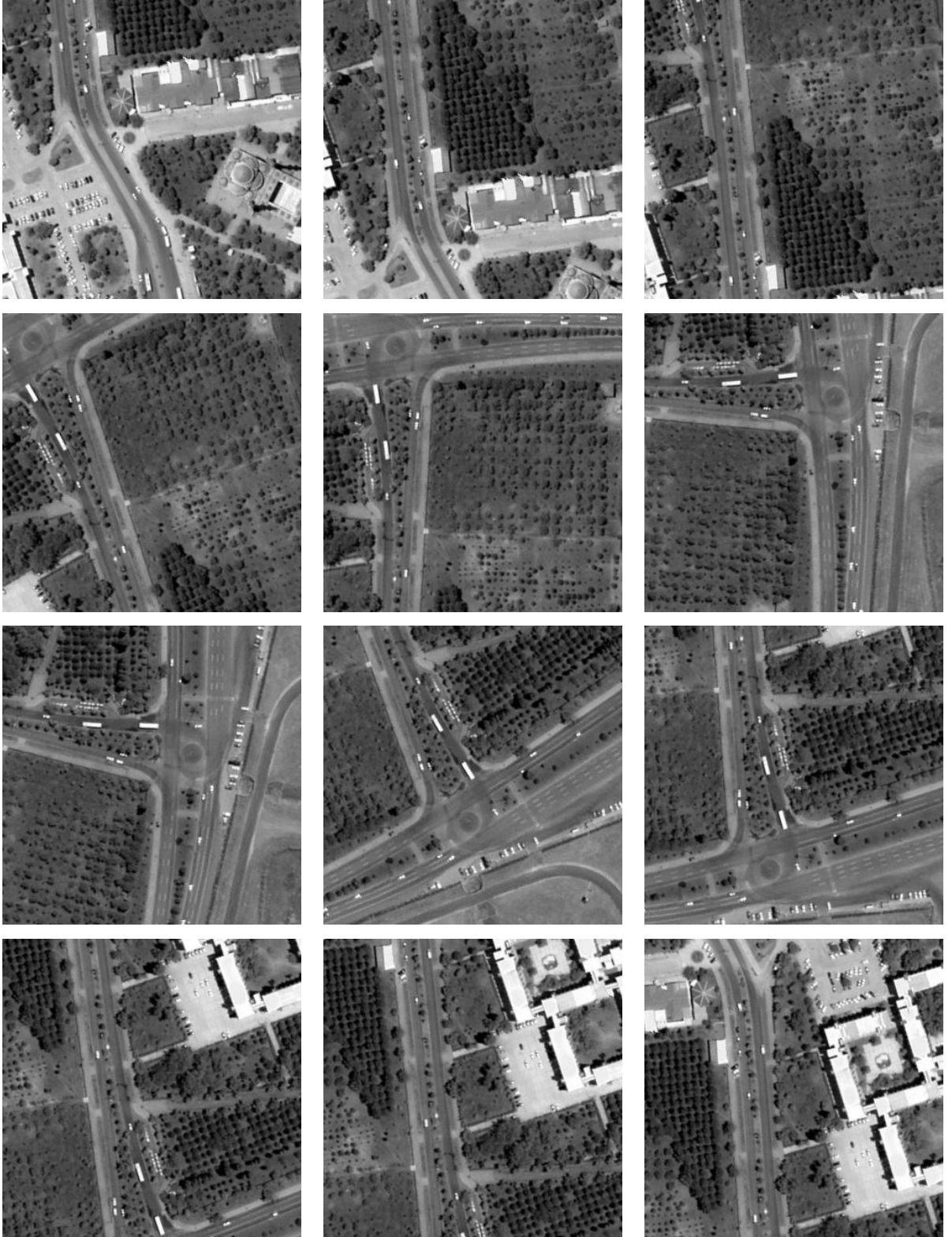
Şekil 5.10. Simülasyon tabanlı çalışma için Google Earth yazılımından alınan görüntüler.



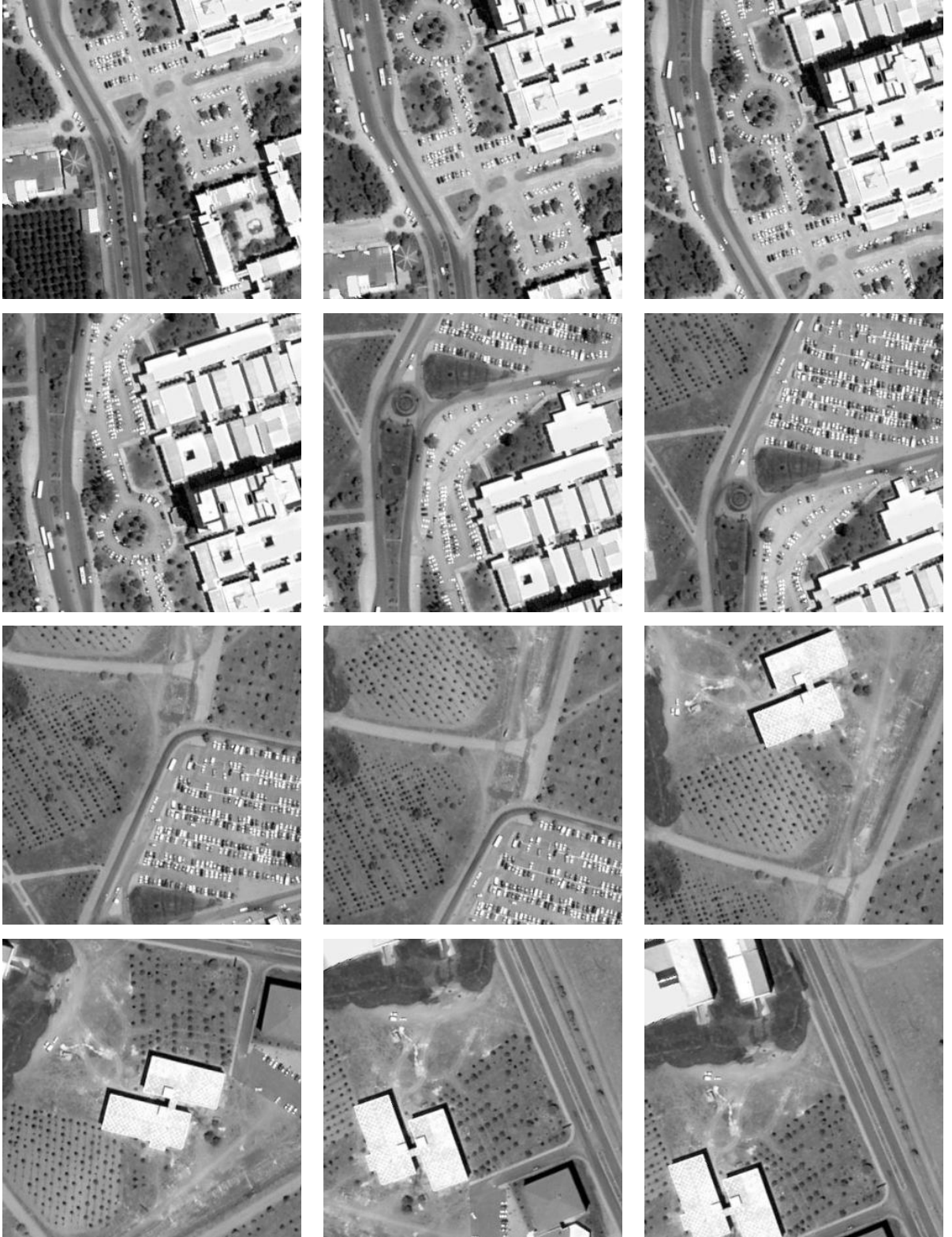
Şekil 5.10. Simülasyon tabanlı çalışma için Google Earth yazılımından alınan görüntüler.



Şekil 5.10. Simülasyon tabanlı çalışma için Google Earth yazılımından alınan görüntüler.



Şekil 5.10. Simülasyon tabanlı çalışma için Google Earth yazılımından alınan görüntüler.



Şekil 5.10. Simülasyon tabanlı çalışma için Google Earth yazılımından alınan görüntüler.

Resimler araziye göre 300 metre yükseklikten alınmıştır. Bu uygulamada model uçağın yüksekliğinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Elde edilen resimler 322x322 boyutlarında ve 8-bit gri-seviye çözünürlüktedir.

Veri kümesindeki ilk iki resim alınarak GPS koordinatları ile piksel koordinatları arasındaki kullanılması gereken dönüşüm oranları Denklem 5.2'ye göre hesaplanmıştır. Elde edilen dönüşüm oranları Denklem 5.7'da verilmiştir.

$$\begin{aligned}\Delta x_{lat} &= 188983 \\ \Delta y_{lon} &= 149842\end{aligned}\tag{5.7}$$

Veri kümesindeki en sağ ve en üstteki koordinatlara göre referans noktası olarak (38.71,35.515) koordinatı belirlenmiştir. Veri kümesindeki her bir noktanın referans koordinata göre olan farkı ile elde edilen dönüşüm oranları çarpılarak resimlerin piksel koordinat sisteminde kabaca hangi koordinata yerleştirilmesi gerektiği ($\hat{x}_B$, $\hat{y}_B$) hesaplanmıştır. Yine Denklem 5.3 kullanılarak yaklaşık dönme açıları da hesap edilmiştir (r). Elde edilen bu bilgiler Tablo 5.2'de verilmiştir.

GPS destek bilgileri elde edildikten sonra resimlerin piksel koordinat sistemindeki orijine olan uzaklıklarına göre tüm resimleri kapsayacak şekilde ve yeterli büyüklükte boş bir resim oluşturulmaktadır. Bu uygulamada, içeriği 0'lardan 2000x2000'lik bir başlangıç resmi oluşturulmuştur (I). Veri kümesindeki ilk resim GPS destek bilgisine göre I resmine yerleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen yeni resim I resmi olarak kabul edilerek veri kümesindeki ikinci resim ile bölüm 5.1'de anlatılan yöntem ile birleştirilmiştir. Elde edilen yeni resim yine I olarak kabul edilmiş ve sırasıyla kalan tüm resimler için bu adımlar tekrarlanmıştır.

Burada en önemli nokta, GPS destek bilgisinin optimizasyon algoritmasına nasıl yardım edeceğinin belirlenmesidir. Eldeki GPS destek bilgileri algoritmaların başlangıç çözümlerinin oluşturulmasında yardımcı olarak kullanılmıştır. Optimize edilecek 3 parametre (x_B , y_B ve r) için öncelikle araştırma sahasının alt ve üst limitleri belirlenmiştir. Burada x_B ve y_B için ± 15 piksel, r için de ± 5 derece ile sahalara belirlenmiştir.

Tablo 5.2. Hava görüntülerine ait GPS destek bilgileri.

No	Enlem	Boylam	$\hat{x}B$	$\hat{y}B$	r	No	Enlem	Boylam	$\hat{x}B$	$\hat{y}B$	r
1	38.703129	35.517169	322	1299	38.32	37	38.707000	35.523440	1262	565	34.93
2	38.703770	35.517676	398	1180	39.28	38	38.707518	35.523801	1314	469	28.05
3	38.704293	35.518103	465	1076	42.02	39	38.707866	35.523987	1346	409	43.36
4	38.704747	35.518512	524	995	40.91	40	38.708296	35.524392	1407	318	84.50
5	38.705159	35.518870	582	912	44.58	41	38.708339	35.524839	1472	313	158.77
6	38.705659	35.519362	653	818	41.16	42	38.707726	35.525077	1511	427	-155.56
7	38.706144	35.519786	715	731	38.65	43	38.707219	35.524847	1474	521	-149.43
8	38.706712	35.520240	784	617	45.86	44	38.706722	35.524553	1431	619	-141.00
9	38.707182	35.520725	856	533	43.39	45	38.706155	35.524094	1367	725	-139.08
10	38.707607	35.521126	920	448	45.22	46	38.705538	35.523559	1287	843	-139.68
11	38.708074	35.521598	990	361	61.66	47	38.704931	35.523044	1205	957	-139.99
12	38.708473	35.522337	1098	295	78.68	48	38.704432	35.522625	1142	1054	-139.99
13	38.708622	35.523080	1210	263	-170.01	49	38.703821	35.522112	1068	1168	-139.99
14	38.707825	35.522940	1189	409	-137.17	50	38.703270	35.521650	995	1272	-139.99
15	38.707247	35.522404	1111	519	-140.68	51	38.702720	35.521188	937	1371	-139.99
16	38.706691	35.521949	1043	628	-138.04	52	38.702169	35.520726	859	1476	-127.72
17	38.706032	35.521356	949	748	-139.26	53	38.702008	35.520517	827	1511	-148.88
18	38.705520	35.520915	885	843	-139.99	54	38.701602	35.520273	787	1593	118.80
19	38.704908	35.520402	814	954	-139.99	55	38.701478	35.520500	823	1613	110.16
20	38.704359	35.519941	743	1063	-134.92	56	38.701355	35.520835	874	1630	54.37
21	38.703946	35.519527	676	1142	-131.15	57	38.701547	35.521103	918	1597	38.38
22	38.703467	35.518978	591	1237	-139.54	58	38.701991	35.521455	966	1515	41.72
23	38.703054	35.518627	548	1315	-146.47	59	38.702313	35.521742	1005	1455	40.01
24	38.702513	35.518268	489	1420	131.50	60	38.702768	35.522123	1061	1365	38.49
25	38.702254	35.518562	534	1464	113.18	61	38.703276	35.522528	1127	1273	39.59
26	38.702027	35.519091	613	1502	74.79	62	38.703728	35.522902	1182	1188	39.49
27	38.702086	35.519310	645	1494	47.09	63	38.704098	35.523207	1232	1119	39.63
28	38.702443	35.519693	701	1424	40.69	64	38.704605	35.523626	1295	1018	39.37
29	38.702716	35.519928	739	1372	41.77	65	38.705197	35.524112	1361	909	40.01
30	38.703135	35.520302	787	1296	38.71	66	38.705633	35.524478	1416	828	42.84
31	38.703728	35.520778	871	1186	38.71	67	38.706208	35.525012	1498	716	43.19
32	38.704174	35.521135	919	1101	38.87	68	38.706548	35.525331	1549	653	39.09
33	38.704681	35.521544	979	1001	40.01	69	38.707170	35.525836	1623	533	31.73
34	38.705264	35.522033	1061	898	39.00	70	38.707628	35.526119	1658	455	-4.16
35	38.705833	35.522494	1125	785	39.68	71	38.708014	35.526091	1661	372	-60.68
36	38.706412	35.522974	1199	673	38.37	72	38.708209	35.525743	1607	334	-60.68

Tablo 5.3. Optimizasyon algoritmaları için parametre limitleri.

	x_B	y_B	r
Alt sınır	$\hat{x}_B - 15$	$\hat{y}_B - 15$	$r - 5$
Üst sınır	$\hat{x}_B + 15$	$\hat{y}_B + 15$	$r + 5$

Böylece (x_B, y_B) için $[0, 2000]$ ve r için $[-180, 180]$ olan araştırma uzayları çok büyük bir oranda daraltılmıştır.

Diğer taraftan, başlangıç popülasyonu Tablo 5.3’de gösterilen sahada uniform dağılımlı olarak rastgele oluşturulurken, GPS destek bilgisinin kendisi de popülasyon içerisine 2 kez dahil edilmiştir.

Örneğin; $x_B = 398.72$, $y_B = 1180.18$ ve $r = 39.27$ için alt sınır ve üst sınır Tablo 5.4’de, örnek bir popülasyon ise Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.4. Optimizasyon algoritmaları için örnek parametre limitleri

	x_B	y_B	r
Alt sınır	383.72	1165.18	34.27
Üst sınır	413.72	1195.18	44.27

Uygulamalarda kullanılan uygunluk fonksiyonu, x_B , y_B ve r parametrelerinin yanı sıra I ve I_i resimlerini de alarak, iki resmi ilgili parametrelere göre karşılaştırmaktadır. Daha sonra üst üste gelen bölgelerin MI değerlerini hesaplamakta ve elde edilen yeni birleşik resmi de döndürmektedir. Kullanılan algoritmalar gerçek sayı tabanlı olduklarından dolayı elde edilen gerçek sayıların sadece tam kısımları alınarak uygulamada kullanılmıştır.

Önerilen yöntemde, GA ve DGA kullanılmıştır. Bu algoritmalara ait bazı kontrol parametreleri Tablo 5.6 ve 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.5. Optimizasyon algoritmaları için örnek başlangıç popülasyonu.

x_B	y_B	r
398.7237	1180.189	39.275
398.7237	1180.189	39.275
392.3935	1168.042	38.69999
401.1525	1175.21	40.8627
412.1959	1170.325	36.0039
386.9862	1166.319	44.24033
410.7232	1186.121	43.59735
391.6208	1184.666	41.29313
413.5588	1193.07	39.14132
393.1666	1183.77	36.31544
394.4994	1181.912	37.07918
386.0879	1189.263	39.20386
392.0034	1193.896	38.90194
393.9618	1173.311	43.16676
385.6979	1176.649	42.31254
403.2257	1174.428	37.42744
391.3803	1193.968	35.21513
402.2313	1183.401	41.39876
413.589	1185.113	37.91759
412.0366	1181.547	37.02835
388.6457	1169.833	37.82608
404.6669	1167.003	42.31956
395.1768	1177.229	34.35556
408.2621	1176.332	38.86081
388.1173	1175.248	37.68369

Tablo 5.6. GA için uygulamada kullanılan kontrol parametreleri.

Parametre	Değer
Popülasyondaki birey sayısı	25
Jenerasyon sayısı	50
Elit birey sayısı	2
Mutasyon operatörü	Adaptif
Çaprazlama oranı	0.8

Tablo 5.7. DGA için uygulamada kullanılan kontrol parametreleri.

Parametre	Değer
Popülasyondaki birey sayısı	25
Jenerasyon sayısı	50
Ölçekleme faktörü (F)	0.4
Çaprazlama oranı	0.8
Strateji	2

Simülasyon çalışmaları MATLAB r2008a yazılım ortamında P4 3Ghz, 1GB RAM masaüstü bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GA için Matlab Genetic Algorithms Toolbox (gatool) ve DGA için Storn'a ait Matlab uygulaması (devec3) kullanılmıştır [117].

Diğer taraftan önerilen yöntemin performansını karşılaştırmak amacıyla Çoklu-ölçekli yönelimli yamalar yöntemi ile de birleştirme işlemi yapılmıştır.

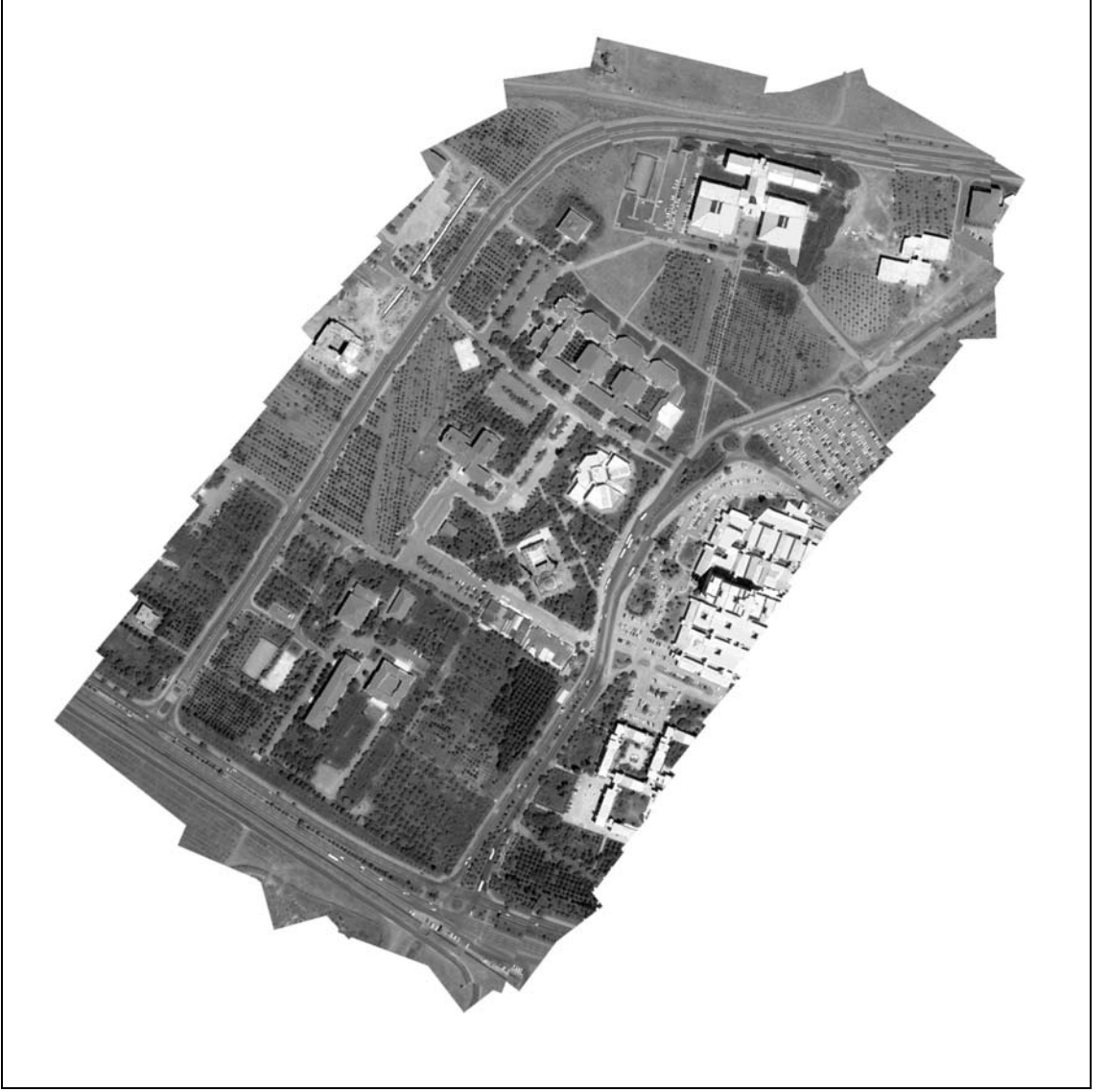
Fazla yer işgal etmemesi için tüm işlem adımlarına ait resimler yerine, ÇÖYY algoritması ile 14. adımda, GA ve DGA algoritmaları ile 72. adımda elde edilen birleştirilmiş resimler sırasıyla Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13'de verilmiştir. ÇÖYY yöntemi için tüm resimlerin kullanılmamasının sebebi, ilk aşamalarda başlayan yanlış çakıştırmaların son adımlara doğru çok ciddi hatalar meydana getirmesinden dolayıdır. Bu yüzden ÇÖYY yöntemi ile sadece ilk 14 resmin birleştirilmesi karşılaştırma için yeterli görülmüştür.

Yapılan uygulamaya ait sayısal sonuçlar Tablo 5.8'de verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere DGA, GA'dan daha başarılıdır. 71 resim için elde edilen MI değerleri toplandığında GA için 61.59 ve DGA için 114.45 değerleri elde edilir.

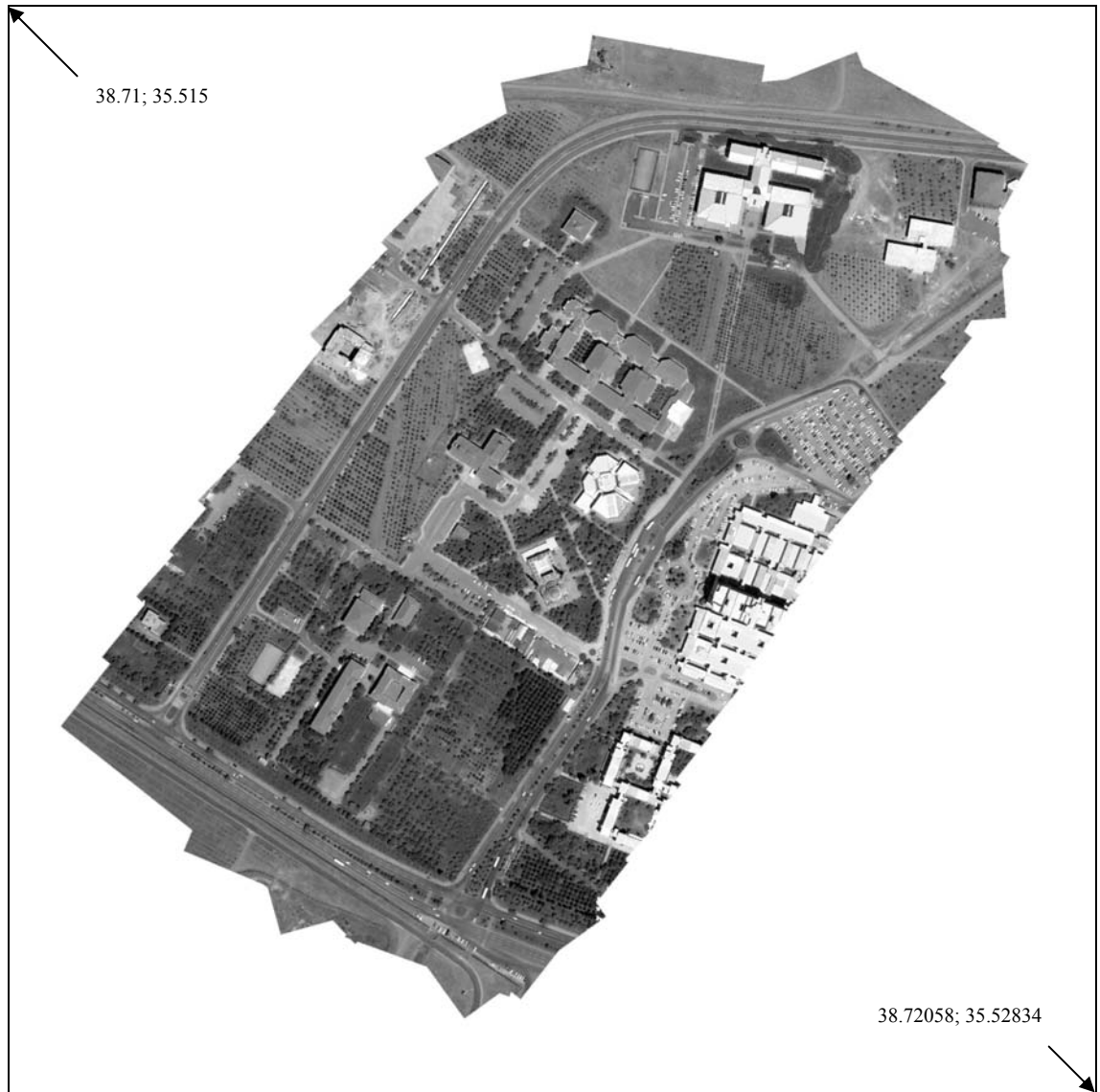
ÇÖYY yönteminin mimarisi önerilen yöntemden oldukça farklı olduğundan dolayı, önerilen yöntem ile sayısal karşılaştırması yapılamamıştır.



Şekil 5.11. ÇÖYY ile 14. adımda elde edilen birleşik resim.



Şekil 5.12. GA ile 72. adımda elde edilen birleşik resim.



Şekil 5.13. DGA ile 72. adımda elde edilen birleşik resim.

Tablo 5.8. GA ve DGA ile elde edilen birleştirme sonuçları.

No	GA				DGA			
	x _B	y _B	r	MI	x _B	y _B	r	MI
2	399	1175	39.58	1.307	397	1174	39.13	1.521
3	461	1074	41.89	1.041	461	1074	41.78	1.655
4	522	989	40.34	0.903	522	985	40.60	1.584
5	573	905	43.14	0.481	576	907	44.23	1.356
6	646	809	39.77	0.432	650	810	40.95	1.187
7	706	719	39.51	0.493	712	715	38.41	1.418
8	775	611	46.86	1.199	781	607	45.63	1.682
9	850	520	44.17	1.577	853	516	43.14	1.663
10	914	441	46.84	0.847	913	433	44.88	1.726
11	984	351	63.02	0.832	983	343	61.46	1.506
12	1103	284	81.95	0.369	1095	267	78.47	1.410
13	1214	262	-166.81	0.921	1204	240	-170.15	1.455
14	1185	411	-134.20	0.892	1182	392	-137.27	1.754

Tablo 5.8. GA ve DGA ile elde edilen birleştirme sonuçları (devamı).

15	1102	516	-139.20	0.736	1102	505	-140.85	1.609
16	1031	620	-137.08	1.048	1035	611	-138.26	1.672
17	939	746	-138.46	1.399	946	739	-139.52	1.642
18	873	844	-139.24	1.083	880	838	-140.23	1.760
19	804	952	-141.50	0.537	805	955	-140.30	1.632
20	736	1059	-136.63	0.924	735	1061	-135.26	1.712
21	675	1143	-131.85	0.865	674	1141	-131.47	1.696
22	592	1236	-139.92	1.089	592	1235	-139.86	1.770
23	541	1315	-146.73	1.318	539	1314	-146.84	1.735
24	489	1419	131.22	1.421	488	1419	131.23	1.587
25	534	1469	112.97	1.356	532	1469	112.84	1.521
26	612	1512	74.74	1.325	613	1511	74.53	1.634
27	646	1500	47.02	1.463	644	1499	46.88	1.509
28	703	1432	40.83	1.037	702	1429	40.51	1.458
29	739	1378	42.27	1.035	738	1377	41.63	1.550
30	793	1298	38.61	0.730	793	1296	38.60	1.444
31	869	1175	36.95	0.861	864	1181	38.45	1.462
32	919	1089	37.59	0.814	917	1094	38.56	1.681
33	978	992	39.18	0.480	978	997	39.67	1.666
34	1046	885	36.13	0.472	1050	883	38.53	1.735
35	1112	785	40.67	0.889	1119	773	39.24	1.793
36	1186	675	39.21	0.931	1191	661	37.89	1.605
37	1257	566	36.67	0.650	1260	548	34.67	1.418
38	1313	474	30.85	0.968	1314	448	27.86	1.624
39	1344	411	45.58	1.141	1343	382	43.17	1.895
40	1408	332	86.76	1.575	1404	299	84.20	2.078
41	1478	329	162.23	1.193	1470	293	158.46	2.142
42	1504	445	-153.34	1.173	1505	410	-155.79	2.096
43	1469	533	-147.48	0.797	1471	508	-149.67	1.693
44	1420	628	-139.00	0.812	1427	603	-141.19	1.335
45	1351	729	-138.02	0.725	1357	713	-139.27	1.306
46	1273	842	-135.79	0.490	1277	832	-139.87	1.717
47	1201	943	-140.53	0.490	1200	949	-140.33	1.567
48	1139	1041	-140.52	0.785	1139	1046	-140.45	1.552
49	1062	1159	-140.24	0.941	1062	1164	-140.25	1.568
50	994	1266	-140.34	0.859	993	1270	-140.10	1.734
51	927	1371	-139.99	0.352	925	1377	-140.26	1.451
52	856	1480	-129.10	0.475	856	1484	-127.93	1.415
53	825	1514	-150.52	0.598	825	1515	-149.08	1.374
54	790	1594	119.16	0.753	790	1593	118.53	1.486
55	823	1618	110.46	0.895	825	1616	109.94	1.654
56	879	1636	52.55	0.634	875	1639	54.21	1.582
57	919	1596	36.96	0.761	915	1601	38.19	1.549
58	969	1509	40.54	0.845	967	1515	41.52	1.494
59	1011	1447	39.20	1.111	1011	1453	39.75	1.577
60	1067	1359	38.41	1.081	1067	1365	38.25	1.669
61	1132	1262	40.75	0.653	1128	1266	39.30	1.694
62	1182	1174	39.43	0.994	1183	1179	39.20	1.531
63	1227	1108	37.54	0.553	1228	1107	39.26	1.577
64	1290	1004	39.01	0.761	1291	1009	39.00	1.664
65	1352	910	43.64	0.693	1363	894	39.86	1.712
66	1411	831	45.52	0.712	1417	810	42.62	1.563
67	1489	727	45.17	0.736	1498	701	43.04	1.312
68	1539	657	39.25	0.399	1545	634	38.89	1.382
69	1618	547	33.95	0.582	1621	515	31.54	1.811
70	1660	467	-2.17	0.843	1662	426	-4.43	1.736
71	1659	385	-58.92	0.645	1657	352	-60.82	1.785
72	1606	351	-60.12	0.808	1603	314	-60.94	1.911

Elde edilen resimlerden de görüleceği üzere, gözle yapılan değerlendirmelerde ÇÖYY yönteminin önerilen yöntemle göre oldukça kötü sonuçlar verdiği söylenebilir. Diğer taraftan, önerilen yöntem için DGA'nın GA'ya göre daha başarılı olduğu söylenebilir.

Bu uygulamada 0.5 km^2 'lik bir alanın 300 metre yükseklikten sanal olarak elde edilen 322×322 çözünürlükteki resimleri kullanılarak 2000×2000 çözünürlükte birleştirilmiş hava fotoğrafı elde edilmiştir. Elde edilen sayısal görüntünün bir diğer avantajı da görüntü üzerindeki her bir noktanın GPS koordinatının da hesaplanmış olmasıdır. Böylelikle tüm arazinin koordinatlı hava görüntüsü üretilmiş olur.

İkinci adımda elde edilen birleşik resimler bölütleme işlemine tabii tutulmuştur. Burada K-ortalama, Bulanık C-ortalama, GA ve DGA tabanlı yöntemler ile simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bir önceki aşamada, DGA ile birleştirilen resim daha az hata içerdiğinden dolayı bu resim temel alınmıştır. İlgili resim 6 sınıfa bölütlenmiştir. Burada, danışmansız bir bölütleme yöntemi uygulandığı için kullanıcının resmi kaç sınıfa bölütlemek istediğini belirtmesi gerekmektedir. Tüm algoritmalar 100 iterasyon için gerçekleştirilmiştir. GA için popülasyon büyüklüğü 20, elit birey sayısı 2, arama sahası $[0,255]$, mutasyon operatörü adaptif, çaprazlama oranı ise 0.8 olarak seçilmiştir. DGA için popülasyon büyüklüğü 20, arama sahası $[0,255]$, F ölçekleme faktörü 0.4 ve çaprazlama oranı 0.8 olarak seçilmiştir. Uygulamalar yine benzer şekilde MATLAB r2008a yazılım ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bölütleme işleminde kullanılan farklı algoritmalara ait MSE hataları ve elde edilen sınıf merkezleri Tablo 5.9, 5.10 ve 5.11'de verilmiştir. Bölütlemeye kullanılan k-ortalama, bulanık c-ortalama, genetik algoritma ve diferansiyel gelişim algoritmalarıyla resim sırayla 4, 6 ve 8 sınıfa ayrılmıştır. Tablolardan görüleceği gibi diferansiyel gelişim algoritması 3 farklı sınıf sayısı ile yapılan deneylerde daha düşük MSE değerleri elde etmektedir. Özellikle sınıf sayısı arttıkça diferansiyel gelişim algoritmasının performansı daha iyi olmaktadır.

Tablo 5.9. 4 sınıf için farklı algoritmalara ait MSE hataları ve sınıf merkezleri.

	MSE HATA	1.	2.	3.	4.
K-ortalama	133.68	68.9	119.4	167.1	254.2
Bulanık C-ortalama	134.67	66.9	115.1	160.0	254.4
GA	133.59	67.54	117.75	165.30	254.25
DGA	133.57	68.23	118.59	166.33	254.28

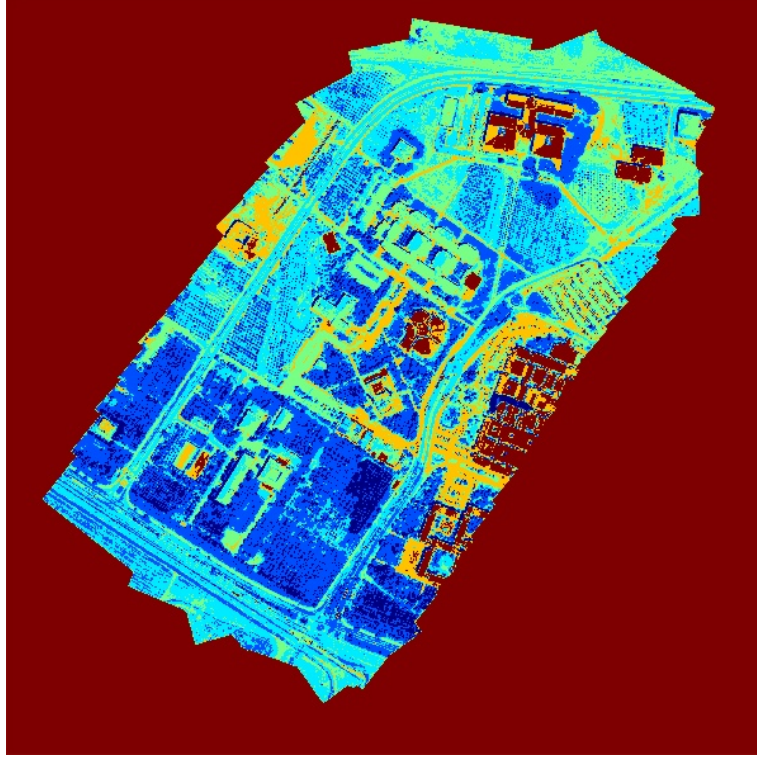
Tablo 5.10. 6 sınıf için farklı algoritmalara ait MSE hataları ve sınıf merkezleri.

	MSE HATA	1.	2.	3.	4.	5.	6.
K-ortalama	55.17	40.5	83.6	116.5	145.6	186.6	254.5
Bulanık C-ortalama	54.84	37.6	80.9	112.7	141.2	182.8	254.6
GA	56.46	43.0	86.6	119.8	147.9	185.7	254.4
DGA	54.07	37.6	80.9	113.8	144.2	185.8	254.3

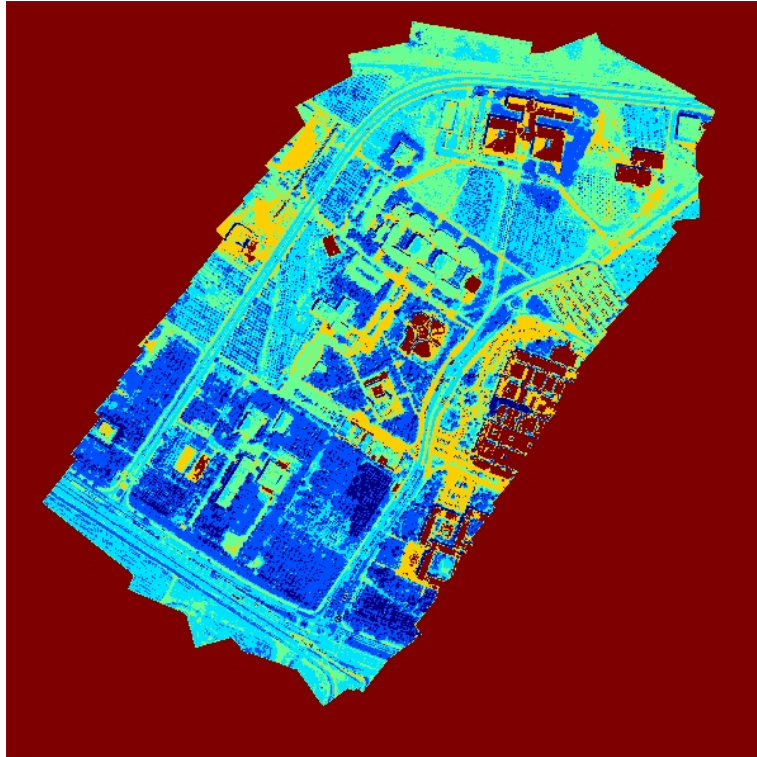
Tablo 5.11. 8 sınıf için farklı algoritmalara ait MSE hataları ve sınıf merkezleri.

	MSE HATA	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
K-ortalama	34.55	34.8	76.4	104.2	128.2	152.3	184.3	227.8	254.9
Bulanık C-ort.	34.25	34.2	75.4	102.0	124.1	148.1	180.1	222.5	254.7
GA	34.07	30.0	69.2	93.7	118.6	142.7	176.1	220.1	254.8
DGA	32.86	34.5	74.4	100.3	122.4	144.0	170.3	202.3	254.5

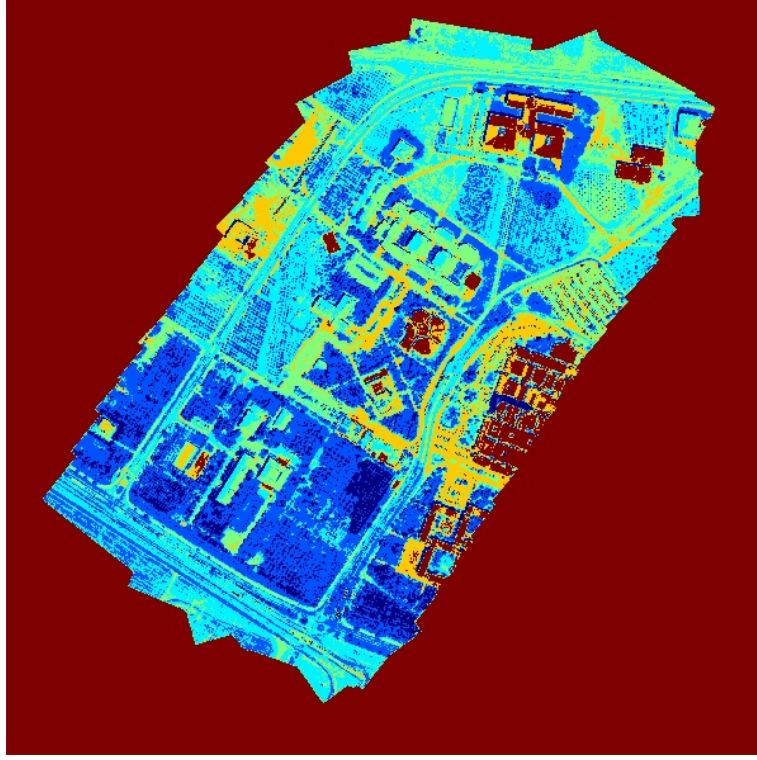
Yapılan çalışmalara ait bölütlenmiş resimler ise Şekil 5.14, 5.15, 5.16 ve 5.17’de verilmiştir.



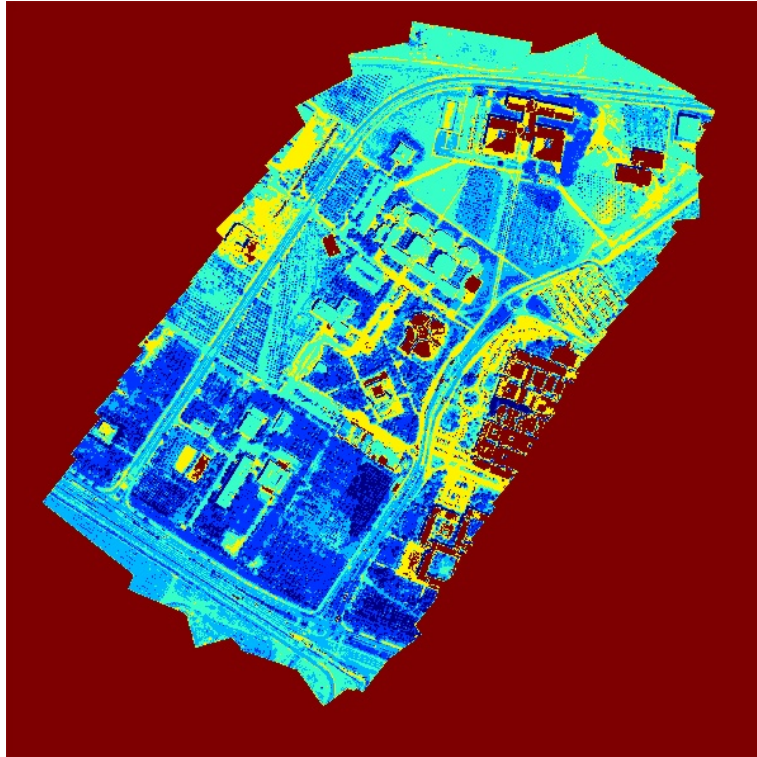
Şekil 5.14. K-ortalama algoritması ile 6 sınıfa bölütlenmiş resim.



Şekil 5.15. Bulanık C-ortalama algoritması ile 6 sınıfa bölütlenmiş resim.



Şekil 5.16. GA ile 6 sınıfa bölütlenmiş resim.



Şekil 5.17. DGA ile 6 sınıfa bölütlenmiş resim.

5.6.2. Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ait sonuçlar verilmiştir. GPS ve video kamera ile toplam ağırlığı 2.5 kg olan model uçak ile Nisan 2008’de Erciyes Üniversitesi kampüsü içinde deneme uçuşları yapılmıştır. Bu uçuşlardan birisine ait uçuş güzergâhı Şekil 5.18’de ve bu güzergâha ait video verisi Şekil 5.19’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Model uçakla yapılan deneye ait uçuş güzergahı.

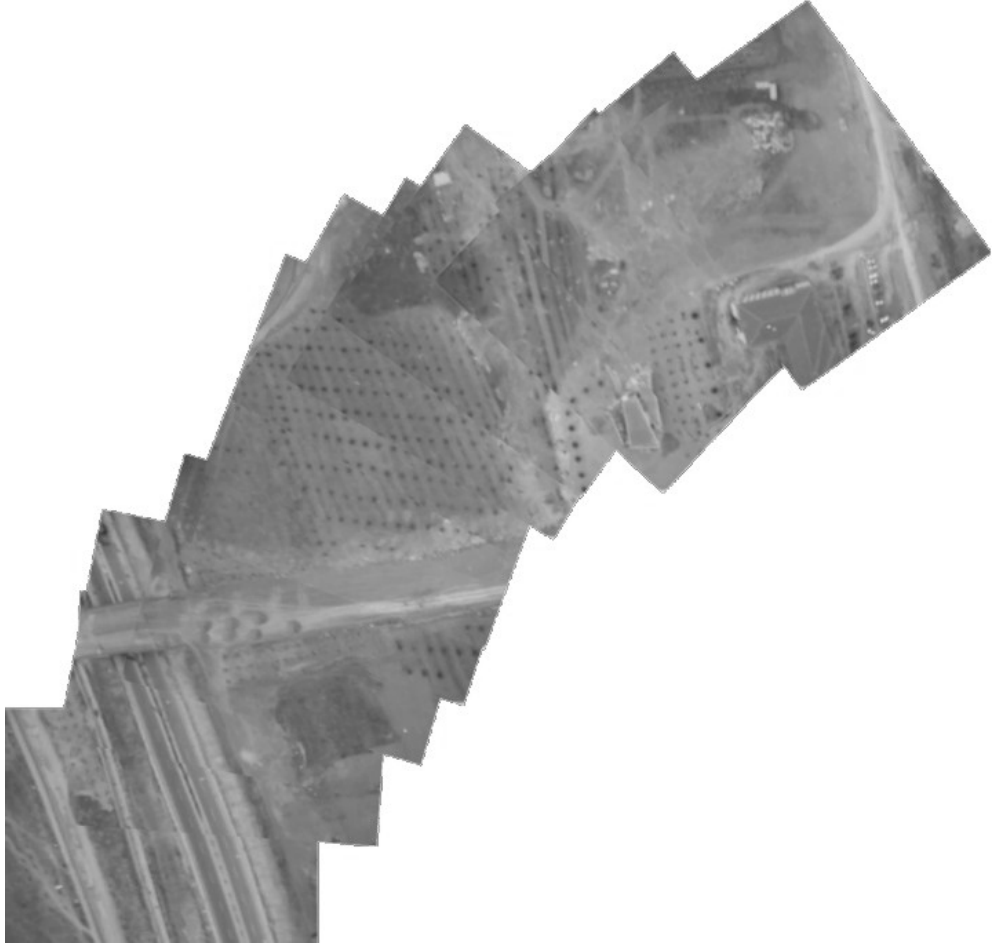


Şekil 5.19. Model uçak ile yapılan deneye ait elde edilen videodan bir kare.

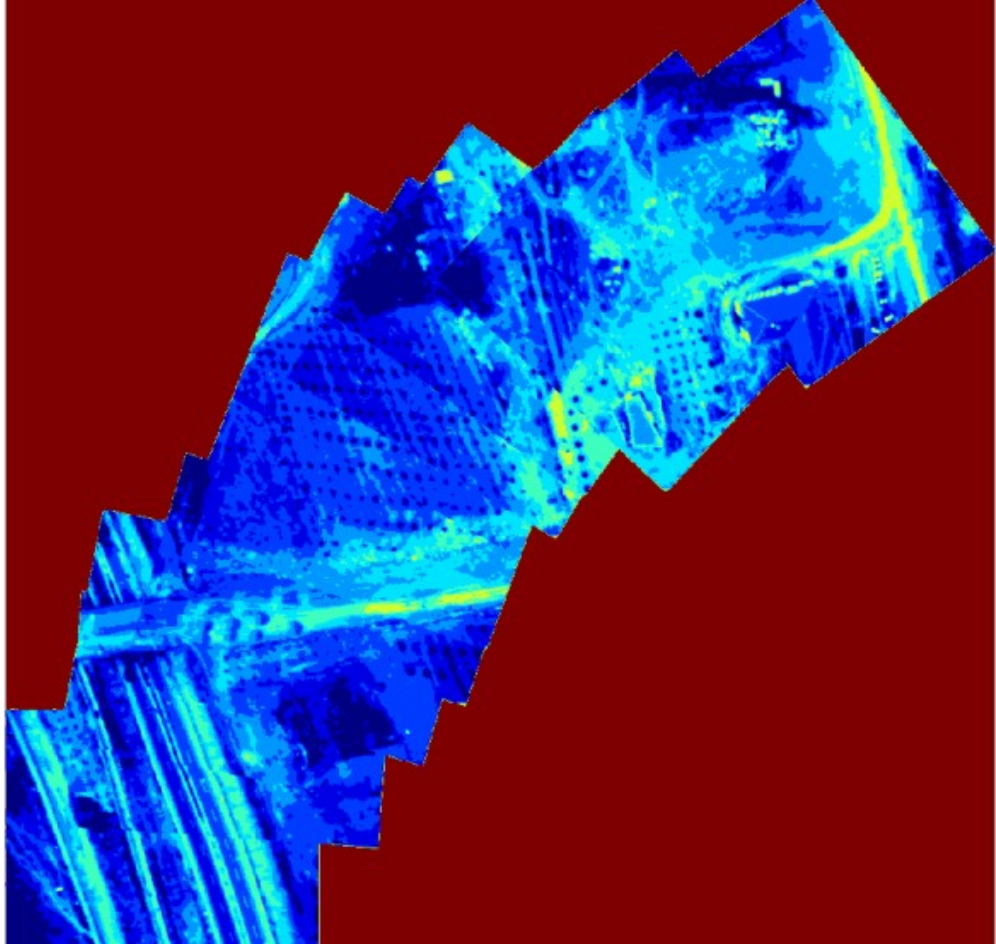
Yapılan uçuşlar sonrası elde edilen veriler incelendiğinde, gerek uçuş güzergâhının resim birleştirme için uygun olmaması gerekse model hava aracının yapılan uçuşlarda gereğinden fazla açılı uymasından dolayı verilerin birleştirme için çok uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak, elde edilen verilerde düz uçuşlara sahip bazı bölümler kullanılarak birleştirme ve bölütleme işlemleri küçük alanlar için gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Bir önceki bölümde simülasyon tabanlı çalışmalarda DGA'nın GA'ya göre daha başarılı olduğu görüldüğünden dolayı bu bölümdeki deneyler DGA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.20'de uçuş güzergâhındaki belli bir bölgeye ait DGA ile elde edilen birleştirme sonucu verilmiştir. Sonuç gözle yorumlandığında elde edilen resimin çakıştırma hatalarına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bunun en temel sebebi uçuş esnasında model hava aracının yüksekliğinin ve oryantasyonunun değişken olmasıdır.

Bölütlenmiş birleşik resim Şekil 5.21'de görülmektedir. Yine gözle yapılan değerlendirmelerde, çakıştırma hatalarından ve görüntünün hareketli olmasından dolayı kaynaklanan titreme ve kayma hatalarından dolayı bölütleme sonuçlarında da çeşitli problemler ve dikiş izleri göze çarpmaktadır.



Şekil 5.20. Model uçak ile elde edilen resimlerin bir bölümünün birleştirilmesi.



Şekil 5.21. Model uçak ile elde edilen birleşik resmin bölütlenmesi.

Birleşik resmin DGA ile 8 sınıfa bölütlenmesi sonucunda hesaplanan MSE değeri 8.19 olup sınıf merkezleri aşağıda verilmiştir:

99.9 114.4 127.2 141.1 153.1 166.1 189.1 254.9

Önerilen sistem bu haliyle, çakıştırma ve bölütleme işlemlerinde bir takım hatalar yapmasına karşın elde edilen sonuçlar, arazi ile ilgili kullanıcıya bir ön bilgi vermek amaçlı kullanılabilir. Özellikle afet durumlarında sistemden elde edilen görüntüler bölgenin analizi için ön bilgileri sağlayabilir.

6. BÖLÜM

SONUÇ

Bu çalışmada, simülasyon tabanlı olarak ve model bir hava aracı yardımıyla deneysel olarak yeryüzüne ait hava videosu ve GPS bilgileri toplanmıştır. Elde edilen hava videosu çerçevelere ayrılmış ve her bir resme ait GPS bilgisi yardımıyla çerçevelerin birleştirilmesi ve geniş bir alana ait yüksek çözünürlüklü koordinatlı hava görüntüsünün elde edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen birleşik resim bölütleme işlemine tabii tutulmuştur.

Önerilen yöntemde görüntülerin birleştirilmesi için Genetik Algoritma ve Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmalar, gelişime dayalı popülasyon temelli yapay zeka optimizasyon algoritmalarıdır. Bu algoritmalar tek bir çözüm adayı değil, çözüm adayları popülasyonu üreterek çözüm uzayını paralel olarak araştırmakta ve bölgesel optimalara takılmadan global optimumu yakalayabilmektedirler. Hava videosu elde edilirken toplanan her bir resme ait GPS bilgisi resim karşılaştırma işlemine destek olmak amacıyla başlangıç çözüm popülasyonunun oluşturulmasında Genetik Algoritmaya ve Diferansiyel Gelişim Algoritmasına kabaca bilgi vermektedir. Böylece arama uzayını oldukça küçültmekte ve yanlış karşıştırmaları önlemektedir. İkinci adımda elde edilen birleşik resimler bölütleme işlemine tabii tutulmuştur. Burada K-ortalama, Bulanık C-ortalama, GA ve DGA tabanlı yöntemler ile bölütleme gerçekleştirilmiştir.

Birleştirme işleminde diferansiyel gelişim algoritması genetik algoritmaya göre daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Bölütlemeye ise uygulanan K-ortalama, Bulanık C-ortalama, GA ve DGA tabanlı yöntemler genelde birbirine yakın sonuçlar üretmiştir.

Simulasyon tabanlı çalışmalarda elde edilen başarı deneysel çalışmalara göre daha yüksektir. Deneysel çalışmalarda uçuş yüksekliğinin değişmesi, hava aracının

dönüşlerde oryantasyonunun değişmesi gibi etkenler algoritmanın başarımını düşürmektedir.

Önerilen sistem yüksek çözünürlük hava görüntülerinin elde edilmesinde kolay ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca ulaşılması zor olan bölgelerin (radyoaktif ve arkeolojik gibi), afet durumlarında (deprem, sel ve yangın gibi) ve askeri uygulamalarda ilgili bölgelerin haritalarının çıkarılmasında kullanılabilmektedir.

Elde edilen yüksek çözünürlüklü hava görüntüsünün bölütlenmesi ile yollar, binalar, parklar, arabalar ve yeşil alanlar gibi birçok farklı sınıfın oluşturularak görüntü analize hazır bir hale getirilmiştir.

Yöntemin bir dezavantajı, popülasyon tabanlı algoritmalar kullandığı için işlem süresinin uzun olmasıdır. Ancak günümüzde paralel bilgisayarlar ve GRID sistemlerin yaygınlaşmasıyla bu problem hemen hemen ortadan kalkmıştır.

İleriki çalışmalarda, aracın yükselme ve alçalma durumu da dikkate alınarak optimizasyon işlemine elde edilen resmi büyütme ve küçültmeye yönelik bir parametre daha eklenebilir. Diğer taraftan, model hava aracının oryantasyonun değişimini de göz önünde bulunduracak yeni yaklaşımlar geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_photography
2. Ventura, J., Automatic Segmentation of Aerial Photographs, Graduate Student Workshop on Computing, UCSB Department of Computer Science, 2007.
3. Liu, Q., Yoo, J., Jang, B.T., Choi, K., Hwang, J.N., A scalable VideoGIS system for GPS-guided vehicles, Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004 Proceedings (ICASSP '04), IEEE International Conference on Volume 5, 2004.
4. Navarrete, T., Blat, J., VideoGIS: Segmenting and indexing video based on geographic information, 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, 2002.
5. Rockhmana, C.A., Some Aspects On Developing a Truly Low-Cost Mapping System Using Handheld GPS and Camcorder, Shaping the change XXIII FIG Congress, 2006.
6. Montoya, L., 2003, Geo-data acquisition through mobile GIS and dijital video: an urban disaster management perspective, Elsevier, 2003.
7. Yu, S.-J., Sukumar, S.R., Koschan, A.F., Page, D.L., Abidi, M.A., 3D reconstruction of road surfaces using an integrated multi-sensory approach, Elsevier, 2007.
8. Zhu, Z., Riseman, E.M., Hanson, A.R., Schultz, H., An efficient method for geo-referenced video mosaicing for environmental monitoring, Machine Vision and Applications, 2005.
9. Wang, L., Emura, T., Ushiwata, T., Automatic guidance of a vehicle based on DGPS and a 3D map, Intelligent Transportation Systems, 2000. Proceedings IEEE, 2000.
10. Zhu, Z., 2003, Stereo Mosaics with Slanting Parallel Projections from Many Cameras or a Moving Camera, Proceedings of the 32nd Applied Imagery Pattern Recognition Workshop.
11. Pinder, S., Boid, D., Sullivan, D., Brown, A., Video Updates during GPS Dropouts using Navigation and Electro/Optic Sensor Integration Technology, Proceedings of ION 58th Annual Meeting, 2002.

12. Brown, A., Silva, R., Video-aided GPS/INS Positioning and Attitude Determination, Navsys Corp Colorado springs co., 2006.
13. Das, S., Abraham, A., Konar, A., Spatial Information Based Image Segmentation Using a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm, Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'06) - Volume 02 Pages: 438 - 444 Year, ISBN:0-7695-2528-8, 2006.
14. Omran, M.G.H., Salman, A., Engelbrecht, A.P., Dynamic clustering using particle swarm optimization with application in image segmentation, Pattern Anal Applic 8: 332–344 Springer, 2006.
15. Karaboğa, D., Baştürk, B., Image Segmentation using Differential Evolution Algorithm IEEE 13th Signal Processing and Communications Applications Conference, Kayseri, Turkey, 16-18 May 2005.
16. Awad, M., Chehdi, K., Nasri, A., Multicomponent Image Segmentation Using a Genetic Algorithm and Artificial Neural Network, IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, Vol. 4, No. 4, October 2007.
17. Benamrane, N., Aribi, A., Kraoula, L., Fuzzy Neural Networks and Genetic Algorithms for Medical Images Interpretation, Proceedings of the Geometric Modeling and Imaging— New Trends (GMAI'06), 2006.
18. Hedberg, H., A Survey of Various Image Segmentation Techniques, Undergraduate course, Digital Images, Compression, 03/04. Lund, Sweden, spring 2004.
19. Ono, T., Ogawa, E., Image Segmentation Using Circularly Spread MR Images, Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record, 1995 IEEE, Volume: 3, On page(s): 1493-1496 vol.3, 1995.
20. McCoy, D.F., Artificial Immune Systems and Aerial Image Segmentation, Systems, Man, and Cybernetics, IEEE International Conference on 'Computational Cybernetics and Simulation', Volume: 1, On page(s): 867-872 vol.1, 1997.
21. Vilorio, A., Finat, J., Tasis, M.G., Video Segmentation With Superimposed Mobile Maps Of Distances, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX, 2004.
22. http://en.wikipedia.org/wiki/Global_navigation_satellite_systems
23. Herring, T.A., “The Global Positioning System”, Scientific American, pp. 44-50, Feb.1996.

24. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J., GPS: Theory and Practice, Springer-Verlag, Vienna, 1997.
25. Yıldız, F., Kahveci, M., GPS Global Konum Belirleme Sistemi - Teori ve Uygulama, Nobel yayın dağıtım, ISBN:9755912037, 2005.
26. Grewal, M. S., Weill, L. R., Andrews, A. P., Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-35032-X, 2000.
27. Herskovits, D., "A Sampling of Global Positioning System Receivers", Journal of Electronic Defense, pp. 61-66, May 1994.
28. Institute of Navigation, Monographs of the Global Positioning System: Papers Published in NAVIGATION("Redbook"), Vol. I, ION, Alexandria, VA, 1980
29. MacDoran, P. F., "Method and Apparatus for Calibrating th Ionosphere and Application to Surveillance of Geophysical Events", U.S. Patent No. 4,463,357, July 31, 1984.
30. http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation_system
31. Tok, H., Havacılık Navigasyonlarında Diferansiyel Gps Kullanılması Üzerine Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Ankara, Haziran 2006.
32. Wang, Y., Ostermann, J., Zhang, Y-Q., Video Processing and Communications, Prentice Hall, ISBN 0-13-017547-1, 2002.
33. http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_video
34. <http://en.wikipedia.org/wiki/Video>
35. Szeliski, R., Image Alignment and Stitching: A Tutorial, Technical Report, MSR-TR-2004-92, December 10, 2006.
36. http://en.wikipedia.org/wiki/Image_registration
37. Zitova, B., Flusser, J., Image registration methods: a survey, Image and Vision Computing, 977–1000, 2003.
38. Brown, L.G., A survey of image registration techniques, ACM Computing Surveys, 326–376, 1992.
39. Ghaffary, B.K., Sawchuk, A.A, A survey of new techniques for image registration and mapping, Proceedings of the SPIE: Applications of Digital Image Processing 432, 222–239, 1983.

40. Lehmann, T.M., Onner, C.G., Spitzer, K., Survey: interpolation methods in medical image processing, *IEEE Transactions on Medical Imaging* 18, 1049–1075, 1999.
41. Maintz, J.B.A., Viergever, M.A., A survey of medical image registration, *Medical Image Analysis* 2 1–36, 1998.
42. Le Gall, D., MPEG: A video compression standard for multimedia applications., *Communications of the ACM*, 34(4), 44–58, 1991.
43. Bergen, J.R., Anandan, P., Hana, K.J., Hingorani, R., Hierarchical model-based motion estimation, In *Second European Conference on Computer Vision (ECCV'92)*, pages 237– 252, Springer-Verlag, Santa Margherita Liguere, Italy, 1992.
44. Teodosio, L., Bender, W., Salient video stills: Content and context preserved, In *ACM Multimedia 93*, pages 39–46, Anaheim, California, 1993.
45. Kumar, R., Anandan, P., Irani, M., Bergen, J., Hana, K., Representation of scenes from collections of images. In *IEEE Workshop on Representations of Visual Scenes*, pages 10–17, Cambridge, Massachusetts, 1995.
46. Irani, M., Anandan, P., Video indexing based on mosaic representations, *Proceedings of the IEEE*, 86(5), 905–921, 1988.
47. Hansen, M., Anandan, P., Dana, K., van der Wal, G., Burt, P., Real-time scene stabilization and mosaic construction, In *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'94)*, pages 54–62, IEEE Computer Society, Sarasota, 1994.
48. Irani, M., Hsu, S., Anandan, P., Video compression using mosaic representations, *Signal Processing: Image Communication*, 7, 529–552, 1995.
49. Slama, C.C., *Manual of Photogrammetry*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, fourth edition, 1980.
50. Triggs, B. et al., Bundle adjustment — a modern synthesis, In *International Workshop on Vision Algorithms*, pages 298–372, Springer, Kerkyra, Greece, 1999.
51. Milgram, D.L., Computer methods for creating photomosaics, *IEEE Transactions on Computers*, C-24(11), 1113–1119, 1975.
52. Milgram, D.L., Adaptive techniques for photomosaicking, *IEEE Transactions on Computers*, C-26(11), 1175–1180, 1977.

53. Peleg, S., Elimination of seams from photomosaics, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 16, 1206–1210, 1985.
54. Davis, J., Mosaics of scenes with moving objects, In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'98)*, pages 354–360, Santa Barbara, 1998.
55. Agarwala, A. et al., Interactive digital photomontage, *ACM Transactions on Graphics*, 23(3), 292–300, 2004.
56. Meehan, J., *Panoramic Photography*, Watson-Guption, 1990.
57. Mann, S., Picard, R. W., Virtual bellows: Constructing high-quality images from Video, In *First IEEE International Conference on Image Processing (ICIP-94)*, pages 363–367, Austin, 1994.
58. Szeliski, R., Image mosaicing for tele-reality applications, In *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'94)*, pages 44–53, IEEE Computer Society, Sarasota, 1994.
59. Chen, S. E., QuickTime VR – an image-based approach to virtual environment navigation, *Computer Graphics (SIGGRAPH'95)*, 29–38, 1995.
60. Szeliski, R., Video mosaics for virtual environments, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 16(2), 22–30, 1996.
61. Szeliski, R., Shum, H.-Y., Creating full view panoramic image mosaics and texturemapped models, *Computer Graphics (SIGGRAPH'97 Proceedings)*, 251–258, 1997.
62. Sawhney, H. S., Kumar, R., True multi-image alignment and its application to mosaicing and lens distortion correction, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(3), 235–243, 1999.
63. Shum, H.-Y., Szeliski, R., Construction of panoramic mosaics with global and local Alignment, *International Journal of Computer Vision*, 36(2), 101–130. Erratum published July 2002, 48(2):151-152, 2000.
64. Uyttendaele, M., Eden, A., Szeliski, R., Eliminating ghosting and exposure artifacts in image mosaics, In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'2001)*, pages 509–516, Kauai, Hawaii, 2001.

65. Levin, A., Zomet, A., Peleg, S., Weiss, Y., Seamless image stitching in the gradient domain. In Eighth European Conference on Computer Vision (ECCV 2004), pages 377–389, Springer-Verlag, Prague, 2004.
66. Zoghلامي, I., Faugeras, O., Deriche, R., Using geometric corners to build a 2D mosaic from a set of images. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97), pages 420–425, San Juan, Puerto Rico, 1997.
67. Capel, D., Zisserman, A., Automated mosaicing with super-resolution zoom. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'98), pages 885–891, Santa Barbara, 1998.
68. Cham, T. J., Cipolla, R., A statistical framework for long-range feature matching in uncalibrated image mosaicing. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'98), pages 442–447, Santa Barbara, 1998.
69. Badra, F., Qumsieh, A., Dudek, G., Rotation and zooming in image mosaicing. In IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'98), pages 50–55, IEEE Computer Society, Princeton, 1998.
70. McLauchlan, P.F., Jaenicke, A., Image mosaicing using sequential bundle adjustment. *Image and Vision Computing*, 20(9-10), 751–759, 2002.
71. Brown, M., Lowe, D., Recognizing panoramas. In Ninth International Conference on Computer Vision (ICCV'03), pages 1218–1225, Nice, France, 2003.
72. Szeliski, R., Video mosaics for virtual environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 16(2), 22–30, 1996.
73. Hartley, R.I., Zisserman, A., *Multiple View Geometry*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2004.
74. Huber, P.J., *Robust Statistics*. John Wiley & Sons, ISBN-10: 0471418056, New York, 1981.
75. Hampel, F.R. et al., *Robust Statistics : The Approach Based on Influence Functions*. Wiley, New York, 1986.
76. Black, M.J., Anandan, P., The robust estimation of multiple motions: Parametric and piecewise-smooth flow fields. *Computer Vision and Image Understanding*, 63(1), 75–104, 1996.

77. Stewart, C.V., Robust parameter estimation in computer vision. *SIAM Reviews*, 41(3), 513–537, 1999.
78. Black, M.J., Rangarajan, A., On the unification of line processes, outlier rejection, and robust statistics with applications in early vision. *International Journal of Computer Vision*, 19(1), 57–91, 1996.
79. Rousseeuw, P.J., Leroy, A.M., *Robust Regression and Outlier Detection*. Wiley, New York, 1987.
80. Lucas, B.D., Kanade, T., An iterative image registration technique with an application in stereo vision. In *Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-81)*, pages 674–679, Vancouver, 1981.
81. Gennert, M.A., Brightness-based stereo matching. In *Second International Conference on Computer Vision (ICCV'88)*, pages 139–143, IEEE Computer Society Press, Tapma, 1988.
82. Fuh, C.-S., Maragos, P., Motion displacement estimation using an affine model for image matching. *Optical Engineering*, 30(7), 881–887, 1991.
83. Baker, S. et al., Lucas-Kanade 20 Years On: A Unifying Framework: Part 3. Technical Report CMU-RI-TR-03-35, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2003.
84. Jia, J., Tang, C.-K., Image registration with global and local luminance alignment. In *Ninth International Conference on Computer Vision (ICCV 2003)*, pages 156–163, Nice, France, 2003.
85. Burt, P.J., Adelson, E.H., A multiresolution spline with applications to image mosaics. *ACM Transactions on Graphics*, 2(4), 217–236, 1983.
86. Cox, I.J., Roy, S., Hingorani, S.L., Dynamic histogram warping of image pairs for constant image brightness. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'95)*, pages 366–369, IEEE Computer Society, 1995.
87. Zabih, R., Woodfill, J., Non-parametric local transforms for computing visual correspondence. In *Third European Conference on Computer Vision (ECCV'94)*, pages 151–158, 1994.
88. Viola, P., Wells, W., Alignment by maximization of mutual information. In *Fifth International Conference on Computer Vision (ICCV'95)*, pages 16–23, Cambridge, Massachusetts. Springer-Verlag, Stockholm, Sweden, 1995.

89. Kim, J., Kolmogorov, V., Zabih, R., Visual correspondence using energy minimization and mutual information. In Ninth International Conference on Computer Vision (ICCV 2003), pages 1033–1040, Nice, France, 2003.
90. http://en.wikipedia.org/wiki/Mutual_information
91. Hannah, M.J., Computer Matching of Areas in Stereo Images. Ph.D. thesis, Stanford University, 1974.
92. Moravec, H., The stanford cart and the cmu rover. Proceedings of the IEEE, 71(7), 872–884, 1983.
93. Hannah, M.J., Test results from SRI's stereo system. In Image Understanding Workshop, pages 740–744, Morgan Kaufmann Publishers, Cambridge, Massachusetts, 1988.
94. Zoghalmi, I., Faugeras, O., Deriche, R., Using geometric corners to build a 2D mosaic from a set of images. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97), pages 420–425, San Juan, Puerto Rico, 1997.
95. [http://en.wikipedia.org/wiki/Segmentation_\(image_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Segmentation_(image_processing))
96. Francis, H.Y., Chan, F.K., Lam, H.Z., Adaptive thresholding by variational method. IEEE Trans. Image Process. 7 (3), 468–473, 1998.
97. Zhang, X., Desai, M.D., Segmentation of bright targets using wavelets and adaptive thresholding. IEEE Trans. Image Process. 10 (7), 1020–1030, 2001.
98. Bezdek, J.C., Hall, L.O., Clarke L.P., Review of MR image segmentation techniques using pattern recognition. Med.Phys. 20:1335-46, 1993.
99. Schalkoff, R.J., Pattern Recognition: Statistical, Structural and Neural Approaches. New York: Wiley & Sons. 364 pp, 1992.
100. Pham, D.L., Xu, C., Prince, J.L., Current methods in medical image segmentation, Annu. Rev. Biomed. Eng. 02:315–37, 2000.
101. Coleman, G.B., Andrews, H.C., Image segmentation by clustering. Proc. IEEE 5:773-85, 1979.
102. Zadeh, L.A., Fuzzy sets. Inf. Control 8:338-53, 1965.
103. Lei, T., Sewchand. W., Statistical approach to X-ray CT imaging and its applications in image analysis. II. A new stochastic model-based image segmentation technique for X-ray CT image. IEEE Trans. Med. Imaging 11(1):62–69, 1992.

104. Liang, Z., MacFall, J.R., Harrington, D.P., Parameter estimation and tissue segmentation from multispectral MR images. IEEE Trans. Med. Imaging 13:441–49, 1994.
105. http://en.wikipedia.org/wiki/Image_processing
106. Shapiro, L.G., Stockman, G.C., “Computer Vision”, pp 279-325, New Jersey, Prentice-Hall, ISBN 0-13-030796-3), 2001.
107. Lee, M.-C. et al., A layered video object coding system using sprite and affine motion model. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 7(1), 130–145, 1997.
108. Karaboğa, D., Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Yayın Dağıtım, ISBN: 975-6574-37-2, 2004.
109. Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company Inc. ISBN:0-201-15767-5, 1989.
110. Bingul, Z., Sekmen, A.S., Zein, S., An Application of Multi-Dimensional Optimization Problems Using Genetic Algorithms, Proceedings of The IASTED International Conference Intelligent System and control, Santa Barbara, CA, USA, 1999.
111. Pham, D.T., Karaboğa, D., Intelligent Optimisation Techniques, Springer - Verlag London, ISBN:1852330287, 2000.
112. Jang J.S.R., Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach To Learning and Machine Intelligence, Chapter 7: Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, USA, s. 173-196, 1997.
113. Emel, G.G., Taşkın, Ç., Genetik Algoritmalar ve uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt XXI, Sayı 1, S. 129-152, 2002.
114. De Jong, K. A., An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems, PhD thesis, University of Michigan, Dissertation Abstracts International 36(10), 5140B, 1975.
115. Storn, R., Price, K., Differential evolution: a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, Journal of Global Optimization, 11:341-359, 1997

116. Ali, M.M., Torn, A., Population set-based global optimization algorithms:some modifications and numerical studies, Computers&Operations Research 31:1703 – 1725, 2004.
117. <http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>
118. Kenneth, V.P., An introduction to Differential Evolution, New Ideas in Optimization, McGraw-Hill Publishing Company,79-108, 1999.
119. Richardson, I., Video Codec Design: Developing Image and Video Compression Systems, Wiley, ISBN-10: 0471485535, May 13, 2002.
120. Brown, M., Szeliski, R., Winder, S., Multi-Image Matching Using Multi-Scale Oriented Patches, cvpr, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) vol 1, 510-517, 2005.
121. Tunay, M., Ateşoğlu, A., Bartın İli Taşkın Sahalarındaki Değişimin Uzaktan Algılama Verileriyle İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, ISSN: 1302-7085, Sayfa: 60-72, 2004.
122. Kaya, Ş., Uydu Görüntüleri Ve Sayısal Arazi Modeli Kullanılarak Kuzey Anadolu Fayı Gelibolu-Işıklar Dağı Kesiminin Jeomorfolojik-Jeolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Teknik Rapor, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, 113 s., 2000.
123. Musaoğlu, N., Elektro-Optik ve Aktif Mikrodalga Algılayıcılardan Elde Edilen Uydu Verilerinden Orman Alanlarında Meşcere Tiplerinin ve Yetiştirme Ortamı Birimlerinin Belirlenme Olanakları, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 112 s. 1999
124. Örmeci, C., Ekercin, S.,. Uydulardan Elde Edilen Verilerle Meriç Nehri Kıyı Çizgisinin İncelenmesi, 8. Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı, Ankara, s. 233– 241 2001.
125. Bezdec, J.C., Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York, 1981.

ÖZGEÇMİŞ

Tuba Kurban 1984 yılında Kayseri’de doğdu. 2000 yılında Sivas Fen Lisesinde eğitime başladı ve 2002 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünü kazandı. 2006 yılında lisans öğrenimini tamamladı. 2004 yılında başladığı çift anadal programı olan Elektronik Mühendisliği bölümünü ise 2008 yılında tamamlayarak ikinci lisans diplomasını aldı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime 2006 yılında başladı ve aynı yıl Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmektedir.

Adres: Mevlana Mah. Halef Hoca Cad.

Yıldız Konağı 44/5

Talas / KAYSERİ

E-posta: tubac@erciyes.edu.tr