



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE İÇ VE DIŞ  
ORTAM GÖRÜNTÜLERİNİN  
MOZAİKLENMESİ**

**Aykut TAHTIRVANCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Aykut Tahtırvancı tarafından hazırlanan “İnsansız Hava Araçları ile İç ve Dış Ortam Görüntülerinin Mozaiklenmesi” adlı tez çalışması 04/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Cemil SUNGUR

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Akif DURDU

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Burak YILMAZ

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Aykut Tahtırvancı

Tarih: 12.07.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE İÇ VE DIŞ ORTAM GÖRÜNTÜLERİNİN MOZAİKLENMESİ

Aykut TAHTIRVANCI

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Akif DURDU

2019, 60 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Akif DURDU

Prof. Dr. Cemil SUNGUR

Dr. Öğr. Üyesi Burak YILMAZ

Görüntü mozaikleme iki veya çoklu görüntünün birbirleri ile olan çakışma alanlarından faydalanılarak, birbirleri ile birleştirilmesi işlemidir. Görüntü mozaikleme yalnızca insansız hava araçları (İHA) ile kullanılmamaktadır. Genel olarak, görüntülenen alanın küçük olmasına rağmen elde edilmek istenilen görüntüleme alanının büyük olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında İHA'lar ile alınan görüntüler üzerinde bilgisayar ortamında çalışılmıştır. Literatürde panoramik görüntü elde etme konusunda çokça çalışma mevcuttur. Ancak İHA'lar ile alınan hava görüntüleri üzerindeki görüntü mozaikleme konusunu alan çalışmalar daha azdır. Tez çalışmasında görüntü mozaikleme işlemi görseller verilerek adım adım anlatılmıştır. Çalışmada görüntü mozaikleme adımlarından biri olan özellik çıkarma adımı üzerinde durulmuştur. Literatürdeki özellik çıkarma algoritmaları incelenmiş. Görüntü mozaikleme için hava görüntülerinin çeşitlerine göre doğruluk ve performans açısından uygun özellik çıkarma yöntemleri belirlenmeye çalışılmıştır. Tez kapsamında, iç mekân ve dış mekân hava görüntüleri üzerinde çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Eğimli zemin ve düz zeminden, farklı çakışma değerlerinde, düz ve sabit kanatlı İHA alınan hava görüntülerinin farklı özellik çıkarma algoritmaları ile, mozaik çıktılarının doğruluğunun ve performansının karşılaştırılması yapılmıştır. Görüntü mozaiklemenin iki adet ve çoklu girdi görüntüleri ile yapılması arasındaki performans farkına bakılmıştır. Açık kaynaklı geliştirme ortamında gerçekleştirilen görüntü mozaikleme uygulamaları ile açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamında gerçekleştirilen uygulamaların karşılaştırma yapılmıştır. Farklı görüntü setlerindeki iç mekân hava görüntüleri farklı özellik çıkarma algoritmaları ile mozaiklenerek, mozaik çıktılarının doğruluklarına bakılmıştır. Ayrıca hava görüntülerinin farklı bakış açılarından ve farklı aydınlatma durumlarında çekilmiş olması, elde edilen görüntü üzerinde izlere neden olur. Tez çalışmasında bu izlerin yok edilmesi üzerine de uygulamalar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü İşleme, Görüntü Mozaikleme, Hava Görüntüleri, İnsansız Hava Aracı, Özellik Çıkarımı

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **IMAGE MOSAICING WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES IN INDOOR AND OUTDOOR ENVIRONMENTS**

**Aykut TAHTIRVANCI**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Electrical And Electronics Engineering**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Akif DURDU**

**2019, 60 Pages**

**Jury**

**Asst. Prof. Dr. Akif DURDU  
Prof. Dr. Cemil SUNGUR  
Asst. Prof Dr. Burak YILMAZ**

Image mosaicing is the process of merging two or multiple images with each other, making use of overlapping areas. Image mosaic is not used with unmanned aerial vehicles only. Generally, it is used in applications where the displayed area is small, but the viewing area is large. In this thesis, images taken by unmanned aerial vehicles were studied on computer. There are a lot of studies in the literature about obtaining panoramic images. However, studies on image mosaicing in aerial images taken by unmanned aerial vehicles are less. In the thesis, the image mosaic process is explained step by step by giving images. In the study, the feature extraction step which is one of the image mosaic steps is emphasized. Feature extraction algorithms in the literature were examined. According to the types of aerial images for the image mosaicing accuracy and performance in terms of appropriate feature extraction methods were tried to determine. Within the scope of the thesis, various applications have been made on indoor and outdoor aerial images. The accuracy and performance of the mosaic outputs were compared with different feature extraction algorithms of aerial images obtained from sloping ground and flat ground at different overlap values. Image mosaicing performance difference between two and multiple input images was examined. The image mosaic applications performed in the open source development environment and the applications performed in the non-open source development environment were compared. The indoor air images in different image sets were mosaiced with different feature extraction algorithms and the accuracy of the mosaic outputs was examined. In addition, the fact that the air images are taken from different viewpoint and in different illumination situations causes seams on the resulting image. In the thesis study, it was applied on the removing of these seams.

**Keywords:** Aerial Images, Feature Extraction, Image Mosaicing, Image Processing, Unmanned Aerial Vehicle

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında ve hayatımın her anında, yardımlarını ve anlayışını esirgemeyerek bana sabırla destek veren ve bu günlere gelmemi borçlu olduğum aileme, hocalarım, tüm bölüm içi, bölüm dışı arkadaşlarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Akif DURDU'ya ve bu tez çalışmama katkıda bulunan Sayın Arş. Gör. Hasan Bilgehan MAKİNECİ'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Aykut Tahtırvancı  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Görüntü Mozaikleme .....	1
1.1.1. Görüntü mozaiklemenin kullanıldığı alanlar .....	2
1.2. Tezin Amacı.....	3
1.3. Tezin Önemi .....	5
1.4. Yapılan Çalışmanın Görüntü Mozaikleme Olarak Kapsamı .....	6
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>13</b>
3.1. Görüntü Mozaikleme .....	13
3.1.1. Mozaiklecek Görüntü .....	13
3.1.2. Özellik Çıkarma.....	15
3.1.3. Özellik Eşleştirme.....	24
3.1.4. Aykırı Noktaların Tespiti ve Homografi Hesaplaması .....	25
3.1.5. Görüntü Çarpıtma .....	26
3.1.6. Görüntü Harmanlama .....	27
<b>4. UYGULAMA VE SONUÇLAR .....</b>	<b>29</b>
4.1. Açık Kaynaklı Olmayan Geliştirme Ortamlarında Gerçekleştirilen Uygulamalar .....	29
4.1.1. İki Adet Dış Mekân Hava Görüntüsünün Mozaiklenmesi.....	29
4.1.2. Çoklu Dış Mekân Hava Görüntülerinin Mozaiklenmesi .....	33
4.2. Açık Kaynaklı Geliştirme Ortamlarında Gerçekleştirilen Uygulamalar .....	40
4.2.1. İki Adet Dış Mekân Hava Görüntülerinin Mozaiklenmesi.....	42
4.2.2. İç Mekân Görüntülerinin Mozaiklenmesi.....	45
4.2.3. Mozaik Görüntülerin Harmanlanması .....	47
<b>5. SONUÇ VE TARTIŞMA .....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>58</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$D(x, y, \sigma)$	: Gaussların Farkı
$\det(M)$	: M Matrisinin Determinantı
$E(u, v)$	: Yoğunluk Kayması
$g(x, y)$	: Gradyan Yönü
$G(x, y, \sigma)$	: Gauss Fonksiyonu
$H(x, y)$	: Hessian Matrisi
$L(x, y, \sigma)$	: Görüntülerin Gauss Penceresinden Geçirilmiş Hali
$m(x, y)$	: Gradyan Büyüklüğü
$R$	: Köşe Cevabı Ölçüsü
$s$	: Anahtar Nokta Etrafındaki Yarıçap
$\text{trace}(M)$	: M Matrisinin İzi
$\lambda$	: Özdeğer

### Kısaltmalar

<b>3D</b>	: 3 Dimension
<b>BaySAC</b>	: Bayesian Sample Consensus
<b>BoW</b>	: Bag Of Words
<b>BRISK</b>	: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints
<b>CNC</b>	: Computer Numerical Control
<b>FAST</b>	: Features from Accelerated Segment Test
<b>GPU</b>	: Graphic Processing Unit
<b>İHA</b>	: İnsansız Hava Aracı
<b>KLF</b>	: Kanade-Lucas-Tomasi Tracker
<b>K-NN</b>	: K Nearest Neighborhood
<b>MRI</b>	: Magnetic Resonance Imaging
<b>ORB</b>	: Oriented FAST and Rotated BRIEF
<b>RANSAC</b>	: Random Sample Consensus
<b>SBC</b>	: Single Board Computer
<b>SIFT</b>	: Scale Invariant Feature Transform
<b>SLAM</b>	: Simultaneous Localization And Mapping
<b>SURF</b>	: Speeded Up Robust Features

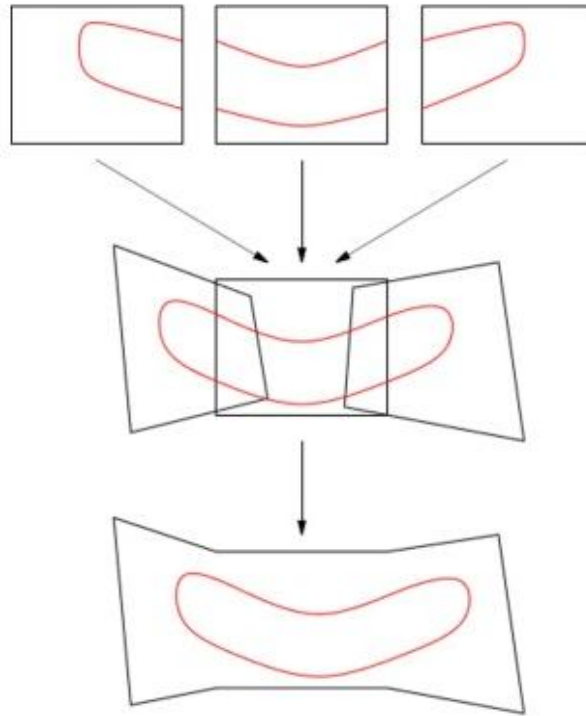


## 1. GİRİŞ

### 1.1. Görüntü Mozaikleme

Bilgisayarlı görü, görüntüleme cihazları ve sensörler ile görüntü alma, görüntüleri işleme ve çıktı alma işlemidir. Bilgisayarlı görü uygulamalarından birisi görüntü mozaiklemedir. Görüntü mozaikleme, çakışma alanları bulunan aynı veya farklı açılardan çekilen görüntülerin birleştirilmesi işlemidir (Xie ve ark., 2004). Alınan görüntüler, görüntülerin kesişme alanlarından faydalanılarak birbirine birleştirilir. Elde edilen görüntü, kullanılan görüntülerden daha çok bilgiye sahiptir ve tüm görüntünün geniş görünümünü içerir. Şekil 1.1’de görüntü mozaikleme işlemi görselleştirilmiştir.

Görüntü mozaikleme ve görüntü dikişi kavramaları birbirleri ile çok karıştırılan kavramalardır. Mozaiklenecek görüntüler arasındaki çakışan alan büyükse görüntü mozaikleme kavramı kullanılırken, çakışan alan küçükse görüntü dikişi kavramı kullanılmaktadır (Amiri ve Moradi, 2016). Bu tezde anlatılacaklar çakışma alanları büyük olan görüntüler hakkında olduğu için, görüntü mozaikleme kavramı kullanılacaktır.



Şekil 1.1. Görüntü mozaikleme işlemi (Capel, 2004)

### 1.1.1. Görüntü mozaikleme alanları

Günümüzde insansız hava araçları (İHA) askeri ve sivil alanda oldukça çok kullanılmaktadır. İnsansız hava araçları askeri olarak keşif, gözetleme ve saldırı gibi konularda kullanılmaktadır (Everaerts, 2008). Sivil alanda ise kargo taşıma, tarımsal uygulamalar, afet yönetimi ve harita oluşturma gibi konularda kullanılmaktadır (Çömert ve ark., 2012). İnsansız hava araçlarının, insanlı hava araçlarına göre çeşitli avantajları mevcuttur. İnsanlı hava araçlarında, mürettebatın güvenlikleri açısından sınırlı uçuş süreleri söz konusudur. Bundan dolayı tek seferlik uçuşlarda İHA'lar, insanlı hava araçlarına göre daha uzun uçuş sürelerine sahiptir. Ayrıca İHA'ların askeri alanda kullanılması durumunda yetişmiş mürettebat kaybı ve diplomatik krizler gibi konulardan sakınılmış olunur.

Haritalar, uydular ile elde edilebildiği gibi çeşitli hava araçları ile de elde edilebilmektedir (Çömert ve ark., 2012). Uydu sistemlerine sahip olunması maliyetlidir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu gibi sistemlere sahip olamayabilirler. Bu gibi durumlarda uçaklar, balonlar ve benzeri hava araçları harita elde etmek için kullanılır. Günümüzde maliyeti ve kullanım kolaylığı bakımından İHA'lar harita elde etmek için sıklıkla kullanılmaktadır.

İnsansız hava araçları ile elde edilmek istenilen haritanın ölçeği geniş olduğunda çeşitli kısıtlamalar ile karşılaşılır. Alçak irtifalardan geniş ölçekli görüntü elde edilmesi, görüntüleme cihazlarının görüş alanlarının geniş olmamasından dolayı mümkün değildir. Yüksek irtifalarda geniş ölçekli görüntüler alınabilir ancak birim alan açısından netlik düşüğü meydana gelir (Karaköse ve ark., 2017). Ayrıca balıkgözü tabir edilen geniş açılı kameralarla da, geniş ölçekli görüntüler elde edilebilmektedir ancak düz bir görüntü elde edilememektedir. Bu durumlardan dolayı geniş ölçekli harita görüntülerinin elde edilmesi işleminde görüntü mozaikleme kullanılır.

Görüntü mozaikleme İHA'lar haricinde birçok yerde de kullanılmaktadır. Genel olarak görüntü mozaikleme, görüntüleme cihazının görüş alanının küçük olmasına rağmen elde etmek istenilen görüntünün büyük olduğu uygulamalarda kullanılır. Manyetik rezonans görüntüleme (Magnetic Resonance Imaging (MRI)) ve Ultrason görüntülerinin görüş alanları, istenilen görüntüye göre zaman zaman düşük kalmaktadır. Böyle durumlarda, tıbbi görüntüleme sistemlerinden alınan görüntüler birbirlerine mozaiklenerek geniş görüş alanına sahip görüntüler elde edilmektedir.

Mikroskoplardan alınan görüntülerin görüş alanları küçüktür. Fakat mikroskop ile gözlemlenmek istenen mikro boyuttaki şeylerin alanının mikroskobun görüş alanından daha geniş alana sahip olması gerekmektedir. Bu problem mikroskop görüntülerinin mozaiklenmesi ile aşılabilmektedir.

Otonom araçlarda ve otonom sistem bulunmayan yalnızca sürücü destek sistemi bulunan araçlarda, araç etrafına kameralar yerleştirilmektedir. Bu kamera görüntüleri birbirlerine mozaiklenerek araç çevresinin tam bir görüntüsü elde edilir.

Mobil bir çalışma ortamında, doküman taramak için günümüzde geleneksel olarak kullanılan masaüstü tarayıcıları taşımak kullanışlı değildir. Bu sebepten dolayı doküman taramak için mobil cihazlar önerilmiştir. Mobil cihazların görüntüleme alanı yeterince geniş olmadığı için alınan bir kaç görüntünün mozaiklenmesinden daha geniş görüntü alanına sahip görüntüler oluşturulmaktadır. Ayrıca görüntüdeki gölge ve aydınlatma sorunları da çözülerek ideal bir görüntü elde edilmektedir.

Sanal gerçeklik gibi teknolojilerde 360 derece stereoskopik görüntü kullanılır. Bu 360 derecelik görüntüyü, daha küçük açılardaki görüntülerden, bu görüntülerin mozaiklenmesi ile oluşturmak performans açısından çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında İHA'lar ile alınan görüntüler üzerinde çalışılmıştır. İnsansız hava aracı ile alınan hava görüntülerin bilgisayar ortamında mozaiklenerek maliyeti düşük, elde edilmesi kolay bir şekilde geniş ölçekli haritalar oluşturulmuştur.

## 1.2. Tezin Amacı

Bazı uygulamalarda görüntülerin görüş alanları küçük olmasına rağmen elde edilmek istenen bölgenin görüntüsü geniştir. Bu gibi durumlarda alınan görüntülerin kesişme alanlarından faydalanılarak görüntü birleştirme yapılır. Elde edilen görüntü, tüm görüntü bilgisinin geniş görünümünü içerir.

Görüntü birleştirme işlemi, görüntü mozaikleme ve görüntü dikişi olarak iki farklı şekilde yapılabilir. Görüntü dikişinde, görüntülerin bir araya getirildiği görüntüler arasında küçük çakışmalar vardır. Buna karşılık, görüntü mozaikleme, büyük çakışmaları ve birkaç görüntünün bir araya getirilmesini içerir. Bundan dolayı çalışmalarımızda görüntü birleştirme konusundan görüntü mozaikleme şeklinde söz edilecektir.

Bu tezde görüntü mozaikleme yönelik birkaç önemli amaç vardır. İnsansız hava araçları çok yüksek irtifalara çıkamazlar ve görüntüleme teknolojileri yeteri kadar

iyi değildir, bundan dolayı aldıkları görüntülerin görüş açıları çok geniş değildir. Bu görüntüler görüntü mozaikleme ile birleştirilerek daha geniş görüş açılı görüntüler elde edilmesi tezin bir amacıdır.

Tez çalışmasına uygun iç ve dış mekân görüntülerinin İHA ile alınması, alınan görüntülerinin bilgisayar ortamında Ölçekten Bağımsız Özellik Dönüşümü (Scale Invariant Feature Transform (SIFT)), Hızlandırılmış Gürbüz Özellikler (Speeded Up Robust Features (SURF)), Hızlandırılmış Segment Testi Özellikleri (Features from Accelerated Segment Test (FAST)), Harris köşe bulma ve Ölçek Bağımsız İkili Gürbüz Anahtar Noktalar (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints (BRISK)) gibi özellik tabanlı dönüşüm algoritmalarıyla mozaiklenmesi amaçlanmaktadır.

Tezde SIFT, SURF, FAST, Harris köşe bulma ve BRISK gibi literatürde bulunan algoritmaların birbirleri ile karşılaştırılmaları yapılmıştır. Ayrıca SIFT, SURF, FAST, Harris köşe bulma ve BRISK gibi görüntü mozaiklemede sıklıkla kullanılan özellik tabanlı dönüşüm algoritmalarının, gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmasının mümkün olup olmadığı tartışılmaktadır. Görüntü mozaikleme için hava görüntülerinin çeşitlerine göre doğruluk ve performans açısından uygun özellik çıkarma yöntemleri belirlenmeye çalışılmıştır. Eğimli zemin ve düz zeminden, farklı çakışma değerlerinde, düz ve sabit kanatlı İHA alınan hava görüntülerinin farklı özellik çıkarma algoritmaları ile, mozaik çıktılarının doğruluğunun ve performansının karşılaştırılması yapılmıştır. Görüntü mozaiklemenin iki adet ve çoklu girdi görüntüleri ile yapılması arasındaki performans farkına bakılmıştır. Açık kaynaklı geliştirme ortamında gerçekleştirilen görüntü mozaikleme uygulamaları ile açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamında gerçekleştirilen uygulamaların karşılaştırma yapılmıştır. Farklı görüntü setlerindeki iç mekân hava görüntüleri farklı özellik çıkarma algoritmaları ile mozaiklenerek, mozaik çıktılarının doğruluklarına bakılmıştır. Ayrıca hava görüntülerinin farklı bakış açılarından ve farklı aydınlatma durumlarında çekilmiş olması, elde edilen görüntü üzerinde izlere neden olur. Tez çalışmasında bu izlerin yok edilmesi üzerine de uygulamalar yapılmıştır.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sistemler devreye sokulmuş, sistemi yavaşlattığı ya da olumsuz etkilere sebep olduğu görülen algoritmalar devre dışı bırakılmıştır. Tez çalışmasının son halinin, bu sistemlerin en verimli çalışabildiği durumda kalması, ileriki çalışmalarda bu noktadan geliştirmeye devam edilmesi planlanmaktadır.

### 1.3. Tezin Önemi

Günümüzde İHA'ların askeri ve sivil alanda kullanımları giderek artmaktadır. Sivil ve askeri açıdan İHA'lar tarımsal uygulamalar, afet yönetimi, arama ve kurtarma, gözetleme gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar (Çömert ve ark., 2012).

İHA'lar insanların ulaşmasının mümkün olmadığı felaket bölgeleri gibi yerlerde önemli görevler üstlenebilir. Bu gibi bölgelerde gidebileceği en uygun yolu belirleyerek, üzerinde bulunan kamera vasıtası ile görüntüleri alıp, görüntüleri mozaikleterek daha çok bilgiye sahip mozaik görüntüsü oluşturabilirler.

Oluşturulan iç ortam mozaik görüntüsü üzerinde eşzamanlı konumlama ve haritalama yapılarak İHA'nın konumu gerçek zamanlı olarak takip edilebilir.

Bu tez çalışmasında İHA'lar ile alınan görüntülerin bilgisayar ortamında mozaiklenmesi üzerine çalışılmıştır. Literatürde panoramik görüntü elde etme konusunda çokça çalışma mevcuttur. Ancak İHA'lar ile alınan hava görüntüleri üzerindeki görüntü mozaikleme konusunu alan çalışmalar daha azdır. Bundan dolayı bu tez çalışmasının önem literatürde önemli bir yeri vardır.

Görüntü mozaiklemede kullanılan SIFT, SURF, FAST, Harris köşe bulma ve BRISK gibi özellik çıkarma algoritmaları, elde edilen mozaik görüntüsünün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Görüntü mozaiklemede kullanılan özellik çıkarma algoritmalarının birbirleri ile karşılaştırılarak eksiklik ve üstünlüklerinin bulunması önem arz etmektedir. Ayrıca özellik çıkarma algoritmalarının çalışma zamanı açısından performanslarının değerlendirilmesi de kullanılacak sistemler açısından önemlidir.

Tezdeki çalışmalar açık kaynaklı ve açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında görüntü işleme kütüphaneleri ile yapılmıştır. Aynı zamanda oluşturulan yazılımın gömülü sistemler üzerinde çalışabilmesi için açık kaynaklı ve açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında görüntü işleme kütüphaneleri ile uygulamalar da yapılmıştır.

Tezde İHA üzerinden alınan görüntüler ile görüntü mozaikleme uygulamaları yapılmış. Bu uygulamalar uluslararası platformlarda bilim insanları ile paylaşılmıştır. Ayrıca ileriki çalışmaların bu noktadan geliştirmeye devam edilmesi, önem arz etmektedir.

#### **1.4. Yapılan Çalışmanın Görüntü Mozaikleme Olarak Kapsamı**

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen görüntü mozaikleme çalışmaları İHA'lar vasıtasıyla alınan görüntülerin bilgisayar ortamında mozaiklenmesi üzerinedir. Tezde yapılanlar, İHA'lar ile alınan görüntülerin mozaiklenmesinde meydana gelen eksiklikler ve problemlerin giderilmesine yöneliktir.

Literatürde birçok özellik çıkarma algoritmaları mevcuttur. Görüntü mozaiklemede performansı etkileyen faktörden birisi görüntülerin üzerinden özellik çıkarılması işlemidir. Bu amaçla açık kaynaklı ve açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında görüntü mozaikleme uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamalarda literatürde bulunan özellik çıkarma algoritmaları kullanılmıştır. Her iki ortamda da özellik çıkarma algoritmalarının görüntü mozaikleme üzerine doğruluk ve performans açısından etkisi ölçülmüştür.

Bu tezin ilerleyen bölümlerinde kaynak araştırması, kullanılan materyal ve yöntemler, yapılan görüntü mozaikleme uygulamaları ve sonuçları verilecektir. Son bölümde ise sonuçların tartışılması ve gelecekte yapılabilecekler açıklanmaktadır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde görüntü mozaikleme ve görüntü dikişi konusunda literatürde bulunan çalışmalar verilmiştir. Çalışmalarda görüntü mozaiklemenin hangi konularda kullanıldığına bakılmış ve görüntü mozaikleme yapılırken kullanılan özellik çıkarma yöntemleri incelenmiştir. Özellikle İHA'lar ile görüntü mozaiklemenin yapıldığı çalışmalarda kullanılan özellik çıkarma yöntemleri not edilerek, tez çalışması içerisinde incelenmiştir.

Bu tezde gerçekleştirilen uygulamalar, görüntü mozaikleme üzerinedir. Fakat görüntü dikişi işlemi, görüntü mozaikleme işlemine çok benzer olduğu için, literatürde bulunan görüntü dikişi ve görüntü mozaikleme konusundaki çalışmalar birlikte verilmiştir.

Cheng ve ark. (2008), İHA görüntülerinin düşük frekanslı görüntülerini elde etmek için dalgacık dönüşümünden yararlanmışlardır. Daha sonra bu görüntülerden özellikler çıkarılıp bu özellikler görüntüler üzerinde eşleştirilmiştir. Bu şekilde görüntü mozaikleme işlemi yapılmıştır. Bu şekilde bir yaklaşımla hesaplama maliyeti düşürülürken doğruluk oranı aynı kalmıştır. Böylece bu yaklaşım gerçek zamanlı olarak işletilebilir hale getirilmiştir.

Botterill ve ark. (2010), gerçek zamanlı görüntü mozaikleme üzerinde durmuşlardır. Çalışma metodunda hesaplama maliyeti yüksek SURF veya SIFT algoritmaları kullanılmamıştır. Onlar yerine çok daha basit olan FAST köşe dedektörü kullanılmıştır. Özellik çizgi dışılarını (outlier) elemek için kullanılan Rastgele Örneklem Mutabakatı (Random Sample Consensus (RANSAC)) algoritması yerine hesaplama kolaylığı için Bayesci Örneklem Mutabakatı (Bayesian Sample Consensus (BaySAC)) algoritması kullanılmıştır. Kelime Çantası (Bag Of Words (BoW)) algoritması, uçuş görüntüleri üzerinde çakışma alanlarının bulunmasını sağlar ve uçuş görüntülerini birbirlerine eşleştirir. Son olarak, etkili bir optimum kesme algoritması uygulanarak görüntü dikişleri başarılı bir şekilde yok edilmiştir.

İbrahim ve ark. (2010), İHA'lar ile yerdeki objelerin otomatik hareket algılama ve takibi çatısını (framework) oluşturmuşlardır. Çalışmada oluşturulan çatı görüntü hizalama (görünü mozikleme), hareket algılama ve hareket takibi olmak üzere üç bileşenden oluşur. Çalışmada her bir bileşende kullanılacak algoritmalar verilmiştir.

Chen ve Huang (2012), kapalı ortamda İHA görüntülerinin birbirine dikilmesi üzerinde durmuşlardır. Görüntüler kapalı ortamda alındığı için kameranın

titreşmesinden dolayı görüntülerde bulanıklaşma görülür. Ayrıca alınan görüntü dizileri üzerinde hareket paralaksı (motion parallax) etkisi gözlemlenir. Çalışmada bu gibi durumlardan kurtulmak için bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Niethammer ve ark. (2012), İHA ile toprak kaymasının yaşandığı bölgede görüntüler almışlar, ölçümler yapmışlar ve dijital arazi modelleri çıkartmışlardır. Mayıs 2007 ve Ekim 2008 dijital arazi modellerini karşılaştırmışlar, toprak kaymasını tespit etmeye çalışmışlardır. Ayrıca arazi modelleme işlemleri yapılırken görüntü mozaikleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sırasında harcanan zamanın azaltılması için de geliştirmeler gerçekleştirilmiştir.

Buyukyazi ve ark. (2013a) Bayraktar Mini İHA'nın gözetleme bölgesinden aldığı görüntülerin, görüntü mozaikleme kullanılarak birleştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Mozaikleme, gün ışığında normal görüntü, geceleri kızılötesi görüntü olarak gerçekleştirilir. Çalışmada gerçek zamanlı mozaikleme için literatürde çokça rastlanılan SURF metodunun yeterli olmadığı görülmüş ve bu metot yerine geliştirilen "Değiştirilmiş Algoritma" kullanılmıştır. Bu algoritma SURF'a göre birçok yönden daha iyi çalışmıştır. Ayrıca Mini İHA'nın boyutlarının küçük olmasından dolayı yüksek hızlarda ve rüzgarlı ortamlarda sarsıntılar meydana gelmektedir. Bu sarsıntılar İHA'dan alınan görüntünün bozulmasına neden olmaktadır. Bu gibi durumlarda görüntü stabilizasyonu gibi yöntemler kullanılarak görüntü iyileştirilmektedir. Mozaikleme ve stabilizasyon gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Buyukyazi ve ark. (2013b) bir başka çalışmada Bayraktar Mini İHA'nın görüntü mozaikleme özelliği için test yaklaşımları sunmuşlardır. Test yöntemi olarak, öncelikle iç ortamlarda test yapılabilmesi için bir düzenek oluşturulmuştur. Düzenek bir Bilgisayar sayımlı yönetim (Computer Numerical Control (CNC)) makinesi ve bu CNC makinesinin ucuna takılan Bayraktar Mini İHA'nın kamerasından oluşmaktadır. CNC makinesinin üzerine İHA'lardan alınmış çeşitli hava görüntüleri konulmuştur. CNC'nin ucundaki kamera belirli bir yol üzerinde hareket ettirilerek video kaydı yapılmaktadır. Böylece görüntü mozaikleme özelliği, iç ortamda test edilmiş olunur. İç ortam testlerinden sonra dış ortam testleri uygulanabilir olmuştur.

Buyukyazi (2013), görüntü mozaikleme kullanılarak İHA'nın gözetleme bölgesinden aldığı görüntülerin birleştirilmesini sağlamışlardır. Mozaikleme gün ışığında normal görüntü, geceleri kızılötesi görüntü olarak gerçekleştirilir. Mozaikleme ve stabilizasyon gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.



Günümüzde geniş görüş alanına sahip görüntüye ihtiyaç olduğundan, görüntü mozaik tekniği İHA'larda genişçe kullanılmaktadır. Yang ve ark. (2013) otonom bir İHA video görüntüleri mozaik sistemi geliştirmiştir. SIFT algoritması özellik noktalarının çıkarılması ve özellik noktalarının eşleştirilmesi için kullanılmıştır. Son olarak ağırlıklı ortalama füzyon yöntemi görüntüyü düzleştirmek için kullanılmıştır. Ayrıca sistemin doğruluğu test edilmiştir.

Bi ve ark. (2014), deprem bölgesinden alınan İHA görüntülerinin mozaiklenmesi üzerinde durmuşlardır. Çalışmada kullanılan yöntemler verilmiş, çalışma görüntülerle desteklenmiştir. Ayrıca piyasada bulunan görüntü mozaikleme yapan yazılımlar verilmiştir. Yazılımların görüntü mozaiklemedeki avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Son olarak çalışmada elde edilen çıktı, program çıktıları ile karşılaştırılmıştır.

Karakuş ve Karabörk (2014), uydu görüntülerinin mozaiklenmesine yönelik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Otomatik bir görüntü mozaikleme uygulaması yapılmıştır. Çalışmada uydu görüntülerinin özellik noktaları SURF algoritması ile çıkarılmış. Özellik noktaları K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighborhood (K-NN)) algoritması ile eşleştirilmiştir. Eşleşmeyen özellik noktaları RANSAC algoritması ile elenmiş ve homografi matrisi oluşturulmuştur.

Kecec ve ark. (2014), kameradan alınan seri görüntülerden geniş ölçekli, gerçek zamanlı görüntü mozaikleme için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Makalede görüntüler arasındaki çakışmaları bulabilmek için Separating Axis Theorem kullanılmıştır. Daha sonra mozaik tutarlılığı için afin arıtması (affine refinement) kullanılmıştır. Eğer elde edilen mozaikte görüntü dikişi mevcutsa kazanç kompanzasyonu ve çoklu bant harmanlamasının görüntü dikişini ortadan kaldırmak için uygulanabileceği belirtilmiştir. Yaklaşım akademik kullanıma açık hava görüntüleri veri seti üzerinde denenerek başarılı sonuçlar alınmıştır. Ayrıca diğer yaklaşımlarla karşılaştırmaları yapılmıştır.

Müezzinoğlu (2014), görüntü mozaikleme uygulamalarında rastgele seçilen anahtar nokta eşik değeri, benzerlik oranı ve küme merkezi sayısı gibi parametreleri optimize ederek, görüntü mozaikleme uygulamasını optimize etmeye çalışmıştır.

Varol (2014), Görüntüler mozaiklendiğinde, görüntülerde istenmeyen izler (ghost effect) oluşabilmektedir. Bu izler mozaiklenen görüntülerdeki aydınlatma farklarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada bu izleri gidermek için kullanılan yeni bir harmanlama metodu önerilmiştir. Görüntü üzerinde izlerin olduğu yerler belirlenerek bu izleri ortalama piksellerle yer değiştirilir. Daha sonra bu yerler hareket bulanıklığı

filtreleri ile filtrelenirler. Bu şekilde mozaiklenen görüntü üzerindeki izler giderilmiş olur.

MRI makineleri genellikle insan omurgasının tümünü görüntüleyemez. İnsan omurgasının tümünü görüntüleyen makineler da piyasada mevcuttur. Ancak bunlar aşırı pahalı oldukları için çok tercih edilmezler. Bundan dolayı omurgadan parça parça görüntüler alınır. Bu özellikle omurilik sıvısının gözlemlenmesi gibi hassas uygulamalarda sorun teşkil eder. Baheti ve ark. (2015) bu sorunu parçalı görüntülerin SIFT metodu kullanılarak görüntü birleştirme işlemi uygulanması ile aşmışlardır.

Amiri ve Moradi (2016) özellik tabanlı gerçek zamanlı görüntü birleştirme ve yazılımsal görüntü stabilizasyonu önermişlerdir. Çalışma ve testleri İHA üzerinde gerçekleştirilmiştir. Grafik işleme birimi (Graphic Processing Unit (GPU)) gücü kullanılarak gerçek zamanlı sistemdeki gecikmeler engellenmiştir.

Barrero ve ark. (2016), pirinç ekim alanlarında, yapay sinir ağları kullanarak hava görüntüleri üzerinden yabancı ot bulunması üzerine çalışmışlardır. Bunun için 50 metre yükseklikten İHA ile görüntü alınmıştır. Alınan 250 görüntü birleştirilerek yeterince büyük bir harita elde edilmiştir.

Bu ve ark. (2016) büyük ölçekli hava görüntülerinin daha sağlam ve kaliteli dikışı için aşamalı gerçek zamanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Kamera konumunu belirlenmesi ve mozaiklenen görüntü üzerinde gösterilmesi için monoküler bir eş zamanlı konum belirleme ve haritalama (Simultaneous Localization And Mapping (SLAM)) sistemi kullanılmıştır. Kamera hareketlerinden 3 boyutlu (3 Dimension (3D)) nokta bulut haritası oluşturulmuştur. Böylelikle, geleneksel görüntü dikış yöntemlerinden farklı olarak, makul bir düzlem ve hassas kamera pozları elde edilmiştir. Önerilen yöntemin etkililiğinin değerlendirilmesi için farklı ortamların veri setleri oluşturularak onlar üzerinde testler yapılmıştır. Ayrıca yöntemin karşılaştırılması, Photoscan ve Pix4DMapper yazılımlarıyla yapılmıştır.

Ghosh ve Kaabouch (2016), çalışmalarında görüntü mozaikleme önemli bileşenlerinden olan hizalama (registration) ve harmanlama (blending) üzerinde durmuşlardır. Literatürdeki hizalama ve harmanlama metotlarını tanıtmışlar. Bu metotların var ise modifiyelerini de eklemişlerdir. Metotların kendi içlerinde karşılaştırmalarını yapmışlar, avantaj ve dezavantajları vermişlerdir.

Kern ve ark. (2016), gerçek zamanlı görüntü mozaikleme algoritması tanıtmışlardır. Tek kartlı bilgisayar (Single board computer (SBC)) üzerinde algoritmanın gerçekleştirilmesi üzerinde durulmuştur. Ayrıca algoritmanın

gerçekleştirilebileceği kartların özellikleri ve algoritma çalıştırıldığında performansları karşılaştırılmıştır.

Tribak ve ark. (2016), çalışmalarında güneş enerjisi çiftliklerinde, güneş panellerinin görüntülerinin birleştirilerek genel bir görüntü elde edilmesi, bu sayede panellerin bakımlarında kolaylık sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma, SIFT algoritması temel alınarak yapılmış. Raspberry Pi kartı kullanılarak, gömülü kameralı robot yapılmış, bu robot güneş panellerinin gözlemlenmesinde kullanılmıştır.

Wu ve ark. (2016), yaptıkları çalışmalarında İHA'dan alınan görüntülerin mozaiklenmesinin iş akış yaklaşımlarını vermişlerdir. İş akış yönteminde yapılacak işin mantığı bloklar halinde çizilir. Kullanıcılar süreçlerini kişiselleştirebilir. Yapılan işteki bir revizyon halinde bloklara yeni eklemeler ve çıkarmalar yapılabilir. Bu sayede iş akış yöntemleri kullanıcılara esneklik sağlar. Çalışmada iş akışı için GeoJModelBuilder programı kullanılmıştır. Görüntü mozaiklemesi için SURF algoritması, RANSAC algoritması gibi yöntemler kullanılmıştır.

Yu ve ark. (2016), çoklu İHA görüntüleri için görüntü dikişi işlemi gerçekleştirmiştir. Uygulamada iki adet İHA kullanmıştır. İHA'lar geri besleme kontrolleri ile kontrol edilmektedirler. İki İHA'dan alınan görüntüler çakıştırılarak görüntü dikişi işlemleri yapılır. İki İHA'nın görüntüleri y ekseninde birleştirilmiş ve x ekseninde çakıştırılmıştır. Çakışan alanlar küçültülerek hesaplama maliyetleri düşürülmüştür. Çalışmada kullanılan görüntü dikişi metotları ise Harris köşe bulma algoritması ve Normalize Çapraz Korelasyondur.

Hu ve ark. (2017), aşağı-örneklemeyle dayalı koordinat dönüştürme görüntü dikiş metodu geliştirmişlerdir. Çalışmada video görüntüsünden gelen sıralı görüntüler aşağı örneklenir. Referans görüntü ve aşağı örneklenen görüntülerin SIFT algoritması ile özellikleri çıkarılır. Çıkarılan özellikler birbirleri ile eşleştirilir. Eşleşmeden sonra aşağı örnekleme yapılan görüntünün yukarı örnekleme yapılarak eski haline geri döndürülür. Bu sayede hesaplama maliyeti düşürülmüş olur ve görüntüler birbirlerine dikilir. Geliştirilen metot geleneksel SIFT algoritması ile karşılaştırılmış, geliştirilen metodun görünüm açısından daha pürüzsüz performans açısından da daha performanslı olduğu görülmüştür.

Liu ve ark. (2017), İHA görüntülerinin mozaiklenmesi ve akıllı bir uzaklık ölçüm metodu ile trafik kazası tespiti yöntemi üzerinde durmuşlardır. Çalışmada kavşaklardaki görüntüler mozaiklenerek daha büyük görüntüler elde edilmiş, bu

görüntüler üzerinde araç tespiti yapılmış ve bu araçlar arasındaki mesafeler akıllı yöntemlerle hesaplanarak trafik kazaları tespit edilmiştir.

Abdelkrim ve ark. (2018) görüntü hizalamaya yeni bir yaklaşım getirilmişler. SURF özellik çıkarma algoritması yerine Kanade-Lucas-Tomasi Takipçisi (Kanade-Lucas-Tomasi Tracker (KLF)) algoritması kullanmışlardır. SURF algoritması ile KLF algoritması ölçülebilir kıstaslar üzerinden karşılaştırılmıştır.

Petro ve ark. (2018) ekinlerin yayla ve ovadaki ekinlerin ekim, filizlenme ve olgunlaşma dönemlerinin multispektral görüntülerini İHA ile alarak bu dönemleri ayırt etmeye çalışmaktadır. Çalışmada görüntü mozaikleme kullanılmıştır. Yayla ve ova görüntüleri üzerinde ekim ve olgunlaşma dönemleri için SURF ve Yönlendirilmiş FAST ve Döndürülmüş BRIEF (Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB)) özellik çıkarma yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde literatür araştırması ile görüntü mozaikleme yapılırken kullanılan özellik çıkarma yöntemleri incelenmiştir. İnsansız hava araçları ile görüntü mozaiklemenin yapıldığı çalışmalarda kullanılan SIFT, SURF, FAST, BRISK ve Harris köşe bulma algoritmalarının tez çalışmasında kullanılabileceğine karar verilmiştir. Bu algoritmalar ileriki bölümde incelenmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

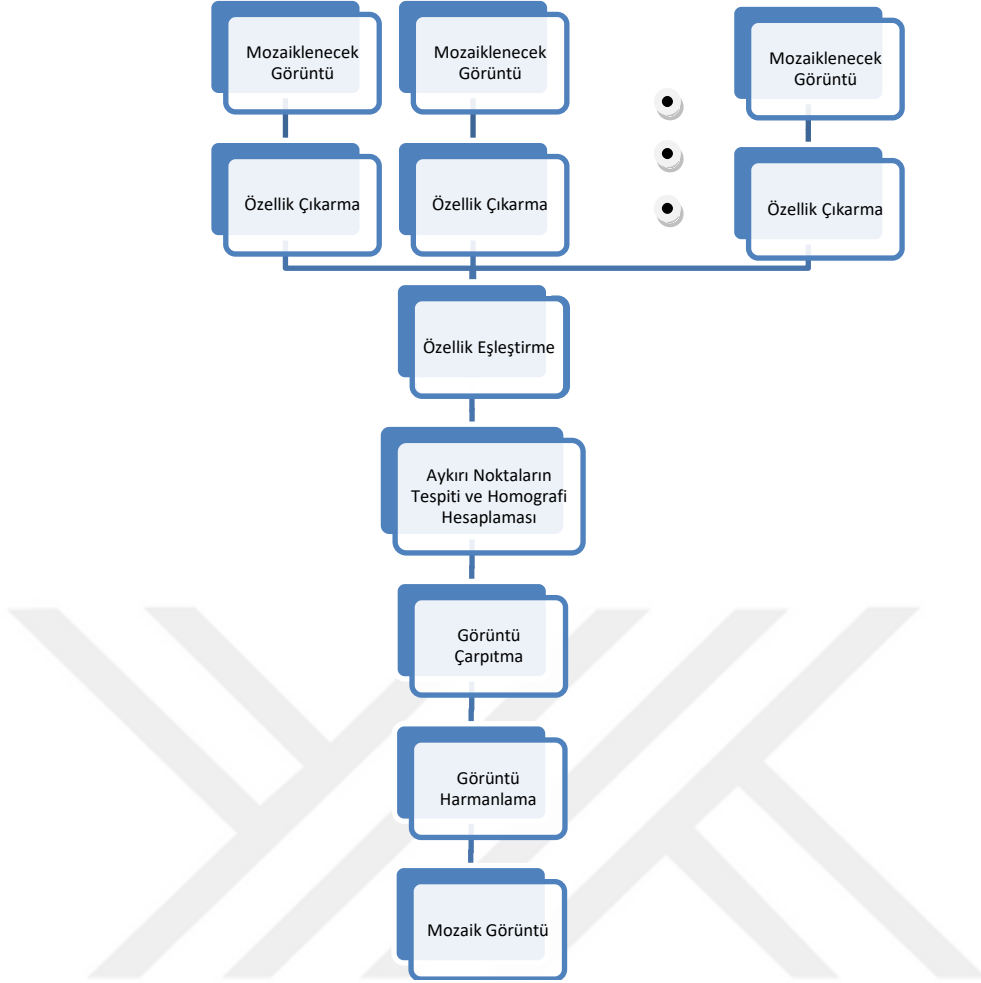
Bu bölümde görüntü mozaikleme adımlarından bahsedilmiştir. Görüntü mozaikleme işlemi görseller verilerek adım adım anlatılmıştır. Bu bölümde adımlar, iki adet üzerlerinde çakışma bulunan hava görüntüsü üzerinden anlatılmıştır. Her bir adımın sonunda elde edilen görüntü verilmiştir.

#### 3.1. Görüntü Mozaikleme

Şekil 3.1’de görüntü mozaikleme adımları verilmiştir. Görüntü mozaikleme sırası ile şu şekilde yapılmaktadır. Mozaiklenecek görüntüler üzerinde özellik noktalarının çıkarılır. Mozaiklenecek görüntüler üzerinde çıkarılan özellik noktaları birbirleri ile eşleştirilir. Doğru olmayan eşleşmeler belirlenerek kaldırılır. Homografi hesaplamaları yapılır ve görüntüler birbirleri ile hizalanırlar. Daha sonra birbirleri ile hizalanan görüntüler çakışma bölgelerinden birbirlerinin üzerine oturtularak tek bir görüntü elde edilir. Mozaiklenen görüntüler üzerinde istenmeyen izler bulunabilir, bu izler görüntü harmanlama işlemiyle ortadan kaldırılır. Bu şekilde mozaik görüntüsü elde edilir.

##### 3.1.1. Mozaiklecek Görüntü

Görüntü mozaiklemede, çakışma alanları bulunan aynı veya farklı açılardan çekilmiş görüntüler kullanılmaktadır. Görüntü mozaikleme adımları Şekil 3.2’de verilen İHA ile çekilen hava görüntüleri üzerinden anlatılacaktır. Şekil 3.2’deki hava görüntüleri üzerinde çakışma alanları mevcuttur. Görüntüler arasında döndürme ve ölçeklendirme açısından herhangi bir farklılık bulunmamaktadır.



Şekil 3.1. Görüntü mozaikleme adımları



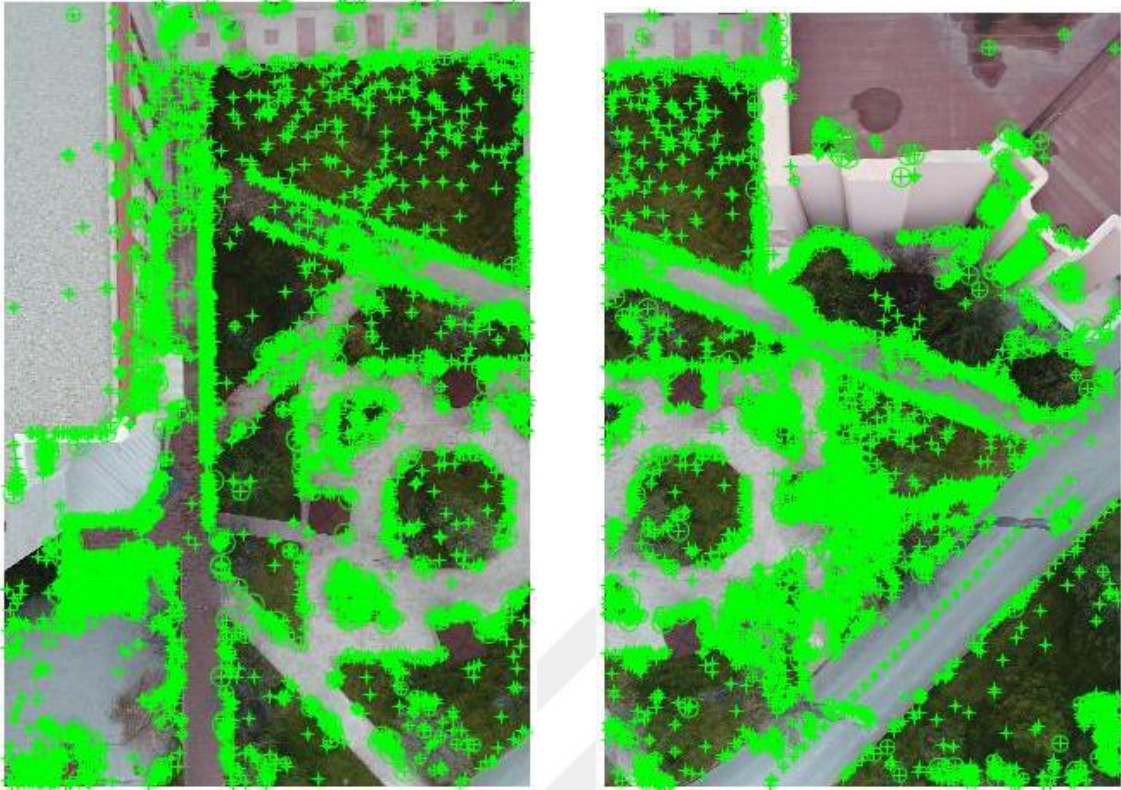
Şekil 3.2. Mozaiklenecek hava görüntüleri

### 3.1.2. Özellik Çıkarma

Görüntü mozaiklemedeki ilk adım özellik çıkarmadır. Görüntüler üzerinde özelliklerin çıkarılması ile piksel değerlerinden oluşan görüntü bilgileri, özellik değerlerine dönüştürülür. Bu sayede hesaplama maliyeti düşürülerek işlem süresi kısaltılır (Varol, 2014). Özellik çıkarma adımını kullanmadan gerçekleştirilen görüntü mozaikleme metotları da mevcuttur. Bu metotlarda görüntülerin ham piksel değerleri veya frekans domaini karşılıkları üzerinden işlem yapılır (Ghosh ve Kaabouch, 2016). Ancak bu metotlar özellik tabanlı metotlar kadar hızlı sonuç vermemektedir (Müezzinoğlu, 2014). Gerçek zamanlı bir uygulama yapılmak isteniyorsa özellik tabanlı metotların seçilmesi daha doğru olacaktır.

Girdi olarak alınan iki veya daha fazla görüntünün karakteristik özellikleri çıkarılır. Bu karakteristik özellikler kenar, köşe, yuvarlak olabilir. Bu gibi karakteristik özelliklerin çıkarılması için özellik çıkarma algoritmaları kullanılır. Kullanılan girdi görüntülerden bir tanesi referans olarak alınarak mozaikleme işlemi referans görüntüye göre yapılır. Diğer girdi görüntüler referans görüntüye göre döndürülmüş, çarpıtılmış veya ölçeklenmiş olabilir. Bu gibi durumlardan etkilenmeyen özellik çıkarma algoritmaları ile çalışmak, elde edilecek mozaik görüntünün doğruluğu açısından önemlidir. Bu bölümün alt başlığında, İHA'lar ile görüntü mozaiklemenin yapıldığı çalışmalarda kullanılan SIFT, SURF, FAST, BRISK ve Harris köşe bulma algoritmaları verilerek, çalışma prensipleri açıklanmıştır.

Şekil 3.3'de, Şekil 3.2'deki hava görüntülerinin özellik noktalarının çıkarılmış hali verilmiştir. Görüntülerin özellik noktalarının çıkarılması SURF algoritması ile yapılmıştır.



Şekil 3.3. Mozaiklenecek görüntüler üzerinde özellik noktalarının çıkarılması

### 3.1.2.1. Ölçekten Bağımsız Özellik Dönüşümü (SIFT) Algoritması

SIFT algoritması görüntülerdeki yerel özellikleri bulur ve tanımlar. Bu algoritma, lisanslanarak ticari kullanımlarına sınırlama getirilmiştir. SIFT algoritması görüntü üzerinde yapılmış döndürme, ölçeklendirme, çarpıtma, yer değiştirme gibi işlemlerden etkilenmez. Bu SIFT'in en önemli özelliklerindedir. Bu sayede görüntülerdeki özellik noktaları hatasız olarak eşleştirilebilir.

SIFT algoritması dört adımdan oluşur. Bu adımlar; ölçek uzayında uç değer noktalarının tespiti, anahtar noktaların hassaslaştırılması, yönelim atama, anahtar nokta tanımlayıcılarının belirlenmesidir (Lowe, 2004).

1. Ölçek Uzayında Uç Değer Noktalarının Tespiti: Mozaiklenecek görüntülerde ölçek farklılıkları olabileceğinden dolayı anahtar noktaları bulurken aynı pencere kullanılmamaktadır. Bunun için ölçek uzayı kullanılır. Ölçek uzayı, denklemleri Denklem (3.1), Denklem (3.2) ve Denklem (3.3)'de verilen Gaussianların Farkı (DoG) ile bulunur.  $L(x, y, \sigma)$  ölçek uzayı denklemi  $I(x, y)$  görüntüsünün  $G(x, y, \sigma)$  Gauss fonksiyonu ile konvolüsyonudur.

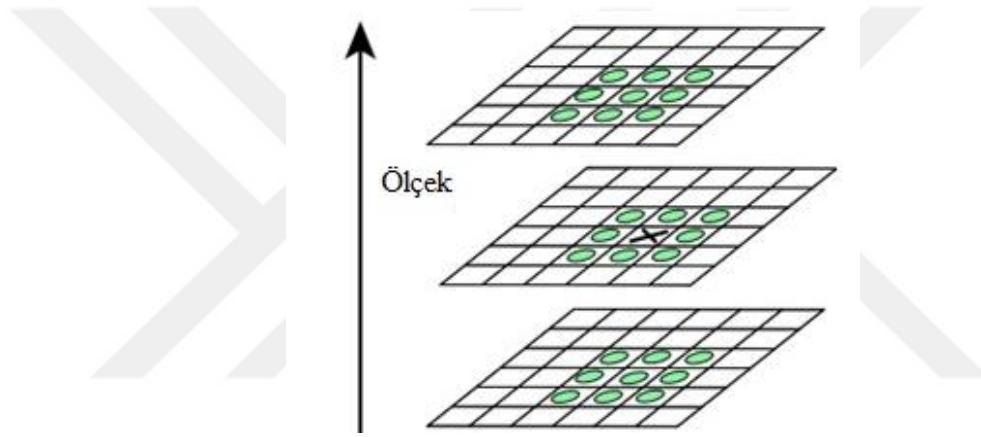


$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (3.1)$$

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (3.2)$$

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (3.3)$$

Gaussianların farkı bulunduktan sonra görüntülerde ölçek alanı üzerinde yerel uç değer nokta aranır. Şekil 3.4'de gösterildiği gibi, bir görüntüdeki bir piksel, bir sonraki ölçekte 9 piksel ve bir önceki ölçekte 9 piksel yanı sıra 8 komşusu ile karşılaştırılır. Bu piksel yerel bir ekstrem nokta ise, potansiyel bir anahtar noktasıdır (Lowe, 2004).



Şekil 3.4. Ölçek uzayı (Lowe, 2004).

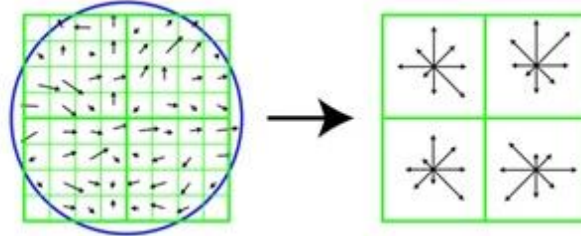
2. Anahtar Noktaların Hassaslaştırılması: Anahtar noktaları doğru tespit etmek için Taylor serileri kullanılarak düşük kontrastlı anahtar noktaları ve Hessian matrisi kullanılarak kenar anahtar noktaları elenir. Geriye kalanlar, kuvvetli anahtar noktalarıdır.

3. Yönelim Atama: Görüntü rotasyonunda değişmezlik elde etmek için her anahtar noktanın yönelimine bakılır. Ölçeğe bağlı olarak anahtar nokta etrafında bir bölge alınır, o bölgede gradyan büyüklüğü ile yönü sırasıyla Denklem (3.4) ve Denklem (3.5) ile hesaplanır.

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 - (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2} \quad (3.4)$$

$$Q(x, y) = \tan^{-1} \frac{(L(x+1, y) - L(x-1, y))}{(L(x, y+1) - L(x, y-1))} \quad (3.5)$$

4. Anahtar Nokta Tanımlayıcılarının Belirlenmesi: Gradyan yönü ve büyüklüğü hesaplanan anahtar noktaların tanımlayıcıları bulunur. Anahtar nokta etrafındaki  $16 \times 16$  boyutundaki matris alınır. Gradyan büyüklükleri ve yönleri toplanarak Şekil 3.5’de gösterildiği gibi  $4 \times 4$  boyutunda bir matris elde edilir.



Şekil 3.5. Anahtar nokta tanımlayıcısı (Lowe, 2004)

### 3.1.2.2. Hızlandırılmış Gürbüz Özellikler (SURF) Algoritması

SIFT yerel özellikleri bulma konusunda başarılıdır ancak göreceli olarak yavaş bir yöntemdir (Joshi ve Sinha, 2013). Bay ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada SURF algoritması önerilmiştir. Algoritma lisanslanarak ticari kullanımlarına sınırlama getirilmiştir.

SURF algoritması SIFT algoritması kadar başarılıdır. SIFT algoritması gibi dönme, ölçekleme ve çarpıtma gibi işlemlerden etkilenmez. SIFT algoritmasına göre daha hızlıdır (Bay ve ark., 2006).

SURF ölçek alan oluşturmak için ölçeğe göre artan büyüklükte kutu filtreleri kullanır (Bay ve ark., 2006). Ölçek alan üzerinden işlem yapmak, ölçek değişmezliği sağlar.

SURF, anahtar noktaları bulmak için Hessian matrisine dayalı bir yuvarlak dedektörü kullanır (Bay ve ark., 2006). Hessian matrisinin determinantı alınarak nokta etrafındaki uç değer noktaları bulunur. Anahtar noktalar determinantın maksimum olduğu noktalardan seçilir.

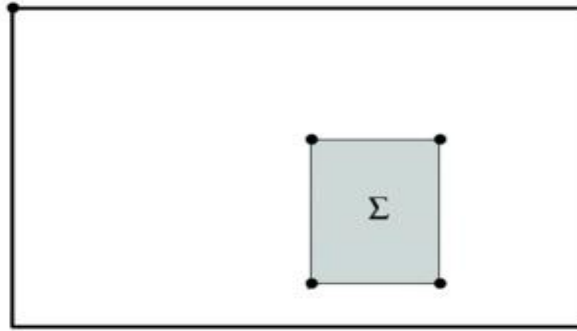
Hessian matrisi Denklem (3.6)’da verilmiştir. Hessian matrisinin içerisindeki ifadeler Denklem (3.7) ve Denklem (3.8)’de denklemleri verildiği gibi görüntünün, Gaussian kernelinin ikinci dereceden türevi ile konvolüsyonudur. Bu işlem işlem yükü gerektirir. Bundan dolayı bu işlemi yaparken integral görüntüleri ve yaklaşık kerneller kullanılır. Şekil 3.6’da gösterildiği gibi integral görüntüleri, noktanın etrafındaki belirli

bir bölgedeki tüm piksellerin toplamı şeklinde alınır. Yaklaşık kerneller ise Şekil 3.7'de gösterilen kutu filtreleri olarak alınır (Pedersen, 2011).

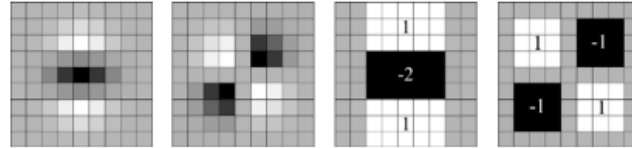
$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$L_{xx}(x, \sigma) = I(x) * \frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma) \quad (3.7)$$

$$L_{xy}(x, \sigma) = I(x) * \frac{\partial^2}{\partial xy} g(\sigma) \quad (3.8)$$



Şekil 3.6. İntegral görüntülerinin bulunması (Bay ve ark., 2008)



Şekil 3.7. Kutu filtreleri (Bay ve ark., 2008)

Anahtar noktaların yöneliminin bulunması için Haar dalgacık cevabı kullanılır. Anahtar nokta etrafında yarıçapı  $6s$  olacak şekilde bir daire alınır.  $s$  anahtar noktanın ölçeğidir. Anahtar nokta etrafında  $20s$  boyutunda kare oluşturulur. Karenin ayrıldığı  $4 \times 4$  piksellik alt bölgelerde, dalgacık yanıtları  $x$  ve  $y$  ekseninde olacak şekilde hesaplanır. Anahtar noktaların yönelimleri, büyüklük ve yön şeklinde bulunur (Bay ve ark., 2006). Bu şekilde dönme değişmezliği sağlanmış olunur.  $4 \times (4 \times 4)$  şeklinde 64 boyutlu bir tanımlayıcı bulunmuş olunur.

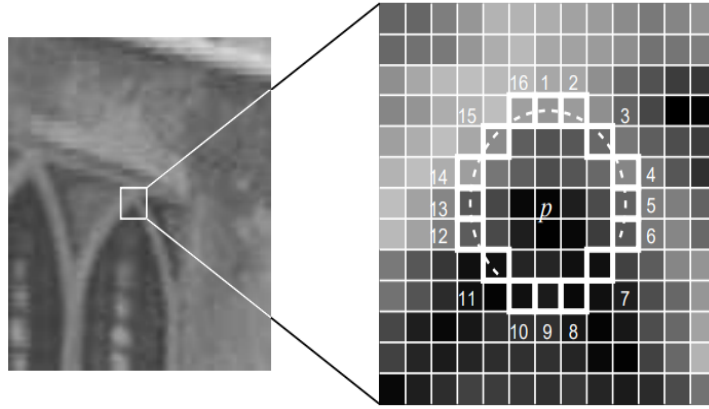
Ayrıca SURF'un farklı versiyonu olan U-SURF algoritması da mevcuttur. Bu algoritma SURF algoritmasına göre daha hızlıdır ancak bu algoritmanın dönme değişmezliği yoktur (Bay ve ark., 2006).

### 3.1.2.3. Hızlandırılmış Segment Testi Özellikleri (FAST) Algoritması

FAST algoritması Edward Rosten ve Tom Drummond tarafından 2006 yılında önerilmiştir. İleriki yıllarda algoritmaya çeşitli eklemeler yapılmıştır. Algoritmanın dönmeye ve ölçeklemeye değişmezliği yoktur.

Şekil 3.8’de FAST algoritmasında köşe tespiti testi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi görüntü üzerinde bir  $p$  pikseli seçilir.  $p$  pikselinin yoğunluk değeri  $I_p$  olarak alınır. Daha sonra  $p$  pikselinin etrafını 16 piksel ile çevreleyecek şekilde bir daire çizilir.  $t$  eşik değeri belirlenir. Daire etrafındaki 16 pikselin  $I_p+t$  yoğunluk değerinden daha parlak veya  $I_p-t$  yoğunluk değerinden daha karanlık olup olmadığına bakılır.  $n$  adet piksel bu şekilde ise  $p$  pikseli köşedir.  $n$  değeri kullanıcı tarafından belirlenir. Bu şekilde test, görüntü üzerindeki tüm piksellere uygulanarak, görüntü üzerindeki köşeler çıkartılır (Rosten ve Drummond, 2006).

FAST algoritması bu hali ile oldukça hızlıdır ancak  $n$  değerinin 12’den küçük seçilmesi durumunda çok fazla köşe bulması ve birbirine bitişik çoklu köşeleri tespit ediyor olması gibi zayıflıkları vardır (Rosten ve Drummond, 2006).



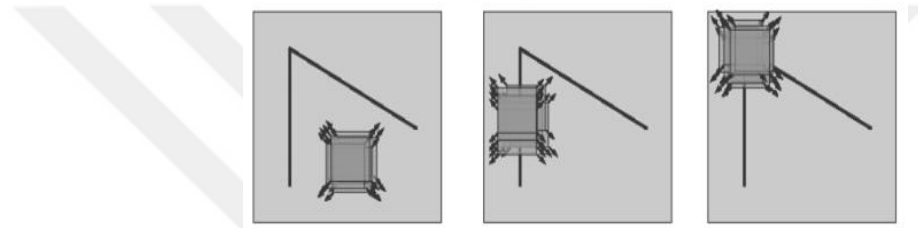
Şekil 3.8. FAST köşe bulma algoritması

FAST algoritmasına yukarıda anlatılan zayıflıklardan kurtulmak için çeşitli eklemeler yapılmıştır. Makine öğrenimi yaklaşımı bu eklemlerden biridir. Makine öğrenimi yaklaşımı ile köşe bulma işlemi iyileştirilmiştir. Bitişik köşeleri çıkarmak için maksimum olmayan bastırma yöntemi ise bir diğer eklemedir. Bitişik köşeleri çıkarmak için maksimum olmayan bastırma yöntemi ile bitişik köşeler eleme işlemi ile yok edilir.

### 3.1.2.4. Harris Köşe Bulma Algoritması

Harris Köşe Bulma Algoritması, 1988 yılında Chris Harris ve Mike Stephens tarafından önerilmiştir. Harris köşe bulma algoritması, dönmeye değişmez olmasına rağmen ölçeklemeye değişmez değildir.

Şekil 3.9'da düz, kenar ve köşe bulunması işlemi gösterilmektedir. Bir görüntü üzerinde karesel pencere ile küçük adımlarla ilerlenildiğini düşünelim. Eğer hiçbir yönde değişim yok ise düzlük bulunur. Eğer tek yönde değişim var ise kenar bulunur. Eğer tüm yönlerde değişim var ise köşe bulunur. Harris Köşe bulma algoritmasında bu durum, matematiksel olarak modellenmiştir.



Şekil 3.9. Düz kenar ve köşe bulunması

Denklem (3.9)'da  $(u,v)$  kayması için yoğunluğun değişimi verilmiştir.  $I$  gri renk uzayındaki görüntüdür.  $w(x, y)$  pencere fonksiyonudur.  $w(x, y)$  fonksiyonunun sonucu pencere içerisinde 1 iken, pencere dışarısında 0'dır.

$$E(u, v) = \sum_{x,y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \quad (3.9)$$

Denklem (3.9) Taylor serisi ile açılırsa Denklem (3.10) bulunur.

$$E(u, v) \cong [u \quad v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$M$  matrisinin açılımı Denklem (3.11)'de verilmiştir.  $I_x$ ,  $I$  görüntüsünün  $x$  yönündeki türevini ifade etmektedir.  $I_y$ ,  $I$  görüntüsünün  $y$  yönündeki türevini ifade etmektedir.

$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} Ix^2 & IxIy \\ IxIy & Iy^2 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Köşe cevabı ölçüsü  $R$ , Denklem (3.12)'de verilmiştir.  $Det(M)$ ,  $M$  matrisinin determinantını ifade etmektedir.  $trace(M)$ ,  $M$  matrisinin izini ifade etmektedir.  $M$  matrisinin determinantının açılımı Denklem (3.13) ve  $M$  matrisinin izinin açılımı Denklem (3.14)'de verilmiştir. Bu iki denklemde özdeğerler kullanılmıştır.

$$R = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2 \quad (3.12)$$

$$\det(M) = \lambda_1 \lambda_2 \quad (3.13)$$

$$\text{trace}(M) = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (3.14)$$

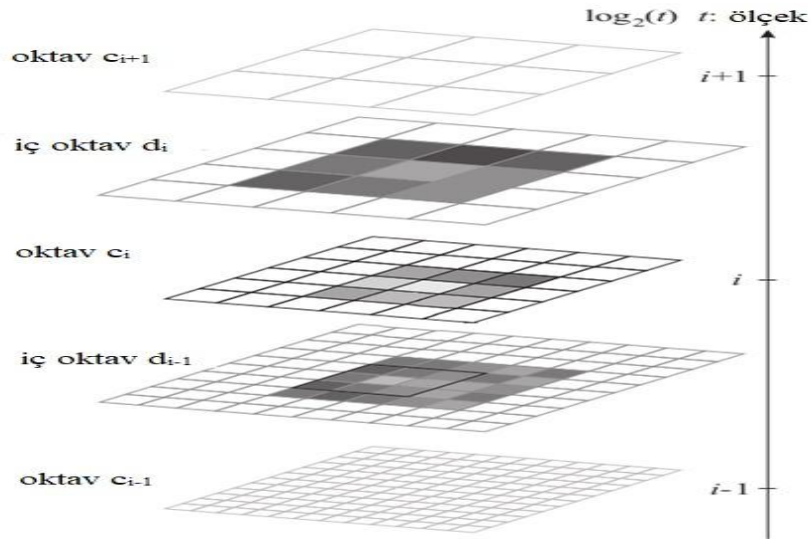
Köşe cevabı ölçüsü  $R$ 'nin mutlak değeri küçük bir değerse “düzlük” bulunur.  $R$  negatif ve büyük bir değerde ise “kenar”, pozitif ve büyük bir değerde ise “köşe” bulunur.

### 3.1.2.5. Ölçek Bağımsız İkili Gürbüz Anahtar Noktalar (BRISK) Algoritması

BIRSK algoritması, 2001 yılında Stefan Leutenegger, Margarita Chli, Roland Siegwart tarafından IEEE Uluslararası Bilgisayarlı Görü konferansında önerilmiştir. Algoritma performans açısından günümüzün en iyi özellik çıkarma algoritmaları kadar performanslı olmayı amaçlarken, hesaplama maliyetinin de oldukça düşük olmasını amaçlamaktadır (Leutenegger ve ark., 2011). BRISK algoritması dönme ve ölçeklemeye değişmezdir.

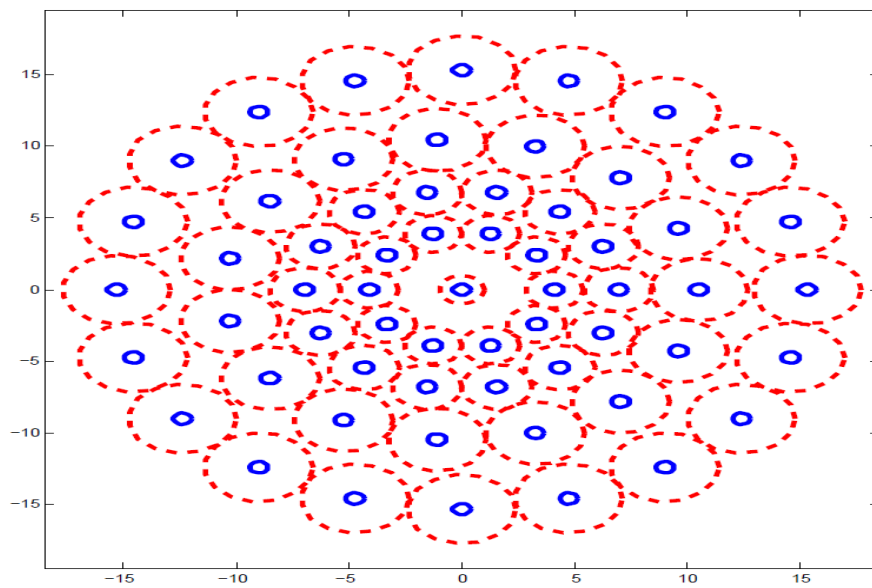
BRISK algoritması, özellik çıkarma işlemi için SIFT algoritmasında kullanıldığı gibi ölçek uzayı kullanır. Fakat SIFT algoritmasında kullanılan ölçek uzayından farklı olarak ölçek uzayları arasındaki katmanlar da kullanılır. Ölçek uzayının kullanılması, ölçek değişmezliğini sağlar. BRISK algoritmasında kullanılan ölçek uzayı, Şekil 3.10'da verilmiştir. Her bir ölçek uzayı için FAST algoritmasında kullanılan skor ve maksimum olmayan bastırma yöntemi uygulanarak,  $3 \times 3$  piksel boyutlarında parçalar

elde edilir. Daha sonra bu parçalara ikinci dereceden bir fonksiyon uygulanarak özellik noktaları çıkartılır (Leutenegger ve ark., 2011).



Şekil 3.10. Ölçek uzayı (Leutenegger ve ark., 2011)

Özellik noktaları çıkarıldıktan sonra özellik noktalarının tanımlanması işlemine geçilir. Özellik noktalarının etrafındaki pikselleri içerisine alan parçalar oluşturulur. Bu parçalara gauss yumuşatması uygulanır (Leutenegger ve ark., 2011). Bu parçalara örnekleme deseni denilir. Şekil 3.11'de özellik noktası etrafında 60 adet eşmerkezli dairenin bulunduğu bir örnekleme deseni verilmiştir.



Şekil 3.11. Örnekleme deseni (Leutenegger ve ark., 2011)

Örnekleme desenindeki tüm pikseller uzun çiftler ve kısa çiftler olmak üzere ikiye ayrılır. Uzun çiftler arasındaki yerel gradyanlar hesaplanır. Uzun çiftlerin gradyanları toplanarak anahtar nokta yönelimleri bulunur. Bulunan anahtar nokta yönelimleri kısa çiftlere uygulanarak dönme değişmezliği sağlanır. Yönelimlere göre döndürülen kısa çiftler birleştirilerek özellik noktalarının tanımlaması tamamlanmış olunur (Leutenegger ve ark., 2011).

### 3.1.3. Özellik Eşleştirme

Görüntü mozaiklemedeki ikinci adım, mozaiklenecek görüntüler üzerinde çıkarılan özellik noktalarının eşleştirilmesidir. Mozaiklenecek görüntülerin özellik noktaları sınıflandırma işlemine tabi tutularak eşleştirilebilir veya özellik noktaları arasında korelasyonlar kurulabilir. Sınıflandırma için kullanılan algoritmalarından ikisi K-NN ve K-Ortalama algoritmalarıdır. Şekil 3.12’de, Şekil 3.3’deki özellik noktaları çıkartılan iki görüntü bitişik olarak verilerek, iki görüntünün anahtar noktalarının eşleştirilmesi gösterilmiştir. Bu görüntüler üzerinde doğru olmayan eşleşmeler mevcuttur. Bir sonraki adımda doğru olmayan eşleşmeler tespit edilerek, elenecektir.



Şekil 3.12. Özellik noktalarının eşleştirilmesi



### 3.1.4. Aykırı Noktaların Tespiti ve Homografi Hesaplaması

Görüntü mozaiklemedeki üçüncü adım aykırı noktaların tespiti ve homografi hesaplamasıdır. Görüntüler üzerinde görüntüleme ve ölçüm hataları nedeniyle bozulmalar olabilir. Bundan dolayı görüntüler üzerinde aykırı anahtar noktaları belirlenmiş olabilir. Dolayısıyla aykırı noktalar ile bir önceki adımda doğru olmayan eşleştirmeler meydana gelmesi mümkündür.

RANSAC algoritması ile homografi hesaplaması yapılır. Homografi hesaplaması ile anahtar noktaların uyumlulukları test edilir. Hesaplama sonucunda aykırı noktalar bulunur. Uygun model belirlenir. Şekil 3.13’de, Şekil 3.12’deki doğru olmayan eşleşmelerin kaldırılmış olduğu görülmektedir.

Ayrıca görüntüler farklı açılardan, alınmış olabilirler. Bundan dolayı görüntüler aynı koordinat düzlemine getirilmelidirler (Müezzinoğlu, 2014). Bunun için Denklem (3.15)’da verilen homografi matrisi ( $H$ ) kullanılır. Mozaiklenecek görüntülerden biri referans, diğeri girdi olarak alınır.  $x$  girdi görüntü ve  $x'$  çıktı görüntü olmak üzere Denklem (3.16)’da gösterildiği gibi girdi görüntü referans görüntüye göre homografi matrisi ile çarpılarak çarpıtılır. Bu şekilde mozaiklenecek görüntüler aynı koordinat düzlemine getirilmiş olurlar (Müezzinoğlu, 2014).

$$H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$x' = Hx \quad (3.16)$$

Şekil 3.2’de verilen görüntüler arasında döndürme ve ölçeklendirme açısından herhangi bir farklılık bulunmamaktadır. Dolayısıyla aynı koordinat düzleminde dirler. Bundan dolayı ek bir işlem yapılarak aynı koordinat düzlemine getirilmeleri gerekmemektedir.



**Şekil 3.13.** Doğru olmayan eşleşmelerin kaldırılması ve homografi hesaplamasıyla görüntülerin aynı koordinat düzlemine getirilmesi

### 3.1.5. Görüntü Çarpıtma

Görüntü mozaiklemedeki dördüncü adım görüntü çarpıtmadır. Anahtar noktaları eşleştirilmiş ve aynı koordinat düzlemine getirilmiş görüntülerden biri referans olarak alınır. Diğer görüntü, görüntülerin çakışma alanları üzerinden referans görüntünün üzerine yerleştirilir. Bu işlem ile iki görüntü tek görüntü haline getirilmiş olunur. Elde edilen görüntü girdi olarak kullanılan görüntülerden daha çok bilgiye sahiptir. Şekil 3.14’de Şekil 3.2’deki görüntülerden elde edilen mozaik görüntüsü verilmiştir. Mozaik görüntüsünde, girdi görüntülerin üst üste yerleştirildikleri hizada istenmeyen izler bulunmaktadır. İstenmeyen izlerin ortadan kaldırılması bir sonraki adımda verilmiştir.



Şekil 3.14. Elde edilen mozaik görüntüsü

### 3.1.6. Görüntü Harmanlama

Görüntü mozaiklemedeki beşinci ve son adım görüntü harmanlamadır. Bu adım isteğe bağlıdır. Eğer elde edilen mozaik görüntüsünde istenmeyen izler yok ise bu adım gerçekleştirilmeyebilir.

Şekil 3.14’da görüldüğü gibi elde edilen görüntü üzerinde istenmeyen izler bulunmaktadır. Mozaiklenecek görüntülerdeki ışıklandırma farkları, görüntünün alınması sırasında görüntünün arka planında meydana gelen hareketler izlere neden olabilir. Şekil 3.15’de istenmeyen izlerin görüntü harmanlama işlemiyle ortadan kaldırılmış hali verilmiştir.

Görüntü harmanlama işlemi, mozaiklenen görüntülerin üst üste gelen bölgelerinin harmanlanması ile gerçekleştirilir. Üst üste gelen bölgelerin piksel değerlerinin ortalaması alınarak sınır bölgesine uygulanması, görüntü harmanlama tekniklerinden birisidir (Varol, 2014).



**Şekil 3.15.** Görüntü harmanlaması işlemi sonrası mozaik görüntüsü

Bu bölümde görüntü mozaikleme işlemi görseller verilerek adım adım anlatılmıştır. Ayrıca İHA'lar ile görüntü mozaiklemenin yapıldığı çalışmalarda kullanılan SIFT, SURF, FAST, BRISK ve Harris köşe bulma algoritmaların açıklanarak, çalışma prensipleri verilmiştir. Bir sonraki bölümde yapılan uygulamalarla, açık kaynaklı ve açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında özellik çıkarma algoritmalarının görüntü mozaikleme üzerine doğruluk ve performans açısından etkisi ölçülmüştür.

## 4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

Üçüncü bölümde görüntü mozaikleme ile ilgili teorik bilgiler verilmiştir. Bu bölüm, üçüncü bölümde verilen teorik bilgiler doğrultusunda yapılan çeşitli uygulamaları içermektedir. Bu bölümdeki uygulamalar, açık kaynaklı geliştirme ortamlarında geliştirilen uygulamalar ve açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında geliştirilen uygulamalar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu bölümdeki tüm çalışmalar bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.

### 4.1. Açık Kaynaklı Olmayan Geliştirme Ortamlarında Gerçekleştirilen Uygulamalar

Bu bölümde açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamında görüntü işleme kütüphaneleri ile gerçekleştirilen uygulamalar verilmiştir. Açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamları birçok yönden görüntü işleme için kullanıcılara kolaylıklar sunmaktadır. Bu ortamlar ile ilgili, görüntü işleme konusunda bolca örnek, açıklayıcı yazı ve öğretici videolar bulunmaktadır.

#### 4.1.1. İki Adet Dış Mekân Hava Görüntüsünün Mozaiklenmesi

Bu uygulamada, özellik çıkarma algoritmalarının görüntü mozaikleme üzerindeki doğruluk ve performans açısından etkisine bakılmıştır. Bu uygulamada herkese açık hava görüntüleri kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan hava görüntülerine <http://zhaoyong.adv-ci.com/Data/DroneMap/> web sayfasından ulaşılabilmektedir (Bu ve ark., 2016). Bu uygulamada 1920×1080 piksel boyutlarında iki adet üzerlerinde çakışma bulunan hava görüntüsünün, açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamında mozaikleme üzerine çalışılmıştır. Uygulamada kullanılan görüntüler Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



(a) Uygulama kullanılan ilk görüntü



(b) Uygulamada kullanılan ikinci görüntü

**Şekil 4.1.** Uygulamada kullanılan görüntüler

Şekil 4.1'deki görüntülerin, SIFT ve SURF, FAST ve Harris köşe bulma algoritmaları kullanılarak özellik noktaları çıkarılmış ve bölüm üçte anlatılan adımlardan geçirilerek mozaiklenmiştir. Uygulamada yalnızca özellik çıkarma adımları değiştirilerek diğer adımlar aynı bırakılmıştır. Bu sayede özellik çıkarma algoritmalarının görüntü mozaikleme üzerindeki etkisine bakılmıştır.

SIFT ve SURF algoritmaları dönme ve ölçek bakımından değişmezdir. Harris köşe bulma algoritması, dönmeye değişmez olmasına rağmen ölçeklemeye değişmez değildir. FAST algoritması ise gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilecek kadar hızlı bir algoritmadır. Ancak dönmeye ve ölçeklemeye değişmez değildir. İnsansız hava araçları ile görüntü alarak mozaikleme yapılırken, İHA'lar yerden uzaklaşabilir, yere yaklaşabilir, dönme işlemi gerçekleştirebilir. Bundan dolayı ölçeklemeye

değişmezlik ve dönmeye değişmezlik mozaikleminin doğru yapılmasını açısından önemlidir.

Şekil 4.2’de SIFT algoritması kullanılan mozaik görüntü çıktısı, Şekil 4.3’de SURF algoritması kullanılan mozaik görüntü çıktısı, Şekil 4.4’de FAST algoritması kullanılan mozaik görüntü çıktısı, Şekil 4.5’de Harris köşe bulma algoritması kullanılan mozaik görüntü çıktısı gösterilmiştir.

SIFT algoritmasının mozaik çıktısında bulanıklık mevcut iken, diğer algoritmasının mozaik çıktısında bulanıklığa rastlanmamıştır. Harris köşe bulma algoritmasının mozaik çıktısında ise bozulma ve dikiş izine rastlanmıştır.



Şekil 4.2. SIFT algoritması mozaik çıktısı



Şekil 4.3. SURF algoritması görüntü çıktısı



**Şekil 4.4.** FAST algoritması mozaik çıktısı



**Şekil 4.5.** Harris Köşe bulma algoritması mozaik çıktısı

Bu uygulama 5. nesil Intel Core i5 işlemci, 8 GB ram, Intel HD Graphics dahili ekran kartı ve Nvidia GeForce 940M harici mobil ekran kartına sahip dizüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6’da SIFT, SURF, FAST ve Harris köşe bulma algoritmaları ile yapılan görüntü mozaikleme işlemlerinin toplam süreleri verilmiştir.

Bu uygulamada şu belirtilmelidir ki; SURF, FAST ve Harris köşe bulma algoritmaları kullanılan geliştirme ortamında bulunmasına rağmen, SIFT algoritması mevcut geliştirme ortamında bulunmamaktadır. Diğer algoritmalar kullanılan geliştirme ortamında optimize edilmiş fonksiyonlar aracılığıyla kullanılırken, SIFT algoritması dışarıdan üçüncü parti kütüphane yüklemek vasıtası ile kullanılmaktadır.



Şekil 4.6'dan görülebileceği gibi SURF ve Harris köşe bulma algoritmalarının performans açısından avantajı vardır. Bu avantajın nedeni algoritmaların yapısal karakteristikleridir.

Ayrıca açıkça söyleyebiliriz ki, SIFT algoritmasının mozaik çıktısında bulanıklık mevcuttur ve algoritmalar arasında en uzun işlem süresine sahip algoritmadır. Bunun nedeni SIFT algoritmasının kullanılan geliştirme ortamında mevcut olmayıp, üçüncü parti kütüphane olarak geliştirme ortamına eklenmesidir. FAST algoritmasının mozaik çıktısında bulanıklığa rastlanmamıştır, fakat mozaikleme işleminin süresi SURF ve Harris köşe bulma algoritmasına göre daha uzundur.

Harris köşe bulma algoritması SURF algoritmasına göre daha kısa işlem süresine sahiptir. Fakat mozaik çıktısında bozulma ve dikiş izine rastlanmıştır. Bundan dolayı Harris köşe bulma algoritmasının ışıklandırma farklarından etkilendiğini söyleyebiliriz.



Şekil 4.6. SURF, SIFT, FAST ve Harris algoritmaları ile yapılan görüntü mozaikleme işleminin süreleri

#### 4.1.2. Çoklu Dış Mekân Hava Görüntülerinin Mozaiklenmesi

Bir önceki uygulama açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamında iki adet üzerlerinde çakışma bulunan hava görüntüsünün mozaiklenmesi üzerinedir. Bu uygulama ise aynı çalışma ortamında ardışık olarak aralarında belirli değerlerde çakışma bulunan çoklu hava görüntülerinin mozaiklenmesi üzerinedir. Bu uygulamanın bir önceki uygulama ile karşılaştırılmasının yapılarak İHA ile alınan dış mekan

görüntülerinin ikili ve çoklu mozaiklenmesi arasındaki mozaikleme yapıldığı donanım açısından farka bakılması amaçlanmıştır.

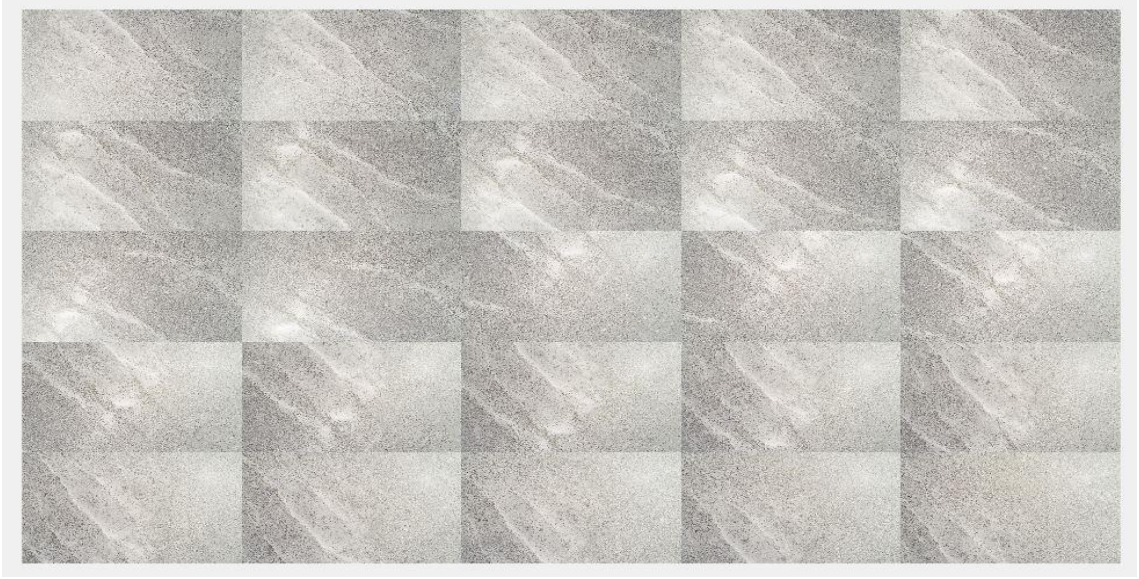
Uygulama için Konya Karapınar'da bulunan Meke Gölü çevresinde çekilmiş 1920×1080 piksel boyutlarındaki hava görüntüleri kullanılmıştır. Sabit kanatlı ve döner kanatlı İHA ile çekilen, farklı yükseklikte ve farklı çakışma oranları bulunan hava fotoğrafları ile görüntü setleri oluşturulmuştur. Çizelge 4.1'de uygulamada kullanılan görüntü setleri verilmiştir.

Ayrıca bu uygulama ile eğimli zemin ve düz zeminden, farklı çakışma değerlerinde, düz ve sabit kanatlı İHA ile alınan hava görüntülerinin farklı özellik çıkarma algoritmaları ile elde edilen mozaik çıktılarının doğruluğunun ve performansının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

**Çizelge 4.1.** Uygulamada kullanılan görüntü setleri

Döner Kanatlı İHA	Sabit Kanatlı İHA
90 m yüzde 70 bindirmeli düz alan görüntü seti	-
90 m yüzde 70 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	-
100 m yüzde 70 bindirmeli düz alan görüntü seti	-
100 m yüzde 70 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	-
100 m yüzde 80 bindirmeli düz alan görüntü seti	-
100 m yüzde 80 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	-
120 m yüzde 80 bindirmeli düz alan görüntü seti	120 m yüzde 80 bindirmeli düz alan görüntü seti
120 m yüzde 80 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	120 m yüzde 80 bindirmeli eğimli alan görüntü seti

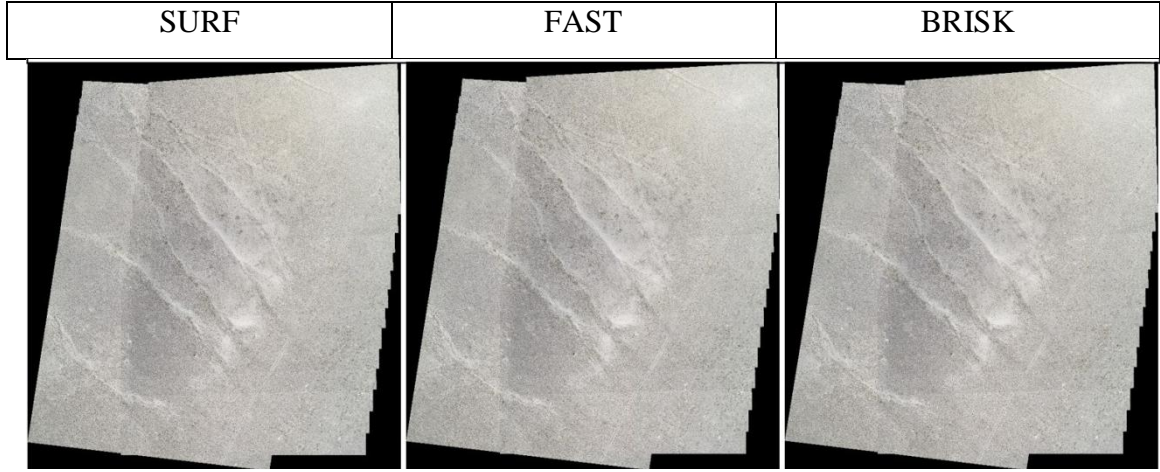
Uygulamada döner kanatlı İHA görüntü setleri 25 adet görüntüden, sabit kanatlı İHA görüntü setleri ise 20 adet görüntüden oluşmaktadır. Döner kanatlı İHA ile 90 m yükseklikten alınan yüzde 70 bindirme oranına sahip görüntü setindeki bulunan 25 adet görüntü Şekil 4.7'de verilmiştir.



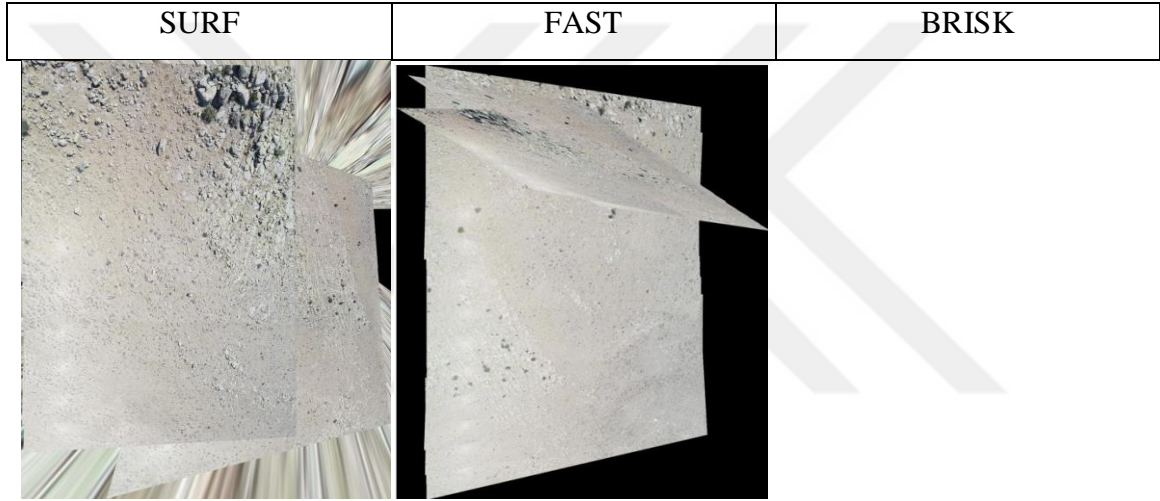
**Şekil 4.7.** Döner kanatlı İHA ile 90 m yükseklikten alınan yüzde 70 bindirme oranına sahip görüntü setindeki bulunan 25 adet görüntü

Bu uygulamadaki çoklu görüntü mozaikleme hesaplama açısından, bir önceki uygulamadaki ikili görüntü mozaiklemeye göre daha zordur. Çoklu görüntü mozaiklemenin hesaplama maliyeti daha yüksek olduğundan, bir önceki uygulama için kullanılan bilgisayar donanımı bu uygulama için yetersiz kalmıştır. Bu uygulama için Intel Xeon işlemci, 32 GB RAM ve Nvidia Quadro harici ekran kartına sahip iş istasyonu kullanılmıştır.

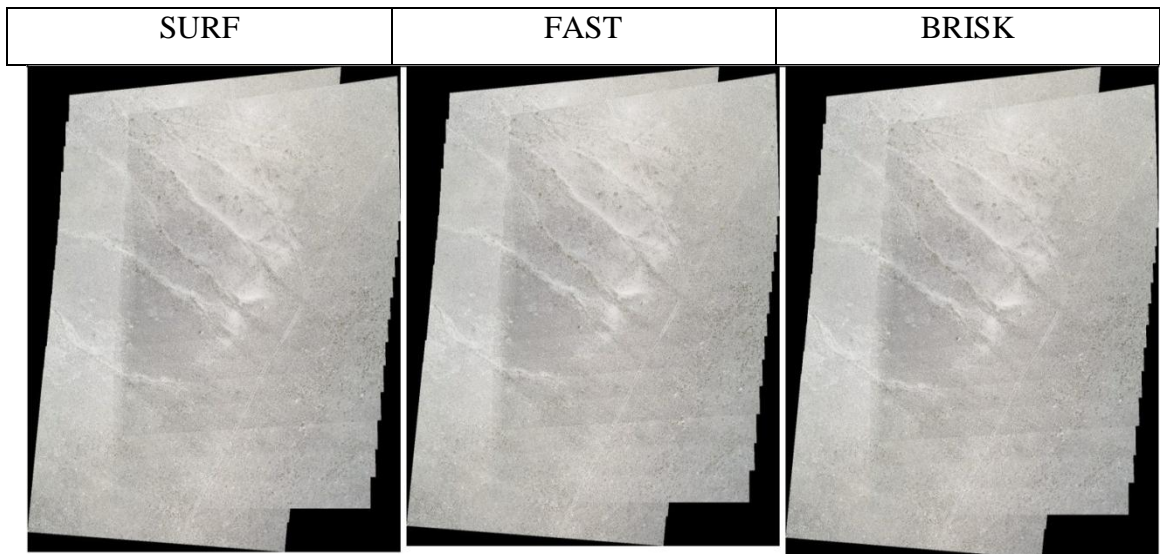
Bu uygulamada Çizelge 4.1’de verilen görüntü setleri SURF, FAST ve BRISK algoritmaları kullanılarak özellik noktaları çıkarılmış ve bölüm üçte anlatılan adımlardan geçirilerek mozaiklenmiştir. Uygulamada SIFT ve Harris köşe bulma algoritması kullanılmamıştır. SIFT algoritmasının kullanılmamasının sebebi, SIFT algoritmasının kullanılan geliştirme ortamında bulunmamasıdır. Algoritma mevcut geliştirme ortamına üçüncü parti kütüphaneler aracılığı ile yüklenebilmektedir. Fakat bir önceki uygulamada görüldüğü gibi SIFT algoritması dışarıdan yüklemek suretiyle geliştirme ortamına dahil edildiğinde, çalışma verimliliği mevcut geliştirme ortamında yüklü gelen diğer özellik çıkarma algoritmaları kadar iyi olmamaktadır. Harris köşe bulma algoritmasının kullanılmamasının nedeni ise algoritmanın yapısal karakteristiğinden dolayı yapılan uygulama için yavaş kalmasıdır.



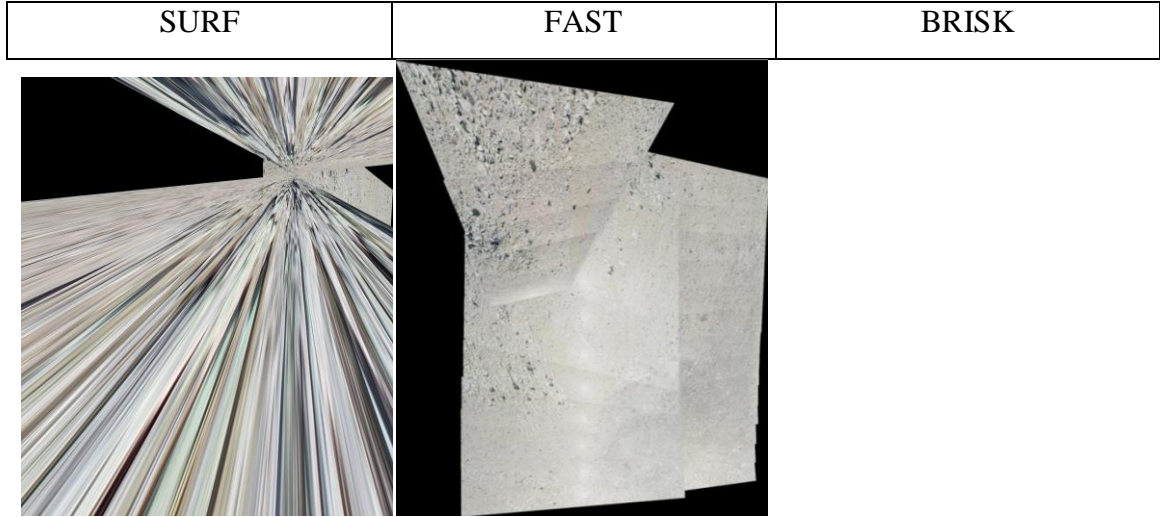
**Şekil 4.8.** 90 m yüzde 70 bindirme düz alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



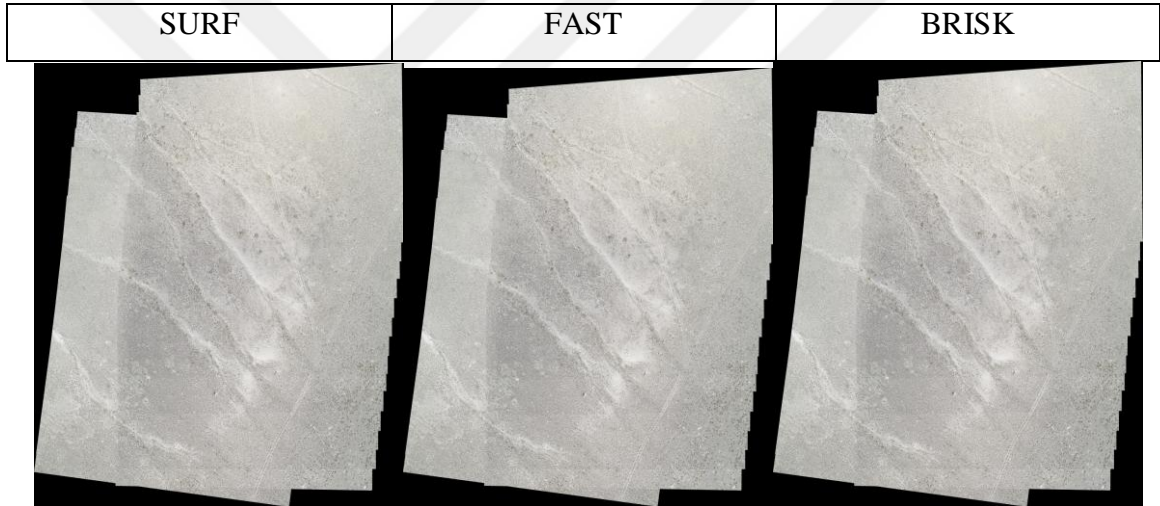
**Şekil 4.9.** 90 m yüzde 70 bindirme eğimli alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



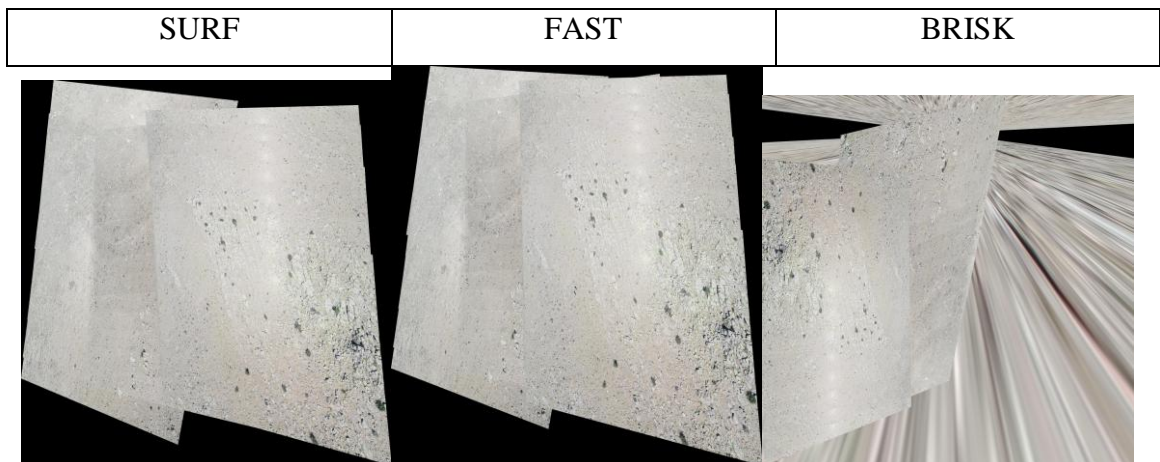
**Şekil 4.10.** 100 m yüzde 70 bindirme düz alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



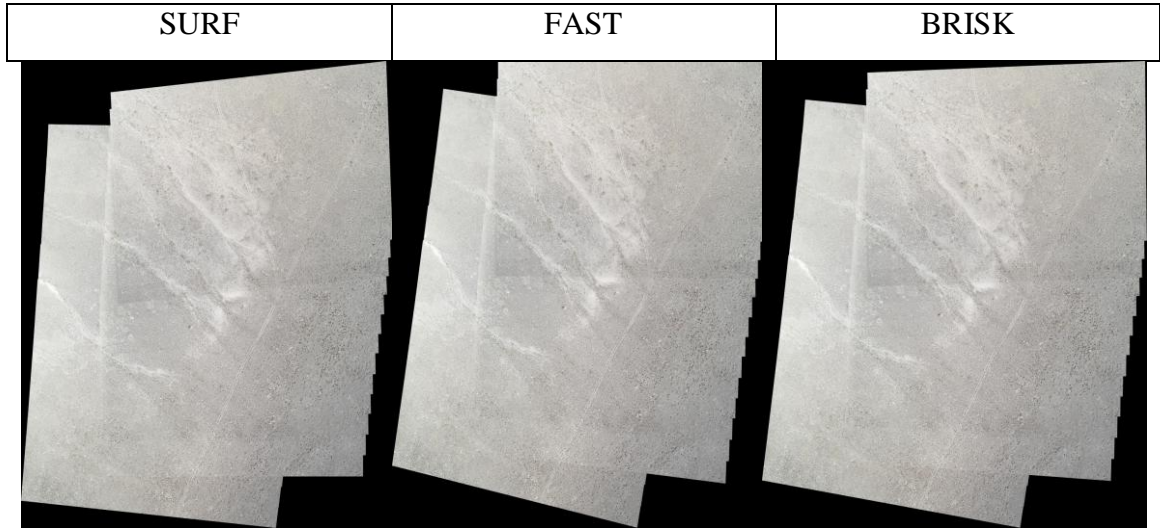
Şekil 4.11. 100 m yüzde 70 bindirme eğimli alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



Şekil 4.12. 100 m yüzde 80 bindirme düz alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



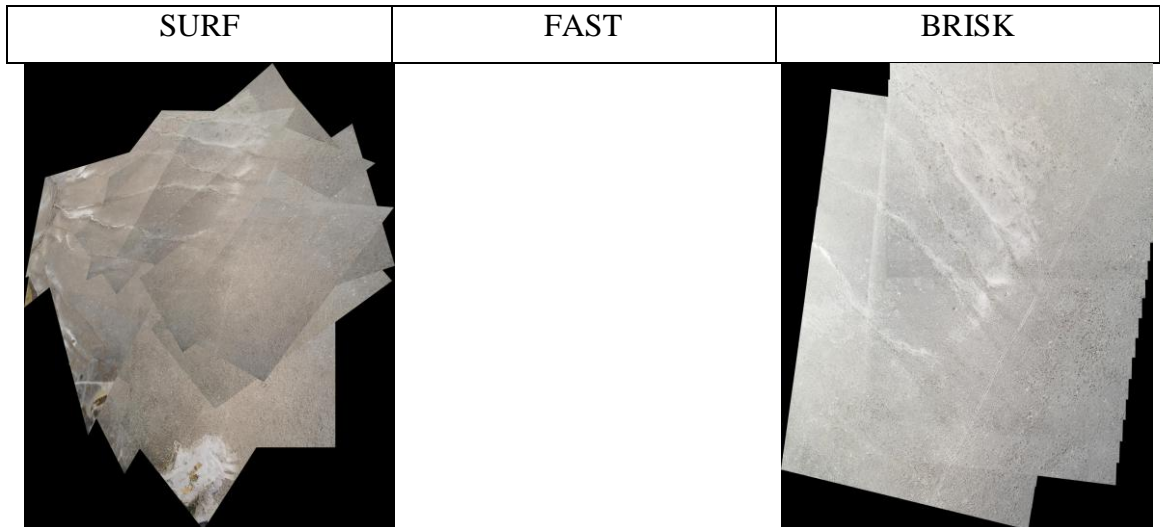
Şekil 4.13. 100 m yüzde 80 bindirme eğimli alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



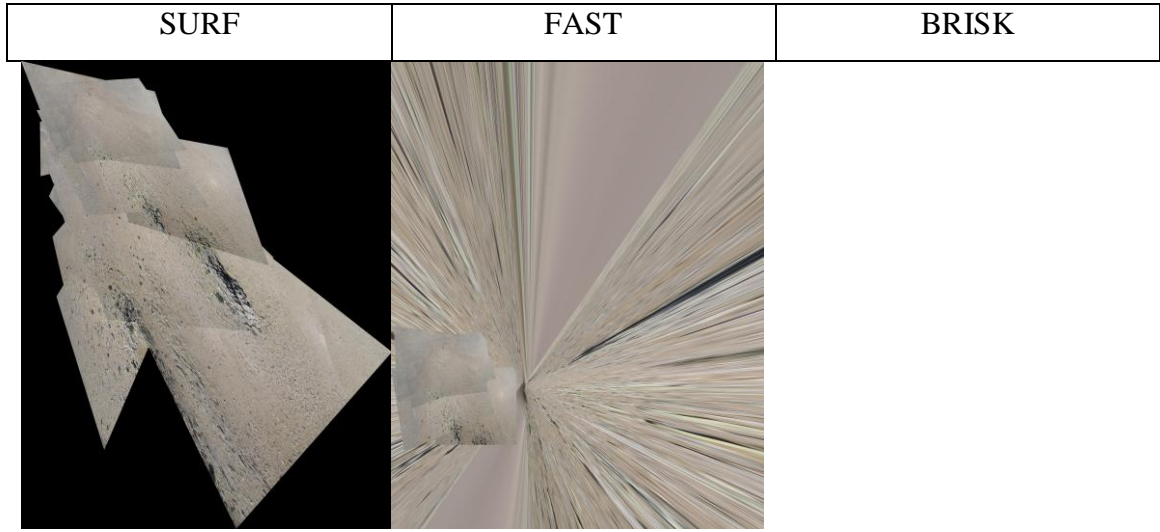
Şekil 4.14. 120 m yüzde 80 bindirme düz alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



Şekil 4.15. 120 m yüzde 80 bindirme eğimli alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



Şekil 4.16. Sabit kanatlı 120 m yüzde 80 bindirme düz alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları



**Şekil 4.17.** Sabit kanatlı 120 m yüzde 80 bindirme eğimli alan görüntü seti SURF, FAST ve BRISK algoritmaları çıktıları

**Çizelge 4.2.** Görüntü mozaikleme işlemlerinin süreleri

	SURF	FAST	BRISK
Döner kanatlı İHA 90 m yüzde 70 bindirmeli düz alan görüntü seti	11	188	5
Döner kanatlı İHA 90 m yüzde 70 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	188	Elde edilemedi	Elde edilemedi
Döner kanatlı İHA 100 m yüzde 70 bindirmeli düz alan görüntü seti	10	4	4
Döner kanatlı İHA 100 m yüzde 70 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	86	Elde edilemedi	Elde edilemedi
Döner kanatlı İHA 100 m yüzde 80 bindirmeli düz alan görüntü seti	9	4	4
Döner kanatlı İHA 100 m yüzde 80 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	28	152	7
Döner kanatlı İHA 120 m yüzde 80 bindirmeli düz alan görüntü seti	91	84	9
Döner kanatlı İHA 120 m yüzde 80 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	86	Elde edilemedi	Elde edilemedi
Sabit kanatlı İHA 120 m yüzde 80 bindirmeli düz alan görüntü seti	5	Elde edilemedi	9
Sabit kanatlı İHA 120 m yüzde 80 bindirmeli eğimli alan görüntü seti	27	14	Elde edilemedi

Uygulamada kullanılan görüntü setlerinin SURF, FAST ve BRISK algoritmalarının çıktuları Şekil 4.8 – Şekil 4.17 arasındaki şekillerde verilmiştir. Elde edilemeyen görüntüler boş bırakılmıştır. Çizelge 4.2’de ise görüntü mozaikleme işlemlerinin süresi verilmiştir. Çizelgedeki süreler dakika olarak verilmiştir.

Şekillerden de görülebileceği gibi döner kanatlı İHA ile çekilen düz alan görüntü setleri, eğimli alanlara göre daha başarılı bir şekilde mozaiklenmiştir. Eğimli alanlarda SURF, FAST ve BRISK algoritmaları ile çıkarılan özellik noktalarının yanlış bir şekilde eşleştirilmesi, çıktı görüntülerinin hatalı bir şekilde elde edilmesine neden olmuştur. Oluşturulan çıktı görüntülerine göre döner kanatlı İHA ile çekilen düz alan görüntü setlerinin mozaiklenmesinde SURF, FAST ve BRISK algoritmalarının başarılı olduğunu söylenebilir. Aynı şekilde şekillerden de görülebileceği gibi sabit kanatlı İHA mozaik çıktuları hatalı bir şekilde mozaiklenmiştir. Bunun nedeni SURF, FAST ve BRISK algoritmaları ile çıkarılan özellik noktalarının bir kısmının hatalı olmasıdır. Mozaiklemede hatalı özellik noktaları kullanıldığı için mozaik çıktısı hatalı bir şekilde elde edilmiştir.

Çizelge 4.2’ye göre ise tüm görüntü setleri için BRISK algoritması SURF ve FAST algoritmasına göre daha performanslı şekilde çalışmıştır. SURF ve FAST algoritmalarının ise birbirlerine karşı bir üstünlüğüne rastlanmamıştır.

## 4.2. Açık Kaynaklı Geliştirme Ortamlarında Gerçekleştirilen Uygulamalar

Önceki iki uygulamada açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamında yapılan uygulamalar verilmiştir. Bu bölümde açık kaynaklı geliştirme ortamında yapılan uygulamalar anlatılacaktır. Bu bölümdeki uygulamalar OpenCV görüntü işleme kütüphanesiyle Python dilinde gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar Linux işletim sisteminin Ubuntu dağıtımında komut satırında geliştirilip, derlenerek yapılmıştır. Şekil 4.18’de geliştirme ve derleme işlemlerinin yapıldığı komut satırından görüntüler verilmiştir.



```

aykuttah@aykuttah-X555LB: ~/Belgeler/panorama-stitching
30m_DJI_24_23.jpg aerial_images images
30m_DJI_25_24.jpg apple.jpg images_2
30m_DJI_28_27.jpg bilgehan_hoca izBlur.py
50m_DJI_02_01.jpg cizdir.py lena.jpg
50m_DJI_06_05.jpg deneme0.py lena_motion_blured.jpg
50m_DJI_07_06.jpg deneme1.py matched_points.jpg
50m_DJI_86_85.jpg deneme2.py orange.jpg
60m_DJI_77_76.jpg dikeyCizgi_eski.jpg ortalama_dikey.jpg
60m_DJI_87_86.jpg dikey_cizgi_sag.jpg panorama-stitching.zip
60m_DJI_88_87.jpg dikey_cizgi_sol.jpg pyimagesearch
60m_DJI_89_88.jpg DJI_8_7.jpg Result.jpg
60m_DJI_90_89.jpg histogram_equation.py Results
70m_DJI_12_11.jpg image_blending.py sinir_bul.py
70m_DJI_7_6.jpg image_mosaic2.py stitch.py
80m_DJI_67_66.jpg image_mosaic.py
(cv) aykuttah@aykuttah-X555LB:~/Belgeler/panorama-stitching$ vim i
image_blending.py image_mosaic.py images/ izBlur.py
image_mosaic2.py image_mosaic.xlsx images_2/
(cv) aykuttah@aykuttah-X555LB:~/Belgeler/panorama-stitching$ vim i
image_blending.py image_mosaic.py images/ izBlur.py
image_mosaic2.py image_mosaic.xlsx images_2/
(cv) aykuttah@aykuttah-X555LB:~/Belgeler/panorama-stitching$ vim image_mosaic.py
(cv) aykuttah@aykuttah-X555LB:~/Belgeler/panorama-stitching$ vim image_mosaic.py

```

(a) Uygulamaların çalıştırıldığı ve derlendiği komut satırı

```

aykuttah@aykuttah-X555LB: ~/Belgeler/panorama-stitching
import argparse
import imutils #silinecek
import cv2
import time
import numpy as np,sys
from matplotlib import pyplot as plt

reprojThresh = 3.0
ratio = 0.75

# construct the argument parse and parse the arguments
ap = argparse.ArgumentParser()
ap.add_argument("-f", "--first", required=True,
                help="path to the first image")
ap.add_argument("-s", "--second", required=True,
                help="path to the second image")
args = vars(ap.parse_args())

# load the two images and resize them to have a width of 400 pixels
# (for faster processing)
imageA = cv2.imread(args["first"])
imageB = cv2.imread(args["second"])
imageA = imutils.resize(imageA, width=720) #silinebilir
imageB = imutils.resize(imageB, width=720) #silinebilir
-- INSERT -- 1,1 Üst

```

(b) Uygulamaların geliştirildiği komut satırından çalışan düzenleyici

Şekil 4.18. Geliştirme ve derleme işlemlerinin yapıldığı komut satırı

Açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamları birçok yönden görüntü işleme için kullanıcılara kolaylıklar sunsa da eksiklikleri mevcuttur. Bu uygulamaların OpenCV görüntü işleme kütüphaneleri Python dili ile yapılmasının getirdiği en büyük avantajlardan biri görüntü mozaikleme uygulamalarının gömülü sistemlerde örneğin Raspberry Pi gibi SBC'lerde gerçekleştirilebilmesidir. Açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında yazılan kodun da, C koduna dönüştürülüp gömülü sistemlerde kullanılabilir hale getirilmesi mümkündür. Ancak bu dolaylı bir işlemdir ve elde edilen C kodu yeterince optimize değildir. Bundan dolayı açık kaynaklı geliştirme ortamları kullanılarak uygulamalar yapılmıştır.

#### 4.2.1. İki Adet Dış Mekân Hava Görüntülerinin Mozaiklenmesi

Bu uygulamada, özellik çıkarma algoritmalarının görüntü mozaikleme üzerindeki doğruluk açısından etkisine bakılmıştır. Ayrıca bu uygulamanın açık kaynaklı geliştirme ortamında gerçekleştirilmesi ile açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamında yapılan ilk uygulama ile karşılaştırma yapma imkânı sağlanmıştır.

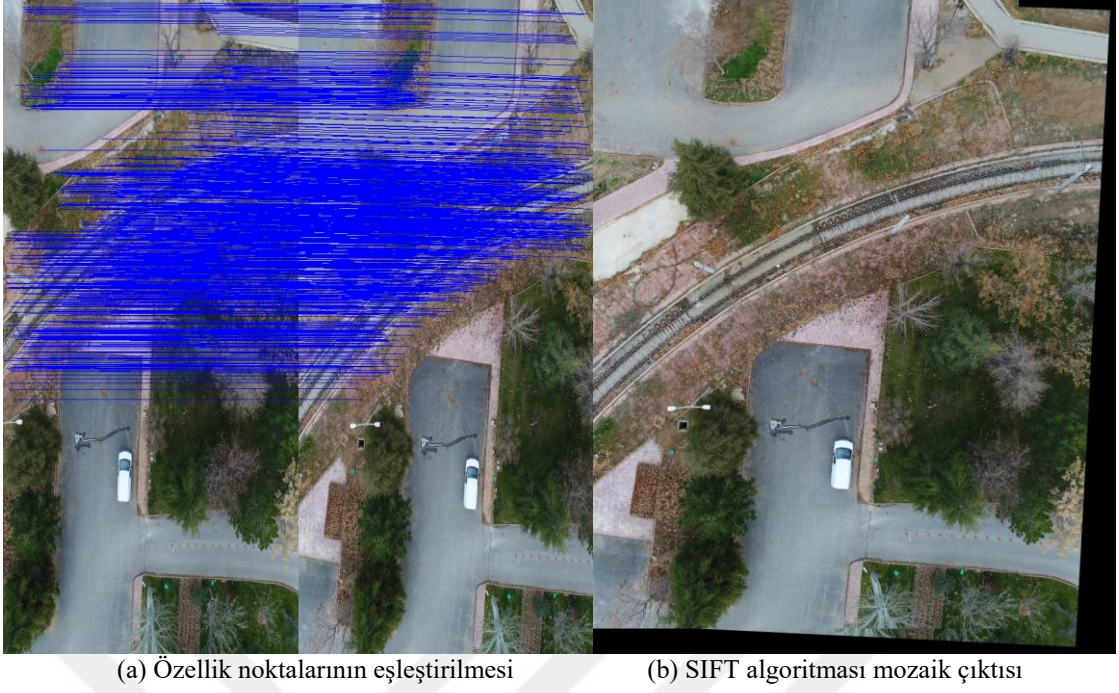
Bu uygulamada Selçuk Üniversitesi Yerleşkesinden alınan  $3648 \times 5472$  piksel boyutlarındaki döner kanatlı İHA ile alınmış hava görüntüleri üzerinde çalışılmıştır. Uygulamada, Şekil 4.19'daki görüntülerin SIFT, SURF ve BRISK algoritmaları kullanılarak özellik noktaları çıkarılmış ve bölüm üçte anlatılan adımlardan geçirilerek mozaiklenmiştir.



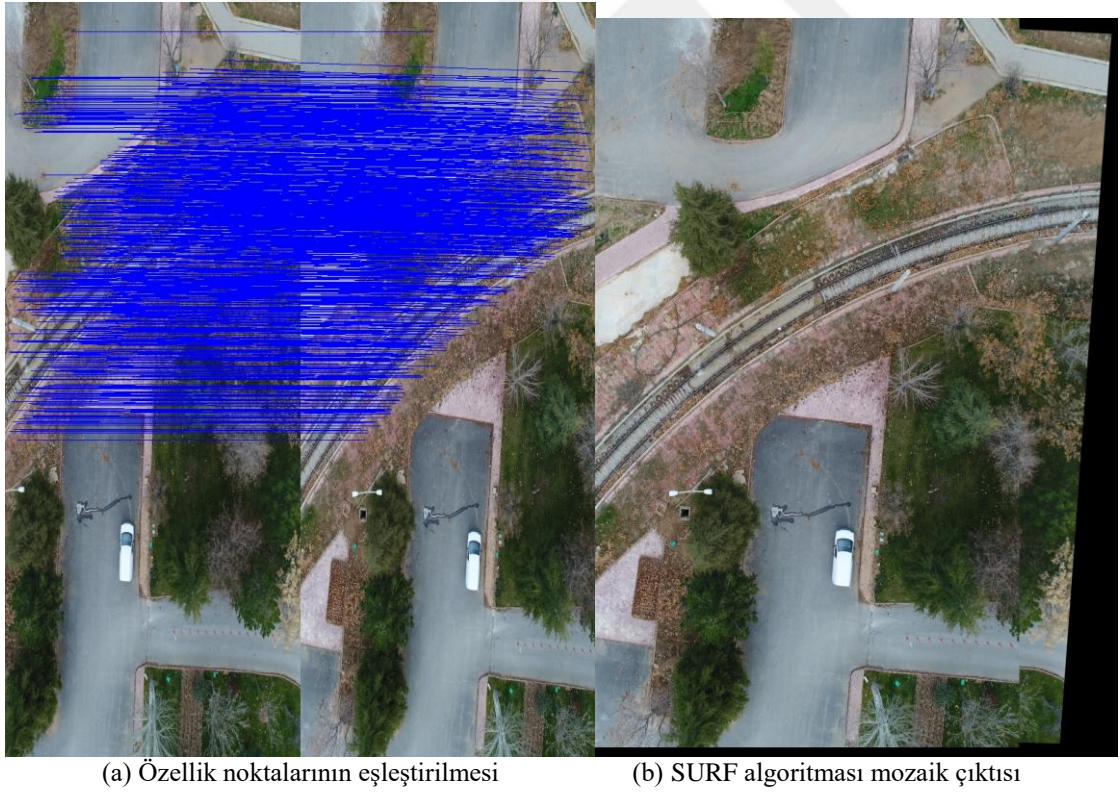
(a) Uygulamada kullanılan ilk görüntü

(b) Uygulamada kullanılan ikinci görüntü

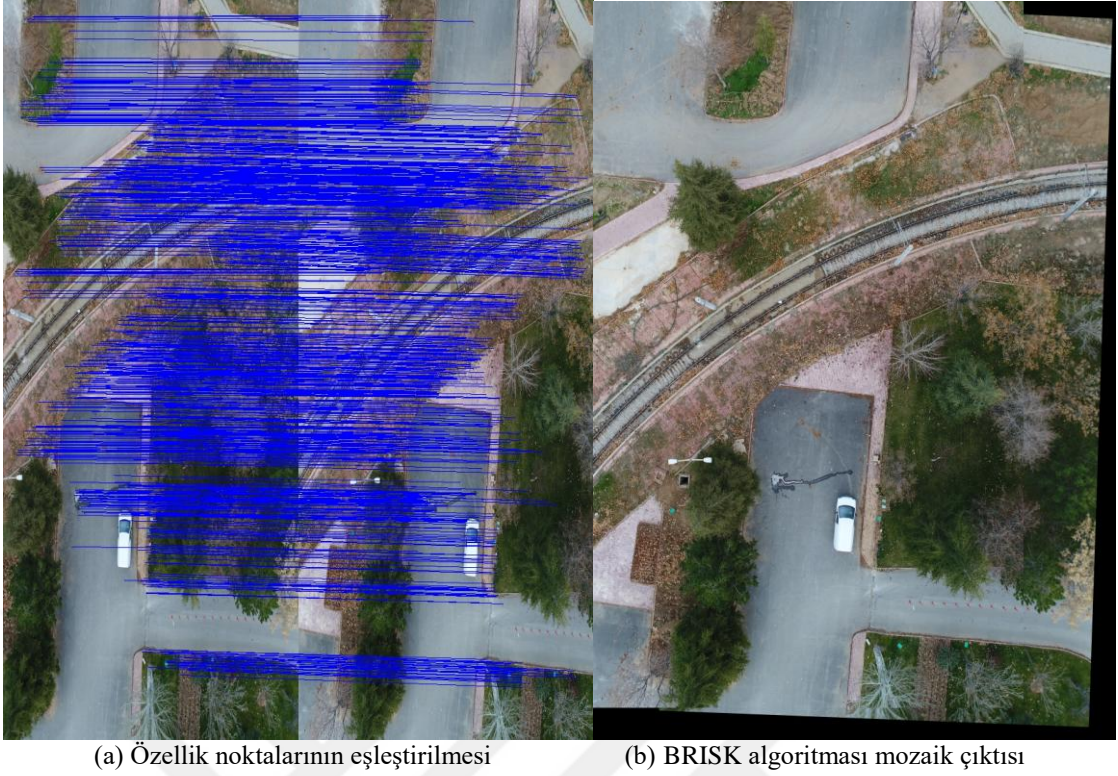
**Şekil 4.19.** Uygulamada kullanılan görüntüler



**Şekil 4.20.** Girdi görüntüler üzerinde çıkarılan özellik noktalarının eşleştirilmesi ve SIFT algoritması mozaik çıktısı



**Şekil 4.21.** Girdi görüntüler üzerinde çıkarılan özellik noktalarının eşleştirilmesi ve SURF algoritması mozaik çıktısı



**Şekil 4.22.** Girdi görüntüler üzerinde çıkarılan özellik noktalarının eşleştirilmesi ve BRISK algoritması mozaik çıktısı

**Çizelge 4.3.** SIFT, SURF ve BRISK özellik çıkarma algoritmaları için eşleşme sayıları

Mozaik Görüntü	SIFT	SURF	BRISK
Özellik çıkarma algoritmaları için eşleşme sayıları	1493	1742	1210

Şekil 4.20’de görüntüler üzerinde SIFT algoritması ile çıkartılan özellik noktalarının eşleştirilmesi ve mozaik görüntü çıktısı, Şekil 4.21’de görüntüler üzerinde SURF algoritması ile çıkartılan özellik noktalarının eşleştirilmesi ve mozaik görüntü çıktısı, Şekil 4.22’de görüntüler üzerinde BRISK algoritması ile çıkartılan özellik noktalarının eşleştirilmesi ve mozaik görüntü çıktısı verilmiştir.

Çizelge 4.3’e göre özellik çıkarma algoritmaları için eşleşme sayıları en fazla SURF, en az ise BRISK ile elde edilmiştir. Ancak Şekil 4.22’de BRISK algoritmasında çıkarılan özellik noktalarının eşleştirilmiş görüntüsünde görülebileceği gibi eşleştirilen özellik noktaları görüntüler üzerindeki çakışma alanlarına dağılmış şekildedir. Çakışma alanlarına dağılması Şekil 4.20’de görülebileceği gibi SIFT algoritmasında daha az, Şekil 4.21’de görülebileceği gibi ise SURF algoritmasında en azdır. Bundan dolayı mozaik çıktısı en doğru şekilde BRISK algoritması ile elde edilmiştir. Mozaik çıktısı, BRISK algoritmasının görüntü çıktısından daha az doğrulukta SIFT algoritması ile, bu

üç algoritma arasından en az doğruluk ile de SURF algoritması ile elde edilmiştir. Bu durum Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'deki mozaik görüntü çıktılarında görülebilmektedir.

#### 4.2.2. İç Mekân Görüntülerinin Mozaiklenmesi

Bu uygulamada İHA ile alınan iç ortam görüntülerinin mozaiklenmesi üzerinedir. Alınan iç ortam görüntüleri; zemin boş iken, nesnelere var iken ve sıralar üzerinde nesnelere var iken olmak üzere üç grup halindedir. Her bir görüntü setindeki iç mekân hava görüntülerinden ikisi farklı özellik çıkarma algoritmaları ile mozaiklenerek, mozaik çıktılarının doğruluklarına bakılmıştır. Görüntü grupları dizileri Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Zemin boş iken alınan iç ortam görüntü dizisi



Şekil 4.24. Nesnelere var iken alınan iç ortam görüntü dizisi



Şekil 4.25. Sıralar üzerinde nesnelere var iken alınan iç ortam görüntü dizisi

Görüntü grupları içerisinde alınan iki adet iç ortam görüntüsünün, SIFT ve SURF algoritmaları kullanılarak özellik noktaları çıkarılmış ve bölüm üçte anlatılan adımlardan geçirilerek mozaiklenmiştir. Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de mozaik

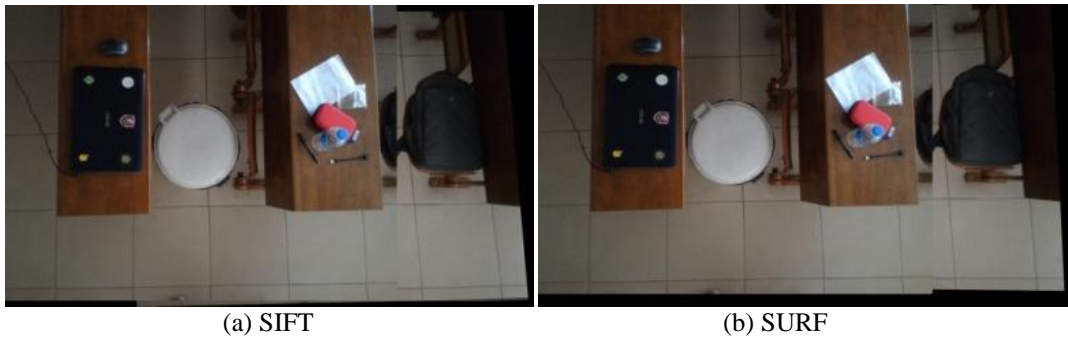
çıktıları verilmiştir. Ayrıca SIFT ve SURF özellik çıkarma algoritmaları için eşleşme sayıları Çizelge 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.26. Zemin boş iken alınan iç ortam görüntüleri mozaik çıktısı



Şekil 4.27. Nesnelere var iken alınan iç ortam görüntüleri mozaik çıktısı



Şekil 4.28. Sıralar üzerinde nesnelere var iken alınan iç ortam görüntüleri mozaik çıktısı

Çizelge 4.4. SIFT ve SURF özellik çıkarma algoritmaları için eşleşme sayıları

Mozaik Görüntü	SIFT	SURF
Zemin boş iken alınan iç ortam görüntüleri	25	94
Nesneler var iken alınan iç ortam görüntüleri	86	141
Sıralar üzerinde Nesnelere Var İken Alınan İç Ortam Görüntüleri	55	126

İç ortamda yeterince uzak mesafeden görüntü alınamadığı için görüntülerde bozulmalara rastlanmıştır. Ayrıca mozaiklenen tüm görüntülerde, SURF özellik çıkarma metodu, SIFT özellik çıkarma metoduna göre eşleşme sayısı açısından daha iyi sonuç vermiştir. Bunun sonucu olarak SURF algoritması ile elde edilen mozaik çıktılarının, SIFT algoritması ile elde edilen mozaik çıktılara göre daha hatasız olduğu görülmüştür.

Zemin boş iken alınan iç ortam görüntüleri mozaiklenirken çıkarılan özellik noktası sayısı yetersiz kaldığı için mozaik görüntülerinde bozulmalara rastlanmıştır. Nesnelere var iken alınan iç ortam görüntülerinde ise çıkarılan özellik noktaları sayısı, zemin boş iken alınan görüntülere göre daha çok olmuştur. Mozaikleme, nesnelere var iken alınan iç ortam görüntülerinde daha başarılı olmuştur. Sıralar üzerinde nesnelere var iken alınan iç ortam görüntülerinin mozaik çıktısındaki hatalar ise belirtildiği gibi görüntülerin yeterince yüksekte alınamamasından kaynaklanan açı farklılıklarındandır.

#### 4.2.3. Mozaik Görüntülerin Harmanlanması

Mozaiklenecek görüntülerin farklı bakış açılarından ve farklı aydınlatma durumlarında çekilmiş olması mozaik görüntüsü üzerinde birleştirme izlerine neden olur. Bu uygulamada görüntü harmanlama uygulaması yapılarak mozaik görüntülerindeki istenmeyen birleştirme izlerinin giderilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.29. İstenmeyen birleştirme izleri bulunan mozaik görüntüsü

Şekil 4.14’de görüntü mozaikleme adımları anlatılırken elde edilen mozaik görüntüsünde birleştirme izi oluşumuna rastlanmıştır. Bunun nedeni mozaiklenen iki görüntünün farklı aydınlatma koşullarında çekilmiş olması veya bakış açısı değişiklikleridir. Mozaiklenen iki görüntünün arasındaki aydınlatma farkları, havadan İHA ile görüntü alınması sırasında bulut geçişi ya da İHA kamerasının netliğinin tam ayarlanamamasından dolayı olmuş olabilir. Mozaik görüntülerinde aydınlatma farkından dolayı birleştirme izi oluşumlarını engellemek için havadan alınan görüntülerin aynı aydınlatma koşullarında ve aynı bakış açılarında çekildiğinden emin olunmalıdır.

Şekil 4.29’da görüntünün ortasında bulunan ağacın görüntüsünün bozuk olması, ağaç görüntüsünün girdi görüntülerin üst üste yerleştirildikleri hizada bulunmasıdır. Şekil 4.29’da bulunan dikey birleştirme izi çizgisinin nedeni mozaiklenen hava görüntülerinin yeterli yükseklikten çekilmemiş olmasıdır. Bu gibi yetersiz yükseklikten çekilen görüntüler arasında bakış açısı farkları bulunur. Mozaik görüntülerindeki farklı açılardan alınan görüntülerden dolayı birleştirme izi oluşumunu engellemek için, hava görüntüleri yeterli yükseklikten alınmalıdır.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı mozaik görüntüleri üzerinde birleştirme izi oluşumu görülebilir. Bu uygulamada mozaik görüntülerdeki izlerin belirginliğini azaltan yöntem anlatılmıştır. Bu uygulamanın anlatımı için Şekil 4.14’deki görüntü mozaikleme adımları anlatılırken elde edilen üzerinde istenmeyen izler bulunan mozaik görüntüsü kullanılmıştır.

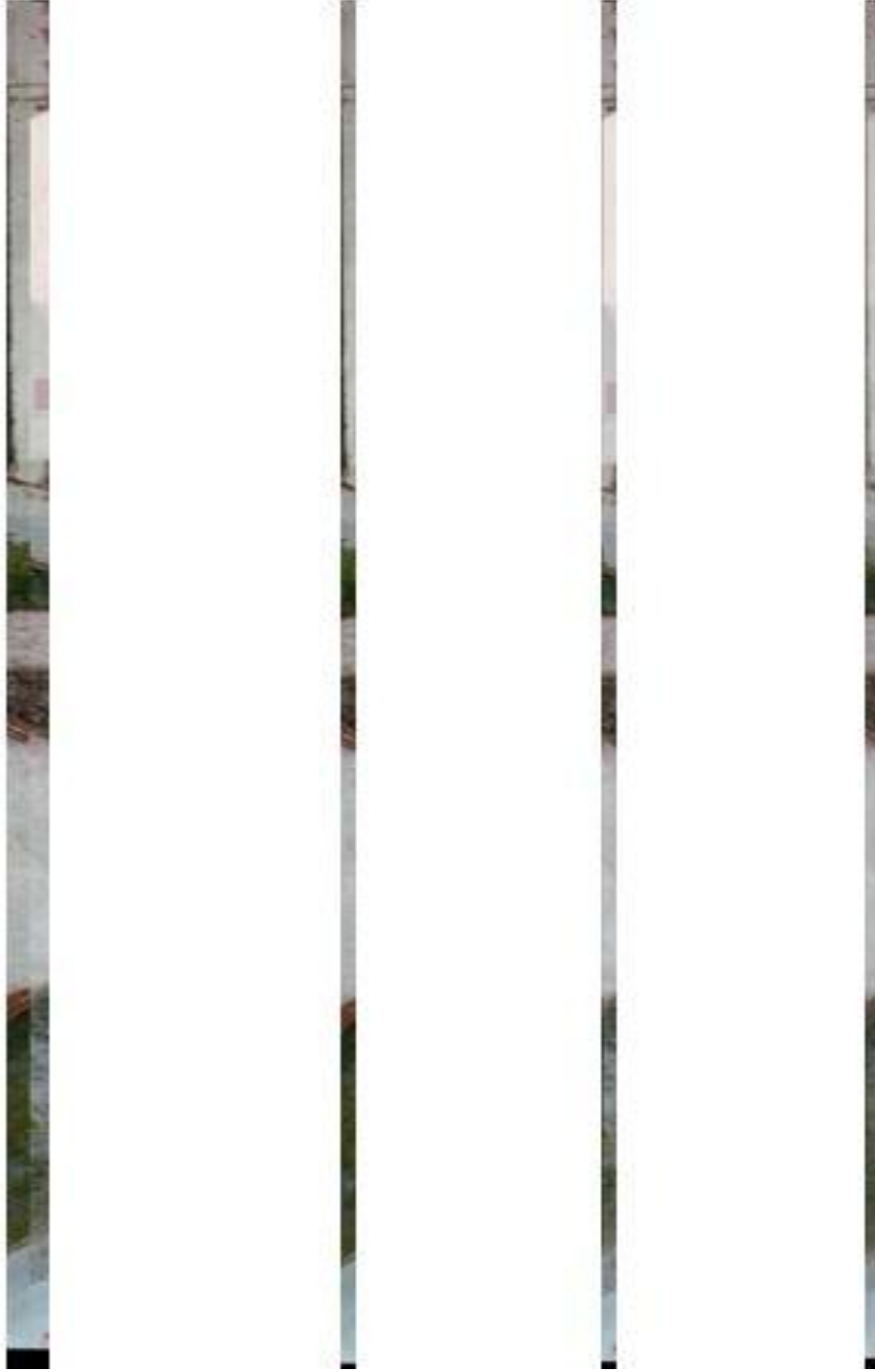
Dikey birleştirme izleri için mozaik görüntüsü üzerinde izin sağındaki belirli sayıdaki sütun piksel değerleri ve solundaki belirli sayıdaki sütun piksel değerleri mozaik görüntüsü üzerinden kesilip alınır. Daha sonra izin sağındaki sütun piksel değerleri ve solundaki sütun piksel değerlerinin ortalaması alınarak iz çevresi harmanlanır. Bu işlem Şekil 4.30’de gösterilmektedir.

Yatay birleştirme izleri ise izin yukarısındaki belirli sayıdaki satır piksel değerleri ve aşağıdaki belirli sayıdaki satır piksel değerleri mozaik görüntüsünden kesilip alınır. Daha sonra izin yukarısındaki sütun piksel değerleri ve aşağıdaki sütun piksel değerlerinin ortalaması alınarak iz çevresi harmanlanır. Bu şekilde mozaik görüntüleri üzerindeki izlerin belirginliği azaltılmış olunur.

Bu uygulamada yatay izin sağında ve solundaki, dikey izin ise yukarısındaki ve aşağısındaki ikişer piksel boyutundaki alanlar üzerinde işlem yapılmıştır. Şekil 4.31-



4.38 arasında birleştirme izi oluşumu görülen görüntüler ve önerilen yöntem ile harmanlaması yapılarak birleştirme izlerinin belirginliği azaltılan görüntüler verilmiştir.



(a) Dikey iz bölgesi (b) Dikey iz bölgesinin solu (c) Dikey iz bölgesinin sağ (d) Ortalama pikseller

**Şekil 4.30.** Dikey iz çizgisi bulunan görüntüden dikey iz çizgisinin etrafındaki bölgenin çıkarılması, bölgenin sağ ve sol bölgelere ayrılması ve bölgelerin ortalama piksel değerlerinin alınması



Şekil 4.31. İstenmeyen birleştirme izleri bulunan mozaik görüntüsü



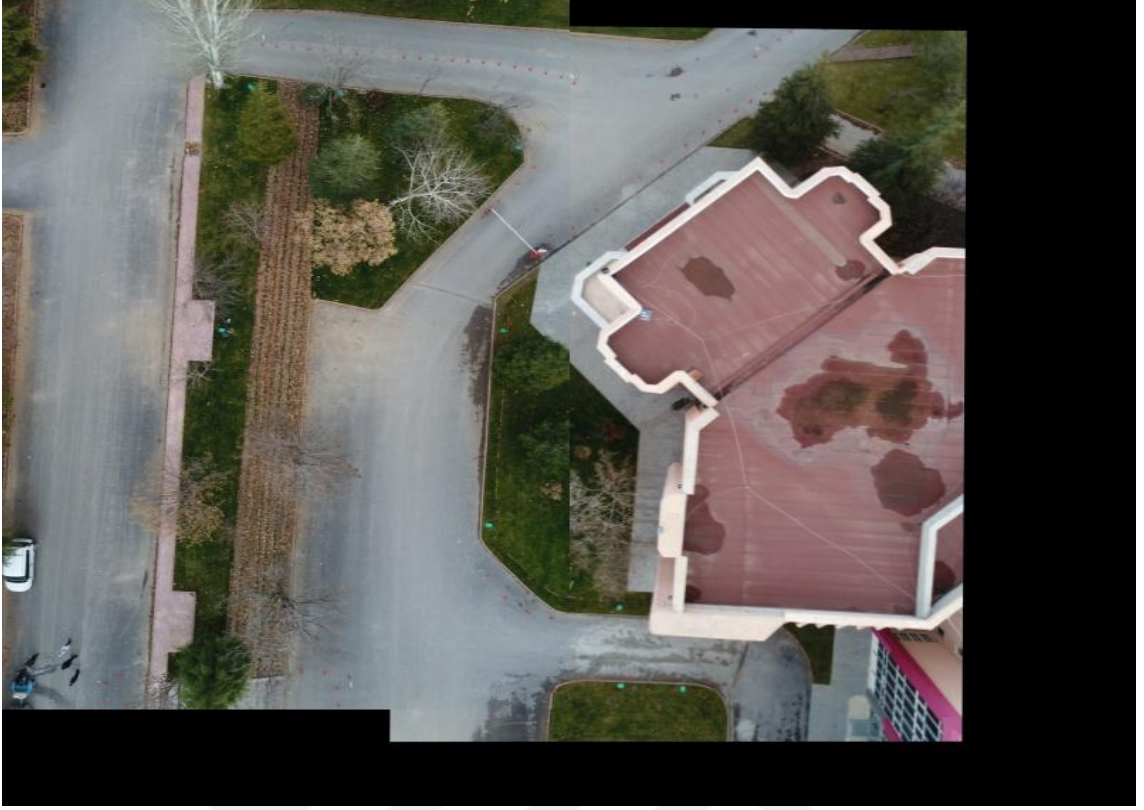
Şekil 4.32. Görüntü harmanlaması işlemi sonrası mozaik görüntüsü



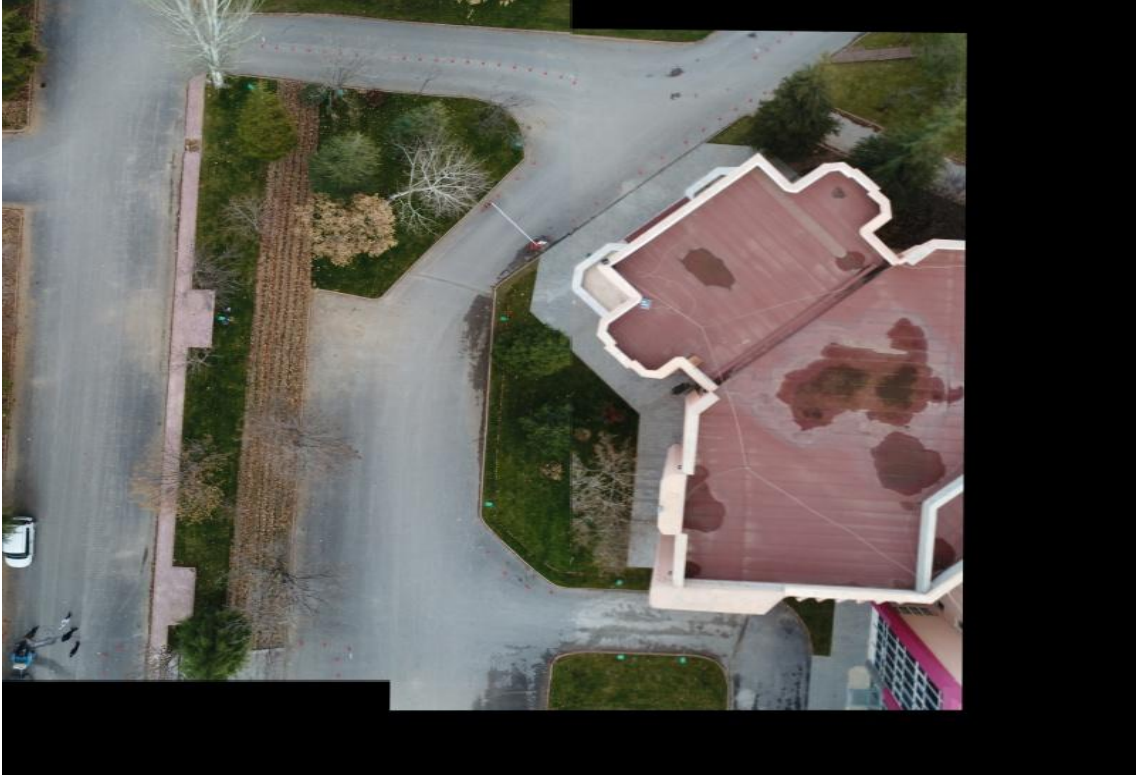
Şekil 4.33. İstenmeyen birleştirme izleri bulunan mozaik görüntüsü



Şekil 4.34. Görüntü harmanlaması işlemi sonrası mozaik görüntüsü



Şekil 4.35. İstenmeyen birleştirme izleri bulunan mozaik görüntüsü



Şekil 4.36. Görüntü harmanlaması işlemi sonrası mozaik görüntüsü



Şekil 4.37. İstenmeyen birleştirme izleri bulunan mozaik görüntüsü



Şekil 4.38. Görüntü harmanlaması işlemi sonrası mozaik görüntüsü

Bu bölümde İHA ile alınan iç mekân ve dış mekân hava görüntülerinin ikili ve çoklu mozaiklenmesi gerçekleştirilmiştir. Görüntü mozaikleme algoritmalarının, elde edilen mozaik görüntü üzerindeki etkisi doğruluk ve performans açısından incelenmiştir. Uygulamalar hem açık kaynaklı geliştirme ortamlarında hem de açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mozaik görüntülerindeki istenmeyen birleştirme izlerinin giderilmesi için mozaik görüntüleri harmanlama uygulaması gerçekleştirilmiştir.



## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında görüntü mozaikleme işlemi kapsamlı olarak incelenmiştir. Görüntü mozaikleme ile benzer bir kavram olan görüntü dikişinin, görüntü mozaiklemeden farkı verilmiştir. Görüntü mozaiklemenin hangi alanlarda ve ne için kullanıldığı anlatılmıştır. Literatürde görüntü mozaikleme konusundaki yayınlar, içerikleri ve kullandıkları görüntü mozaikleme metotları verilmiştir.

Çalışmada görüntü mozaikleme, görseller verilerek adım adım anlatılmıştır. Görüntü mozaiklemenin önemli bir adımı olan özellik çıkarma adımı üzerinde durulmuştur. İnsansız hava araçları ile görüntü mozaiklemenin yapıldığı çalışmalarda kullanılan özellik çıkarma algoritmalarından SIFT, SURF, FAST, Harris köşe bulma ve BRISK algoritması incelenmiştir. Açık kaynaklı ve açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında gerçekleştirilen uygulamalar verilmiştir.

Açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamlarında iki adet dış mekân hava görüntüsünün mozaiklenmesi ve çoklu dış mekân görüntülerinin mozaiklenmesi uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Açık kaynaklı olmayan geliştirme gerçekleştirilen ilk uygulamada ikili dış mekân hava görüntüleri mozaiklenirken, SIFT ve SURF algoritmasının dönme ve ölçekleme değişmezliği nedeni ile İHA'lar ile alınan görüntülerin mozaiklenmesinde avantajı olduğu görülmüştür. Mozaik çıktıları özellik çıkarma algoritmaları için doğruluk açısından karşılaştırılmıştır. SIFT algoritmasının mozaik çıktısında bulanıklık mevcut iken, diğer algoritmasının mozaik çıktısında bulanıklığa rastlanmamıştır. Harris köşe bulma algoritmasının mozaik çıktısında ise bozulma ve dikiş izine rastlanmıştır. SIFT algoritması aynı zamanda en uzun işlem süresine sahip algoritmadır. Bunun sebebi SIFT algoritmasının mevcut geliştirme ortamında bulunmayıp, dışarıdan üçüncü parti kütüphane yüklemek vasıtası ile kullanılmasıdır. FAST algoritmasının mozaik çıktısında bulanıklığa rastlanmamıştır, fakat mozaikleme işleminin süresi SURF ve Harris köşe bulma algoritmasına göre daha uzundur. Harris köşe bulma algoritması SURF algoritmasına göre daha kısa işlem süresine sahiptir. Fakat mozaik çıktısında bozulma ve dikiş izine rastlanmıştır. Bundan dolayı Harris köşe bulma algoritmasının ışıklandırma farklarından etkilendiğini söyleyebiliriz.

Açık kaynaklı olmayan geliştirme gerçekleştirilen ikinci uygulamada ise çoklu dış mekân hava görüntüleri mozaiklenirken çalışma ortamında, bir önceki uygulamada kullanılan donanımın yeterli gelmediği görülmüştür. Belirli bir yükseklikten belirli bir

çakışma oranı ile sabit kanatlı ve döner kanatlı İHA ile çekilmiş, eğimli ve düz alanları içeren görüntü setleri üzerinde işlemler yapılarak görüntü mozaikleme açısından karşılaştırmalar yapılmıştır. Uygulamada SURF, FAST ve BRISK özellik çıkarma algoritmaları ile mozaikleme yapılarak doğruluk ve performans açısından karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen düz alan görüntü setlerinin mozaik çıktılarının, eğimli alan alan görüntü setlerinin mozaik çıktıklarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Eğimli alanlarda SURF, FAST ve BRISK algoritmaları ile çıkarılan özellik noktalarının yanlış bir şekilde eşleştirilmesi, çıktı görüntülerinin hatalı bir şekilde elde edilmesine neden olmuştur. Aynı zamanda döner kanatlı İHA ile çekilmiş görüntü setlerinin mozaik çıktıklarının, sabit kanatlı İHA ile çekilmiş görüntü setlerinin mozaik çıktıklarının göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni SURF, FAST ve BRISK algoritmaları ile çıkarılan özellik noktalarının bir kısmının hatalı olmasıdır. Mozaiklemede hatalı özellik noktaları kullanıldığı için mozaik çıktısı hatalı bir şekilde elde edilmiştir. Performans açısından ise tüm görüntü setleri için BRISK algoritması SURF ve FAST algoritmasına göre daha performanslı şekilde çalışmıştır. SURF ve FAST algoritmalarının ise birbirlerine karşı bir üstünlüğüne rastlanmamıştır.

Açık kaynaklı geliştirme ortamlarında ise iki adet dış mekân hava görüntüsünün mozaiklenmesi, iç mekân görüntülerinin mozaiklenmesi ve mozaik görüntülerinin harmanlanması uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Açık kaynaklı geliştirme ortamlarında gerçekleştirilen ilk uygulamada ikili dış mekân hava görüntüleri mozaiklenirken SIFT, SURF ve BRISK özellik çıkarma algoritmaları kullanılmıştır. Mozaik çıktıkların doğruluğu açısından eşleşme sayıları kadar, eşleşmelerin görüntüler üzerinde dağılmış olmasının da önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca bu uygulamanın açık kaynaklı geliştirme ortamında gerçekleştirilmesi ile açık kaynaklı olmayan geliştirme ortamında yapılan ilk uygulama ile karşılaştırma yapma imkânı sağlanmıştır.

Açık kaynaklı geliştirme ortamlarında gerçekleştirilen ikinci uygulama iç ortamda, İHA ile alınan görüntülerinin mozaiklenmesi üzerindedir. Alınan iç ortam görüntüleri; zemin boş iken, nesnelere var iken ve sıralar üzerinde nesnelere var iken olmak üzere üç adet görüntü setine ayrılmıştır. Her bir görüntü setindeki iç mekân hava görüntüleri SIFT ve SURF özellik çıkarma algoritmaları ile mozaiklenerek, mozaik çıktıklarının doğruluklarına bakılmıştır. Tüm mozaik çıktıklarında gözlemlenen mozaikleme hatasının, iç mekân görüntülerinin yeterli yükseklikten alınmamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.



Açık kaynaklı geliştirme ortamlarında gerçekleştirilen üçüncü uygulamada ise bakış açısı değişikliği ve farklı aydınlatma koşulları nedeni ile mozaik görüntüleri üzerinde meydana gelen izlerin ortadan kaldırılması üzerine uygulama yapılmıştır. Bu uygulama bir görüntü harmanlama metodu ile gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bütün çalışmalar İHA üzerinde değil, İHA'lardan alınan hava görüntüleri ile bilgisayar ortamında yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda, oluşturulan görüntü mozaikleme akışı İHA üzerinde gerçekleştirilebilir. İnsansız hava aracının üzerinde olduğu arazinin durumuna, İHA'nın türüne ve alınan hava görüntüsün parametrelerine göre uygun özellik çıkarma algoritması kullanılarak en doğru ve en performanslı görüntü mozaikleme gerçekleştirilebilir. Ayrıca sistemde GPU kullanılarak mozaikleme işlemlerinin süreleri kısaltılarak gerçek zamanlı uygulamalar gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abdelkrim, N., Atmane, K. ve Houari, S., 2018, Quantitative Analysis of Real-Time Image Mosaicing Algorithms, *2018 25th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, 1-5.
- Amiri, A. J. ve Moradi, H., 2016, Real-time video stabilization and mosaicking for monitoring and surveillance, *2016 4th International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM)*, 613-618.
- Baheti, B., Baid, U. ve Talbar, S. N., 2015, A novel approach for Automatic Image Stitching of spinal cord MRI images using SIFT, *2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC)*, 1-5.
- Barrero, O., Rojas, D., Gonzalez, C. ve Perdomo, S., 2016, Weed detection in rice fields using aerial images and neural networks, *2016 XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA)*, 1-4.
- Bay, H., Tuytelaars, T. ve Van Gool, L., 2006, SURF: Speeded Up Robust Features, *Computer Vision – ECCV 2006*, Berlin, Heidelberg, 404-417.
- Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. ve Van Gool, L., 2008, Speeded-Up Robust Features (SURF), *Computer Vision and Image Understanding*, 110 (3), 346-359.
- Bi, J., Mao, W. ve Gong, Y., 2014, Research on image mosaic method of UAV image of earthquake emergency, *2014 The Third International Conference on Agro-Geoinformatics*, 1-6.
- Botterill, T., Mills, S. ve Green, R., 2010, Real-time aerial image mosaicing, *2010 25th International Conference of Image and Vision Computing New Zealand*, 1-8.
- Bu, S., Zhao, Y., Wan, G. ve Liu, Z., 2016, Map2DFusion: Real-time incremental UAV image mosaicing based on monocular SLAM, *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 4564-4571.
- Buyukyazi, T., 2013, Real-Time Image Mosaicing and Stabilization in Unmanned Aerial Vehicle Surveillance, Yüksek Lisans Tezi, *Koç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Buyukyazi, T., Bayraktar, S. ve Lazoglu, I., 2013a, Real-time image stabilization and mosaicking by using ground station CPU in UAV surveillance, *2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, 121-126.
- Buyukyazi, T., Bayraktar, S. ve Lazoglu, I., 2013b, A Novel Mosaic Quality Measurement Method for UAV Surveillance and Remote Sensing, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W2, 55-60.
- Capel, D., 2004, Image mosaicing, In: *Image Mosaicing and super-resolution*, Eds: Springer, p. 47-79.
- Chen, J. ve Huang, C., 2012, Image stitching on the unmanned air vehicle in the indoor environment, *2012 Proceedings of SICE Annual Conference (SICE)*, 402-406.
- Cheng, Y., Han, X. ve Xue, D., 2008, A Mosaic Approach for Remote Sensing Images Based on Wavelet Transform, *2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 1-4.
- Çömert, R., Avdan, U. ve Şenkal, E., 2012, İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları Ve Gelecekteki Beklentiler, *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19.

- Everaerts, J., 2008, The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37 (2008), 1187-1192.
- Ghosh, D. ve Kaabouch, N., 2016, A survey on image mosaicing techniques, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 34, 1-11.
- Hu, J., Zhou, Y., Zhao, C., Pan, Q., Zhang, K. ve Xu, Z., 2017, An application of panoramic mosaic in UAV aerial image, *2017 13th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA)*, 1049-1053.
- Ibrahim, A. W. N., Ching, P. W., Seet, G. L. G., Lau, W. S. M. ve Czajewski, W., 2010, Moving Objects Detection and Tracking Framework for UAV-based Surveillance, *2010 Fourth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology*, 456-461.
- Joshi, H. ve Sinha, K., 2013, A survey on image mosaicing techniques, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering Technology*, 2 (2), 365-369.
- Karaköse, M., Yetiş, H. ve Müezzinoğlu, T., 2017, Optimizasyon Tabanlı Adaptif Görüntü Mozaikleme Algoritması, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 389-400.
- Karakuş, P. ve Karabörk, H., 2014, SURF algoritması kullanılarak uzaktan algılama görüntülerinin geometrik kaydı, *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*.
- Kekec, T., Yildirim, A. ve Unel, M., 2014, A new approach to real-time mosaicing of aerial images, *Robotics and Autonomous Systems*, 62 (12), 1755-1767.
- Kern, A., Bobbe, M. ve Bestmann, U., 2016, Towards a real-time aerial image mosaicing solution, *Research Gate, IMAV*.
- Leutenegger, S., Chli, M. ve Siegwart, R., 2011, BRISK: Binary Robust invariant scalable keypoints, *2011 International Conference on Computer Vision*, 2548-2555.
- Liu, Y., Bai, B. ve Zhang, C., 2017, UAV image mosaic for road traffic accident scene, *2017 32nd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, 1048-1052.
- Lowe, D. G., 2004, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision*, 60 (2), 91-110.
- Müezzinoğlu, T., 2014, Fotovoltaik Diziler İçin Görüntü Mozaikleme Tekniklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J. ve Joswig, M., 2012, UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results, *Engineering Geology*, 128, 2-11.
- Pedersen, J. T., 2011, Study group SURF: Feature detection & description, *Department of Computer Science, Aarhus University*.
- Petro, E., Martinez, C., Patino, D., Rebolledo, M. C. ve Colorado, J., 2018, Aerial mapping of rice crops using mosaicing techniques for vegetative index monitoring, *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 846-855.
- Rosten, E. ve Drummond, T., 2006, Machine Learning for High-Speed Corner Detection, *Computer Vision – ECCV 2006*, Berlin, Heidelberg, 430-443.
- Tribak, H., Kadmiri, O. E. ve Zaz, Y., 2016, Automatic inspection of solar panels based on Images stitching technique, *2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 538-542.
- Varol, A. H., 2014, Görüntü mozaikleme ile panoramik görüntü üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Wu, Z., Yue, P., Zhang, M. ve Tan, Z., 2016, A workflow approach for mosaicking UAV images, *2016 Fifth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)*, 1-4.
- Xie, K., Guo, H.-y. ve Zhang, T.-w., 2004, A survey of image mosaics technology, *Acta Electronica Sinica*, 32 (4), 630-634.
- Yang, Y., Sun, G., Zhao, D. ve Peng, B., 2013, A Real Time Mosaic Method for Remote Sensing Video Images from UAV, *Journal of Signal and Information Processing*, Vol. 4 No. 3B, 168-172.
- Yu, C., Wang, J., Ding, Y., Shan, J. ve Xin, M., 2016, Feedback-control-aided image stitching using multi-UAV platform, *2016 12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 2420-2425.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Aykut Tahtırvancı  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : MANISA-15.04.1993  
**Telefon** : 0536 209 17 09  
**Faks** :  
**e-mail** : aykuttahtirvanci@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Dündar Çiloğlu Anadolu Lisesi, Yunus Emre, Manisa	2011
Üniversite	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2016

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018	Endüstriyel Elektrik Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti	Arge-Mühendisi

### UZMANLIK ALANI

Robotik, Gömülü Sistemler, Görüntü İşleme, Yapay Sinir Ağları

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

1. Tahtırvancı, A., Durdu, A., 2018, Performance Analysis of Image Mosaicing Methods for Unmanned Aerial Vehicles, *2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 1-7.
2. Tahtırvancı, A., Durdu, A. ve Yılmaz, B., 2018, Classification of EEG Signals Using Spiking Neural Networks, *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4.