

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
KBRN-P SAVUNMA ANA BİLİM DALI
EYP VE PATLAYICILARLA MÜCADELE**

**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE YOL KENARI EL
YAPIMI PATLAYICILARIN MUHTEMEL
YERLEŞİM YERLERİNİN TESPİTİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HÜSEYİN FURKAN AKSOY
2181401**

TEZ DANIŞMANI: DR.ÖĞR.ÜYESİ ONUR ALTUNTAŞ

**ANKARA
MAYIS 2023**

T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
KBRN-P SAVUNMA ANA BİLİM DALI
EYP VE PATLAYICILARLA MÜCADELE

İNSANSIZ HAVA ARACI İLE YOL KENARI EL
YAPIMI PATLAYICILARIN MUHTEMEL
YERLEŞİM YERLERİNİN TESPİTİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN FURKAN AKSOY
2181401

TEZ DANIŞMANI: DR.ÖĞR.ÜYESİ ONUR ALTUNTAŞ

ANKARA
MAYIS 2023

T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
KBRN-P SAVUNMA ANA BİLİM DALI
EYP VE PATLAYICILARLA MÜCADELE

İNSANSIZ HAVA ARACI İLE YOL KENARI EL
YAPIMI PATLAYICILARIN MUHTEMEL
YERLEŞİM YERLERİNİN TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN FURKAN AKSOY
2181401

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 29 Mart 2023
Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Nisan 2023

Tez Oy birliği / Oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

	Unvan Ad Soyad	İmza
Tez Danışmanı	Dr.Öğr.Üyesi Onur ALTUNTAŞ	
Jüri Üyeleri	Prof.Dr. Yusuf SÖNMEZ	
	Dr.Öğr.Üyesi Onur BATTAL	

ANKARA
MAYIS 2023

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve ç) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 65 sayfalık kısmına ilişkin, 29/03/2023 tarihinde şahsım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtremeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3'tür.

Uygulanan filtremeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dahil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğruluğu beyan ederim.

Hüseyin Furkan AKSOY

29/03/2023

ETİK BEYAN

Milli Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Üniversitesi ve Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Hüseyin Furkan AKSOY

29/03/2023

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında kişilere, toplumlara ve devletlere karşı gerçekleştirilen birçok terör eyleminde teröristler tarafından sıklıkla kullanılan el yapımı patlayıcılar (EYP) ile mücadelede katkı sunması beklenen, İHA görüntülerinde uygulanacak görüntü işleme temelli bir yazılım önerilmektedir. İlgili yazılımın amacı, geliştirilme adımları, alınan İHA görüntülerinin kapsamı ve sınırları ve bu görüntüler üzerinden elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında ihtiyacım olan her konuda gösterdiği ilgi ve özveriden dolayı danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Onur ALTUNTAŞ hocama, bana bu eğitim ve vizyon seviyesini kazandıran Milli Savunma Üniversitesinde görevli başta hocalarım olmak üzere ilgili tüm personele, tez konusu seçmemde ve bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren gerek Savunma Sanayii Başkanlığı'nda gerek Türk Silahlı Kuvvetleri'nde görev alan büyüklerime, yüksek lisans eğitimimde burs desteği sağlayan TÜBİTAK Başkanlığına ve bilhassa yüksek lisans eğitimime başladığım andan itibaren bana maddi ve manevi olarak büyük destek sağlayan aileme teşekkürü borç bilirim.

ANKARA; Mayıs 2023

Hüseyin Furkan AKSOY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZGÜNLÜK RAPORU	
ETİK BEYANI	
İTHAF	
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	x
TÜRKÇE ÖZ	xi
İNGİLİZCE ÖZ (ABSTRACT)	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	5
1.2. Literatür Araştırması	6
1.2.1. EYP ve Patlayıcı Maddelerin Tespiti	6
1.2.2. Görüntü İşleme Metotları	12
1.2.3. Değişiklik Tespiti	17
1.3. Değerlendirme	23
2. MATERYAL VE YÖNTEM	25
2.1. Materyal	25
2.2. Sistem Tasarımı	31
2.2.1. Görüntülerin Elde Edilmesi	31
2.2.2. Görüntü Kayıt İşlemi	32
2.2.3. Değişiklik Maskesinin Elde Edilmesi	34
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	41
3.1. Tespit Performansı	41
3.2. Zamansal Değerlendirme	48
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKÇA	54
ÖZGEÇMİŞ	60

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1: Piksel/Nesne Tabanlı Değişiklik Tespiti Yöntemleri ve Kullanım Alanları.	18
Tablo 2.1: Çalışmada Kullanılan Bilgisayar ve İHA Özellikleri	27
Tablo 3.1: 10 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuşların Tespit Performansı.	46
Tablo 3.2: 15 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuşların Tespit Performansı.	46
Tablo 3.3: 20 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuşun Tespit Performansı.	47
Tablo 3.4: Bir Görüntü Kare Çiftinde CPU ve GPU İşlem Hızları.	49
Tablo 3.5: Toplam Uçuş İşlem Süreleri.	50

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 : 1993-2012 Yılları Arasında PKK Terör Örgütü Tarafından Gerçekleştirilen Eylem Sayısı	3
Şekil 1.2 : Çeşitli Emare Örnekleri.	4
Şekil 1.3 : Yığın Tespiti Teknikleri.	7
Şekil 1.4 : Eser Tespiti Teknikleri	8
Şekil 1.5 : Sistem Mimarisi.	9
Şekil 1.6 : Alınan Görüntüler ve Tespit Sonuçları	10
Şekil 1.7 : Araç içi ve Yol Görüntüsü.	11
Şekil 1.8 : Sistem Testlerinde Kullanılan Farklı Kontrastta Nesnelere.	11
Şekil 1.9 : Görüntü Kayıt İşleminin Dört Adımı:	14
Şekil 1.10 : Fotoğraf Kare Çifti Arasında Gerçekleştirilen Uygulama.	16
Şekil 1.11 : Fırtına Öncesi ve Sonrasına ait Görüntüler ve Aralarındaki Değişikliklerin Tespiti.	21
Şekil 1.12 : İki Farklı Zamanda Alınmış Görüntüler Arasındaki Değişikliklerin Karşılaştırılmalı Sonuçları.	22
Şekil 1.13 : Seçilen Bir Veri Seti Üzerindeki Sonuçlar.	23
Şekil 2.1 : Sistem Mimarisi	25
Şekil 2.2 : Oluşturulan Emareler ve İşaretlenmesi.	28
Şekil 2.3 : Seçilen Güzergah ve Emare Konumları.	30
Şekil 2.4 : Konuma Göre Sınıflandırılmış Görüntü Örnekleri	32
Şekil 2.5 : Örnek İki Kare Üzerinde SURF Özniteliklerinin Çıkarımı, Eşleştirilmesi ve Görüntü Kayıt İşlemi.	33
Şekil 2.6 : Oynanmamış Değişiklik Maskesine Örnek	35
Şekil 2.7 : Eşik Değeri Atanmış Değişiklik Maskesi	37
Şekil 2.8 : Aşındırma İşlemi Sonrası Değişiklik Maskesi.	38
Şekil 2.9 : Genişletme İşlemi Sonrası Değişiklik Maskesi.	39
Şekil 2.10 : Sonuçların Gösterilmesi.	40
Şekil 3.1 : Orijinal Görüntü ile Kesilmiş Görüntü Sonuçları.	42
Şekil 3.2 : Aynı Karede Bulunan Emarelerin Tespit Sonuçları	44
Şekil 3.3 : 10 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuş Sonuçları	45
Şekil 3.4 : 15 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuş Sonuçları	45
Şekil 3.5 : 20 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuş Sonuçları.	45

KISALTMALAR

DP	: Doğru Pozitif
EYP	: El Yapımı Patlayıcılar
BRIEF	: Binary Robust Independent Elementary Features
FAST	: Features From Accelerated Segment Test
GPS	: Global Positioning System
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KNN	: K Nearest Neighbour
ORB	: Oriented FAST and Rotated BRIEF
RANSAC	: Random Sample Consensus
RFM-SCAN	: Robust Feature Matching using Spatial Clustering with Heavy Outliers
SIFT	: Scale-Invariant Feature Transform
SURF	: Speeded Up Robust Features
YN	: Yanlış Negatif
YP	: Yanlış Pozitif

TÜRKÇE ÖZ

İnsansız Hava Aracı ile Yol Kenarı El Yapımı Patlayıcıların Muhtemel Yerleşim Yerlerinin Tespiti

Hüseyin Furkan AKSOY

Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü

Ankara, Mayıs, 2023

Patlayıcı maddelerin etkin gücü onları birçok uygulamada tercih edilir hale getirmiştir. Askeri alanların yanı sıra maden ve taş ocaklarında, yol ve tünel yapımlarında, inşaat sektöründe de yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Geliştirilen her teknik ve ürün gibi patlayıcılar da kullanıcısının niyetine ve hedefine hizmet eden birer araçlardır, dolayısıyla kötü niyetli insanların elinde öldürücü birer silah haline gelmektedirler. El yapımı patlayıcılar (EYP) da tarih sahnesine çıktığı andan itibaren terör örgütleri tarafından sıklıkla kullanılan bir silah olmuştur. EYP'lerin herhangi bir üretim standartlarının olmaması ve günlük malzemelerden üretilebiliyor olması EYP ile mücadeleyi de oldukça güçleştirmektedir. Bu tez çalışmasında EYP ile mücadelede yol kenarına yerleştirilmiş EYP'lerin yerleşimi sonucu çevrede meydana gelebilecek izlerin tespiti üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu amaç doğrultusunda literatürde değişiklik tespiti olarak adlandırılan bir görüntü işleme temelli yazılım geliştirilmiştir. Belirlenen bir güzergâh üzerinde nesne gömülmüş, çevrede EYP emaresi olabilecek izler meydana getirilmiş ve farklı zamanlarda İHA vasıtası ile görüntü kayıtları alınmıştır. Alınan bu kayıtlar üzerinde değişiklik tespiti gerçekleştirilerek emarelerin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan senaryonun kısıtları ve şartları ile sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: El Yapımı Patlayıcılar, Yol Kenarı Gömülü Nesne, Görüntü İşleme, Değişiklik Tespiti, İnsansız Hava Aracı

Bilim Kodu : 92704

Sayfa Sayısı : 59

Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Onur ALTUNTAŞ

ABSTRACT

Detection of Possible Emplacements of Improvised Explosive Devices by an Unmanned Aerial Device

Hüseyin Furkan AKSOY

Turkish National Defense University

Alparslan Defence Sciences and National Security Institute

Ankara, May, 2023

The power and effect of explosives have made them preferred in many applications. In addition to military applications, they are widely used in mines and quarries, tunnels, and constructions. Like every technical development and product, explosives are also mere tools for the intentions of their users. In the hands of wrongful people, they become lethal weapons. From the moment improvised explosive devices (IED) were introduced to the stage of history they became weapons of choice for terrorist organizations. Since IEDs can be produced from daily used materials nor do they have any production standards, the fight against IEDs is very hard. This study focuses on the detection of cues and signs created because of the emplacement of a roadside buried IEDs. For this purpose, an image processing software is developed which is defined as change detection in literature. An object has been buried on a specific route, signs have been created in the environment that could indicate an IED and video footages have been recorded by a UAV. The change detection algorithm aims to find the changes between recorded footages. The limitations and conditions of the flight scenario have been evaluated with the results of the algorithm and suggestions were made for future studies.

Keywords: Improvised Explosive Devices, Roadside Buried Object, Image Processing, Change Detection, Unmanned Air Vehicle

Science Code : 92704

Pages : 59

Supervisor : Asst.Prof.Dr. Onur ALTUNTAŞ

1. GİRİŞ

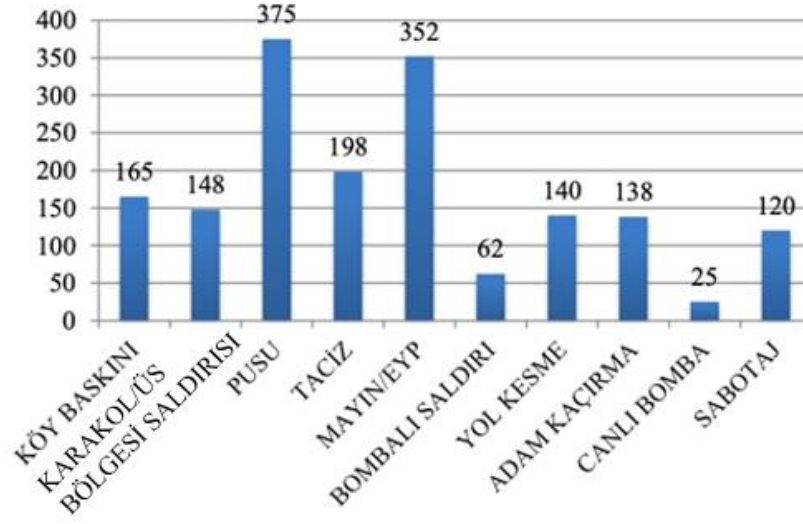
Patlayıcı maddelerin tarihi gelişimine bakıldığında patlayıcıların ilk olarak kimler tarafından keşfedildiği kesin olarak bilinemesi de yaklaşık bin yıl önce M.S. 900'lü yıllarda Çinlilerin kara barutu keşfetmeleri ile insanlığın patlayıcı maddeler ile tanıştığı genel kabul görmektedir. 1846 yılında gliserinin nitrolanması ile dinamitin ana unsuru olan ve kara baruttan sonra ilk kullanışlı güçlü patlayıcı kabul edilen nitrogliserin bulunmuş, 1863 yılında ise Alman kimyacı Julius Wilbrand tarafından TNT geliştirilmiştir. 1867 yılında Alfred Nobel tarafından nitrogliserin odun talaşına emdirilerek dinamiti keşfetmiştir. Patlayıcı maddeler insanlar tarafından askeri alanlar dışında maden ve taş ocakları, yol ve tünel yapımları, inşaat gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. İnsanoğlu tarafından geliştirilen her ürün gibi patlayıcılar da kullanıcısının niyetine hizmet etmekte ve bu niyet kimi zaman da insanlığın zararına olabilmektedir. Patlayıcı maddeler, etkinliği ve gücü sebebiyle kişilere, toplumlara ve devletlere karşı yapılan birçok terör eyleminde kullanılmakta ve bu eylemleri daha ölümcül hale getirebilmektedir.

El yapımı patlayıcıların (EYP) patlayıcılar içinde ayrı bir kategoride değerlendirilmesi, değişen şartlara bağlı olarak ortaya çıkmıştır denilebilir. Böyle bir ayrımın büyük ölçekli ve çeşitli standartlar kapsamında fabrikasyon ürünü patlayıcı maddelerin ve mühimmatların üretilmesi sonucu oluştuğu belirtilmektedir (Overton ve diğ., 2020). Bu şekilde üretilen patlayıcıların üretim amaçları dışında kullanılması veya günlük malzemeler ile patlayıcı oluşturulması ve bunların çeşitli düzeneklerde kullanılması EYP kavramını ortaya çıkarmıştır da denilebilir. Birleşmiş Milletler'e göre EYP'lerin tanımı "tahrip edici, öldürücü, piroteknik veya yakıcı kimyasalları bünyelerinde toplayan ve yok etmek, işlevsiz hale getirmek, taciz etmek veya dikkat dağıtmak maksatlarıyla tasarlanmış ve bir yere yerleştirilmiş, içerisinde askeri amaçlı üretilmiş patlayıcılar bulunduran fakat çoğu zaman bulundurmayan patlayıcı düzenekler" şeklinde yapılmaktadır (Overton ve diğ., 2020). Tanımdan da anlaşılacağı üzere çok çeşitli şekil ve biçimlerde oluşturulabilirler. Buna rağmen karşılaşılan düzenekler sonucu EYP'lerin birtakım ortak özellikleri çıkarılmış olup

bunlara göre de sınıflandırma yapılmaktadır. Yapılarına bakıldığında genel olarak anahtar sistemi, akım kaynağı, başlatıcı, ana imla hakkı ve dış kap olmak üzere beş ana unsurdan oluşmaktadır. Tasarımlarında bu unsurların her biri için birçok farklı malzeme kullanılabilir. Örneğin anahtar sistemi olarak radyo kontrollü düzeneklerde garaj kapı anahtarı, araç anahtarı, oyuncak uzaktan kumandası; başlatıcı olarak elektrikli veya yanıcı fünyeler, çakmaklar, çeşitli asitler kullanılmakta; patlayıcı madde olarak, bilinen patlayıcı maddeler dışında çeşitli sanayi, tarım, temizlik sektörlerinde kullanılan ticari kimyasallar, çeşitli kaynaklardan elde edilen askeri mühimmat, mayın, tahrip kalıpları, dış kap olarak teneke, cam kavanoz, pet şişe, mutfak tüpü, bidon, lastik, boru gibi çok çeşitli malzemeler kullanılabilir (UNMAS IED Lexicon). Bu şekilde ilgili malzemelere erişim kolay ve daha az maliyetli olmaktadır.

Günümüzdeki çatışmalara bakıldığında çoğunlukla devletler arası değil, devletler ile devlet dışı aktörler arasında asimetrik bir savaş yaşandığı görülmektedir. El yapımı patlayıcıların, bu asimetrik savaşta, askerleri ve sivilleri öldürmek, toplumda korku ve panik oluşturarak psikolojik baskı kurmak, çeşitli araç, gereç, binaları tahrip etmek amacıyla teröristler tarafından dünya genelinde birçok devlete karşı sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Yukarıda bahsedildiği üzere yapımının kolay ve düşük maliyetli olması da onları farklı aktörler tarafından sıklıkla kullanılan bir silah haline getirmektedir. Aynı zamanda bir EYP saldırısı ile az sayıda saldırgan etkili bir saldırı gerçekleştirebilmekte ve de kendi zayıflık riskini azaltmaktadır. II. Dünya Savaşı'nda Belarussu partizanlar tarafından kilometrelerce uzunlukta Alman demiryolları hasara uğratılmış, Vietnam Savaşı'nda ormanlık arazide Amerikan ordusuna karşı birçok bubi tuzağı kurulmuş, 1990'lı yıllarda Kuzey İrlanda'da Katolik milliyetçiler ile Protestanlar arasında meydana gelen şiddetli çatışmalarda binlerce insan hayatını kaybetmiş ve bu çatışma ortamında EYP'ler sıklıkla kullanılmıştır (Phillips ve Johnston, 2015). Afganistan ve Irak'ta, ABD ve diğer NATO birliklerinin en çok zayıflık verdiği silahlardan biri olmuştur. 2003-2020 yılları arasında Irak'ta hayatını kaybeden askeri personel sayısının 4910, 2001-2021 yılları arasında Afganistan'da hayatını kaybeden toplam askeri personel sayısının ise 3609 olduğu belirtilmektedir (icasualties.org). İngilizce kaynaklı haber sitelerinden elde edilen verilere göre 2010-2020 yılları arasında dünya genelinde yaklaşık 12 bin EYP saldırısı gerçekleşmiş ve bu saldırılarda 170 binden fazla sivil hayatını kaybetmiştir (Overton ve diğ., 2020).

Ülkemizde de EYP'ler bölücü terör örgütü tarafından 1990'lı yıllardan itibaren etkin bir şekilde kullanılan, teknolojiye göre geliştirilen ve tercih edilen bir silah olmuştur. Aşağıdaki tabloda 1993-2012 yılları arasında PKK terör örgütü tarafından gerçekleştirilen eylem sayıları verilmiştir (Cantenar ve Tümlü, 2016).



Şekil 1.1: 1993-2012 Yılları Arasında PKK Terör Örgütü Tarafından Gerçekleştirilen Eylem Sayısı

Cantenar, Ö. F., & Tümlü, F. (2016).

EYP ile mücadele, eylem kurgusunda yer alan yurt içi-yurt dışı mali destekçileri tespit etme, malzeme temini ve imalat aşamasında müdahale, planlama ve patlayıcıyı yerleştirme aşamasında müdahale, işbirlikçileri tespit etme gibi birçok aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar içerisinde genellikle askeri personelin patlayıcı madde tespit çabaları son halka olmakta olup bu tez çalışmasında bu noktaya odaklanılmaktadır.

Bahsedildiği üzere tahrip edici ve öldürücü gücünün yanında EYP'lerin genellikle gözle görülemeyecek yerlere yerleştirilmesi ve şekil veya boyut olarak çok farklı olmaları ve herhangi bir standart altında üretimlerinin olmaması ve kategorize edilememeleri onların tespitini ve zararsız hale getirilmesini oldukça güçleştirmektedir. Ayrıca karşı tedbirler geliştirildikçe bunlara bağlı olarak EYP'ler de değiştirilmektedir. Dolayısıyla geliştirilen bir çözüm bir EYP'de işe yararken başka bir EYP'de işe yaramayabilmektedir. Bu nedenle EYP ile mücadele, teröristlerin

faaliyetleri, imkanları, hayal güçleri ve zekalarına da bağlı olarak sürekli değişmekte ve gelişmektedir. Geçmiş olaylar incelendiğinde operasyonlarda kullanılan yol ve patikalara, menfezlere, köprülere, yol üzerinde yer alan virajlara ve kavşaklara, yolların bir tarafı yamaç olan kesimlerine, rutin olarak gerçekleştirilen konvoy güzergahlarına yerleştirilen patlayıcılar sonucu en fazla zayıflık verildiği görülmektedir. Dolayısıyla söz konusu yol ve güzergahların keşif ve gözetlemede yüksek hassasiyete sahip ve insan hatasını azaltacak sistemlerin kullanılmasının arama faaliyeti gerçekleştiren personele ciddi bir yetenek kazandıracağı değerlendirilmektedir. İlgili personel arama faaliyeti gerçekleştirirken dedektör, şiş, kanca seti, robot, insansız hava aracı (İHA) gibi çeşitli araçlar kullanılmaktadır fakat tespit etme durumlarının büyük bir çoğunluğu gelişen teknolojiye rağmen dikkatli bakan gözler sonucu olmaktadır (Güneş, 2021). Teröristler tarafından herhangi bir noktaya patlayıcı düzenek yerleştirilmesi sonucu o noktada veya çevresinde mutlaka çeşitli izler bırakılabilmektedir. Bu izlere EYP emaresi denmektedir. EYP emarelerine örnek olarak yol üzerinde veya kenarında kazılmalar, asfalt yollardaki yeni dolgular veya yamalar, yol üzerindeki çukurlar ve tümsekler, yol kenarındaki bitki örtüsündeki dairesel veya hat şeklindeki boşluklar, terörist için nişan noktası olabilecek levha, direk, ağaç vb. unsurlar, yolların kenarlarındaki kısımlarda taşların bir noktada belli bir düzende toplanması, yol kenarlarına bırakılmış çevresi ile uyumu az olan büyük taşlar, yolda veya yol kenarında yüzeye çıkmış naylon poşet, kablo vb., toprağın bilerek veya kazıntı sonucu renk değişimi, yol üzerine serpiştirilmiş dal parçaları, yan yana veya üst üste dizilmiş taşlar verilebilir (Güneş, 2021).



Şekil 1.2: Çeşitli Emare Örnekleri.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, insansız hava aracı ile alınan görüntüler üzerinde görüntü işleme tabanlı bir değişiklik tespiti yapacak bir sistem geliştirilerek yukarıda bahsedilen emareler üzerinden yol ve güzergahlara yerleştirilmiş olabilecek EYP'lerin tespit edilmesi hedeflenmektedir.

Değişiklik tespiti algoritmalarının amacı bir bölgenin farklı zamanlarda alınan görüntülerinde değişiklik meydana gelmiş alanların otomatik olarak tespit edilmesidir. Bu tarz algoritmaların amacı insan gözünden kaçabilecek küçük değişiklikleri veya keşif gözetleme yapan personelin hafızasında kalamayacak ayrıntıların farkını ortaya çıkarmaktır ki bu durumda tespiti hedeflenen farklar bahsedilen emareler ve izler olmaktadır.

Sunulan sistemde, yol ve güzergâh üzerine yerleştirilen EYP'lerin muhtemel yerleşim yerlerini tespit edebilmek adına insansız hava aracı vasıtası ile yolun gömülü nesne yerleşimi öncesine ve sonrasına ait farklı iki zamanda görüntüleri alınacak olup alınan farklı zamanlara ait kayıtlar yerleştirilen EYP'lerin yerleşim sonrası çevrede oluşturacağı izlerin tespitine yönelik kullanılacaktır.

Alınan görüntüler konum bilgileri ile saklanacaktır. Böylelikle ileriki bir zamanda o bölgenin alınacak görüntülerinin kıyaslandırılacağı referans görüntüler elde edilmiş olunur. Farklı zamanlarda alınan bu görüntüler üzerinde değişiklik tespiti algoritması koşularak bölgede oluşan farklar tespit edilecek ve kullanıcıya gösterilecektir. Farklı değişiklik tespiti yöntemleri mevcut olup bu çalışmada görüntü farkı alma metodu kullanılacaktır. Algoritmanın amacı farklı zamanlarda alınan görüntü serisindeki kareler arasında önemli ölçüde farklı olan piksel setlerini tespit edip değişiklik maskesi oluşturmaktır. Bu maskenin oluşumuna sebep bahsedildiği üzere sahnede yeni bir nesnenin (nesnelere taş, dal parçaları, toprak rengi değişimi gibi birçok farklı şekilde olabilir) var olması veya mevcut nesnenin yok olması, bir nesnenin yerinin veya şeklinin değişmesi gibi sebepler olabilir. Dikkat edilmesi gereken bir husus önemsiz denilecek farkların gösterilmemesidir. Bunlar kamera hareketinden kaynaklanan farklılıklar, dedektör gürültüsü, bölgedeki ışık-gölge değişiklikleri gibi durumlar olabilir.

Sonuç olarak seçilen bir yol üzerinde EYP emareleri oluşturulacak, farklı koşullarda uçuşlar gerçekleştirilecek, bahsedilen metotlar ile oluşturulan emareler ve dolayısıyla EYP yerleştirilen noktalar tespit edilmeye çalışılacaktır.

1.2. Literatür Araştırması

Çalışmanın ve önerilen sistemin kapsamı incelendiğinde disiplinler arası bir konu olduğu görülmektedir. EYP ile ilgili hususlarda askeri alanda yapılmış literatüre, EYP tespiti hususunda gerek X-Ray sistemleri, gerekse karıştırıcı sistemleri alanındaki literatüre, çalışmanın ana unsurlarından olan değişiklik tespitinin bir parçası olduğu görüntü işleme alanında görüntü kaydı oluşturulması, görüntü işleme metotları, farklı değişiklik tespiti metotları gibi farklı alanlardaki literatüre değinilmesi gerektiği değerlendirilmiştir. Bu nedenle literatür taraması kısımlara ayrılmış olup bu şekilde sunulmasının faydalı olacağı düşünülmüştür.

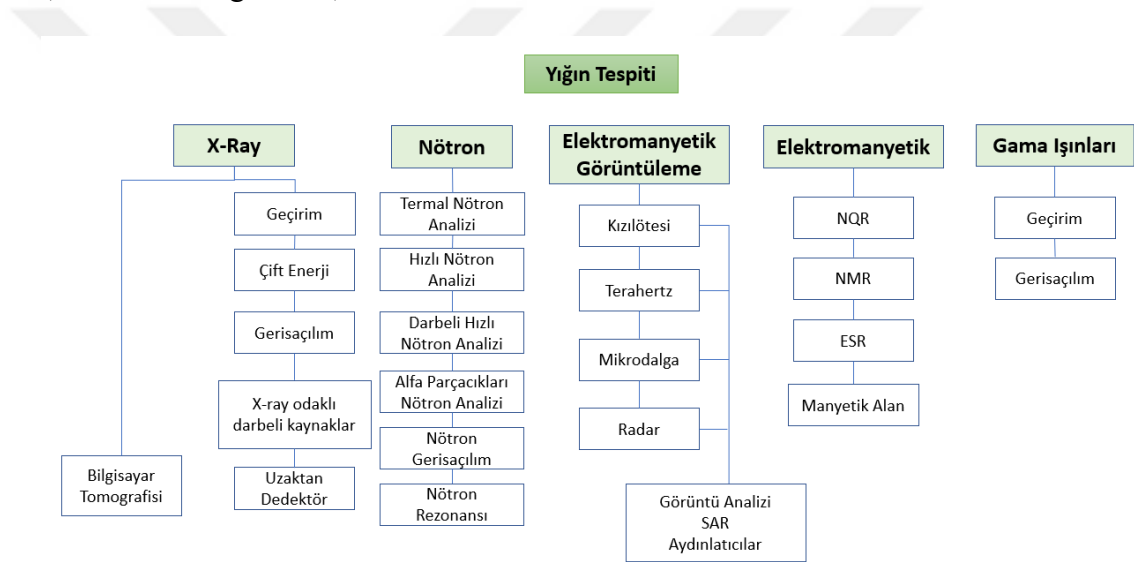
Bu kapsamda çalışmaya uygun olacak literatür taramasının EYP/patlayıcı madde tespit teknolojileri, çalışma kapsamına giren görüntü işleme metotları (görüntü iyileştirme, kenar tespiti, öznitelik çıkarımı, görüntü kaydı vb.), değişiklik tespiti kullanım alanları ve geliştirilen yöntemler şeklinde ayrılması uygun görülmüştür.

1.2.1. EYP ve Patlayıcı Maddelerin Tespiti

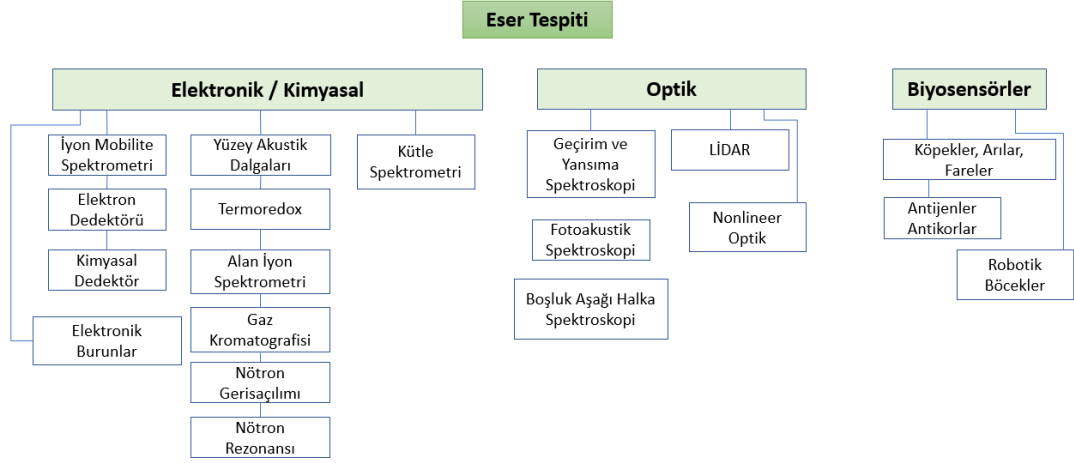
EYP'lerin ve genel olarak patlayıcı maddelerin tespitinde çeşitli teknik ve metotlar kullanılmaktadır. Patlayıcıların tespitinde yığın patlayıcı tespiti ve eser patlayıcı tespiti olmak üzere iki ana yaklaşımın olduğu görülmektedir. Yığın patlayıcı tespit teknikleri patlayıcı madde yığını bulmayı hedeflerken eser patlayıcı tespitinde patlayıcı maddenin bırakmış olduğu partiküllerin tespiti hedeflenmektedir. Elektromanyetik spektrumun birçok farklı dalga boyunda gerek yığın gerek eser patlayıcı tespitine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. X-ışınları vasıtası ile patlayıcı madde tespiti oldukça yaygın bir uygulama olarak gösterilebilir, örneğin mayın ve EYP tespitine yönelik geri saçılım X-Ray yöntemi ile robotik bir sistem geliştirilmiştir (Faust ve diğ., 2002). Yakın ve uzak kızılötesi, mikrodalga, terahertz gibi dalgaboylarında çalışan sistemler de EYP'nin topraktan farkını, gömülü olan metal içeriği veya düzenek içerisindeki veya etraftaki patlayıcı maddeyi bulmak için de kullanılmaktadır (Yüksel ve diğ., 2021). Uzak kızılötesi dalga boyunda polarimetrik görüntüleme tekniği ile farklı toprak türünde yollara gömülmüş olan mayın ve EYP'ler farklı kamera açıları

üzerinden görüntüleme yapılarak tespit edilebilmektedir (Gurton ve Felton, 2012). Patlayıcı madde tespitine yönelik nükleer teknikler de geliştirilmektedir, örneğin termal nötron aktivasyonu ile mayın ve EYP tespit çalışmaları mevcuttur (Lanza, 2007; Mcfee ve diğ., 2013; Koltick v diğ., 2007). Ayrıca biyosensörler de patlayıcı tespitinde kullanılan ve yeni yöntemleri araştırılan bir teknoloji olup bu konuya en temel örnek olarak koku duyusu gelişmiş köpekler verilebilir. Köpeklerin yanı sıra arılar, fareler, çeşitli böcek ve bakteriler, antikor temelli biyoelektronik olarak geliştirilmiş sensörler de bu alanda araştırılan yöntemlerdendir (Wasilewski ve diğ., 2021; Liu ve diğ., 2019; Filipi ve diğ., 2021; King ve diğ., 2004).

Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te yığın ve eser patlayıcı madde tespiti metotları verilmiştir (Bielecki ve diğ., 2012).



Şekil 1.3: Yığın Tespiti Teknikleri.



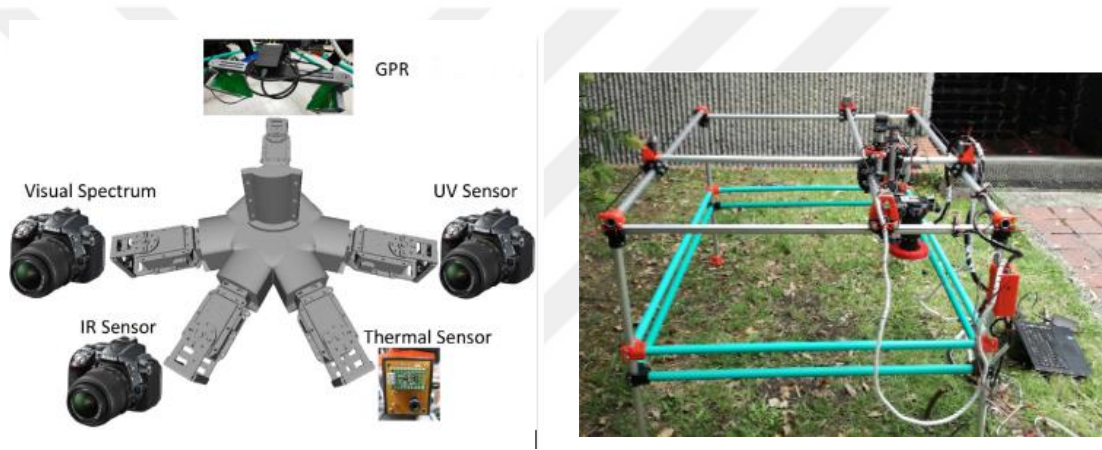
Şekil 1.4: Eser Tespiti Teknikleri

EYP düzeneklerinde kullanılan dış kapların çoğunlukla manyetik bir alan oluşturacağı değerlendirilmesinden dolayı manyetik alan yönü hesaplamaya yarayan fluxgate manyetik sensör sistemleri ile de düşük hata paylarının yakalanabildiği gömülü EYP düzeneklerinin tespiti mümkün olmaktadır (Liu ve Wang, 2010; Gürkan ve diğ., 2019). Bu tarz manyetik sensörlerin insansız hava araçlarına yüklenip havadan tespit çalışmaları da mevcuttur (Trammel III ve diğ., 2005).

İnsansız hava aracına yüklenen orta bant termal kamera ve gündüz kamera vasıtası ile havadan alınan görüntülerde görüntü alınan güzergahta öncelikle yol tespiti yapılmakta ardından sınırları tespit edilen yol alanı içerisinde gündüz ve termal görüntüler birleştirilerek gömülü nesne tespiti gerçekleştirilmeye çalışılmıştır (Kennedy ve diğ., 2012). Burada gömülü nesne tespiti yol görüntüleri içerisinde etrafına göre farklı denilebilecek anomalilerin Bayes sınıflandırma tekniği ile olasılık dahilinde tespiti şeklinde olmaktadır.

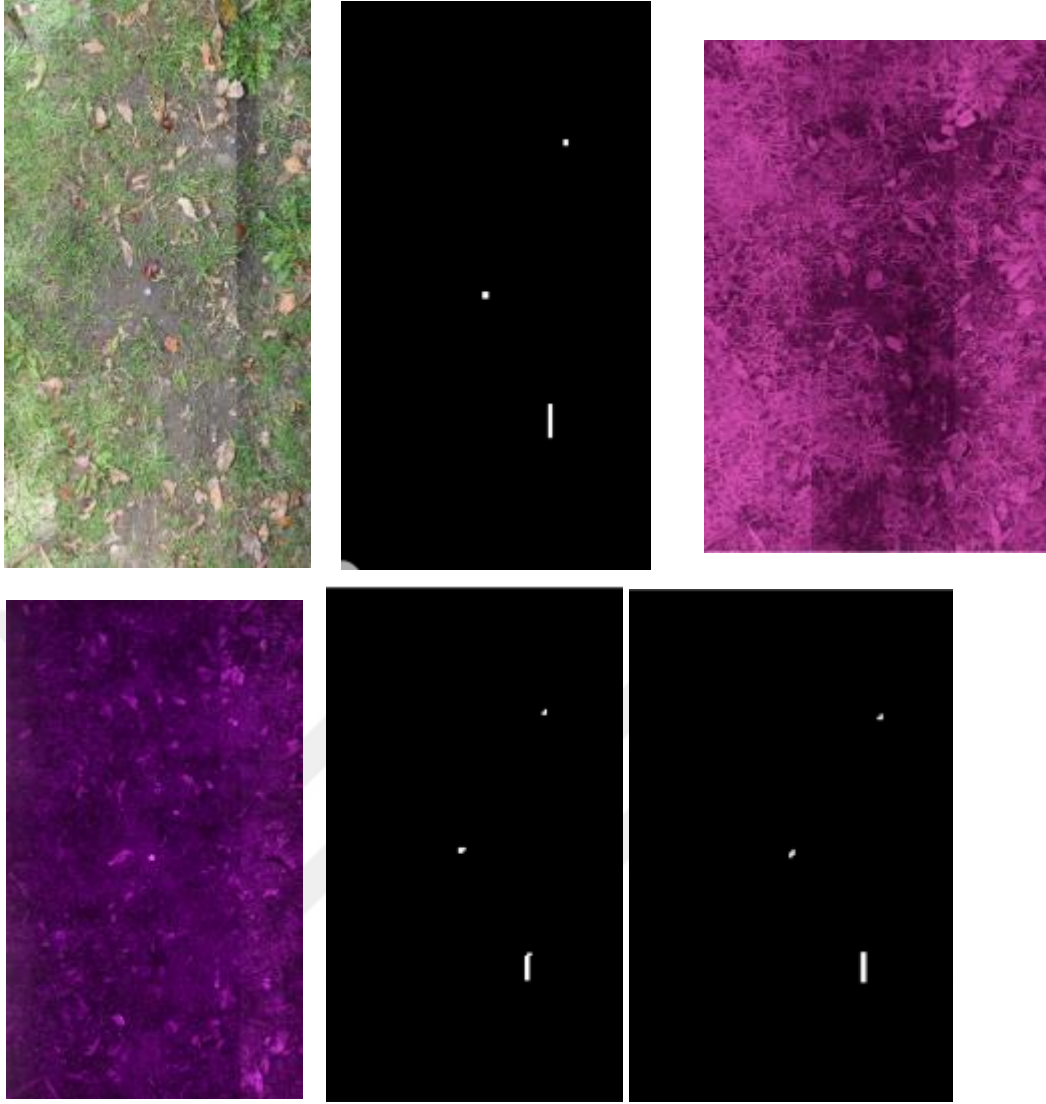
EYP düzeneklerinin özellikle anahtar sistemlerine ait düzeneğin yerleştirildiği konumdan patlama noktasına kadar uzanan, açıkta bulunan veya gömülü halde olan kabloların da tespiti önem arz etmektedir. Kum tanelerinin büyüklüklerine göre sınıflandırılan altı farklı çöl arazisinde yerden 1.8 m yüksekliğe yerleştirilen LİDAR sistemi ile mikrotopografya ve yansıyan ışık temelli kablo tespiti gerçekleştirilmeye çalışılmış ve düşük yoğunluktaki yüzeylerde 3mm'den daha kalın kabloların tespit edilebildiği görülmüştür (McDonald ve Schumer, 2016).

Görüntü işleme alanında derin öğrenme metotlarının da yaygınlaşması EYP ile mücadele çalışmalarına da yansımıştır. Yeraltı radarı (GPR), ultraviyole sensör, gündüz kamera ve kızılötesi kameralardan oluşan bütünleşik bir sistem kullanılarak yerden yaklaşık 1 m yükseklikten bahsedilen kaynak sensörlerden görüntüler alınarak EYP düzeneğinin tespit edilmesi hedeflenmiştir (Colreavy-Donnelly ve diğ., 2020). Görüntü alınan bölgeye düzenek gömülmüş ve gömme işleminin ardından aylarca beklenmiş olup toprakta tekrar bitki bitmesi beklenmiştir. Sistemin otomatik tespiti tasarlanmış olan bir evrişimsel sinir ağının alınan görüntüler ile eğitilmesi ile yapılmıştır. Sinir ağına beslenen görüntülerin tespit sonucu ile deterministik yöntemlerin sonuçları kıyaslanmış ve başarı oranları tespit edilmiştir. Sistem mimarisi, alınan görüntüler ve sonuçları Şekil 1.5 ve 1.6’larda verilmiştir.



Şekil 1.5 Sistem Mimarisi.

Colreavy-Donnelly, S., Caraffini, F., Kuhn, S., & Gongora, M. (2020).



Şekil 1.6: Alınan Görüntüler ve Tespit Sonuçları (Sırasıyla soldan sağa: RGB Görüntü, Zemin Gerçekliği, Kızılötesi Görüntü, Ultraviyole Görüntü, Ultraviyole Tespit Sonucu, Kızılötesi Tespit Sonucu).

Colreavy-Donnelly, S., Caraffini, F., Kuhn, S., & Gongora, M. (2020).

Benzer bir çalışma bilgisayarlı görü yeteneğine sahip bir robot üzerine kurulmuş olan yeraltı radarı, holografik radar ve gündüz kamera sistemi ile de yapılmıştır (Bartolini ve diğ., 2019). Donbas bölgesinde robotun hareketlerine yönelik olarak araştırma yapılmış ve geliştirilen sistem ile kamera ve radar görüntülerinden engel tanıma, mayın, EYP ve patlamamış mühimmat tespit edilmeye çalışılmıştır.

Değişiklik tespiti algoritmalarının EYP tespiti kapsamında kullanılmasına ilişkin literatürde bir adet çalışma bulunmuştur. Çalışma konvoy araçlarına yönelik olarak gerçek zamanlı çalışan bir sistem olarak yapılmıştır. Araç üzerine yerleştirilen kamera, GPS ve işlemci birimi ile aracın seyir aldığı güzergâh kaydedilmekte ve o güzergahtan tekrar geçildiğinde yeni kayıt görüntüsü geçmiş kayıt ile mukayese edilerek görüntüler

arasındaki farklar kullanıcıya gösterilmektedir (Wouw ve diğ., 2014). Burada hedeflenen EYP düzeneğinin kendisini tespit etmekten ziyade emarelerini bulabilmektir. Emare olarak yol kenarına üst üste dizilmiş taşlar, kırılmış veya yere konulmuş dal parçaları olarak gösterilmektedir fakat sistemin testleri yol üstüne yapay yabancı nesne yerleştirilmesi ile yapılmıştır. Şekil 1.7’de araç içi ve yol görüntüsü verilmekte, Şekil 1.8’de ise testlerde kullanılan farklı kontrasttaki nesnelere gösterilmektedir.



Şekil 1.7: Araç içi ve Yol Görüntüsü.

van de Wouw, D. W., van Rens, K., van Lint, H., Jaspers, E. G., & de With, P. H. (2014).



Şekil 1.8: Sistem Testlerinde Kullanılan Farklı Kontrastta Nesnelere.

van de Wouw, D. W., van Rens, K., van Lint, H., Jaspers, E. G., & de With, P. H. (2014).

Emarelerin önemini vurgulamak amacıyla Afganistan ve Irak’ta görev almış ABD ordusu mensubu İHA faydalı yük operatörleri ile bir anket çalışması yapılmış ve keşif gözetleme esnasında EYP yerleşim yerlerinin tespiti kapsamında dikkat ettikleri hususları ortaya koymuşlardır (McNeese ve diğ., 2017). Faydalı yük operatörlerine şüpheli olabilecek durumlar, dikkatlerini çeken emareler, bir konumu incelerken ilk nereyi inceledikleri, bir yere odaklanmalarına sebep olacak hususlar, EYP’lerin sıklıkla yerleştirildikleri yerler gibi sorular sorulmuştur. Alınan cevaplarda gömülü ve araca yüklü EYP’lerin en sıklıkla karşılaşılan durumlar olduğu, emarelerde ise yol üzerinde görülen kablo, yola yeni yerleştirilen bir nesne, çevreye uymayan nesnelere,

toprakta değişim, yolun yakınındaki çöpler gibi işaretlerin en sık karşılaşılan durumlar olduğu belirtilmiştir.

1.2.2. Görüntü İşleme Metotları

Görüntü işleme algoritmalarının temel hedefi görüntüleme sistemlerinde ihtiyaca yönelik görüntüyü oluşturabilme, düzenleyebilme, bilgi ve anlam çıkarabilmedir. Bilgisayar sistemlerinin insan hayatında oldukça yaygınlaşması ile gerçek hayat sahnelerinin bilgisayar sistemlerinde dijital olarak görüntülenmesi ve doğal olarak görüntü işleme teknikleri de sürekli olarak geliştirilmiş ve birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Görüntü işleme genel kabule göre düşük seviye, orta seviye ve ileri seviye görüntü işleme olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Düşük seviye görüntü işleme teknikleri, görüntü üzerinde şekil, renk gibi değişiklikler yaparak yeni bir görüntü elde edilen görüntü üzerindeki gürültüyü azaltma, kontrastı düzeltme, bulanıklığı giderme gibi tekniklerdir. Orta seviye görüntü işleme teknikleri ise görüntü üzerinde işlemler yaparak görüntü üzerindeki birtakım özellikleri çıkarmaya yarayan tekniklerdir. Bu özellikler görüntü üzerindeki nesnelere, nesnelere ve bölgelerin kenarları, görüntü içerisindeki bölgeler ve böylelikle yapılan sınıflandırmalar olabilir. Üst seviye teknikler ise insan görüşüne ve aklına yakın işlemleri hedefleyen yani görüntüyü anlamlandırma teknikleridir. Buna örnek olarak görüntü alınan sahnelerin ve içeriğinin ne olduğunu tanımlama, görüntü üzerinde yazı ve rakam okuma, otonom sürüş sistemleri, yüz tanıma gibi işlemler verilebilir.

Günümüzde görüntü işlemenin dokunmadığı bir teknolojik alan yoktur denilebilir. Örnek olarak:

- Gerek nükleer tıp alanında gerek uzay bilimlerinde kullanılan gama ışınları vasıtası ile görüntüleme,
- Yukarıda bahsedildiği üzere EYP ve patlayıcı maddeler ile mücadele kapsamında ve daha birçok alanda kullanılan X-Ray ışınları vasıtası ile görüntüleme,
- Farklı amaçlar için kullanılan uydu görüntüleri,
- Mikroişlemci, ilaçlar, plastik şişeler gibi birçok fabrikasyon ürünün üretim aşamalarında oluşacak hataların görüntü üzerinden otomatik tespiti,
- Kâğıt para okuma, parmak izi okuma, plaka tanıma sistemleri, yüz tanıma ve hareket tespiti sistemleri vb.,

verilebilir (Gonzales ve Woods, 2018).

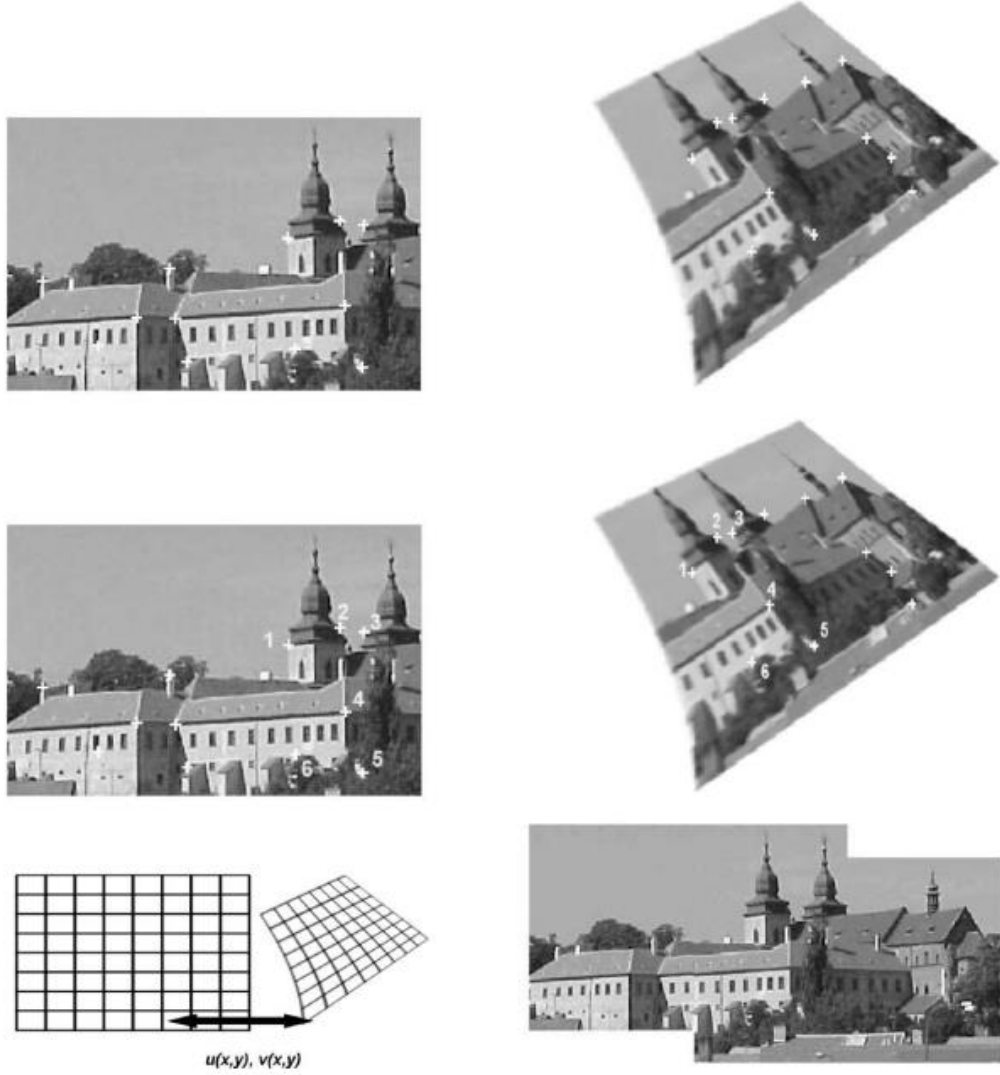
Bahsedilen uygulamalara çok fazla örnek verilebilir. Görüntü işleme alanının çok geniş olması sebebiyle tez çalışması kapsamına girecek teknik ve metotlara yoğunlaşmakta fayda olacaktır. Bu çalışmada yapılması hedeflenen temel işlem havadan alınan farklı zamanlı görüntülerin birbirleri ile kıyaslanmasıdır. Bu şekilde bir uygulamanın ana adımlarına bakıldığında uçuşlar arası farkların tespitinden önce uçuşlara ait görüntülerin iyileştirilmesi ve aynı koordinat düzlemine oturtulmasını sağlayan görüntü kaydı işlemi ön plana çıkmaktadır. Bu adımların gerçekleştirilmesinin ardından ancak EYP emaresi olabilecek farkların tespiti mümkün olmaktadır. Literatürde yer alan, farklı zamanlara ait görüntüler arasındaki farkların tespit edilmesine yönelik uygulamalar ve metotlar ise bir alt başlıkta ele alınmaktadır.

Kamera gibi sensörler vasıtası ile görüntü elde edildiğinde alınan görüntüler üzerinden anlam çıkarma yapılmadan önce bazı adımların gerçekleştirilmesi gerekebilmektedir. Buna sebep sensörlerin her çalışmasında her zaman aynı performansı göstermemesidir. Örneğin her fotoğraf çekiminde kamera tarafından dışarıdan alınan ışık miktarı farklı olabilmekte, sensör tarafından bu ışık piksellere farklı olarak işlenebilmekte, görüntü üzerinde bir gürültü mevcut olup bu gürültü de farklı şekillerde kendini gösterebilmektedir.

Görüntü kaydı farklı zamanlarda, farklı bakış açısıyla da elde edilmiş olabilecek veya farklı kamera/sensörlerden elde edilmiş olabilecek görüntülerin geometrik olarak aynı koordinat düzlemine oturtulması işlemi olup birçok önemli görüntü analiz uygulamasında kritik bir adımdır. El ile veya otomatik olarak yapılabilmektedir. El ile olan uygulamalarda kullanıcılar iki görüntü veya görüntü-harita çifti arasında ortak olan noktaları el ile işaretlemekte ve böylece ortak koordinat düzleminde referans noktalar oluşturulmaktadır. Bu çalışmada otomatik yöntemlerin üzerinde durulacaktır. Bu kapsamda da farklı metotlar geliştirilmiş olmasına rağmen tüm yöntemlerin ortak temel adımları olduğu söylenebilir (Zitova ve Flusser, 2003). Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Öznitelik çıkarımı: Görüntü içerisinde yer alan, çizgiler, sınırları belli olan bölgeler, köşe noktaları vb. olan özniteliklerin tespit edilmesidir.

- Özniteliklerin eşleştirilmesi: İki görüntüden tespit edilen özniteliklerin birbirleri ile olan benzerliklerinin ve tanımlamalarının bulunmasıdır.
- Değişim modeli çıkarma: Öznitelik eşleştirilmesinden sonra mevcut görüntüyü referans görüntü düzlemine en iyi şekilde oturtabilecek değişim fonksiyonunun tespit edilmesidir.
- Görüntü değişimi: Tespit edilen değişim fonksiyonu ile mevcut görüntünün değiştirilmesi ve böylelikle iki görüntünün aynı düzleme oturtulmasıdır.



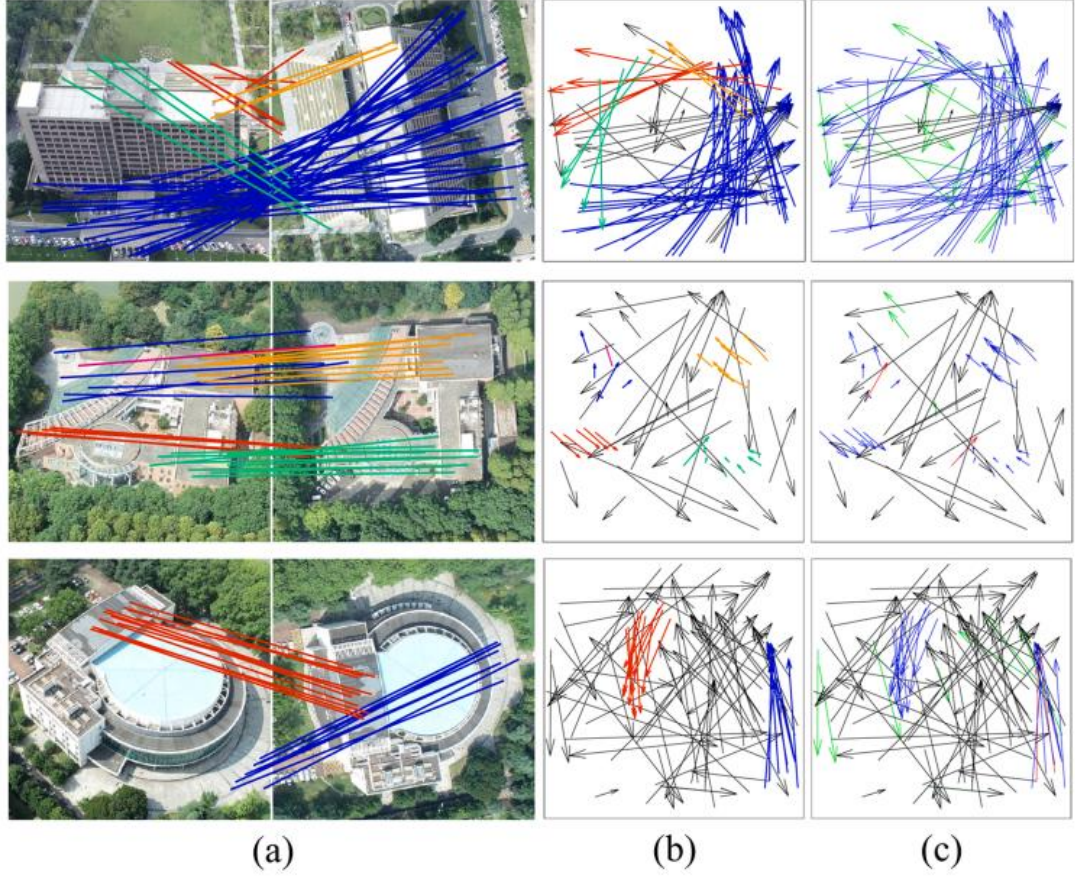
Şekil 1.9: Görüntü Kayıt İşleminin Dört Adımı

Zitova, B., & Flusser, J. (2003).

Yukarıdaki şekilde eşleşen öznitelikler aynı sayılar ile gösterilmiş olup alt sırada görüntüler arasındaki değişim modelinin bulunması ve görüntülerin aynı düzleme oturtulması gösterilmiştir.

Gerek uydulardan gerekse insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerin aynı düzleme oturtulması birçok görüntü analizi uygulaması için kritik bir adım olmaktadır. Görüntü kaydı işleminin gerçekleştirilmesi adına geliştirilmiş olan geleneksel yöntemler hedef görüntü ile referans görüntü arasında özniteliklerin SIFT, SURF, ORB gibi metotlar ile tespit edilip en yakın K komşu (KNN) algoritması ile ortak olanların tespit edilmesi üzerine inşa edilmiştir (Meng ve diğ., 2021). Eşleşen özniteliklerin tespitinin ardından 1981 yılında Fischler ve Bolles tarafından bulunan RANSAC algoritması ile (rastgele örnek mutabakatı) uygun olan ortak öznitelikler seçilmekte ve değişim matrisi yani homografi matrisi bulunmaktadır. Geleneksel yöntemlerin yanında görüntü kaydı gerçekleştirmek adına yeni yöntemler de denenmektedir, örneğin oluşturulan bir evrişimsel sinir ağı ile homografi parametreleri doğrudan tespit edilebilmekte veya zamandan bağımsız öznitelikler çıkarılabilmektedir (Meng ve diğ., 2021; Choi ve Park, 2020).

Aynı düzleme oturtulması istenen görüntüler her zaman aynı şartlar altında elde edilmemiş olabilmektedir. Aynı şartlar altında elde edilmeyen görüntülerin kayıt işleminde ise oldukça hatalı öznitelik tespiti ve eşleştirilmesi meydana gelmektedir. Bunun önüne geçebilmek adına da yöntemler geliştirilmektedir. Örneğin uydu görüntüleri ile insansız hava aracından elde edilen görüntülerinde kayıt işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Lucier, 2018). Bir başka uygulamada farklı bakış açılarından çekilmiş olan İHA görüntülerinin kayıt işlemi RFM-SCAN algoritması temel alınarak gerçekleştirilmiştir (Ren ve diğ., 2022). Burada bakış açıları arasında ciddi fark bulunan görüntülerin kaydı esnasında ortaya çıkan yüksek sayıda hatalı öznitelik eşleşmenin engellenmesi adına öznitelik vektörlerinin boyutları temel bileşen analizi ile indirgenmiş ve hatalı eşleşmeler de öznitelik vektörlerinin hareketinin tahmini ile azaltılmıştır. Buna benzer bir başka çalışmada da öznitelik eşleştirilmesi bir uzamsal kümeleme problemi olarak ele alınarak hatalı eşleşmeler azaltılmaya çalışılmıştır (Jiang ve diğ., 2020).



Şekil 1.10: Fotoğraf Kare Çifti Arasında Gerçekleştirilen Uygulama.

Ren, K., Ye, Y., Gu, G., & Chen, Q. (2022).

Yukarıdaki şekildeki sütunlar sırasıyla şu şekildedir: A: İki kare arasında SIFT algoritması ile öznelik çıkarımı ve eşleştirilmesi ve sınıflandırma sonuçlarının gösterilmesi (her renk bir sınıfı göstermektedir). B: Eşleşen özneliklere göre hareket vektörlerinin tespit edilmesi (renkli vektörler sınıflara ait olup siyah vektörler hatalı tespitlerdir). C: Mavi renkli vektörler doğru tespitler (TP), kırmızı renkli vektörler FP, yeşil renkli vektörler FN ve siyah renkli vektörler TN sonuçları göstermektedir.

Farklı zamanlarda alınmış görüntülerin kaydı için de birçok çalışma mevcuttur. Farklı zamanlarda alınan görüntülerin kayıt işleminde ortaya çıkan aydınlatma koşullarındaki değişiklik, mevsimsel veya topraktaki değişiklikler, kalıcı olmayan insan veya araba gibi nesnelere gibi sorunların üstesinden gelebilmek adına veri kümesi tabanlı bir yaklaşımla görüntü kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Arandjelovic ve diğ., 2015). Bu çalışmada bir kısıtlama grafiği yapısı kullanılarak görüntü alanındaki kısıtlamaların ve görüntüye bütünsel bir yaklaşımın kayıt doğruluk oranını artırdığı gösterilmiştir.

Görüntü kayıt işlem çalışmaları farklı bantlarda yer alan görüntülerde de gerçekleştirilmektedir. Örneğin acil durumlarda küçük insansız hava araçlarının güvenlik güçleri, arama kurtarma ve acil müdahale ekiplerince kullanımının faydalı olduğu değerlendirilmesine dayanarak böylesi durumlar için hem termal hem gündüz kameralardan elde edilen görüntülerin kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Yahyanejad ve Rinner, 2014). Birçok elektromanyetik banttardan alınan görüntülerden oluşan multispektral görüntülerin farklı bantları arasında da görüntü kayıt işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Teke ve Temizel, 2010).

1.2.3. Değişiklik Tespiti

Değişiklik tespiti uygulamalarında amaç farklı zamanlarda elde edilmiş olan görüntüler arasında önemli derecede farklı olan pikselleri tespit etmektir. Tespit edilen bu piksellere değişiklik maskesi denmektedir. Tespit edilen değişiklikler görüntü alınan sahnede bir nesnenin ortaya çıkması veya kaybolması, nesnelerin hareketinden kaynaklanan yer değişiklikleri, nesnelerin renklerinin, parlaklıklarının veya şekillerinin değişmesi gibi sebepler olabilir. Önemli olan bir husus önemli olmayan değişikliklerin değişiklik maskesine dahil edilmemesidir. Buna örnek olarak kamera hareketinden veya bakış açısından kaynaklanan değişiklikler, aydınlanma veya atmosfer koşullarından kaynaklanan değişiklikler veya görüntü gürültülerinden kaynaklanan değişiklikler verilebilir.

Farklı zamanlarda elde edilmiş birden fazla görüntü arasındaki değişiklikleri tespit etmek birçok farklı disiplinde yaygınca kullanılan bir uygulamadır. Bu disiplinlere örnek olarak uzaktan algılama, keşif ve gözetleme, tıbbi teşhis, inşaat sektörü, sanayi sektörü ve su altı görüntüleme alanı verilebilir (Radke ve diğ., 2005). Radke ve arkadaşları çalışmalarında aynı zamanda görüntü işleme camiası içerisinde hangi alanda uygulanmış olursa olsun değişiklik tespitinde kullanılan yaygın ortak adımları ve yöntemleri belirtmektedirler. Değişiklik tespiti gerçekleştirilmeden önce karşılaştırılacak iki görüntü arasında önemsiz farkları yok etmek adına geometrik ve radyometrik (renk değeri) işlemler gerçekleştirilmelidir. Geometrik işlemlerin en önemlisi ve gereklisi yukarıda bahsedilen görüntülerin aynı koordinat düzleminde yer alması adına yapılan görüntü kayıt işlemidir. Radyometrik işlemler ise görüntüler arasındaki aydınlanma koşullarından kaynaklanan farkları gidermek için yapılmaktadır. Değişiklik tespiti metotları ise görüntüler arasında çıkarma işlemi

yapmak, görüntüler arasındaki oranı hesaplamak, görüntü pikselleri arasında hem uzamsal hem zamansal ilişkiyi tahmin etmek, arka plan modellemesi yaparak değişiklikleri tespit etmek olarak verilmektedir (Radke ve diğ., 2005).

Uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen görüntülerde kullanılan değişiklik tespiti algoritmalarının piksel tabanlı ve nesne tabanlı olarak sınıflandırılmaları yapılabilmektedir (Hussain ve diğ., 2013). Piksel tabanlı yöntemlerin yanında nesne tabanlı yöntemlerin gelişmesine sebep nesnelerin piksellere göre daha fazla anlam ifade etmesindedir çünkü bir görüntüde bir piksel gerçek hayata dair bir anlam ifade etmemekte sadece bir renk değerini ifade etmektedir fakat bir nesne ise (görüntüdeki bir bina, bir araç, arka plan, toprak bölümleri vs. olabilir) görüntü alınan sahneye dair gerçek bir anlam ifade edebilmektedir. Hussain ve arkadaşları tarafından yapılan sınıflandırma aşağıdaki tablodaki gibidir.

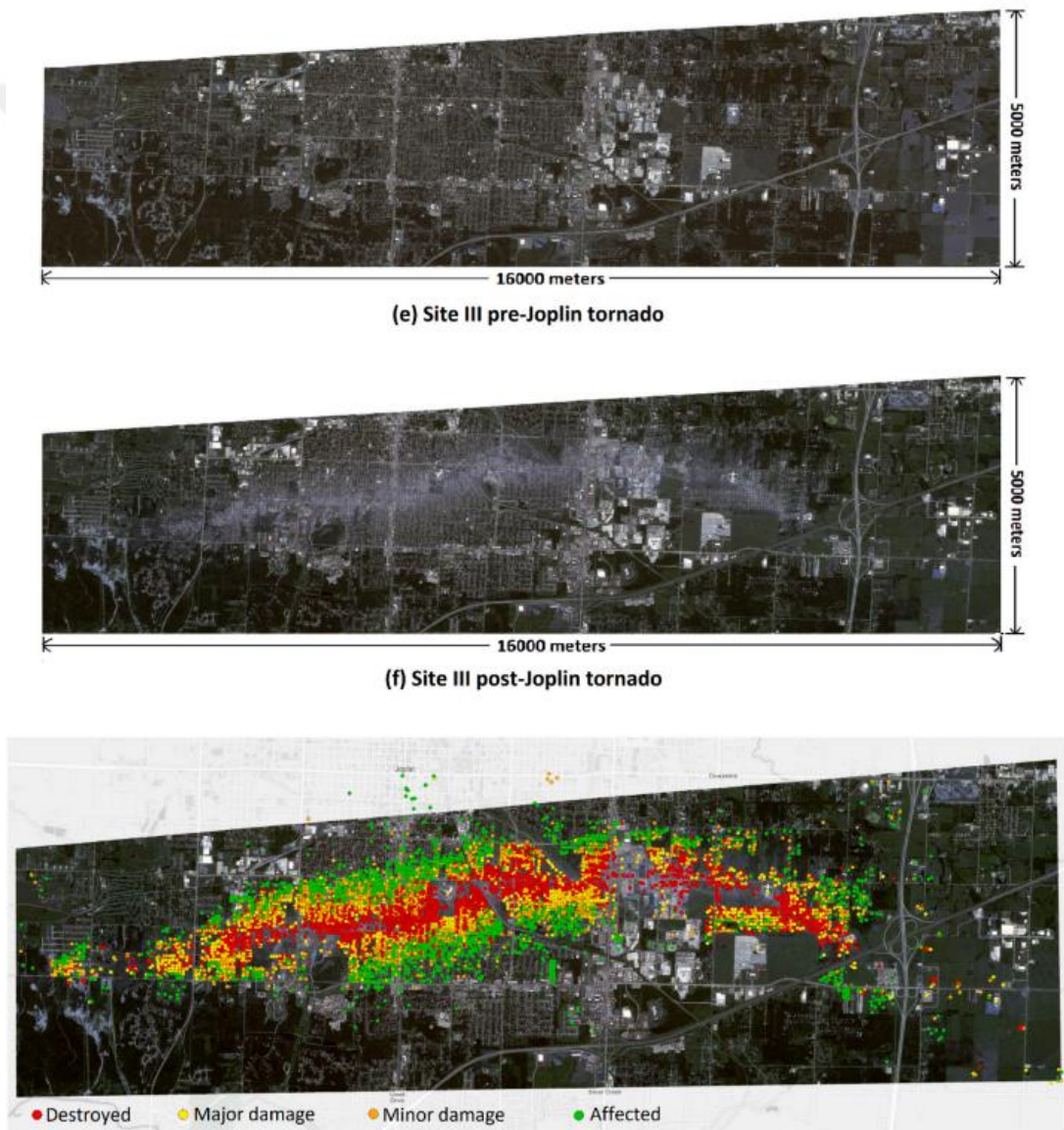
Tablo 1.1: Piksel ve Nesne Tabanlı Değişiklik Tespiti Yöntemleri ve Kullanım Alanları.

Üst Sınıf	Alt Sınıf	Yöntem	Avantajlar	Kullanım Örnekleri
<i>Piksel Tabanlı</i>	<i>Doğrudan Karşılaştırma</i>	Görüntü Çıkarma İşlemi	Kullanımı ve sonuç yorumlaması kolay	Şehirleşmede meydana gelen değişikliklerin tespiti (Quarnby ve Cushnie, 1989), Ormanlık arazi değişiminde meydana gelen değişiklikler (Coppin ve Bauer, 1996)
		Görüntü Oranlama	Aydınlanma koşullarından kaynaklanan hatalara karşı dayanıklı	Landsat görüntülerinden çevre değişikliklerinin tespiti (Howarth ve Wickware, 1981)
		Regresyon Analizi	Farklı tarihlerdeki görüntülerin ortalama ve varyans değişikliklerine karşı dayanıklı	Ormanlık arazilerin azalmasına yönelik değişiklik tespiti (Ludeke ve diğ., 1990; Singh, 1986)
	<i>Görüntüden Dönüşüm</i>	Bitki Örtüsü Endeksi	Toprak değişimine karşı dayanıklı	Ormanlık arazi bitki örtüsünde değişiklik tespiti (Wilson ve Sader, 2002)

		Değişim Vektörü Analizi	Farklı spektral bantlarda değişiklik tespiti yapabilme	Doğal afet sonucu meydana gelen değişiklik tespiti (Bayarjargal, 2006)
		Temel Bileşenler Analizi	Tekrarlayan veri boyutunu azaltma	Yangın sonrası bitki örtüsünün tekrar canlanmasının analizi (Richards, 1984)
		Püsküllü Başlık Dönüşümü	Sahneden bağımsız hesaplama yapabilme	Bitki örtüsündeki değişimin tespit edilmesi (Rogan ve diğ., 2002)
		Tekstür Analizi	Görüntü piksellerinin dağılımına yönelik istatistiksel bilgi verme	Şehirlerde meydana gelen felaketlerin etkisinin incelenmesi (Tomowski ve diğ., 2011)
	<i>Sınıflandırma Temelli</i>	Sınıflandırma Sonrası Kıyaslama	Atmosferden ve sensörden kaynaklı hataları indirgeme ve bütün değişiklik matrisi sağlama	Çarpık kentleşmelerin analiz edilmesi (Ji ve diğ., 2006)
		Çoklu Tarih Doğrudan Kıyaslama	Farklı zamanlara ait görüntüler için tek sınıflandırma yapılması	Arazi kullanımının incelenmesi (Lunetta ve diğ., 2006)
	<i>Makine Öğrenmesi</i>	Yapay Sinir Ağları	Öğrenebilme ve eğitim verisine bağlı olarak veri özelliklerini çıkarabilme	Ormanlık arazi değişiklik tespiti (Woodcock ve diğ., 2001), Şehirleşme değişiklik tespiti (Pijanowski ve diğ., 2005)
		Destek Vektör Makinesi	Küçük eğitim setlerinde çalışabilme ve geleneksel metotlara göre daha doğru sınıflandırma sonuçları verme	Ormanlık arazi değişiklik tespiti (Huang ve diğ., 2008)
		Karar Ağacı	'Değişim var' ve 'Değişim Yok' sınıflandırmasına	Arazi değişim tespiti (Im ve Jensen, 2005)

			yönelik karar oluşturabilme	
	<i>Coğrafi Bilgi Sistemleri</i>	CBS Entegrasyonu	Coğrafi bilgi sistemleri özelliklerinden yararlanabilme	Arazi kullanım koşullarında meydana gelen değişikliklerin tespiti (Pijanowski ve diğ., 2002)
	<i>Gelişmiş Metotlar</i>	Spektral Karışım Analizi	Farklı arazi kullanımlarına yönelik eşik değeri belirleyebilme	Yangın sonrası bitki örtüsünün tekrar yetişmesinin analizi (Solans Vila ve Barbosa, 2010)
		Fuzzy Değişiklik Tespiti	İstatistiksel sınıflandırma kabiliyeti	Topografik harita düzenlemesi (Metternicht, 1999)
		Multi-sensör Veri Füzyonu	Farklı sensör verilerinden faydalanarak farklı nesnelere oluşturabilme	Arazi kullanım değişikliği tespiti (Deng ve diğ., 2008)
<i>Nesne Tabanlı</i>	<i>Doğrudan Nesne Kıyaslama</i>	İki görüntüden çıkarılan nesnelere kıyaslanması	Görüntü nesnelere aynı geometrik özelliklere sahip olması ve yöntemin uygulanmasının kolay olması	Siyah beyaz görüntü çiftlerinde değişiklik tespiti (Miller ve diğ., 2005)
	<i>Nesne Sınıflandırma Tabanlı</i>	Nesne tabanlı segmentasyon yapılarak kıyaslama	Geometrik ve topografik değişikliklerin tespitine olanak sağlama	Ormanlık arazi değişiklik tespiti (Desclee ve diğ., 2006)
	<i>Çoklu Zamansal Nesne Kıyaslama</i>	Farklı zamanlara ait görüntü nesnelere birleştirilmesi	Çoklu görüntülere yönelik tek bir segmentasyon yapabilme ve veriler arasında ilişki kurabilme	Zaman-uzamsal değişikliklerin tespiti (Boulila ve diğ., 2011)

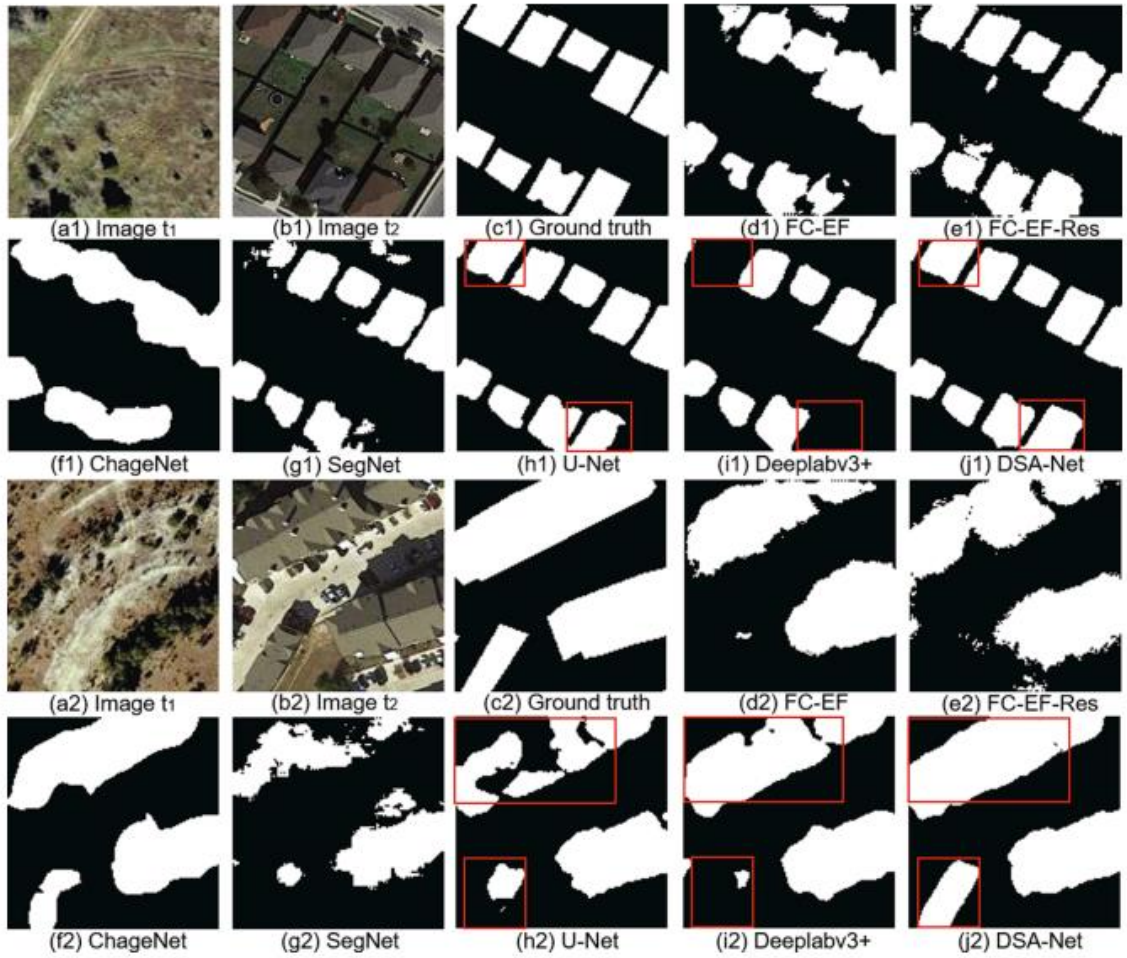
Yapay zekâ ve derin öğrenme tekniklerinin gelişmesi ile bu yöntemler vasıtası ile de değişiklik tespiti yapılması yaygınlaşmaya başlamış olup denetimli, denetimsiz ve aktarım öğrenimli metotlar olarak sınıflandırılmaktadır (Khelifi ve Mignotte, 2020). Derin öğrenme ve nesne tabanlı geliştirilen bir yöntem ile yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinde fırtına öncesi ve sonrası hasarların tespit edilmesi amacıyla bir değişiklik tespiti uygulanmış ve geleneksel metotlar ile kıyaslanması yapılmıştır (Liu ve diğ., 2021). Geliştirilen yöntem 2011 yılında ABD’de meydana gelen Joplin fırtınasının etkisini incelemek üzere denenmiş olup sonuçları aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 1.11: Fırtına Öncesi ve Sonrasına ait Görüntüler ve Aralarındaki Değişikliklerin Tespiti.

Yukarıdaki şekilde kırmızı rengi tamamen yıkılmış, sarı rengi yüksek hasar, turuncu rengi düşük hasar, yeşil rengi ise düşük etkilenmeyi göstermektedir.

Aşağıdaki şekilde şehirleşme kapsamında uygulanan değişiklik tespitine yönelik geliştirilen bir başka sinir ağının diğer ağlar ile karşılaştırmalı sonuçları gösterilmektedir. DSA-Net çalışma kapsamında geliştirilen sinir ağı olup sonuçlarındaki hassasiyet ve doğruluğu göstermek adına diğer ağlar ile karşılaştırılma sonuçları kırmızı kutucuklar ile işaretlenmiştir (Ding ve diğ., 2021).

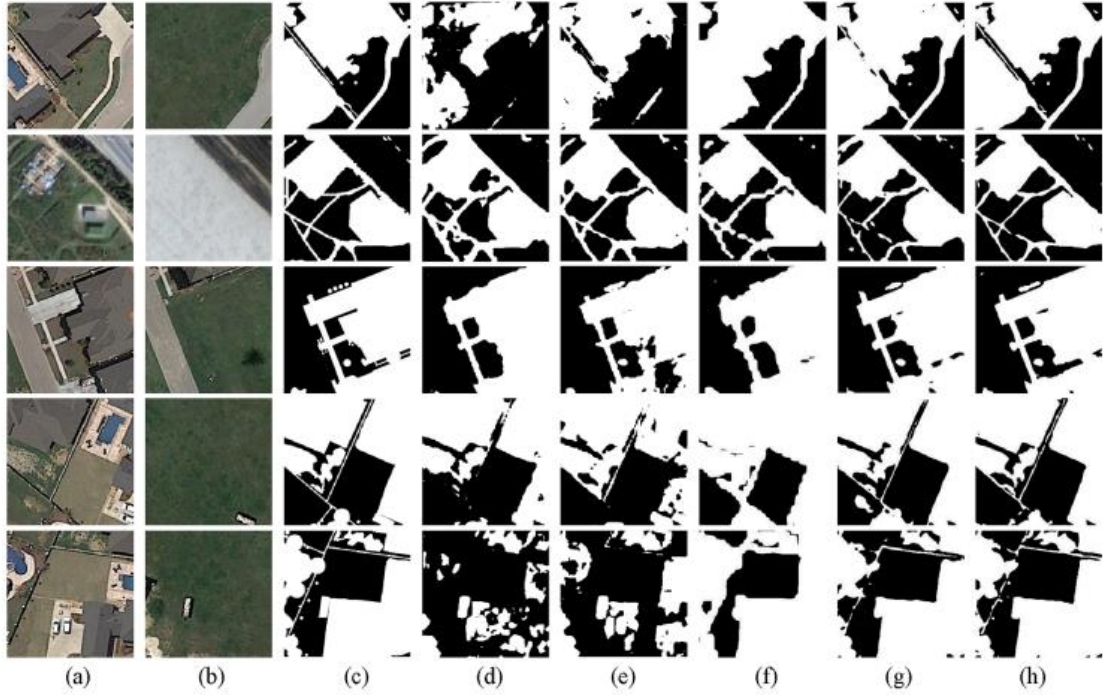


Şekil 1.12: İki Farklı Zamanda Alınmış Görüntüler Arasındaki Değişikliklerin Karşılaştırılmalı Sonuçları.

Ding, Q., Shao, Z., Huang, X., & Altan, O. (2021).

Evrişimsel sinir ağlarının değişiklik tespitinde kullanım avantajları olmasına rağmen sınırlı öznetelik çıkarımı, veri kaybı, evrişim kernelinin etkisi gibi bazı zorlaştırıcı etkenlere de sahiptir. Bu etkilerin azaltılmasına yönelik olarak da çalışmalar yapılmakta olup bir çalışmada yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinde uygulanmak üzere yeni bir sinir ağı geliştirilmiştir (Cheng ve diğ., 2021). Kendi geliştirdikleri sinir

ağının sonuçları ve farklı ağların sonuçları ile kıyaslandırılması aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 1.13: Seçilen Bir Veri Seti Üzerindeki Sonuçlar.

Cheng, H., Wu, H., Zheng, J., Qi, K., & Liu, W. (2021).

Yukarıdaki şekildeki sütun açıklamaları sırasıyla şu aşağıdaki gibidir.

A: Sonraki zamana ait görüntüler. B: Önceki zamana ait görüntüler. C: Gerçek değişiklik maskesi. D: Basit uzay-zamansal model sonucu. E: Piramit uzay-zamansal model sonucu. F: DASNet sinir ağı sonucu. G: Çalışma

1.3. Değerlendirme

Görüleceği üzere değişiklik tespiti algoritmaları sıklıkla şehirleşme analizlerinde, toprak ve bitki örtüsü analizinde, doğal afetlerin yol açtığı sonuçların analizinde, ormanlık ve tarımsal arazilerin kullanım ve değişim analizlerinde kullanılmaktadır. EYP'lerin tespitine yönelik birçok disiplinde birbirinden farklı çalışmalar yapılmaktadır. Doğal olarak bahsedilen her çalışmanın kendi şartları dahilinde avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Değişiklik tespiti EYP ile mücadele kapsamında fazlaca denenmemiş bir metot olup bu kapsamda yapılan bir adet çalışma bulunmuştur. EYP ile mücadelede keşif gözetleme yapan personel bahsedildiği üzere sıklıkla göz ile emare tespit etmeye çalışmaktadır. Burada ya doğrudan emare olabilecek nesnelere

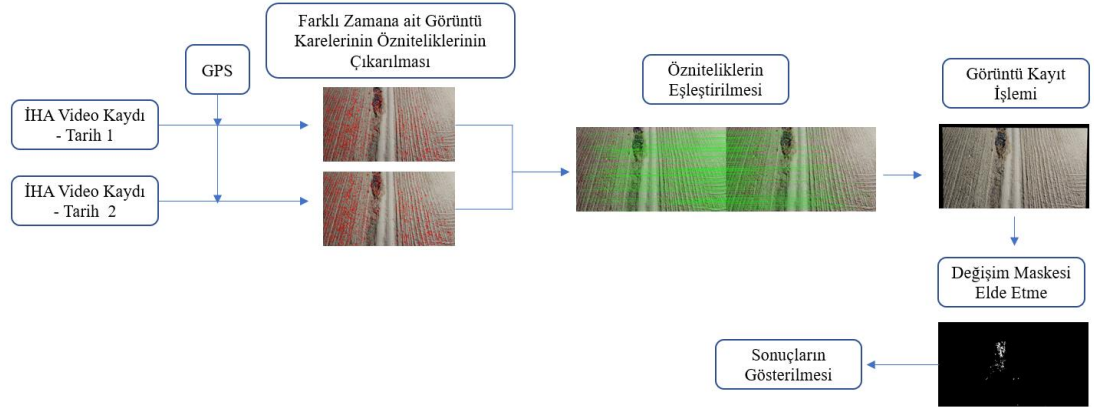
değerlendirilmekte ya da EYP yerleşimi sonucu çevrede meydana gelebilecek değişiklikler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla değişiklik tespiti yöntemlerinin EYP emarelerinin ve muhtemel yerleşim yerlerinin tespit edilmesinde faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Değişiklik tespiti yöntemi ile EYP düzeneğinin kendisinden ziyade emarelerinin tespitine yönelik bulunan tek çalışmada araç konvoyunda araç üstü görüntüleme ile değişiklik tespiti gerçekleştirilmiştir fakat bu çalışmada gerçek emarelerin tespiti değil, yola yerleştirilen yapay nesne üzerinde sistem test edilmiştir.

Bu tez çalışmasında EYP emarelerinin ve böylece muhtemel EYP yerleşim yerlerinin tespit edilmesine yönelik olarak bir değişiklik tespiti sistemi geliştirilecek olup farklı olarak görüntüler havadan insansız hava aracı vasıtası ile alınacak ve seçilen güzergâh üzerinde emareler ile gömülü nesne tespit edilmeye çalışılacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında sunulan sistem temel olarak üç adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda seçilen güzergahın farklı zamanlara ait görüntüleri alınmakta ve konum verilerinden de faydalanılarak aynı konuma ait görüntü kare çiftleri elde edilmektedir. İkinci adımda, seçilmiş olan görüntü karelerinin öznitelikleri çıkarılmakta, iki görüntünün öznitelikleri eşleştirilmekte ve bu eşleşme neticesinde ikinci zamana ait görüntü birinci zamana ait görüntü ile aynı koordinat düzlemine oturtulmaktadır. Son adımda ise birbiri ile eşleşmiş olan iki görüntü karesi arasındaki değişiklikler tespit edilmekte ve böylece değişim maskesi elde edilmektedir. Nihai olarak maskede görülen değişiklikler kullanıcıya gösterilmektedir. Sistemin mimarisi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Sistem Mimarisi

2.1. Materyal

İlgili çalışma için elde edilen görüntüler DJI Mini 2 marka İHA vasıtası ile elde edilmiştir. Belirlenen güzergâh üzerinde emareler oluşturulduktan sonrası ve öncesine dair toplamda 14 uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşlarda İHA yüksekliği ve İHA kamerasının yere bakış açısı değiştirilmiş ve değişiklik tespiti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uçuşlar aşağıdaki şartlarda gerçekleştirilmiştir:

- 10 metre yükseklikten ve İHA kamera açısı 0 derece (yere dik bakan),
- 10 metre yükseklikten ve İHA kamera açısı 15 derece,
- 10 metre yükseklikten ve İHA kamera açısı 30 derece,
- 15 metre yükseklikten ve İHA kamera açısı 0 derece,
- 15 metre yükseklikten ve İHA kamera açısı 15 derece,
- 15 metre yükseklikten ve İHA kamera açısı 30 derece,
- 20 metre yükseklikten ve İHA kamera açısı 0 derece.

Uçuşlar birer gün ara ile gerçekleştirilmiş olup aynı saatlerde elde edilmeye çalışılmıştır. Bunun sebebi güneşin konumundan ve dolayısıyla gölgelerin konumundan ve yeryüzünün renk değişimlerinden olabildiğince az etkilenmeyi hedeflemektir.

Video kayıt esnasında İHA hızı 1 m/s olarak ayarlanmıştır. Güzergahın tamamını kayıt altına almak yaklaşık bir buçuk dakika sürmüştür. Video kayıt kalitesinin 2.7 K çözünürlük ve 60 FPS olarak ayarlanmasının sebebi ise olabildiğince fazla detaya sahip olabilmektir.

Video kayıtları elde edildikten sonra bilgisayara aktarılmış ve algoritmanın koşulması ile sonuçlar elde edilmiştir. Gerçek zamanlı bir uygulama bu çalışmada gerçekleştirilmemiştir.

Algoritmanın kodlanması için MATLAB R2022b programı ve ayrıca Python programlama dili ve açık kaynak kütüphaneleri kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda ise kullanılan bilgisayar ve İHA'nın özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1: Çalışmada Kullanılan Bilgisayar ve İHA Özellikleri

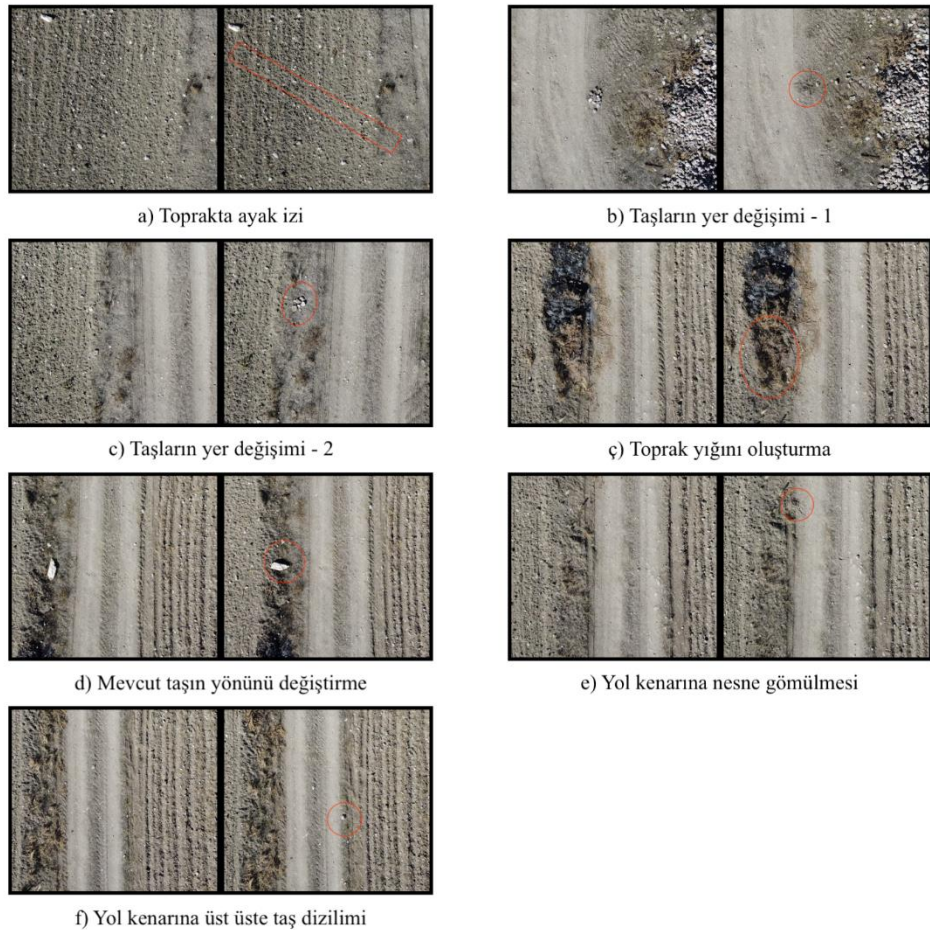
Bilgisayar Özellikleri	
İşletim Sistemi	Windows 10 Pro 64-bit
Hafıza (RAM)	16 GB
Sabit Disk	512 GB SSD
İşlemci	AMD Ryzen 7 5800H
Ekran Kartı	Nvidia Geforce RTX 3060 Laptop GPU
İHA Özellikleri	
Marka/Model	DJI Mini 2
Ağırlık	249 gr
Maks. Uçuş Süresi	31 dk.
Navigasyon Sistemi	GPS + GLONASS + GALILEO
Kamera	1/2.3" CMOS sensör 12 MP çözünürlük 83° görüş alanı

Tasarlanan sistem mimarisi kapsamında kullanıcı seçtiği güzergâh üzerinde İHA uçurarak video kaydı almaktadır. İki zamana ait video kayıtları elde edildikten sonra iki kayıttan da GPS verileri yardımıyla iki uçuşun görüntü kareleri (frame) konum bilgilerine göre sınıflandırılarak saklanmaktadır. Tasarlanan program kapsamında sınıflandırılmış görüntü kareleri içerisinde en iyi eşleşen kareler seçilmektedir. Bu adımda uçuş hızına bağlı olarak taranan alan içerisine düşen kareler incelenmiş ve seçim esnasında atlanması gereken kareler el ile belirlenmiştir. Her konum noktasına ait görüntü kare çiftleri belirlendikten sonra değişiklik tespiti uygulaması çalıştırılmakta ve sonuçlar görüntü üzerine basılarak kullanıcı dostu bir biçimde gösterilmektedir. Üzerinde herhangi bir işlem yapılmamış ham değişim maskesi sonradan incelenebilmesi adına da saklanmaktadır.

Giriş kısmında EYP emarelerinden bahsedilmiş bulunmaktadır. Çalışmada iki tarla arasındaki bir toprak yol hedef güzergâh olarak seçilmiş olup çeşitli emareler oluşturulmuştur. Oluşturulan emareler sırasıyla şu şekildedir:

- Yol kenarında yer alan taşların bir kısmı bir araya getirilmiş ve ikinci uç için bu taşların yeri bozulmuştur.
- Yolun yanında yer alan tarlada ayak izleri oluşturulmuştur.
- Yol kenarına yaklaşık 20 cm derinliğe nesne gömülmüştür.
- Yol kenarında yer alan toprak yığınının tümseği bozulmuş ve etrafa yayılmıştır.
- Yol kenarında yer alan büyükçe bir taş döndürülerek yönü değiştirilmiştir.
- Yol kenarında yer alan ufak taşlar üst üste konulmuştur.

İlgili emarelerin görünüşü aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.2: Oluşturulan Emareler ve İşaretlenmesi.

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem ile bu emarelerin tespit edilmesi hedeflenmiş ve bu esnada hatalı tespit oranı en düşük seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Seçilen güzergahın genel görünüşü ve işaretli emareler ise aşağıdaki şekilde bütüncül bir biçimde gösterilmiştir.





Şekil 2.3: Seçilen Güzergâh ve Emare Konumları.

2.2. Sistem Tasarımı

Bir değişiklik tespiti sistemi geliştirmenin uygulama ne olursa olsun ortak temel adımları vardır. Birçok zaman herhangi bir işlem uygulanmadan önce görüntüler üzerinde ön işleme gerçekleştirilebilmektedir. Bunun sebebi dış dünya koşullarının gerçekleştirilecek uygulama üzerinde olan etkilerini en aza indirmektedir. Ön işleme yöntemlerine örnek olarak gölge çıkarımı, histogram eşitleme gösterilebilir. Bu yöntemler ile atmosfer koşullarının, ışıklandırmadaki farklılıkların giderilmesi hedeflenmektedir. Bu tez çalışmasında görüntüler birer gün ara ile ve gün içerisinde birbirine yakın saatlerde elde edildiğinden dolayı gerek görüntüdeki renk koşulları gerek gölgelerin konumları arasında ciddi farklılıklar oluşmamıştır. Dolayısıyla ön işleme yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

Ön işleme adımları sonrası farklı zamanlarda çekilmiş olan görüntülerin aynı koordinat düzlemine oturtulması gerekmektedir. Bu işlem, literatür kısmında bahsedildiği üzere öznitelik çıkarımı ve eşitirilmesi ile yapılmaktadır. İlerleyen kısımlarda bu çalışmada kullanılan yöntem detaylandırılacaktır. Gerçek dünyada aynı bölgeye bakan ve aynı koordinat düzlemine oturan görüntülerin elde edilmesinin ardından değişiklik tespiti gerçekleştirilebilir. Değişiklik tespiti yöntemlerinden literatür taramasında bahsedilmiştir. Bu çalışmada görüntü farkı alma yöntemi kullanılmış ve istenilen sonuçlar elde edilebilmiştir. Görüntü farkı yönteminin uygulanmasının ardından iki görüntü arasındaki farkları gösteren değişiklik maskesi elde edilmektedir.

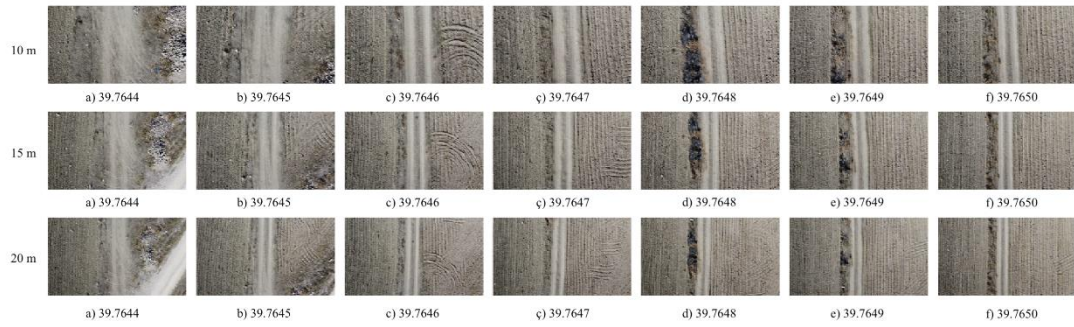
Değişiklik maskesinde her ne kadar farklar gösterilse de istenmeyen birçok fark, görüntü ve görüntü kayıt işleminden veya ortam koşullarından kaynaklı hatalar da elde edilmektedir. Bundan dolayı hem bu istenmeyen değişikliklerin ve hataların giderilmesi hem de en uygun sonuçların kullanıcı dostu bir şekilde gösterilmesi gerekmektedir.

2.2.1. Görüntülerin Elde Edilmesi

Görüntüler İHA vasıtası ile 2.7K çözünürlükte ve 60 FPS video kaydı olarak elde edilmiştir. Çözünürlüğün yüksek olarak seşitilmesinin sebebi görüntü alınan bölgeden olabildiğince fazla ayrıntı elde edebilmektir. Saniyedeki kare hızınının 60 olarak seşitilmesi ise görüntü karelerinin geçişlerinde bulanıklık gibi sorunların olmaması

içindedir. Görüntüler elde edildikten sonra video kayıtları, işlem yükünü azaltma amacıyla 20 FPS olacak şekilde düzenlenmiştir.

Video kayıtları GPS verilerinden elde edilen konum değerlerinin boylam değerlerine bağlı olarak sınıflandırılarak ayrılmıştır. Seçilen güzergahın uzunluğuna bağlı olarak GPS verilerine göre sekiz farklı konum noktası oluşmuştur. İHA hızı 1 m/s olarak görüntüler elde edildiğinden dolayı aynı bölgeden çok fazla görüntü karesi elde edilmiştir. Buna bağlı olarak konum noktalarına göre sınıflandırma yapıldıktan sonra peş peşe birçok kare silinmiştir. Sonuç olarak iki zamanda ait video kayıtlarında sekiz konum noktası ve toplamda yaklaşık 30 görüntü kare çifti çıkarılmıştır.

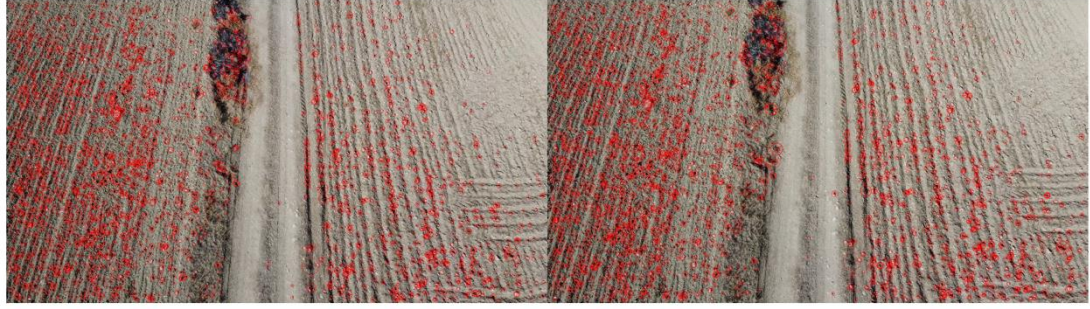


Şekil 2.4: Konuma Göre Sınıflandırılmış Görüntü Örnekleri (Sınıflandırma konum koordinatlarının boylam değerlerine göre yapılmıştır).

2.2.2. Görüntü Kayıt İşlemi

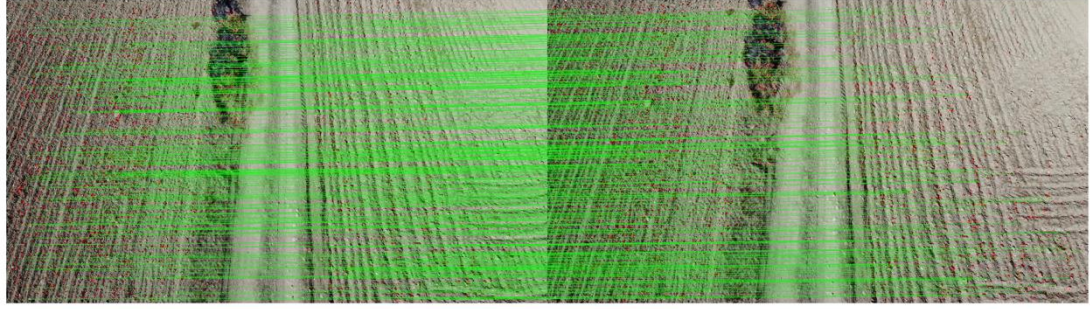
Aynı bölgelere bakan görüntü karesi çiftleri elde edildikten sonra aralarındaki değişiklikleri tespit edebilmek için görüntülerin aynı koordinat düzlemine oturtulması böylece iki görüntüde yer alan aynı piksellerin dış dünyadaki sahnede aynı noktaya gelmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için görüntü kayıt işlemi yapılmaktadır.

Görüntü kayıt işlemi görüntü üzerindeki özniteliklerin bulunması ve iki görüntüde tespit edilen öznitelikler arasındaki eşleşmelerin tespit edilmesi ile yapılmaktadır. İki görüntü üzerinde eşleşme yapıldıktan sonra hesaplanan homografi matrisi ile ikinci görüntü birinci görüntünün düzlemine oturtulmaktadır. Bu çalışmada görüntü kayıt işlemi için Bay, Tuytelaars ve van Gool tarafından geliştirilen SURF algoritması kullanılmıştır (2006). Aşağıdaki şekilde örnek görüntüler üzerinde tespit edilen öznitelikler, özniteliklerin birbiri ile eşleşmesi ve sonuç olarak ikinci görüntünün birinci görüntü düzlemine oturtulmuş hali gösterilmektedir.



a) 1. Zamana ait görüntü karesi öznelikleri

b) 2. Zamana ait görüntü karesi öznelikleri



c) Özneliklerin eşleştirilmesi



ç) 2. görüntü karesinin 1. görüntü karesi düzlemine oturtulması

Şekil 2.5: Örnek İki Kare Üzerinde SURF Özneliklerinin Çıkarımı, Eşleştirilmesi ve Görüntü Kayıt İşlemi.

Görüntü dönüşümünü gerçekleştirmek için tek bir homografi matrisi kullanıldığından dolayı dönüşümden kaynaklı hatalar meydana gelmektedir. Özellikle görüntünün kenarlarında ve köşelerinde meydana gelen yanlış dönüşüm değişiklik maskesine doğrudan farklılık olarak yansımaktadır çünkü köşeler ve kenarlar iki görüntü arasında aynı şekilde tek düzleme oturmamaktadır.

2.2.3. Değişiklik Maskesinin Elde Edilmesi

İşleme alınacak iki görüntü karesi aynı koordinat düzlemine oturtulduktan sonra değişiklik tespiti gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada görüntü farkı metodu ile değişiklik tespiti gerçekleştirilmektedir. Basit bir çıkarma yöntemi, renkli görüntüler gri seviye görüntüye dönüştürülerek gerçekleştirilmektedir. Renkli görüntüleri gri seviye görüntüye çevirmekten ziyade her renk bandında çıkarma işlemi gerçekleştirilmesinin ve her piksel için üç bant çıkarma sonuçlarından en yüksek olanı seçmenin kontrastı yüksek değişiklikler için daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir (van de Wouw ve diğ., 2014). Dolayısıyla bu çalışmada da her renk bandında görüntü farkı alınmıştır. Aşağıda belirtilen çıkarma işlemi formülü verilmiş olup I_2 , ikinci zamana ait görüntüyü, I_1 , birinci zamana ait görüntüyü M ise değişiklik maskesini ifade etmektedir.

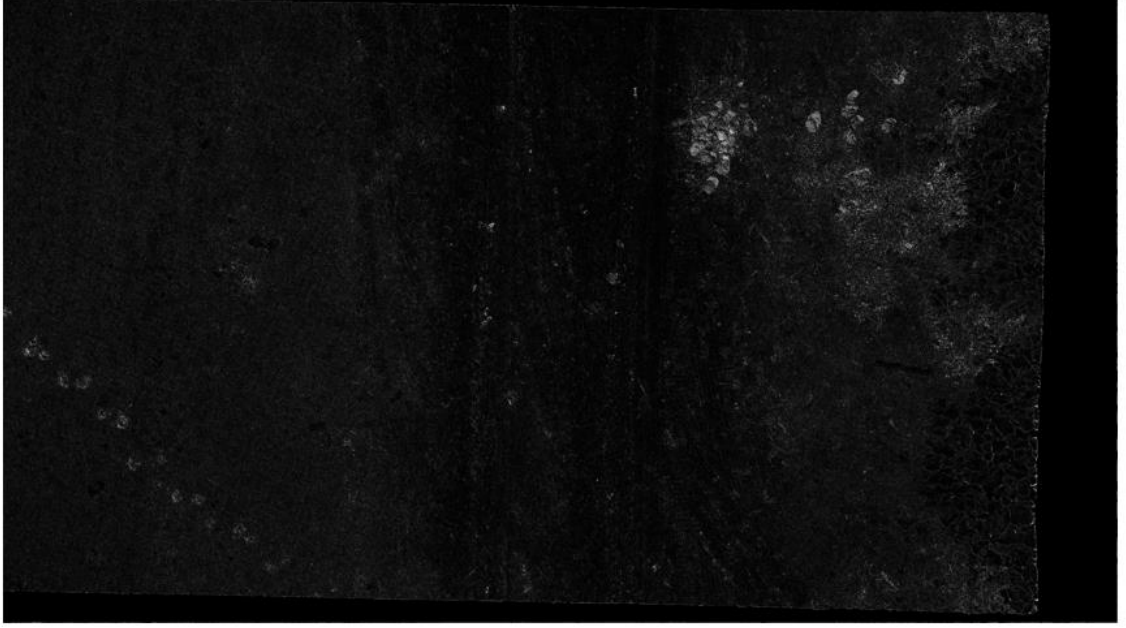
$$M(x, y) = \max (I_2(x, y, :) - I_1(x, y, :)) \quad (2.1)$$

Görüntü kareleri arasında bu şekilde çıkarma işlemi gerçekleştirdikten sonra değişiklikler görülebilmektedir fakat bu sonuç içerisinde birçok istenmeyen tespitler ve hatalar da yer almaktadır. Bu hatalar görüntü kayıt işlemi esnasında birbirini üzerine tam oturmeyen piksellerden kaynaklı olabileceği gibi kamera çekim farklılıklarından, atmosfer koşullarından, ışık ve gölge koşullarından kaynaklı da olabilmektedir. Aşağıdaki şekilde üzerinde hiçbir işlem gerçekleştirilmemiş bir değişiklik maskesi gösterilmektedir.



a) 1. Zamana ait görüntü karesi

b) 2. Zamana ait görüntü karesi



c) Oynanmamış değişiklik maskesi

Şekil 2.6: Oynanmamış Değişiklik Maskesine Örnek

Görüleceği üzere bu değişiklik maskesi her ne kadar sahnede meydana gelmiş olan değişiklikler ile alakalı bilgi verse de (sol alt köşeye yakın ayak izleri, sağ üst tarafta taşların değişimi gibi) maskenin büyük bir alanı bulanık ve düşük piksel değerinde gözükmetedir. Ayrıca sahnede gerçek olarak oluşturulmuş emareler dışında da istenmeyen değişiklikler göze çarpmaktadır. Bunlar ya görüntü kayıt işleminden kaynaklanan üst üste tam oturmayan piksellerden kaynaklı değişiklikler veya yolun kullanımı neticesinde gerçekten yeri değişmiş küçük taş ve çakıllardan kaynaklı olup tespiti istenmeyen değişikliklerdir. Böylesi durumlarda yapılması gereken işlem bir eşik değeri belirleyerek değişiklik maskesinde belirlenen eşik değerinin üstündeki piksel değerlerini kabul edip altında kalan piksel değerlerini ise kabul etmemektir. Eşik değeri atama işleminden önce ise maskedeki gürültüyü azaltmak adına maske filtreleme yöntemi ile maske belirli bir seviye bulanıklaştırılmıştır. Bulanıklaştırma

işlemi görüntüdeki keskinlikleri azaltmakta ve böylece eşik değerinin üstüne çıkabilecek pikselleri azaltmaktadır. Eşik değeri atama aşığıdaki formül ile gerçekleştirilmektedir.

$$M_{yeni} = M_{eski} > t \quad (2.2)$$

Burada önemli bir husus eşik değerinin belirlenmesidir. Yüksek bir eşik değeri hatalı veya istenmeyen tespitleri yüksek oranda ortadan kaldıracaktır fakat bununla birlikte tespiti güç olan ve piksel değeri küçük olan değişiklikleri de yeni maskeye dahil etmeyecektir. Küçük bir eşik değeri ise bu değişiklikleri maskeye dahil edecek fakat bununla birlikte hataları, gürültüyü veya istenmeyen değişiklikleri de alacaktır. Eşik değeri atama aşamasında çoğu zaman uygulamaya bağlı olarak deneme yanılma yöntemiyle istenen en uygun seviye tespit edilmektedir. Bu çalışmada eşik değeri el ile atanmış olup temel bir başlangıç seviyesi belirlenmesi açısından OTSU algoritması kullanılmıştır.

OTSU yöntemi gri seviye görüntüler üzerinde uygulanan ve görüntü içerisindeki arka planı ve ön planı çıkarmak için kullanılan bir yöntemdir. Bizim durumumuzda değişiklik maskesinde arka plan ‘değişiklik yok’, ön plan ise ‘değişiklik var’ durumlarını ifade eden pikseller olmaktadır. Arka plan ve ön plan sınıfları, eşik değerinin 1’den başlayarak tek tek atanması ve görüntü histogramı üzerinden sınıf varyanslarının çıkarılması sonucu sınıflar arası varyansın en büyük olduğu değerin bulunmasıyla belirlenir. Aşığıdaki formüller ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_w^2 = \omega_0(t)\sigma_0^2(t) + \omega_1(t)\sigma_1^2(t)$$

$$\omega_0(t) = \sum_{i=0}^{t-1} p(i)$$

$$\omega_1(t) = \sum_{i=t}^{255} p(i)$$

$$\omega_0 + \omega_1 = 1$$

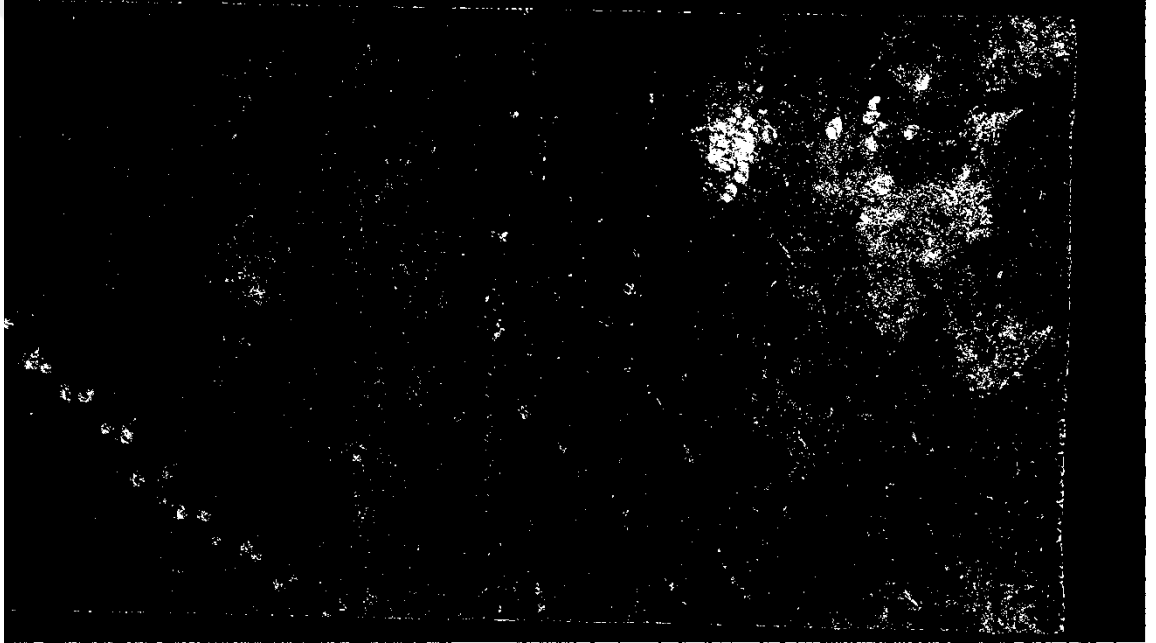
$$\mu_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} ip(i)}{\omega_0(t)}$$

$$\mu_1(t) = \frac{\sum_{i=t}^{255} ip(i)}{\omega_1(t)}$$

$$\sigma_b^2 = \omega_0(t)\omega_1(t)[\mu_0(t) - \mu_1(t)]^2 \quad (2.3)$$

Burada ω_0 ve ω_1 , t eşik değeri ile atanan sınıfları, σ_0^2 ve σ_1^2 bu sınıfların varyanslarını, $\mu_0(t)$ ve $\mu_1(t)$ bu sınıfların ortalama değerlerini, σ_b^2 ise sınıflar arası varyansı ifade etmektedir ki amaç da bu sınıflar arası varyansı en yüksek yapan eşik değeri t'yi bulmaktır.

Eşik değerinin tespit edilmesinin ve uygulanmasının ardından siyah beyaz bir değişiklik maskesi elde edilmektedir. Her ne kadar maskeden istenen seviyenin altındaki değerler silinmiş olsa da hala noktasal veya küçük bölgesel hatalar ve istenmeyen tespitler kalmaktadır. Aşağıdaki şekilde buna örnek verilmiştir.

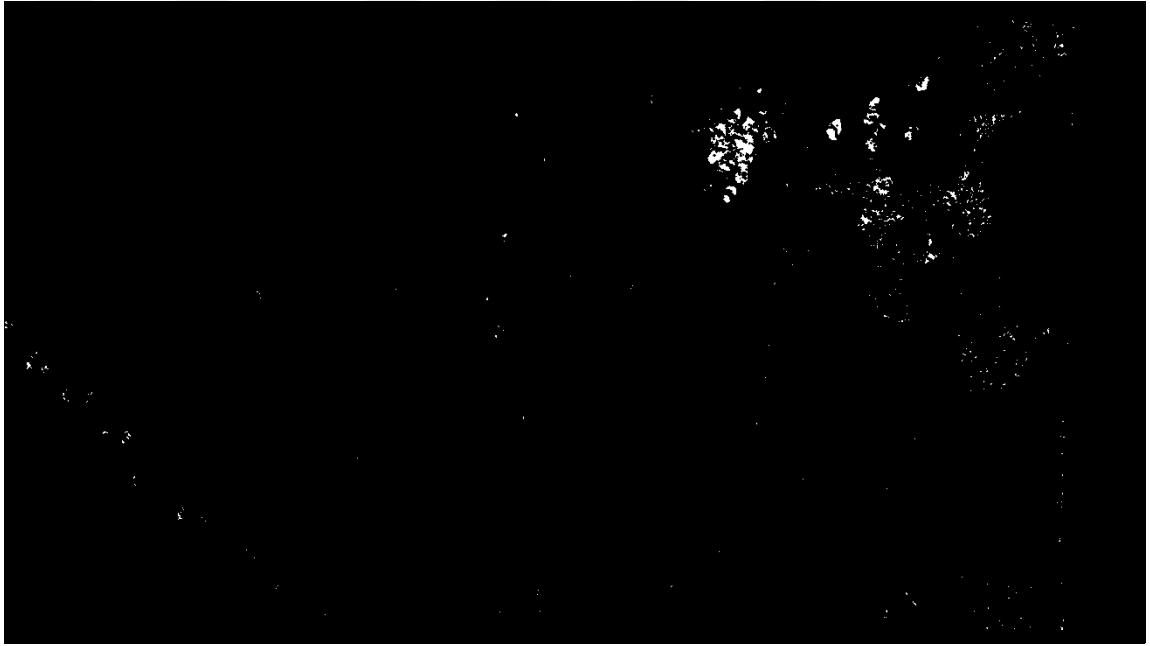


Şekil 2.7: Eşik Değeri Atanmış Değişiklik Maskesi

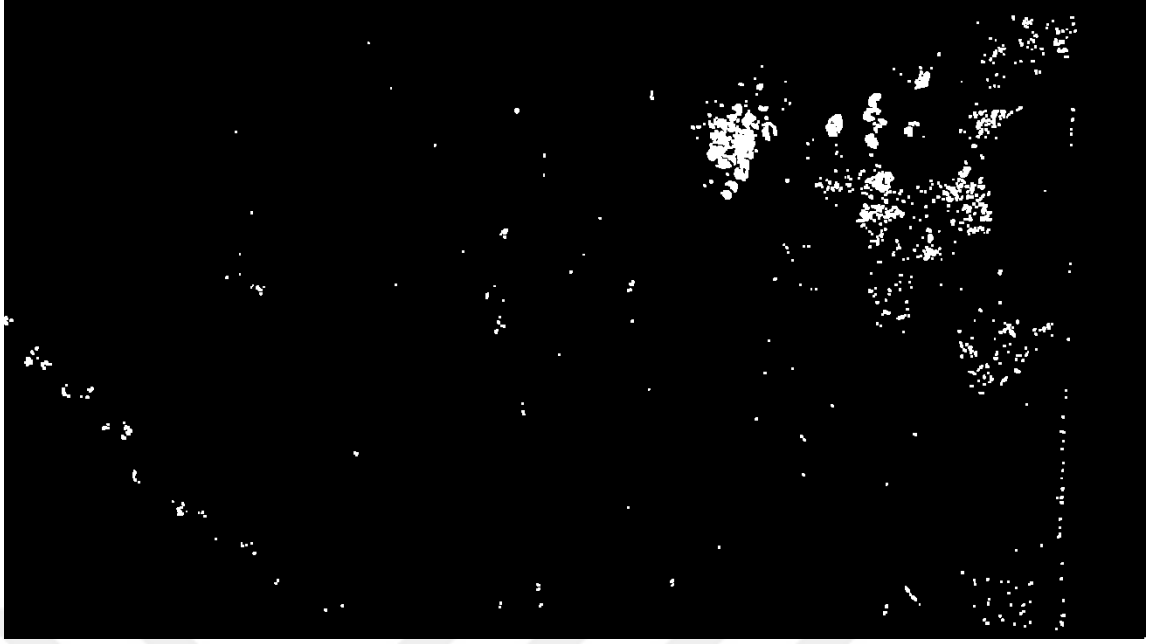
Görüldüğü üzere değişiklik maskesi daha temiz hale gelmiş olmasına rağmen halen düzeltme yapılması gerekmektedir ve bu esnada değişiklikler olabildiğince korunmaya çalışılmalıdır. Gerçek değişiklikler bu maske üzerinde görülebileceği gibi bölgesel olarak toplanmaktadır. Hatalar ise küçük bölgeler veya noktalar şeklinde görüntünün her yerine yayılmış bir biçimde kendini göstermektedir. Bu tarz noktalardan kurtulmak için görüntü üzerinde morfolojik operasyonlardan aşındırma ve genişletme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Morfolojik işlemler genellikle siyah beyaz görüntüler üzerinde gerçekleştirilen şekil tabanlı işlemlerdir. Belirlenen bir yapısal eleman ile (belirli boyutlarda görüntü

üzerinde gezdirilecek bir maske) görüntü taranmakta ve yapısal elemanın görüntü üzerindeki beyaz pikseller ile kısmi kesişme veya tam kesişme biçimlerine göre görüntüyü düzenleme işlemlerini kapsamaktadır. Bu işlemlerden aşındırma işlemi yapısal elemanın tam kesiştiği pikselleri görüntüde tutmakta, yalnızca kısmi kesiştiği pikselleri ise silmektedir. Genişletme işleminde ise bunun tersi olarak kısmi kesiştiği yerlerde yapısal elemanın kendisi de görüntüye dahil edilmekte böylece beyaz piksel bölgeleri daha geniş hale gelmektedir. Elimizdeki değişiklik maskesine önce aşındırma işlemi gerçekleştirilmiş olup böylece küçük bölgelerin ve noktaların maskeden çıkarılması sağlanmıştır. Bu işlem aynı zamanda gerçek değişiklik olan piksel bölgelerini de küçültmüş olduğundan sonrasında genişletme yapılarak değişiklik bölgeleri tekrar büyütülmüştür. Aşağıda bu adımlara örnek görüntüler verilmiştir.



Şekil 2.8: Aşındırma İşlemi Sonrası Değişiklik Maskesi.



Şekil 2.9: Genişletme İşlemi Sonrası Değişiklik Maskesi.

Görüldüğü üzere değişiklik maskesi gittikçe daha temiz hale gelmektedir. Bu durumda bu maskenin sonuç olarak kullanıcıya gösterilmesinden önce son bir adım olarak morfolojik işlemler sonrası hala hata olarak değerlendirilebilecek noktaların giderilmesi için beyaz piksel bölgelerinin alanları hesaplanmakta ve belirli bir alanın altındaki bölgeler sonuç olarak gösterilmemektedir. Alan değeri belirlenirken emarelerin mevcut yükseklikten çekilen görüntülerde kaç piksellik bir alana karşılık geldiği göz önünde bulundurulmuştur. Bu düzenleme sonrası değişiklik olarak elde kalan piksel bölgeleri uçuş görüntüsü üzerinde kırmızı kutu içerisine alınarak gösterilmektedir. Aşağıdaki şekilde bir sonuç görüntüsü örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Sonuçların Gösterilmesi.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Uçuş videolarından tüm güzergahı kaplayan görüntü kareleri elde edildikten sonra iki zamana ait kareler arasında geliştirilen değişiklik tespiti algoritması uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan emareler, sistemin çalışması sonucu hedeflendiği üzere tespit edilebilmiştir. Görüntü karesi üzerinde meydana gelen tespitler kırmızı kutucuk içerisine alınarak kullanıcıya gösterilmiştir. Her değişiklik, bölgesel olarak yoğun ise kutular birleştirilmiş ve büyütülmüştür. Performans değerlendirmesinde, her kutucuk, alanından bağımsız olarak tek bir tespit olarak değerlendirilmiştir. Doğru tespitlerin yanında hatalı tespitler de mevcuttur. Literatür taramasında incelenen değişiklik tespiti sistemlerinde gerçek şartlarda hatalı tespitlerin sıklıkla karşılaşılan bir durum olduğu görülmüştür.

3.1. Tespit Performansı

Sonuçların değerlendirilmesi, tespit edilen değişiklikler üzerinden ‘Doğru Pozitif (DP), ‘Yanlış Pozitif (YP) ve ‘Yanlış Negatif (YN) değerlerinin hesaplanması ile yapılmıştır. Burada DP değeri gerçekte değişiklik olup tespit edilen değişiklik oranını, YP değeri gerçekte değişiklik olmayıp değişiklik olarak gösterilen tespitlerin oranını ve YN değeri gerçekte değişiklik olup tespit edilemeyen değişiklikleri ifade etmektedir. Bu değerler ile sistemin duyarlılığı, kesinliği ve F1 puanı hesaplanmaktadır. Duyarlılık ve kesinlik değerleri ile bu değerlerin harmonik ortalaması olan F1 puanı aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır.

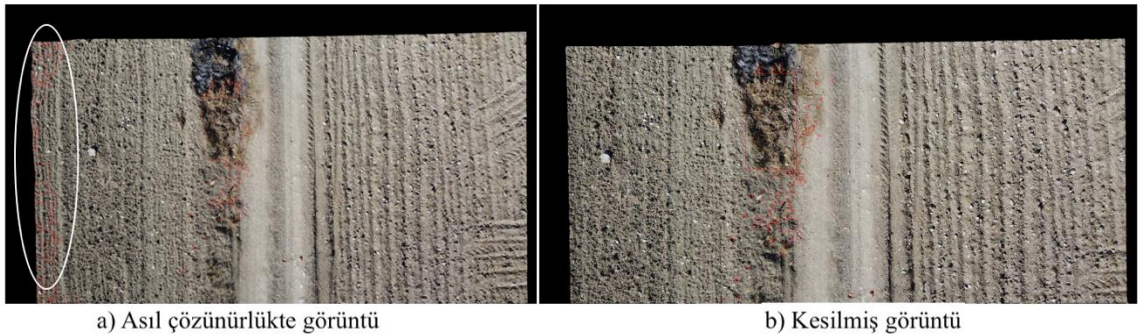
$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP + YN}$$

$$Kesinlik = \frac{DP}{DP + YP} \quad (3.1)$$

$$F1 \text{ Puanı} = 2 * \frac{Duyarlılık * Kesinlik}{Duyarlılık + Kesinlik}$$

Değişiklikler hesaplanırken emarelerin gerçekte kaç adet oldukları ve görüntü üzerinde gösterilen sonuçlarda kaç adet gösterildikleri dikkate alınmıştır. Örneğin ayak izlerinin tespit oranlarının hesaplanması için kaç adet ayak izinin görüntü üzerinde gerçek olarak var olduğu tespit edilmiş olup ardından kaç ayak izi tespiti gerçekleştirildiği sayılmıştır. Taşlar ile alakalı değişimlerde de kaç taşın yerinin değiştiği sayılmış ve kaç taşın yer değişikliğinin tespit edildiği sonuçlardan elde edilmiştir. Yalnızca gömülü nesne ve toprak yığını emarelerinde tüm kutucuklar sadece bir değişiklik olarak sayılmıştır çünkü burada toprak yüzeyinde çok fazla değişiklik meydana geldiği için tespit olarak gösterilen kare sayısı çok fazla olmaktadır.

Hatalı tespitlerin sebebi birden fazla olmasına rağmen ağırlıklı olarak gerçekte değişiklik olmayıp görüntülerin aynı koordinat düzlemine oturtulması işlemi sonrası ortaya çıkan dönüşüm hatalarından veya emare olarak oluşturulmamasına rağmen gerçekten yolda ve çevresinde meydana gelen değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Yolun kullanımı neticesinde toprak yüzeyinde yer alan çakılların yer değiştirmesi, araç lastik izlerinin değişmesi veya yanda bulunan tarlalarda köpek izlerinin çıkması bunlara örnek olarak verilebilir. Görüntü kayıt işlemi sonrası oluşan hatalar ise kendini en fazla kenarlarda ve köşelerde göstermektedir. Buna İHA kamerasının lenslerinin sebep olduğu değerlendirilmektedir. Elde edilen görüntüler oynanmamış hali ile 1530*2720 çözünürlükte olmasına rağmen köşeler ve kenarlardan kaynaklı hataları azaltmak adına görüntüler 1200*2400 çözünürlükte olacak şekilde kesilmiştir. Sonuç olarak gerçekten köşe ve kenarlardan kaynaklı kayıt hatalarının önemli bir oranda azaldığı görülmüştür.



Şekil 3.1: Orijinal Görüntü ile Kesilmiş Görüntü Sonuçları.

Yukarıdaki şekilde de görülebileceği gibi soldaki görüntünün sol kenarı tamamen hatalı tespit olarak işaretlenmiştir. Bunun sebebi görüntü kayıt işleminin tamamen

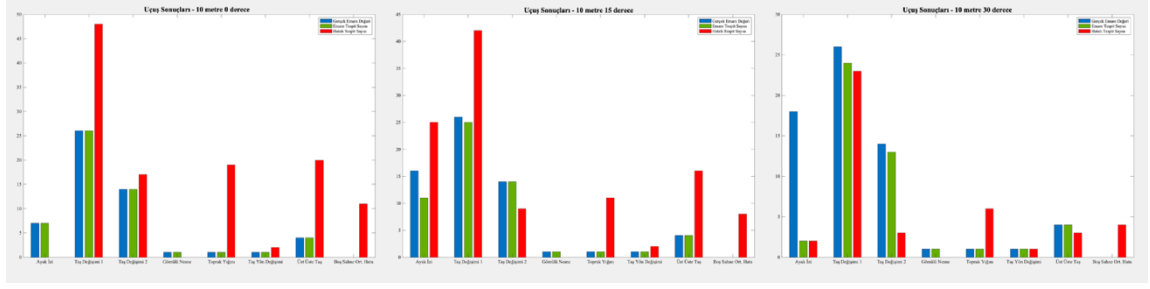
başarılı bir biçimde gerçekleşmemiş olmasıdır. Bunun neticesinde ikinci görüntünün birinci görüntü düzlemine dönüştürülmesi işleminde sol kenar fazladan sıkıştırılmış dolayısıyla ciddi farklılıklar meydana gelmiştir. Fakat görüntünün çözünürlüğünün kenarların ve köşelerin kırılması sonucu değiştirilmesi görüntü kayıt hatasını bu ve birçok karede gidermiştir.

Doğru ve hatalı tespit oranları hesaplanırken emarelerin bulunduğu karelerdeki hatalı tespitler emare tespit hatası olarak ele alınmıştır. Emarelerin bulunmadığı karelerde meydana gelen tespitler ise boş sahne hatalı tespiti olarak ayrı bir sınıfta gösterilmiştir. Ayak izi ve birinci taş değişimi emareleri çoğu uçuşta aynı kareye denk düştüklerinden dolayı hatalı tespitler ikisinin toplamı olarak değerlendirilmiştir. Aynı durum gömülü nesne ve toprak yığını emarelerinin yer aldığı kareler için de geçerlidir. Bu sebepten dolayı aşağıdaki tablolarda yer alan performans değerlerinde diğer emarelere göre özellikle düşük çıkan gömülü nesne ve toprak yığını değerleri yıldız ile işaretlenmiştir. Bu durumun anlaşılmasını kolaylaştırmak adına aşağıdaki şekilde söz konusu emarelerin tespit sonuçları gösterilmiştir. Görülebileceği üzere toprak yüzeyindeki fazla değişiklikten dolayı çok fazla sayıda tespit karesi gösterilmektedir.

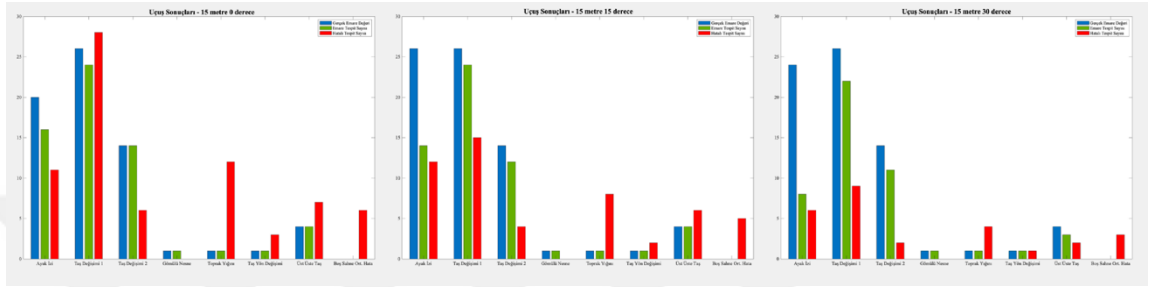


Şekil 3.2: Aynı Karede Bulunan Emarelerin Tespit Sonuçları (Üst şekilde ayak izi ve taş değişimi, alt şekilde ise toprak yığını ve gömülü nesne tespit edilmektedir).

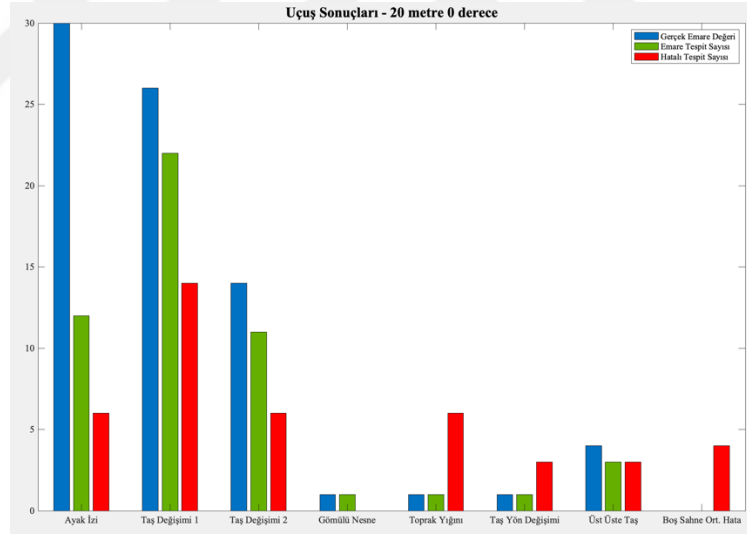
Aşağıdaki şekillerde tespit sonuçları numerik olarak gösterilmektedir. Kırmızı barlar hatalı tespit sayısını, yeşil barlar doğru tespit edilen emare sayısını, mavi barlar ise gerçekte olan emare sayısını ifade etmektedir. Gömülü nesne ve toprak yığını emareleri aynı karede birbirlerine çok yakın oldukları için o karede meydana gelen hatalı tespitler ikisi için birlikte geçerli olacak şekilde yalnızca toprak yığınının yanında gösterilmiştir. Aynı şekilde ayak izi taş değişimi-1 emarelerinin de aynı kareye denk geldiği uçuşlarda hatalı tespitler yalnızca taş değişiminin yanında gösterilmiştir.



Şekil 3.3: 10 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuş Sonuçları (Soldan sağa sırasıyla 0 derece, 15 derece ve 30 derece uçuşlar gösterilmiştir).



Şekil 3.4: 15 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuş Sonuçları (Soldan sağa sırasıyla 0 derece, 15 derece ve 30 derece uçuşlar gösterilmiştir).



Şekil 3.5: 20 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuş Sonuçları.

Yukarıdaki tespit sayıları elde edildikten sonra sistemin performansını değerlendirmek açısından bahsedildiği üzere DP, YP ve YN değerleri üzerinden sistemin duyarlılığı, kesinliği ve F1 puanı hesaplanmıştır. Her uçuş için hesaplanan bu değerler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 3.1: 10 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuşların Tespit Performansı.

Uçuşlar	10 metre 0 derece			10 metre 15 derece			10 metre 30 derece		
	Duyarlılık	Kesinlik	F1	Duyarlılık	Kesinlik	F1	Duyarlılık	Kesinlik	F1
Ayak İzi	1	0.40	0.57	0.68	0.30	0.41	0.11	0.50	0.18
Taş Değişimi – 1	1			0.96	0.37	0.53	0.88	0.51	0.64
Taş Değişimi – 2	1	0.46	0.63	1	0.60	0.75	0.92	0.81	0.86
Gömülü Nesne	1	0.09*	0.16	1	0.14*	0.24	1	0.22*	0.36
Toprak Yığını	1			1			1		
Taş Yön Değişimi	1	0.33	0.49	1	0.33	0.49	1	0.50	0.66
Üst Üste Taş Dizilmesi	1	0.16	0.37	1	0.20	0.33	1	0.57	0.72
Boş Sahne Ort. Hata Sayısı	11			8			4		

Tablo 3.2: 15 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuşların Tespit Performansı.

Uçuşlar	15 metre 0 derece			15 metre 15 derece			15 metre 30 derece		
	Duyarlılık	Kesinlik	F1	Duyarlılık	Kesinlik	F1	Duyarlılık	Kesinlik	F1
Ayak İzi	0.80	0.59	0.68	0.53	0.53	0.53	0.33	0.57	0.41
Taş Değişimi – 1	0.92	0.46	0.61	0.88	0.61	0.72	0.84	0.73	0.78
Taş Değişimi – 2	1	0.70	0.82	1	0.60	0.75	0.78	0.84	0.80
Gömülü Nesne	1	0.13*	0.23	1	0.20*	0.33	1	0.33*	0.49
Toprak Yığını	1			1			1		
Taş Yön Değişimi	1	0.25	0.40	1	0.33	0.49	1	0.50	0.66
Üst Üste Taş Dizilmesi	1	0.36	0.53	1	0.40	0.57	0.75	0.60	0.66
Boş Sahne Ort. Hata Sayısı	6			5			3		

Tablo 3.3: 20 m Yükseklikten Gerçekleştirilen Uçuşun Tespit Performansı.

Uçuş	20 metre 0 derece		
	Duyarlılık	Kesinlik	F1
Emareler			
Ayak İzi	0.40	0.66	0.49
Taş Değişimi – 1	0.84	0.61	0.67
Taş Değişimi – 2	0.78	0.64	0.70
Gömülü Nesne	1	0.25*	0.40
Toprak Yığını	1		
Taş Yön Değişimi	1	0.25	0.40
Üst Üste Taş Dizilmesi	0.75	0.50	0.60
Boş Sahne Ort. Hata Sayısı	4		

Sistemin sonuçları ve hesaplanan performans ölçütleri incelendiğinde tespit sonuçlarını etkileyen bazı faktörler ortaya çıkmaktadır. Yukarıdaki tablolarda yer alan duyarlılık ve kesinlik değerleri sonucu aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- Uçuş yüksekliği arttıkça sistemin kesinlik değeri artmış yani hatalı tespit sayısı azalmıştır.
- Uçuş yüksekliği arttıkça sistemin duyarlılık değeri azalmış yani her ne kadar hatalı tespit sayısı azalmış olsa da bununla birlikte tespit edilen emare sayılarının da azaldığı görülmüştür.
- Aynı yükseklikte gerçekleştirilen uçuşlarda İHA kamerasının bakış açısı artırıldıkça genel olarak sistemin kesinlik değeri artmış, yani hatalı tespit sayısı azalmıştır. Görüntülerde yapılan inceleme sonucu bakış açı derecesinin yükseltilmesi ile görüntü kayıt işleminden kaynaklı hataların azaldığı gözlemlenmiştir. Özellikle uçları keskin olan dal ve ot yığınlarının dik bakış açısı ile çekilen görüntülerde hatalı tespit meydana getirdiği fark edilmiştir.
- Uçuş yüksekliği ve kamera açısının artması ile sahnelerde meydana gelen ortalama hata sayısının azaldığı gözlemlenmiştir.

- Emare özelinde değerlendirme yapıldığında taşların yer değişiminin her koşulda tespitinin kolay olduğu gözlemlenmiştir. Ayak izlerinin değişiminin gözlemlenebilmesi yumuşak toprak yüzeyinde meydana getirdiği farklardan kaynaklandığı ve boyut olarak bu izlerin taşlara göre alansal olarak daha küçük kalması sebebiyle daha zor hale gelmektedir. Özellikle bakış açısının yükselmesi ile ayak izi tespit başarısının ciddi olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Yüksekliğin artması ile de ayak izi tespit duyarlılığı azalmıştır fakat burada dikkat edilmesi gereken başka bir husus vardır. Yükseklik artması ile her ne kadar ayak izi tespit oranı azalmış olsa da daha geniş bir alan gözetlenirken yapılan tespitlerin analizi kolaylaştırdığı değerlendirilmektedir.

3.2. Zamansal Değerlendirme

Böylesine bir sistemin istenilen hedefleri tespit etme başarısının yanında sistemin sonuçları elde etme süresi de büyük öneme sahiptir. En ideal durum sistemin gerçek zamanlı olarak çalışmasıdır fakat bu tez çalışmasında sistem gerçek zamanlı çalışacak şekilde tasarlanmamıştır.

Burada geliştirilen uygulama öncelikle CPU birimi üzerinde çalıştırılmış ve her uçuştan sonuçların alınma süreleri kaydedilmiştir. Bunun yanında çalışma süresini kısaltmak adına paralel işlem hızından faydalanabilmek için bazı işlemler erkan kartı üzerinde koşulmuştur. Kaydedilen süreler toplam uçuşun hem CPU hem GPU üzerinde işleme süresi ile tek bir görüntü kare çiftinin adımların da gösterilmesiyle hem CPU hem GPU üzerinde işleme süresi şeklinde kaydedilmiştir. Aşağıdaki tablolar uçuşlara göre işlem sürelerini göstermektedir. Yalnızca ana işlemlerin süresi detaylandırılmıştır.

Tablo 3.4: Bir Görüntü Kare Çiftinde CPU ve GPU İşlem Hızları.

Ana İşlem	Alt İşlem	CPU (s)	GPU (s)
Görüntü karesi okuma		0.185	-
Görüntü kayıt işlemi	Özniteliklerin çıkarılması	0.245	-
	Özniteliklerin eşleştirilmesi	1.991	-
	Homografi matrisinin hesaplanması	30.964	4.372
	Görüntü dönüştürülmesi	0.355	0.151
Değişiklik maskesi oluşturma		4.09	-
Morfolojik operasyonlar ve sonuçların elde edilmesi		1.115	-
Toplam (s)		39.447	12.374

Tablodan görüleceği üzere homografi matrisinin hesaplanması ve görüntü dönüştürülmesi işlemi işlemci yerine ekran kartı üzerinde yapıldığında ciddi oranda hız artışı olmaktadır. Bir görüntü karesinde meydana gelen hız farkı tüm uçuşun işlenmesine de aşağıdaki şekildeki gibi etki etmektedir.

Tablo 3.5: Toplam Uçuş İşlem Süreleri.

Uçuşlar	İşlenen Görüntü Kare Çifti Sayısı	Yalnızca CPU (saniye)	CPU ve GPU (saniye)
10 metre 0 derece	30	2070	456
10 metre 15 derece	26	1512	314
10 metre 30 derece	26	1404	297
15 metre 0 derece	23	1762	285
15 metre 15 derece	22	1549	273
15 metre 30 derece	23	1272	269
20 metre 0 derece	21	1901	271

Paralel işleme hızından faydalandığında uçuşlardan sonuçları elde etme süresi ortalama 30 dakikadan ortalama 5 dakikaya kadar düşmüştür. Gerçek saha şartları düşünüldüğünde ise 30 dakika gibi bir süre uygulanabilir olmayacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Patlayıcı maddelerin tarihsel gelişimi çok eskiye dayanmaktadır. Etkin gücü onları birçok uygulamada tercih edilir kılmıştır. Sadece askeri alanlarda değil maden ve taş ocaklarında, yol ve tünel yapımlarında, inşaat sektöründe de kullanılmaktadırlar. İnsanoğlu tarafından geliştirilen her teknik ve ürün gibi patlayıcı maddeler de kullanıcısının niyetine ve hedefine hizmet eden bir araç olmakta, kötü niyetli insanların elinde de öldürücü birer silah haline gelmektedirler. El yapımı patlayıcılar tarih sahnesine çıktığında etkinliklerinin kısa sürede terör örgütleri tarafından farkına varılmış ve kişilere, toplumlara ve devletlere karşı bir terör unsuru olarak sıklıkla kullanılmıştır.

El yapımı patlayıcıların herhangi bir üretim standartlarının olmaması, geliştirenin hayal gücü ile sınırlı olması ve birçok günlük kullanım malzemelerinden de geliştirilebilmesi onları birçok şekil, renk ve boyutta kılmakta ve kategorize edilmelerini oldukça güçleştirmektedir. Bu çeşitlilik doğal olarak tespit edilebilmelerine ve EYP ile mücadeleye de yansımaktadır. Patlayıcı maddelerin tespit yöntemlerine bakıldığında birçok farklı disiplin ve alanda birçok çalışma görülmektedir. Nötron ışımasından X-Ray sistemlerine kadar farklı elektromanyetik bantlarda farklı tespit sistemleri geliştirilmektedir.

EYP ile mücadele kapsamında gerçekleştirilen ve literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde EYP düzeneklerinin kendilerini tespiti yönelik birçok çalışma olduğu gözlemlenmiş olmasına rağmen EYP emareleri üzerine yapılmış çalışmalarda eksiklik olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında bir EYP düzeneğinin kendisini tespit etmek yerine bir noktaya EYP yerleştirilmesi sonucu çevrede bu işlemin bırakabileceği izler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu amaç ve kapsam doğrultusunda literatürde değişiklik tespiti olarak adlandırılan bir görüntü işleme temelli uygulama geliştirilmiş ve emare tespitindeki performansı ölçülmüştür. Değişiklik tespiti algoritmalarının amacı görüntü alınan bir bölgenin farklı zamanlarda görüntülerinin alınması ve bu zaman diliminde bölgede meydana gelen farklılıkların tespit edilmesidir. Değişiklik tespiti

uygulamaları çoğunlukla şehirlerin genişlemelerinin, tarım ve ormanlık arazilerin değişimlerinin veya doğal afet sonucu meydana gelen hasarların incelenmesi kapsamında geliştirilmektedir.

Bir EYP yerleşimi sonrası çevrede birtakım izler oluşmakta veya teröristler tarafından özellikle birtakım izler oluşturulmaktadır. Dolayısıyla EYP yerleşimi öncesi ve sonrası ilgili konumda farklılıklar oluşmaktadır. Bu kapsamda keşif gözetleme yapan ve çoğunlukla göz ile tespit yapan personelin dikkatinden kaçabilecek izlerin fark edilebilmesine imkân ve personele kolaylık sağlaması açısından değişiklik tespiti uygulamasının faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında bir güzergâh seçilmiş ve güzergâh üzerinde taşların yer değişimi, ayak izleri, nesne gömülmesi, toprak yığını oluşumu gibi çeşitli emareler oluşturulmuştur. Ticari bir İHA vasıtasıyla farklı yükseklik ve farklı bakış açılarında bu güzergâhın görüntüleri elde edilmiş ve geliştirilen algoritma uygulanmıştır. Sistemin sonuçları incelendiğinde emarelerin başarı ile tespit edilebildiği görülmüştür. Farklı yükseklik ve bakış açılarının tespit performansına etki ettiği, yükseklik ve kamera açısı artışı ile hatalı tespitlerin azaldığı fakat toprakta meydana gelen farklılıkların tespitinin alansal olarak küçüldüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca sistemin sonuçları elde etme süresi işlemci birimi ve ekran kartı üzerinde ölçülerek kıyaslanmış ve böylesine bir uygulama için paralel işlemenin gereklilik olduğu değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre EYP ile mücadele kapsamında değişiklik tespiti algoritmalarının faydalı olacağı fakat bazı hususlar üzerinde daha fazla çalışma ve test gerçekleştirilmesinin gerekli olduğu değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki değişiklik tespiti yapılacak alanların görüntülerinin elde edildiği ortam koşullarıdır. Bu çalışmada art arda iki gün içinde birbirini yakın öğlen saatlerinde yani güneş ışınlarının dik açığa yakın olarak düştüğü zamanlarda görüntüler elde edilmiştir. Bu da görüntülerin aynı düzleme oturtulması işlemini kolaylaştırmış ve ortam koşulları farklılığından meydana gelebilecek değişiklikleri azaltmıştır. Farklı ortam koşullarında görüntüler elde edildiğinde ön işleme yapılarak atmosfer ve aydınlatma koşullarının iki görüntü arasında fark meydana getirmemesi gerekmektedir. Örneğin bir uçuşun gerçekleştiği gün hava açık ve ertesi gün hava kapalı ise elde edilecek görüntülerde toprak ve üzerindeki rengi birbirinden oldukça farklı olacaktır. Bir başka husus sistemin çalışma süresidir. Bu çalışmada yaklaşık bir buçuk dakikalık bir video kaydından ortalama 25 görüntü karesi çifti elde edilmiş ve tamamının işlenmesi

ortalama 5 dakika sürmüştür. Gerçek saha uygulamalarında bu çalışmanın gerçek zamanlı uygulanmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak EYP ile mücadele kapsamında değişiklik tespiti vasıtası ile EYP emarelerinin tespit edilmesinin personel açısından faydalı olacağı ve farklı ortam koşullarında, toprak rengi değişimi, küçük çakılların yer değişikliği, dal parçalarının kırılması ve yerlerinin değişmesi gibi daha ileri seviye denilebilecek emarelerin tespitine yönelik yeni çalışmaların yapılması ve testlerin gerçekleştirilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.



KAYNAKÇA

- Arandjelovic, O., Pham, D.-S., & Venkatesh, S. (2015). Efficient and accurate set-based registration of time-separated aerial images. *Pattern Recognition*(48), 3466-3476.
- Bartolini, A., Bossi, L., Capineri, L., Falorni, P., Bulletti, A., Dimitri, M., . . . Byndych, T. (2019). Machine Vision For Obstacle Avoidance, Tripwire Detection, And Subsurface Radar Image Correction on a Robotic Vehicle For The Detection and Discrimination of Land Mines. *2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium*. Rome, Italy: Spring (PIERS - SPRING).
- Bay, H., Tuytelaars, T., & van Gool, L. (2006). SURF: Speeded up robust features. *Proceedings of the 9th European conference on Computer Vision - Volume Part I*, (pp. 404-417).
- Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., & Tucker, C. J. (2006). A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing of Environment*, 105, 9-22.
- Bielecki, Z., Janucki, J., Kawalec, A., Mikolajczyk, J., Palka, N., Pasternak, M., . . . Wojtas, J. (2012). Sensors And Systems For The Detection Of Explosive Devices - An Overview. *Metrology And Measurement Systems*, XIX, 3-28.
- Boulila, W., Farah, I. R., Ettabaa, K. S., Solaiman, B., & Ghezala, H. B. (2011). A data mining based approach to predict spatiotemporal changes in satellite images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 386-395.
- Cantenar, Ö. F., & Tümlü, F. (2016). PKK Terör Örgütünün Eylemlerinin Güvenlik Güçleri Zayıyatı Açısından Analizi. *Kara Harp Okulu Bilim Dergisi*, 26(1), 1-22.
- Cheng, H., Wu, H., Zheng, J., Qi, K., & Liu, W. (2021). A hierarchical self-attention augmented Laplacian pyramid expanding network for change detection in high resolution remote sensing images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52-66.

- Choi, S. H., & Park, C. G. (2020). Robust aerial scene-matching algorithm based on relative velocity model. *Robotics and Autonomous Systems*.
- Colreavy-Donnelly, S., Caraffini, F., Kuhn, S., & Gongora, M. (2020). Shallow buried improvised explosive device detection via convolutional neural networks. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 1-14.
- Coppin, P. R., & Bauer, M. E. (1996). Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote Sensing Reviews*, 207-234.
- Deng, J. S., Wang, K., Deng, Y. H., & Qi, G. J. (2008). PCA_based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 4823-4838.
- Desclee, B., Bogaert, P., & Defourny, P. (2006). Forest change detection by statistical object-based method. *Remote Sensing of Environment*, 1-11.
- Ding, Q., Shao, Z., Huang, X., & Altan, O. (2021). DSA-Net: A novel deeply supervised attention-guided network for building change detection in high-resolution remote sensing images. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*.
- Faust, A. A. (2002). Detection of Explosive Devices using X-ray Backscatter Radiation. *Proceedings Volume 4786, Penetrating Radiation Systems and Applications IV*. Seattle: SPIE.
- Filipi, J., Stojnic, V., Mustra, M., Gillanders, R. N., Jovanovic, V., Gajic, S., . . . Risojevic, V. (2022). Honeybee-based biohybrid system for landmine detection. (Y. Pico, Ed.) *Science of the Total Environment*(803).
- Gonzales, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing*. Essex: Pearson Education Limited.
- Gurton, K. P., & Felton, M. (2012). Remote detection of buried land-mines and IEDs using LWIR polarimetric imaging. *OPTICS EXPRESS*, 20(20).
- Güneş, M. (2021, Ocak). El Yapımı Patlayıcılarla Müdahalede Sanal Gerçeklik ile Kazaların Önlenmesine Yönelik Bir Uygulama (Doktora Tezi). Ankara: Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.
- Gürkan, S., Karapınar, M., & Doğan, S. (2019). Detecion and Imaging of Underground Objects for Distinguishing Explosives by Using a Fluxgate Sensor Array. *Applied Sciences*.
- Howarth, P. J., & Wickware, G. M. (1981). Procedures for change detection using Landsat digital data. *International Journal of Remote Sensing*, 277-291.

- Huang, C., Song, K., Kim, S., Townshed, J. R., Davis, P., Masek, J. G., & Goward, S. N. (2008). Use of a dark object concept and support vector machines to automate forest cover change analysis. *Remote Sensing of Environment*, 970-985.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., & Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*(80), 91-106.
- Im, J., & Jensen, J. R. (2005). A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. *Remote Sensing of Environment*, 326-340.
- Ji, W., Ma, J., Twibell, R. W., & Underhill, K. (2006). Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics. *Computers, Environment and Urban Systems*, 861-879.
- Jiang, X., Ma, J., Jiang, J., & Guo, X. (2020). Robust Feature Matching Using Spatial Clustering With Heavy Outliers. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29.
- Kennedy, L., Kolba, M. P., & Walters, J. R. (2012). Road Detection And Buried Object Detection In Elevated EO/IR Imagery. *Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects and Obscured Targets XVII*. 8357. SPIE.
- Khelifi, L., & Mignotte, M. (2020). Deep Learning for Change Detection in Remote Sensing Images: Comprehensive Review and Meta-Analysis. *IEEE Access*.
- King, T. L., Horine, F. M., Daly, K. C., & Smith, B. H. (2004). Explosives Detection with Hard-Wired Moths. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, 53(4).
- Koltick, D., Kim, Y., McConchie, S., Novikov, I., Belbot, M., & Gardner, G. (2007). A neutron based vehicle-borne improvised explosive device detection device. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B*(261), 277-280.
- Lanza, R. C. (2007). Chapter 6 - Nuclear Techniques for Explosive Detection. In J. Yinon, *Counterterrorist Detection Techniques of Explosives* (pp. 131-155). Elsevier Science B. V.
- Liu, R., & Wang, H. (2010). Detection and localization of improvised explosive devices based on 3-axis magnetic sensor array system. *Procedia Engineering*, 1-9.
- Liu, R., Li, Z., Huang, Z., Li, K., & Lv, Y. (2019). Biosensors for explosives: State of the art and future trends. *Trends in Analytical Chemistry*(118), 123-137.

- Liu, T., Yang, L., & Lunga, D. (2021). Change detection using deep learning approach with object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*(256).
- Lucier, J. W. (2018, June). Automatic UAV Image Registration Using Feature Detection and Matching with Satellite Imagery (Master's Thesis). B.S. Computer Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Ludeke, A. K., Maggio, R. C., & Reid, L. M. (1990). An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS. *Journal of Environmental Management*, 247-259.
- Lunetta, R. S., Knight, J. F., Edirickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2006). Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 142-154.
- McDonald, E. V., & Schumer, R. (2016). Use of Ground-Based LiDAR for Detection of IED Command Wires on Typical Desert Surfaces. In E. V. McDonald, & T. Bullard, *Military Geosciences and Desert Warfare* (pp. 297-309). New York: Springer Science+Business Media.
- McFee, J. E., Faust, A. A., Andrews, H. R., Clifford, E. T., & Mosquera, C. M. (2013). Performance of an improved thermal neutron activation detector for buried bulk explosives. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 93-101.
- McNeese, N. J., Cooke, N. J., Branaghan, R., Knobloch, A., & Taylor, A. (2016). Identification of the Emplacement of Improvised Explosive Devices by Experienced Mission Payload Operators. *Applied Ergonomics*.
- Meng, L., Zhou, J., Liu, S., Ding, L., Zhang, J., & Wang, S. (2021). Investigation and evaluation of algorithms for unmanned aerial vehicle multispectral image registration. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*.
- Metternicht, G. (1999). Change detection assesment using fuzzy sets and remotely sensed data: An application of topographic map revision. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 221-233.
- Miller, O., Pikaz, A., & Averbuch, A. (2005). Objects based change detection in a pair of gray-level images. *Pattern Recognition*, 1976-1992.
- Overton, I., Davies, R., & Tumchewics, D. L. (2020). *Improvised Explosive Devices: Past, Present and Future*. Action on Armed Violence.

- Phillips, J. P., & Johnston Jr., J. R. (2015). Improvised Explosive Devices. In G. R. Ciottone, P. Biddinger, R. Darling, S. Fares, M. Keim, M. Molloy, & S. Suner, *Ciottone's Disaster Medicine* (pp. 449-454).
- Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., & Manik, G. A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 553-575.
- Pijanowski, B. C., Pithadia, S., Shellito, B. A., & Alexandridis, K. (2005). Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States. *International Journal of Geographical Information Science*, 197-215.
- Quarmby, N. A., & Cushnie, J. L. (1989). Monitoring urban land cover changes at the urban fringe from SPOT HRV imagery in south-east England. *International Journal of Remote Sensing*, 953-963.
- Radke, R. J., Andra, S., Al-Kofahi, O., & Roysam, B. (2005). Image Change Detection Algorithms: A Systematic Survey. *IEEE Transactions on Image Processing*, 14(3).
- Ren, K., Ye, Y., Gu, G., & Chen, Q. (2022). Feature matching based on spatial clustering for aerial image registration with large view differences. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*(259).
- Richards, J. A. (1984). Thematic mapping from multitemporal image data using the principal components transformation. *Remote Sensing of Environment*, 35-46.
- Rogan, J., Franklin, J., & Roberts, D. A. (2002). A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*, 143-156.
- Saeed Yahyanejad, Bernhard Rinner. (2014). A fast and mobile system for registration of low-altitude visual and thermal aerial images using multiple small-scale UAVs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Singh, A. (1989). Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 989-1003.
- Solans Vila, J. P., & Barbosa, P. (2010). Post-fire vegetation regrowth detection in the Deiva Marina region (Liguria-Italy) using Landsat TM and ETM+ data. *Ecological Modelling*, 75-84.

- Teke, M., & Temizel, A. (2010). Multi-Spectral Satellite Image Registration Using Scale-Restricted SURF. *International Conference on Pattern Recognition*. IEEE.
- Tomowski, D., Ehlers, M., & Klonus, S. (2011). Colour and Texture Based Change Detection for Urban Disaster Analysis. *Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, 329-332.
- Trammel III, H. S., Perry, A. R., Kumar, S., Czipott, P. V., Whitecotton, B. R., McManus, T. J., & Walsh, D. O. (2015). Using Unmanned Aerial Vehicle-Borne Magnetic Sensors to Detect and Locate Improvised Explosive Devices and Unexploded Ordnance. *Sensors and C3I Technologies for Homeland Security and Homeland Defense IV, Proceedings of SPIE*, 5778.
- United Nations Mine Action Service. (n.d.). *UNMAS Improvised Explosive Device Lexicon*. United Nations.
- van de Wouw, D. W., van Rens, K., van Lint, H., Jaspers, E. G., & de With, P. H. (2014). Real-time Change Detection for Countering Improvised Explosive Devices. *Video Surveillance and Transportation Imaging Applications*. 9026. SPIE-IS&T Electronic Imaging.
- Wasilewski, T., Gebicki, J., & Kamysz, W. (2021). Bio-inspired approaches for explosives detection. *Trends in Analytical Chemistry*(142).
- Wilson, E. H., & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 385-396.
- Woodcock, C. E., Macomber, S. A., Pax-Lenney, & Cohen, W. B. (2001). Monitoring large areas for forest change using Landsat: generalization across space, time and Landsat sensors. *Remote Sensing of Environment*, 194-203.
- Yahyanejad, S., & Rinner, B. (2015). A fast and mobile system for registration of low-altitude visual and thermal aerial images using multiple small-scale UAVs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*(104), 189-202.
- Yüksel, S. E., Küçük, S., Tekeli, V., Kılıç, B., Karakaya, R. H., & Zeka, M. B. (2021, Mayıs). El Yapımı Patlayıcıların ve Patlayıcı Maddelerin Tespitinde Kullanılan Spektroskopi Tabanlı Yöntemlerin Karşılaştırılmasına İlişkin Bir İnceleme. *Savunma Bilimleri Dergisi*(39).
- Zitova, B., & Flusser, J. (2003). Image registration methods: a survey. *Image and Vision Computing*(21), 977-1000.