

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ YÖNETİMİ PROGRAMI**

**ORMAN YANGINLARININ İHA SİSTEMİ İLE
ERKEN TESPİTİ AMACIYLA YER VERİ
TERMİNALLERİNİN KONUMLANDIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tuğba Begüm ATALIK İLTER
2182102**

**TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi
Kemal Gürol KURTAY**

**ANKARA
HAZİRAN 2024**

**T.C.
MILLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ YÖNETİMİ PROGRAMI**

**ORMAN YANGINLARININ İHA SİSTEMİ İLE
ERKEN TESPİTİ AMACIYLA YER VERİ
TERMİNALERİNİN KONUMLANDIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tuğba Begüm ATALIK İLTER
2182102**

**TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi
Kemal Gürol KURTAY**

**ANKARA
HAZİRAN 2024**

T.C.
MILLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ YÖNETİMİ PROGRAMI

ORMAN YANGINLARININ İHA SİSTEMİ İLE
ERKEN TESPİTİ AMACIYLA YER VERİ
TERMİNALLERİNİN KONUMLANDIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba Begüm ATALIK İLTER
2182102

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Mayıs 2024
Tezin Savunulduğu Tarih: 27 Mayıs 2024

Tez Oy birliği ile başarılı bulunmuştur.

	Unvan Ad Soyad	İmza
Tez Danışmanı	Dr. Öğr. Üyesi Kemal Gürol KURTAY	
Jüri Üyeleri	Prof. Dr. Hakkı Okan YELOĞLU Prof. Dr. Memduh BEĞENİRBAŞ	

ANKARA
HAZİRAN 2024

ÖZGÜNLÜK RAPORU

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

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 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 doğru olduğunu beyan ederim.

Tuğba Begüm ATALIK İLTER

12/06/2024

ETİK BEYAN

Millî 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 Bakanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Tuğba Begüm ATALIK İLTER

12/06/2024

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarına başladığım günden itibaren beni hep destekleyen, motive eden ve katkılarını esirgemeyen değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kemal Gürol KURTAY'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Her zaman yanımda olup sonsuz sevgisiyle beni gönülden destekleyen canım anneme, cesaretiyle beni motive edip yol gösteren tanıdığım en çalışkan insan canım babama, yoluma her zaman ışık tutan canım abim, ablam ve sevgili yeğenim Tuna'ya, sevgisi, sabrı ve desteğiyle hep yanımda olan canım eşime teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
TABLolar LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
KISALTMALAR	v
ÖZ	vi
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ	1
2. ORMAN YANGINLARI	6
2.1 Türkiye'nin Orman Varlığı	6
2.2 Türkiye'de Orman Yangınları	10
2.3 Orman Yangınlarının Nedenleri	15
2.4 Yangın Yönetim Faaliyetleri	17
3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI	19
3.1 İnsansız Hava Aracı Tanımı	19
3.2 Görev Alanları	20
3.2.1 Askerî Alanda Kullanım	20
3.2.2 Sivil Alanda Kullanım	22
3.3 Avantajlar-Dezavantajlar	23
3.4 İHA Sınıflandırması	25
3.5 İnsansız Hava Aracı Sistemi	29
3.5.1 Görev Sistemleri:	30
3.5.2 Hava-Yer Tümlleşik Sistemler:	30
3.5.3 Yer Sistemleri:	30
3.5.4 Hava Aracı	31
3.5.5 İnsan Unsuru	31
3.5.6 Faydalı Yük	31
3.5.7 Komuta/Kontrol	32
3.5.8 Destek Unsuru	33

3.5.9 Veri Haberleşme Sistemleri	33
3.6 İHA'ların Orman Yangınlarında Kullanılması	40
4. TESİS YER SEÇİMİ	44
4.1 Küme Kapsama Problemleri	47
4.2 Maksimum Kapsama Problemleri	49
4.3 P-Merkez Problemleri	50
4.4 P-Medyan Problemleri	51
4.5 P-Dağılım Problemleri	51
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	52
5.1 Konu Kapsamında Yapılan Benzer Çalışmalar	52
6. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ	64
6.1 Araştırmanın Konusu	64
6.2 Araştırmanın Yöntemi	64
6.3 Verilerin Oluşturulması	66
6.3.1 ABC Analizinin Uygulanması	66
6.4 Aday Noktalarının Belirlenmesi	68
6.5 Talep noktalarının Belirlenmesi	70
6.6 Aday Noktalarına kurulan Yer Veri terminallerinin Kapsama Alanlarının Belirlenmesi	73
6.7 Problemin Varsayımları ve Sınırlılıkları	78
6.8 Matematiksel Modelin Oluşturulması	79
6.9 Matematiksel Modelin Çözümü	80
7. SONUÇ	84
KAYNAKÇA	89
EKLER	94

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1: Ormanlık Alanların 2015 Yılındaki İşletme Şekillerine Göre Alan Durumu.	6
Tablo 2.2: Ormanlık Alanların 2015 Yılındaki İşletme Şekillerine Göre Servet Durumu.	7
Tablo 2.3: Ormanlık Alanların 2020 Yılındaki İşletme Şekillerine Göre Alan Durumu.	8
Tablo 2.4: Ormanlık Alanların 2020 Yılındaki İşletme Şekillerine Göre Servet Durumu.	8
Tablo 2.5: Orman Alanının 2022 yılı İl Düzeyinde Dağılımı.	9
Tablo 2.6: Orman Yangınlarının Çıkış Sebeplerine Göre Sayısal ve Alansal Dağılımı.	11
Tablo 3.1: NATO İHA Sınıflandırması	26
Tablo 3.2: Geleceğin İHA Sınıflandırması.	27
Tablo 3.3: Frekans Bantları.	35
Tablo 5.1: Literatürün Sistematiik Olarak İncelenmesi	55
Tablo 6.1: 2018-2022 Yılları Yangından Hasar Gören Alan İstatistiklerinin ABC Analizine Göre Gruplandırılması.	67
Tablo 6.2: Aday Noktaları ve Koordinatları.	69
Tablo 6.3: Talep Noktaları Sınırları İçerisinde Bulunduğu Şehirler.	72
Tablo 6.4: Aday Noktaları ve Aday Noktalarının Kapsadığı Talep Noktaları.	77
Tablo 6.5: Küme Kapsama Matrisi.	78
Tablo 6.6: Optimum Sonuca Göre Yer Veri Terminalleri Kurulması Gereken Havalimanları ve Kapsanan Talep Noktaları.	82
Tablo 6.7: Birden Fazla YVT Tarafından Kapsanan Talep Noktaları.	82

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: 2010-2022 Yılları Yanan Orman Alanları.	12
Şekil 2.2: 2010-2022 Yılları Yangın sayıları.	12
Şekil 2.3: 2021 Yılı Orman Yangınlarının Aylara Göre Dağılımı.	13
Şekil 2.4: Ülkelere Göre Yangın Sayıları.	14
Şekil 2.5: Ülkelere Göre Zarar Gören Alan Miktarları.	14
Şekil 2.6: Ülkelere Göre Yangın Başına Zarar Gören Alan Miktarları.	15
Şekil 2.7: 2021 Yılı Orman Yangınlarının Nedenleri.	16
Şekil 3.1: İHA Sistemi Askeri Görevleri.	21
Şekil 3.2: İHA Sisteminin Bileşenleri.	29
Şekil 3.3: İHA Sistemi Bileşenleri.	30
Şekil 3.4: AKSUNGUR İnsansız Hava Aracı.	31
Şekil 3.5: EO/IR Kamera Faydalı Yüğü.	32
Şekil 3.6: Yer Kontrol İstasyonu.	33
Şekil 3.7: LOS ve BLOS Bağlantılarını Gösteren İHA Sistemi.	36
Şekil 3.8: Yer Veri Terminali.	37
Şekil 3.9: Uydu Hava Terminali Anteni.	39
Şekil 3.10: İnsansız Hava Aracı ile Yangın Tespiti.	41
Şekil 3.11: Termal Kamera ile Orman Yangını Görüntüsü.	42
Şekil 4.1: Küme Kapsama, Maksimum Kapsama ve Merkez Problemlerinin Birbiri ile Bağlantıları	46
Şekil 6.1: Araştırma Yöntemi.	65
Şekil 6.2: Çalışma Alanını Oluşturan Şehirler.	68
Şekil 6.3: Aday Noktalarının Harita Üzerinde Gösterimi.	70
Şekil 6.4: Izgara üzerinde Talep Noktalarının Gösterimi.	71
Şekil 6.5: Talep Noktaları Koordinatlarının Harita Üzerinde Gösterimi.	73
Şekil 6.6: Şanlıurfa GAP Havalimanı Kapsama Alanı.	75
Şekil 6.7: Adana Şakirpaşa Havalimanı Kapsama Alanı.	75
Şekil 6.8: Milas-Bodrum Havalimanı Kapsama Alanı.	76
Şekil 6.9: Siirt Havalimanı Kapsama Alanı.	76
Şekil 6.10: Küme Kapsama Çözüm Haritası.	81

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
BLOS	: Beyond Line of Sight
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DoD	: Department of Defence
GAMS	: General Algebraic Modeling System
HALE	: High Altitude Long Endurance
HF	: High Frequency
HVT	: Hava Veri Terminali
İHA	: İnsansız Hava Aracı
JAPCC	: Joint Air Power Competence Center
JRC	: Joint Research Centre
LIDAR	: Laser Imaging Detection and Ranging
LOS	: Line of Sight
MALE	: Medium Altitude Long Endurance
NATO	: North Atlantic Treaty Organization
NBC	: Nuclear, Biological, Chemical
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
SSM	: Savunma Sanayii Müsteşarlığı
STM	: Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret Anonim Şirketi
TUAV	: Tactical Unmanned Aerial Vehicle
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle
UHF	: Ultra High Frequency
UHT	: Uydu Hava Terminali
UYT	: Uydu Yer Terminali
VHF	: Very High Frequency
YKİ	: Yer Kontrol İstasyonu
YVT	: Yer Veri Terminali

ÖZ

Orman Yangınlarının İHA Sistemi ile Erken Tespiti Amacıyla Yer Veri Terminallerinin Konumlandırılması

Tuğba Begüm ATALIK İLTER

Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü

Ankara, Haziran 2024

Günümüzde orman yangınlarıyla mücadele, iklimi ve coğrafi konumu itibarıyla orman yangınlarına hassas bir bölgede yer alan ülkemiz için üzerinde durulması gereken öncelikli konulardan birisi haline gelmiştir. Orman yangınlarıyla mücadelenin etkin bir biçimde yürütülebilmesi için potansiyel risk alanlarının izlenmesi, yangınların erken tespiti ve yangın bölgesine kritik müdahale süresi içerisinde ulaşılması potansiyel hasarı büyük ölçüde azaltabilmektedir.

Son yıllarda meydana gelen büyük çaplı orman yangınlarında insansız hava araçlarının (İHA) kullanımı büyük bir etki uyandırmıştır. İHA'ların taşıdığı termal kameralar sayesinde yangın tespiti kolaylıkla yapılabilmiş ve devam eden yangınlarda elde edilen görüntülerin karar aşamasında yöneticiler için oldukça kullanışlı olduğu görülmüştür.

İHA'lar ile verilen görevin kesintisiz olarak gerçekleştirilebilmesi için yer sistemlerinin uygun yerlere konuşlandırılması ve kapsama bölgesinin belirlenmesi kritik önem taşımaktadır. Tez çalışması kapsamında, İHA yer sistemlerinden birisi olan yer veri terminallerinin en uygun noktalara yerleştirilmesi üzerine çalışılmıştır.

Çalışmanın çözüm metodolojisi olarak yer veri terminali konumlarını belirlemek amacıyla Orman Genel Müdürlüğü'nün orman yangını verileri ABC analizi yöntemi ile sınıflandırılmış ve çalışma alanı belirlenmiştir. Her bir aday nokta için görüş analizleri Global Mapper programı kullanılarak yapılmış ve aday yerler arasından optimal sonucun belirlenmesi amacıyla küme kapsama modelinden faydalanılmıştır.

Oluşturulan model, GAMS 46.4.1 programlama yazılımı kullanılarak kodlanmış ve Cplex çözücü kullanılarak çözülmüştür. Modelin çözülmesi sonucunda, tüm talep noktalarını kapsayacak 13 adet havalimanı belirlenmiştir. Oluşturulan model, gerçek kullanım koşullarında ve çeşitli görev sahalarında kolayca uygulanabilir bir yaklaşım sağlamıştır.

Anahtar Sözcükler: İnsansız Hava Aracı, Yer Veri Terminali, Tesis Yer Seçimi, Küme Kapsama Problemi, Tam Sayılı Programlama

Bilim Kodu : 90628

Sayfa Sayısı : 115

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Kemal Gürol KURTAY

ABSTRACT

Positioning of Ground Data Terminals for Early Detection of Forest Fires with UAV System

Tuğba Begüm ATALIK İLTER

National Defence University, Alparslan Defence Sciences and National Security Institute

Ankara, June 2024

Today, fighting forest fires has become one of the priority issues for our country, which is located in a region sensitive to forest fires due to its climate and geographical location. In order to fight forest fires effectively, monitoring potential risk areas, early detection of fires and reaching the fire zone within the critical response time can greatly reduce the potential damage.

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) has had a great impact on large-scale forest fires that have occurred in recent years. Thanks to the thermal cameras carried by unmanned aerial vehicles fire detection was easily made and the images obtained in ongoing fires were found to be very useful for managers at the decision stage.

In order for the mission given by UAVs to be carried out uninterruptedly, it is critical to deploy ground systems to appropriate locations and determine the coverage area. Within the scope of the thesis study, it was studied on the placement of ground data terminals, which are one of the UAV ground systems, at the most suitable points.

As the solution methodology of the study, in order to determine the location data terminal locations, the forest fire data of the General Directorate of Forestry were classified primarily with the ABC analysis method and the study area was determined. Opinion analyzes for each candidate point were made using the Global Mapper program, and the cluster coverage model was used to determine the optimal result among the candidate places.

The created model was coded using GAMS 46.4.1 programming software and solved using the Cplex solver. As a result of solving the model, 13 airports were determined to cover all demand points. The created model provided an approach that can be easily applied in real use conditions and in various task areas.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Ground Data Terminal, Facility Location Selection, Set Cover Problem, Integer Programming

Science Code : 90628

Pages : 115

Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Kemal Gürol KURTAY

1. GİRİŞ

Ormanlar; maddi manevi çok çeşitli ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel faydalar sunan doğal kaynaklardır. (OGM, 2020)

Türkiye, ekolojik bakımdan zengin bir çeşitliliğe sahip olmakla birlikte ormanların da bu zenginlik içerisinde önemi büyüktür. 2020 yılı itibarıyla ormanlık alanların, ülke alanının yüzde 29,4'ünü kapladığı bilinmektedir. Yine 2020 yılı istatistiklerine göre Karadeniz Bölgesi, Türkiye orman varlığı sıralamasında yüzde 24.4'lük oranla birinci, Akdeniz Bölgesi yüzde 19.6'lık oranla ikinci, Ege Bölgesi yüzde 15.9'lük oranla üçüncü, İç Anadolu Bölgesi yüzde 13.8'lik oranla dördüncü, Marmara Bölgesi yüzde 12.82'lik oranla beşinci, Doğu Anadolu Bölgesi yüzde 8.3'lük oranla altıncı ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi yüzde 5.8'lik oranla yedinci sırada yer almaktadır. (OGM, 2020)

Günümüzde çok hızlı şekilde artan nüfus, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, şehirleşmenin artması ve ekonomik faaliyetlerin etkisiyle hem çevre hem de doğal kaynaklar üzerindeki baskı artmaktadır. Sürekli artan baskı, önemli doğal kaynaklar arasında yer alan ormanlar üzerinde de tehdit unsuru oluşturmaktadır. (OGM, 2018)

Orman yangınları, iklim dolayısıyla özellikle Akdeniz ülkelerinde orman kaynaklarını büyük oranda etkilemektedir. (Demir, 2009) Coğrafi konumu itibarıyla Akdeniz iklim kuşağında bulunması sebebiyle ülkemizde de ormanlarımızın büyük bir kısmı yangın tehdidi altında bulunmakta ve toplam ormanlık alanın %60'lık kısmı birinci ve ikinci derece yangına hassas alanlardan oluşmaktadır. Özellikle Akdeniz bölgesinde bulunan ve kıyı şeridinde yer alan ormanlık alanlar orman yangınlarına birinci dereceden hassastır. (Akay ve diğ., 2020) Bu sebeplerden dolayı orman yangınları ülkemizin öncelikli konuları arasında yer almaktadır. (OGM, 2018)

2010-2012 yılları arası istatistiklerine bakıldığında, yıl içerisinde ortalama 2.088 adet orman yangınına müdahale edildiği, 5.794 hektarlık ormanlık alanın ise zarara uğradığı görülmektedir. 2013-2016 yılları arasında ise yılda 2.811 adet yangın sayısı ve 6.737 hektar zarar gören ormanlık bölge olduğu tespit edilmiştir. (OGM, 2018)

2017-2018 yılları arasında 2.088 adet orman yangınına müdahale edilerek 8.819 hektarlık bölge zarar görürken, 2019-2022 yılları arasında ise yılda ortalama 2.760 yangın tespit edilerek 46.151 hektar ormanlık bölge zarar görmüştür. (OGM, 2023)

2021 yılında şiddetli orman yangınları Avrupa Birliği (AB) ve komşu ülkeler üzerinde endişe uyandırıcı seviyelere ulaşmıştır. Çıkan yangınlar sonucunda 5500 km²'nin üzerinde alan yanmış olup ekosistemde meydana gelen zararın telafisinin uzun yıllar süreceği bilinmektedir. Orman yangınları sadece AB ülkelerini etkilememiş, aynı zamanda Akdeniz bölgesindeki komşu ülkeleri de etkilemiş, büyük ölçüde hasara ve canlı kaybına yol açmıştır. 2021 yılı Türkiye için de on yıldan fazla süredir en kötü yangınlara tanıklık edilen yıl olmuştur. Yangın sayısı ve yanan toplam alan miktarı ile, Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Avrupa'daki en yüksek rakamlar kayıt altına alınmıştır. National Fire Services 2021 yılı orman yangınları ülke raporlarına göre Türkiye, 2793 adet yangın ve 139503 hektar yanan alan ile listede 2011-2020 yılları ortalamasının üzerinde bir oranla yer almaktadır. (JRC, 2021)

Günümüzde gelişen teknolojinin yoğun olarak kullanılmasına rağmen orman yangınları ülkemiz için hala büyük bir tehlike unsuru olmaktadır. (Ertuğrul, 2005) Yangınlara ilişkin en büyük risk unsurlarından birisi, ormanların genellikle sık ağaçlardan oluşan, yaşam alanlarına uzak ve yönetilmesi güç alanlar olmasıdır. Olası bir yangın esnasında kuru odun ve yapraklar yakıt kaynağı olarak hareket etmekte ve yangınların hızla büyümesine neden olmaktadır. (Alkhatib, 2014) Orman yangınları, çoğunlukla insan kaynaklı olmasına rağmen yıldırım düşmesi, sıcaklık vb. doğal yollarla da meydana gelebilmektedir. İnsan kaynaklı orman yangınları genellikle, nüfusun çok olduğu alanların yakınında meydana geldiği için erken tespit edilebilirken doğal nedenlerden meydana gelen orman yangınları uzak bölgelerde meydana geldiği için tespiti ve kontrolü zor olmaktadır. (Ozkani Kılıc 2023) Bu nedenle erken tespit için sürekli izleme hayati önem taşımaktadır. (Ollero, Merino 2006)

Orman yangınlarıyla mücadelenin etkin bir biçimde yürütülebilmesi için ilk müdahale ekiplerinin yangın bölgesine kritik müdahale süresi içerisinde ulaşması ve yangın söndürme faaliyetlerine başlaması gerekmektedir. (Akay, Taş 2020) Potansiyel risk alanlarının izlenmesi ve yangınların erken tespiti reaksiyon süresini oldukça kısaltabilmekte ve potansiyel hasarı azaltabilmektedir. (Alkhatib, 2014)

Yangınlar için erken uyarı; gönüllü veya halka açık raporlama, yer tabanlı saha personeli veya insansız kara araçları, yangın kuleleri, elektronik yıldırım dedektörü, uydular, otomatik algılama sistemleri (Kamera vb.), hava devriyeleri (Hava araçları, İHA, drone, helikopter vb.) gibi araçlarla elde edilebilmektedir.

Araştırmacılar; orman izleme, yangın tespit ve mücadele uygulamalarını yangın öncesi (orman gözetimi, izleme, risk haritaları oluşturma, LİDAR gibi tarama sensörlerini kullanarak 3D bitki örtüsü haritaları oluşturma vb.) yangın sırası (yer istasyonları, uydular, insanlı ve insansız hava araçları) ve yangın sonrası (MALE sınıfı ve mini İHA'lar ile afet sonrası değerlendirme için yanmış alan haritalaması) faaliyetleri olmak üzere üç aşamaya ayırmaktadırlar. (Ghamry ve diğ., 2017) Hava araçları, yangınla mücadele sürecinde hızlı taktik bilgi sağlayabileceği için üç aşama için de kullanılabilir en iyi yollardan birisidir.

Uzaktan komuta sensörleri, kameralar ve ilgili diğer teknolojilerdeki hızlı gelişmeler sebebiyle son yıllarda İHA'lar farklı askeri ve sivil uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. (Özkan, 2021) Çok daha düşük maliyet ve risk barındırması, insan operatörünün hayatını riske atmadan sürekli tespit ve mücadele sağlayabilmesi sebebiyle insansız hava araçları orman yangınlarında umut verici bir alternatif haline gelmiştir. (Cruz,2016) İHA Sistemleri üzerinde yıllar içerisinde kazanılan tecrübeler sistemlerin olgunlaşmasını sağlamış ve İHA Sistemleriyle gerçekleştirilen birçok askeri ve sivil görevin içerisinde orman yangını gözetlemesi, orman yangını söndürme, doğal afet zamanlarında iletişim, hasar tespit görevleri de yer almaya başlamıştır. İHA Sistemlerinin sivil görevlerde kullanımı askeri görevlere benzer biçimde genellikle görüntü toplama üzerine gerçekleştirilmektedir. Görevler arasında haritalama, acil durum tespiti ve müdahale de önemli yer tutmaktadır. (SSM, 2011) Mevcut bazı İHA'lar nispeten ağır gözlem sensörleri taşıyabilen yüksek faydalı yük kapasiteleri ve dayanımları sebebiyle bu görev için uygun görülmektedir. Ayrıca küçük ve düşük maliyetli İHA'lar da orman yangınıyla mücadele faaliyetlerini desteklemek için kullanılabilir. (Ollero ve Merino, 2006)

Türkiye 2020 yılında, İHA'ları orman yangınıyla mücadelede kullanan Avrupa'da ilk ülke, dünyada ise 2. ülke olmuştur. 2020 yılından bu yana İHA'larımız tarafından çok sayıda yangın tespit edilmiş ve gelişen teknolojinin İHA'lar da dahil olmak üzere kullanılmasıyla birlikte orman yangınlarına ilk müdahale süresi 40-45 dakika seviyesinden 10 dakika seviyesine düşmüştür. (OGM, 2023)

Orman yangınlarında insansız hava araçlarının kullanımının büyük önem taşıdığı ve gelişen teknolojiler ışığında gelecekte de kullanım şeklinin çeşitlenerek artacağı göz önünde bulundurularak tez çalışması bu alan üzerinde gerçekleştirilmiştir.

İnsansız hava aracı sistemlerinin etkinliğinin artmasında en önemli faktörlerden birisi de sistemlerin uygun yerlere konuşlandırılmasıdır. Hava aracında ve yerde bulunan antenlerin görüş hattında haberleşmesi, menzil mesafesi içerisinde herhangi bir engel olmadığı sürece devam etmektedir. İHA'ların görüş hattında kesintisiz görev yapabilmesi için hava aracında ve yerde bulunan veri haberleşme sistemi antenleri arasında kesintisiz haberleşmenin sağlanabildiği kapsama bölgesinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmada, yangınla mücadele kapsamında erken tespit amacıyla kullanılan İHA'ların görüş hattında gerçekleştirilen uçuşlarında veri haberleşmesini sağlayan ve hava aracının yer kontrol istasyonları üzerinden komuta kontrolünü mümkün kılan veri haberleşme sistemlerinin yer unsuru yer veri terminallerinin (YVT) en uygun noktalara yerleştirilmesi amaçlanmıştır.

Bahse konu YVT'lerin kapsama alanlarının belirlenmesi ve belirli varsayımlarla konumlandırılmaları Tesis Yer Seçimi Problemleri kapsamına girmektedir. Tesis yer seçimi problemleri kapsamında, Orman Genel Müdürlüğünün 2018-2022 yıllarında şehir bazında ve hektar cinsinden yangından zarar gören alan miktarı verileri ABC analizi yöntemi ile sınıflandırılarak öncelikli ve orta öncelikli kategoride yer alan şehirler ile çalışma alanı oluşturulmuş ve talep noktaları çalışma alanı içerisinde kalacak şekilde belirlenmiştir. Aday noktaları ise, mevcut sivil havaalanları arasından çalışılan bölgeye yakınlık ve aynı bölgede birden fazla havaalanının bulunması gibi koşullar göz önünde bulundurularak belirlenmiş ve probleme dahil edilmiştir. Talep noktalarının tamamının kaplanacağı asgari sayıda tesisin kurulması istendiği için problem Küme Kapsama Problemi olarak değerlendirilmiştir.

Aday noktalarının her biri için Global Mapper programı kullanılarak görüş analizleri yapılmış ve İHA'ların görev yapabileceği kapsama alanları belirlenmiştir. Analiz sonuçları incelenerek kapsama alanı içerisinde kalan talep noktaları her aday noktası için tek tek belirlenmiş, 1-0 küme kapsama matrisi oluşturulmuş ve modele dahil edilmiştir. Küme kapsama problemi için tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuş, GAMS 46.4.1 programlama yazılımı kullanılarak kodlanmış ve Cplex çözücü kullanılarak çözülmüştür.

Bu çalışma yedi ana bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde, tez çalışmasının konusu ve kapsamından bahsedilerek giriş yapılmış, ikinci bölümde öncelikle Türkiye'nin orman varlığı incelenmiş ve daha sonra orman yangınları detaylı olarak ele alınarak Türkiye ve dünya üzerindeki etkisinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölüm, İHA'lara ilişkin genel bilgilerden oluşmakta olup İHA'ların kullanımı, sınıflandırılması ve İHA sistemlerine yönelik hususlardan bahsedilmiş ve yer veri terminallerine ilişkin bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde tesis yer seçimi problemlerinden tez çalışması kapsamında yer alan küme kapsama problemleri de dahil olmak üzere detaylı olarak bahsedilerek sınıflandırma ve modellere ilişkin girdiler yapılmıştır. Beşinci bölümde ise; orman yangınları, tesis yer seçimi problemleri ve İHA'lara ilişkin 2004 yılından bu yana yapılan çalışmalar incelenmiştir. Altıncı bölümde küme kapsama problemi kapsamında kurulan matematiksel model ve modelin çözümüne yönelik GAMS programı kullanılarak elde edilen çıktılar yer almaktadır. Son olarak yedinci bölümde ulaşılan sonuçlar ele alınarak değerlendirme yapılmış, gelecekte yapılabilecek çalışmalardan ve ilave katkılardan bahsedilmiştir.

2. ORMAN YANGINLARI

2.1 Türkiye'nin Orman Varlığı

Ormanlar; maddi manevi çok çeşitli ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel faydalar sunan doğal kaynaklardır. Günümüzde çok hızlı bir şekilde artan nüfus, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, şehirleşmenin artması ve ekonomik faaliyetler sebebiyle hem çevre hem de doğal kaynaklar üzerindeki baskı büyük ölçüde artmaktadır. Sürekli artan baskı önemli doğal kaynaklar arasında yer alan ormanlar üzerinde de tehdit unsuru oluşturmaktadır. (OGM, 2018)

Ülkemiz orman ekosistemleri, zengin biyolojik çeşitliliğe sahip olması dolayısıyla hem ulusal hem de küresel düzeyde dikkat çekmektedir.

Orman Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan 2013-2015 yılları verilerine bakıldığında, ülkemizde 22,3 milyon hektarlık ormanlık alan olduğu ve bu miktarın ülke genel alanının %28,6'sını oluşturduğu tespit edilmiştir. Ormanlık alanların 2015 yılındaki alan ve servet dağılımı verilerine Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de yer verilmiştir.

Tablo 2.1: Ormanlık Alanların 2015 Yılındaki İşletme Şekillerine Göre Alan Durumu.

ORMANLIK ALAN DAĞILIMI						
İŞLETME ŞEKLİ	Normal Kapalı		Boşluklu Kapalı		Toplam	
	ha	%	ha	%	ha	%
Koru	11.919.061	54	7.700.657	34	19.619.718	88
Baltalık	785.087	3	1.938.130	9	2.723.217	12
Toplam	12.704.148	57	9.638.787	43	22.324.935	100

Tablo 2.2: Ormanlık Alanların 2015 Yılındaki İşletme Şekillerine Göre Servet Durumu.

AĞAÇ SERVETİNİN DAĞILIMI						
İŞLETME ŞEKLİ	Normal Kapalı		Boşluklu Kapalı		Toplam	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%
Koru	1.506.131.410	93	59.996.731	4	1.566.128.141	97
Baltalık	33.692.118	2	11.953.934	1	45.646.052	3
Toplam	1.539.823.528	95	71.950.665	5	1.611.774.193	100

Tablolarda yer alan terimlere bakıldığında, üzerinde orman ağacı bulunan alanın hektar (ha) cinsinden büyüklüğü orman alanı, ölçüm anında yaşayan ve üretim yapan, belirli bir göğüs çapının üstündeki gövdelerin m³ cinsinden hacimleri toplamı ise ağaç serveti olarak tanımlanmaktadır. (OGM, 2021)

Baltalık orman, kök veya kütük sürgün kökenli tıraşlama ormanlara denilmekte olup kısa idare süreli ince sürgün kökenli ağaçlardan oluşmaktadır. Koru ormanları ise, tohum orijinli yetişmiş veya yetiştirilecek ormandır. Çoğunlukla idare süresi uzun olan yüksek boylu ağaçlardan meydana gelmektedir.

Normal kapalı orman ve boşluklu kapalı ormanlar ise tepe çatılarına göre sınıflandırılmaktadır. Ağaçların tepe çatılarının %11-100 oranlarında alanı örttüğü ormanlar normal kapalı, ağaçların tepe çatılarının %10 ve daha az oranda alanı örttüğü ormanlar ise boşluklu kapalı ormanlar olarak tanımlanmaktadır.

2016-2020 yılları verilerine bakıldığında ise 22.9 milyon hektar ormanlık alan miktarı ile ülke genel alanının %29,4'ü ormanlık alanlardan oluşmaktadır. 2020 yılında ormanlık alan ve ağaç servetinin dağılımı Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te yer almaktadır.

Tablo 2.3: Ormanlık Alanların 2020 Yılındaki İşletme Şekillerine Göre Alan Durumu.

ORMANLIK ALAN DAĞILIMI						
İŞLETME ŞEKLİ	Normal Kapalı		Boşluklu Kapalı		Toplam	
	ha	%	ha	%	ha	%
Koru	12.914.800	56	8.741.566	38	21.656.366	94
Baltalık	349.629	2	927.005	4	1.276.634	6
Toplam	13.264.429	58	9.668.571	42	22.933.000	100

Tablo 2.4: Ormanlık Alanların 2020 Yılındaki İşletme Şekillerine Göre Servet Durumu.

AĞAÇ SERVETİNİN DAĞILIMI						
İŞLETME ŞEKLİ	Normal Kapalı		Boşluklu Kapalı		Toplam	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%
Koru	1.614.281.635	95,1	64.037.202	3,8	1.678.318.837	98,9
Baltalık	14.013.759	0,8	4.722.404	0,3	18.736.163	1,1
Toplam	1.628.295.394	95,9	68.759.606	4,1	1.697.055.000	100

Ormanlık alan ve ağaç serveti dağılımı 2015 ve 2020 yılları için detaylı olarak gösterilmiştir. Ormanlık alan miktarına 1973-2020 yılları arasında daha genel bir şekilde bakıldığında,

- 1973 yılı verilerine göre 20.199.296 hektar ile ülke genelinin %26,1'i,
- 1999 yılı verilerine göre 20.763.248 hektar ile ülke genelinin %26,7'si,
- 2004 yılı verilerine göre 21.188.747 hektar ile ülke genelinin %27,2'si,
- 2012 yılı verilerine göre 21.678.134 hektar ile ülke genelinin %27,7'si,
- 2015 yılı verilerine göre 22.342.935 hektar ile ülke genelinin %28,6'sı ve,
- 2020 yılı verilerine göre 22.933.000 hektar ile ülke genelinin %29,4'ünün ormanlık alanlardan oluştuğu ve bu envanter sonuçlarına göre; ormanlık alanda 47 yıl içerisinde

yaklaşık 2,7 milyon hektarlık artış olduğu tespit edilmiştir. (OGM, 2021) İlerleyen süreçte özellikle 2021 yılı içerisinde ülkemiz çok şiddetli orman yangınlarına maruz kalmış ve Orman Genel Müdürlüğü verilerine göre ormanlık alan miktarı 2021 yılında 23.110.000 hektar ve 2022 yılında 23.245.000 hektar olarak kayıt altına alınmıştır.

Tablo 2.5: Orman Alanının 2022 yılı İl Düzeyinde Dağılımı.

Orman Alanının İl Düzeyinde Dağılımı, 2022							
Orman Alanı (Hektar)							
İl	Normal Kapalı	Boşluklu Kapalı	Toplam	İl	Normal Kapalı	Boşluklu Kapalı	Toplam
İstanbul	225.413	15.275	240.688	Zonguldak	176.947	24.574	201.521
Tekirdağ	92.439	8.735	101.174	Karabük	242.242	45.519	287.761
Edirne	72.390	30.624	103.014	Bartın	118.177	15.354	133.531
Kırklareli	223.332	30.792	254.124	Kastamonu	695.763	180.551	876.314
Balıkesir	435.162	197.243	632.405	Çankırı	117.332	87.209	204.541
Çanakkale	370.480	109.773	480.253	Sinop	296.698	70.398	367.096
İzmir	267.651	210.896	478.547	Samsun	336.190	49.230	385.420
Aydın	205.985	120.956	326.941	Tokat	290.405	187.974	478.379
Denizli	343.503	245.169	588.672	Çorum	205.147	258.820	463.967
Muğla	546.586	286.310	832.896	Amasya	101.346	119.335	220.681
Manisa	328.969	210.368	539.337	Trabzon	152.405	29.136	181.541
Afyonkarahisar	112.549	166.751	279.300	Ordu	170.308	32.588	202.896
Kütahya	412.079	234.473	646.552	Giresun	174.486	83.654	258.140
Uşak	109.591	113.905	223.496	Rize	119.090	55.207	174.297
Bursa	357.252	126.290	483.542	Artvin	253.205	155.811	409.016
Eskişehir	236.868	173.189	410.057	Gümüşhane	139.800	99.777	239.577
Bilecik	143.824	96.428	240.252	Erzurum	139.456	128.375	267.831
Kocaeli	122.909	20.318	143.227	Erzincan	61.426	166.255	227.681
Sakarya	188.426	19.800	208.226	Bayburt	17.722	12.071	29.793
Düzce	128.263	4.940	133.203	Ağrı	495	4.825	5.320
Bolu	431.268	107.695	538.963	Kars	36.404	10.704	47.108
Yalova	40.407	7.163	47.570	Iğdır	2.974	-	2.974
Ankara	269.626	203.555	473.181	Ardahan	34.719	4.570	39.289
Konya	316.498	326.570	643.068	Malatya	70.010	139.638	209.648
Karaman	78.309	134.179	212.488	Elâzığ	50.419	131.094	181.513
Antalya	718.696	458.545	1.177.241	Bingöl	63.462	202.876	266.338
Isparta	193.359	203.063	396.422	Tunceli	138.219	127.686	265.905
Burdur	188.887	145.332	334.219	Van	1.907	43.234	45.141
Adana	384.434	209.226	593.660	Muş	29.651	48.775	78.426
Mersin	468.129	367.405	835.534	Bitlis	71.542	108.695	180.237
Hatay	145.699	62.368	208.067	Hakkâri	21.788	158.059	179.847
Kahramanmaraş	205.620	315.793	521.413	Gaziantep	52.999	59.618	112.617
Osmaniye	112.264	46.415	158.679	Adıyaman	37.476	121.758	159.234
Kırıkkale	38.353	31.933	70.286	Kilis	14.646	12.386	27.032
Aksaray	14.450	9.019	23.469	Şanlıurfa	9.523	5.327	14.850
Niğde	24.953	35.073	60.026	Diyarbakır	44.949	280.410	325.359
Nevşehir	7.336	7.602	14.938	Mardin	1.648	203.156	204.804
Kırşehir	32.889	10.779	43.668	Batman	48.818	66.101	114.919
Kayseri	59.678	107.186	166.864	Şırnak	102.181	194.924	297.105
Sivas	206.620	296.849	503.469	Sürt	47.109	185.155	232.264
Yozgat	157.613	118.343	275.956	GENEL TOPLAM	13.707.843	9.537.157	23.245.000

2022 yılı içerisinde kayıt altına alınan 23.245.000 hektar ormanlık alanın il bazında dağılımı Tablo 2.5'te yer almaktadır. Buna göre, ormanlık alan miktarı en çok olan ilk beş şehir arasında Antalya, Mersin, Muğla, Kastamonu ve Kütahya'nın olduğu görülmektedir.

Ormanlık alan miktarları da göz önünde bulundurulduğunda gerek coğrafi konumu gerekse bulunduğu iklim kuşağı sebebiyle ülkemizin orman yangınlarına hassas bir bölgede yer aldığı ve orman yangınlarının yakından incelenerek üzerinde durulması gereken bir konu olduğu aşikardır.

2.2 Türkiye'de Orman Yangınları

Akdeniz iklim kuşağında bulunan ülkemizde ormanlarımızın büyük bir bölümü yangın tehdidi altındadır. Toplam ormanlık alanın %60'ın birinci ve ikinci derece yangına hassas alanlardan oluşmakta, bu sebeple orman yangınları ülkemizin öncelikli konuları arasında yer almaktadır.

Hatay'dan başlayarak İstanbul'a kadar uzanan sahil şeridi Türkiye'nin en yüksek yangın riskine sahip bölgelerini kapsamaktadır. Diğer bir deyişle Türkiye'nin ormanlık alanının yaklaşık olarak %57'sini oluşturan 12,5 milyon hektarlık alan yangına duyarlı bölgede yer almaktadır.

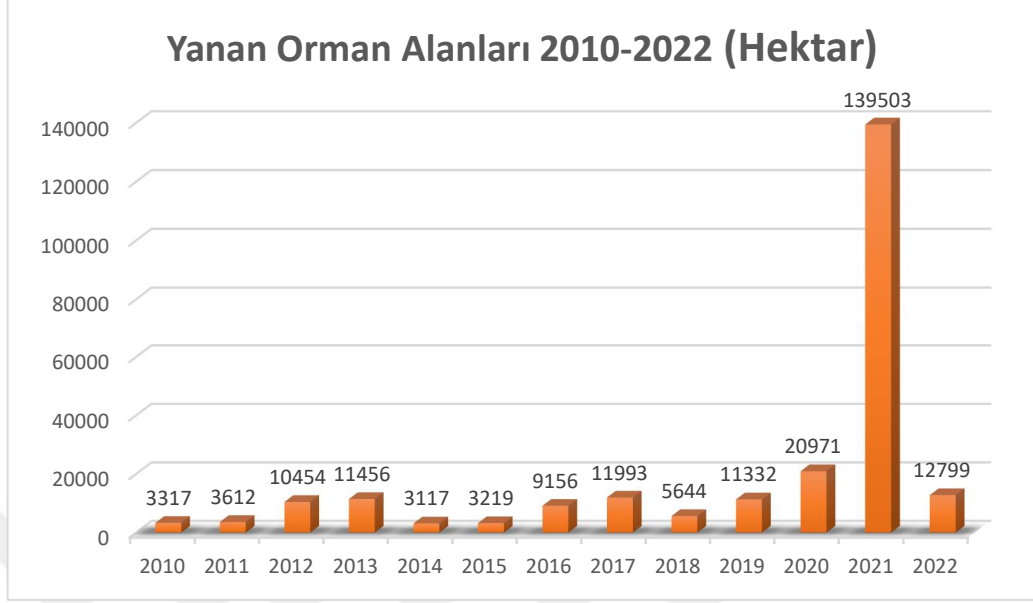
Ormanlarda, gerek insanlar tarafından ihmal, dikkatsizlik veya kasıt sonucu, gerekse doğal koşullar neticesinde yangınlar çıkmaktadır. Ülkemiz de hem bulunduğu coğrafi bölge ve iklim itibarıyla hem de diğer dış etkenler sebebiyle orman yangınlarına sık sık maruz kalmakta ve bu alanda mücadelesini sürekli olarak devam ettirmektedir. Orman yangınlarının çıkış nedenlerine göre sayısal ve alansal dağılımının stratejik plan uygulama dönemlerine göre sınıflandırılarak hazırlandığı Tablo 2.6 aşağıda yer almaktadır.

Tablo 2.6: Orman Yangınlarının Çıkış Sebeplerine Göre Sayısal ve Alansal Dağılımı.

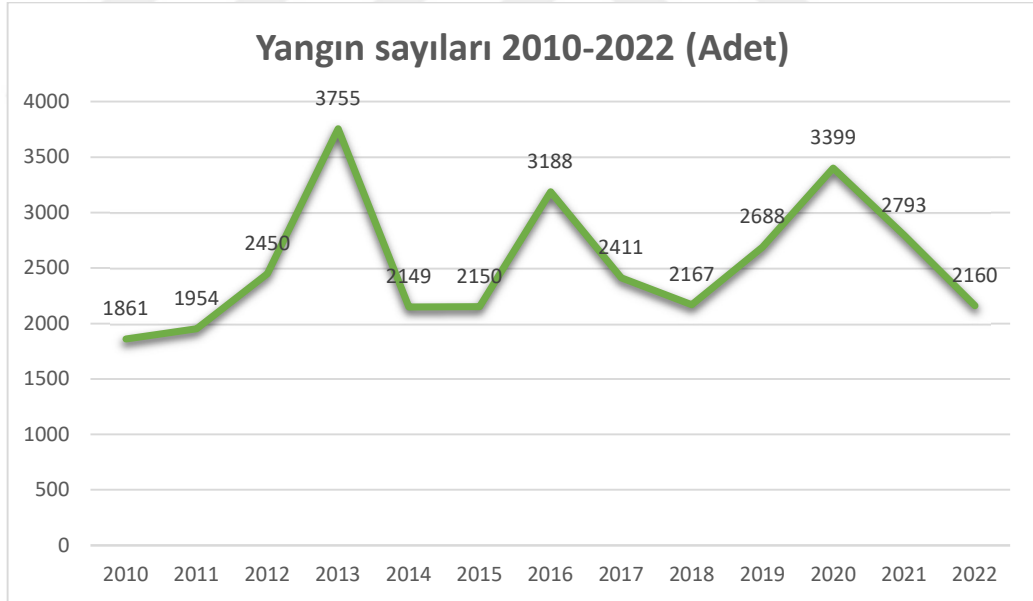
Dönem	Yıl	Yangın Çıkış Nedenleri										Toplam	
		Kasıt		İhmal/Dikkatsizlik/Kaza		Doğal		Faili Meçhul		Yangın Sayısı	Zarar gören Alan Miktarı		
		Adet	Hektar	Adet	Hektar	Adet	Hektar	Adet	Hektar	Adet	Hektar		
I. Stratejik Plan Uygulama Dönemi	2010	146	526	861	1851	281	69	573	871	1861	3317		
	2011	153	283	1067	2368	328	77	893	1273	1954	3612		
	2012	197	1615	936	5780	257	95	961	1759	2450	10454		
	Ortalama	165	808	955	3333	261	147	707	1506	2088	5795		
II. Stratejik Plan Uygulama Dönemi	2013	260	1478	1419	4051	258	138	1818	5789	3755	11456		
	2014	127	85	801	1682	328	78	893	1273	2149	3117		
	2015	137	167	797	1198	257	95	959	1759	2150	3219		
	2016	157	240	990	5221	310	170	1731	3524	3188	9156		
Ortalama	170	493	1002	3038	288	120	1350	3086	2811	6737			
III. Stratejik Plan Uygulama Dönemi	2017	151	619	721	7146	259	84	1280	4144	2411	11993		
	2018	94	179	676	2120	400	142	997	3203	2167	5644		
	Ortalama	123	399	699	4633	330	113	1139	3674	2289	8819		
IV. Stratejik Plan Uygulama Dönemi	2019	124	686	883	6529	372	373	1309	3744	2688	11332		
	2020	72	718	1156	8285	312	197	1859	11771	3399	20971		
	2021	110	46148	1001	46878	208	1329	1329	46269	2793	139503		
	2022	86	4722	830	5428	358	517	886	2132	2160	12799		
Ortalama	98	13069	968	16780	349	324	1346	15979	2760	46151			

Tablo 2.6 incelendiğinde, 1.2.3. ve 4. Stratejik plan uygulama dönemleri de dikkate alınarak yangın sayıları yıllık ortalama 2.500 adet civarında iken zarar gören alanların miktarlarında önemli ölçüde artışların olduğu görülmektedir. Özellikle 4. Stratejik Plan döneminde diğer dönemlere göre yangın sayısı bakımından önemli bir farklılık olmamasına karşın yangınlardan etkilenen alan miktarında büyük çaplı artışlar görülmektedir. Bu durum iklim değişikliğinin orman yangınları üzerindeki etkisini gözler önüne sermektedir.

Yangın sayıları ve yanan orman alanlarının daha net bir şekilde gözlemlenebilmesi amacıyla 2017 ve 2022 yılları arasında kayıt altına alınan verilere göre hazırlanan grafikler Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de yer almaktadır.



Şekil 2.1: 2010-2022 Yılları Yanan Orman Alanları.



Şekil 2.2: 2010-2022 Yılları Yangın sayıları.

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 değerlendirildiğinde yangın sayılarından ziyade yangında etkilenen alanların önemi ortaya çıkmaktadır. 2021 yılında kayıt altına alınan yangın sayısı 2022 yılından az olmasına rağmen etkilenen alan miktarında çok büyük bir artış meydana gelmiştir. Bu da orman yangınlarında erken tespit ve müdahalenin öneminin bir kez daha vurgulanması gerektiği göstermektedir.

Yangın sayılarından ziyade yangında etkilenen alanların öneminin vurgulanması çalışmanın ilerleyen bölümlerinde çalışma alanını oluştururken orman yangınlarında zarar gören alan miktarı verilerinin kullanılmasında etkili olmuştur.

Orman Genel Müdürlüğünden elde edilen veriler sonucunda 2021 yılında toplamda gerçekleşen 2.793 yangın sayısı ile 139.503 hektar alanın yandığı görülmektedir. Son zamanların en büyük yangınlarının görüldüğü 2021 yılı yangınlarının ay bazında incelendiği grafik Şekil 2.3'te yer almaktadır.

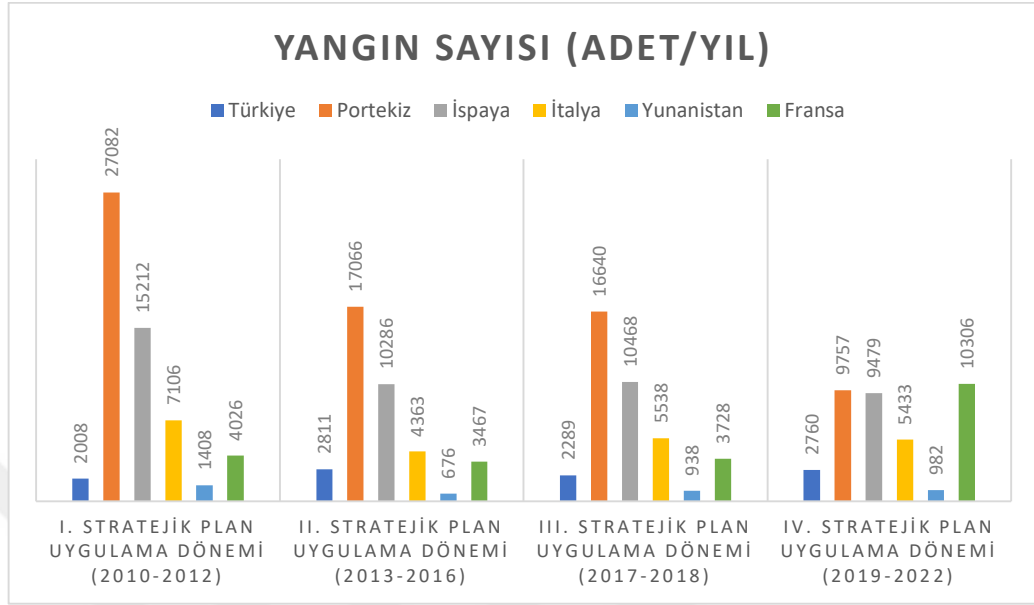


Şekil 2.3: 2021 Yılı Orman Yangınlarının Aylara Göre Dağılımı.

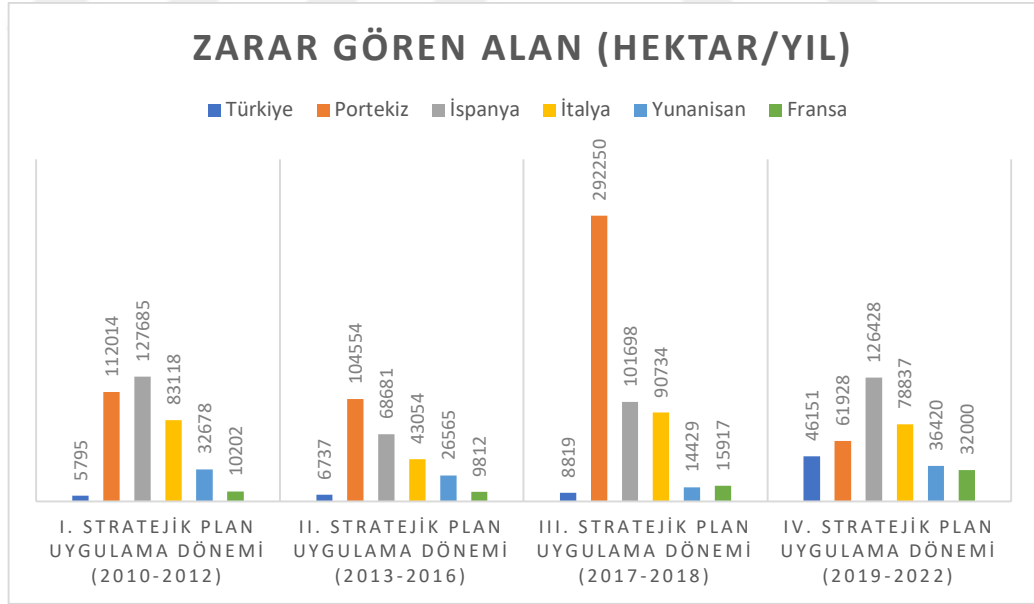
JRC (2021)'den uyarlanmıştır.

Grafikte de görüldüğü üzere yangınların çoğunlukla Mart-Aralık döneminde, özellikle Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında meydana geldiği ve Temmuz ayının en yüksek oranların görüldüğü ay olduğu tespit edilmektedir. Ülkelerin, orman yangınlarıyla mücadele kapsamında bu verileri dikkate alarak önlem alması ve çalışmalarını bu doğrultuda yürüterek erken tespit söndürme çalışmalarına yön vermesi orman yangınlarıyla mücadelede başarıyı artıran bir unsur olacaktır.

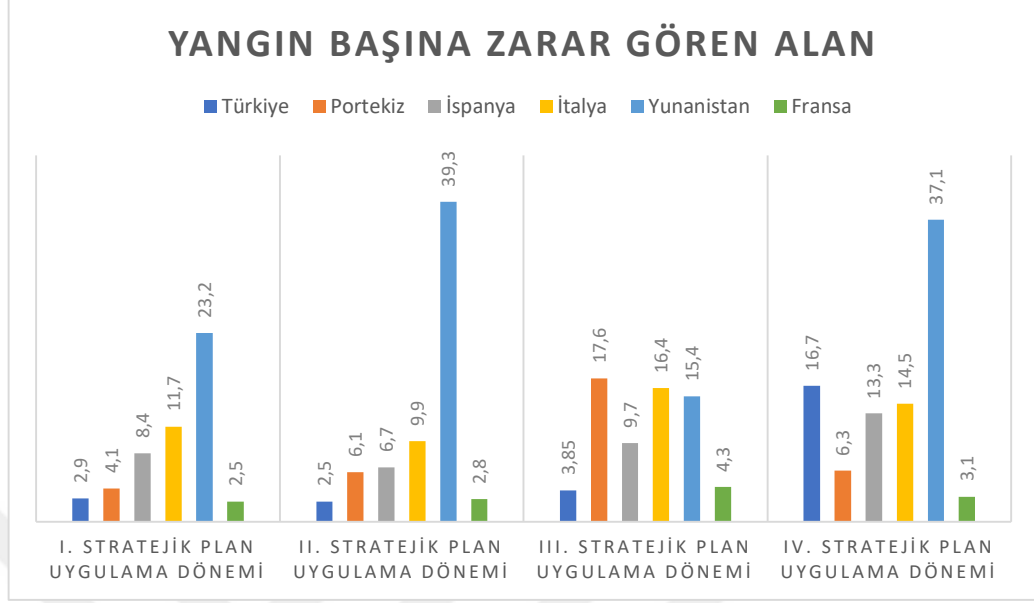
Ülkemiz ile benzer iklim kuşağında yer alan ve benzer bitki özelliklerine sahip ülkelerdeki orman yangınlarının durumunu incelemek kıyaslama açısından faydalı olacağından Orman Genel Müdürlüğü'nün 2024-2028 Yılları Stratejik Planı verilerine göre oluşturulan yangın sayısı, zarar gören alan ve yangın başına zarar gören alan grafikleri Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da yer almaktadır.



Şekil 2.4: Ülkelere Göre Yangın Sayıları.



Şekil 2.5: Ülkelere Göre Zarar Gören Alan Miktarları.



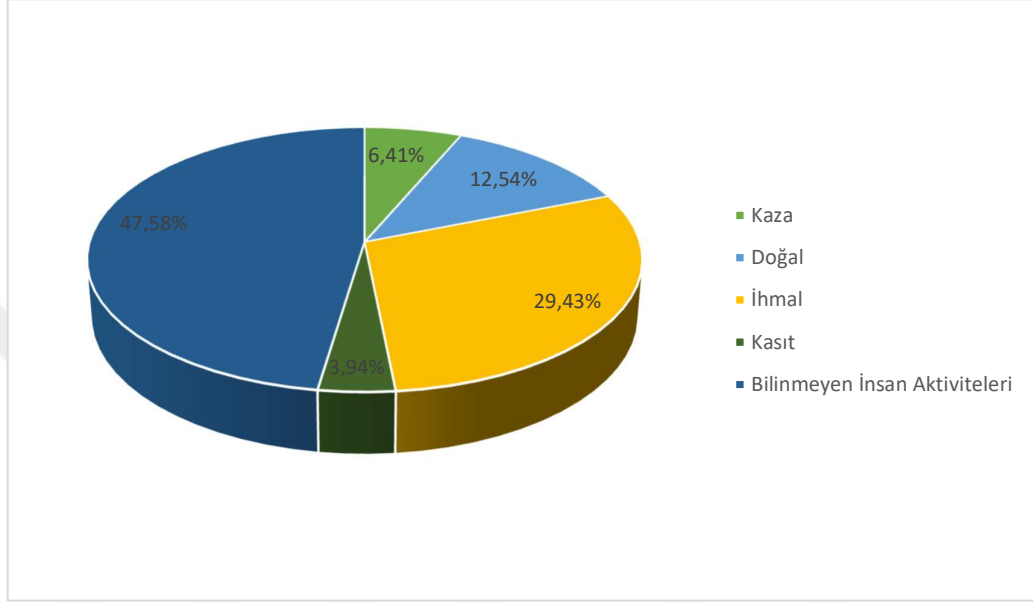
Şekil 2.6: Ülkelere Göre Yangın Başına Zarar Gören Alan Miktarları.

Yukarıda yer alan grafikler birlikte incelendiğinde, özellikle İspanya, İtalya ve Yunanistan’da kayıt altına alınan yangın başına zarar gören orman alan miktarında artış eğiliminin olduğu görülmektedir. Fransa’da ise, ortalama yangın sayısında artış olmasına rağmen yangından zarar gören alan miktarında yaşanabilecek artışlara müdahale edilerek yangın başına zarar gören orman alan miktarında istikrarlı bir seviye yakalanmıştır. (OGM, 2023) Portekiz’de yıllar içerisinde meydana gelen yangın sayılarında azalma olsa da özellikle III. Stratejik Plan uygulama döneminde zarar gören alan miktarının önemli seviyelere ulaştığı ve benzer şekilde Türkiye’de de yangın sayılarında büyük bir değişiklik olmamasına rağmen IV. Stratejik Plan Uygulama döneminde zarar gören alan miktarında gözle görülür bir artış olduğu gözlemlenmektedir.

2.3 Orman Yangınlarının Nedenleri

Türkiye’de orman yangınlarının büyük bir bölümünü oluşturan %78’lik kısım 400 metre yüksekliğe kadar olan ormanlık alanlarda meydana gelmektedir. Bu alanlar, yüksek nüfuslu, yüksek göç oranına sahip, değerli arazilerin olduğu, kadastro ile ilgili sorunların olduğu ve turizm bölgesi olan alanlardan oluşmaktadır.

Türkiye’de görülen orman yangınlarının önemli bir bölümü insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. 2021 yılında görülen orman yangınlarının sebeplerini gösteren pasta grafiği şekil 2.7’de verilmiştir. (JRC, 2021)



Şekil 2.7: 2021 Yılı Orman Yangınlarının Nedenleri.

Grafik incelendiğinde, 2021 yılında yangınların yüzde 3.94’lük kısmının terör, kundaklama gibi kasıtlı olaylardan, yüzde 6.41’lik kısmının enerji hatlarından kaynaklı gelişen yangınlar gibi kazara gelişen olaylardan, yüzde 12.54’lük kısmının doğa olaylarından, yüzde 29.43’lük kısmının anız, çöplük, avcılık, çoban ateşi, sigara ve piknik gibi ihmal sebebiyle gelişen olaylardan ve yüzde 47.58’lik kısmının bilinmeyen insan aktivitelerinden kaynaklı meydana geldiği görülmektedir.

Meydana geliş sebebi her ne olursa olsun orman yangınları tüm dünya için sürdürülebilir bir gelecek açısından tehdit unsuru oluşturmaktadır. (Dağıstanlı, 2023) Büyük bir oranın, insan kaynaklı meydana geldiği göz önüne alındığında hem bireysel olarak hem de devlet politikası gereğince alınacak tedbirlerin orman yangınlarının önüne geçilmesinde büyük bir etkiye sahip olacağı sonucuna varılmaktadır.

2.4 Yangın Yönetim Faaliyetleri

Yangınların önlenmesi için; eğitim ve bilinçlendirme, söndürme faaliyetlerinde görev alacak verimli işgücü, yangınla mücadele edecek ekibin yeterli ekipmanının bulunması, yangına müdahale edebilecek nitelikli ekibin varlığı, haberleşme sisteminin sürekli çalışır vaziyette bulunması, teknolojinin etkin bir şekilde kullanılması, iş birliği ve koordinasyonun sağlanması en önemli unsurlar olmaktadır.

Türkiye’de yangın yönetimi Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı, özel bütçeli ve tüzel kişiliğe sahip bir kamu kurumu olan Orman Genel Müdürlüğü sorumluluğunda yürütülmektedir.

Yangınla mücadele temel olarak erken önleme, erken tespit, söndürme, soğutma ve yangın sonrası kontrol süreçlerinden oluşmaktadır. Yangın önleme aşamasında, yangın tespiti için yangın kuleleri inşa edilmekte ve yangına duyarlı bölgelerde çeşitli noktalara kameralar yerleştirilmektedir. Yangınla mücadele aşamasında ise kule ve kameralardan elde edilen detaylı bilgi yangın yönetim merkezlerinde raporlanarak yangın bölgelerine mücadele ekipleri yönlendirilmektedir.

1970’li yıllardan beri arazöz, greyder ve dozer gibi ilk müdahale araçları satın alma politikaları ile envantere kazandırılmakta, uçak ve helikopter gibi araçlar ise kiralama politikaları ile kullanılmaktadır. Ülkemizde, 2021 yılında meydana gelen büyük çaplı orman yangınları ile yangınla mücadelede kullanılan araçlar için envanterde güçlendirmeye gidilecek politikaların geliştirilmesine önem verilmiştir. 2021 yılı boyunca su kaynaklarının az olduğu ormanlık alanlarda müdahale sürelerini kısaltmak amacıyla çok sayıda yangın havuzu ve göletler kullanılmıştır. Yine aynı yılda çok sayıda personel yangın algılama, iletişim ve söndürme faaliyetlerinde yer almıştır. Bu kapsamda; buldozer, greyder, itfaiye aracı, su deposu, motosiklet, ilk müdahale aracı gibi kara unsurlarının yanında çok sayıda helikopter, uçak ve insansız hava aracı da kullanılmıştır. (JRC, 2021)

2022 yılı Orman Genel Müdürlüğü faaliyet raporunda yangınla mücadele kapsamında 55 adet yangın söndürme helikopteri, 20 adet uçak ve 6 adet insansız hava aracının kiralandığı, ayrıca helikopter ve uçak alımı için bütçe ödeneği ayrıldığı bilgisi paylaşılmıştır. (OGM, 2023)

İnsansız hava araçları, 2021 yılında yangınla mücadele kapsamında ilk kez kullanılmış ve yangın tespiti termal kameralar sayesinde kolaylıkla yapılabilmektedir. Devam eden yangınlarda termal kameralar ile elde edilen görüntülerin karar aşamasında yöneticiler için oldukça kullanışlı olduğu görülmüştür.

Yangınla mücadelede büyük katma değer sağlayan insansız hava araçları, çalışma kapsamında detaylı olarak ele alınmış ve tanımı, görev alanları, avantaj ve dezavantajları, sınıflandırılması, İHA Sistemi ve orman yangınlarında kullanımıyla ilgili bilgiler sonraki bölümde detaylı olarak paylaşılmıştır.



3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

3.1 İnsansız Hava Aracı Tanımı

İnsansız Hava Araçlarına yönelik literatürde benzer özellikleri barındıran çok sayıda tanımlama mevcuttur. Kapsamlı bir ifade ile, insan taşımadan kendi kendisine ya da uzaktan kumanda edilerek kullanılabilen, kaldırma kuvveti oluşturmak için aerodinamik kuvvetleri kullanan, yeniden kullanılabilir, sarf edilebilir, öldürücü ya da öldürücü olmayan faydalı yükleri taşıyabilen motorlu hava aracıdır. (SSM, 2011)

ABD Savunma Bakanlığının yayınladığı Askeri ve İlgili Terimler Sözlüğünde ise İnsansız Hava Araçları için kullanıcı operatörü üzerinde taşımadan, kendi kendine veya uzaktan kumanda edilerek uçuş kabiliyetine sahip hava aracı ifadesi kullanılmaktadır (DoD, 2021)

Bunun yanında; NATO'nun, insansız hava aracı terimi yerine kullandığı uzaktan kontrol edilen hava aracı tanımı; insanlı bir uçağı uçurabilecek standartlarda eğitilmiş ve sertifikalandırılmış bir pilot tarafından, komuta kontrol istasyonu vasıtasıyla uzaktan kontrol edilebilen insansız hava aracıdır olarak yapılmaktadır. (NATO, 2021)

İnsansız hava araçlarının, medya tarafında sıkça yapıldığı üzere model uçaklarla ya da dronelarla karıştırılmaması önemlidir. Model uçaklar yalnızca spor için kullanılmakta ve operatörün görüş alanı içerisinde kalmakta iken operatör de uçağı tırmanma, inme, sola veya sağa dönme talimatları vermekle sınırlıdır. Benzer şekilde drone'lar, operatörün görüş mesafesi içerisinde uçuşunu gerçekleştirirken önceden programlanmış bir görev kapsamında kullanılmaktadır. İnsansız hava aracı ise otomatik bir zekâ derecesine sahip olup, denetleyicisi ile iletişim kurabilmesi, elektro optik veya termal görüntüler gibi faydalı yük verilerini, konum ve durum bilgilerini, hız, yön, irtifa, yakıt miktarı, bileşenlerin sıcaklıkları gibi bilgileri iletebilmesiyle diğerlerinden ayrılmaktadır. (Austin, 2010)

3.2 Görev Alanları

İnsansız hava araçlarının geçmişte kullanımı kısıtlı imkân ve kabiliyetlerde belli başlı alanlarda başlamış, daha sonra hızlı bir gelişim göstererek günümüzde hem sivil hem de askeri birçok alana yayılmıştır.

Gelinen aşamada, en basitinden en karmaşığa kadar çeşitli yelpazelerde ve çok sayıda İHA Sistemi geliştirilmiştir. İHA Sistemleri ile gerçek kullanım ortamında, ortaya çıkan problemlere getirilen çözümler sonucunda edinilen tecrübeler ile sistemler günden güne olgunlaşmış ve kullanım alanları da bu doğrultuda çeşitlenmiştir. Geçmişte özellikle istihbari bilgi toplamak amacıyla keşif gözetleme faaliyetlerinde kullanılmak üzere geliştirilen İHA Sistemleri, günümüzde yasadışı göçmenlerin takibi, trafik akışının takibi, orman yangınları ile mücadele, doğal afet zamanlarında iletişimin ve hasar tespitinin sağlanması, uyuşturucu operasyonları, meteorolojik bilgilerin toplanması, hava ve deniz kirliliğine yönelik araştırmalar, küresel iklim değişimlerinin gözlenmesi, sınır güvenliğinin sağlanması, cep telefonu rölesi ve çok çeşitli keşif gözetleme faaliyetinde kullanılmaya başlamıştır.

İHA Sistemlerinin kullanıldığı görev alanları temel olarak askeri alanlar ve sivil alanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.2.1 Askerî Alanda Kullanım

Teknolojinin yükselen bir hızla gelişmesiyle beraber İHA'ların kabiliyetleri de aynı oranda artmış ve birçok askerî görevde kullanılmaya başlanmıştır. (Altundaş, 2022)

İHA Sistemlerinin askerî alanda kullanıldığı en temel görev; istihbarat, gözetleme ve keşif (İGK) görevidir. Özellikle, düşman unsurların bulunduğu dost olmayan hava sahalarında hem insan hayatının tehlikeye girmesine yönelik risk unsurunu ortadan kaldırmak hem de insan dayanımının yetersiz kaldığı uzun görevlerde kullanılmak üzere insansız hava araçları öne çıkmaktadır. Görev kapsamına göre İHA Sistemlerinde çeşitli faydalı yükler kullanılmakta ve diğer ihtiyaçlara göre sistem gerekli fonksiyonel donanımla tamamlanmaktadır.

İHA Sistemlerinin askerî alanda kullanımı Şekil 3.1'de gösterildiği üzere temelde keşif ve gözetleme faaliyetleri, elektronik harp, taarruz, hedef benzetimi ve diğer özel görevler olmak üzere beş alanda incelenmektedir. (SSM, 2011)



Şekil 3.1: İHA Sistemi Askeri Görevleri.

Beş alan içerisinde yer alan keşif gözetleme görevleri, taktik ve stratejik sahalarda gerçekleştirilebilmekte olup harp sahasında bulunan birliklerin anlık görüntü istihbaratına yönelik ihtiyaçların karşılanması amacıyla gerçekleştirilen görevlerdendir. Keşif gözetleme görevlerinin devamı niteliğinde olan taarruz görevi, kritik hedeflerin ortadan kaldırılması amacıyla gerçekleştirilmekte, hedef benzetimi görevi ise hedef uçak ya da sahte uçak sistemleri kullanılarak gerçekleştirilebilen görevler arasında yer almaktadır. Haberleşme desteği, mayın patlayıcı desteği, arama kurtarma faaliyetleri, deniz karakol ve denizaltı savunma harbi, çoklu İHA görevi ve kargo taşıma faaliyetleri gibi diğer özel görevler kategorisinde yer alan görevler ile elektronik harp görevleri de insansız hava araçlarının askeri kullanım alanlarındandır. (SSM, 2011)

Düşman hava savunma tehdidi ile hemen hemen hiç karşı karşıya kalınmayan harekât alanlarında görev yapan insansız hava araçları, uzun süreler boyunca görev bölgesinde kalabildiği için sürekli gözetleme kavramı anlık keşif kavramının önüne geçmektedir. Günümüzde, uzun süren uçuşlar boyunca çok sayıda hedefin veya hedef bölgesinin kapsanması, acil ihtiyaç duyulan yeni hedef bölgelerine İHA kaydırılması ile mümkün olabilmektedir. (STM, 2016)

İHA'ların askeri alanda kullanıldığı görevler aşağıda detaylı olarak yer almaktadır. (Austin, 2010)

Deniz Kuvvetleri için,

- Düşman filolarının gölgelenmesi
- Elektronik istihbarat
- Radyo sinyallerinin aktarılması
- Limanların açık deniz saldırılarından korunması
- Solar şamandıra ve diğer denizaltı karşıtı savaş unsurlarının yerleştirilmesi ve izlenmesi

Kara Kuvvetleri için,

- Keşif yapılması
- Düşman faaliyetlerinin gözetimi
- Nükleer biyolojik ve kimyasal izlemenin yapılması
- Elektronik istihbarat
- Hedef belirleme ve izlemenin yapılması
- Kara mayınlarının yerinin belirlenmesi ve imhası

Hava Kuvvetleri için,

- Uzun menzil ve yüksek irtifada gözetlemenin yapılması
- Radar sinyallerinin engellenmesi ve bozulması
- Elektronik istihbarat
- Uçuş pisti güvenliği
- Uçuş pisti hasar tespiti
- Bomba imhası

3.2.2 Sivil Alanda Kullanım

İHA Sistemlerinin sivil amaçlı kullanımı askerî amaçlı kullanımına benzer şekilde çoğunlukla görüntü toplama üzerine gerçekleştirilmektedir. Sel, orman yangını, deprem vb. acil durum tespiti gerektiren görevler uygulama alanları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bunun yanında, cep telefonu, telsiz, vb. haberleşme donanımı için İHA sistemlerinin röle olarak kullanımı da bir diğer sivil uygulama alanıdır. (SSM, 2011) İHA'ların sivil alanda kullanımının en belirgin örnekleri aşağıda yer almaktadır. (Austin 2010; SSM, 2011)

- Hava fotoğrafçılığı
- Tarım
- Çevre koruma
- İtfaiye hizmetleri ve ormancılık
- Film, video vs.
- Ekin ve hasat durumu izleme
- Arama ve kurtarma
- Kıyı şeridi izleme
- Okyanus gözlemleri

- Elektrik hattı denetimi
- Yangın algılama ve kontrolü
- Balıkçılık izleme
- Atmosfer araştırması
- Arazi araştırması ve boru hattı güvenliği
- Haber bilgileri ve fotoğraflar
- Afet ve kriz yönetimi
- Karayolu trafiğinin izlenmesi ve kontrolü
- Boru hattı güvenliği
- Haritalama için hava fotoğrafçılığı
- Coğrafi, jeolojik ve arkeolojik araştırma
- Kasırga oluşumu ve araştırması
- Volkan çalışmaları ve patlama uyarısı
- Hava durumu tahmini
- Yağ kaçağı gözleme

3.3 Avantajlar-Dezavantajlar

İnsanlı uçaklara kıyasla İHA sistemlerini daha avantajlı kılan özelliklerden en temeli, belirli bir bölgenin sürekli izlenmesi gibi “sıkıcı”, düşman hava savunma tehdidinin yüksek olduğu bölgelerde keşif gözetleme görevi gibi “tehlikeli” ve kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer kirlenme tespiti görevi gibi “kirlili” olarak adlandırılan üç kritik durumda hem etkin hem ekonomik hem de emniyetli çözümler sunabilmesidir. (STM, 2016)

Uzun görev saatleri gerektiren askeri ve sivil uygulamalar hava mürettebatı için sıkıcı bir deneyim olabilmekte ve göreve harcanan uzun saatler konsantrasyon kaybına ve dolayısıyla görev etkinliğinin kaybına yol açabilmektedir. Yine hem sivil hem de askeri uygulamalar içerisinde geçerli olan, çevrenin nükleer ve kimyasal kontaminasyon için izlenmesi görevi uçak mürettebatını gereksiz bir risk içerisine sokabilmektedir. Riskli savunma alanlarının görüntülenmesi gibi askeri görevlerde de hava mürettebatının görev üzerinde yoğunlaşması tehlike yaratabilmektedir. İHA operatörleri ise bir tehdit altında olmadıkları için göreve daha etkili bir şekilde konsantre olabilmekte ve bu sebeple daha büyük bir görev başarısı sunabilmektedir.

Elektrik hattı denetimi, orman yangınlarının kontrolü gibi sivil alandaki görevler de insanlı uçak ekibinin önemli bir tehlike altında olabileceği ve insansız hava araçlarının daha kolay ve personeli riske atmadan gerçekleştirebileceği tehlikeli görevler arasında yer almaktadır. (Austin, 2010)

İHA'ların insanlı uçaklara göre;

- Düşük idame ve işletme maliyeti,
- Daha uzun uçuş süresi,
- Uçuş ekibi kaynaklı uçuş süresi limiti olmaması,
- Havada dinamik yeniden görevlendirme imkânı,
- İnsan kaynaklı hata riskinin asgari olması,
- Kaza-kırım durumunda uçuş ekibi kaybı riskinin olmaması

gibi özellikleri en büyük avantajlarından olmaktadır. Bunun yanında havacılık alanındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarında insansız hava araçlarının insanlı uçakların öngörülen sivil ve askeri tasarımlarının küçük ölçekli kopyaları olarak test amacıyla kullanılması, havadaki testlerin gerçekçi koşullar altında ucuza ve daha az tehlikeyle yapılmasını sağlamaktadır. Yerel halkın gürültüden rahatsız olabileceği ve hayvanların hem gürültüden hem de alçaktan uçan uçakları görmekten rahatsız olacağı elektrik hatlarının denetlenmesi gibi görevlerde de insansız hava araçları insanlı uçaklara kıyasla daha az kirliliğe ve çevresel rahatsızlığa sebep olmaktadır. (Austin, 2010)

Tüm bu avantajlarının yanında;

- İHA pilotunun normal bir pilotun sahip olduğu görüş imkânına ve özellikle kısa sürede reaksiyon gösterme kabiliyetine sahip olmaması,
- İHA'ların kuvvetli rüzgâr, yağış ve türbülans gibi olumsuz meteorolojik şartlardan etkilenmesi,
- İHA Sistemlerinin ister görüş hattında (LOS), isterse görüş hattı ötesinde (BLOS) olsun, kontrol birimine bağlantısının gerekli olması ve kontrol linklerinde yaşanabilecek bağlantı kaybı veya kesintilerin görev etkinliğinin azalmasına, görevin başarısız olmasına veya en kötüsü de İHA'nın kaybına neden olabilecek olması gibi kısıtlar İHA sistemlerinin dezavantajları arasında gösterilmektedir. (STM, 2016)

3.4 İHA Sınıflandırması

Tüm İHA Sistemleri, hava aracı dışında birçok unsura sahip olsa da genellikle görevi yürütmek için gerekli olan hava aracının kapasitesine ya da boyutuna göre kategorize edilmektedirler. Bununla birlikte, farklı görev türlerini kapsayacak birden fazla tip hava aracı kullanılması mümkün olmakta ve teknolojik ilerlemeler daha küçük bir sistemin daha büyük görevlerde roller üstlenmesine imkân sağlayabilmektedir. Bu sebeple İHA türlerine ilişkin tanımlamalar sürekli olarak değişebilmekte ve sınırların net bir şekilde çizilmesi mümkün olmamaktadır. (Austin, 2010)

Austin tarafından 2010 yılında çeşitli sınıflarda İHA'lar için yapılan bazı tanımlara göre;

HALE (High Altitude, Long Endurance): Yüksek irtifa ve uzun havada kalış kabiliyetine sahip insansız hava araçları, uzun dayanıklılık gözetim görevleri için geliştirilmiş olup günden güne daha fazla silahlandırılmakta ve genellikle Hava Kuvvetleri tarafından kullanılmaktadır.

MALE (Medium Altitude, Long Endurance): Orta irtifa ve uzun havada kalış kabiliyetine sahip insansız hava araçlarının rolleri HALE sistemine benzemekle birlikte genellikle bir miktar daha kısa mesafelerde görev gerçekleştirmektedir.

TUAV (Medium Range or Tactical UAV): Orta menzilli taktik İHA sınıfında yer alan hava araçları HALE ve MALE sınıfı hava araçlarından daha küçük ve daha basit sistemler içerisinde çalışmaktadır. Kara ve Deniz Kuvvetleri tarafından kullanılmaktadır.

Yakın Menzilli İHA: Yakın Menzilli İHA'ların çeşitli askeri ve sivil kullanım alanları bulunmaktadır. 100 km menzilde çalışan bu İHA sınıfı keşif gözetleme, hedef belirleme, nükleer, biyoloji, kimyasal (NBC) izleme, havaalanı güvenliği, elektrik hattı denetimi, trafik izleme gibi çeşitli görevlerde kullanılmaktadırlar.

Mini İHA: Mini İHA'lar ise 20 kg altında ancak Mikro İHA'lar kadar küçük olmayan yaklaşık 30 km menzilde çalışabilen İHA'lar olup küçük çaplı görevlerde kullanılmaktadırlar.

Mikro İHA: Düşük irtifada ve düşük hızlarda uçan Mikro İHA'ların uzunluğu 100 cm'den küçük olmakta ve ağırlığı 200 gr ile 2 kg arasında değişmektedir. (Abdelkefi, 2017)

Nano İHA: Son derece küçük ve hafif olan Nano İHA'ların menzili 1 km'den az ve maksimum uçuş yüksekliği 100 m civarında olmakta ve genellikle casusluk görevi için kullanılmaktadırlar. (Abdelkefi, 2017)

Literatürde, İHA'ların sınıflandırılmasına ilişkin standart bir yaklaşımının olmaması ile birlikte dünyada da görüş birliğine varılmış ve geniş kabul gören bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Öte yandan, sınıflandırma ölçütü olan tanım ve parametrelerde ise çok büyük farklılıklar bulunmamaktadır. (Yiğit ve diğ., 2018) Sınıflandırmalarda referans alınan parametrelerden bazılarının,

- Hava aracı kullanım alanı,
- Hava aracının tipi,
- Hava aracının kanat tipi,
- Hava aracının motor tipi,
- Yakıt sistemi,
- Hava aracının maksimum kalkış ağırlığı,
- Hava aracının menzili, havada kalma süresi ve maksimum irtifası,
- Uçuş irtifası
- Uçuş kuralları olabildiği görülmektedir.

Bu konuda en çok kabul gören sınıflandırmanın NATO'ya ait olduğu bilinmektedir. NATO'nun görev irtifası, menzili ve ağırlık esas alınarak gerçekleştirilen İHA sınıflandırması Tablo 3.1'de yer almaktadır.

Tablo 3.1: NATO İHA Sınıflandırması

Sınıf	Kategori	Uçuş İrtifası (ft)	Görev Menzili (km)
Sınıf I (<150 kg)	Mikro <2kg	<200 AGL	5 km (LOS)
	Mini 2-20 kg	<3000 AGL	25 km (LOS)
	Küçük >20 kg	<5000 AGL	50 km (LOS)
Sınıf II (150-600 kg)	Taktik	<18000 AGL	200 km (LOS)
Sınıf III (>600 kg)	MALE	<45000 MSL	Limitsiz (BLOS)
	HALE	<65000 MSL	Limitsiz (BLOS)
	Saldırı/Savaş	<65000 MSL	Limitsiz (BLOS)

JAPCC (2021)'den uyarlanmıştır.

Tabloda yer alan AGL yer seviyesinden, MSL ise deniz seviyesinden yüksekliği göstermektedir.

Askeri alanda yaygın bir kullanımı olan NATO'ya ait sınıflandırma günümüz ihtiyaçlarını tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Ağırlık ve uçuş irtifası odaklı bu sınıflandırma, gelişen teknoloji ve İHA'ların kabiliyetlerinin artması sonrasında yetersiz kalmaya başlamıştır.

Örneğin, Tablo 3.1'e göre taktik sınıfta yer alan Bayraktar TB2 İHA'nın azami kalkış ağırlığı yaklaşık 600 kg olup teknolojide ve tasarımda gerçekleştirilen ilerlemeler neticesinde, günümüzde neredeyse 30.000 feet irtifaya çıkabilmekte, havada kalış süresi 24 saatten fazla olabilmekte ve bu özellikleriyle MALE sınıfının performans isteklerini de karşılayabilmektedir. (STM, 2016)

STM tarafından 2016 yılında yayımlanan Geleceğin Hava Kuvvetleri: İHA Sistemleri Yol Haritası 2016-2050 isimli dokümanda, icra edilecek görevlerin özellikleri dikkate alınarak gelişen teknolojik gelişmeler ışığında yeni bir İHA sınıflandırması önerilmiş ve bu öneriye Tablo 3.2'de yer verilmiştir.

Tablo 3.2: Geleceğin İHA Sınıflandırma

İHA sınıfı	Kullanım Seviyesi	Asli Kullanıcı	Diğer Kullanıcılar
Mikro	Tek personel /tim	Özel Kuvvetler ve İstihbarat Örgütleri	Kara Kuvvetleri Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri
Mini	Tek er, tim, manga, takım, bölük ve tabur; tek gemi	Kara Kuvvetleri Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri	Hava Kuvvetleri*,**
Küçük	Alay ve tugay; deniz görev grubu	Kara Kuvvetleri Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri	Hava Kuvvetleri*,**
Taktik	Kolordu ve ordu; deniz görev kuvveti	Kara Kuvvetleri Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri	
Operatif	Harekât alanı	Hava Kuvvetleri	Kara Kuvvetleri Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri***
Stratejik	Harekât alanı	Hava Kuvvetleri	İstihbarat Örgütleri
<p>* Harekât alanındaki hava üslerinin yakın savunması için kullanılacak İHA sistemleri ** Sürü halinde harekât kapsamında operatif ve stratejik sınıf İHA'lar ile insanlı uçaklardan atılan İHA sistemleri *** ABD, Çin ve Rusya gibi okyanus ötesi harekât gerçekleştiren ülkelerde kullanılacak İHA sistemleri</p>			

STM (2016)'dan uyarlanmıştır.

Tablo 3.2’de yer alan sınıflandırmaya göre,

- Mikro İHA’lar, tek personel veya tim seviyesinde olup özel kuvvetler ve istihbarat örgütleri tarafından kullanılabilirdiği gibi Kara Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri tarafından da kullanılabilir. Yüksek değerlikli hedeflerin yakın gözetleme ve keşfi maksatlı kullanılan mikro İHA’ların ağırlığı ve boyutu oldukça küçük, doğal nesnelere ve canlılara benzerliği oldukça yüksek, kamufle olma yeteneği yüksek ve tespiti oldukça zordur.
- Mini İHA’lar tek er, tim, manga, takım, bölük, tabur ve tek gemi seviyesi birliklerde görüntü istihbaratıyla hedef tespiti, manevra ve atışların yönlendirilmesi, atış hasar değerlendirmesi maksatları için kullanılabilirdiği gibi hava üslerinin yakın savunması için Hava Kuvvetleri tarafından da kullanılabilirler. Sürü halinde kullanımı kapsamında ise, operatif ve stratejik sınıf İHA’lar ile insanlı uçaklardan atılabilirler.
- Küçük İHA’lar, görüntü ve sinyal istihbaratıyla hedef tespiti, manevra ve atışların yönlendirilmesi, telsiz röle ve atış hasar değerlendirmesi görevleri için kullanılabilir. Alay, tugay ve deniz görev grubu seviyesinde kullanılabilirdiği gibi harekât alanındaki hava üslerinin yakın savunması ve sürü konsepti için mini İHA’lara benzer şekilde Hava Kuvvetleri tarafından da kullanılabilirler.
- Taktik İHA’lar Kolordu, ordu ve deniz görev kuvveti seviyesinde kullanılan görüntü ve sinyal istihbaratıyla hedef tespiti, manevra ve atışların yönlendirilmesi, telsiz röle, atış hasar değerlendirmesi ve silahlı angajman görevleri için kullanılabilirler.
- Operatif İHA’lar aslen Hava Kuvvetleri tarafından, bunun yanında diğer kuvvetlerde destek için kullanılmaktadır. Görev alanları kapsamında, okyanus ötesi harekât hedefleri de bulunmaktadır.
- Stratejik İHA’lar Hava Kuvvetleri ve istihbarat örgütleri tarafından stratejik seviyedeki görevler için kullanılmaktadır.

Sınıflandırmalar her ne kadar hava aracının çeşitli özellikleri üzerinden yapılsa da hava aracı görevin icra edilebilmesi için oluşturulmuş sistemin yalnızca bir parçasıdır. İnsansız hava aracı sistemi ve sistemin unsurlarına ilişkin detaylı bilgi aşağıda yer almaktadır.

3.5 İnsansız Hava Aracı Sistemi

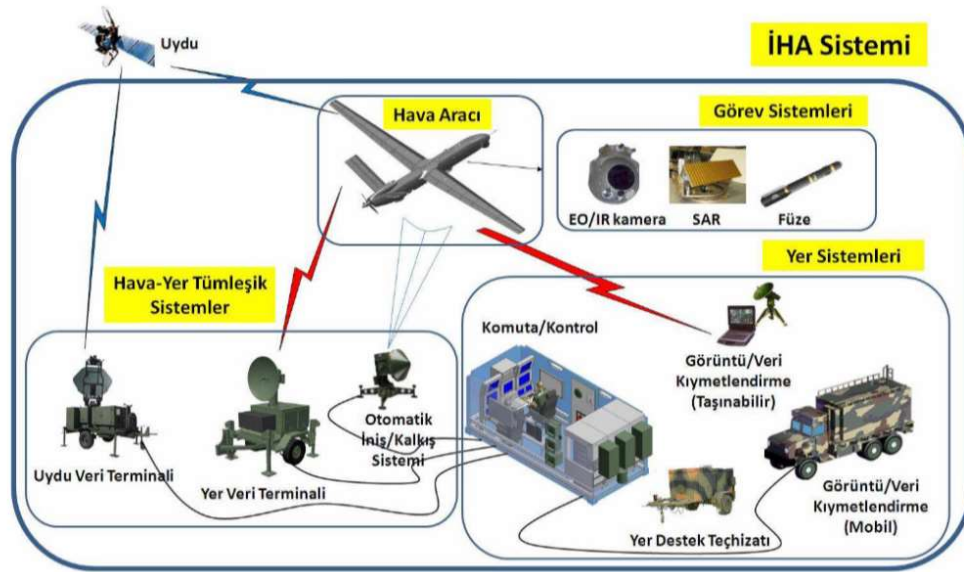
İnsansız hava aracında olduğu gibi İHA sistemi için de yapılan çeşitli tanımlamalar bulunmaktadır. NATO Askeri Terimler Sözlüğünde İHA Sistemi; hava aracı, destek ağı, İHA'yı kontrol etmek için gereken tüm teçhizat ve personeli içeren sistem olarak tanımlanmaktadır. (NATO, 2021)

ABD Savunma Bakanlığının yayınladığı Askeri ve İlgili Terimler Sözlüğünde yer alan bir diğer tanım ise, bileşenleri insansız bir uçağı kontrol etmek için gerekli olan ekipmanı, ağı ve personeli içeren sistem tanımıdır. (DoD, 2021)

Sistem; hava aracını, hava aracı faydalı yüklerini, kontrol istasyonlarını, diğer istasyonları ve alt sistemleri içermektedir. Ayrıca; kuralları, düzenlemeleri ve disiplinlerinin yerel veya küresel hava taşımacılığının bir parçası olarak düşünülmesi gerekmektedir. (Austin 2010)

İnsansız hava aracı sistemlerine ilişkin literatürde yapılan çeşitli sınıflandırmalar mevcuttur. Bunlardan birisi, İHA Sistemi en temel haliyle üç kategoriye ayrılmaktadır. Hava-yer tümleşik sistemleri, yer sistemleri ve hava aracının birleşiminden oluşan ve görevin gerçekleştirilmesine yönelik gerekli bileşenlerin tamamını kapsayan görev sistemleri İHA Sistemi olarak adlandırılmaktadır. (SSM, 2011)

İHA sistemlerinin bileşenleri şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2: İHA Sisteminin Bileşenleri.

Karaağaç (2014)'ten alınmıştır.

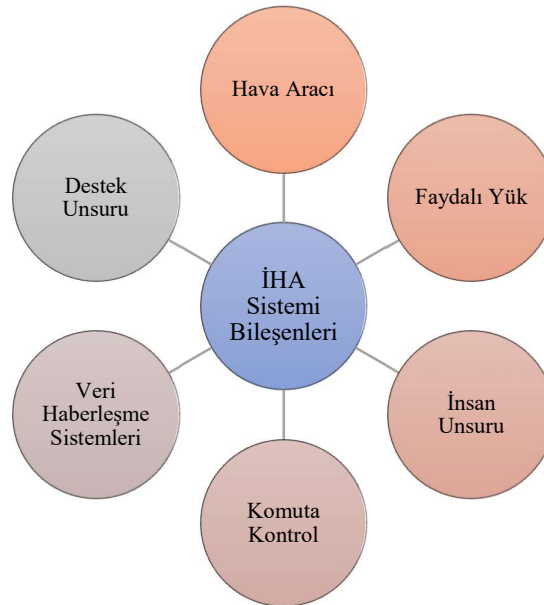
3.5.1 Görev Sistemleri: Görev sistemleri, İHA'ların görev yapabilmesi için İHA üzerinde bulunan görüntüleme, veri toplama ve ölçüm yapmaya yönelik sistemler, hedef tespit ve işaretleme sistemleri, algılayıcı sistemler, mühimmatlar ve kendini koruma sistemleri ile her türlü iz azaltıcı veya artırıcı faydalı yüklerden oluşmaktadır.

3.5.2 Hava-Yer Tümlleşik Sistemler: Hem hava aracında hem de yerde bulunan ve karşılıklı bir şekilde çalışan veri linki, haberleşme, otomatik kalkış iniş gibi sistemlerden oluşmaktadır.

3.5.3 Yer Sistemleri: Yer sistemleri, İHA ve görev sistemlerinin komuta kontrolünü gerçekleştiren, gelen görüntü ve verileri kıymetlendirilmesini, veri dağıtımı, görev planlamasını, görev takibini ve arşivlemeyi gerçekleştiren sistemlerden oluşmaktadır.

Bir diğer sınıflandırma ise İHA sistemler bütününe daha detaylı bir şekilde ele alarak 6 kategoriye ayırmakta ve sistemin unsurları Şekil 3.3'te gösterilmektedir. (JAPCC, 2010) Bu sınıflandırmaya göre, bileşenlerin aralarında herhangi bir hiyerarşik bağlantı olmamakta ve birbirleri arasında üstünlük bulunmamaktadır.

Bileşenlerin her biri görevin icra edilmesinde önemli bir role sahip olmakla birlikte kullanım amacı, sistem büyüklüğü gibi kriterler doğrultusunda sistem bileşenlerinde değişiklik gözlemlenebilmektedir.



Şekil 3.3: İHA Sistemi Bileşenleri.

3.5.4 Hava Aracı

Hava aracı, insan operatörü taşımayan ve uzaktan kumanda veya otonom programlama altında uçabilen bir uçak olarak tanımlanabilmektedir. (JAPCC, 2010) Bütün olarak bakıldığında uçan platformla eş değer olan bu ifade aviyonik sistemler, seyrüsefer sistemleri, haberleşme sistemleri, yakıt ve motor gibi teknik donanımları da içerisinde barındırmaktadır. Şekil 3.4'te AKSUNGUR Hava Aracına ilişkin görsellere yer verilmiştir.



Şekil 3.4: AKSUNGUR İnsansız Hava Aracı.

3.5.5 İnsan Unsuru

İHA terimi, terminolojide insansız olarak geçse de sistemin en önemli unsurlarından birisi de insandır. İnsansız hava aracını göreve hazırlamak ve görevi gerçekleştirmek için insan katkısı büyük önem taşımaktadır. (JAPCC, 2010)

Operatör; insansız hava aracının görev kapsamında kullanılabilmesi için öncelikle komuta ve kontrol bunun yanında izleme ve değerlendirme işlevlerini yerine getirmektedir.

3.5.6 Faydalı Yük

Hava aracı tarafından gerçekleştirilecek göreve bağlı olarak değişebilen donanımlar faydalı yük olarak adlandırılmaktadır. İnsansız hava aracı faydalı yükleri arasında kameralar, sensörler, haberleşme teçhizatları, silah sistemleri iletişim rölesi, radar sistemleri ve kargo sistemleri bulunmaktadır. (JAPCC, 2010; Austin 2010) Şekil 3.5'te kamera faydalı yükünün örnek gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.5: EO/IR Kamera Faydalı Yüğü.

www.baykartech.com

Tez çalışması kapsamında, insansız hava araçları ile orman yangınlarının erken tespiti ve doğru müdahalenin sağlanabilmesi amaçlandığı için faydalı yük olarak elektro-optik ve kızılötesi görüş özelliğine sahip keşif, gözetleme ve hedefleme sistemi olan kameralar kullanılmıştır.

3.5.7 Komuta/Kontrol

Komuta/Kontrol kabiliyeti, insan unsuru kapsamında yer alan pilot, operatör ve teknisyen gibi kullanıcılar tarafından İHA sisteminde bulunan birimlerin kontrolünün ve tüm sistemin yönetiminin sağlanmasıdır. Hem hava aracının hem de görev sistemlerinin komuta kontrolünün sağlanması İHA sisteminin görevini gerçekleştirebilmesinde en önemli unsurlardan birisidir.

Komuta/Kontrol kabiliyeti mevcut sistemlerde yer kontrol istasyonları (YKİ) tarafından gerçekleştirilmektedir. Yer kontrol istasyonları, İHA'ların kontrolünü sağlayan ve çeşitli alanlarda konuşlandırılabilen Komuta/Kontrol merkezleridir. Bir komuta kontrol sistemi; kesintisiz güç kaynağı, çevresel kontrol sistemi, görev sistemi, operatör konsolları, görev planlama yazılımı, iletişim terminalleri ve operatörü içermektedir. (SSM, 2011) Şekil 3.6'de yer kontrol istasyonunun örnek gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.6: Yer Kontrol İstasyonu.

www.baykartech.com

YKİ içerisinde bulunan bilgisayarda koşan yazılım sayesinde, YKİ ile fiber optik kablolarla bağlı olan Yer Veri Terminalleri (YVT) aracılığıyla hava aracı ile YKİ arasında kablosuz iletişim sağlanmaktadır. Hava aracında bulunan Hava Veri Terminali (HVT) aracılığıyla alınan komutlar uçuş kontrol sistemine ve görev kontrol bilgisayarına aktarılarak otonom uçuş gerçekleştirilmektedir.

3.5.8 Destek Unsuru

İnsanlı uçaklarda olduğu gibi insansız hava araçlarının da kullanımı lojistik destek hizmetini beraberinde getirmektedir. Bu destek unsuru, hava aracını taşımak, uçuşa başlamasını sağlamak, kurtarmak ve iletişimini etkinleştirmek için kullanılan tüm ekipmanları içermektedir. (JAPCC, 2010)

3.5.9 Veri Haberleşme Sistemleri

Veri haberleşme sistemleri, hava aracından gelen verilerin yer ve hava birimlerine iletilmesi, yer ve hava birimleri aracılığı ile İHA ve alt sistemlerinin de komuta kontrolünün gerçekleştirilebilmesini sağlayan veri linkleridir.

İHA Sistemlerinde haberleşme havadan yere veya yerden havaya olacak şekilde tek yönlü ya da hem havadan yere hem de yerden havaya olacak şekilde iki yönlü olarak sağlanabilmektedir.

İletişim teknolojilerinin temel konuları esneklik, uyarlanabilirlik, güvenlik, bant genişliği, frekans ve bilgi/veri akışlarının kontrol edilebilirliğidir. Bir İHA Sistemi veri bağlantısı tipik olarak, bir RF vericisi, bir alıcı, bir anten ve çeşitli modemlerden oluşmaktadır. İHA Sistemi için veri bağlantıları üç önemli işleve hizmet etmektedir. Bunlar,

- Kontrol verilerini İHA'ya göndermek için yer istasyonundan ve/veya uydudan gelen uplinkler
- Sensörlerden ve telemetri sisteminden yer istasyonuna veri göndermek için İHA'dan gelen downlink'ler
- Yer sistemleri ve uydudan İHA'ya kadar arada iyi iletişim sağlamaya yarayan bir araç. (Gupta ve diğ., 2013)

Veri linki analog ya da sayısal olabileceği gibi, kullanım amacına ve/veya iletilecek verinin büyüklüğüne göre çeşitli bant genişliklerinde olabilmektedir. Geçmişte daha çok C, S, UHF, VHF bantta kullanılan analog veri iletim linkleri mevcut iken günümüzde yüksek hızlı ve sayısal tabanlı veri iletim linkleri kullanılmaya başlanmıştır.

İnsansız hava araçlarında haberleşmeyi sağlayan veri linklerinden bahsetmeden önce veri linklerinde en yaygın kullanılan frekans bantlarına değinmek faydalı olacaktır.

İHA Sistemlerinde en yaygın kullanılan frekans bantları şunlardır:

Ku Bant: Yüksek hızlı bağlantılar için kullanılmaktadır. Kısa dalga boyu ve yüksek frekans sebebiyle yayılma kaybı çok olmaktadır. Buna rağmen çoğu engeli aşabilmekte ve çok fazla veri iletimi gerçekleştirebilmektedir.

K Bant: Büyük miktarda veri taşıyan geniş bir frekans aralığına sahiptir. Ku banta göre aynı bant genişliği üzerinden daha yüksek veri iletimini mümkün kılmaktadır. Başlıca dezavantajı güçlü vericiler gerektirmesi çevresel parazitlere duyarlı olmasıdır. Ekipmanları küçük olduğu için kurulumu ve bakımı kolaydır.

S, L Bantları: 500 kbps'nin üzerinde iletim hızlarına sahip veri bağlantılarına izin vermemektedir. Büyük dalga boyu sinyalleri karasal altyapılara nüfuz edebilmekte ve veri iletimi K Banta göre daha az güç gerektirmektedir. Anten boyları daha küçüktür.

C Bant: Görece büyük bir veri alma ve iletme anteni gerektirmektedir. Daha geniş kapsama alanına sahiptir. Diğer bantlara göre zayıflaması daha azdır.

X Bant: Askeri kullanım için ayrılan frekans bandıdır. Daha küçük antenleri destekler ve daha yüksek güce dayanabilirler. Ekipmanlarının maliyeti daha azdır. Yağmur, kar, buz vb. sebeplerden dolayı daha fazla zayıflama göstermektedir. (Gupta ve diğ., 2013)

Tablo 3.3'te frekans bantları ve frekans aralıkları görülmektedir.

Tablo 3.3: Frekans Bantları.

Bant	Frekans
HF (Yüksek Frekans)	3-30 MHz
VHF (Çok Yüksek Frekans)	30-300 MHz
UHF (Ultra Yüksek Frekans)	300-1000 MHz
L Bant	1-2 GHz
S Bant	2-4 GHz
C Bant	4-8 GHz
X Bant	8-12 GHz
Ku Bant	12-18 GHz
K Bant	18-26.5 GHz
Ka Bant	26.6-40 GHz

Gupta ve diğ. (2013)'ten uyarlanmıştır.

HF (Yüksek Frekans) bantları genellikle RFID sistemlerinde ve kısa dalga telsiz haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. VHF (Çok Yüksek Frekans) bantları kara, hava ve deniz telsiz haberleşme sistemleri ile FM radyo yayınlarında kullanılırken UHF (Ultra Yüksek Frekans) bantları da günlük kullanımda en çok karşımıza çıkan banttır. Cep telefonu, bluetooth, WiFi gibi modern telsiz sistemleri, mikrodalga fırınlar, GPS gibi yön bulma sistemleri ve uydu radyo yayınları UHF bandı içerisindedir.

Her bir frekans bandının kullanımı, İHA'nın uygulama alanına, operasyon ihtiyaçlarına ve çevresel faktörlere bağlıdır. İHA tasarımında ve operasyonlarında uygun frekans bandının seçilmesi önemlidir. İHA tasarımında frekans bandı seçimi, belirli bir uygulamanın gereksinimlerine ve operasyonel koşullara uyum sağlamak için dikkatlice değerlendirilmelidir. Uygun frekans bandının seçilmesi, iletişim güvenilirliği, veri aktarım hızı ve genel sistem performansı açısından önemlidir.

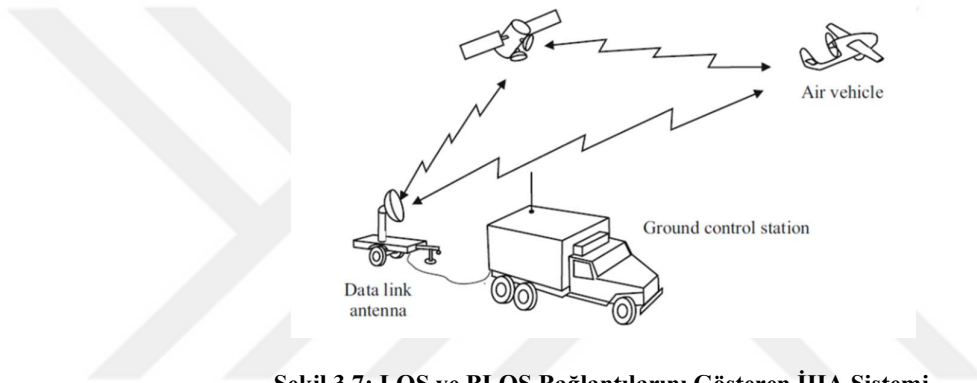
İHA'larda haberleşme tek yönlü ya da çift yönlü olarak sağlanmakta olup genellikle çift yönlü sistemler kullanılmaktadır. Ancak görev sistemlerine ait verilerin harekât gereği, farklı birimlerle paylaşımı için video/veri aktarım linkleri, uzak görüntü terminali için veri aktarım sistemleri gibi tek yönlü sistemler de kullanılabilir. (Kök, 2012)

İnsansız hava araçlarında haberleşmeyi sağlayan genellikle iki tür veri bağlantısı kullanılmaktadır. Bunlar,

- Görüş Hattı (LOS-Line of Sight) ve
- Görüş Hattı Ötesi (BLOS-Beyond Line of Sight)

Günümüzde, İHA'larda görüş hattı istikametinde (LOS-Line of Sight) ve görüş hattı ötesinde (BLOS-Line of Sight) veri link sistemleri kullanılmaktadır. Görüş hattı veri link sistemleri yüksek veri iletim kapasitesine sahip sistemlerdir. İHA'ların görüş hattı ötesinde haberleşmesini sağlayan sistemler ise uydu sistemleridir. İHA'lara yerleştirilen uydu hava terminalleri aracılığı ile veri aktarımı yapılarak ilgili birimler arasında haberleşme sağlanabilmektedir. (SSM, 2011)

LOS ve BLOS bağlantılarını içeren basit bir İHA sistemi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: LOS ve BLOS Bağlantılarını Gösteren İHA Sistemi.

Fahlstrom ve diğ. (2012)'den alınmıştır.

Aşağıda görüş hattı ve görüş hattı ötesi veri bağlantılarından detaylı olarak bahsedilmekte ve tez çalışmasında ele alınan konu kapsamında değerlendirilmektedir.

3.5.9.1 Görüş Hattı Veri Haberleşmesi (LOS-Line of Sight)

Görüş Hattı veri haberleşmesi bir noktadan diğer noktaya yüksek veri hızında haberleşme sağlayan link sistemleri aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu sistemler sayesinde İHA'larda toplanan faydalı yük verileri görüş hattı içerisinde kalan kontrol istasyonları vb. diğer noktalara aktarılmakta, bununla birlikte hava aracı komuta kontrolü de gerçekleştirilebilmektedir.

Yüksek veri hızlarının sağlanabilmesi için hem hava aracında hem de yer sisteminde takip antenlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple bu sistemler hava-yer tümleşik sistemler kapsamında yer almaktadır.

Yer Veri Terminali ve Hava Veri Terminali

Veri link sistemlerinin hava tarafında bulunan sisteme hava veri terminali (HVT), yer tarafında bulunan sisteme ise yer veri terminali (YVT) adı verilmektedir. (SSM Yol Haritası) HVT ve YVT'ler ile gerçek zamanlı sayısal veri aktarımı ihtiyacı karşılanabilmektedir. HVT, hava aracındaki telemetri ve faydalı yük verilerini YVT'ye ve YVT'den gelen kontrol bilgilerini ilgili hava aracının aviyonik sistemlerine aktarmaktadır. Güvenli bir veri linkinin oluşması için, genellikle YVT'yi otomatik olarak izleyen yöneltilimli antenler kullanılmaktadır. (Kök, 2012)

YVT ise HVT'den gelen telemetri ve faydalı yük verilerini gerçek zamanlı ya da gerçek zamana yakın bir şekilde YKİ'ye gönderen ve YKİ üzerinden hava aracı ve faydalı yük kontrol ve kumanda bilgilerinden oluşan dijital veri paketini alarak, ilgili hava aracındaki HVT'ye gerçek zamanlı olarak aktaran sistemdir. (www.meteksan.com) Şekil 3.8'de örnek yer veri terminali gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.8: Yer Veri Terminali.

www.meteksan.com

Görüş hattı veri linklerinde genellikle C veya Ku frekans bantları kullanılmaktadır. Veri iletim hızları 274 Mbit/sn seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Yüksek veri iletim kapasitesi, düşük bant genişliği, güvenilirlik, kolay operasyon yapabilme gibi avantajlara sahip olan bu tip linklerin çalışma mesafesi alıcı-verici linklere bağlı olarak 200-250 km civarındadır. (SSM, 2011)

Görüş hattı link sistemleri, hem görüş hattı ötesi link sistemi bağlantılarıyla beraber uçuş yedekliliğinin oluşturulabilmesi hem İHA'nın iniş kalkış yapabilmesi hem de yüksek veri hızının sağlanabilmesi için mevcut İHA görevlerinde çeşitli kullanıcılar

tarafından yoğun bir şekilde kullanılan sistemlerdir. Görüş hattı link sistemi bağlantısının kurulabilmesi için hava aracı ve yer veri terminalleri arasında link bağlantısının arada herhangi bir engel olmadan kurulması gerekmektedir. Görüş hattı veri link mesafesi, fiziksel olarak dünyanın eğrilik yarıçapı, İHA'nın ve yer kontrol istasyonunun bulunduğu irtifa ve coğrafi şekillere bağlı olarak değişmektedir. Ülkemizin çoğu bölgesinde arazi yapısı sebebiyle coğrafi engeller hava veri terminali ve yer veri terminali arasında 200-250 km menzilde link bağlantısının kurulmasına engel olmaktadır. Örneğin hava aracı ve yer veri terminalinin görüş mesafesi içerisinde bulunan yüksek bir dağ bağlantının sağlıklı bir şekilde kurulabilmesini engellemektedir.

Gerçekleştirilen analizler sonucunda, arada engel olmadan link bağlantısının sağlıklı bir şekilde kurulabileceği bölgeler belirlenerek yer veri terminallerinin kapsama alanları oluşturulur. Bir insansız hava aracının bir yer veri terminalinin kapsama alanından diğerine link kaybı yaşamadan geçiş sağlayabilmesi için bahse konu iki yer veri terminalinin kapsama alanları arasında boşluk olmadan iki kümenin kesişmesi gibi kesişme sağlanıyor olması gerekmektedir.

Yer veri terminalleri ve yer kontrol istasyonu arasında fiber optik bağlantılar kurulmaktadır. Bu bağlantılar kurulduğu sürece İHA'lar çok uzak mesafelerdeki bir yer veri terminalinin kapsama alanı içerisinde uçuş gerçekleştirebilmekte ve yer kontrol istasyonu ile kontrol edilebilmektedir.

Tez çalışmasında insansız hava araçları tarafından kesintisiz keşif, gözetleme yapılarak orman yangınlarının erken tespit edilmesi ve İHA'ların yangın alanlarında görev icra edebilmesi amaçlandığı için yer veri terminallerinin kurulum yerinin belirlenmesi konusu üzerine çalışılmıştır. Yani, İHA'ların orman yangınlarıyla mücadele kapsamında görüş hattı link sistemlerini kullanarak hareket edebileceği bölgenin belirlenmesi için çalışma gerçekleştirilecektir.

3.5.9.2 Uydu Haberleşmesi (BLOS-Beyond Line of Side)

Hava aracının haberleşmesini ve faydalı yük verilerinin iletim alanını arttırarak görüş hattında veri iletim zorunluluğunu ortadan kaldırmak amacıyla uydu haberleşme sistemleri kullanılmakta ve bu sistem Görüş Hattı Ötesi (BLOS) Veri Haberleşmesi olarak adlandırılmaktadır. Uydu teknolojileri İHA Sistemlerinde daha yüksek performans sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Hava aracı ve yer sistemlerinin radyo görüş mesafesi dışında olması durumunda İHA ile yer sistemleri arasındaki veri alışverişini için kullanılan uydu haberleşmesi uzak mesafelerde gerçekleştirilecek görevler için en ideal haberleşme şeklidir.

Görüş hattı ötesi haberleşmenin yer bacağına Uydu Yer Terminali (UYT), hava bacağına ise Uydu Hava Terminali (UHT) adı verilmektedir. Görüş hattı ötesi haberleşme GEO yörüngedeki iletişim uyduları ile sağlanmaktadır. UYT'ler, işlenmiş istihbarat verilerinin uydu üzerinden aktarımını sağlayan taşınabilir sistemler olarak ortaya çıkmaktadır. UHT'ler ise hava aracı üzerine entegre edilen ve hava aracının uydu üzerinden hava-yer ve/veya hava-hava haberleşmesini/veri aktarımını sağlayan sistemlerdir.

Şekil 3.9'da hava aracı üzerindeki uydu hava terminali anteni gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.9: Uydu Hava Terminali Anteni.

www.ctech.com.tr

Görüş hattı ötesi uygulamalarda uydu üzerinden kurulan linklerde genel olarak X ve Ku frekans bantları kullanılmaktadır. Uydu üzerinde kurulan veri iletişimde yüksek bant genişliği ve geniş operasyon mesafesi sağlanabilmektedir. Temel avantajlarının yanında, ulaşılabilecek veri hızının görüş hattı sistemlere göre sınırlı olması, İHA üzerindeki uydu haberleşme anteninin büyük yer kaplaması, yer istasyonundaki ekipman fazlalığı ve uydu haberleşmesine dışarıdan müdahale olasılığı dolayısıyla güvenlik sorununun oluşması sistemin dezavantajlarındandır. (SSM, 2011)

Günümüzde hem görüş hattı hem de görüş hattı ötesi veri haberleşme sistemi bağlantıları İHA'larda yedekli bir şekilde kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında görüş hattı link sistemleri ele alınmış ve yer veri terminali kurulum yeri seçimi üzerine çalışılmıştır.

3.6 İHA'ların Orman Yangınlarında Kullanılması

Günümüzde orman yangınıyla mücadelede hava kaynaklı uzaktan algılama teknolojileri arasında en çok tercih edileni insansız hava araçlarıdır. Uçuş planlamasının pratik bir şekilde yapılabilmesi, otomatik rota takibinin yapılabilmesi, uçuş öncesi hazırlık süreçlerinin görece kolay olması, istenilen irtifada uçuş yapabilme, acil durumlarda yönlendirebilme imkanının kolay olması uçuş sonrası ve veri aktarımının hızlı şekilde yapılabilmesi gibi unsurlar yangın bölgelerinde İHA teknolojisinin kullanımının artmasını sağlamıştır. Ayrıca, periyodik veri alımının istenilen sıklıkta yapılabilmesi ve yüksek mekânsal çözünürlük gibi etkenler de İHA teknolojisinin avantajlarından. (Sefercik ve Kavzoğlu, 2021) İnsansız hava araçları, çok daha düşük maliyet ve risk barındırması, insan operatörünün hayatını riske atmadan sürekli tespit ve mücadele sağlayabilmesi sebebiyle de son yıllarda orman yangınlarında yoğun olarak tercih edilen araçlardan birisi olmuştur. (Cruz, 2016)

Sabit ve döner kanat türlerinde çeşitli platform tipleri, yangın kaynağı, konumu ve mesafesinin tespit modülünü içeren yazılımlar ve yöntemler İHA'ların orman yangınlarında kullanımında tercih edilen çeşitli unsurlardır. (Sefercik ve Kavzoğlu, 2021)

Bazı İHA'lar nispeten ağır gözlem sensörleri taşıyabilen yüksek faydalı yük kapasiteleri ve dayanımları sebebiyle orman yangınlarında kullanılmak için uygun görülürken küçük ve düşük maliyetli İHA'lar da orman yangını araştırma ve geliştirme faaliyetlerini desteklemek için kullanılabilir. (Ollero ve Merino 2006)

Yangın tespitinde uzaktan algılama teknolojileri kullanılırken öncelikli strateji, risk taşıyan bölgelerde periyodik algılama sistemleri kurarak her bir yeni görüntünün eski görüntülerle otomatik eşleştirilmesi ve orman dokusunun spektral yapısı (renk), yüzey pürüzlülüğü, sınır pürüzlülüğü, eğrilik, ısı ve gaz gibi bileşenlerin yapay zeka temelinde kontrolünün sağlanarak, kritik değerleri aşan bir farklılığın tespit edilmesi durumunda ilgili bölgeye yoğunlaşma ve yer kontrol istasyonuna bilgi aktarımı üzerine kuruludur. Bu stratejinin uygulamasında asıl amaçlar alev ve duman tespitinin yapılabilmesidir. (Barmoutis vd., 2020)

Orman yangınının uzaktan algılama platformu tarafından tespit edilmesi durumunda, yer kontrol istasyonunun uyarılması ve yangına yerden ve havadan müdahalenin sağlanabilmesi için yangının coğrafi konumunun gönderilmesi gerekmektedir.

İHA teknolojisinde son yıllarda yaşanan önemli gelişmeler İHA'ların orman yangınlarında kullanılmasında önemli bir gelişme kaydetmesini sağlamıştır. İHA'lar kullanıldığı ilk dönemlerde yalnızca görünür bantları kullanılırken gelinen aşamada multispektral, hiperspektral ve termal kameralar ile donatılmaktadır.

Gündüz kameraları, termal kameralar, ısı ve duman algılayıcıları gibi faydalı yükler taşıyan İHA'lar tarafından alev ve/veya dumanın algılanması ile birlikte İHA yangının bulunduğu konuma doğru yönelmekte ve ekiplere detaylı bilginin aktarılmasını sağlamaktadır. (Sefercik ve Kavzoğlu, 2021)

Kamera faydalı yükü taşıyan insansız hava aracı ile yaklaşık 400 km²'lik alan anlık olarak gözetlenebilmekte ve böylece çok sayıda orman gözetleme kulesinin görevi tek İHA ile sağlanabilmektedir. Termal kameralar yardımıyla tek seferde büyük bir bölgeyi tarayabilmekte uzun havada kalış süreleri sayesinde kesintisiz görev yapabilmektedirler. İnsan gözüyle tespit edilmesi zor olan orman yangınları otomatik olarak tespit edilebilmekte ve yetkili personele yangının başladığı nokta bildirilmektedir. (www.baykartech.com) Şekil 3.10'da İHA'lar ile yangın tespitine ilişkin örnek görüntüler yer almaktadır.



Şekil 3.10: İnsansız Hava Aracı ile Yangın Tespiti.

www.baykartech.com

Termal kameralar, görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen kızılötesi enerjiyi (ısıyı) esas alan görüntüleme sistemleri olarak tanımlanmaktadır. (www.wikipedia.org) Tipik görünür ışığı değil, kızılötesi bölgeyi ölçmektedirler. Tüm nesnelere, ısı imzası olarak bilinen kızılötesi enerji yaymakta ve termal kameralar da nesnelere kızılötesi enerjisini algılamakta ve ölçmektedir. Termal kameralar insan gözüyle tespit edilmeyen, fakat tespitinde geç kalınması halinde ciddi sonuçlara yol

açabilen durumların da net olarak görülmesini ve çıkabilecek problemlerin önüne geçilmesini sağlamaktadır. (Çalışan ve Türkoğlu, 2011)

Termal kameralar ile çekilen ısı fotoğrafları ortamın durumunu siyah-beyaz veya renkli olarak gösterebilmekte, çok sıcak noktaları açık renkle, soğuk noktaları ise koyu renkle göstererek ısının kaynağını kolayca bulmada yardımcı olmaktadır. (Tokmanoğlu, 1987). Şekil 3.11’de termal kameralar ile orman yangını görüntülemesine ilişkin örnek yer almaktadır.



Şekil 3.11: Termal Kamera ile Orman Yangını Görüntüsü.

www.baykartech.com

Termal kameralar yalnızca gece değil aynı zamanda gündüz görüntülemenin sağlanması için de uygun araçlardır. (Gülci ve Akay, 2016). Çok çeşitli sektörlerde kullanımı yaygın olmakla birlikte özellikle ısıya güdümlü füze ve gece görüş sistemleri gibi askeri tekniklerin gelişmesi ile önemi artmıştır. (www.wikipedia.org) Orman yangınları da termal kameraların yoğun olarak kullanıldığı alanlardan birisidir. Yangınlar esnasında yüksek sıcaklık seviyeleri ortama yayılmakta ve termal kameralar bu sıcaklık artışını tespit edebilmektedir. Bu sayede erken uyarı ve müdahale sağlanarak yangınların büyümesi önlenebilmektedir.

Orman yangınlarına müdahale edilip söndürülmesi sağlandıktan sonra, yanan ağaçların toprak altında kalan kısımlarında göz ile görünmeyen yanmalar olabilmekte ve söndürüldüğü düşünülen alanlarda yer yer yeni yangınlar oluşabilmektedir. Termal kameralar sayesinde, bu gibi durumların tespiti de mümkün olabilmekte ve yeni yangınların çıkması önlenebilmektedir. (Çalkaya, 2023)

Ülkemiz, son yıllarda çok şiddetli orman yangınlarına maruz kalmıştır ve bu yangınlarda büyük miktarda ormanlık alan zarar görmüştür. Bahsedildiği üzere,

İHA'ların orman yangınlarında kullanılmasının en önemli faydalarından birisi erken tespit ve teşhisin yapılabilmesidir. İHA'larla keşif gözetleme faaliyetlerin yapılmasındaki öncelikli amaç hem ormanları hem de ekipleri riske atmamak için yangını küçükken tespit edebilmektir. Yangın tespit edildiğinde ise, büyüklüğünün ve ölçeğinin, bulunduğu bölgenin, ilerleme hızının teşhis edilmesi erken müdahalenin yapılabilmesi için önemlidir. Sonuçta, İHA'larla yangın başlangıcında ve yangın sırasında elde edilen görüntüler değerlendirilmekte ve olaya erken, etkin ve en tasarruflu müdahalenin yapılması sağlanmaktadır.

İHA ile yeni başlayan bir yangın tespit edildiği zaman yangının başladığı bölgenin konum bilgisi, rüzgârın yönü, şiddeti, ormanın yapısı, arazi yapısı, bölgenin bitki örtüsü gibi bilgiler değerlendirilerek yangının önem derecesi yetkili personel tarafından değerlendirilmekte ve önemli/önemsiz statüsüne alınmaktadır. Aynı zamanda yangının ilerleyen saatlerde nasıl seyredeceği tespit edilerek hangi ekipmanlarla müdahale edileceğine karar verilmektedir.

Yangının büyüdüğü durumlarda ise yine insansız hava araçlarından faydalanılarak,

- Yangın söndürme çalışmalarını gerçekleştiren helikopter ve uçak gibi hava araçlarının suyu boşaltacakları alanın koordinatını belirleme,
- Rüzgârın yönüne göre karşı ateş yakılacak bölgeyi belirlemesi ve kontrollü yakma faaliyetlerine destek sağlanması,
- Yangının yayıldığı alanı gözetleyerek söndürme çalışması yapan ekiplere rehberlik etme gibi çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Kullanılan teknolojiler, faydalı yükler ve stratejiler sonucunda, Türkiye 2020 yılında, İHA'ları orman yangınıyla mücadelede kullanan Avrupa'da ilk ülke, dünyada ise 2. ülke olmuştur. 2020 yılından bu yana İHA'larımız tarafından çok sayıda yangın tespit edilmiş ve orman yangınlarına ilk müdahale süresi 40-45 dakika seviyesinden 10 dakika seviyesine düşmüştür. (OGM, 2023) Bundan sonraki süreçte de İHA'ların orman yangınlarında kullanılmasına yönelik çalışmaların daha da artacağı ve teknolojik gelişmeler ışığında daha da etkin çözümlerin sağlanacağı aşıkardır.

İHA'ların orman yangınlarında kesintisiz faaliyet gösterebilmesi amacıyla yer veri terminallerinin konumlarının belirlenmesi konusu Tesis Yer Seçimi Problemleri kapsamına girmektedir. Çalışmanın devamında, Tesis Yer Seçimi Problemleri ve türlerine ilişkin detaylı bilgi verilmektedir.

4. TESİS YER SEÇİMİ

Tesis yer seçimi problemleri tüm organizasyonlarda sıklıkla karşı karşıya kalınan optimizasyon problemlerinden birisidir. Hizmet veren bir grup tesisin çeşitli kısıtlar altında müşteri taleplerinin karşılanması ve maliyetleri minimum düzeyde olacak şekilde uygun birer konuma yerleştirilerek hizmet veren tesislere müşterilerin atanmasını kapsayan bu problem en genel haliyle, taşıma maliyetlerini minimum olacak şekilde n adet tesisin m adet konuma ($n < m$) yerleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. (Bastı, 2012)

Yeni bir tesis kurma çalışmalarının maliyetli ve zamana karşı duyarlı olması sebebiyle satın alım ya da inşa faaliyetleri gerçekleştirilmeden önce uygun konumun belirlenmesi ve sermaye tahsislerinin yapılması gerekmektedir. Bahse konu süreçlerle ilgili maliyetlerin büyüklüğünden dolayı yer seçimi projeleri uzun vadeli yatırım projeleri haline gelmekte ve böylece tesislerin uzun süre faaliyette kalması beklenmektedir. Bu sebeplerle yeni tesisler için en uygun yerin belirlenmesi önemli bir stratejik karar haline gelmektedir. (Owen ve Daskin, 1998).

Tesis yeri analizi gerçekte çok fazla uygulama alanı bulunabilecek ilgi çekici bir konu olması sebebiyle araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bahse konu tesisler, dağıtım merkezleri, süpermarketler, fabrikalar, yangın söndürme istasyonları, hastaneler, jandarma/polis karakolları ve helikopter iniş pistleri olabileceği gibi bir fabrikanın içerisindeki makineler ve iş istasyonları da olabilmektedir. (Erhan ve Ayöperken, 2011)

Yer seçimi problemlerinde göz önünde bulundurulmuş farklı hedefler olabilmektedir. Bu hedeflerden bazıları;

- Toplam kurulum maliyetinin en aza indirilmesi,
- Mevcut tesislerden en büyük mesafenin en aza indirilmesi.
- Sabit maliyetin en aza indirilmesi,
- Toplam yıllık işletme maliyetinin en aza indirilmesi,

- Hizmet düzeyinin en üst seviyeye çıkarılması,
- Ortalama süre/katedilen mesafenin en aza indirilmesi,
- Kurulacak tesis sayısının en aza indirilmesi,
- Yanıt verme hızının en üst seviyeye çıkarılmasıdır. (Farahani, 2010)

Tesis yer seçimi problemleri kapsamında literatürde yer alan ilk çalışma Alfred Weber tarafından 1909 yılında gerçekleştirilen çalışma ile başlamıştır. Weber, müşteri ile dağıtım noktası arasındaki toplam mesafeyi en aza indirmek için dağıtım noktalarının yerleşimi üzerine çalışmıştır. (Owen ve Daskin, 1998).

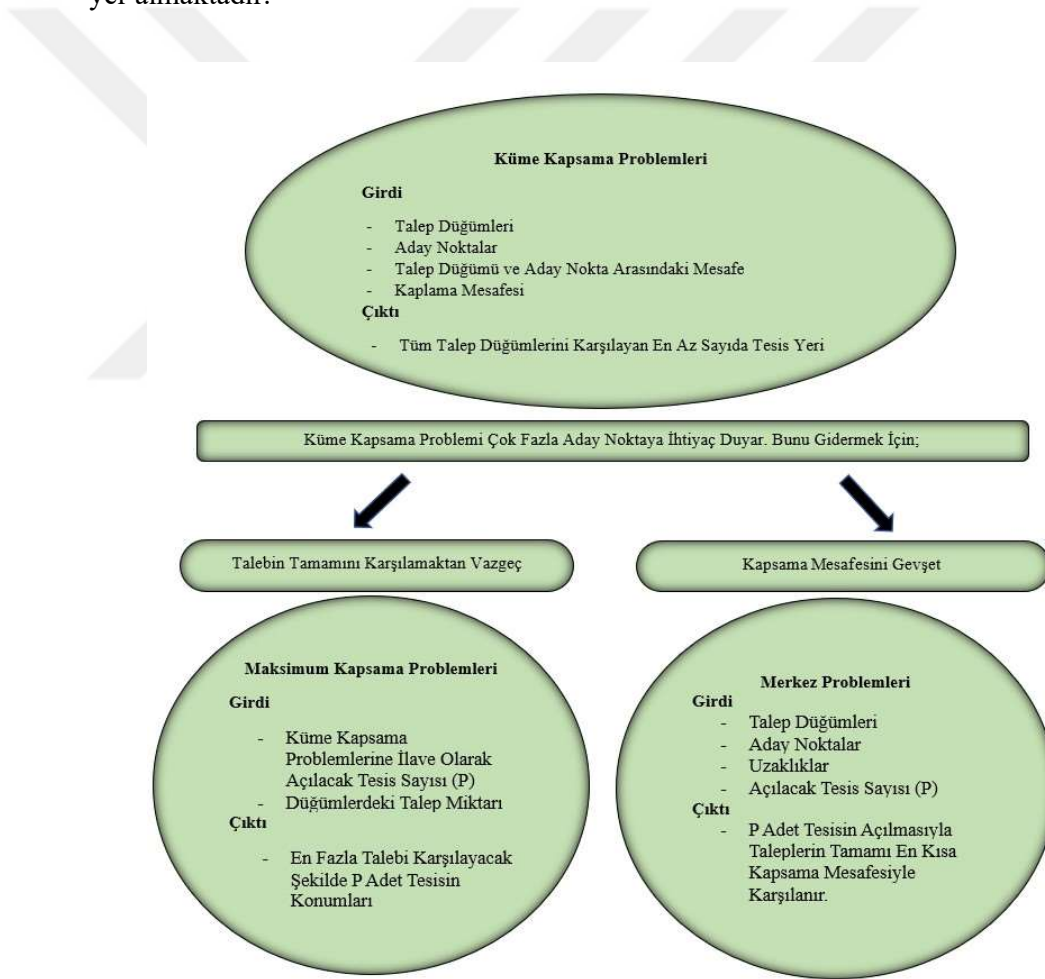
Literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda tesis yer seçimi problemlerine yönelik çeşitli sınıflandırmalar bulunmaktadır. Daskin tarafından çalışılan geniş çaplı bir sınıflandırmaya aşağıda yer verilmiştir. (Daskin, 1995) (Bastı, 2012);

- Düzlem (sürekli), ağ veya ayrık yapıda olmasına,
- Ağaç problemi ya da genel grafik problemi olmasına,
- Mesafe ölçüsüne,
- Yerleştirilecek tesis sayısına (çoklu veya tekli),
- Statik ya da dinamik yerleşim modelleri olmasına,
- Deterministik ya da probalistik olmasına,
- Tek ya da çoklu ürün modelli olmasına,
- Özel sektör veya kamu sektörü problemleri olmasına,
- Tek amaçlı ya da çok amaçlı olmasına,
- Esnek ya da esnek olmayan talep durumuna,
- Kapasite kısıtlı ya da kapasite kısıtsız olmasına,
- Talebin en yakın tesisten ya da dağıtılarak karşılanmasına,
- Hiyerarşik ya da tek aşamalı olmasına,
- İstenen veya istenmeyen tesisler olmasına göre

Tesis yer seçimi kararlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş olan çok sayıda problem türü temelde beş büyük gruba ayrılmaktadır. Bunlar,

- Küme kapsama Problemleri,
- Maksimum Kapsama Problemleri,
- P-Merkez Problemleri,
- P-Medyan Problemleri
- P- Dağılım Problemleri (Daskin, 1995)

Şekil 4.1’de Kapsama Problemleri ve Merkez Problemlerinin birbirleri ile bağlantıları yer almaktadır.



Şekil 4.1: Küme Kapsama, Maksimum Kapsama ve Merkez Problemlerinin Birbiri ile Bağlantıları

Daskin (1995)'den uyarlanmıştır.

Tez çalışmasında insansız hava araçlarının kesintisiz keşif gözetleme yapabilmesi için en az sayıda yer veri terminalinin kurulumu ile bütün talep noktalarının kapsanması amaçlanmaktadır. Bu sebeple problem, küme kapsama problemleri kapsamında değerlendirilmektedir. Aşağıda, beş ana gruba ayrılan tesis yer seçimi problem türlerine ilişkin detaylı bilgiye yer verilmekte olup tez çalışmasına konu kapsama problemlerinin modellerine de ayrıca yer verilmiştir.

4.1 Küme Kapsama Problemleri

Kat edilen ortalama mesafeyi en aza indiren konumları seçmek için kapsama problemleri kullanılmaktadır. Bir şehrin itfaiye istasyonları ya da ambulanslar gibi doğası gereği kabul edilebilir bir seyahat mesafesinin ya da süresinin belirlenmesi gereken durumlar kapsama problemleri için örnek oluşturmaktadır. (Daskin, 1998)

Kapsama problemlerinden ilki küme kapsama problemidir. Problemin altında yatan varsayım tüm talep düğümlerinin karşılanması gerektiğidir. (Current,2001) Küme kapsama probleminde amaç, belirli bir kapsama seviyesi oluşturulacak şekilde tesis konumu maliyetini en aza indirmektir. Tüm müşterilere ulaşılmasını sağlayacak belirli bir kapsama düzeyini sağlayacak şekilde tüm talepleri karşılayacak minimum tesis sayısının belirlenmesi üzerine çalışılmaktadır. (Daskin, 1998)

Küme kapsama problemi, aşağıdaki şekilde modellenmektedir. (Daskin, 1995)

Parametreler:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer aday tesis } j, \text{ talep noktası } i' \text{ nintüm talebini karşılıyorsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$f_j = j \text{ noktasındaki tesis açma maliyeti}$$

Karar değişkenleri:

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer aday tesis } j \text{ açılacaksa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

Küme kapsama modelinin formülasyonu aşağıdaki şekildedir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_j f_j X_j \quad (2.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j a_{ij} X_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.2)$$

$$X_j = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall j \in J \quad (2.3)$$

I = talep noktaları kümesi

J = aday noktaları kümesi

Amaç fonksiyonu Eş.2.1 tesislerin maliyetini minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Eş. 2.2'de yer alan kısıtlar, her talep noktasının en az bir tane aday noktası tarafından kaplanmasını sağlamaktadır.

Eş. 2.2'nin sol tarafı talep noktası i 'yi kaplayan tesislerin sayısını vermektedir. Bu kısıtların N_i (talep noktası i 'nin talebini karşılayabilen aday tesislerin kümesi) cinsinden ifadesi Eş 2.4'teki gibidir.

$$\sum_{j \in N_i} a_{ij} X_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.4)$$

Eş. 2.3 karar değişkenlerinin alacağı değerleri ifade etmektedir.

Eğer bütün tesis maliyetleri özdeş ise (örneğin $f_j = 1 \quad \forall j \in J$) veya amaç sadece açılacak tesis sayısını minimize etmekse amaç fonksiyonu sadeleştirilmekte ve Eş 2.5'teki gibi olmaktadır;

$$\min \sum_j X_j \quad (2.5)$$

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, orman yangınlarıyla mücadele kapsamında en az yer veri terminallerinin konumlarının belirlenmesi için yukarıda formülasyonu verilen küme kapsama modeli kullanılmıştır.

4.2 Maksimum Kapsama Problemleri

Pratikte gerçekleştirilen birçok uygulamada, tahsis edilen kaynakların istenen kapsama düzeyinde tüm müşterilere ulaşmasının mümkün olmadığı görülmektedir. Bu gibi durumlarda mevcut kaynakların istenen kapsama düzeyini mümkün olduğunca çok müşteriye sağlamak için kullanılması amacıyla konum hedeflerinin belirlenmesi hedefi maksimum kapsama problemini oluşturmaktadır. (Daskin, 1998)

Maksimum kapsama problemlerindeki varsayım tüm talep düğümlerini karşılamak için yeterli tesisin olmayabileceğidir. Amaç, karşılanan talebi en üst düzeye çıkaracak şekilde önceden belirlenen sayıda tesisi bulmaktır. (Current,2001)

Maksimum kapsama probleminde, tesis sayısı sabit olacak şekilde kabul edilebilir bir hizmet mesafesi içerisinde karşılanan talep miktarının maksimum seviyede olması amaçlanmaktadır. (Daskin, 1998)

Maksimum kapsama modelinde küme kapsama modeline aşağıdaki gösterim eklenmektedir; (Daskin, 1995)

$$h_i = i \text{ noktasındaki talep}$$

$$P = \text{Yerleştirilecek tesis sayısı}$$

Karar Değişkenleri:

$$Z_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer talep noktası } i \text{ kaplanıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

Bu doğrultuda, maksimum kapsama probleminin formülasyonu aşağıdaki olmaktadır;

Amaç Fonksiyonu:

$$\max \sum_i h_i Z_i \quad (2.6)$$

Kısıtlar:

$$Z_i \leq \sum_j a_{ij} X_j \quad \forall i \in I \quad (2.7)$$

$$\sum_j X_j \leq P \quad (2.8)$$

$$X_j = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall j \in J \quad (2.9)$$

$$Z_i = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i \in I \quad (2.10)$$

Eş. 2.6'da yer alan amaç fonksiyonu kaplanan talep noktalarının sayısını maksimize etmektedir.

Eş. 2.7' de yer alan kısıtlar i talep noktasının, i 'deki talebi karşılayan en az bir aday tesis açılmadan kapsanamayacağını göstermektedir. Burada hatırlanmalıdır ki Eş. 2.7'nin sağ tarafı, Eş. 2.2'nin sol tarafıyla özdeştir ve i talep noktasını kapsayan tesislerin sayısını vermektedir.

Eş. 2.8 numaralı kısıt, yerleştirilecek tesis sayısı P 'den daha fazla tesis açılmasını engellemektedir. Tüm talep noktalarını karşılamak için gereken tesis sayısı P 'den az olmadıkça, bu kısıtın optimumu bağlayıcı olmaktadır.

Eş. 2.9 ve Eş. 2.10 numaralı kısıtlar ise karar değişkenlerinin alacağı değerleri ifade etmektedir.

4.3 P-Merkez Problemleri

P-Merkez problemlerinde küme kapsama problemlerine benzer şekilde tüm talep noktalarının karşılanması gerekmektedir. Belirli bir sayıdaki tesis ise tüm taleplerin karşılanması amaçlanmaktadır. (Daskin, 1998) Talep noktası ile talep noktasına en yakın tesis arasındaki maksimum mesafenin minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

P-merkez problemi daha çok acil servis birimlerinin yerleşimi için kullanılan bir modeldir. İtfaiye merkezleri yerleştirilirken, itfaiye aracının şehirdeki herhangi bir noktaya ulaşabileceği sürenin minimize edilmesi amaçlanmaktadır (Sule, 2001).

Tesislerin şebeke üzerinde herhangi bir noktaya yerleştirilebildiği ve yalnızca şebeke üzerindeki noktalara yerleştirilebildiği problemler birbirinden ayrılmaktadır. Nokta Merkez Problemleri, aday noktaları kümesini ağın düğümleriyle sınırlarken, tesislerin şebeke üzerinde herhangi bir yere yerleştirilebilmesine izin veren problemler de Mutlak Merkez Problemleri olarak adlandırılmaktadır. (Current, 2001)

4.4 P-Medyan Problemleri

P-Medyan Problemleri P sayıda tesis için bir şebeke üzerinde bulunan aday tesisler ile talep noktaları arasındaki toplam veya ortalama mesafeyi minimum yapmaya çalışmaktadır.

P-Medyan problemlerinin yaklaşımı, P adet tesisin n adet düğümden oluşan şebeke üzerinde maliyeti minimize edecek şekilde yerleştirilmesi ve yerleştirilen bu tesislerden hizmet alacak talep noktalarının belirlenmesi üzerinedir. Minimum maliyet; mesafe, para, zaman vb. ölçütler olabilmektedir.

Eğer problemde talep noktasıyla ilişkili bir ağırlık söz konusu ise ve problemdeki tüm talep noktaları amaç fonksiyonunu eşit miktarda etkilemiyorsa bu problem ağırlıklı p-medyan problemi olarak isimlendirilmektedir. (Sule, 2001).

4.5 P-Dağılım Problemleri

Bazı yer seçimi konularında tesislerin birbirlerine yakınlığı tercih edilmeyebilmektedir. P-dağılım probleminde yukarıda bahsedilen tesis yerleşim modellerinden farklı olarak hizmet verecek tesislerin birbiri arasındaki mesafe göz önünde bulundurulmaktadır. Burada amaç, hizmet verecek tesislerin birbirleri arasındaki en kısa mesafenin en uzun yapılmasıdır. Bayi yerleşimi yapılırken bayiler arasındaki mesafenin birbirlerine zarar vermeyecek uzaklıkta fakat en yakın şekilde ayarlanması P-Dağılım problemine örnek olarak verilebilmektedir. (Current ve diğ., 2001).

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür çalışması; tesis yer seçimi problemleri, orman yangınları ve insansız hava araçlarına yönelik çalışmalar olmak üzere üç farklı grup esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Tesis yer seçimi problemleri birçok çalışma alanı kapsamında uygulanabilecek ve çok çeşitli modellerin kullanılabilceği bir problem türü olarak literatürde farklı açılardan ele alınmıştır. Orman yangınları konusunun çalışma alanı olarak belirlendiği problemlerde farklı çözüm yaklaşımları uygulanmış ve insansız hava araçlarının kullanımı da literatürde üzerine çokça çalışma yapılan bir konu olmaya başlamıştır.

Literatür araştırması kapsamında, bahse konu başlıklar altında, 2004 yılı ve sonrasında yapılan çalışmalar incelenmiştir.

5.1 Konu Kapsamında Yapılan Benzer Çalışmalar

Maraş ve diğ. (2023), minimum sayıda heliport ile tüm bölgeyi kapsamak, Ercan ve diğ. (2023), ilk müdahale süresi içinde tüm orman bölgelerine ulaşılmasını sağlayacak en az sayıdaki ekip sayısını bulmak, Uygur (2023), Karadeniz Bölgesi'nde sahil gözetleme radarlarının konuş yerlerinin belirlemek, Olgaç ve Toz (2022), insansız hava aracı yer kontrol istasyonlarının optimum konumlarını bulmak amacıyla küme kapsama modelinin kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirmiştir. Olgaç (2020), Ege Denizi arama ve kurtarma bölgesinde gerçekleştirilecek arama ve kurtarma faaliyetlerinde kullanılacak İHA istasyonlarının mevkilerini belirlemek ve Yılmaz (2018), keşif gözetleme görevini kablo güdümlü balonlar ile sağlamak amacıyla çalışmalarında küme kapsama modelini kullanmıştır. Aynı şekilde; Aktaş ve diğ. (2011), yeni kurulacak olan itfaiye istasyonlarını konumlandırmak ve Korkmaz (2004), yangın gözetleme noktalarının belirlenmesini sağlamak amacıyla küme kapsama problemi üzerinde çalışmışlardır. Küme kapsama modelinin kullanıldığı Yılmaz (2018)'in çalışmasında sezgisel yaklaşımlardan faydalanılırken, diğer

çalışmalarda çözüm yöntemi olarak matematiksel yöntemler tercih edilmiş ve Bao ve diğ. (2015), tarafından gözetleme kulelerinin inşaat maliyetlerini en aza indirmek için yapılan çalışmada hem matematiksel hem sezgisel yöntemler kullanılmıştır.

Küme kapsama modeli dışında diğer tesis yer seçimi modellerini kullanan çalışmalardan hem Uygur (2023), hem de Olgaç ve Toz (2022), problemlerinin çözümünde matematiksel model kullanırken, Yankaya (2023), İHA'yı göz önüne alarak kapasitesi önceden bilinen tesislerin yerlerinin belirlenmesi ve müşterilerin taleplerinin karşılanması üzerine çalıştığı problemin çözümünde sezgisel yöntemler kullanmıştır. Bao ve diğ. (2015) ise çalışmasında küme kapsama modeli de dahil olmak üzere üç adet model kullanırken problemin çözümünde hem matematiksel hem de sezgisel yöntemlerden faydalanmıştır. Akkuş (2009), Aydoğan (2008), Aygüneş (2008), Gencer ve Açıkgöz (2006) ve Çarlıoğlu (2005) da çalışmalarını tesis yer seçimi problemleri kapsamında gerçekleştirmiş ve çözüm yöntemi olarak matematiksel modellerden faydalanmışlardır. Akay ve diğ. 2010, 2011, 2012, 2015 ve 2020 yıllarında yapılan çalışmalarda çözüm yaklaşımı olarak coğrafi bilgi sistemlerini kullanırken çalışma alanını orman yangınları konusu üzerine belirlemişlerdir.

Özkan ve Kılıç (2023), orman yangınlarının önlenmesi, riskinin azaltılması ve tespit edilebilmesi amacıyla simülasyon tabanlı optimizasyon yaklaşımlarıyla İHA rotalama problemi üzerine çalışırken, Özkan (2021), gerçekleştirdiği çalışmada orman yangını risklerini azaltmak üzere insansız hava araçlarını kullanmak için bir algoritma önermiştir. Özkan ve Kılıç (2019), orman yangını riskini azaltmak için kavramsal bir model üzerine çalışırken, Ghamry ve diğ. (2017), orman yangınları ile mücadelede İHA'ların kullanılması üzerine ve Ghamry ve diğ. (2016), orman izleme ve yangın algılama stratejilerinin araştırılması üzerine çalışmışlardır. Aktaş ve diğ. (2011) ise itfaiye istasyonlarının konumlandırılmasını problemini ele alarak çalışmasında orman yangınlarına değinmiştir.

Altundaş (2021), tesis yer seçimi problemleri kapsamında, İHA konuşlanma problemi üzerine, Kurban ve Can (2016) ise en uygun mini insansız hava araçlarının yer kontrol istasyonlarının yer seçimi üzerine çalışmıştır. Yakıcı (2016), İHA'lar için, ziyaret edilen noktalardan toplanan puanları en çoklamayı amaçlayan bir yerleştirme ve rotalama problemine, Ayöperken ve Ermis (2011) de İHA'lar için en iyi üs konumlarının belirlenmesine yönelik çalışmış ve insansız hava araçları konusunda literatürde gerçekleştirilen çalışmalara katkı sağlamışlardır.

Sarıkaya ve diğ. (2020) ise jandarma karakolları için en büyük kapsama yöntemi ile yer seçimi problemi üzerine çalışmasını gerçekleştirmiştir.

Hem çalışma içerikleri hakkında kolay kıyaslama yapılabilmesi hem de literatürde oluşabilecek boşluğun tespit edilmesi amacıyla Tablo 5.1 oluşturulmuştur. Tabloda, tesis yer seçimi problemleri kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan model, çözüm yaklaşımlarında tercih edilen yöntemler, inceleme alanı orman yangınları olan çalışmalar ve insansız hava araçlarına yönelik gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir.



Tablo 5.1: Literatürün Sistematiik Olarak İncelenmesi

Literatürün Sistematiik Olarak İncelenmesi								
İlgili Çalışmalar	Tesis Yer Seçimi Problemi		Çözüm Yaklaşımları			İnceleme Alanı		İHA Çalışması
	Küme Kapsama Problemi	Diğer	Matematiksel	Sezgisel	CBS	Orman Yangını	Diğer	
Maraş ve diğ. (2023)	x		x				x	
Ercan ve diğ. (2023)	x		x			x		
Uygur (2023)	x	x	x				x	
Yankaya (2023)		x		x			x	x
Ozkan ve Kılıç (2023)				x		x		x
Olgaç ve Toz (2022)	x	x	x				x	x
Altundaş (2021)		x	x				x	x
Özkan (2021)				x		x		x
Sarıkaya vd. (2020)		x	x				x	
Olgaç (2020)	x	x	x				x	x
Akay ve diğ. (2020)					x	x		
Ozkan ve Kılıç (2019)			x			x		x
Yılmaz (2018)	x			x			x	x
Ghamry vd. (2017)				x		x		x
Kurban ve Can (2016)		x	x				x	x
Ghamry vd. (2016)						x		
Yakıcı (2016)			x	x			x	x
Akay ve Aziz (2015)					x	x		
Bao ve diğ. (2015)	x	x	x	x		x		
Akay ve diğ. (2012)					x	x		
Ayöperken ve Ermis (2011)		x	x					x
Akay ve diğ. (2011)					x	x		
Aktaş ve diğ. (2011)	x		x			x		
Akay ve diğ. (2010)					x	x		
Akkuş (2009)		x	x				x	x
Aydoğan (2008)		x	x				x	
Aygüneş (2008)		x	x				x	
Gencer ve Açıkgöz (2006)		x	x				x	
Çarlıoğlu (2005)		x	x				x	
Korkmaz (2004)	x		x			x		

Tüm bu çalışmalar detaylı olarak incelenerek aşağıda özetlenmektedir.

Maraş ve diğ. (2023), büyük arazilerde helikopterlerin yangın alanlarına en kısa sürede ulaşması için helikopter pisti lokasyonlarının öneminden yola çıkmış ve Muğla Milas'ta belirlenen yanıt süreleri içerisinde minimum sayıda heliport ile tüm bölgeyi kapsamak amacıyla problemi küme kapsama problemi olarak ele almıştır. Orman yoğunluğu, yollara yakınlık, yerleşim alanlarına uzaklık, havaalanlarının varlığı gibi koşullar tanımlanmış, küme kapsama problemi için geliştirilen iki adet çok amaçlı programlama modelinde ağırlık olarak kullanılmak üzere ArcGIS'de analiz edilmiştir. Sonuç olarak matematiksel model çözülerek en uygun heliport ve su kaynağı konumları belirlenmiştir.

Ercan ve diğ. (2023), ilk müdahale ekiplerinin buldukları bölgelerin ilk müdahale sürelerine etkisinin öneminden yola çıkarak hedeflenen süre içerisinde tüm bölgelere ulaşmayı sağlayacak minimum ekip sayısını ve ekiplerin yerlerini tespit etmek amacıyla çalışmasını gerçekleştirmiştir. Önerdiği iki adet küme kapsama modelinden ilki hâlihazırda bulunan ekiplerin yerlerinde olabildiğince değişiklik yapmamayı, ikincisi ise hedeflenen ilk müdahale süresi içinde birden çok ekip tarafından ulaşılabilecek alan sayısını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular 2023 yılı için hedeflenen ilk müdahale süresi göz önüne alındığında İzmir-Aliğa Orman İşletme Müdürlüğü'nün iki yeni ilk müdahale ekibine ihtiyacı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Uygun (2023), düzensiz göç, kaçakçılık faaliyetleri, su ürünleri avcılığı vb. yasa dışı faaliyetlerin önlenmesi ve sınır güvenliğinin sağlanması amacıyla Karadeniz Bölgesi'nde sahil gözetleme radarlarının konuş yerlerinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Tesis yer seçimi problemin çözümü için küme kapsama ve maksimum kapsama modeli oluşturmuş ve oluşturulan modeller GAMS programlama dili kullanılarak çözülmüştür. Optimal çözümde bulunan konumlara radar yerleştirilmesiyle Karadeniz Bölgesi deniz yetki alanlarının tam kapsama sağladığı sonucuna varılmıştır.

Yankaya (2023), potansiyel talep ve aday noktaları ile birlikte bir dizi şarjlı İHA'yı göz önüne alarak kapasitesi önceden bilinen tesislerin yerlerinin belirlenmesi ve müşterilerin taleplerinin karşılanması amacıyla İHA atama problemini ele almıştır. Problem, İHA ile en büyük kapsamlı tesis yer seçimi problemi olarak

değerlendirilmiştir. NP-zor sınıfında yer alan bu problemin çözümü için adaptif bir tavlama benzetimi algoritmasına dayalı bir hiper sezgisel algoritma geliştirilmiş ve performansı literatürde önerilmiş olan diğer çözüm yaklaşımlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçta, önerilen algoritmanın çözüm zamanı ve çözüm kalitesi açısından literatürdeki algoritmalarından daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür.

Özkan ve Kılıç (2023), orman yangınlarının önlenmesi, riskinin azaltılması ve tespit edilebilmesi amacıyla simülasyon tabanlı optimizasyon yaklaşımlarıyla İHA rotalama problemi üzerine çalışmıştır. Çalışmada, yeni bir sezgisel dağıtım kuralı ve simülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritması önerilmiş olup önerilen algoritmalar rotaların yangın olasılığını en aza indirmeye odaklanmasıyla öne çıkmaktadır. Gerçekçi bir durum üzerine gerçekleştirilen çeşitli senaryolara dayanarak deneysel sonuçlar incelenmiştir.

Olgaç ve Toz (2022), yaptıkları çalışmada insansız hava aracı yer kontrol istasyonlarının optimum konumlarını bulmayı amaçlamışlardır. Tesis yer seçimi problemlerinde yaygın olarak kullanılan küme kapsama problemi ve maksimum kapsama problemi modelleri kullanılmıştır. Bu amaçla, 76 talep noktası ve 10 aday noktası belirlenmiş ve aday noktalarından beş tanesinin tüm bölgeyi kapsayabileceği sonucuna varılmıştır.

Altundaş (2021), çalışma konusunu İHA konuşlanma yeri problemi olarak seçmiş, İHA seçimi ve İHA'ların konumlandırılacakları aday noktaların seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmıştır. Aday noktalar arasından üç kurulacak bölgeler doğrusal programlama ve hedef programlama yardımıyla belirlenmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında 6 farklı çok kriterli karar verme yöntemiyle İHA'lar değerlendirilmiş ve sıralamaya tabi tutularak seçilmiştir. İkinci aşamada havalimanları arasından belirlenen aday üsler CBS'de görüş analizi ile değerlendirilmiş, üçüncü aşamada ise maksimum kapsama problemi olarak değerlendirilen problem matematiksel model kurularak çözülmüştür.

Özkan (2021), gerçekleştirdiği çalışmada orman yangını risklerini azaltmak üzere insansız hava araçlarını kullanmak için bir algoritma önermiştir. Çalışmada, Temmuz-Ağustos 2017 tarihleri en riskli aylar olarak değerlendirilmiş ve yüzde 70 üzerinde risk değerinin olduğu 6 gün seçilerek meydana gelen orman yangınları için oluşturulan risk haritalarına yer verilmiştir. Hedef nokta sayısı 167 olarak belirlenmiş ve tüm hedef

noktalar İHA ile gözetlenebilecek ve tüm riskli bölgeleri kapsayacak büyüklükte konumlandırılmıştır. İHA bir hedef noktanın merkez noktasına ulaştığında riskli bölgenin gözlemlendiği varsayılmaktadır. Geliştirilen algoritma, bir tam sayılı doğrusal programlama modeliyle, benzetilmiş tavlama ve yerel arama meta-sezgisellerini melezleştirmektedir. Gerçek hayattan örnek bir olay çalışması ile önerilen metodolojinin etkinliği test edilmiş ve bir genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır.

Sarıkaya ve diğ. (2020), en büyük kapsama problemi kapsamında jandarma karakollarının yer seçimi üzerine çalışmasını gerçekleştirmiştir. Aday noktaları potansiyel karakol merkezlerinin yerini göstermek üzere 55 adet, talep noktaları ise müdahale edilecek olayları göstermek üzere 38 adet olarak belirlenmiştir. Talep noktalarına öncelik değerleri verilmiş, bunu yaparken müdahale edilecek bölgelerdeki olay yoğunlukları göz önünde bulundurulmuştur. Çalışılan problem kapsamında oluşturulan farklı senaryolar için optimal çözümler LINGO yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Devamında ise problem parametrelerinde değişiklikler yapılarak optimal çözümlerin değişimi incelenmiştir.

Olgaç (2020), İnsansız hava araçlarının arama kurtarma bölgelerinde etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla Ege Denizi arama ve kurtarma faaliyetlerinde kullanılacak İHA'ların kontrol istasyonları konumlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışma kapsamında belirlenen çeşitli parametreler önce küme kapsama problemi daha sonra maksimum kapsama problemi denklemleri kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Belirlenen 10 adet aday noktaya coğrafi ve meteorolojik uygunluk değeri ve 76 adet talep noktasına öncelik değerleri verilmiştir. Talep noktalarının tamamının kaplanması için en az sayıda tesisin belirlenmesi minimizasyon, belirlenen sınırlı sayıdaki tesisin tam kapsamayı sağlamak üzere en uygun konuma yerleştirilmesi ise maksimizasyon problemi olarak ele alınmıştır.

Akay vd. (2020), Balıkesir Yayla Orman İşletme Şefliği sınırları içinde ve çevresinde bulunan üç adet yangın ilk müdahale ekibinin konumlarını ArcGIS yazılımını kullanarak değerlendirmiştir. Olası bir yangın anında bölgeye en hızlı ulaşımı sağlayacak optimum güzergahlar belirlendikten sonra, ilk müdahale ekiplerinin kritik müdahale süresi içinde çalışma alanında ne kadar uzağa ulaşabileceği hesaplanmıştır.

Çalışmanın sonucunda, kritik müdahale süresi içerisinde 19 potansiyel yangın alanından 16'sına ve çalışma alanındaki ormanlık alanların %83'üne kritik müdahale süresi içerisinde ulaşılabildiği tespit edilmiştir.

Ozkan ve Kılıç (2019), çalışmada orman varlığı üzerinde en büyük tehditlerden biri olan orman yangınlarını önlemek amacıyla kendi kendine adaptif ve otonom İHA'ların kullanımıyla orman yangını riskini azaltmak için kavramsal bir model önermiştir. Önerilen modelin geçerliliği küçük boyutlu gerçekçi bir senaryo üzerinde test edilmiştir.

Yılmaz (2018), keşif gözetleme görevinin kablo güdümlü balonlar ile sağlanması için model geliştirmiş, sensör görüş yetenekleri ve arazi özelliklerini dikkate alarak, minimum maliyet ile maksimum alan kapsamını sağlamak üzere Küme Kapsama, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Amaç Programlama yaklaşımlarını kullanmıştır. Aynı zamanda, İHA sistemlerinin kullanımı için minimum rota uzunluğu ile tüm konumların gözleminin sağlanması hedeflenmiş ve İHA rotalama problemi üzerine çalışılmıştır. Çalışma sonucunda, Güneydoğu sınır hattının coğrafi yapısı nedeniyle kablo güdümlü balon kullanımına elverişli olmadığını ve bu bölgenin İHA'lar ile havadan keşfi yapılarak desteklenmesi gerektiğini göstermiştir.

Ghamry ve diğ. (2017), orman yangınları ile mücadelede İHA'ların kullanılması üzerine çalışma gerçekleştirmiş ve İHA'nın katettiği mesafeyi en aza indirmek amacıyla algoritma geliştirilmişlerdir. Ardından İHA parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması kullanarak kendisine atanan yangın noktasına giden yol planlanmıştır.

Kurban ve Can (2016), çalışmasında farklı kapsama mesafeleri olan mini insansız hava araçlarının iç güvenlik harekâtı ve hudut güvenliğini sağlamaları amacıyla gerçekleştirmiştir. İlk önce maksimal kapsama problemi, daha sonra maksimum beklenen kapsama problemi ele alınarak mini insansız hava araçları kontrol istasyonlarının yer kontrol istasyonlarının konumları belirlenmiştir. Ele alınan on yedi farklı senaryonun her biri için optimal çözümlere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Ghamry ve diğ. (2016), İnsansız hava araçları ve insansız kara araçlarından oluşan bir ekip kullanılarak orman izleme ve yangın algılama stratejilerinin araştırılması üzerine çalışmışlardır.

Yakıcı (2016), çalışmasında insansız hava araçları tarafından ziyaret edilen noktalardan elde edilen puanları maksimize etmeyi hedefleyen bir yer belirleme ve rotalama problemi geliştirmeyi amaçlamıştır. İHA'ların kalkış ve iniş istasyonları ile noktaların ziyaret sıraları eşzamanlı bir şekilde belirlenmektedir.

Oluşturulan tam sayılı doğrusal programlama modelinin çözümü için Karınca Kolonisi Algoritması temelli bir metasezgisel geliştirilmiştir. Çözüm için, sezgisel yaklaşım ve CPLEX çözücüsü ile sezgisel yaklaşımın karşılaştırılması sonucunda sezgisel yaklaşımın daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Akay ve Aziz (2015), orman yangın alanlarına varış süresini en aza indiren rotayı belirlemek için CBS tabanlı sistem geliştirme üzerine çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Yangın alanlarına en hızlı seyahat rotalarını belirlemede çalışanlara yardımcı olmak için ArcGIS içindeki Ağ Analisti uzantısını kullanan CBS tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Sistem Irak'ın Erbil şehrine uygulanmıştır.

Bao ve diğ. (2015), orman yangını izlemek için lazer gece görüş kameraları veya yüksek çözünürlüklü video kameralarla donatılmış gözetleme kulelerinin inşaat maliyetlerini en aza indirmek ve orman yangınlarının izleme kapsamını en üst düzeye çıkarmak için gözetleme kulelerinin verimli bir şekilde yerleştirilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmada, üç adet model kullanılmıştır. Birincisi maliyeti en aza indirerek tam kapsamanın sağlanması, ikincisi sabit bütçe ile maksimum kapsamanın sağlanması, üçüncüsü ise minimum maliyetle maksimum kapsamanın sağlanması için oluşturulmuştur. Modeller tam sayılı programlama ve çok amaçlı genetik algoritma ile çözülmüştür.

Akay ve diğ. (2012), çalışmada, itfaiye şeflerinin yangın alanlarına en hızlı ve güvenilir erişim yolunun belirlenmesine yardımcı olmak için coğrafi bilgi sistemi tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Karar destek sistemi Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü'nde test edilmiştir. Geçmiş veriler kullanılarak oluşturulan 15 yangın alanına 20 yangın müdahale ekibinin en uygun seyahat noktası ve müdahale sürelerini belirlemek için çoklu ağ analisti simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, tüm ormanlık arazilere yeterli müdahalenin sağlanması için bölgeye yeni yangınla mücadele karargahlarının kurulması gerektiğini göstermiştir.

Ayöperken ve Ermis (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, İHA'lar için en iyi üs konumlarının belirlenmesi konusu maksimum kapsama problemi olarak modellenmiştir. Talep noktaları için belirlenen öncelik değerlerinin yanında aday noktaları için ise maliyet, coğrafya, lojistik ve hava durumundan kaynaklanan ilave kısıtlar oluşturulmuştur. İHA üs konumlarının belirlenmesi ve bu konumlara uygun İHA'ların atanması için matematiksel model oluşturulmuştur. İHA'ların atandıkları üslerdeki kapsama alanı en büyüklenmeye çalışılmış ve geliştirilen 0-1 Tamsayı Programlama Modeli çözülmüştür.

Aktaş ve diğ. (2011), İstanbul Büyükşehir Belediyesi itfaiye teşkilatının kapsama alanı %100 olacak şekilde en fazla beş dakikalık sürede bütün bölgelere erişebilmesi amacıyla yeni kurulacak olan itfaiye istasyonlarının konuşlandırılması amaçlanmış ve küme kapsama modeli kullanılmıştır. Oluşturulan tamsayı programlama modeli, GAMS paket programı kullanılarak coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla elde edilen verilerle çözülmüş, sonuçta belirlenen yerlere itfaiye kurulması durumunda yangına müdahale düzeyinin değişimi incelenmiştir.

Akay ve diğ. (2010), orman yangınlarıyla mücadele kapsamında kullanılan helikopterin verimliliği kritik müdahale süresini dikkate alarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olarak Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Antakya Orman İşletme Müdürlüğü tarafından işletilen bölge belirlenmiştir. Yakınlık analizinin yapılmasında coğrafi bilgi sistemleri araçlarından faydalanılmıştır. Devamında, kritik müdahale süresi içinde ulaşılabilen alanlar belirlenmiş ve sonuçta, yangın helikopterinin verimliliğinin incelenmesinde CBS tabanlı karar destek sistemlerinin etkin olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Akkuş (2009) çalışmada, Türkiye kara sınırlarında hareketin izlenmesi amacıyla kullanılacak insansız uçakların ana dağıtım üssü yer seçimi ve rotalama problemini ele almıştır. Bu kapsamda, 34 adet olası ana dağıtım üssü ve 16 adet talep noktasının ağırlıkları ELECTRE yöntemi kullanılarak belirlenmiş, ana dağıtım üslerinin yerlerinin belirlenmesi amacıyla ise bir matematiksel model kurularak çözülmüştür. Talep noktalarının belirlenen üslere atanması ve her üs için en uygun rotaların belirlenmesi amacıyla oluşturulan matematiksel model GAMS paket programının CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Aydoğan (2008), yaptığı çalışmada yer seçimi ile ilgili çalışmaları incelemiş ve stratejik bir bölgede sahil gözetleme radarlarının yerleştirilmesi amacıyla küme kapsama modelini kullanmıştır. Bu kapsamda, 80 adet talep noktası ve 50 adet aday noktası belirlenmiştir. Stratejik bölgeye 3 tip gözetleme radarının yerleştirilmesiyle ilgili 7 adet senaryo üretilmiş ve çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Aygüneş (2008), çalışmada terörle mücadele kapsamında askerî birliklerin konuşlandırılacağı bölgelerin belirlenmesi amacıyla yer seçimi modellerini kullanmıştır. 40x40 km boyutlarında bölgeye konuşlandırılacak 4 adet birlik için 13 aday nokta belirlenmiştir. Örnek senaryolar tanımlanarak çeşitli amaçlar ve kısıtlamalara göre matematiksel modeller p-medyan, p-merkez, küme kapsama ve maksimum kapsama problemleri için oluşturulmuş ve optimal çözümler elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken önemli parametrelerdeki değişikliklerin çözüme olan etkisi de incelenmiştir.

Gencer ve Açıköz (2006), çalışmalarında Türk Silahlı kuvvetleri arama kurtarma istasyonları konuş yerlerinin belirlenmesi amacıyla 145 adet aday noktası ve 128 adet talep noktası belirlemiş ve problemi, Maksimal Kapsama Problemi olarak modellemiştir. Problemin çözümü için toplam 16 adet senaryo oluşturulmuştur. Sonuçlar LINGO 4.0 paket programı kullanılarak elde edilmiştir.

Çarlıoğlu (2005), Ege Denizi ve adalarının kontrolü amacıyla küme kapsama yöntemi kullanarak sahil gözetleme radarlarının Ege kıyılarına yerleştirilmesi üzerine çalışmıştır. Bu kapsamda yerleştirilecek 3 tip radar için 7 adet senaryo oluşturulmuş ve çözülmüştür.

Korkmaz (2004), çalışmasında küme kapsama yöntemi ile yangın gözetleme noktalarının belirlenmesini amaçlamıştır. Alternatif gözetleme noktalarının ve bu noktalardan gözetlenebilecek yerlerin belirlenmesi için topografik haritalar kullanılmış, yangın gözetleme kulelerinin yapım maliyetleri hesaplanarak 0-1 tam sayılı programlama modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model çözümlenerek coğrafi ve ekonomik açıdan optimum gözetleme noktaları belirlenmiştir.

Yukarıdaki bilgiler ve Tablo 5.1'in incelenmesi sonucunda, literatürde orman yangınları konusunda çeşitli araştırmaların yapıldığı ancak tesis yer seçimi problemleri kapsamında orman yangınlarının yeterli miktarda ele alınmadığı görülmüştür. Benzer şekilde, insansız hava araçlarına yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda da orman

yangınlarının yeterince incelemediği tespit edilmiştir. Problemlerinin optimizasyon yaklaşımlarına bakıldığında ise sezgisel yöntemlerden çok matematiksel model yaklaşımları üzerine çalışıldığı ve küme kapsama modelinin diğer modellere göre daha az tercih edildiği bir diğer çıkarımdır.

Bununla birlikte, literatürde sahil gözetleme radarlarının kurulum yerleri ve insansız hava araçlarının komuta kontrolünü sağlayan yer kontrol istasyonlarının kurulum yerlerine ilişkin çalışmaların gerçekleştirildiği fakat insansız hava araçlarının görüş hattında görevini gerçekleştirebilmesini sağlayan görüş hattı veri haberleşme sistemleri yer veri terminallerinin kurulumu konusuna ağırlık verilmediği görülmüştür. Aynı zamanda, orman yangınları üzerine gerçekleştirilen çalışmaların daha çok itfaiye istasyonlarının yer seçimi üzerine gerçekleştirildiği, insansız hava araçlarının orman yangınlarında kullanımına yönelik çalışmaların ise genellikle rotalama üzerine olduğu ve insansız hava araçlarında yer seçimi problemleri kapsamında orman yangınlarının çalışma alanı olarak tercih edilmediği tespit edilmiştir.

Neticede, orman yangınlarında insansız hava araçlarının kullanılması amacıyla görüş hattı veri haberleşme sistemi yer seçimi problemleri üzerine çalışma yapılarak literatürdeki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

6. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

6.1 Araştırmanın Konusu

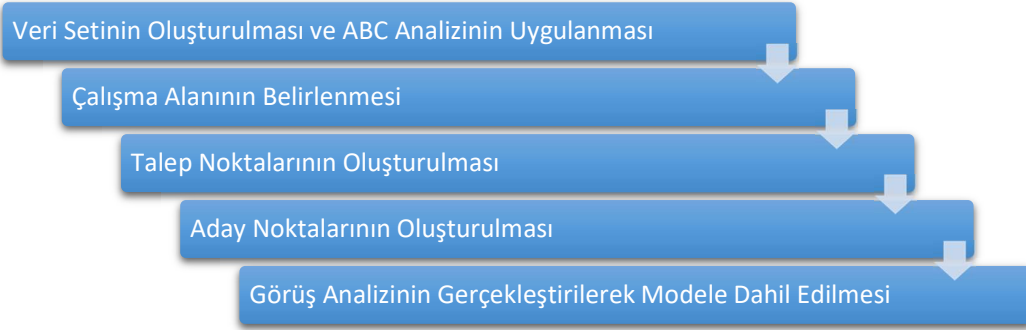
Hızla gelişen teknolojilere, yapılan çalışmalara ve kullanılan kaynaklara rağmen orman yangınları günümüzde Türkiye'nin orman varlığı üzerinde en büyük risk unsurlarından birisi olmaya devam etmektedir. Küresel ısınma sebebiyle orman yangınlarında gözlemlenen hızlı artış insan çabasının yetersiz kalmasına neden olmuş, yeni, teknolojik, stratejik ve hızlı çözümlerin üretilmesi gerekmiştir.

İnsansız hava araçları son yıllarda yangınla mücadele faaliyetlerinde öne çıkan unsurlardan birisi olmuştur. Orman yangınlarına erken müdahale edilmesi yangınla mücadele faaliyetlerinde büyük önem taşımaktadır. Keşif gözetleme faaliyetlerinde yoğun olarak kullanılan İHA'ların, orman yangınlarının erken tespit edilmesinde oynadığı rolün önemi ise gün geçtikçe daha da artmaktadır.

Bu hususlar göz önünde bulundurularak tez çalışmasında, orman yangınlarının erken tespiti ve yangınla mücadele kapsamında İHA'ların kullanılması konusuna yönelik bir çalışma gerçekleştirilmesi hedeflenmiş ve İHA'lar ile, Türkiye'nin orman yangını görülme riski yüksek bölgelerinin kesintisiz olarak izlenebilmesi için görüş hattında veri haberleşmesini sağlayan sistemlerin yer birimi olan yer veri terminallerinin konumlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

6.2 Araştırmanın Yöntemi

Problem, yer veri terminallerinin yerleştirileceklerini konumların belirlenmesi hedeflendiği için konusu itibarıyla Tesis Yer Seçimi Problemleri kapsamına girmektedir. En az sayıda yer veri terminali kullanılarak bütün talep noktalarının kapsanması hedefiyle küme kapsama modeli kullanılmıştır. Araştırma Yöntemine ilişkin adımlar Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1: Araştırma Yöntemi.

Modelin oluşturulabilmesi için öncelikle çalışma alanının belirlenmesi amaçlanmış ve geçmiş yıllarda gerçekleşen orman yangını verileri kullanarak veri seti oluşturulmuştur. Veri seti oluşturulurken 2018-2022 yılları arasında orman yangınlarından zarar gören ormanlık alan miktarlarının toplamı şehir bazında belirlenmiş ve daha sonra elde edilen veriler ABC analizi yöntemi kullanılarak gruplandırılmıştır.

ABC analizi malzemelerin nispi önem derecelerine göre sınıflandırılması metodudur. Önem düzeyi düşük ve yüksek olan malzemeleri birbirinden ayırma yöntemi olarak da tanımlanabilmektedir. (Gupta ve diğ., 2010). Böylece malzemeler kendi aralarında sınıflandırılabilir ve önem derecesi yüksek olanlar diğerlerinden ayrılarak daha yakından incelenmesi sağlanabilmektedir. ABC analizinde malzemeler A grubu, B grubu ve C grubu olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

- A grubu malzemeler, önem derecesi çok yüksek malzemeler olup toplam stok değerinin %75-80'ini oluşturmakta ve sıkı kontrol gerektirmektedir.
- B Sınıfı malzemeler, orta derecede önemli olup, toplam stok değerinde ise % 15-20'ini oluşturmakta ve bu malzemelerin orta düzeyde kontrole tabi tutulması gerekmektedir.
- C Sınıfı malzemeler ise önem derecesi ve kontrol seviyesi düşük, toplam stok değerinin %5-10'unu oluşturan malzemelerdir.

ABC analizi yönteminin veri setinin sınıflandırılmasında kullanılmasının amacı, önem derecesi ve kontrol seviyesi düşük şehirlerin kapsamından çıkarılarak önem derecesi orta ve yüksek düzeyde olan şehirlerin belirlenmesini ve çalışma alanının bu kapsamda oluşturulmasını sağlamaktır.

Çalışma alanını oluşturan şehirlerin belirlenmesinin ardından talep noktaları kümesi oluşturulmuş ve aday noktaları kümesi de çeşitli kriterler doğrultusunda oluşturularak modele dahil edilmiştir. Aday noktaları oluşturulduktan sonra her birine kurulumu yapılacak yer veri terminallerinin kapsama alanının belirlenmesi amacıyla Global Mapper programı vasıtasıyla görüş analizleri gerçekleştirilmiş ve her bir yer veri terminalinin kapsama alanı içerisinde kalan talep noktaları tespit edilerek 0-1 Küme Kapsama Matrisi oluşturulmuş ve modele dahil edilmiştir. Küme kapsama problemi 0-1 Tamsayı Programlama modeli kurularak çözülmüştür.

Verilerin oluşturulması, ABC Analizi, aday ve talep noktalarının belirlenmesi ile görüş analizinin gerçekleştirilmesine çalışmalarına ve matematiksel modelin kurulmasına aşağıda detaylı olarak yer verilmektedir.

6.3 Verilerin Oluşturulması

Çalışma alanı, Türkiye’de orman yangınları görülme riski yüksek alanlar belirlenerek oluşturulmuştur. Bölgenin şehir bazında belirlenebilmesi için Orman Genel Müdürlüğü tarafından her yıl yayınlanan orman yangını istatistiklerinden faydalanılmış ve 2018-2022 yılları arasında tüm şehirler için kayıt altına alınan ve Ek-1’de verilen orman yangınlarında hektar cinsinden zarar gören alanların verileri kullanılmıştır. 2018-2022 yılları istatistiklerinin kullanılmasının sebebi paylaşılan en güncel verinin 2022 yılına ait olmasıdır. Daha sonra yanan alan miktarlarının şehir bazında beş yıl için toplam değerleri alınmış ve miktara göre büyükten küçüğe sıralanmıştır.

6.3.1 ABC Analizinin Uygulanması

Miktara göre büyükten küçüğe sıralanan veriler üzerinde ABC analizi yöntemi kullanılarak gruplandırma yapılmıştır. ABC analizi yapılırken aşağıdaki adımlar sırayla uygulanmıştır:

- Verilerin hazırlanması
- Verilerin sıralanması
- Kümülatif toplamın hesaplanması
- Kümülatif yüzdenin hesaplanması
- Verilerin kategorize edilmesi

ABC analizinin uygulanması sonucunda toplam değerin yüzde 80'lik kısmını oluşturan ve A kategoride yer alarak sıkı kontrol gerektiren şehirler ile B kategoride yer alarak toplam değerin yüzde 15'ini oluşturan ve orta düzeyde kontrol edilmesi gereken şehirler tespit edilerek bu şehirlerin tamamı ile çalışma bölgesi oluşturmuştur.

C kategoride yer alan ve toplam değerin yüzde 5'lik kısmını oluşturarak C grubunda yer alan şehirler ise çalışma kapsamından çıkarılmıştır.

Analiz sonucunda A kategori ve B kategoride yer alan şehirlere Tablo 6.1'de yer verilmektedir. Analiz sonucuna göre gruplandırılan tüm şehirlerden oluşan tablo ise Ek 2'de yer almaktadır. Belirlenen çalışma alanının net bir şekilde izlenmesi amacıyla Şekil 6.2'de yer alan harita oluşturulmuştur.

Tablo 6.1: 2018-2022 Yılları Yangından Hasar Gören Alan İstatistiklerinin ABC Analizine Göre Gruplandırılması.

İller	Toplam Hektar	Kümülatif Toplam	Kümülatif Yüzde	Kategori
Antalya	61789,05	61789,05	32,478%	A
Muğla	57694,48	119483,53	62,804%	A
Mersin	12719,24	132202,77	69,489%	A
İzmir	8879,61	141082,38	74,157%	A
Adana	7741,09	148823,47	78,226%	A
Hatay	6814,85	155638,32	81,808%	B
Osmaniye	3938,24	159576,56	83,878%	B
Manisa	2665,15	162241,71	85,279%	B
Tunceli	2535,506	164777,216	86,611%	B
Aydın	2307,84	167085,056	87,824%	B
Çanakkale	1940,8	169025,856	88,844%	B
Kastamonu	1870,71	170896,566	89,828%	B
Denizli	1704,57	172601,136	90,724%	B
Isparta	1519,61	174120,746	91,522%	B
Diyarbakır	1181,04	175301,786	92,143%	B
Kahramanmaraş	1065,79	176367,576	92,703%	B
Siirt	810,74	177178,316	93,130%	B
Ankara	802,78	177981,096	93,552%	B
Burdur	692,01	178673,106	93,915%	B
Mardin	632,75	179305,856	94,248%	B
Trabzon	619,08	179924,936	94,573%	B
Bursa	615,1	180540,036	94,897%	B



Şekil 6.2: Çalışma Alanını Oluşturan Şehirler.

ABC analizi sonucunda A kategoride yer alan şehirler haritada kırmızı renk ile, B kategoride yer alan şehirler ise turuncu renk ile gösterilmekte ve bu şehirlerin tamamı çalışma alanını oluşturmaktadır. Siyah renk ile gösterilen kısım ise, yangın risk oranı düşük olan ve sürekli olarak kontrol gerektirmediği için çalışma alanı dışında kalan bölgeyi göstermektedir.

Çalışma alanı belirlendikten sonra küme kapsama modelinin oluşturulabilmesi için aday noktalarının ve talep noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Aday tesis konumlarının ve kapsanacak talep noktalarının oluşturulmasına ilişkin detaylı bilgiye aşağıda yer verilmiştir.

6.4 Aday Noktalarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında aday noktaları, yer veri terminallerinin kurulması için en uygun konumların belirlenmesi amacıyla oluşturulmuş aday ver veri terminali konumlarından oluşmaktadır.

Aday noktaları yani yer veri terminallerinin kurulacağı olası konumlar belirlenirken,

- Bakım onarım faaliyetleri için ulaşım kolaylığının bulunması,
- Mevcut altyapının bulunması ve dolayısıyla maliyet etkin olması,
- Karayolu şebekesiyle bağlantılı olması,
- İHA konuşlanması için ileride ana üs olarak kullanılmaya uygun olması,
- İstasyon konuşlanması için coğrafi açıdan gerekli bir alana sahip olması,

• Emniyet açısından ilave tedbirlere ihtiyaç duyulmayacak bir bölgede olması gibi sebepler göz önünde bulundurularak halihazırda aktif olarak kullanılan havalimanlarına kurulum yapılması ve aday noktalarının bu doğrultuda oluşturulmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Çalışma alanında bulunan iller ve bu illere komşu iller dikkate alınarak belirlenen havalimanlarından bazıları birbirine çok yakın olması sebebiyle elenmiş ve toplamda 32 adet havalimanı aday noktası olarak seçilmiştir. Böylece, Türkiye’de bulunan havalimanları aralarında kısa mesafe olan ve çalışma bölgesine uzak konumda bulunanlar probleme dahil edilmemiş ve alternatif kümesinin şişmesi engellenmiştir. Söz konusu 32 adet aday noktası ve koordinatları Tablo 6.2’de yer almaktadır.

Tablo 6.2: Aday Noktaları ve Koordinatları.

No	Şehir	Havaalanı	Koordinat
1	Adana	Şakirpaşa Havalimanı	36°58'56"K 35°16'49"D
2	Ankara	Ankara Esenboğa Havalimanı	40°07'41"K 32°59'42"D
3	Antalya	Antalya Havalimanı	36°54'01"K 30°47'34"D
4	Balıkesir	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı	39°33'09"K 27°00'37"D
5	Bursa	Bursa Yenişehir Havalimanı	40°15'21"K 29°33'43"D
6	Çanakkale	Çanakkale Havalimanı	40°08'15"K 26°25'51"D
7	Denizli	Denizli Çardak Havalimanı	37°47'16"K 29°42'18"D
8	Diyarbakır	Diyarbakır Havalimanı	37°54'04"K 40°11'09"D
9	Elazığ	Elazığ Havalimanı	38°35'51"K 39°16'53"D
10	Gaziantep	Gaziantep Havalimanı	36°56'52"K 37°28'44"D
11	Hatay	Hatay Havalimanı	36°22'20"K 36°17'55"D
12	Isparta	Isparta Süleyman Demirel Havalimanı	37°51'21"K 30°22'01"D
13	İzmir	Adnan Menderes Havalimanı	38°17'21"K 27°09'18"D
14	Kayseri	Erkilet Havalimanı	38°46'13"K 35°29'43"D
15	Konya	Konya Havalimanı	37°58'50"K 32°33'45"D
16	Kütahya	Zafer Havalimanı	39°06'41"K 30°07'48"D
17	Malatya	Malatya Havalimanı	38°25'56"K 38°04'59"D
18	Muğla	Dalaman Havalimanı	36°42'45"K 28°47'29"D
19	Muğla	Milas-Bodrum Havalimanı	37°14'58"K 27°39'53"D
20	Sinop	Sinop Havalimanı	42°00'57"K 35°03'59"D
21	Şanlıurfa	Şanlıurfa GAP Havalimanı	37°27'24"K 38°54'30"D
22	Trabzon	Trabzon Havalimanı	40°59'45"K 39°47'07"D
23	Van	Van Ferit Melen Havalimanı	38°28'07"K 43°19'51"D
24	Adıyaman	Adıyaman Havalimanı	37°43'56"K 38°28'09"D
25	Bingöl	Bingöl Havalimanı	38°51'40"K 40°35'33"D
26	Erzincan	Erzincan Yıldırım Akbulut Havalimanı	39°42'47"K 39°31'14"D
27	Kahramanmaraş	Kahramanmaraş Havalimanı	37°32'18"K 36°57'07"D
28	Kastamonu	Kastamonu Havalimanı	41°19'01"K 33°47'46"D
29	Mardin	Mardin Prof. Dr. Aziz Sancar Havalimanı	37°13'58"K 40°38'26"D
30	Siirt	Siirt Havalimanı	37°58'41"K 41°50'21"D
31	Batman	Batman Havalimanı	37°55'56"K 41°06'59"D
32	Sivas	Sivas Nuri Demirağ Havalimanı	39°48'51"K 36°54'09"D

Aday noktalarının Google Maps programı kullanılarak harita üzerinde gösterimi Şekil 6.3’de verilmiştir.



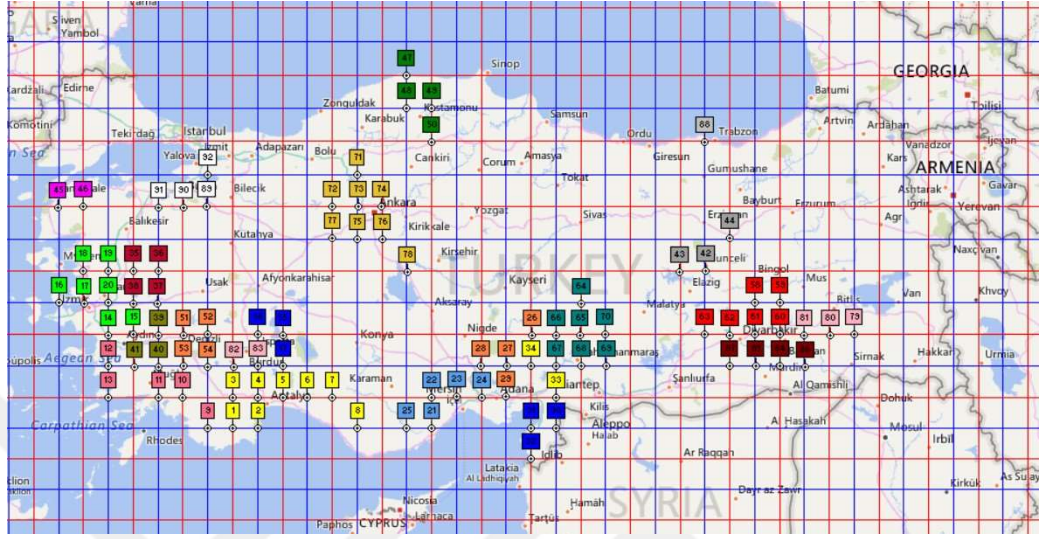
Şekil 6.3: Aday Noktalarının Harita Üzerinde Gösterimi.

Haritada gösterilen aday noktaları yer veri terminalerin konuşlandırılacağı aday havalimanlarını göstermektedir. Çalışmanın devamında, her bir aday noktaya yerleştirilecek yer veri terminali için kapsama alanı tek tek oluşturulacak ve kapsadığı talep noktaları ile eşleştirilecektir.

6.5 Talep noktalarının Belirlenmesi

Bölüm 6.3.1’de gerçekleştirilen çalışma neticesinde Antalya, Muğla, İzmir, Mersin, Adana, Hatay, Osmaniye, Manisa Aydın, Tunceli, Çanakkale, Kastamonu, Denizli, Isparta Diyarbakır, Kahraman Maraş, Ankara, Siirt, Mardin, Trabzon ve Bursa yanan alan miktarı en yüksek olan şehirler olarak belirlenmiştir. İnsansız hava araçlarının çalışmalarını bu bölge üzerinde gerçekleştirmesi amaçlandığı için talep noktalarının da bu şehirlerin sınırları içerisinde olması beklenmektedir. Talep noktalarının belirli aralıklarda, bir düzen çerçevesinde ve çalışma alanındaki şehirlerin yeterince kapsanmasını sağlayacak şekilde oluşturulması için Türkiye haritası, Oziexplorer programı kullanılarak 30 dakikalık ızgaralara bölünmüş (1/100.000’lik paftalar) ve bu ızgaraların kesişim noktaları referans alınarak toplamda 92 adet talep noktası belirlenmiştir.

Izgara kesişim noktaları referans alınarak seçilen talep noktalarının harita üzerinde gösterimi Şekil 6.4'te yer almaktadır.



Şekil 6.4: Izgara üzerinde Talep Noktalarının Gösterimi.

Haritada işaretlenen talep noktaları sınırları içerisinde buldukları şehirlere göre renklendirilmiştir. Örneğin sarı renk verilen 1,2,3,4,5,6,7 ve 8 numaralı noktalar Antalya il sınırları içerisinde yer alan talep noktaları, kırmızı renk verilen 59, 60, 61,62, ve 63 numaralı noktalar Diyarbakır il sınırları içerisinde kalan talep noktalarıdır. Buna göre 22 adet şehirden oluşan çalışma bölgesi içerisinde yer alan toplamda 92 adet talep noktası belirlenmiştir. Bu noktaların tamamı ve sınırları içerisinde kaldıkları şehirler Tablo 6.3'te yer almaktadır.

Tablo 6.3: Talep Noktaları Sınırları İçerisinde Bulunduğu Şehirler.

Numara	Koordinat	Şehir	Numara	Koordinat	Şehir
1	36°29'53.7"N 30°00'04.9"E	Antalya	47	41°59'52.1"N 33°30'06.7"E	Kastamonu
2	36°29'53.7"N 30°30'04.4"E		48	41°30'06.9"N 33°29'56.9"E	
3	37°00'03.2"N 30°00'14.8"E		49	41°30'01.0"N 34°00'16.2"E	
4	37°00'03.2"N 30°29'54.5"E		50	40°59'47.0"N 33°59'56.4"E	
5	37°00'11.1"N 31°00'04.0"E		51	37°59'33.4"N 29°00'00.8"E	Denizli
6	36°59'50.6"N 31°30'03.5"E		52	38°00'35.8"N 29°29'01.0"E	
7	37°00'19.0"N 32°00'13.0"E		53	37°30'22.2"N 29°00'00.8"E	
8	36°30'08.0"N 32°29'52.8"E		54	37°29'19.4"N 29°29'01.0"E	
9	36°30'00.1"N 29°29'45.5"E	Muğla	55	37°59'33.4"N 30°59'59.0"E	Isparta
10	36°59'50.6"N 28°59'55.9"E		56	38°00'04.6"N 30°30'19.3"E	
11	36°59'58.4"N 28°29'56.3"E		57	37°29'50.8"N 30°59'59.0"E	
12	37°29'59.3"N 27°29'57.2"E		58	38°30'15.3"N 40°30'10.5"E	Diyarbakır
13	37°00'00.0"N 27°29'57.2"E	59	38°30'15.3"N 40°59'50.3"E		
14	37°59'54.3"N 27°30'02.2"E	60	38°00'45.1"N 41°00'29.8"E		
15	37°59'59.8"N 28°00'01.7"E	61	38°00'14.0"N 40°29'31.0"E		
16	38°30'02.0"N 26°30'08.0"E	İzmir	62	37°59'42.8"N 39°59'11.6"E	Kahraman Maraş
17	38°29'51.2"N 27°00'07.5"E		63	38°00'14.0"N 39°29'31.8"E	
18	39°00'03.4"N 26°59'57.6"E		64	38°29'50.6"N 36°59'53.8"E	
19	38°59'56.5"N 27°30'02.2"E		65	37°59'49.0"N 36°59'14.2"E	
20	38°30'02.8"N 27°29'52.3"E	Mersin	66	37°59'49.0"N 36°30'14.0"E	
21	36°30'29.5"N 33°59'41.6"E		67	37°30'06.5"N 36°29'34.4"E	
22	37°00'04.0"N 33°59'41.6"E		68	37°30'37.9"N 36°59'53.8"E	
23	37°00'35.6"N 34°30'00.9"E		69	37°30'37.9"N 37°30'13.1"E	
24	36°59'32.5"N 35°00'20.3"E	Adana	70	38°00'20.2"N 37°29'33.5"E	Ankara
25	36°29'57.7"N 33°29'22.3"E		71	40°29'22.2"N 32°29'38.0"E	
26	37°59'16.2"N 36°00'58.9"E		72	40°00'11.3"N 31°59'58.2"E	
27	37°30'36.2"N 35°30'39.6"E		73	40°00'41.6"N 32°30'57.1"E	
28	37°30'04.8"N 34°59'40.7"E	Hatay	74	40°00'11.3"N 32°59'17.8"E	
29	37°00'41.9"N 35°29'20.5"E		75	39°30'05.2"N 32°30'17.5"E	
30	36°29'54.5"N 36°29'59.2"E		76	39°30'05.2"N 32°59'57.3"E	
31	36°29'56.2"N 35°59'54.7"E		77	39°30'35.6"N 31°59'18.6"E	
32	36°00'06.8"N 36°00'04.6"E	Osmaniye	78	38°59'21.2"N 33°30'16.6"E	Siirt
33	37°00'01.7"N 36°29'59.2"E		79	38°00'17.1"N 42°30'08.7"E	
34	37°29'57.0"N 36°00'04.6"E	80	37°59'45.9"N 42°00'28.9"E		
35	39°00'13.4"N 28°00'11.6"E	Manisa	81	37°59'45.9"N 41°29'49.8"E	
36	39°00'44.2"N 28°30'30.9"E		82	37°29'10.0"N 30°00'39.5"E	
37	38°29'53.6"N 28°29'11.8"E		83	37°30'44.2"N 30°29'39.7"E	
38	38°29'22.7"N 28°00'11.6"E		84	37°30'34.7"N 40°59'50.3"E	
39	37°59'58.3"N 28°29'51.4"E	Aydın	85	37°30'03.4"N 40°30'50.0"E	Mardin
40	37°29'44.5"N 28°29'51.4"E		86	37°29'32.0"N 41°30'09.6"E	
41	37°29'44.5"N 28°00'51.1"E		87	37°30'03.4"N 39°59'51.1"E	
42	39°00'01.1"N 39°30'21.2"E	Tunceli	88	40°59'23.2"N 39°30'11.3"E	Trabzon
43	38°59'30.4"N 38°59'22.4"E		89	40°00'20.4"N 29°28'21.5"E	Bursa
44	39°30'38.6"N 40°00'01.0"E		90	39°59'19.8"N 29°00'00.8"E	
45	39°59'50.0"N 26°29'13.6"E	Çanakkale	91	39°59'19.8"N 28°30'21.0"E	
46	40°00'20.3"N 26°59'32.9"E		92	40°30'01.3"N 29°29'40.6"E	

Aday noktalarında olduğu gibi talep noktaları koordinatlarının da Google Maps programı kullanılarak harita üzerinde gösterimi Şekil 6.5’te verilmiştir.



Şekil 6.5: Talep Noktaları Koordinatlarının Harita Üzerinde Gösterimi.

6.6 Aday Noktalara kurulan Yer Veri terminallerinin Kapsama Alanlarının Belirlenmesi

Aday havalimanlarına konuşlandırılacak yer veri terminallerinin kapsama alanının oluşturulabilmesi için öncelikle birtakım kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir.

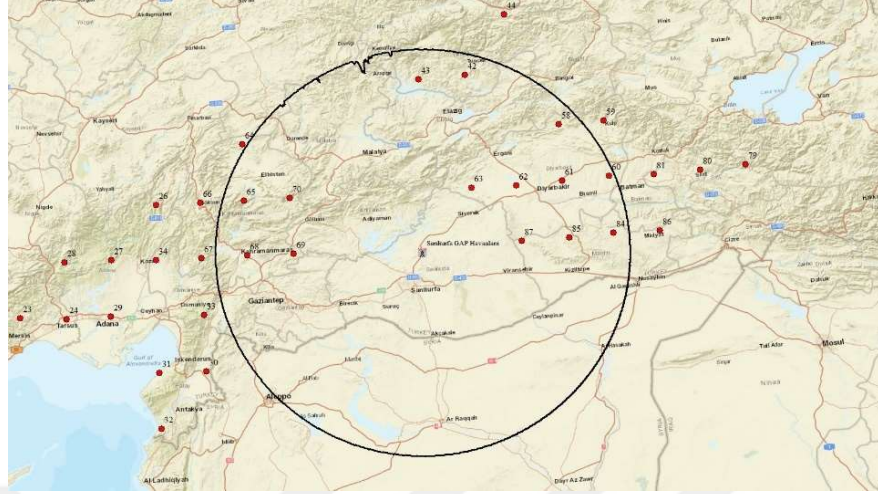
- Orman yangınlarıyla mücadelede kapsamında keşif gözetleme faaliyetlerini gerçekleştirmek üzere hem görüş hattında hem de görüş hattı ötesinde haberleşme kabiliyeti, 50 saat havada kalış süresi, yüksek faydalı yük kapasitesi, 250+ km link menzili gibi özellikleri ile AKSUNGUR insansız hava aracının kullanılacağı varsayılmıştır.
- Yangın tespitinde kullanılacak insansız hava araçları ile gündüz ve gece olası bir yangın durumunda erken tespit ve teşhisin sağlanabilmesi amacıyla elektro-optik ve kızılötesi görüş özelliğine sahip kamera faydalı yükü taşıması gerekmektedir.
- Bahse konu kamera faydalı yükünün görev menzili, tespit, teşhis ve tanımlama yapabileceği en efektif görev irtifası ile daha yüksek irtifalardaki sivil hava trafiği ve İHA’ların yüksek irtifadaki performansı dikkate alındığında İHA’nın 20.000 feet irtifada görev yapacağı esas alınmıştır.

- Türkiye'nin engebeli arazi yapısı göz önünde bulundurulduğunda, aday noktalarına konuşlandırılması planlanan yer veri terminalleri için etkin haberleşme menzili 200 km olup, söz konusu haberleşme mesafesi tüm yer veri terminalleri için özdeş olarak belirlenmiştir.
- Yer veri terminallerinin kurulacağı kulelerin yüksekliği belirlenirken, arazi koşullarından dolayı araya girebilecek engellerin dikkate alınması önem arz etmektedir. Ancak kule maliyetlerinin fazla olması ve kulelerin konuşlandırılacağı havalimanlarında var olan mania kriterleri sebebiyle kule boylarının çıkabileceği yükseklik sınırlanmaktadır. Bu sebeple, İHA'nın haberleşmede kopma olmadan görev yapabilmesi için yer veri terminalinin yerleştirileceği kule yüksekliğinde gerçek kullanım koşulları da dikkate alınarak tüm aday noktalar için özdeş ve 8 metre olacak şekilde optimum değer belirlenmiştir.

Tüm bu kriterler göz önünde bulundurularak, 20.000 feet irtifa, 200 km menzil ve 8 m kule yüksekliği için görüş analizleri Global Mapper adlı program ile oluşturulmuştur.

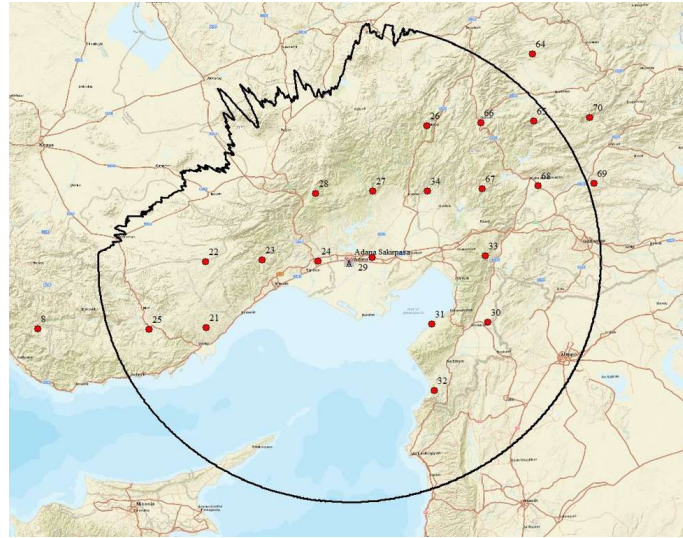
Bölüm 3.5.9.1'de detaylı olarak anlatıldığı üzere, görüş hattı veri haberleşmesi bir noktadan diğer noktaya yüksek veri hızında haberleşme sağlayan link sistemleri aracılığıyla sağlanmakta olup link bağlantısının kurulabilmesi için arada bir engel bulunmaması gerekmektedir. Kapsama alanı belirlenirken, görüş analizleri yapılmakta ve yeryüzünde bulunan coğrafi engeller dikkate alınmaktadır. Arazi koşullarından dolayı veri haberleşmesine engel oluşturabilecek bir yeryüzü oluşumunun bulunması, yer veri terminali kapsama alanının tam bir daire oluşturmasını engellemektedir. Analiz sonucunda oluşan kapsama alanı, hava aracı ile yer sistemlerimin link kaybı olmadan sağlıklı bir şekilde haberleşebileceği ve İHA'nın görev yapabileceği alanı göstermektedir.

Örnek olarak Şanlıurfa GAP Havalimanı, Adana Şakirpaşa Havalimanı, Milas Bodrum Havalimanı ve Siirt Havalimanına yerleştirilecek yer veri terminalleri için gerçekleştirilen görüş analizleri sonuçları Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'de verilmiştir.



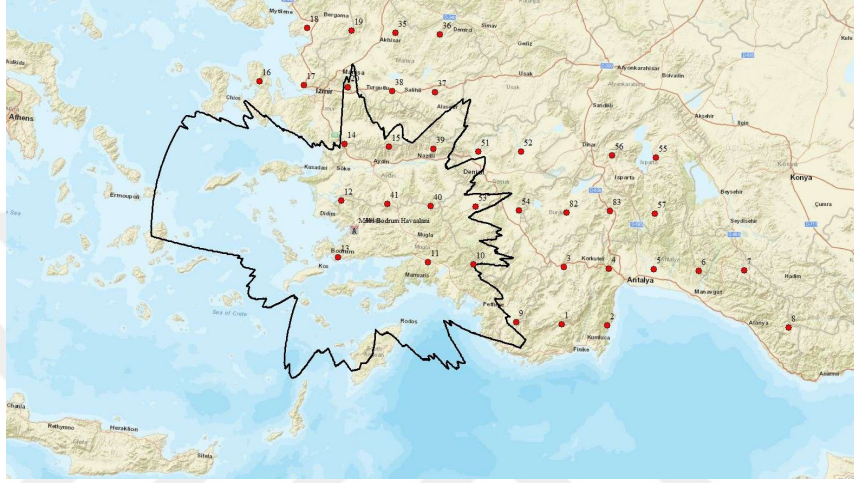
Şekil 6.6: Şanlıurfa GAP Havalimanı Kapsama Alanı.

Şanlıurfa GAP Havalimanı örneğinde görüldüğü üzere, bölgede görüş mesafesinin azalmasına neden olacak büyük bir coğrafi engelin bulunmaması sebebiyle kapsama alanı oldukça büyüktür. Gösterilen sınırlar içerisinde kalmak koşuluyla yer veri terminali ve uçak üzerinde bulunan hava veri terminali antenleri kesintisiz olarak haberleşme sağlayacak ve hava aracının kontrolü gerçekleştirilebilecektir. Bu havalimanına yerleştirilecek olan yer veri terminalinin kapsama alanı içerisinde kalan talep noktaları 42, 43, 60, 61, 62, 63, 65, 68, 69, 70, 84, 85 ve 87 numaralı noktalarlardır.

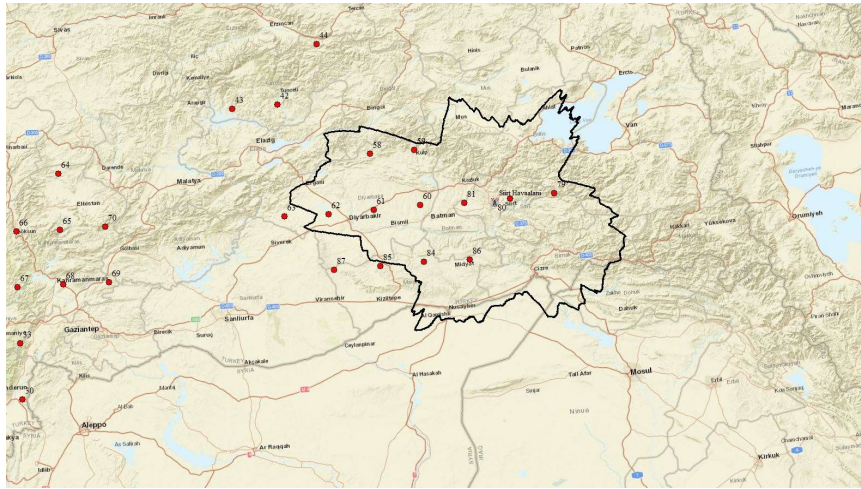


Şekil 6.7: Adana Şakirpaşa Havalimanı Kapsama Alanı.

Adana Şakirpaşa Havalimanı için oluşturulan örnek görüş analizinde ise, sol üst bölgede mania oluşturan bir engelin bulunması sebebiyle kapsama alanının azaldığı görülmektedir. İHA, belirlenen sınırların dışarısına çıktığında eğer uydu bağlantısı yoksa ve görüş hattı ötesinde kontrol gerçekleştirilemiyorsa görüş hattı veri haberleşme linklerinde kopma meydana gelecek ve görev gerçekleştirilemeyecektir.



Şekil 6.8: Milas-Bodrum Havalimanı Kapsama Alanı.



Şekil 6.9: Siirt Havalimanı Kapsama Alanı.

Milas-Bodrum Havalimanı ve Siirt Havaalanı örneklerinde ise kapsama alanının daha az olduğu ve daire formunun tamamen bozulduğu görülmektedir. Verilen 4 adet örnekte olduğu gibi toplamda 32 adet aday noktasının görüş analizleri yapılmış ve çıkan sonuçlar Ek 3'te verilmiştir. Kapsama alanlarının incelenmesi sonucu her bir aday noktasının kapsadığı talep noktaları belirlenmiş ve Tablo 6.4'de gösterilmiştir.

Tablo 6.4: Aday Noktaları ve Aday Noktalarının Kapsadığı Talep Noktaları.

No	Şehir	Havaalanı	Kapsadığı Talep Noktaları
1	Adana	Şakirpaşa Havalimanı	26, 66, 65, 28, 27, 34, 67, 68, 22, 23, 24, 29, 33, 25, 21, 31, 30,32
2	Ankara	Ankara Esenboğa Havalimanı	48, 49, 50, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78
3	Antalya	Antalya Havalimanı	55, 56, 54, 57, 82, 83, 3, 4, 5, 6, 7, 1, 2, 8
4	Balıkesir	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı	45, 46, 91,90, 18, 19, 35, 16, 17
5	Bursa	Bursa Yenişehir Havalimanı	89, 90, 91, 92
6	Çanakkale	Çanakkale Havalimanı	45, 46
7	Denizli	Denizli Çardak Havalimanı	37, 38, 14, 15, 39, 51, 52, 56, 55, 12, 41, 40, 53, 54, 82, 83, 10, 4
8	Diyarbakır	Diyarbakır Havalimanı	42, 43, 44, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 80,81, 84, 85, 86, 87
9	Elazığ	Elazığ Havalimanı	42, 43, 58, 62, 63
10	Gaziantep	Gaziantep Havalimanı	65, 70, 34, 67, 68, 69, 29,33, 30, 31, 32
11	Hatay	Hatay Havalimanı	65, 68, 69, 29, 33, 30, 31, 32
12	Isparta	Isparta Süleyman Demirel Havalimanı	52, 56, 55, 54, 82, 83, 10, 3, 4, 9,1, 53
13	İzmir	Adnan Menderes Havalimanı	46,18,19,16,17,20,38,14,15,39,12,41,40,53,13,11, 45, 37, 35
14	Kayseri	Erkilet Havalimanı	26, 66, 78
15	Konya	Konya Havalimanı	75,76,77,78,6,7,8,22,25
16	Kütahya	Zafer Havalimanı	89,90,91,92,35,36,52,55,56,54,57,82,83
17	Malatya	Malatya Havalimanı	42,43,62,63,70,69
18	Muğla	Dalaman Havalimanı	15,39,52,41,40,53,54,10,11,13,9
19	Muğla	Milas-Bodrum Havalimanı	20, 14, 15, 39, 12, 41, 40, 53, 13, 11, 10
20	Sinop	Sinop Havalimanı	47,48,49,50
21	Şanlıurfa	Şanlıurfa GAP Havalimanı	42,43,58, 65,70,63,62, 61,60,68,69, 84, 85, 87
22	Trabzon	Trabzon Havalimanı	88
23	Van	Van Ferit Melen Havalimanı	79, 80
24	Adıyaman	Adıyaman Havalimanı	42, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 33, 61, 62, 63, 85, 87, 58
25	Bingöl	Bingöl Havalimanı	42,44,58,59,60,61,62,63,87
26	Erzincan	Erzincan Yıldırım Akbulut Havalimanı	44
27	Kahramanmaraş	Kahramanmaraş Havalimanı	26,65,27,28,34,67,68,69,30,31,32,33
28	Kastamonu	Kastamonu Havalimanı	47,48,49,50,71
29	Mardin	Mardin Prof. Dr. Aziz Sancar Havalimanı	60,61,84,85,86,87,
30	Siirt	Siirt Havalimanı	58, 59, 60, 61, 62 , 79, 80, 81, 84, 86
31	Batman	Batman Havalimanı	58,59,60,61,62,63,80,81,84,85,86,87
32	Sivas	Sivas Nuri Demirağ Havalimanı	64

Aday noktaları ve talep noktaları arasında eşleşme yapıldıktan sonra küme kapsama matrisi oluşturulmuştur. 32 adet aday noktası ve 92 adet talep noktası için, j aday noktası ve i talep noktası olmak üzere; her bir talep noktası için X_j noktası X_i noktasını kapsıyorsa i 'inci satır ve j 'inci sütunu temsil eden alana 1 değeri, kapsamıyor ise 0 değeri yazılarak oluşturulan a_{ij} küme kapsama matrisin 13 aday noktası ve 28 adet talep noktasını gösteren örnek kesiti Tablo 6.5'te, matrisin tamamı ise Ek 4'te yer almaktadır.

Tablo 6.5 Küme Kapsama Matrisi.

	Adana	Ankara	Antalya	Balıkesir	Bursa	Çanakkale	Denizli	Diyarbakır	Elazığ	Gaziantep	Hatay	Isparta	İzmir
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Oluşturulan küme kapsama matrisi, optimal sonuca ulaşılabilmesi için modele dahil edilecek ve modelin çözülmesi sonucunda minimum sayıda yer veri terminali ile tam kapsamanın sağlanması amaçlanacaktır.

6.7 Problemin Varsayımları ve Sınırlılıkları

Problemin çözümü için model oluşturulurken, göz önüne alınan varsayımlar aşağıda yer almaktadır.

- Aday noktaları belirlenirken seçilen havaalanları üzerinde yaklaşık koordinatlar belirlenmiş, kullanılan verilerin gerçek durumları modelleyebileceği varsayılmıştır.
- Kule yükseklikleri her bir aday yer veri terminali için özdeş, aynı kabiliyete sahip ve 8 metre olarak kabul edilmiştir.
- Kule yüksekliklerinin özdeş olması sebebiyle yer veri terminallerinin kurulum maliyetleri bu problem için göz ardı edilmiştir.
- Aday noktalarının kapsama alanları, yer veri terminallerinin ülkemiz coğrafi koşullarında 200 km olan en etkin haberleşme menzili ve 20.000 feet sabit görev irtifası kullanılarak belirlenmiştir.
- Bir talep noktası, birden fazla aday noktası tarafından kapsanabilmektedir.
- Sonlu sayıda aday noktası bulunmaktadır.

- İnsansız hava aracının 20.000 feet irtifada olası bir yangının tespiti amacıyla görev yapmasından dolayı yangın sebebiyle ortaya çıkan ısı vb. etkenlerden etkilenmediği göz önünde bulundurulmuştur.

6.8 Matematiksel Modelin Oluşturulması

Problemde, talep noktalarının tamamının en az sayıda yer veri terminali ile kapsanması amaçlanmaktadır. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere en az sayıda yer veri terminalinin kurulum yerinin belirlenmesi minimizasyon problemi olup talep noktalarının tamamının kapsanması hedefi küme kapsama problemidir. Problem, 0-1 tam sayılı doğrusal programlama yöntemi ile modellenmiştir. Matematiksel model ile matematiksel modeli tanımlayan indis, karar değişkeni ve parametreler aşağıda yer almaktadır.

Kümeler/Parametreler

I: Talep Noktaları Kümesi

J: Aday Noktaları Kümesi

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ talep noktası } j \text{ aday noktası tarafından kaplandı ise,} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

İndisler

$i \in \{1,2,3,\dots,90,91,92\}$ Talep Noktaları

$j \in \{1,2,3,\dots,30,31,32\}$ Aday Noktaları

Karar Değişkenleri

$$X_j = \begin{cases} 1, & j. \text{ aday yere yer veri terminali kurulacaksa,} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu

$$\min = \sum_{j=1}^{32} X_j \quad (6.1)$$

Kısıtlar

$$\min = \sum_{j=1}^{32} a_{ij} X_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (6.2)$$

$$X_j = 0 \text{ ya da } 1 \quad \forall j \in J \quad (6.3)$$

Amaç fonksiyonu Eş.6.1 minimum sayıda aday noktaya yer veri terminali kurulmasını hedeflemektedir.

Eş. 6.2’de yer alan kısıtlar, her talep noktasının en az bir tane aday noktası tarafından kaplanmasını sağlamaktadır.

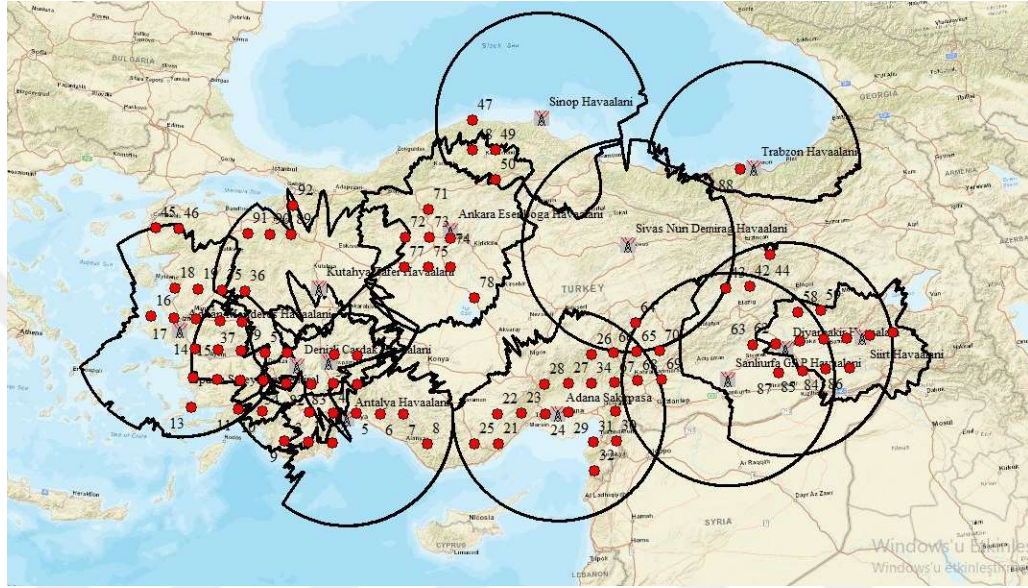
Eş. 6.3’ te bulunan kısıt her bir aday noktanın 0 ya da 1 değerini almasını sağlayan kısıttır.

6.9 Matematiksel Modelin Çözümü

Küme kapsama problemi kapsamında 0-1 tamsayı programlama modeli kurulmuş ve model GAMS 46.4.1 paket programının Cplex çözücüsü aracılığı ile çözülmüştür. GAMS kodu ve çözümü Ek 5’te yer almaktadır.

Çözüm sonucuna göre, 1 numaralı (Adana Şakirpaşa Havalimanı), 2 numaralı (Ankara Esenboğa Havalimanı), 3 numaralı (Antalya Havalimanı), 7 numaralı (Denizli Çardak Havalimanı), 8 numaralı (Diyarbakır Havalimanı), 12 numaralı (Isparta Süleyman Demirel Havalimanı), 13 numaralı (İzmir Adnan Menderes Havalimanı), 16 numaralı (Kütahya Zafer Havalimanı), 20 numaralı (Sinop Havalimanı), 21 numaralı (Şanlıurfa GAP Havalimanı), 22 numaralı (Trabzon Havalimanı), 30 numaralı (Siirt Havalimanı) ve 32 numaralı (Sivas Nuri Demirağ Havalimanı) aday noktaları olmak üzere toplamda 13 adet yer veri terminali ile tüm talep noktalarının kapsandığı görülmektedir.

Problemin çözümü sonucunda seçilen 13 adet yer veri terminalinin kapsadığı bölgeyi ve her biri tarafından kapsanan talep noktalarını harita üzerinde görebilmek amacıyla Global Mapper programı kullanılarak Şekil 6.10'da yer alan çözüm haritası oluşturulmuştur.



Şekil 6.10: Küme Kapsama Çözüm Haritası.

Harita incelendiğinde, seçilen her bir yer veri terminalinin kapsama alanı, kapsama alanı içerisindeki talep noktaları ve İHA'nın görüş hattında uçuş yapabileceği bölge tek seferde görülebilmektedir.

Kapsama alanları çoğunlukla kesişim sağlamış olup bu da İHA'nın bir bölgeden diğerine link kaybı yaşamadan sağlıklı bir şekilde geçmesine olanak sağlamaktadır.

Yer veri terminalinin kurulması için aday noktalar arasından seçilen havalimanları ve bu havalimanlarına yer veri terminallerinin yerleştirilmesi sonucunda her birinin kapsadığı talep noktaları Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6: Optimum Sonuca Göre Yer Veri Terminalleri Kurulması Gereken Havalimanları ve Kapsanan Talep Noktaları.

No	Şehir	Seçilen Aday Noktalar	Kapsadığı Talep Noktaları
1	Adana	Şakirpaşa Havalimanı	26, 66, 65, 28, 27, 34, 67, 68, 22, 23, 24, 29, 33, 25, 21, 31, 30,32
2	Ankara	Ankara Esenboğa Havalimanı	48, 49, 50, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78
3	Antalya	Antalya Havalimanı	55, 56, 54, 57, 82, 83, 3, 4, 5, 6, 7, 1, 2, 8
7	Denizli	Denizli Çardak Havalimanı	37, 38, 14, 15, 39, 51, 52, 56, 55, 12, 41, 40, 53, 54, 82, 83, 10, 4
8	Diyarbakır	Diyarbakır Havalimanı	42, 43, 44, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 80,81, 84, 85, 86, 87
12	Isparta	Isparta Süleyman Demirel Havalimanı	52, 56, 55, 54, 82, 83, 10, 3, 4, 9,1, 53
13	İzmir	Adnan Menderes Havalimanı	46,18,19,16,17,20,38,14,15,39,12,41,40,53,13,11, 45, 37, 35
16	Kütahya	Zafer Havalimanı	89,90,91,92,35,36,52,55,56,54,57,82,83
20	Sinop	Sinop Havalimanı	47,48,49,50
21	Şanlıurfa	Şanlıurfa GAP Havalimanı	42,43,58, 65,70,63,62, 61,60,68,69, 84, 85, 87
22	Trabzon	Trabzon Havalimanı	88
30	Siirt	Siirt Havalimanı	58, 59, 60, 61, 62 , 79, 80, 81, 84, 86
32	Sivas	Sivas Nuri Demirağ Havalimanı	64

Buna göre, bütün talep noktaları 1,2,3,7,8,12,12,16,20,21,22,20,32 numaralı havaalanlarına yerleştirilen yer veri terminallerinden en az bir tanesi tarafından kapsanabilmektedir.

Aynı zamanda, bazı talep noktalarının birden fazla yer veri terminalinin kapsama alanına girdiği görülmektedir. Birden fazla yer veri terminali tarafından kapsanan talep noktaları ve kapsayan yer veri terminalleri Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7: Birden Fazla YVT Tarafından Kapsanan Talep Noktaları.

Talep Noktası	Talep Noktasını Kapsayan YVT	Talep Noktası	Talep Noktasını Kapsayan YVT
1	3 ve 12	54	3,7,12 ve 16
3	3 ve 12	55	3,7,12 ve 16
4	3,7 ve 12	56	3,7,12 ve 16
10	7 ve 12	57	3 ve 16
14	7 ve 13	58	8,21 ve 30
12	7 ve 13	59	8 ve 30
15	8 ve 13	60	8,21 ve 30
35	13 ve 16	61	8,21 ve 30
37	7 ve 13	62	8,21 ve 30
38	7 ve 13	63	8 ve 21
39	7 ve 13	65	1 ve 21
40	7 ve 13	66	1 ve 21
41	7 ve 13	80	8 ve 30
42	8 ve 21	81	8 ve 30
43	8 ve 21	82	3,7,12 ve 16
48	2 ve 20	83	3,7,12 ve 16
49	2 ve 20	84	8,21 ve 30
50	2 ve 20	85	8 ve 21
52	7,12 ve 16	86	8 ve 30
53	7,12 ve 13	87	8 ve 21

Tablodan anlaşıldığı üzere, toplamda 92 adet talep noktasından 27 tanesi 2 adet yer veri terminali tarafından, 8 tanesi 3 adet yer veri terminali tarafından ve 5 tanesi 4 adet yer veri terminali tarafından kapsanmaktadır. Bu durum yer veri terminallerinin kapsama alanları arasında kesişimin sağlanması ve link kaybı yaşanma ihtimalinin minimum düzeye indirilerek görüş hattında görevin gerçekleştirilebilmesini mümkün kıldığından olumlu bir sonuç sağlamaktadır.

Şekil 6.10, Tablo 6.6 ve Tablo 6.7 beraber incelendiğinde 12 numaralı Isparta Süleyman Demirel Havalimanı'nın yalnızca 9 numaralı talep noktası, 20 numaralı Sinop Havalimanı'nın yalnızca 47 numaralı talep noktası ve 30 numaralı Siirt Havalimanı'nın da yalnızca 79 numaralı talep noktası için açıldığı görülmektedir. Çünkü, bu havalimanlarına kurulacak yer veri terminallerinin kapsama alanları içerisinde kalan diğer talep noktaları başka yer veri terminaleri tarafından da kapsanmaktadır. Benzer şekilde, 22 numaralı Trabzon havalimanı yalnızca 88 numaralı talep noktasına, 8 numaralı Diyarbakır Havalimanı yalnızca 44 numaralı talep noktasına ve 32 numaralı Sivas Nuri Demirağ Havalimanı da yalnızca 64 numaralı talep noktasına hizmet etmektedir.

Bu durum ve kapsanan bölgeler göz önünde bulundurularak, karar vericiler tarafından gerçek kullanım ve operasyon koşullarında talep noktaları ve açılacak aday yer veri terminaleri arasında tekrar değerlendirme yapılabileceği düşünülmektedir.

7. SONUÇ

İklimi ve coğrafi konumu itibarıyla orman yangınlarına hassas bir bölgede yer alan ülkemizde özellikle son yıllarda meydana gelen büyük çaplı yangınlar çok fazla ormanlık alanın ve canlının zarar görmesine, ekonomik, fiziksel ve çevresel yıkımlara sebep olmuştur. Afetle mücadele ve afet sonrası sürecin uzun, zorlu ve travmatik olması sebebiyle yangın öncesi süreçte orman yangınlarıyla önlenebilir bir felaket olarak mücadele etmek önemlidir.

Yangın riski yüksek bölgelerin insansız hava araçları ile izlenmesi azami ölçüde verim almayı sağlayan en etkili yöntemlerden birisidir. Orman yangınlarında sonuç odaklı ve katma değeri yüksek bir teknoloji olarak kullanılan İHA'ların etkinliğinin artması için İHA sistemlerinin uygun bölgelere yerleştirilmesi önemlidir.

Tez çalışması, özellikle son yıllarda orman yangınlarında kullanımı büyük önem taşıyan insansız hava araçlarının kesintisiz görev yapabilmesi için yer veri terminallerinin konumlarının belirlenmesi ve kapsama alanının oluşturulması problemi üzerine gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle literatür araştırması yapılmış olup daha önce ele alınmamış bir problem üzerine yoğunlaşmak amaçlanmıştır. Literatürde orman yangınları ve tesis yer seçimi problemleri kapsamında çok sayıda çalışma yapılsa da bu iki konunun birlikte incelendiği çok çeşitli çalışmanın yapılmadığı, genellikle itfaiye istasyonlarının yer seçimi problemleri kapsamında iki konunun beraber ele alındığı görülmüştür. Aynı zamanda insansız hava araçlarının orman yangınlarında kullanılmasına yönelik çalışmaların genellikle rotalama problemleri kapsamında gerçekleştirildiği, İHA yer seçimi problemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda ise genellikle İHA üs konumu belirleme ve komuta kontrol istasyonu konumu belirleme başlıklarına yönelim olduğu tespit edilmiştir. Yer veri terminali konumlarının ve kapsama alanlarının belirlenmesi ile aday YVT'lerin görüş analizlerinin gerçekleştirilerek modele dahil edilmesine yönelik yapılan çalışma sayısının çok az

olması ve bu çalışmaların da orman yangınlarını ele alan bir yaklaşım sergilememesi sebebiyle, gerçekleştirilen bu tez çalışmasının literatürde özgün bir yere sahip olacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, insansız hava araçlarının orman yangınlarıyla mücadele kapsamında kesintisiz görev yapabilmesi için İHA sisteminin bileşenlerinden birisi olan veri haberleşme sistemlerinin yer birimi yer veri terminallerinin en uygun bölgeye yerleştirilmesi ve konumlarının belirlenmesi problemi ele alınmıştır.

Tesis yer seçimi problemleri kapsamında gerçekleştirilen çalışmada en az sayıda yer veri terminali ile bütün bölgenin kapsanması amaçlandığı için küme kapsama problemi ele alınmıştır. Çözüm için öncelikle aday noktaları ve talep noktaları belirlenmiştir. Orman yangınlarıyla mücadele üzerine çalışıldığı için talep noktaları belirlenirken Orman Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı 2018- 2022 yılları verileri kullanılmıştır. Türkiye'de bulunan bütün şehirler için hektar cinsinden yangından zarar gören alan miktarı verileri ele alınmış ve öncelikle beş yıl için toplam değerler elde edilmiştir. Elde edilen toplam değerler ABC analizi ile gruplandırılarak A kategoride ve B kategoride yer alan şehirler ile çalışma alanı oluşturulmuştur. Daha sonra çalışma alanındaki her şehrin sınırları içerisinde belirli aralıklarla talep noktaları seçilmiş ve probleme dahil edilmiştir. Böylece, talep noktaları, geçmiş veriler kullanılarak ve orman yangını görülme riski yüksek bölgeler dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Aday noktaları ise; daha önce literatürde gerçekleştirilen çalışmalar da göz önünde bulundurularak, ulaşım kolaylığı, mevcut altyapının bulunması ve bu sebeple maliyet etkin olması, karayolu şebekesiyle bağlantılı olması, kurulum için gerekli alana sahip olması, emniyet açısından ilave tedbirlere ihtiyaç duyulmaması gibi özellikler göz önünde bulundurularak halihazırda aktif olarak kullanılan havalimanları arasından seçilmiştir. Seçim yapılırken çalışma bölgesine yakınlık, aynı bölgede birden fazla havalimanının bulunması gibi hususlar göz önüne alınarak çalışma bölgesi içerisinde yer alan iller ve bunlara komşu iller arasından aday noktalar oluşturulmuştur.

Model oluşturulmadan önce, yer veri terminallerinin yerleştirilmesi planlanan aday noktaların koordinatları belirlenmiş ve bu noktalara olası bir kurulumun gerçekleştirilmesi durumunda kapsama alanının incelenmesi amacıyla Global Mapper programı kullanılarak görüş analizleri gerçekleştirilmiştir. Bütün noktaların görüş analizleri tek tek incelendikten sonra her bir kapsama alanı içerisinde dahil olan talep

noktaları belirlenerek 0-1 değerlerinden oluşan küme kapsama matrisi oluşturulmuş ve modele dahil edilmiştir. Görüş analizinin model kurulmadan önce yapılmasının amacı, arazi şartları nedeniyle oluşan coğrafi kısıtların kapsama alanına etkisinin tespit edilmesi ve gerçekçi verilerin modele dahil edilmesidir.

Küme Kapsama Problemi kapsamında oluşturulan 0-1 Tamsayılı Programlama Modeli GAMS 46.4.1 programlama yazılımı ile kodlanmış ve Cyplex çözücüsü ile çözülmüştür. Aday noktaları arasından seçilen 13 adet yer veri terminali ile bütün talep noktalarının kapsanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çözüm sonrasında Adana Şakirpaşa, Ankara Esenboğa, Antalya, Denizli Çardak, Diyarbakır, Isparta Süleyman Demirel, İzmir Adnan Menderes, Kütahya Zafer, Sinop, Şanlıurfa GAP, Trabzon, Siirt ve Sivas Nuri Demirağ Havalimanlarına yer veri terminali kurulmasının yapılması durumunda İHA'ların kapsama alanı içerisinde görüş hattında kesintisiz görev yapabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Seçilen 13 adet yer veri terminali için kapsama alanı çözüm haritası oluşturulmuştur. Kapsama alanlarının çoğunlukla kesişim sağladığı ve İHA'nın bir kapsama alanından diğerine kesişimin sağlandığı bölgelerden link kaybı yaşamadan sağlıklı bir şekilde geçmesinin mümkün olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma, Türkiye'de yangınların erken tespiti amacıyla kullanılacak İHA'lar için hangi bölgelere yer veri terminali kurulması gerektiğine ilişkin bir çözüm sunmuştur.

Her bir yer veri terminalinin kapsama alanı içerisinde bulunan talep noktaları incelendiğinde ise birden fazla aday nokta tarafından kapsanan talep noktalarının bulunmasından dolayı 13 adet yer veri terminalinden 6 tanesinin yalnızca birer adet talep noktasına hizmet etmek üzere açıldığı tespit edilmiştir. Karar vericiler tarafından gerçek kullanım ve operasyon koşullarında söz konusu talep noktalarının önem derecesi gözden geçirilerek kurulması planlanan aday yer veri terminallerinin tekrar değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Model; orman yangınlarıyla mücadele kapsamında insansız hava araçlarının görev icra edebilmesi için kurulan yer veri terminali konumlarının ve kapsama alanlarının belirlenmesinde, halihazırda orman yangınlarıyla mücadelede kullanılan gerçek bir İHA ve görev irtifası ile yer veri terminallerinin gerçek haberleşme mesafesi bilgileri dikkate alınarak gerçekleştirilen görüş analizinden faydalanılarak oluşturulduğu için gerçek kullanım koşullarında ve çeşitli görev sahalarında kolayca uygulanabilir bir yaklaşım sağlamıştır. Aynı zamanda, çalışmada insansız hava araçlarına ilişkin

gerçekleştirilen teorik çalışmalar ile İHA'ların pratikte kullanımı birlikte ele alınmıştır.

Sonuç olarak; bu tez çalışması, orman yangınlarının erken tespit edilebilmesi amacıyla insansız hava araçlarının en etkin kullanımının sağlanması için İHA yer sistemlerinden birisi olan yer veri terminallerinin konumlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana motivasyonu, hem kurulum maliyetlerinin yüksek olması hem de İHA'nın görev yapabilirliğinin sağlanmasına yönelik en önemli sistemlerden birisi olması nedeniyle yer veri terminallerinin konuşlandırılacağı en uygun konumların belirlenmesinin kullanıcı seviyesinde önemli bir katma değer sağlayacak olmasıdır. Bu problem sahası, çalışma kapsamında belirlenen gerçek hayat problemi üzerinde yer seçimi modelinin uygulanması ve uygulamanın görüş analizi ile elde edilen çıktılar doğrultusunda yapılması dolayısıyla özgün bir bakış açısıyla ele alınmış ve analitik olarak sağlam bir çözüm yaklaşımıyla optimal yer veri terminali konumları belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, her bir yer veri terminalinin kurulacağı kule yüksekliği ve kurulum maliyetleri de hesaba katılarak maliyet etkin bir çözümün sağlanması üzerine çalışılabileceği ve kule yüksekliklerinin değiştirilmesi ile farklı durumlar için duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

Bununla birlikte, İHA'ların konuşlandırılacağı ana üs konumlarının belirlenmesi, orman yangınlarının tespit edilmesinde en etkin kullanımın sağlanması amacıyla ana üslere konuşlandırılacak İHA sayılarının belirlenmesi ve farklı görüş mesafelerine sahip kamera faydalı yükü kullanılarak en uygun rotanın belirlenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilecektir. Böylece, İHA'ların orman yangınlarında kullanımında gerçek bir görevin yapılabilirliğine yönelik bütün unsurlar tamamlanabilecektir.

Halihazırda, Orman Genel Müdürlüğü tarafından insansız hava araçları orman yangınlarının erken tespit edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, yapılan bu tez çalışmasının ve çalışma sonucunda elde edilen çıktıların, Orman Genel Müdürlüğü yetkililerince ele alınarak optimal yer veri terminali sayısı ve konumlarının belirlenmesinde kullanılabileceği ve uygulanan yöntemin Türkiye'nin tamamında ya da ihtiyaç duyulan bölgelerde kullanılmak üzere uyarlanabileceği değerlendirilmektedir.

İnsansız hava araçları ile görüş hattında gerçekleştirilecek görevler için yer veri terminallerinin konumlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen ve görev kapsamının orman yangınları olarak seçildiği bu tez çalışması, kullanılan yöntem itibariyle savunma alanında da uygulanabilir bir çalışmadır. Olası bir düşman unsur tehdidine karşı gerçekleştirilecek görevler kapsamında çalışma bölgesi belirlenerek model yeniden oluşturulabilir ve oluşturulan modelin çıktıları İHA'ların askeri alanda kullanılmasına yönelik çeşitli görev sahalarında kullanılabilir.



KAYNAKÇA

- Akay, A., & Aziz, B. (2015, July). GIS-Based Forest Road Network Model For Forest Protection Purposes. *In 38th Annual COFE Meeting. Engineering Solutions For Non- Industrial Private Forest Operations* (pp. 266-281).
- Akay, A. E., Erdoğan, A., & Taş, İ. (2020). Assessment Of Firefighting Teams by Using GIS-Based Network Analysis Method. *Turkish Journal of Forest Science*, 4(2), 424-435.
- Akay, A. E., Sivrikaya, F., & Sakar, D. (2010, November). Evaluating The Efficiency of Fire Helicopter Located in Arsuz-Antakya in Firefighting Activities. *In The 1st International Turkey & Japan Environment and Forestry Symposium* (Vol. 25).
- Akay, A. E., Wing, M. G., Sivrikaya, F., & Sakar, D. (2012). A GIS-Based Decision Support System For Determining The Shortest And Safest Route To Forest Fires: A Case Study in Mediterranean Region Of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 1391-1407.
- Akkuş, Y. (2009). *İnsansız Uçaklarla Türkiye Kara Sınırları Güvenliğinin Sağlanmasında Ana Dağıtım Üssü Belirleme ve Rotalama* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aktaş, E., Özaydın, Ö., Ülengin, F., Önsel Ekici, Ş., & Ağaran, B. (2011). İstanbul'da İtfaiye İstasyonu Yerlerinin Seçimi İçin Yeni Bir Model. *Endüstri Mühendisliği*, 22(4), 2-12.
- Alkhatib, A. A. (2014). A Review On Forest Fire Detection Techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3), 597368.
- Altundaş, A. (2021). *Türk Kara, Hava ve Deniz Sınırlarının Korunmasına Yönelik İHA Üssü Yer Seçimi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altundaş, A., Kurtay, K. G., & Erol, S. (2022). Sınır Güvenliği ve Müdahale Görevi Yapan İHA'ların ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, (42), 155-185.
- Austin, R. (2011). *Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment*. John Wiley & Sons.
- Aydoğan, E. K. (2008). Stratejik Bir Bölgede Deniz Gücüne Ait Sahil Gözetleme Radarlarının Yeniden Yerleştirilmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 7(1), 1-20.
- Aygüneş, H. (2008). Kırsal Bölgelerde Askerî Birliklerin Konuşlandırılmasında Yer Seçimi Modellerinin Kullanılması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 7(1), 93-112.

- Ayöperken, E., & Ermiş, M. (2011). İnsansız Hava Araçları İçin Üs Konumlarının Kapsama Alanı Problemi Olarak Modellenmesi ve En İyilenmesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 61-71.
- Bao, S., Xiao, N., Lai, Z., Zhang, H., & Kim, C. (2015). Optimizing Watchtower Locations For Forest Fire Monitoring Using Location Models. *Fire Safety Journal*, 71, 100-109.
- Barmpoutis, P., Papaioannou, P., Dimitropoulos, K., & Grammalidis, N. (2020). A Review On Early Forest Fire Detection Systems Using Optical Remote Sensing. *Sensors*, 20(22), 6442.
- Bastı, M. (2012). P-Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları. *AJIT-E: Academic Journal Of Information Technology*, 3(7), 47-75.
- Carlıoğlu, S (2005). *Ege Bölgesinde Deniz Kuvvetleri Komutanlığına Ait Sahil Gözetleme Radarlarının Yeniden Yerleştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Cruz, H., Eckert, M., Meneses, J., & Martínez, J. F. (2016). Efficient Forest Fire Detection Index For Application in Unmanned Aerial Systems (UASs). *Sensors*, 16(6), 893.
- Current, J., Daskin, M.S. & Schilling, D. (2001). Discrete Network Location Model. Ed. by. Z. Drezner and H.W. Hamacher, *Facility Location: Applications and Theory*, (pp.83-120.) Springer-Verlag.
- Çalışan, M., & Türkoğlu, İ. (2011). Termal Kameralar ve Uygulamaları. *Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu (FEEB 2011)*, 46-50.
- Çuhadar, İ., & Dursun, M. (2016). Unmanned Air Vehicle System's Data Links. *Journal of Automation and Control Engineering*, Vol. 4, No. 3
- Dağıstanlı, H. A., & Gencer, C. Hibrit Tehdit Perspektifinden Orman Yangınları ve Türkiye'nin Mücadele Politikası. *SAVSAD Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, (1), 35-70.
- Daskin, M.S. (1995). *Network And Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Demir, M., Kucukosmanoglu, A., Hasdemir, M., Acar, H., & Ozturk, T. (2009). Assessment of Forest Roads and Firebreaks in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 8(18).
- Department of Defence. (2021). *DOD Dictionary Of Military and Associated Terms*.
- Ercan, B., Özdilim, S., & Avcı, M. G. (2023). Orman Yangınlarına İlk Müdahale Ekiplerinin Yerleşim Planlaması: Aliğa-İzmir Örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 96-103.
- Ertuğrul, M. (2005). Orman Yangınlarının Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7), 43-50.

- Fahlstrom, P. G., Gleason, T. J., & Sadraey, M. H. (2012). *Introduction to UAV Systems*. John Wiley & Sons.
- Farahani, R. Z., SteadieSeifi, M., & Asgari, N. (2010). Multiple Criteria Facility Location Problems: A Survey. *Applied Mathematical Modelling*, 34(7), 1689-1709.
- Gencer, C., & Açıkgöz, A. (2006). Türk Silahlı Kuvvetleri Arama Kurtarma Timlerinin Yerleşiminin Yeniden Düzenlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 87-106.
- Ghamry, K. A., Kamel, M. A., & Zhang, Y. (2016). Cooperative Forest Monitoring and Fire Detection Using A Team Of Uavs-Ugvs. *In 2016 International Conference On Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 1206-1211). IEEE.
- Ghamry, K. A., Kamel, M. A., & Zhang, Y. (2017, June). Multiple UAVs in Forest Fire Fighting Mission Using Particle Swarm Optimization. *In 2017 International Conference On Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 1404-1409). IEEE.
- Gupta, S. G., Ghonge, D. M., & Jawandhiya, P. M. (2013). Review of Unmanned Aircraft System (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, Volume, 2.
- Gülci, S., & Akay, A. E. (2016). Using Thermal Infrared Imagery Produced By Unmanned Air Vehicles to Evaluate Locations of Ecological Road Structures. *Journal of The Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(2), 698-709.
- Hassanalian, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, Applications and Design Challenges of Drones: A Review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- Joint Air Power Competence Center. (2021). *A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems*.
- JAPCC. (2010). *Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO*. Joint Air Power Competence Center, 2010.
- JRC (2021), *JRC Technical Report, Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2021*
- Karaağaç, C. (2014). Geleceğin Harekât Ortamında İHA Sistemleri: Askeri Uygulamalar & Teknoloji Gereksinimleri. *III. Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı*, İstanbul.
- Kilic, S., & Ozkan, O. (2019, July). A Self-Adaptive UAV Routing For Forest Fire Risk Mitigation: A Conceptual Model. *In Proceedings Of The 2019 Summer Simulation Conference* (pp. 1-12).
- Korkmaz, M. (2004). Küme Örtüleme Modeli Kullanılarak Optimum Yangın Gözetleme Noktalarının Belirlenmesi. *Turkish Journal Of Forestry*, 5(1), 37-49.

- Kök, T. (2012). *İnsansız Hava Araçlarının Güvenli Kullanımı İçin Spektrum İhtiyaçlarının Belirlenmesi İle İlgili Öneriler*. (Teknik Uzmanlık Tezi), İstanbul, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- Kurban, Ö., & Can, T. (2016). Acil İstihbarat, Gözetleme ve Keşif İhtiyaçları İçin Mini İnsansız Hava Araçlarının Yer Kontrol İstasyonlarının Seçimi. *Öneri Dergisi*, 12(45), 35-59.
- Maraş, E. E., Dönmez, K., & Emecen, Y. (2023). GIS-Based Determination of the Optimal Heliport and Water Source Locations for Forest Fire Suppression Using Multi-Objective Programming. *Aerospace*, 10(3), 305.
- NATO. (2021). *Glossary of Terms And Definitions 2021*.
- Nigah, R., Devnani, M., & Gupta, A. K. (2010). ABC and VED Analysis of the Pharmacy Store of a Tertiary Care Teaching, Research and Referral Healthcare Institute of India. *Journal Of Young Pharmacists*, 2(2), 201-205.
- OGM. (2023). *Orman Genel Müdürlüğü 2022 Yılı Faaliyet Raporu*.
- Olguç, T. (2020). *Ege Denizi Arama Kurtarma Bölgesinde Gerçekleşecek Arama Kurtarma Faaliyetleri Kapsamında Kullanılacak İnsansız Hava Araçlarının Sahil İstasyon Mevkilerinin Optimizasyonu* (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Olgac, T., & Toz, A. C. (2022). Determining the Optimum Location of Ground Control Stations (GCS) for Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Marine Search and Rescue (MSAR) Operations. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 23(5), 1021-1032.
- Ollero, A., & Merino, L. (2006). Unmanned Aerial Vehicles As Tools For Forest-Fire Fighting. *Forest Ecology And Management*, 234(1), S263.
- Owen, S. H., & Daskin, M. S. (1998). Strategic Facility Location: A Review. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 423-447.
- Ozkan, O. (2021). Optimization of The Distance-Constrained Multi-Based Multi-UAV Routing Problem with Simulated Annealing and Local Search-Based Matheuristic to Detect Forest Fires: The Case Of Turkey. *Applied Soft Computing*, 113, 108015.
- Ozkan, O. & Kılıç, S. (2023). UAV Routing by Simulation-Based Optimization Approaches for Forest Fire Risk Mitigation. *Annals of Operations Research*, 320(2), 937-973.
- Sarıkaya, H. A. (2020). Jandarma Karakollarının Yer Seçiminin En Büyük Kapsama Metodu İle Belirlenmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 31(1), 28-47.
- Savunma Sanayii Müsteşarlığı. (2011). *Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)*. Ankara.

- Sefercik, U. G & Kavzoğlu, T. (2021). Orman Yangınları Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri. Kavzoğlu, T. (Ed.) *Orman Yangınlarında Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Erken Uyarı, Tespit, İzleme ve Müdahale Stratejileri* (pp.111-136). Türkiye Bilimler Akademisi.
- STM. (2016). *Geleceğin Hava Kuvvetleri: İHA Sistemleri Yol Haritası 2016–2050*
- Sule, D. R. (2001). *Logistics of Facility Location and Allocation*. Marcel Dekker, New York, US.
- T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü. (2021). *Türkiye Orman Varlığı 2020*.
- T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü. (2018). *Orman Genel Müdürlüğü Stratejik Plan 2019-2023*
- T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü. (2023). *Orman Genel Müdürlüğü Stratejik Plan 2024-2028*
- Tokmanoğlu, T. (1987). Termal Işınlarla Uzaktan Algılama. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 37(3), 1-22.
- Uygur, S. (2023). *Karadeniz Bölgesi'nde Deniz Yetki Alanlarının Gözetlenebilmesi Amacıyla Sahil Gözetleme Radarlarının Konumlarının Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yakıcı, E. (2016). Generalization of a UAV Location And Routing Problem by Time Windows. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 12(2), 67-78.
- Yankaya, Y. (2023). *İnsansız Hava Aracı ile En büyük Kapsamalı Tesis Yer Seçimi Problemi: Bir Sezgisel Algoritma* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, N. (2018). *Etkin Keşif Gözetleme Sistemi İçin Kablo GÜdümlü Balonlar ve İHA Sistemlerine Yönelik Yer Seçimi ve Rotalama Model Önerileri*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yiğit, E., Yazar, İ., & Karakoç, T. H. (2018). İnsansız Hava Araçları (İHA)'nın Kapsamalı Sınıflandırması ve Gelecek Perspektifi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 10-19.
- T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Basın Açıklaması (2023) Alındığı Yer: <https://www.ogm.gov.tr/tr/haberler/basin-aciklamasi> (Son erişim Tarihi: 23.05.2024)
- Termal Kamera. Alındığı Yer: https://tr.wikipedia.org/wiki/Termal_kamera (Son erişim Tarihi: 23.05.2024)
- Anadolu Ajansı İHA'lar 3 Bin 55 Orman Yangınıni Tespit Etti. Alındığı Yer: <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/ihalar-3-bin-55-orman-yanginini-tespit-etti/2961688> (Son erişim Tarihi: 23.05.2024)

EKLER

Ek 1: Orman Genel Müdürlüğü 2018-2022 Orman Yangını Verileri

İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2018			İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2019		
	Adet	Hektar		Adet	Hektar
Türkiye	2167	5644,00	Türkiye	2688	11332,44
İstanbul	74	14,87	İstanbul	177	36,24
Tekirdağ	4	1,36	Tekirdağ	12	8,32
Edirne	10	12,10	Edirne	20	51,89
Kırklareli	0	0,00	Kırklareli	13	9,82
Balıkesir	60	23,54	Balıkesir	72	74,80
Çanakkale	50	127,20	Çanakkale	74	238,60
İzmir	167	298,94	İzmir	146	4858,77
Aydın	55	78,90	Aydın	40	20,01
Denizli	28	80,83	Denizli	21	8,52
Muğla	299	150,96	Muğla	264	939,29
Manisa	98	95,88	Manisa	93	45,20
Afyonkarahisar	14	12,42	Afyonkarahisar	17	101,10
Kütahya	52	44,44	Kütahya	38	112,17
Uşak	5	3,52	Uşak	5	6,40
Bursa	29	56,87	Bursa	70	245,25
Eskişehir	16	7,32	Eskişehir	18	44,85
Bilecik	11	5,51	Bilecik	12	59,10
Kocaeli	9	2,85	Kocaeli	17	34,02
Sakarya	22	7,69	Sakarya	49	22,05
Düzce	2	2,00	Düzce	22	23,20
Bolu	23	19,92	Bolu	32	18,93
Yalova	0	0,00	Yalova	2	0,06
Ankara	23	6,88	Ankara	38	47,01
Konya	11	7,47	Konya	21	15,98
Karaman	3	1,38	Karaman	6	5,52
Antalya	244	593,60	Antalya	199	234,86
Isparta	25	24,15	Isparta	42	53,10
Burdur	18	11,63	Burdur	21	5,49
Adana	90	65,77	Adana	132	52,82
Mersin	71	69,98	Mersin	90	360,78
Hatay	96	1308,48	Hatay	79	71,95
Kahramanmaraş	47	142,35	Kahramanmaraş	55	122,82
Osmaniye	34	97,40	Osmaniye	42	106,27
Kırıkkale	7	18,20	Kırıkkale	5	3,77
Aksaray	6	97,37	Aksaray	3	42,30
Niğde	1	0,50	Niğde	1	0,29
Nevşehir	7	31,57	Nevşehir	2	0,52
Kırşehir	8	6,10	Kırşehir	6	15,46

İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2018			İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2019		
Kayseri	8	37,90	Kayseri	4	6,31
Sivas	8	39,51	Sivas	8	10,96
Yozgat	3	19,11	Yozgat	6	18,04
Zonguldak	6	3,65	Zonguldak	7	2,19
Karabük	16	2,90	Karabük	11	6,54
Bartın	3	7,23	Bartın	3	1,87
Kastamonu	51	280,33	Kastamonu	65	41,89
Çankırı	8	48,78	Çankırı	5	3,35
Sinop	15	18,22	Sinop	33	68,45
Samsun	12	7,03	Samsun	30	33,21
Tokat	25	10,84	Tokat	23	103,48
Çorum	37	12,61	Çorum	19	9,50
Amasya	12	21,33	Amasya	10	6,52
Trabzon	7	16,35	Trabzon	42	381,66
Ordu	7	25,64	Ordu	28	38,19
Giresun	7	8,69	Giresun	32	86,84
Rize	5	8,89	Rize	22	37,44
Artvin	3	0,9	Artvin	23	16,7
Gümüşhane	5	6,15	Gümüşhane	7	14,70
Erzurum	2	10	Erzurum	17	75,10
Erzincan	5	14,69	Erzincan	20	97,70
Bayburt	1	0,15	Bayburt	2	10,50
Ağrı	1	6,61	Ağrı	0	0
Kars	2	1,8	Kars	8	33
Iğdır	0	0	I+A67:G67ğdır	0	0
Ardahan	1	0,17	Ardahan	3	3,70
Malatya	8	16,98	Malatya	21	281,65
Elazığ	23	30,26	Elazığ	45	88,34
Bingöl	6	6,70	Bingöl	22	122,81
Tunceli	2	2,00	Tunceli	8	53,68
Van	0	0,00	Van	16	16,31
Muş	0	0	Muş	4	5,89
Bitlis	12	4,80	Bitlis	28	42,30
Hakkari	3	20,28	Hakkari	12	31,60
Gaziantep	18	37,68	Gaziantep	21	342,56
Adıyaman	24	162,15	Adıyaman	21	85,33
Kilis	1	0,90	Kilis	6	51,00
Şanlıurfa	8	14,00	Şanlıurfa	18	65,10
Diyarbakır	46	524,77	Diyarbakır	37	240,90
Mardin	12	169,08	Mardin	18	278,52
Batman	1	3,00	Batman	1	19,00
Şırnak	10	51,50	Şırnak	14	136,30
Siirt	24	460,87	Siirt	12	265,78

İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2020			İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2021		
	Adet	Hektar		Adet	Hektar
Türkiye	3399	20970,66	Türkiye	2793	139503,16
İstanbul	147	62,28	İstanbul	52	12,69
Tekirdağ	21	99,15	Tekirdağ	13	10,73
Edirne	34	202,91	Edirne	12	5,17
Kırklareli	17	10,22	Kırklareli	14	17,53
Balıkesir	80	104,23	Balıkesir	89	117,66
Çanakkale	101	871,70	Çanakkale	74	103,57
İzmir	167	2329,22	İzmir	148	672,01
Aydın	64	326,57	Aydın	77	1596,51
Denizli	31	321,69	Denizli	50	1022,87
Muğla	260	478,22	Muğla	296	50602,92
Manisa	121	1790,80	Manisa	115	153,56
Afyonkarahisar	14	25,31	Afyonkarahisar	8	0,65
Kütahya	58	117,96	Kütahya	42	23,62
Uşak	10	220,74	Uşak	20	51,50
Bursa	51	89,81	Bursa	50	22,47
Eskişehir	13	45,35	Eskişehir	9	11,17
Bilecik	17	6,71	Bilecik	10	13,20
Kocaeli	49	32,24	Kocaeli	11	6,10
Sakarya	86	57,77	Sakarya	32	9,59
Düzce	22	17,77	Düzce	14	10,24
Bolu	36	185,90	Bolu	19	17,51
Yalova	1	0,83	Yalova	1	0,83
Ankara	40	731,85	Ankara	29	15,42
Konya	20	58,18	Konya	14	8,40
Karaman	13	13,16	Karaman	8	5,09
Antalya	260	399,58	Antalya	294	60366,56
Isparta	38	16,54	Isparta	26	1422,86
Burdur	29	29,85	Burdur	24	619,71
Adana	125	2644,81	Adana	126	4919,26
Mersin	87	509,15	Mersin	89	9661,20
Hatay	100	4978,61	Hatay	64	334,63
Kahramanmaraş	94	305,54	Kahramanmaraş	102	433,32
Osmaniye	62	156,72	Osmaniye	66	3149,79
Kırıkkale	3	3,71	Kırıkkale	1	2,90
Aksaray	1	0,20	Aksaray	1	4,00
Niğde	4	3,55	Niğde	3	0,34
Nevşehir	3	6,83	Nevşehir	2	2,50
Kırşehir	3	6,00	Kırşehir	3	3,38
Kayseri	7	52,89	Kayseri	5	101,25
Sivas	11	14,55	Sivas	5	12,49
Yozgat	10	10,22	Yozgat	10	4,14
Zonguldak	20	55,18	Zonguldak	13	11,40

İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2020			İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2021		
Karabük	38	32,73	Karabük	16	50,68
Bartın	10	1,97	Bartın	5	0,41
Kastamonu	155	1491,42	Kastamonu	61	51,93
Çankırı	15	36,16	Çankırı	12	4,14
Sinop	56	467,56	Sinop	17	9,77
Samsun	53	97,70	Samsun	34	34,32
Tokat	57	81,64	Tokat	21	23,50
Çorum	32	367,35	Çorum	20	19,27
Amasya	17	15,88	Amasya	7	4,82
Trabzon	31	55,52	Trabzon	40	147,04
Ordu	41	57,97	Ordu	55	81,13
Giresun	24	20,89	Giresun	37	63,01
Rize	15	18,44	Rize	22	41,48
Artvin	19	18,25	Artvin	23	24,27
Gümüşhane	12	24,00	Gümüşhane	5	2,95
Erzurum	8	13,00	Erzurum	17	44,95
Erzincan	17	25,12	Erzincan	5	3,39
Bayburt	3	2,15	Bayburt	1	2,30
Ağrı	0	0,00	Ağrı	0	0,00
Kars	4	2,30	Kars	10	7,81
Iğdır	0	0,00	Iğdır	1	0,15
Ardahan	4	16,50	Ardahan	3	5,69
Malatya	22	37,50	Malatya	23	21,11
Elazığ	28	48,70	Elazığ	12	34,47
Bingöl	31	27,51	Bingöl	43	134,66
Tunceli	12	7,25	Tunceli	23	2427,12
Van	1	0,82	Van	2	0,05
Muş	0	0,00	Muş	5	20,27
Bitlis	44	50,36	Bitlis	19	119,50
Hakkari	9	35,56	Hakkari	16	40,34
Gaziantep	61	94,94	Gaziantep	30	33,28
Adıyaman	26	111,85	Adıyaman	31	70,59
Kilis	8	3,60	Kilis	4	98,56
Şanlıurfa	31	105,55	Şanlıurfa	24	56,24
Diyarbakır	67	60,25	Diyarbakır	53	101,41
Mardin	25	60,86	Mardin	13	33,30
Batman	4	9,31	Batman	7	85,10
Şırnak	46	16,80	Şırnak	25	25,08
Siirt	43	58,75	Siirt	10	18,33

İllere göre orman yangınlarının dağılımı, 2022					
	Adet	Hektar		Adet	Hektar
Türkiye	2160	12798,66	Yozgat	7	2,39
İstanbul	43	10,5	Zonguldak	6	1,36
Tekirdağ	21	26,51	Karabük	9	1,32
Edirne	19	6,8	Bartın	2	0,31
Kırklareli	23	32,68	Kastamonu	37	5,14
Balıkesir	92	183,18	Çankırı	7	1,21
Çanakkale	118	599,73	Sinop	6	2,18
İzmir	169	720,67	Samsun	5	3,27
Aydın	45	285,85	Tokat	16	21,61
Denizli	26	270,66	Çorum	24	33,17
Muğla	234	5523,09	Amasya	2	1,1
Manisa	128	579,71	Trabzon	12	18,51
Afyonkarahisar	7	17,18	Ordu	9	32,3
Kütahya	57	275,93	Giresun	16	22,29
Uşak	26	17,06	Rize	5	3,65
Bursa	71	200,7	Artvin	12	18,93
Eskişehir	12	18,1	Gümüşhane	6	2,38
Bilecik	9	79,89	Erzurum	6	5,74
Kocaeli	19	16,25	Erzincan	7	117,63
Sakarya	40	16,31	Bayburt	1	0,9
Düzce	5	0,82	Ağrı	0	0
Bolu	15	14,29	Kars	7	4,25
Yalova	0	0	İğdır	0	0
Ankara	23	1,62	Ardahan	4	5,05
Konya	1	0,42	Malatya	0	0
Karaman	2	0,18	Elazığ	5	19,82
Antalya	189	194,45	Bingöl	23	24,18
Isparta	13	2,96	Tunceli	8	45,46
Burdur	27	25,33	Van	1	1
Adana	78	58,43	Muş	0	0
Mersin	99	2118,13	Bitlis	10	66,04
Hatay	50	121,18	Hakkari	8	17,71
Kahramanmaraş	70	61,76	Gaziantep	15	8,85
Osmaniye	30	428,06	Adıyaman	25	27,77
Kırıkkale	3	2,11	Kilis	5	0,41
Aksaray	1	0,03	Şanlıurfa	5	1,52
Niğde	3	0,01	Diyarbakır	58	253,71
Nevşehir	1	1,6	Mardin	2	90,99
Kırşehir	0	0	Batman	2	3,5
Kayseri	4	1,97	Şırnak	4	2,72
Sivas	4	9,06	Siirt	6	7,01

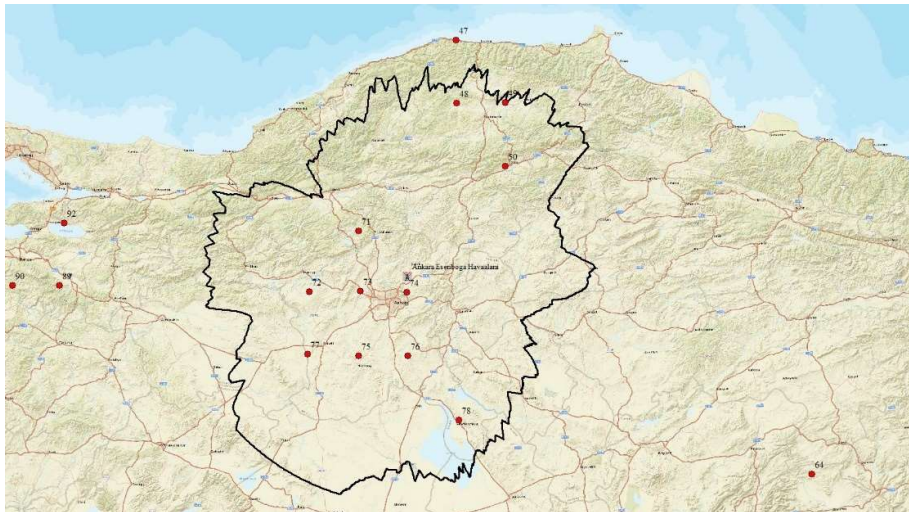
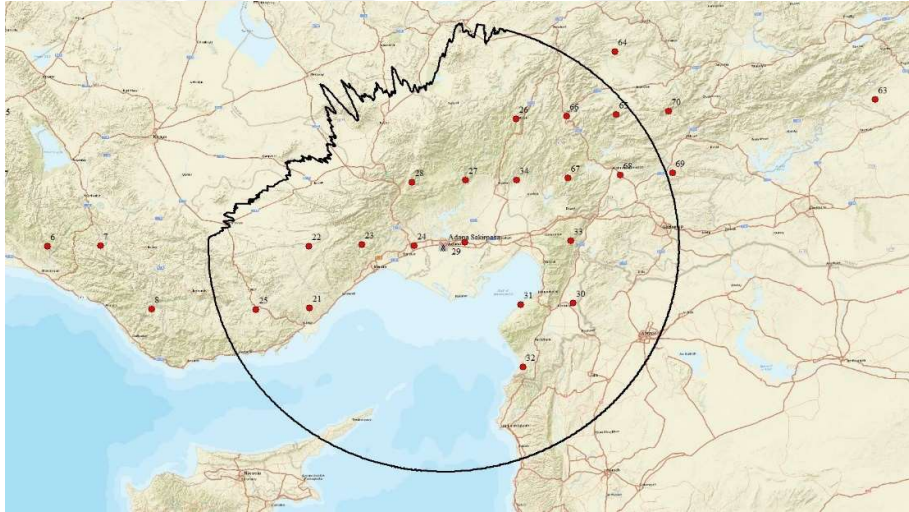
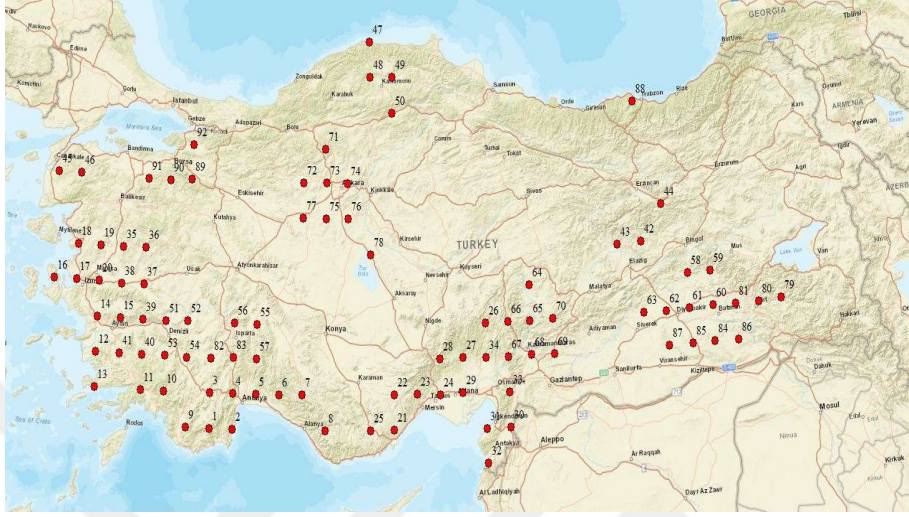
Ek 2: ABC Analizi

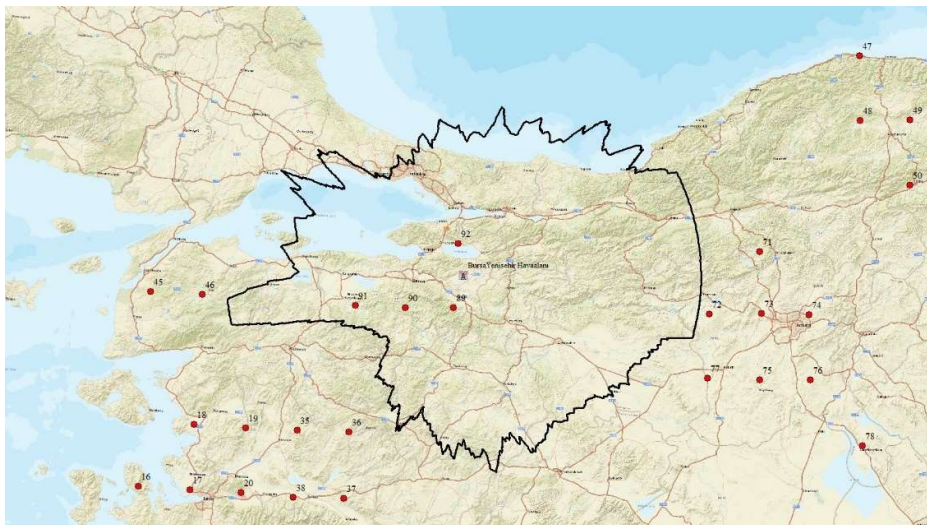
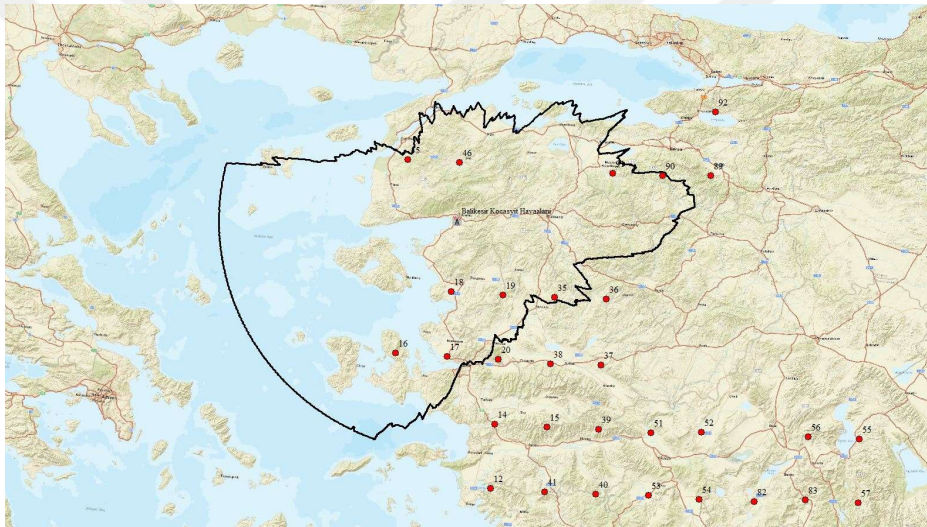
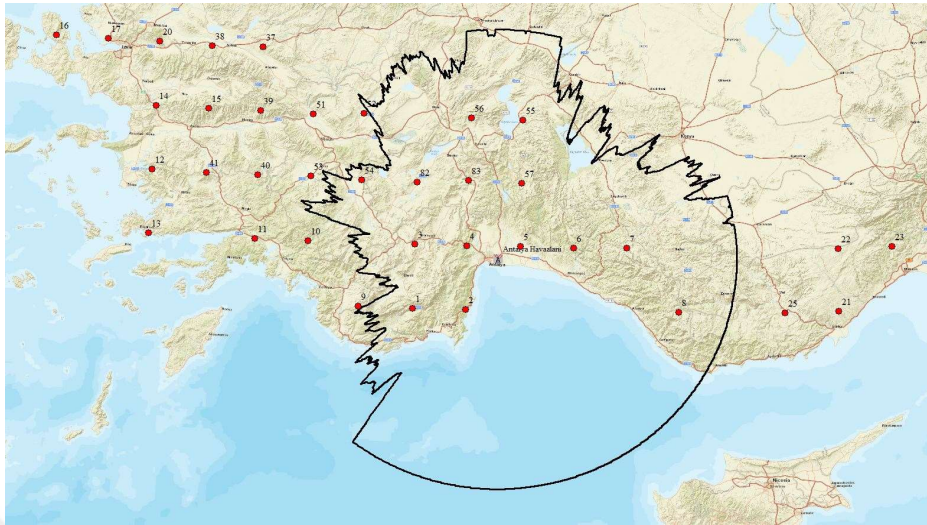
İller	Toplam Hektar	Kümülatif Toplam	Kümülatif Yüzde	Kategori
Antalya	61789,05	61789,05	32,478%	A
Muğla	57694,48	119483,53	62,804%	A
Mersin	12719,24	132202,77	69,489%	A
İzmir	8879,61	141082,38	74,157%	A
Adana	7741,09	148823,47	78,226%	A
Hatay	6814,85	155638,32	81,808%	B
Osmaniye	3938,24	159576,56	83,878%	B
Manisa	2665,15	162241,71	85,279%	B
Tunceli	2535,506	164777,216	86,611%	B
Aydın	2307,84	167085,056	87,824%	B
Çanakkale	1940,8	169025,856	88,844%	B
Kastamonu	1870,71	170896,566	89,828%	B
Denizli	1704,57	172601,136	90,724%	B
Isparta	1519,61	174120,746	91,522%	B
Diyarbakır	1181,04	175301,786	92,143%	B
Kahramanmaraş	1065,79	176367,576	92,703%	B
Siirt	810,74	177178,316	93,130%	B
Ankara	802,78	177981,096	93,552%	B
Burdur	692,01	178673,106	93,915%	B
Mardin	632,75	179305,856	94,248%	B
Trabzon	619,08	179924,936	94,573%	B
Bursa	615,1	180540,036	94,897%	B
Kütahya	574,12	181114,156	95,198%	C
Sinop	566,18	181680,336	95,496%	C
Gaziantep	517,31	182197,646	95,768%	C
Balıkesir	503,41	182701,056	96,032%	C
Adıyaman	457,69	183158,746	96,273%	C
Çorum	441,9	183600,646	96,505%	C
Malatya	357,24	183957,886	96,693%	C
Bingöl	315,86	184273,746	96,859%	C
Uşak	299,22	184572,966	97,016%	C
Bitlis	283	184855,966	97,165%	C
Edirne	278,87	185134,836	97,312%	C
Erzincan	258,53	185393,366	97,448%	C

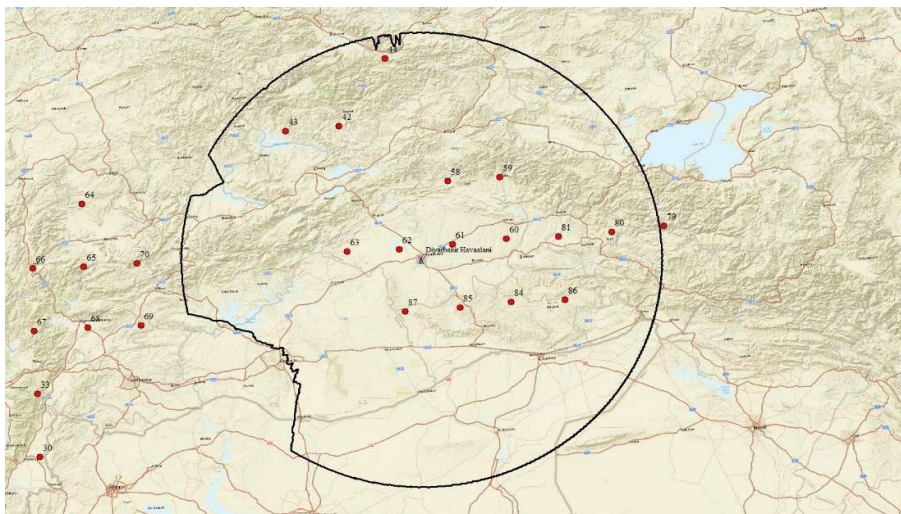
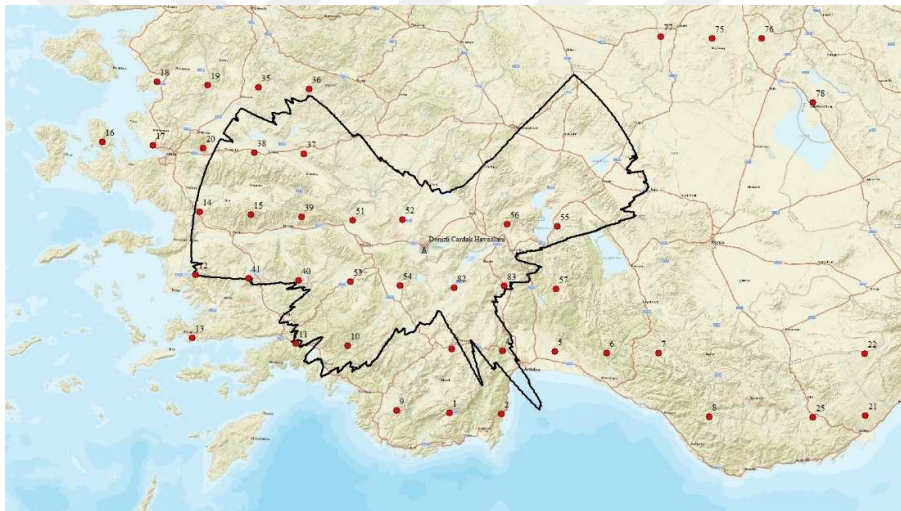
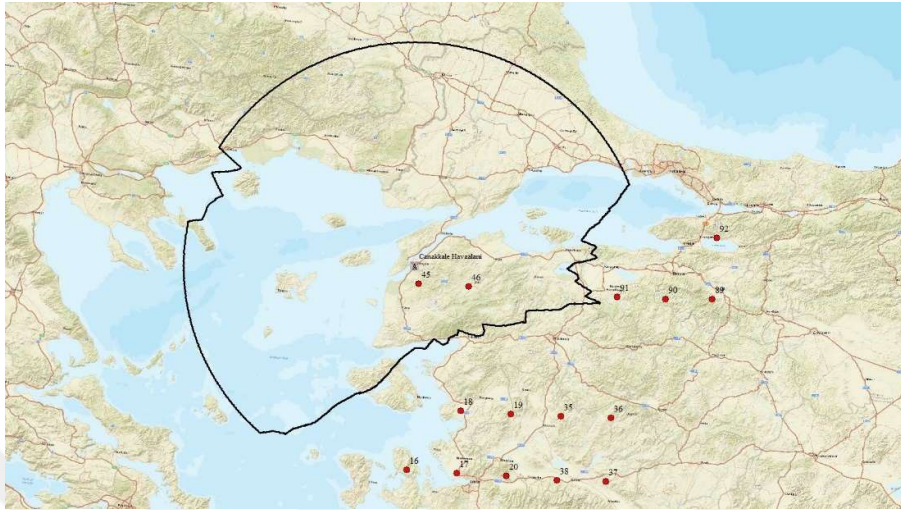
İller	Toplam Hektar	Kümülatif Toplam	Kümülatif Yüzde	Kategori
Bolu	256,55	185649,916	97,582%	C
Şanlıurfa	242,41	185892,326	97,710%	C
Tokat	241,07	186133,396	97,837%	C
Ordu	235,23	186368,626	97,960%	C
Şırnak	232,4	186601,026	98,082%	C
Elazığ	221,59	186822,616	98,199%	C
Giresun	201,72	187024,336	98,305%	C
Kayseri	200,32	187224,656	98,410%	C
Samsun	175,53	187400,186	98,502%	C
Bilecik	164,41	187564,596	98,589%	C
Afyonkarahisar	156,66	187721,256	98,671%	C
Kilis	154,47	187875,726	98,752%	C
Erzurum	148,79	188024,516	98,831%	C
Tekirdağ	146,07	188170,586	98,907%	C
Hakkari	145,49	188316,076	98,984%	C
Aksaray	143,9	188459,976	99,060%	C
İstanbul	136,58	188596,556	99,131%	C
Eskişehir	126,79	188723,346	99,198%	C
Batman	119,91	188843,256	99,261%	C
Sakarya	113,41	188956,666	99,321%	C
Rize	109,9	189066,566	99,378%	C
Karabük	94,17	189160,736	99,428%	C
Çankırı	93,64	189254,376	99,477%	C
Kocaeli	91,46	189345,836	99,525%	C
Konya	90,45	189436,286	99,573%	C
Sivas	86,57	189522,856	99,618%	C
Artvin	79,05	189601,906	99,660%	C
Zonguldak	73,78	189675,686	99,699%	C
Kırklareli	70,25	189745,936	99,735%	C
Düzce	54,03	189799,966	99,764%	C
Yozgat	53,9	189853,866	99,792%	C
Gümüşhane	50,18	189904,046	99,819%	C
Amasya	49,65	189953,696	99,845%	C
Kars	49,16	190002,856	99,871%	C
Nevşehir	43,02	190045,876	99,893%	C
Ardahan	31,11	190076,986	99,909%	C
Kırşehir	30,94	190107,926	99,926%	C

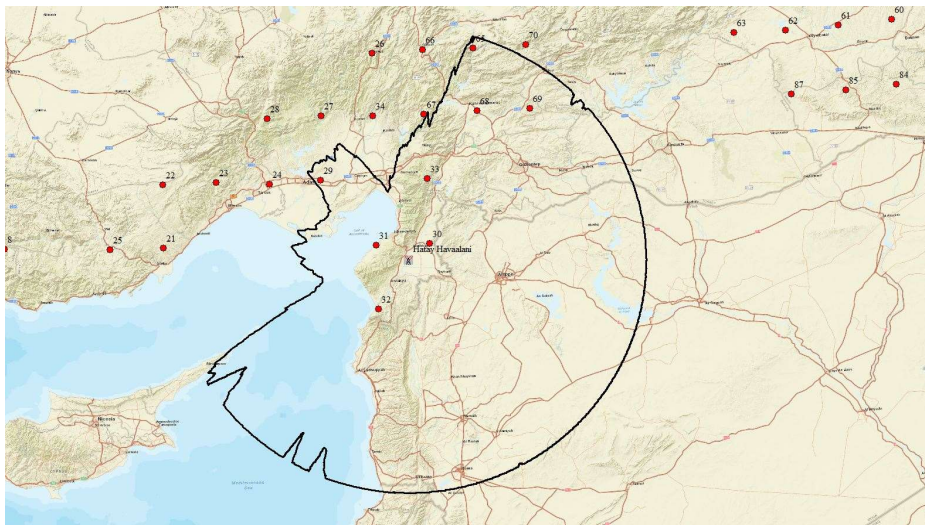
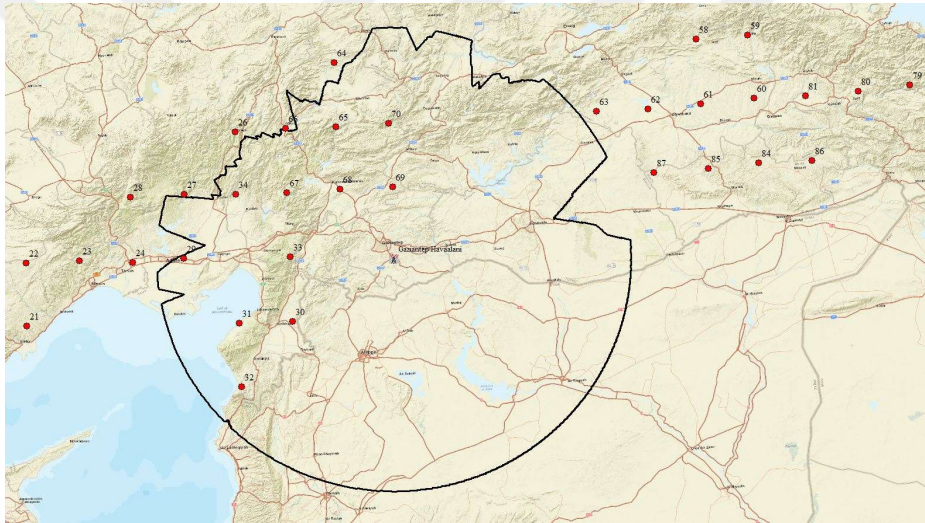
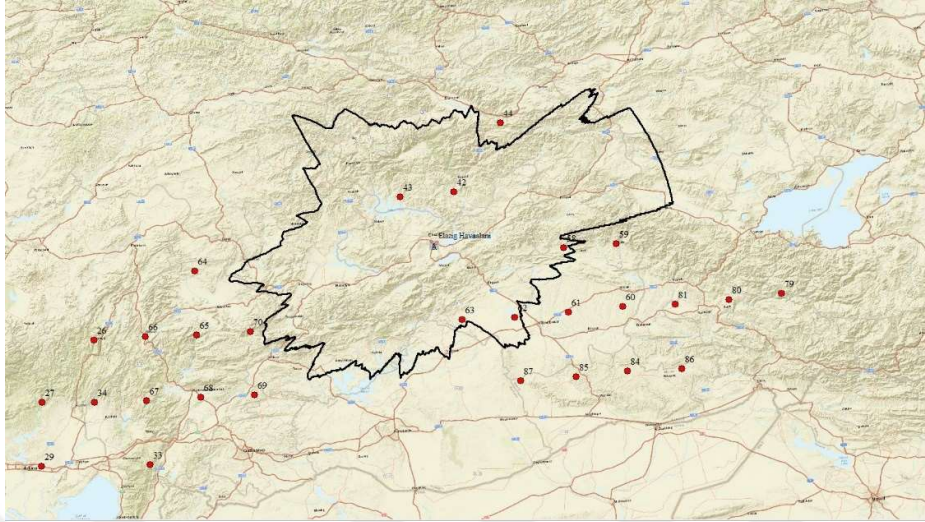
İller	Toplam Hektar	Kümülatif Toplam	Kümülatif Yüzde	Kategori
Kırıkkale	30,69	190138,616	99,942%	C
Muş	26,16	190164,776	99,956%	C
Karaman	25,33	190190,106	99,969%	C
Van	18,18	190208,286	99,978%	C
Bayburt	16	190224,286	99,987%	C
Bartın	11,79	190236,076	99,993%	C
Ağrı	6,61	190242,686	99,997%	C
Niğde	4,688	190247,374	99,999%	C
Yalova	1,72	190249,094	100,000%	C
İğdır	0,15	190249,244	100,000%	C

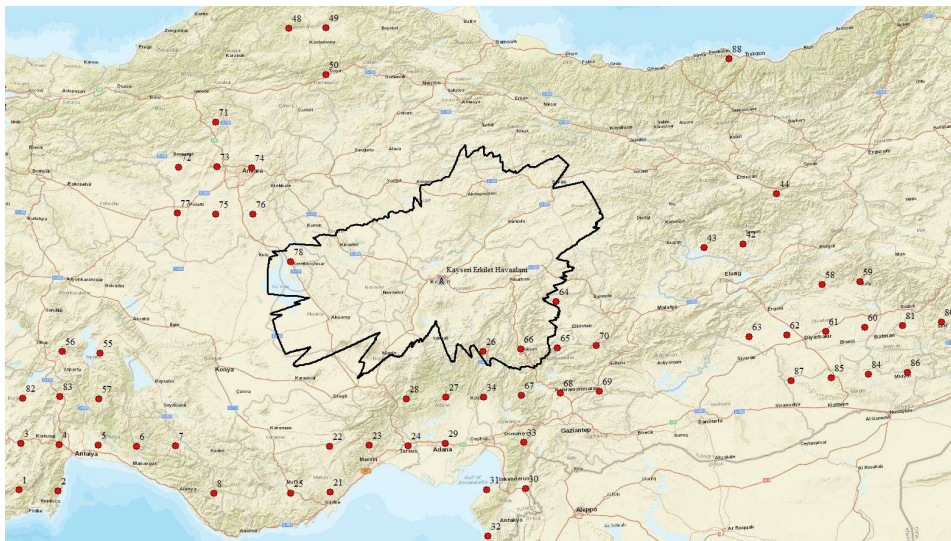
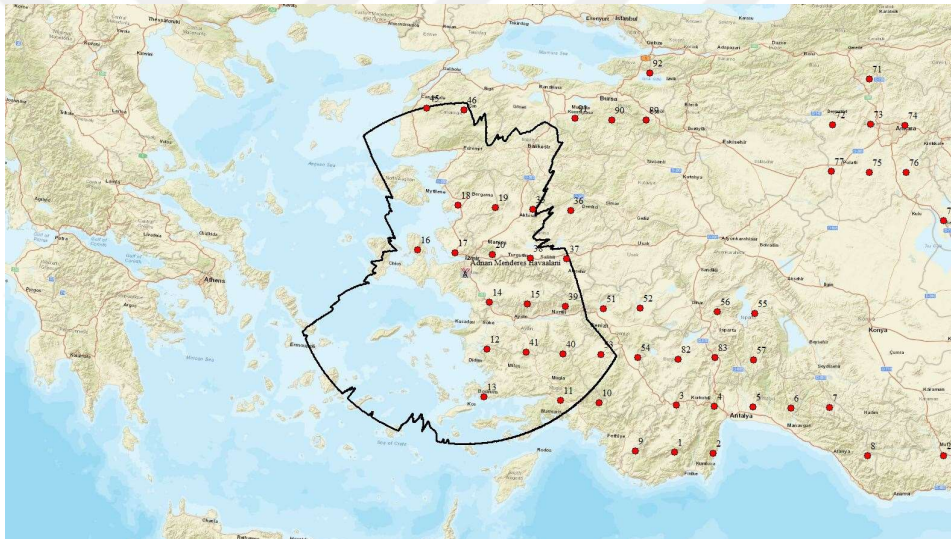
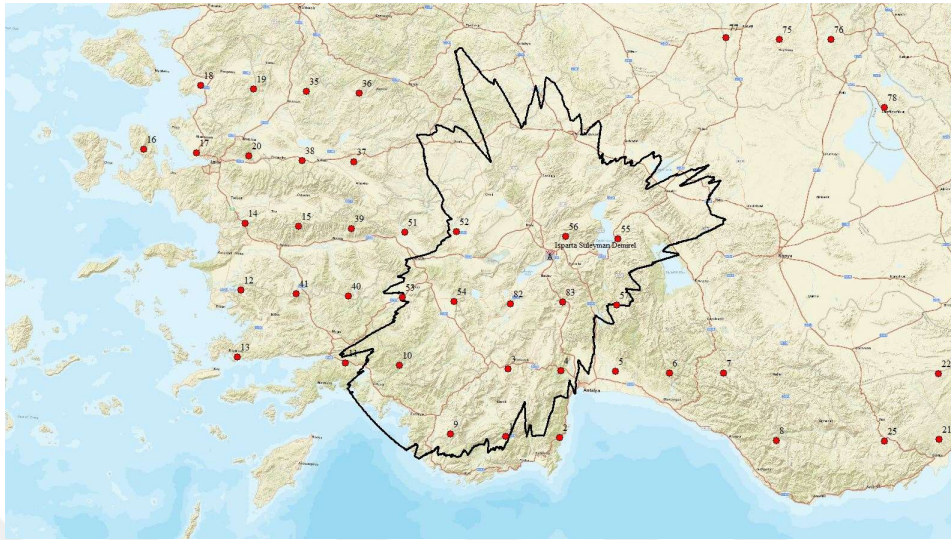
Ek 3: Aday Yer Veri Terminallerinin Görüş Analizleri

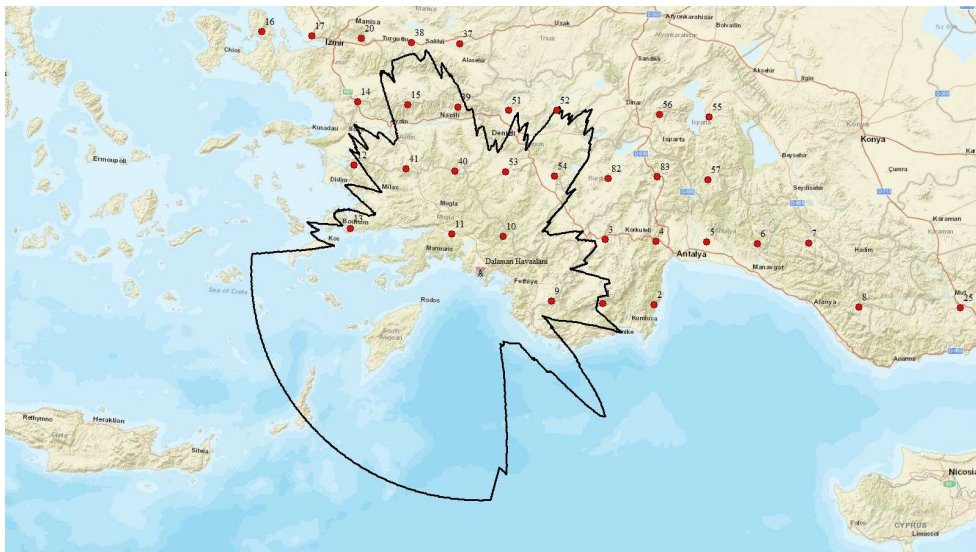
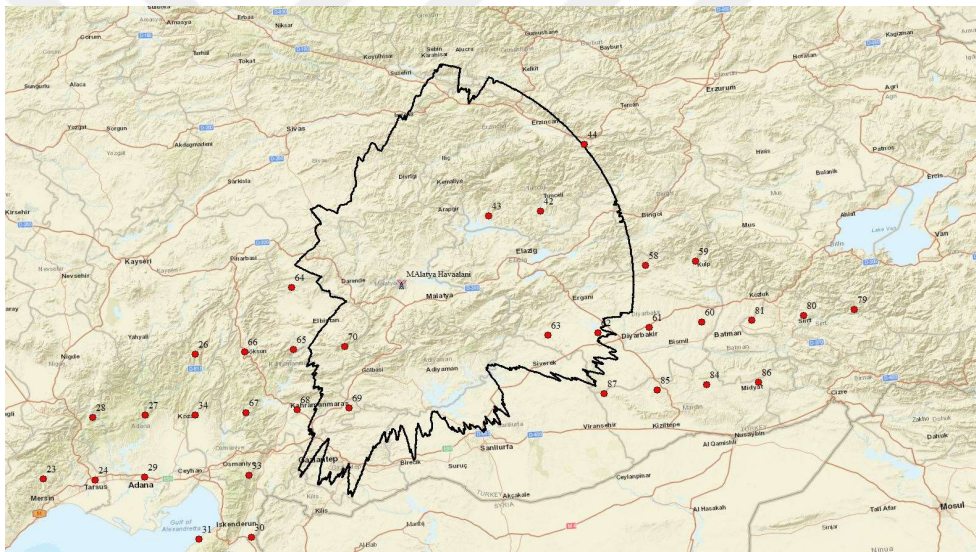
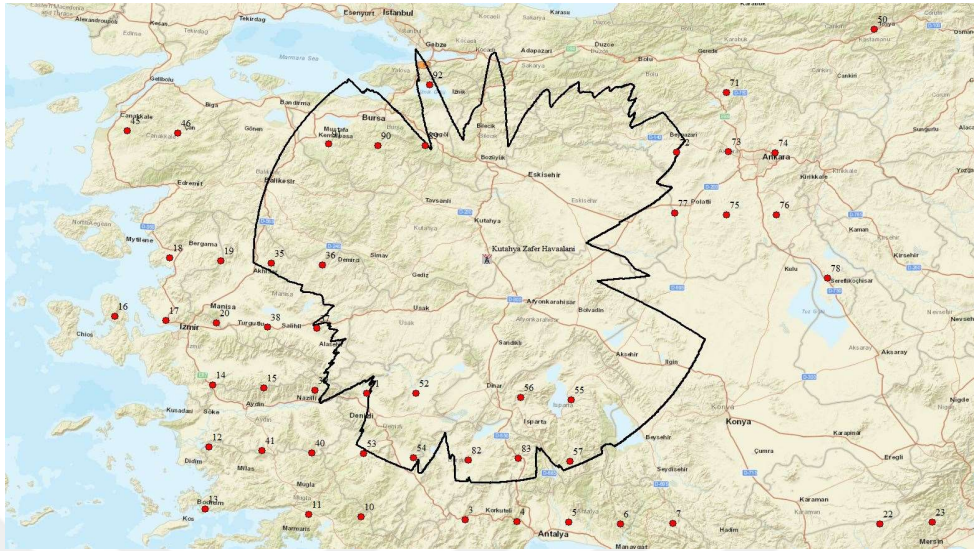


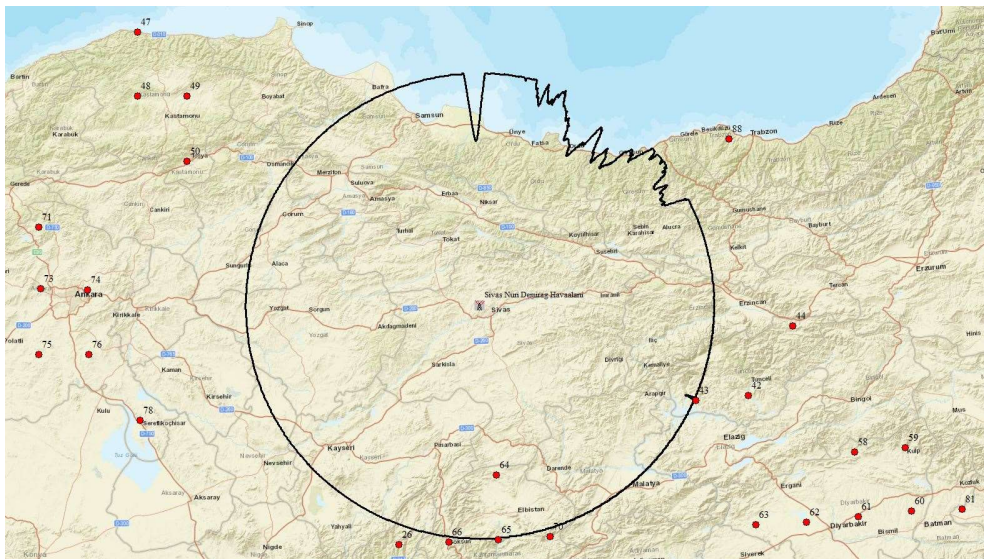
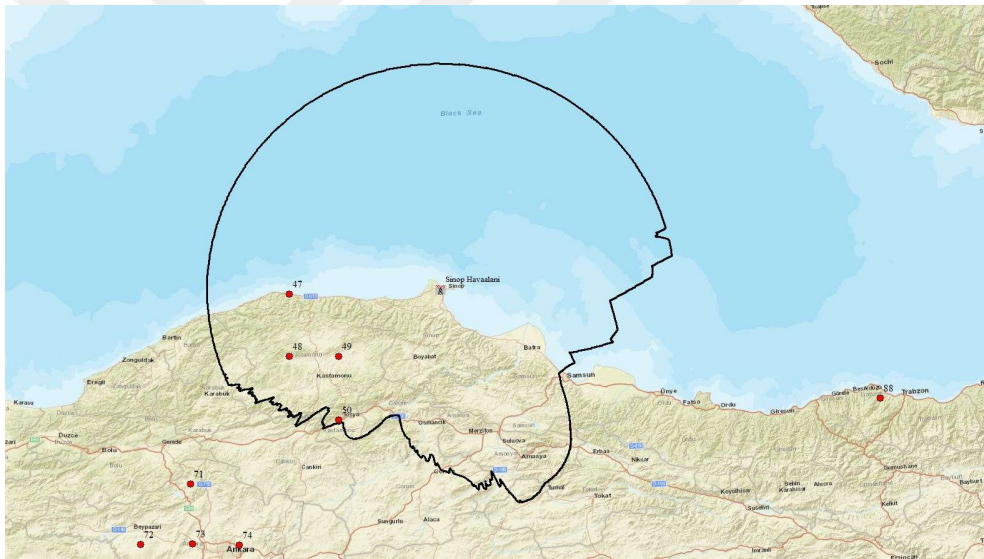
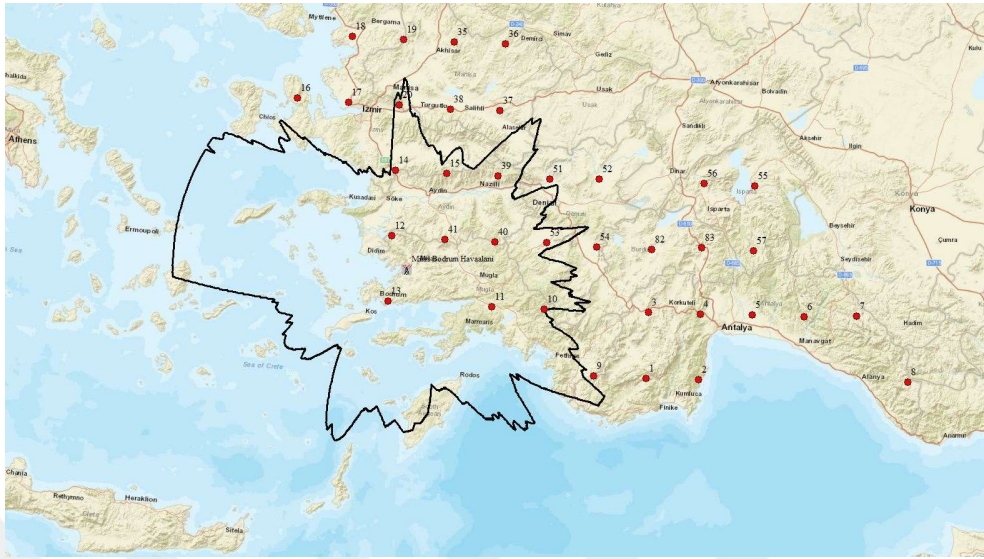


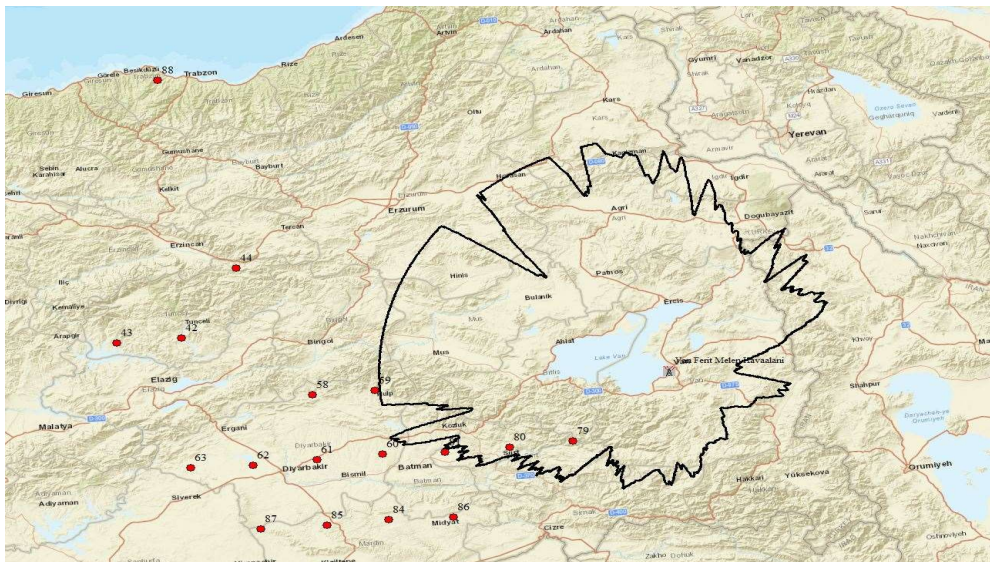
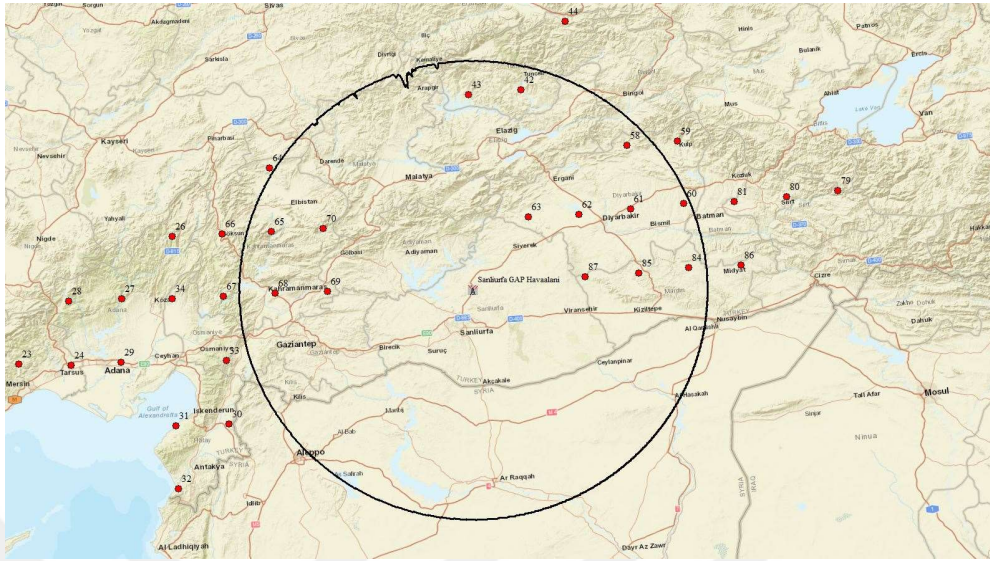


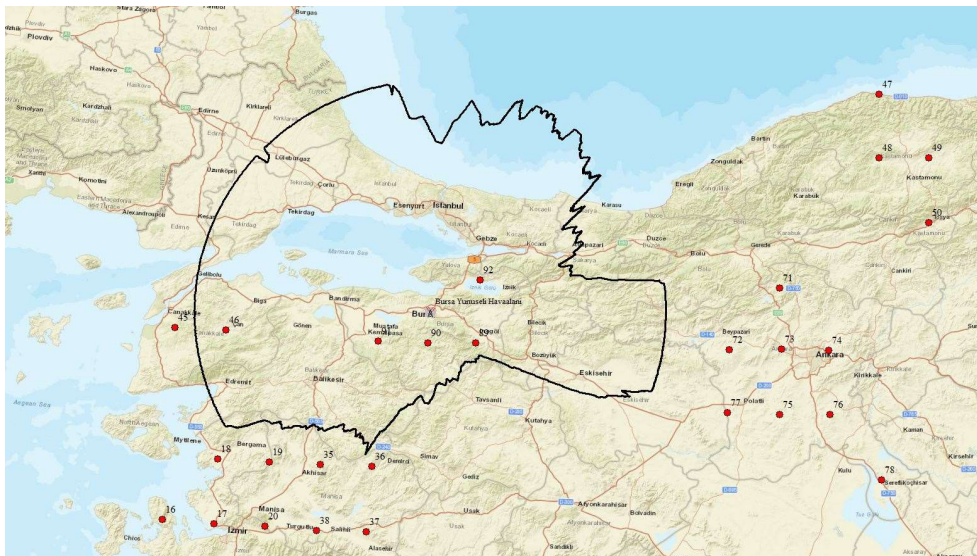
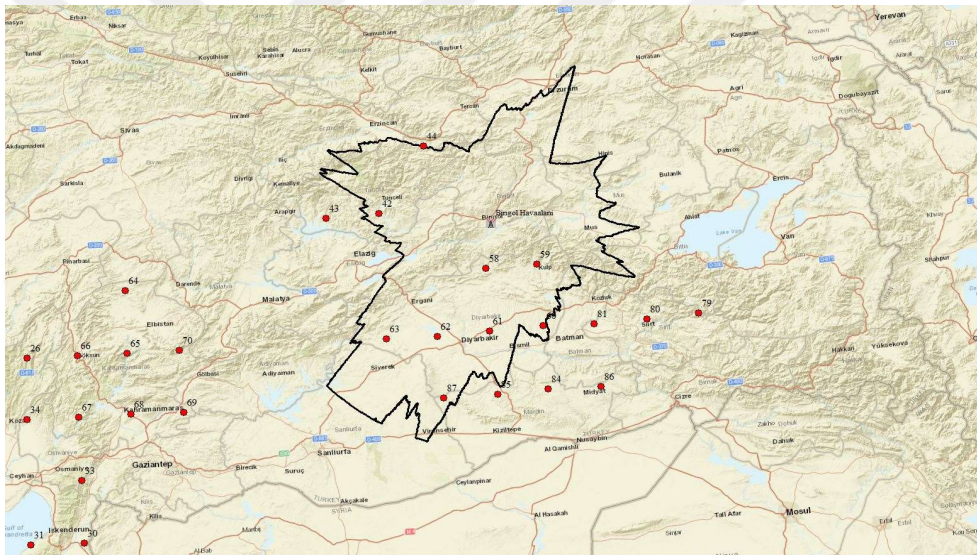
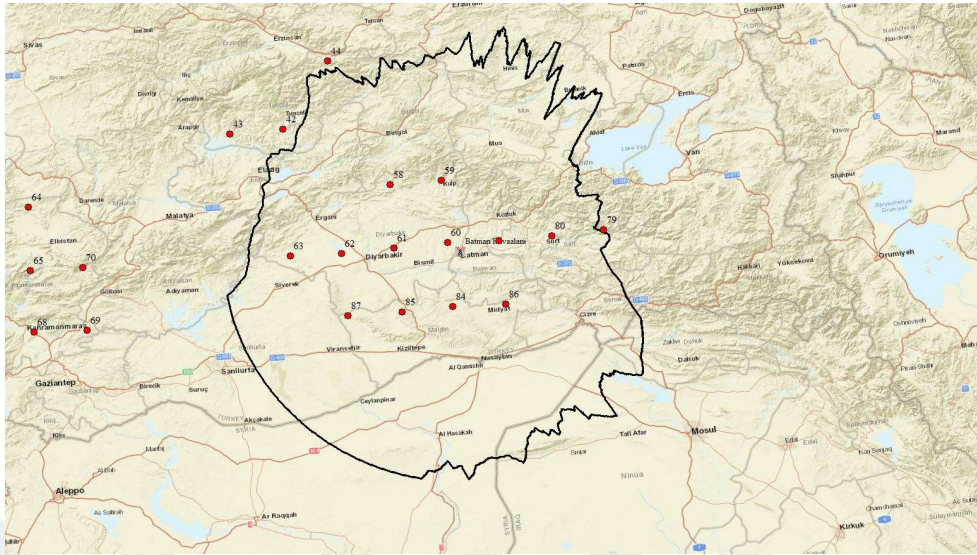


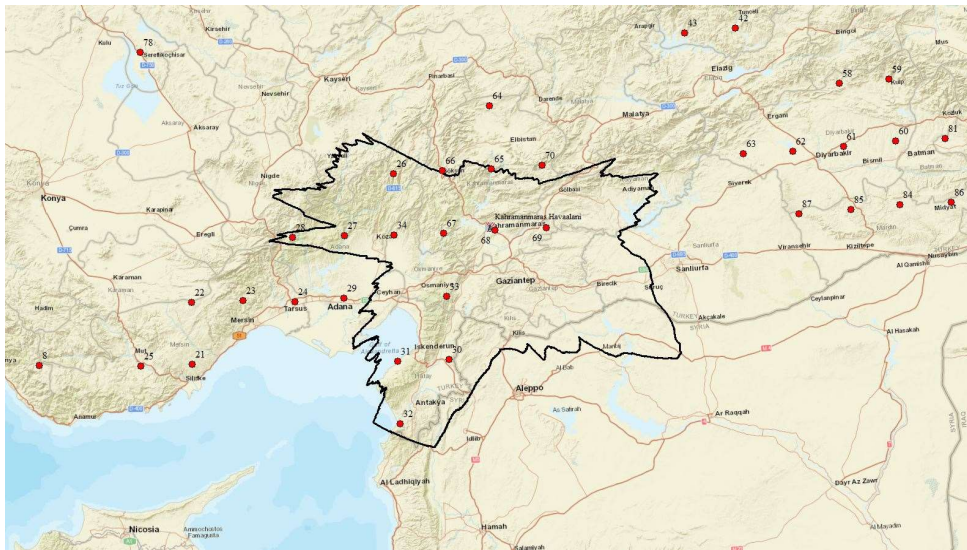
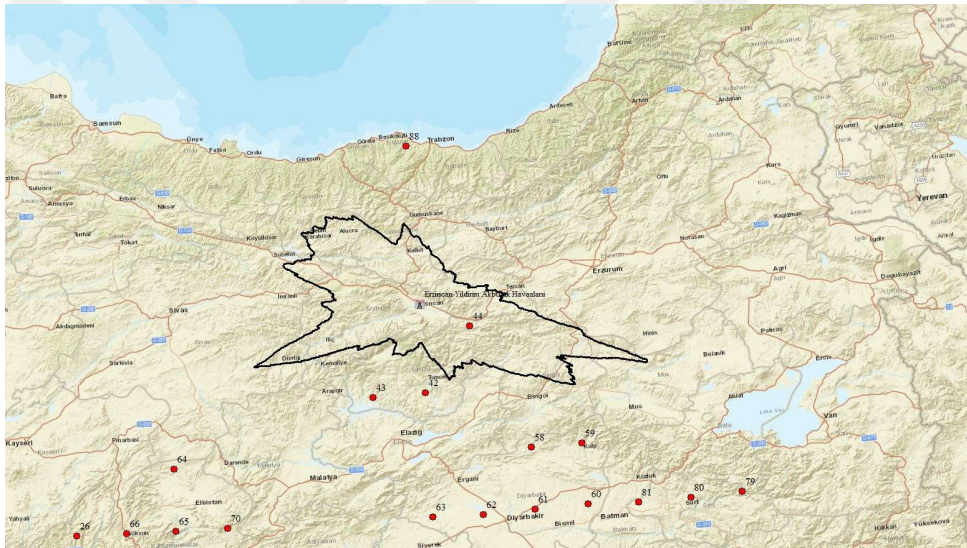
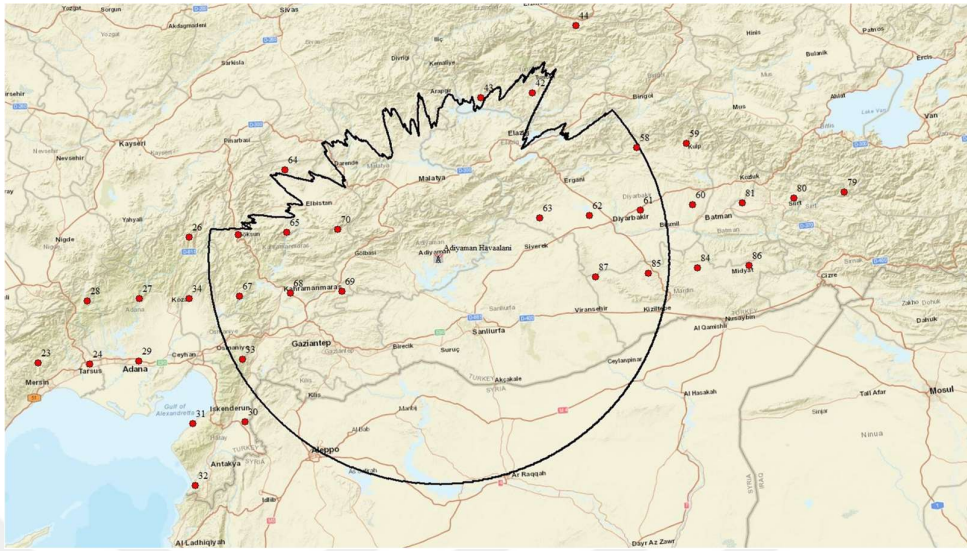


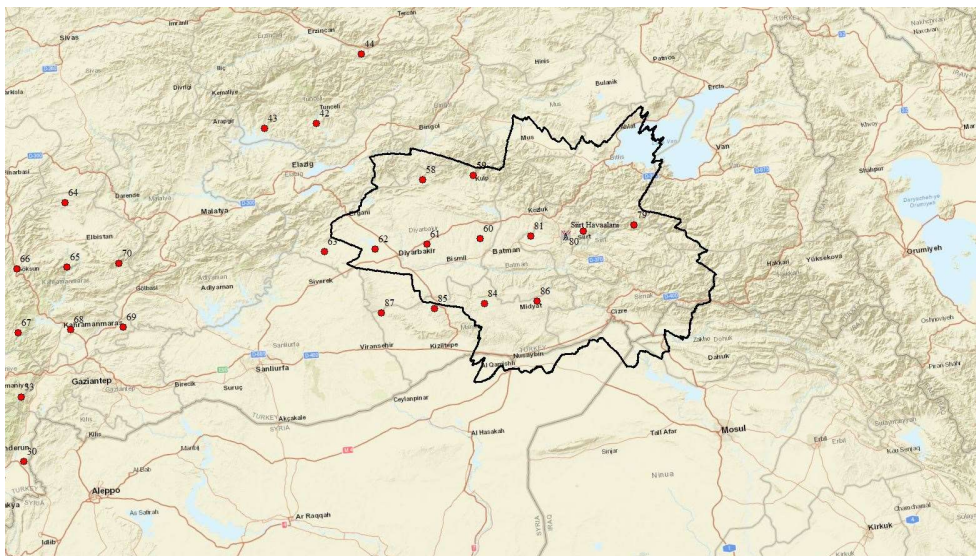
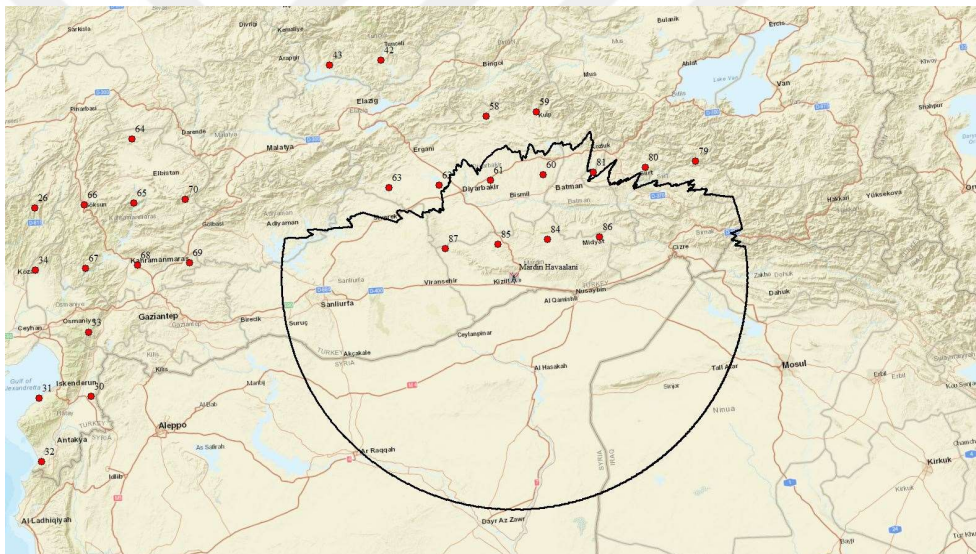
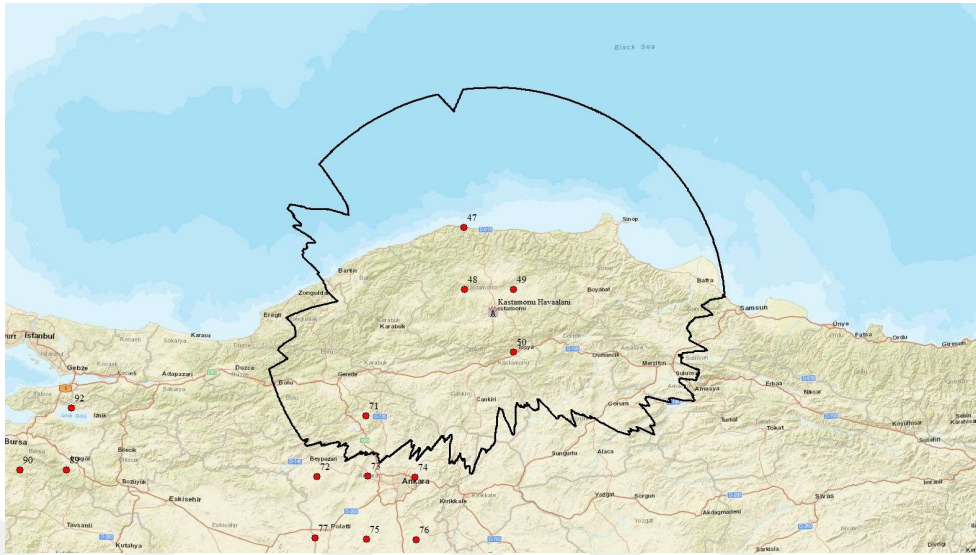













```

Proven optimal solution
MIP Solution:      13.000000   (0 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      13.000000   (0 iterations)

Best possible:    13.000000
Absolute gap:     0.000000
Relative gap:     0.000000

```

---- EQU amac				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	13.0000	+INF	.
---- VAR x				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	1.0000	1.0000	1.0000
2	.	1.0000	1.0000	1.0000
3	.	1.0000	1.0000	1.0000
4	.	.	1.0000	1.0000
5	.	.	1.0000	1.0000
6	.	.	1.0000	1.0000
7	.	1.0000	1.0000	1.0000
8	.	1.0000	1.0000	1.0000
9	.	.	1.0000	1.0000
10	.	.	1.0000	1.0000
11	.	.	1.0000	1.0000
12	.	1.0000	1.0000	1.0000
13	.	1.0000	1.0000	1.0000
14	.	.	1.0000	1.0000
15	.	.	1.0000	1.0000
16	.	1.0000	1.0000	1.0000
17	.	.	1.0000	1.0000
18	.	.	1.0000	1.0000
19	.	.	1.0000	1.0000
20	.	1.0000	1.0000	1.0000
21	.	1.0000	1.0000	1.0000
22	.	1.0000	1.0000	1.0000
23	.	.	1.0000	1.0000
24	.	.	1.0000	1.0000
25	.	.	1.0000	1.0000
26	.	.	1.0000	1.0000
27	.	.	1.0000	1.0000
28	.	.	1.0000	1.0000
29	.	.	1.0000	1.0000
30	.	1.0000	1.0000	1.0000
31	.	.	1.0000	1.0000
32	.	1.0000	1.0000	1.0000


```

**** REPORT SUMMARY :
0 NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

```