

**T.C.**  
**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**DENİZCİLİKTE EMNİYET, GÜVENLİK VE ÇEVRE YÖNETİMİ**  
**DOKTORA PROGRAMI**  
**DOKTORA TEZİ**

**EGE DENİZİ ARAMA KURTARMA BÖLGESİNDE GERÇEKLEŞECEK**  
**ARAMA KURTARMA FAALİYETLERİ KAPSAMINDA KULLANILACAK**  
**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ SAHİL İSTASYON MEVKİLERİNİN**  
**OPTİMİZASYONU**

**Turuğsan OLGAÇ**

**Danışman**

**Doç.Dr. Ali Cemal TÖZ**

**İZMİR – 2020**

## YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Ege Denizi Arama Kurtarma Bölgesinde Gerçekleşecek Arama Kurtarma Faaliyetleri Kapsamında Kullanılacak İnsansız Hava Araçlarının Sahil İstasyon Mevkilerinin Optimizasyonu” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

11/09/2020

Turuğsan OLGAÇ

## **ÖZET**

**Doktora Tezi**

**Ege Denizi Arama Kurtarma Bölgesinde Gerçekleşecek Arama Kurtarma  
Faaliyetleri Kapsamında Kullanılacak İnsansız Hava Araçlarının Sahil İstasyon  
Mevkilerinin Optimizasyonu  
Turuğsan OLGAÇ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi**

**Sosyal Bilimler Enstitüsü**

**Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Doktora Programı**

Arama ve kurtarma (A/K) operasyonları kara veya denizlerde meydana gelen kaza/olaylarda insan hayatını kurtarmak amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlerdir. Bu operasyonların kısa sürede ve doğru şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İnsansız hava araçları (İHA) sürat avantajları, kamera, radar gibi kazazedeleri takip edebilecekleri faydalı yüklere sahip olmaları sebebiyle A/K operasyonlarında kullanılabilecek başarılı bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesinde gerçekleşecek arama ve kurtarma faaliyetlerinde İHA'ları etkin bir şekilde kullanabilmek maksadıyla bu araçların kontrol edilecekleri istasyonların mevkilerinin en uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada İHA'ların sahil kontrol istasyonlarının yerlerini belirlemede etkili olan coğrafi ve meteorolojik koşullar, İHA'lardan kaynaklı kısıtlar, Çanakkale Boğazı gibi stratejik su yollarının önem derecesi, kaza/olay yoğunlukları gibi parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler belirlendikten sonra problemi çözecek matematiksel modelin tasarımına başlanmıştır. Problem konusu itibarıyla tesis yeri seçimi problemidir ve çözüm için hazırlanan model önce küme kaplama sonrasında da maksimum kaplama denklemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Model oluşturulduktan sonra GAMS (General Algebraic Modeling System) isimli programlama diliyle çözümlenerek Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesi için en uygun mevkiler bulunmuştur.

**Hazırlanan matematiksel model, Ege Denizi dışındaki farklı coğrafi ve meteorolojik koşulların etkili olduğu, deniz kaza/olaylarının farklı derecede yaşandığı farklı coğrafyalar içinde kullanıma hazırdır. Model, A/K dışında da hastanelerin, itfaiye istasyonlarının acil müdahale merkezleri gibi alanların konumlarının belirlenmesi amacıyla da kullanılabilecektir.**

**Anahtar Kelimeler: Arama ve kurtarma, insansız hava aracı, tesis yeri seçimi, tamsayılı doğrusal programlama, en iyileme (optimizasyon).**



## **ABSTRACT**

**Doctoral Thesis**

**Doctor of Philosophy(PhD)**

**Optimization of Coast Control Station Locations of Unmanned Aerial  
Vehicles to Be Used in Search and Rescue Operations Carried out in  
Aegean Sea Search and Rescue Zone**

**Turuğsan OLGAÇ**

**Dokuz Eylül University Graduate School of Social Sciences**

**Department of Marine Transportation Engineering**

**Maritime Safety Security and Environmental Management Doctorate**

Search and rescue operations are activities carried out in order to save human life in accidents/incidents that occur on land or sea. These operations should be carried out in a short time and correctly. The speed advantages of unmanned aerial vehicles, having useful loads to track victims such as cameras and radars make these vehicles a successful option to be used in search and rescue operations.

In order to use unmanned aerial vehicles effectively in the search and rescue activities that will take place in the Aegean Sea Search and Rescue Region, the locations of the stations where these vehicles will be controlled should be determined in the most appropriate way. In this study, parameters such as geographical and meteorological conditions that are effective in determining the locations of costal stations of unmanned aerial vehicles, constraints caused by unmanned aerial vehicles, the importance of Çanakkale Strait, accident/incident densities were determined. After these parameters were determined the design of the mathematical model to solve the problem was started. In terms of its subject, the problem is the facility selection problem and the solution model was prepared by using set coverage equations and maximum coverage equations. After the model was created, it was solved with GAMS (General Algebraic Modeling System) and the most suitable locations for the Aegean Sea Search and Rescue Region were found.

The prepared mathematical model is ready for use in different geographies where different geographical and meteorological conditions outside the Aegean Sea are effective and where marine accidents/incidents occur at different degrees. Apart from the search and rescue, the model can also be used to determine the locations of areas such as hospitals, fire stations, emergency response centers.

**Keywords:** Search and rescue, unmanned aerial vehicle, facility location selection, integer linear programming, optimization.



**EGE DENİZİ ARAMA KURTARMA BÖLGESİNDE GERÇEKLEŞECEK ARAMA  
KURTARMA FAALİYETLERİ KAPSAMINDA KULLANILACAK İNSANSIZ HAVA  
ARAÇLARININ SAHİL İSTASYON MEVKİLERİNİN OPTİMİZASYONU**

**İÇİNDEKİLER**

|                  |       |
|------------------|-------|
| TEZ ONAY SAYFASI | ii    |
| YEMİN METNİ      | iii   |
| ÖZET             | iv    |
| ABSTRACT         | vi    |
| İÇİNDEKİLER      | viii  |
| KISALTMALAR      | xiv   |
| TABLolar LİSTESİ | xvi   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | xvii  |
| EKLER LİSTESİ    | xviii |
| <br>             |       |
| GİRİŞ            | 1     |

**BİRİNCİ BÖLÜM**

**ARAMA VE KURTARMA OPERASYONLARI**

|                                                                           |   |
|---------------------------------------------------------------------------|---|
| 1.1. ARAMA KURTARMA KAVRAMI                                               | 3 |
| 1.1.1. Arama ve Kurtarmanın Tanımı                                        | 3 |
| 1.1.2. Arama ve Kurtarmanın Tarihçesi                                     | 3 |
| 1.1.3. Denizde Arama ve Kurtarma Operasyonları                            | 6 |
| 1.1.3.1. Denizde Arama ve Kurtarma Operasyonlarının<br>Önemi              | 6 |
| 1.1.3.2. Denizde Arama ve Kurtarma Organizasyonu                          | 7 |
| 1.1.3.3. Denizde Arama ve Kurtarma<br>Operasyonlarında Kullanılan Araçlar | 9 |

|          |                                                                                                                                        |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.     | İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ ARAMA VE KURTARMA<br>OPERASYONLARINDA KULLANIMI                                                              | 10 |
| 1.2.1.   | İnsansız Hava Araçlarına Genel Bir Bakış                                                                                               | 11 |
| 1.2.2.   | İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Birleşenleri                                                                                         | 13 |
| 1.2.3.   | İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması                                                                                            | 14 |
| 1.2.4.   | İnsansız Hava Aracı Sistemleri Üzerine Yapılan<br>Otomasyon Çalışmaları                                                                | 15 |
| 1.2.5.   | İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları                                                                            | 19 |
| 1.2.5.1. | İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Avantajları                                                                                          | 19 |
| 1.2.5.2. | İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Dezavantajları                                                                                       | 20 |
| 1.2.6.   | İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları                                                                                            | 20 |
| 1.2.7.   | İnsansız Hava Araçlarına İlişkin Mevzuat                                                                                               | 21 |
| 1.2.8.   | İnsansız Hava Araçlarının Arama ve Kurtarma<br>Operasyonlarında Kullanımı                                                              | 22 |
| 1.2.9.   | Türkiye’de Gerçekleştirilen İHA Projeleri                                                                                              | 25 |
| 1.2.9.1. | ANKA Projesi                                                                                                                           | 25 |
| 1.2.9.2. | BAYRAKTAR Taktik İHA Projesi                                                                                                           | 26 |
| 1.3.     | TÜRK ARAMA VE KURTARMA ORGANİZASYONU,<br>ARAMA VE KURTARMA BÖLGELERİ VE ULUSLARARASI<br>İŞ BİRLİĞİ FAALİYETLERİ/YAŞANAN ANLAŞMAZLIKLAR | 28 |
| 1.3.1.   | Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu                                                                                                   | 28 |
| 1.3.1.1. | Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği                                                                                                     | 28 |
| 1.3.1.2. | Ulusal Arama ve Kurtarma Planı                                                                                                         | 29 |
| 1.3.2.   | Arama ve Kurtarma Bölgeleri ve Uluslararası<br>İş Birliği Faaliyetleri/Yaşanan Anlaşmazlıklar                                          | 31 |
| 1.3.2.1. | Karadeniz Arama ve Kurtarma Bölgesi                                                                                                    | 31 |
| 1.3.2.2. | Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesi                                                                                                   | 32 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.3.2.3. Akdeniz Arama ve Kurtarma Bölgesi                                 | 34 |
| 1.3.2.4. AB'nin Çevre Denizlerdeki Arama ve Kurtarma Uygulamalarına Etkisi | 35 |

## İKİNCİ BÖLÜM

### TESİS YERİ SEÇİM PROBLEMLERİ

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. TESİS YERİ SEÇİM PROBLEMLERİNİN TANIMI                                         | 37 |
| 2.1.1. Medyan Problemleri                                                           | 41 |
| 2.1.2. Merkez Problemleri                                                           | 43 |
| 2.1.3. Kaplama Problemleri                                                          | 45 |
| 2.1.3.1. Küme Kaplama Problemleri                                                   | 46 |
| 2.1.3.2. Maksimum Kaplama Problemleri                                               | 47 |
| 2.1.3.3. İkili Standart Model                                                       | 48 |
| 2.1.3.4. Maksimum Beklenen Kaplama Problemi                                         | 50 |
| 2.1.4.5. Maksimum Geçerli Kaplama Problemi                                          | 51 |
| 2.2. TESİS YERİ OPTİMİZASYONUNDA KULLANILABİLECEK MATEMATİKSEL MODELLEME KAVRAMLARI | 51 |
| 2.2.1. Doğrusal Programlama ve Optimizasyon                                         | 53 |
| 2.2.2. Doğrusal Programlama ile İlgili Varsayımlar                                  | 54 |
| 2.2.2.1. Belirlilik Varsayımı (Certainty)                                           | 54 |
| 2.2.2.2. Doğrusallık (Linearity)                                                    | 55 |
| 2.2.2.3. Negatif Olmama (Non-Negativity)                                            | 55 |
| 2.2.2.4. Bölünebilirlik (Divisibility)                                              | 55 |
| 2.2.2.5. Toplanabilirlik (Additivity)                                               | 55 |
| 2.2.2.6. Orantısallık (Proportionality)                                             | 55 |
| 2.2.3. Doğrusal Programlama Probleminin Matematiksel Gösterimi                      | 56 |
| 2.2.4. Doğrusal Programlama Problemlerinin Çözüm Yöntemleri                         | 57 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.4.1. Grafik Çözüm Tekniği                                    | 57 |
| 2.4.1.2. Simpleks Metodu                                         | 57 |
| 2.2.5. Doğrusal Programlamada Dualite Kavramı                    | 63 |
| 2.2.5.1. Dual Problem ve Dualite Kavramı                         | 63 |
| 2.2.5.2. Gölge Fiyatlar ve Dual Problemin Yorumlanması           | 65 |
| 2.2.6. Tamsayılı Doğrusal Programlama                            | 65 |
| 2.2.6.1. Tamsayılı Doğrusal Programlamada Çözüm Yöntemleri       | 67 |
| 2.2.6.1.1. Grafiksel Çözüm Yöntemleri                            | 67 |
| 2.2.6.1.2. Kesme Düzlemi Yöntemleri                              | 67 |
| 2.2.6.1.3. Dal-Sınır Yöntemi                                     | 67 |
| 2.2.6.1.4. Dal-Kesme Yöntemi                                     | 68 |
| 2.2.6.1.5. Tamsayılı Olmayan Çözümün Yuvarlanması Yöntemi        | 69 |
| 2.2.7. Doğrusal Programlama Problemlerinin Duyarlılık Analizleri | 69 |

### ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

#### EGE DENİZİ ARAMA KURTARMA BÖLGESİNDE GERÇEKLEŞECEK ARAMA KURTARMA FAALİYETLERİ KAPSAMINDA KULLANILACAK İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ SAHİL İSTASYON MEVKİLERİNİN OPTİMİZASYONU

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 3.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU           | 70 |
| 3.2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI | 70 |
| 3.2.1. Araştırmanın Amacı          | 70 |
| 3.2.2. Araştırmanın Kapsamı        | 71 |
| 3.3. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ            | 71 |
| 3.4. ARAŞTIRMANIN SÜREÇLERİ        | 72 |
| 3.5. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ          | 73 |

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.1. Veri Toplama Aracı                                                                                          | 74  |
| 3.5.1.1. Araştırma Kapsamında Belirlenen Görüşme Yöntemi                                                           | 74  |
| 3.5.1.2. Görüşmeler Sonucunda Elde Edilen Bulgular                                                                 | 76  |
| 3.5.1.3. Kaza/Olay Yoğunluk Oranlarının Belirlenmesi                                                               | 78  |
| 3.5.2. Verilerin Analizi                                                                                           | 78  |
| 3.5.2.1. Problem ile İlgili Varsayımlar                                                                            | 79  |
| 3.5.2.2. Matematiksel Model                                                                                        | 79  |
| 3.5.2.3. Aday Noktaların Belirlenmesi                                                                              | 81  |
| 3.5.2.4. Talep Noktalarının Belirlenmesi                                                                           | 82  |
| 3.5.2.5. Talep Noktalarının Öncelik Değerleri                                                                      | 87  |
| 3.5.2.6. Aday Noktaların Coğrafi ve Meteorolojik<br>Uygunluk Değerleri                                             | 88  |
| 3.5.2.7. Aday Noktaları ile Talep Noktaları Arasındaki Mesafeler                                                   | 89  |
| 3.5.2.8. Aday Noktalar ile Talep Noktaları Arasındaki Mesafe<br>Uygunluk Değerleri                                 | 91  |
| 3.5.3. Bulgular                                                                                                    | 93  |
| 3.5.3.1. Problemin Modellenmesi                                                                                    | 94  |
| 3.5.3.2. Problemin Çözümü                                                                                          | 97  |
| 3.5.3.3. Duyarlılık Analizleri                                                                                     | 97  |
| 3.5.3.3.1. Talep Noktalarının Önem Dereceleri<br>Üzerinden Gerçekleştirilen Duyarlılık Analizleri                  | 98  |
| 3.5.3.3.2. Coğrafi ve Meteoroloji Uygunluk Değer<br>Ağırlıkları Üzerinden Gerçekleştirilen<br>Duyarlılık Analizler | 100 |
| 3.5.3.3.3. Duyarlılık Analizlerinin Sonuçlarını<br>Gösteren Genel Grafik                                           | 103 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 3.5.4. Tartışma | 104 |
| SONUÇ           | 107 |
| KAYNAKÇA        | 114 |
| EKLER           |     |



## KISALTMALAR

|                |                                                                                 |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AAKKM</b>   | Ana Arama ve Kurtarma Koordinasyon Merkezi                                      |
| <b>AFAD</b>    | Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı                                          |
| <b>AHP</b>     | Analitik Hiyerarşi Süreci                                                       |
| <b>A/K</b>     | Arama ve Kurtarma                                                               |
| <b>AKB</b>     | Arama ve Kurtarma Bölgesi                                                       |
| <b>AKBİR</b>   | Arama ve Kurtarma Birlikleri                                                    |
| <b>AKH</b>     | Arama ve Kurtarma Hizmeti                                                       |
| <b>AKKM</b>    | Arama ve Kurtarma Koordinasyon Merkezi                                          |
| <b>CUD</b>     | Coğrafi Uygunluk Değeri                                                         |
| <b>EUROSUR</b> | Avrupa Sınır Gözetleme Sistemi                                                  |
| <b>FIR</b>     | Uçuş Bilgi Bölgesi                                                              |
| <b>FRONTEX</b> | AB Üye Ülkelerinin Dış Sınırlarının Yönetimi için Operasyonel İş Birliği Ajansı |
| <b>GKRY</b>    | Güney Kıbrıs Rum Yönetimi                                                       |
| <b>HUD</b>     | Meteorolojik Uygunluk Değeri                                                    |
| <b>IAMSAR</b>  | Uluslararası Havacılık ve Denizcilik A/K Kılavuzu                               |
| <b>ICAO</b>    | Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı                                          |
| <b>IMCO</b>    | Uluslararası Denizcilik İstişare Örgütü                                         |
| <b>IMO</b>     | Uluslararası Denizcilik Örgütü                                                  |
| <b>İHA</b>     | İnsansız Hava Aracı                                                             |
| <b>İHS</b>     | İnsansız Hava Aracı Sistemi                                                     |
| <b>İHSÇG</b>   | İnsansız Hava Aracı Sistemleri Çalışma Grubu                                    |
| <b>KBRN</b>    | Kimyasal Biyolojik Radyonükleer                                                 |
| <b>KKM</b>     | Kurtarma Koordinasyon Merkezi                                                   |
| <b>MEB</b>     | Münhasır Ekonomik Bölge                                                         |
| <b>MBKP</b>    | Maksimum Beklenen Kaplama Problemi                                              |
| <b>MGKP</b>    | Maksimum Geçerli Kaplama Problemi                                               |
| <b>MUD</b>     | Mesafe Uygunluk Değeri                                                          |
| <b>NATO</b>    | Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü                                                 |
| <b>OSC</b>     | Olay Yeri Koordinatörü                                                          |
| <b>RCC</b>     | Kurtarma Koordinasyon Merkezi                                                   |
| <b>SAR</b>     | Arama ve Kurtarma/Search and Rescue                                             |
| <b>SC</b>      | SAR Koordinatörü                                                                |

## KISALTMALAR

|              |                                                         |
|--------------|---------------------------------------------------------|
| <b>SMC</b>   | SAR Görev Koordinatörü                                  |
| <b>SOLAS</b> | Denizde Can Güvenliğine İlişkin Uluslararası Sözleşmesi |
| <b>SRR</b>   | Arama ve Kurtarma Bölgesi                               |
| <b>SSM</b>   | Savunma Sanayi Başkanlığı                               |
| <b>TDP</b>   | Tam Sayılı Doğrusal Programlama                         |
| <b>YAKKM</b> | Yardımcı Arama ve Kurtarma Koordinasyon Merkezi         |
| <b>YKi</b>   | Yer Kontrol İstasyonu                                   |
| <b>YVT</b>   | Yer Veri Terminali                                      |



## TABLolar LİSTESİ

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1:</b> İHA'lar Üzerine Yapılan Çalışmalar ile İlgili Literatür Taraması                                      | 10 |
| <b>Tablo 2:</b> İHA'ların Operasyonel Karakteristiklerine Göre Sınıflandırılması                                      | 14 |
| <b>Tablo 3:</b> İHS'lerin Otonomluk Dereceleri                                                                        | 16 |
| <b>Tablo 4:</b> Anka Taktik İHA'nın Özellikleri                                                                       | 26 |
| <b>Tablo 5:</b> Bayraktar Taktik İHA'nın Özellikleri                                                                  | 27 |
| <b>Tablo 6:</b> Tesis Yeri Seçimi Problemleri ile İlgili Literatür Taraması                                           | 40 |
| <b>Tablo 7:</b> Tesis Yeri Seçimi Problemlerinin Çözümünde Kullanılabilecek Yönetmeler ile İlgili Literatür Taraması. | 52 |
| <b>Tablo 8:</b> Eşitsizlikleri Eşitlik Haline Getirmek İçin Kullanılan Değişkenlere Yönelik Hususlar                  | 59 |
| <b>Tablo 9:</b> Başlangıç Simpleks Tablosunun Oluşturulması                                                           | 60 |
| <b>Tablo 10:</b> Simpleks Tabloda Anahtar Satırın Bulunması İçin Oran Tablosu                                         | 61 |
| <b>Tablo 11:</b> Yeni Simpleks Tablo                                                                                  | 62 |
| <b>Tablo 12:</b> Nihai Simpleks Tablo                                                                                 | 63 |
| <b>Tablo 13:</b> İHA'ların Yer Kontrol İstasyonlarının Belirlenmesinde Etkili Kriterler                               | 77 |
| <b>Tablo 14:</b> Aday Noktaları Koordinatları                                                                         | 81 |
| <b>Tablo 15:</b> Talep Noktalarının Koordinatları                                                                     | 83 |
| <b>Tablo 16:</b> Dış Sınırların Koordinatları                                                                         | 84 |
| <b>Tablo 17:</b> Dış Sınırlar ve Aralarında Belirlenen Mevkilerin Koordinatları                                       | 85 |
| <b>Tablo 18:</b> Talep Noktalarının Öncelik Değerleri                                                                 | 87 |
| <b>Tablo 19:</b> Sınır Noktalarının Öncelik Değerleri                                                                 | 88 |
| <b>Tablo 20:</b> Aday Noktalarının Coğrafi ve Meteorolojik Uygunluk Değerleri                                         | 89 |
| <b>Tablo 21:</b> Aday Noktalar ile Talep Noktaları Arasındaki Mesafeler                                               | 89 |
| <b>Tablo 22:</b> Aday Noktalar ile Sınır Noktaları Arasındaki Mesafeler                                               | 90 |
| <b>Tablo 23:</b> Mesafe Uygunluk Değeri Derecelendirme Tablosu                                                        | 91 |
| <b>Tablo 24:</b> j'inci Aday Noktanın i'nci Talep Noktasına Olan Mesafe Uygunluk Değeri                               | 91 |
| <b>Tablo 25:</b> j'inci Aday Noktanın i'nci Sınır Noktasına Olan Mesafe Uygunluk Değeri                               | 92 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 1:</b> Türk Arama ve Kurtarma Bölgesi                                           | 8   |
| <b>Şekil 2:</b> Anka İnsansız Hava Aracı                                                 | 26  |
| <b>Şekil 3:</b> Bayraktar Taktik İnsansız Hava Aracı                                     | 27  |
| <b>Şekil 4:</b> Araştırma Süreci                                                         | 72  |
| <b>Şekil 5:</b> Aday Noktalar                                                            | 82  |
| <b>Şekil 6:</b> 2015-2020 Yılları Arasında Ege Denizinde Gerçekleşen Kaza/Olay Mevkileri | 82  |
| <b>Şekil 7:</b> Talep Noktaları                                                          | 83  |
| <b>Şekil 8:</b> Dış Sınırlar                                                             | 84  |
| <b>Şekil 9:</b> Dış Sınırlar ve Aralarında Belirlenen Mevkiler                           | 86  |
| <b>Şekil 10:</b> Talep ve Aday Noktalarının Genel Görünümü                               | 86  |
| <b>Şekil 11:</b> Çözüm Haritası                                                          | 97  |
| <b>Şekil 12:</b> Duyarlılık Analizi 1-1 Kaplama Durumu                                   | 98  |
| <b>Şekil 13:</b> Duyarlılık Analizi 1-2 Kaplama Durumu                                   | 99  |
| <b>Şekil 14:</b> Duyarlılık Analizi 1-3 Kaplama Durumu                                   | 100 |
| <b>Şekil 15:</b> Duyarlılık Analizi 2-1 Kaplama Durumu                                   | 102 |
| <b>Şekil 16:</b> Duyarlılık Analizi 2-2 Kaplama Durumu                                   | 103 |
| <b>Şekil 17:</b> Duyarlılık Analizleri Sonucunda Elde Edilen İstasyon Sayısı Grafiği     | 103 |

## **EKLER LİSTESİ**

**EK 1:** Araştırmada Kullanılan Görüşme Formu

ek s.1

**EK 2:** Modelin GAMS Yazılımı Çözümü

ek s.2



## GİRİŞ

Deniz ulaştırması, dünya ekonomisinde taşımacılığın en yoğun yaşandığı ulaştırma modudur. Dünya ticaret hacmindeki yüklerin yaklaşık yüzde sekseni deniz yoluyla taşınmaktadır ([https://www.unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-\(Series\).aspx](https://www.unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-(Series).aspx)., Erişim Tarihi 11.09.2020). Özellikle son yıllarda artan ticaret hacmi ve talep sebebiyle deniz trafiğı dünya genelinde hızlı bir artış göstermekte ve farklı tipteki yükler farklı tipteki gemilerle taşınmaktadır. Deniz trafiğindeki bu artış paralelinde deniz kazalarında da artış olduğı görölmektedir. Devletlerde gerek kendi ölkelerinin deniz emniyetini sağlamak hem de uluslararası anlaşmalardan kaynaklanan yükümlölüklerini yerine getirmek için yaşanan deniz kazalarına süratli şekilde müdahale etmek maksadıyla çeşitli araç ve sistemler kullanılmaktadırlar.

Deniz ticari trafiğinin yoğun olduğı ve düzensiz göçmen faaliyetlerinin sıklıkla yaşandığı Ege Denizi gibi önemli bir deniz alanında meydana gelebilecek deniz kazalarına en kısa sürede müdahale edilmesi gerekmektedir. Bu kazalar sonrasında icra edilecek A/K faaliyetlerinde yaşanabilecek gecikmelerin can kayıplarının oluşmasına yol açabileceğı gibi, deniz trafiğinin aksaması sebebiyle ekonomik kayıpların oluşması şeklinde olumsuz sonuçları olacaktır. Hazırlanan çalışma Ege Denizinde yaşanacak deniz kazalarına İHA'lar tarafından etkin ve etkili müdahale edilebilmesi için bu araçların sahil kontrol istasyonlarının mevkilerini optimum şekilde belirleyebilmek maksadıyla hazırlanmıştır.

A/K insan hayatını kurtarmayı amaçlayan bir faaliyettir ve 20 yy. başlarında gerçekleşen Titanik Faciası sonrasında deniz kazaları uluslararası kamuoyunun gündeminde yer almaya başlamıştır. Deniz kazalarına tekne, bot, helikopter gibi vasıtaların yanında İHA gibi süratli ve fonksiyonel araçlarla müdahale edilmesi A/K operasyonlarının başarısını artıracaktır. Tezin birinci bölümünde A/K operasyonları ve bu operasyonlarda İHA'ların kullanımıyla ilgili hususlar ifade edilmektedir. Ayrıca A/K operasyonları devletlere uluslararası anlaşmalar gereğince sorumluluk yüklediğı için Ege Denizi ve diğere çevre denizlerde yaşanan uluslararası iş birliğı faaliyetleri ve yaşanan anlaşmazlıklar ile Türk A/K organizasyonu ilk bölüm içerisinde belirtilmektedir.

İHA sahil kontrol istasyonlarının kapsama alanları ve diğer kısıt faktörlerine bağlı olarak konumlandırılmaları konusu “tesis yeri seçimi problemleri” arasında yer almaktadır. Tesis yeri seçim problemleri  $n$  adet tesisin  $m$  adet konuma ( $n < m$ ) taşıma maliyetlerinin minimize edilecek şekilde yerleştirilmesi ile ilgilenmektedir. Tezin ikinci bölümü tesis yeri seçimi problemleri ve çözüm yöntemlerine ayrılmıştır.

Tesis yeri seçimi problemlerinin büyük bir kısmı doğrusal programlama yöntemleriyle çözülebilmektedir. Doğrusal Programlama, optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir ve belirli doğrusal eşitliklerin kısıtlayıcı koşulları altında doğrusal bir amaç fonksiyonunu optimumlaştırmak şeklinde tanımlanır. Ege Denizi için hazırlanan bu çalışmada da karar değişkenleri belirlenerek tespit edilen kısıtlar çerçevesinde matematiksel model oluşturulmuştur. Karar değişkenleri tam sayılı değerler aldıkları için oluşturulan model tam sayılı doğrusal programlama modelidir ve bu modelde kazazedelerin bulundukları mevkiler en az bir İHA sahil kontrol istasyonuna atanmıştır. Tezin son bölümünde hazırlanan optimizasyon modeli ve modelin çözümü ifade edilmektedir.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### ARAMA VE KURTARMA OPERASYONLARI

#### 1.1. ARAMA VE KURTARMA KAVRAMI

##### 1.1.1. Arama ve Kurtarmanın Tanımı

Litaratür incelendiğinde Arama ve Kurtarma (A/K), herhangi bir doğal veya insan kaynaklı afet (kaza) nedeniyle acil yardıma ihtiyaç duyan kişilerin yerlerini belirleme, gerekli durumlarda ilk yardım uygulama ve daha ayrıntılı yardım alabilecekleri emniyetli bir bölgeye nakletme faaliyetleri olarak tanımlanmaktadır (Ural, 2018: 2). Arama ve Kurtarma için kısaltma olarakta ingilizce Search and Rescue kavramından oluşan SAR kısaltması kullanılır (Ural, 2018: 2). A/K, Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğinde; hava ve deniz vasıtalarının karada, havada, su üstünde ve su altında tehlikeye maruz kalması, kaybolması veya kazaya uğraması hallerinde bu vasıtalarındaki şahısların her türlü araç, özel teçhizat veya kurtarma birlikleri kullanılarak aranması ve kurtarılması işlemi olarak tanımlanmaktadır (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yayımlanan Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü'ne göre Arama ve kurtarma; Afet nedeniyle güç durumda kalmış insanların, özel olarak eğitilmiş ve donatılmış resmi veya özel ekipler tarafından aranması, bulunması ve kurtarılmasına yönelik çalışma olarak tanımlanmaktadır (www.afad.gov.tr, 16.07.2018).

##### 1.1.2. Arama ve Kurtarmanın Tarihçesi

A/K kavramı uluslararası olarak ilk kez 1944 Şikago Uluslararası Sivil Havacılık Sözleşmesi içerisinde yer almaktadır. Sözleşmede hava araçları tehlikeye düştüğü zaman gerçekleştirilecek A/K faaliyetleri belirtilmektedir. Denizde gerçekleştirilecek A/K'ya ilişkin hazırlanan ilk uluslararası sözleşme ise 1979 tarihli Hamburg Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesidir. A/K kavramı her ne kadar uluslararası sözleşmelerde 20.yy itibariyle yer almaya başlasa da bu faaliyet 13.yy'dan itibaren devletler tarafından düzenli bir şekilde gerçekleştirilmektedir (Arasan, 2014: 7).

O dönem gerçekleştirilen deniz ticareti faaliyetlerinde elverişsiz hava ve deniz şartları nedeniyle gemilerin batması ya da zarar görmesi bunlara bağlı olarak yüklerin kaybı, korsanlık faaliyetleri nedeniyle oluşan büyük kayıplar sigortacılık sektörünün oluşmasına yol açmış sonrasında da Avrupa’da büyük sigorta şirketleri kurulmuştur (Arseven, 1987: 415-431). Oluşan zararların azaltılması için sigorta şirketleri tarafından emniyet ve güvenlik tedbirleri uygulanmaya başlanmıştır. 19.yy’ın ikinci yarısında kurtarma-yardım hizmeti sağlayan firmalar/kaptanlar ortaya çıkmış bu firmalar/kaptanlar tarafından denizcilik firmalarına kurtarma hizmeti verilmeye başlanmıştır (Aybay ve diğerleri, 1998: 777).

20.yy’ın başlarına gelindiğinde denizcilik sektörünün gelişmesine bağlı olarak oluşan kayıpların büyüklüğü ve bu kayıpların önlenmesine yönelik uygulanan işlemlerde standardizasyonun sağlanamamış olması kurtarma ve yardım faaliyetlerinde birtakım zorunlulukların getirilmesini gerekli kılmıştır. Böylelikle 23 Eylül 1910 tarihinde Brüksel’de 18 ülkenin katılımıyla Denizde Kurtarma ve Yardıma Dair Bazı Kaidelerin Birleştirilmesi Hakkında Konvansiyon (Convantion for the Unification of Certain Rules of Law Relating to Assistance and Salvage at Sea) imzalanmıştır (Engin, 2009: 3). Bu konvansiyonda insan kurtarma faaliyetlerinden ziyade gemi ve yükün kurtarılması ele alınmış sigorta sözleşmelerinde gemi ve yükün kurtarılması anlamında kullanılan “salvage” üzerinde durulmuştur. Bu sözleşmeden sonra ise uluslararası boyutta denizlerde can güvenliğine ilişkin 1929 Londra Sözleşmesi, 1948 Denizlerde Can Emniyeti Sözleşmesi, 1960 Londra Sözleşmesi, 1974 Denizde Can Güvenliğine İlişkin Uluslararası Sözleşmesi (SOLAS) imzalanmıştır.

Denizcilik alanında emniyet ve can güvenliği konusunda temel alınan uluslararası mevzuatların hazırlanma aşaması ele alındığında 1912 yılında yaşanmış olan Titanik faciasının can emniyeti konusuna dikkat çektiği görülmektedir. 14 Nisan 1912 yılında Titanik isimli kruvaziyerin buz dağına çarparak batması ve sonrasında da 1500 kişinin hayatını kaybetmesi tüm dünya’da büyük yankı uyandırmış ve 1914 yılında İngiltere’de 13 ülkenin katıldığı bir konferans düzenlenmiş bu konferans sonrasında da 20 Ocak 1914 tarihinde SOLAS’ın ilk hali hazırlanmıştır (Ayan ve Baykal, 2010: 282). 1929, 1948, 1960 ve 1978 yıllarında yapılan sözleşmeler ile SOLAS yenilenmiştir. Halihazırda 1974 SOLAS Sözleşmesi yürürlüktedir bu sözleşmeye’de denizcilik alanındaki gelişmelere ve beliren ihtiyaçlara göre yıllara sari olarak güncellemeler ve eklemeler yapılmaktadır.

Tez'in basım tarihi itibari ile en son güncelleme 2014 yılında yapılmış bu güncellemenin uygulanmasına 2016 yılında başlanmıştır. SOLAS Sözleşmesi genel itibariyle gemi ve can emniyetini sağlamak üzere gemi dengesi, makine ve elektrik donanımları, yangın ihbarı/yangından korunma ve yangınla mücadele, can kurtarma donanımları, seyir güvenliği, yük istifi ve taşınması, özellikli yüklerin taşınması ve muhafazası gibi hususları içerir.

1846 yılında Akdeniz üzerinde balonla uçan Fransız havacı Francisque Arban'ın denize düşmesi ve İtalyan balıkçılar tarafından kurtarılması denizden bir hava kazazedesinin kurtarılmasına ilk örnek olarak gösterilmektedir (Arasan, 2014: 9). 25 Ağustos 1919 tarihinde Paris'ten Londra'ya ilk uluslararası hava taşımacılığı gerçekleşmiştir. II.Dünya Savaşı ve sonrasında ise yolcu uçaklarının kullanımı yaygınlaşmış, özellikle II.Dünya Savaşı sonrası dünya konjektüründe gelişen durumlar arama kurtarmanın da içinde bulunduğu havacılık faaliyetlerinin düzenlenmesi için uluslararası düzeyde uyulması gereken bir takım kurallar koyulmasını gerektirmiş ve 1944 yılında Şikago'da 52 ülkenin katılımı ile "Uluslararası Sivil Havacılık Sözleşmesi" imzalanmıştır. Bu sözleşmenin imzalanması ile sivil havacılığın gelişiminin düzenli ve güvenli bir şekilde gelişmesini sağlamak ve uluslararası hava taşımacılığı hizmetlerinin fırsat eşitliği içerisinde ayrıca ekonomik açıdan güçlü temellere yerleştirmek maksadıyla belirli prensip ve düzenlemeler konusunda karşılıklı mütekabata varılmış ve bu prensiplerin uygulayabilmek üzere Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) oluşturulmuştur (Jeppesen, 2001). Sözleşmenin 12 numaralı ekinde sözleşmede imzası bulunan ülkelerin kendi bölgelerinde, açık denizlerde A/K faaliyetlerini gerçekleştirirken ve devletler arasında koordine ederken bu eki kullanmaları gerektiği belirtilmektedir.

II.Dünya savaşı sonrasında, devletler arasındaki deniz ticaretini ilgilendiren her türlü teknik ilişkinin düzenlenmesi ve bunlara işlerlik kazandırılması, denizcilik sahasında her türlü emniyet ve güvenliğin sağlanması bu konuda standartlar getirilmesi konusunda devletlerin teşvik edilmesi, denizde seyir konusunda becerilerin geliştirilmesi, gemilerden kaynaklanan kirliliğin önlenmesi ve kontrol altına alınması maksadıyla bir uluslararası denizcilik örgütü kurulması düşünülmüş ve 06 Mart 1948 tarihinde Cenevre'de toplanan BM Denizcilik konferansında kabul edilen konvansiyon sonucu Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) kurulmuştur (Ayan ve Baykal, 2010: 276). Bu örgüt ilk başta IMCO (International Maritime Consultative Organization) Uluslararası Denizcilik İstişare Örgütü adıyla kurulmuş 1975 yılında "consultative" kelimesi çıkartılarak IMO adını almıştır.

1979 yılında imzalanan Hamburg sözleşmesinin ardından IMO, her geçen gün artan deniz/hava araçları kazaları karşısında ICAO ile birlikte 1998 yılında Uluslararası Havacılık ve Denizcilik Arama ve Kurtarma Kılavuzunu (IAMSAR) hazırlamıştır. Bu kılavuz A/K konusunda uluslararası geçerli bir referanstır ve devletlere uluslararası sözleşmelerden doğan yükümlülükleri karşılama konusunda rehberlik etmeyi amaçlamaktadır (Kara, 2013: 75,76).

### **1.1.3. Denizde Arama ve Kurtarma Operasyonları**

Denizde A/K operasyonları; hava ve deniz vasıtalarının su üstünde ve su altında tehlikeye maruz kalması, kaybolması veya kazaya uğraması hallerinde, bu vasıtalarındaki kişilerin her türlü araç, özel teçhizat veya kurtarma birlikleri kullanılarak aranması ve kurtarılması işlemidir (Ulusal Arama Kurtarma Planı, 11 Temmuz 2002).

#### **1.1.3.1. Denizde Arama ve Kurtarma Operasyonlarının Önemi**

1979 tarihli Hamburg Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesi devletlere denizde can kurtarma ile ilgili yükümlülükler yüklemektedir. Bu sözleşmenin 2. Bölümüne göre dünya denizlerinde her ülkenin kendi arama ve kurtarma sahasında ve açık denizlerde A/K faaliyetlerini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Denizde A/K faaliyeti planlı, organize ve hukuka uygun olarak gerçekleştirilmelidir. A/K operasyonları devletlerin kendi içlerinde birbirleri arasında sıkı bir koordinasyonunu gerektirmektedir bu konuya ilişkin olarak Hamburg Sözleşmesi “İlgili taraflar arasında, bir A/K bölgesinin kesin boyutları konusunda anlaşmaya varılamaması halinde, bu taraflar, bu alan içerisine A/K hizmetlerinin eşit ve şumullü bir koordinasyonunu sağlayacak uygun düzenlemeleri kabul konusunda anlaşmaya varmak için mümkün olan bütün çabayı göstereceklerdir” hükmünü içermektedir (Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesi md.2.1.5.).

Denizde A/K operasyonları insan hayatını kurtarmayı amaçladığından devletler arasında yaşanan siyasi çekişmelerin bu faaliyetleri etkilememesi gerekmektedir. Bu sebeple Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesinin 2.1.7. maddesinde “A/K bölgelerinin hudutlarının tespiti, devletler arasındaki sınırlandırmalarla bağlantılı olmadığı gibi, bunlara halel de getirmeyecektir.” hükmü bulunmaktadır.

Ege Denizi Türk A/K Bölgesi deniz ulaştırması açısından stratejik önem taşımaktadır. İstanbul ve Çanakkale Boğazları, Karadenize kıyıdaş ülkelerin deniz taşımacılığının diğer ülkelere açıldığı önemli su yollarıdır. Türk Boğazları önünde yaşanan deniz kazalarına uygun şekilde müdahale edilememesi sebebiyle A/K operasyonundan kaynaklanan deniz trafiğindeki gecikmelerin ekonomik açıdan birçok zararı olacaktır (Erol ve Başar,2015:377).

#### **1.1.3.2. Denizde Arama ve Kurtarma Organizasyonu**

Uluslararası Havacılık ve Denizcilik Arama ve Kurtarma Kılavuzunu (IAMSAR Klavuzu, 1998) kabul eden ülkeler kendi topraklarında, karasularında ve varsa açık denizlerde, 24 saat üzerinden denizcilik ve havacılık A/K koordinasyonu ve hizmetleri sağlama yükümlülüğünü üstlenmişlerdir. Bu yükümlülüklerini gerçekleştirmek maksadıyla ülkeler ulusal A/K organizasyonlarını teşkil etmişlerdir. Ayrıca bir ya da birden fazla devlet birleşerek bir okyanus ya da kıtaya ilişkin bölgesel bir A/K organizasyonu oluşturmuştur.

Bir A/K bölgesi (SRR), boyutları tanımlanmış, kurtarma koordinasyon merkezi (RCC) ile ilişkilendirilmiş ve içerisinde A/K hizmetlerinin icra edildiği bir alandır.

Bu alanlar tanımlandıktan sonra SAR Organizasyonu aşağıda belirtilen üç genel koordinasyon düzeyine sahiptir.

- SAR koordinatörleri (SC'ler)
- SAR görev koordinatörleri (SMC'ler)
- Olay yeri Koordinatörleri (OSC'ler)

SAR Koordinatörleri: SC'ler üst düzey A/K yöneticileridir; normalde her devlet bu tanımlamaya eşdeğer olan daire'leri tesis etmelidir. SC'ler; A/K sistemini kurmak, teşkilatlandırmak, donatmak, yönetmekten, RCC'leri ve kurtarma alt merkezlerini (RSC'ler) kurmaktan, A/K eğitim programlarını ve A/K politikalarını geliştirmekten sorumludurlar.

SAR Görev Koordinatörleri: SMC'ler SAR operasyonlarını koordine eden sahada bulunan kişilerdir. SMC'ler arama ve kurtarma bölgesindeki durumu tahlil eder, uygun eylem planlarını geliştirir ve A/K görevlerini gerçekleştirmek için kaynakların tahsisini sevk ve koordine ederler.

Olay Yeri Koordinatörleri: İki ya da daha fazla A/K hizmetinin aynı görevde birlikte çalıştıkları bir operasyonda, olay yerindeki bir şahsın katılımcı hizmetlerinin tamamının faaliyetlerini koordine etmesi gerekebilir.

OSC'ler SMC'ler tarafından atanabilirler ya da olay yerine ilk önce gidecek kişi, normal olarak bir SMC gelip de bu kişinin yerini almadıkça OSC görevini yerine getirmelidir.

Ülkemizde gerçekleştirilen A/K Faaliyetleri, 12.12.2001 tarihli ve 24611 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğine göre yerine getirilmektedir. Bu yönetmeliğe göre;

**Arama ve Kurtarma Hizmeti (AKH):** İş birliği yapan hava, deniz araçları ile diğer vasıtalar dahil kamu ve özel kaynakların kullanımı yoluyla, tehlike mesajlarını izleme muhabere, koordinasyon, tıbbi danışmanlık ve ilk yardım dahil A/K fonksiyonlarının icra edilmesidir.

**Arama Kurtarma Bölgesi (AKB):** İçerisinde A/K hizmeti icra edilmek üzere tespit edilmiş sahadır. Türk Arama ve Kurtarma Bölgesi aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

**Şekil 1:** Türk Arama ve Kurtarma Bölgesi



Kaynak: Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği.

Türk Hava Sahası, iç sular, karasuları ve açık denizlerde tehlike içerisinde bulunan hava ve deniz vasıtalarına ait AKH, Ana Arama ve Kurtarma Koordinasyon Merkezi (AAKKM) tarafından yerine getirilmektedir.

AAKKM, Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğinde belirtilen esaslar çerçevesinde Denizcilik Genel Müdürlüğünce tarafından teşkil edilir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, m.8).

Denizcilik Müsteşarlığı ilgili bakanlık, kurum ve kuruluşlar ile koordineli olarak hazırlayacağı Ulusal Arama ve Kurtarma Planını yayımlar (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, m.8).

AKB'de kara ve adalar üzerindeki AKH'nin Koordinatörü Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'dür. Hava-AKKM'ni kurar uluslararası standartlarda uygun, yeterli, malzeme teçhizat ve personel ile donatır. Kara A/K faaliyetlerini AAKKM adına yürütür (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, m.5).

AKB'de kıyılardan itibaren deniz sahalarındaki A/K faaliyetlerinin koordinatörü Sahil Güvenlik Komutanlığıdır. Deniz-AKKM'ni kurar uluslararası standartlarda uygun, yeterli, malzeme teçhizat ve personel ile donatır. Deniz A/K faaliyetlerini AAKKM adına yürütür (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, m.5).

#### **1.1.3.3. Denizde Arama ve Kurtarma Operasyonlarında Kullanılan Araçlar**

Denizde gerçekleşecek A/K operasyonlarında kullanılacak vasıtalar ve ekipmanlar, Uluslararası Havacılık ve Denizcilik Arama ve Kurtarma Kılavuzunun (IAMSAR Kılavuzu, 1998) 2'nci bölümünde belirtilmiştir. Kullanılan vasıtalar genel olarak, "Gemiler", "Helikopterler" ve "Uçaklar" şeklinde belirtilebilir bununla birlikte bu vasıtalara ilave olarak "İnsansız Hava Araçları" ayrı bir başlık altında ele alınacaktır.

**Gemiler:** Denizde A/K operasyonlarında en çok kullanılan deniz vasıtaları gemilerdir. A/K operasyonlarında büyük tonajlı gemiler (arama ve kurtarma korvetleri) kullanılabileceği gibi daha küçük tonajlı gemiler ve A/K botları da kullanılabilmektedir. (<http://www.sahilguvenlik.gov.tr/baskanliklar/harekat/platformlar/araKur/araKurGemi.asp>, Erişim Tarihi 30.08.2018). Gemiler tehlike durumunun bildirilmesi, kazazedelerin aranması, kurtarılması, kurtarma sonrası tıbbi müdahale yapılması ve kazazedelerin intikal ettirilmesi faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Bu işlemlerin yapılmasıyla ilgili konular IAMSAR Kılavuzunda belirtilmektedir.

**Helikopterler:** Helikopterler, malzeme temininde, etkili arama yapılmasında veya insanları denizde askıya alarak kurtarmada kullanılabilir. Helikopterler kazazedelerin aranmasında aktif olarak kullanılmaktadır, kazazedeleri gemiler olmaksızın tek başına kurtarabilmektedirler ancak helikopterlerin taşıyabilecekleri insan sayısı kısıtlı olduğundan taşınabilecek kazazede sayısı sınırlıdır, bu sebeple helikopterler genelde gemiler ile koordineli olarak A/K faaliyetlerini gerçekleştirmektedir.

Helikopterler ile yapılan faaliyetler karada veya denizde yere indirme ve taşıma işlemlerini içerir, bu sebeple helikopter personeli, deniz üzerinde havada askıda kalabilecek ve gemi üzerine iniş/kalkış yapabilecek eğitim seviyesine sahip olmak zorundadır.

**Uçaklar:** Uçaklar da A/K operasyonlarında kullanılmaktadır. Ancak gemilerden ve helikopterler'den farklı olarak su üzerinde sabit kalamadıkları için A/K operasyonlarında, kazazedelerin aranması, tehlike durumunun iletilmesi ve yardım malzemelerinin bırakılması gibi faaliyetleri gerçekleştirirler.

## 1.2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ ARAMA VE KURTARMA OPERASYONLARINDA KULLANIMI

İHA'lar süratleri, üzerinde taşıdıkları faydalı yükleri, otomasyon imkânlarıyla A/K operasyonlarında kullanılmaktadır. İHA'ların sürat avantajları, sensörlerinin etkili kullanımı ve diğer katkıları ile A/K operasyonlarında etkin şekilde kullanılabilirler. Bu kısımda İHA'ların özellikleri ve A/K operasyonlarında kullanımları ele alınmaktadır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen İHA'lar üzerine yapılan çalışmalar ile ilgili literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmalar, yazarlar ve çalışma konuları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

**Tablo 1:** İHA'lar Üzerine Yapılan Çalışmalar ile İlgili Literatür Taraması.

| Yazar                                                             | Yıl  | Çalışmanın Konusu                                                                       | Yayın türü |
|-------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Goodrich,M., Cooper,J., Adams,J., Humphrey, C., Zeeman,R.,Buss,B. | 2007 | Mini İHA'ların A/K Operasyonlarına Desteği                                              | Makale     |
| Goodrich,M.,Morse, B., Ergh,C., Cooper,J., Adams,J.               | 2009 | İHA'ların A/K Operasyonlarında Kullanımı ve Alınan Dersler                              | Kitap      |
| Doherty,P., Rudol,P.                                              | 2007 | Bir İHA'nın A/K Operasyonunda İnsan Bedeni Bulmasına Dayalı Senaryo                     | Bildiri    |
| Waharte, S., Trigoni,N.                                           | 2010 | İHA'ların A/K Operasyonlarına Destek Sağlaması                                          | Makale     |
| Balkcom,C.                                                        | 2004 | İHA'ların Sınır Gözetlemede Kullanımı                                                   | Bildiri    |
| Boskovic, J.D., Prasanth, R., Mehra, R.K.                         | 2002 | İHA'ların Otonom Hiyerarşik Kontrolü                                                    | Bildiri    |
| Kurban,Ö.                                                         | 2014 | Güvenlik İhtiyaçlarına Bağlı Olarak Mini İHA'ların Kontrol İstasyonlarının Belirlenmesi | Dr.Tez     |

**Tablo 1:** İHA'lar Üzerine Yapılan Çalışmalar ile İlgili Literatür Taraması (Devamı).

|                                                                                               |      |                                                                                                                  |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Şengül, T.                                                                                    | 2016 | İnsansız Hava Aracı Sistemleri İçin Üs Bölgesi Yer Seçimi                                                        | Y.L.Tez  |
| Özgü, İ.                                                                                      | 2009 | İç Güvenlikte Kullanılacak İnsansız Hava Aracı Seçiminde Analitik Hiyerarşi Metodunun Kullanılması               | Y.L. Tez |
| Karakaya, M.                                                                                  | 2011 | Minimum Sayıdaki İHA ile Gözetleme ve Kontrol Yapma Problemi                                                     | Makale   |
| Çayırpınar, Ö.                                                                                | 2009 | Robotlar Arası Haberleşme (İHA'lar ile İlgili Kısımlar)                                                          | Y.L. Tez |
| Ebrahimi, E.                                                                                  | 2011 | İHA'ların Toplu Olarak A/K Operasyonlarında Kullanımı ve İHA'ların Otonomasyon Dereceleri                        | Y.L.Tez  |
| Bacanak, H., Güder, H. Durak, U.A.U.                                                          | 2012 | İHA'ların Çoklu Kullanımına Yönelik Simülasyonlar                                                                | Makale   |
| Cihan, E., Gencer, C.                                                                         | 2017 | İHA'lar İçin Rota Planlaması ve İHA'ların Çalışma Alanları                                                       | Makale   |
| Tomic, T., Schmid, K., Lutz, P., Dömel, A., Kassecker, M., Mair, E. Burschka, D.              | 2012 | İHA'lar Üzerine Yapılan Otomasyon Çalışmaları ve Bu Vasıtaların A/K Operasyonlarında Kullanımı                   | Makale   |
| Rahmes, M., Chester, D., Hunt, J., Chiasson, B.,                                              | 2018 | İHA'ların Birbirleri ile İşbirliği İçerisinde A/K Operasyonlarında Kullanımı ve Bu Yöndeki Otomasyon Çalışmaları | Makale   |
| Molina P., Colomina, I., Vitoria T., Silva P.F, Skaloud J., Kornus W., Prades R., Aguilera C. | 2012 | Kayıp İnsanları A/K Operasyonlarında Bulmaka Maksudıyla İHA'ların Kullanımı                                      | Makale   |
| Lee, S.G., Diaz-Mercado, Y., Egerstedt, M.,                                                   | 2015 | Yoğun Faaliyetlerde İnsansız Araçların Toplu Kullanımı                                                           | Makale   |
| Kök, T.                                                                                       | 2012 | İHA'ların Güvenli Kullanımı Sağlamak Amaçlı Spektrum İhtiyaçları                                                 | Uzm.Tezi |
| Haser, B.                                                                                     | 2010 | İHA'ların Tanıtımı ve Kullanım Alanları                                                                          | Makale   |
| Cihan, E., Gencer, C.                                                                         | 2017 | İHA'lar için Güzergah Belirlemem ve Bu Araçların Tanıtımı                                                        | Makale   |
| Kenaroğlu, Y                                                                                  | 2013 | İHA'ların Kullanımlarının Değerlendirilmesi                                                                      | Makale   |
| Gürgüze, G., Türkoğlu, İ.                                                                     | 2019 | İnsansız Araçların Kullanım Alanları, Otomasyonları ve Kullanım Alanlarında Karşılaştıkları Sorunlar             | Makale   |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 1.2.1. İnsansız Hava Araçlarına Genel Bir Bakış

İHA'lar, diğer adıyla drone'lar ingilizcede “*erkek arı*” anlamına gelir (Zimmer, 2013). Literatürde İHA'lar ile ilgili çeşitli tanımlar mevcuttur. Küresel Hava Trafik Yönetimi Operasyonel Konsepti, İHA'ları Şikago Konvansiyonu'nun 8. maddesiyle düzenlenmiş olan ve içerisinde pilotu bulunmayan araçlar olarak tanımlar (The Global Air Traffic Management Operational Concept Doc.9854 AN/458).

Ülkemizde, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İHA'ları, İnsansız Hava Aracı Sisteminin (İHS) bir bileşeni olarak işletilen, aerodinamik kuvvetler aracılığıyla sürekli uçuş yapma yeteneğinde olan, üzerinde pilot bulunmaksızın uzaktan İHA pilotu tarafından kontrol edilerek veya otonom operasyonu İHA pilotu tarafından planlanarak uçurulan ya da havada kalabilen hava aracı olarak tanımlamaktadır (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı, 2016: 2). Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization NATO) İHA'ları, içerisinde insan olmayan, uzaktan kumandayla yönlendirilen veya otonom olarak kendisini yönlendiren motorlu itki gücü olan, silah veya faydalı yükleri ana gövdesine yüklenip çıkarabilen, görev sonrasında geri dönerek iniş yapabilen veya hedefte silah olarak kendini imha edebilen araçlar olarak tanımlamaktadır (Kurban,2014: 9).

Teknik manasıyla İHA; uzaktan kumanda, otomatik pilot veya seyrüsefer cihazı, bir bilişim sistemi vasıtasıyla otonom/yapay zekâ ile yönetilen, içinde veya üzerinde herhangi bir insan/pilot/uçuşpersoneli/mürettebat olmaksızın havalanabilen ve havada seyredebilen/kalabilen hava araçlarıdır (Akkurt, 2014: 82,83).

Bir başka tanıma göre kendi güç sistemi olan, tehlikeli/tehlikesiz faydalı yük taşıyan, otomatik veya uzaktan komuta sistemi ile uçurulan pilotsuz hava araçlarına İHA denmektedir (www.leg.state.fl.us., Erişim Tarihi 28.06.2018).

İHA'lar, kelime olarak uluslararası literatürde, "drone" ya da "UAV/UAS (Unmanned Aerial Vehicle/Systems)" olarak tanımlanmaktadır (Kahveci ve Can, 2017: 513). Her iki kullanımda belirli teknik özellikler haricinde aynı anlama gelmektedir, bununla birlikte ilk versiyonları "drone" olarak bilinen ve bugünkü kadar yüksek teknik özelliklere sahip olmayan İHA'lar, günümüze kadar genelde askeri amaçlı ve silah olarak kullanıldıklarından bu çerçevede toplumların hafızasında olumsuz bir algıya sahip olmuşlardır, bu sebeple günümüzde sivil sektörlerde genellikle İHA'lar için UAV/UAS isimleri kullanılmaktadır (Kahveci ve Can, 2017: 514). Aradaki farklılığa teknik açıdan bakıldığında, "drone" otomatik olarak gidebilen insansız hava ve deniz araçlarını, "UAV/UAS" ise insansız olarak uçabilen, motoru olan, kontrol edilebilen ve kendisi, füze gibi bir silah olmayan uçağı ifade etmektedir. (Kahveci ve Can, 2017: 514). ABD Ulaştırma Bakanlığına bağlı olan Federal Havacılık Kurulu (FAA: Federal Aviation Administration), İHA'ların tanımını biraz daha genişleterek, UAS (Unmanned Aircraft/Aerial Systems) kısaltması ile kullanmaya başlamış ve UAS'yi 25 kg altındaki pilotsuz olarak kullanılabilen küçük uçak ve ilgili bileşenleri (YKİ ve iletişim hatları) olarak tanımlamıştır (FAA Dot, 2015).

Amerikalı Bilim İnsanları Federasyonuna (Federation of American Scientists) göre İHA'ları içerisinde pilot olmadan hareket edebilen, uzaktan kumanda ile yönetilebilen ve uçuştan önce rotası ile faydalı yük görevleri planlanabilen araçlar olarak tanımlanmaktadır (www.fas.org, 01.07.2018). Bu tanıma göre İHA'lar insanların giremediği ya da girmesinin tehlikeli olduğu ortamlarda yoğun olarak kullanılabilen modern çağın sistemleridir (Ercan ve Gencer, 2017: 105).

Litaratürde ağırlıklı olarak UAV/UAS olarak adlandırılan İHA'lara "insansız" denmesine karşı çıkanlarda vardır. Bu görüş sahiplerine göre İHA'nın içerisinde pilot mevcut olmamakla birlikte, yerde de olsa bu sistemi uzaktan yöneten en azından uçuş süresince izleyen bir pilot/operatör mevcuttur, dolayısıyla bir İHA, emniyetli bir şekilde kullanımında yerdeki insana büyük ölçüde bağımlıdır (Kenaroğlu, 2013: 55).

### **1.2.2. İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Birleşenleri**

İHS en az bir hava aracı, hava aracının kontrol edildiği kontrol birimi ve bu iki birim arasında haberleşmeyi sağlayan bir veri bağından oluşur (Haser, 2010: 34).

Bunlara ilave İHS'ler gerçekleştirecekleri göreve yönelik olarak ihtiyaç duydukları sensörleri (görüntüleme, radar, veri toplama, ölçme vb. faaliyetleri için cihaz ve ekipmanlar) taşırlar. (Aktaş, 2007: 15)

**İnsansız Hava Aracı (Uçak):** İHA; gövde, kanat, kuyruk gibi yapısal parçalar ile itki, yakıt, iniş/kalkış takımı, elektronik sistemi, uçuş kontrol sistemi, elektrik sistemi, buzdan korunma sistemi, çevresel kontrol sistemi, hareketlendiriciler vb. kısımlardan oluşur (Aktaş, 2007: 11, Çetin, 2010: 50).

**Yer Kontrol İstasyonları:** Görevlerine göre alt bileşenlere ayrılmış olan YKİ'ler, İHA'ların planlama, kontrol, takip, görüntü işleme, bakım/onarım vb. tüm işlevlerinin yerine getirildiği unsurlardır (SSM, 2011: 128).

**Hava-Yer Haberleşme Sistemleri:** Hava aracı ve YKİ arasında iletişimi ve veri aktarımını sağlayan sistemlerdir (Kök, 2012: 15). İHA ve YKİ arasında veri aktarımını sağlayan, yerden havaya komuta kontrol bilgilerinin ve havadan yere tüm telemetri ve faydalı yük verisinin aynı anda iletimini sağlayan ve programlanabilen haberleşme sistemleri bu kapsamda değerlendirilir. Veri linki analog ya da sayısal olabileceği gibi kullanım amacına ve/veya iletilecek verinin büyüklüğüne göre çeşitli bant genişliklerinde olabilir. Uçak ile YKİ arasındaki mesafenin fazla olması ya da ikisi arasında dağ bina vb. engeller bulunması durumunda iletişimi devam ettirmek için role istasyonları kullanılabilir (Kök, 2012: 17).

**Sensörler:** İHA'ların gerçekleştirecekleri görev kapsamında taşıdıkları her türlü görüntüleme, izleme, veri toplama, ölçme vb. işlemlerine yönelik sistemler, hedef tespit, algılama, işaretleme sistemleri, mühimmat ve kendini koruma sistemleri vb. cihaz ve ekipmanlardır. Bu sistemlere aynı zamanda faydalı yükler de denilmektedir (Aktaş, 2007: 15).

### 1.2.3. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

Günümüzde maksimum kalkış ağırlıkları 16 gr. ile 15 ton arasında değişen farklı sınıfta binlerce İHA bulunmaktadır. İHA'ların sınıflandırılmalarıyla ilgili standart bir kabul yoktur. Bununla birlikte İHA'lar; azami kalkış ağırlıkları, uçuş irtifaları, menzilleri, dayanıklıları (ortalama havada kalış sürelerine göre), süratleri, azami kinetik enerjileri (kalkış yapma süratleri ya da azami irtifaya çıkma süratlerindeki kinetik enerjileri) gibi kriterlere göre sınıflandırılabilirler. Ebrahimi İHA'ları menzil, uçuş irtifası, dayanıklılık, azami kalkış ağırlıklarına göre aşağıdaki tablo da belirtilen yedi sınıfta gruplamıştır. İHA'lardan "orta irtifa İHA" ve "yüksek irtifa İHA" sadece sabit kanatlı olabilmektedir, bunların dışındaki diğer sınıf İHA'lar hem sabit kanatlı hem de döner kanatlı olabilir. İHA'ların geneline bakıldığında daha az karmaşık tasarım yapıları ve performans karakteristikleri nedeniyle sabit kanatlı İHA'ların kullanımlarının daha yaygın olduğu görülmektedir (Ebrahimi, 2014: 3-5).

İHA'ları gerçekleştirdikleri görevlere göre de sınıflandırabilmek mümkündür, İHA'lar görevlerine göre birbirlerinden farklı yakıt kapasitesi, sürat, manevra, radar, saldırı ve korunma özelliklerine sahip olabilir ayrıca yine görevleri için gerekli olan sistem ve ekipman ile donatılmış olabilirler (Bacanak ve diğerleri, 2012: 81).

**Tablo 2:** İHA'ların Operasyonel Karakteristiklerine Göre Sınıflandırılması.

| İHA Kategorisi           | Menzil (Km) | Uçuş İrtifası (m) | Dayanıklılığı (saat) | Azami Kalkış Ağırlığı |
|--------------------------|-------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| Nano İHA (NAV)           | < 1         | 100               | < 1                  | < 0.025               |
| Micro İHA (MAV)          | < 10        | 250               | 1                    | < 5                   |
| Mini İHA (MUAV)          | < 10        | 150-300           | < 2                  | < 30                  |
| Yakın Mesafe İHA         | 10-30       | 3000              | 2-4                  | 150                   |
| Taktik İHA (TUAV)        | < 200       | 300-5000          | 5-10                 | 15-500                |
| Orta İrtifa İHA (MALE)   | > 500       | 5000-15000        | 10-48                | 1500-7000             |
| Yüksek İrtifa İHA (HALE) | > 20000     | 15000             | 10-48                | 4500-15000            |

Kaynak: Ebrahimi, 2014

Küçük boyutlu İHA'ların kullanımları büyük boyutlu İHA'lara nazaran çok daha yaygındır, tüm İHA'ların yaklaşık %30'unu tek başına mini İHA'lar oluşturmaktadır (Ebrahimi, 2014: 4). İHA'lar konfigürasyonlarına göre sabit kanatlı ve döner kanatlı olmak üzere iki tip'te gruplandırılır. Bu iki grup İHA arasındaki esas farklar, tasarım yapıları ve performans kabiliyetleri olmak üzere iki alanda değerlendirilir. Sabit kanatlı İHA'lar, döner kanatlı İHA'lara göre daha az kompleks tasarım yapısında olmalarının yanında efektif bir ayrodinamiğe sahiptir. Bu özellikleri döner kanatlı İHA'lara göre daha fazla havada kalabilme, daha uzun mesafe menzile sahip olma, daha fazla sürat gibi avantajlar sağlar (Kılınçoğlu, 2016: 75). Döner kanatlı İHA'lar ise sabit kanatlı İHA'lara göre daha yüksek manevra kabiliyetindedir bu İHA'lar dikey iniş/kalkış yapabilme, askıda (hover) kalabilme özelliklerine sahiptir (Kılınçoğlu, 2016: 75).

#### **1.2.4. İnsansız Hava Aracı Sistemleri Üzerine Yapılan Otomasyon Çalışmaları**

Günümüzde direkt olarak pilotlar tarafından kontrol edilen İHS'ler gelecekte otonom olarak görev yapabilme yeteneğine sahip olacaklardır. Günümüzde bile otomasyon çalışmaları sonucunda gelişmiş sistemlerden gelen verilerin boyutu ve otonom sistemlerin karar verebilme yeteneği oldukça büyük seviyelere ulaşmakta ve insanoğlunun düşünme kapasitesinin üzerine çıkabilmektedir. İHS'ler için otonomi, insan müdahalesi olmaksızın İHA'ların iniş-kalkış ve uçuş yapabilmesidir. Gelişen teknoloji ve güvenilir alt sistemlerin üretilmesi sayesinde bu seviye çok yüksek seviyelere ulaşmıştır. İHS'ler hareketlerini ve hatta görevlerini kendi kendilerine kararlar üreterek (hatta en uç noktada "öğrenerek") yapar hale gelebilmektedir. Böylece İHS'ler uzaktan yönetilen makineler olmaktan, robotik sistem olmaya doğru yönelmiştir (Akyürek ve diğerleri, 2012: 26).

İHS; otonom, yarı otonom ya da bir operatör tarafından yönetilecek şekilde üç çeşit olabilir (Ebrahimi, 2014: 2). İHS'lerin otonom olması tamamiyle İHA pilotunun, İHA'nın kullanımına yönelik ne derecede karar aldığı ve İHA'yı ne derecede kendisinin kullandığıyla alakalıdır. Parasuraman ve diğerleri, İHS'lerin otonomluk derecelerini 1'den 10'a kadar derecelendirmişlerdir (Parasuraman ve diğerleri, 2000: 286). İHS'lerin otonomluklarına ilişkin tablo aşağıda gösterilmiştir.

**Tablo 3: İHS'lerin Otonomluk Dereceleri**

| Derece | Otonom Sistemin Kararları/Davranışları                                                                                        | Otonomluk Durumu    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1.     | Otonomluk yoktur, pilot tüm kararları ve eylemleri kendisi gerçekleştirir.                                                    | Yok                 |
| 2.     | Tüm eylem seçenekler sunulur pilot hangi seçeneği seçeceğine kendisi karar verir.                                             | Tavsiye Niteliğinde |
| 3.     | Eylem seçenekleri azaltılarak sunulur pilot içlerinden bir tanesini seçer.                                                    | Tavsiye Niteliğinde |
| 4.     | Pilot'a tek bir eylem seçeneği sunulur pilot bu eylemi ya kabul eder ya da reddeder.                                          | Tavsiye Niteliğinde |
| 5.     | Eylem otomatik olarak seçilir ancak pilot tarafından onaylanıncaya kadar uygulanmaz.                                          | Yarı Otonom         |
| 6.     | Pilot bilgilendirilir eğer pilot tarafından kısıtlı bir zaman içerisinde red edilmez ise uygulanır.                           | Onaylı Otonom       |
| 7.     | Eylemler otomatik olarak uygulanır ancak pilot devamlı olarak alınan kararlar ve uygulanan eylemler hakkında bilgilendirilir. | Tamamen Otonom      |
| 8.     | Talep edildiği takdirde alınan kararlar ve uygulanan eylemler hakkında pilot bilgilendirilir.                                 | Tamamen Otonom      |
| 9.     | Bilgilendirmenin yapılıp yapılmayacağına sistem kendisi karar verir.                                                          | Tamamen Otonom      |
| 10.    | Sistem kendisi pilot'a bilgi vermeden kararları verir eylemleri gerçekleştirir.                                               | Tamamen Otonom      |

Kaynak: Parasuraman ve diğerleri, 2000

İHS'lerin otonom mimarisine ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Boskovic ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, İHS'lerin çok fazla belirsizliğin olduğu bir ortamda dahi görevlerini gerçekleştirebilmeleri için sahip olunması gereken otomasyon mimarisine ilişkin kapsamlı bir çalışma yapmış, çalışmada otomasyon ihtiyaçları ve otomasyona sahip olunması için yol haritasını belirlemiştir. Çalışmaya göre otonom bir İHS'nin; "otonom uçuş kontrolü yapabilme", "otonom karar verebilme", "rota planlama", "güzergâh belirleme", "hatalara karşı dayanıklılık ve yeniden ayarlanabilme", "değerlendirme, doğrulama/sağlama yapabilme", "bir çok İHS ile birlikte görev yapabilme" yetisine sahip olması gerekmektedir. İHS'nin otonom uçuş kontrolü yapabilmesi, İHS'nin herhangi bir yerinde oluşan bir arızanın, eksikliğin, ihtiyaçların tespiti ve buna yönelik uçuşla ilgili uygun hal tarzlarının belirlenmesi anlamına gelir (Boskovic ve diğerleri, 2002: 2).

Otonom karar verme, İHS'yi etkileyen iç ve dış faktörlerin analiz edilerek en uygun uygulama tarzının belirlenebilmesi ve durumsal farkındalığın sağlanabilmesiyle ilgilidir. Rota planlama, istenilen mevkiye varabilmek için en uygun rotanın planlanabilmesi, güzergâh belirleme ise rotalar planlandıktan sonra aviyonik olarak en uygun şekilde rotalar üzerinde ilerlenmesi demektir (Sujid ve Beard, 2009: 2978).

Hatalara karşı dayanıklılık ve yeniden ayarlanabilme ise bir kaza ya da saldırı sonrasında oluşan zarara yönelik dayanıklılık ve bu durumun değerlendirilerek uygulanacak en uygun hal tarzının belirlenmesi demektir. İHS'ler beklenen, değişen ya da beklenmeyen her türlü duruma ilişkin değerlendirme, doğrulama/sağlama yapabilme özelliğine sahip olmalıdır sürekli gelişen teknoloji tehditleri farklılaştırmakta ve birçok beklenmeyen durumun oluşmasına sebep olabilmektedir. İHS'ler tek başlarına görev yapmalarının yanında çoklu olarak görevleri gerçekleştirebilmektedirler dolayısıyla otonom bir İHS'nin çoklu olarak görev icra edebilme yetisine sahip olması gerekmektedir (Sujid ve Beard, 2009: 2978).

İHA'ların otonom olarak kullanılabilmeleri için ihtiyaçlar belirlendikten sonra akıllı bir karar verme mimarisi tasarlanmıştır (Boskovic ve diğerleri, 2002: 4,5). Belirlenen bu mimari yapı 4 ana katmanda ele alınmaktadır. Bu katmanlar birbirinden farklı ancak birbirleriyle ilişkilidir. Birinci katman İHS'nin uçuş dayanıklılığı ile alakalıdır, bu katmanda uçuşla ilgili arıza vb. diğer hataların belirlenerek en fazla tolere edilecek şekilde uçuşun icra edilebilmesi hedeflenmektedir.

İkinci katman ise İHS'nin gidilecek rotalara istinaden içinde bulunduğu anlık iç (yakıt, arıza, cihaz ve eçizelerin etkin/etkili çalışıyor olması vb.) ve dış (süre tahdidi, bölge tehdidi, coğrafi engeller, vb.) duruma göre aviyonik olarak uçuşunu gerçekleştirebilmesi ile ilgilidir.

Üçüncü katman ise İHS'nin rotasını belirlemesi ile ilgilidir, icra edilecek göreve ve uçuşu etkileyecek kısıtlara göre varılmak istenen noktaya en optimum olacak şekilde rotaların (way pointler/pim noktaları şeklinde) oluşturulmasıdır.

Dördüncü katman uçuşu etkileyecek durumların sensörler vasıtasıyla tespit edilmesi, görevin anlaşılması, durumsal farkındalığın oluşturulması ile ilgili olan bir katmandır İHS'nin içerisinde bulunduğu durumu analiz ederek çarpışmaların engellenmesini, göreve yönelik güncellemelerin yapılmasını sağlar.

A/K operasyonlarında ilk adım kaza bölgesinin incelenmesi ve hayatta kalanların tespit edilmesidir. Geleneksel olarak bu görev özel olarak eğitilmiş A/K ekipleri tarafından icra edilmektedir. Ancak son dönemde bu görevin çoklu robot takımları tarafından gerçekleştirilebilmeleri için yoğun şekilde çalışma yapılmaktadır ve yapılan bu çalışmalar "Kurtarma Robotiği" olarak isimlendirilen yeni bir araştırma dalının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Jacoff ve diğerleri, 2003: 1). Bu dalın önemli gereksinimlerinden birisi robotlar arasındaki iletişimin verimli şekilde sağlanması ihtiyacıdır.

İnsansız araçlardaki iletişimin faaliyetlere etkisi şu şekilde özetlenebilir (Çayırpunar, 2009: 5);

**Eylemlerin eş zamanlı olarak gerçekleşebilmesi;** Çoklu insansız araç kullanımında, eylemler eş zamanlı, koordineli ve birbirlerini etkilemeden gerçekleşmelidir, bu husus verimli bir iletişim ile sağlanabilir.

**İnsansız araçların kendi aralarında göreve yönelik anlaşmaya varmaları;** Görev paylaşımı açısından İHA'lar arasında hangi görevin hangi İHA tarafından gerçekleşmesine yönelik kararlar alınmalıdır, bu sebeple insansız araçlar kendi aralarında etkili iletişim kurabilmelidirler.

**Çeşitlilik içeren bilgilerin iletiminin sağlanması;** Farklı insansız araçlar içinde bulundukları konumları, geçmiş deneyimleri nedeniyle farklı çevresel bilgiler edinmiş olabilirler, ayrıca eğer robotlar aynı tür sensörler ile donatılmamışlarsa herhangi bir İHA'nın kendi sensörleriyle elde ettiği bir bilgiyi bir başka İHA ile paylaşması gerekebilir.

İHA'ların, toplu halde kullanımında, tek ve gelişmiş bir İHA'nın kullanımına göre çeşitli avantajlar bulunmaktadır. İHA'ların toplu olarak kullanımlarıyla aşağıdaki kazanımlar elde edilebilir (Gürgüze ve Türkoğlu, 2019:55).

- Bir ya da daha fazla İHA'nın kaybı durumunda bile kalan İHA'lar görevi yerine getirebilirler,

- Daha esnek şekilde görev gerçekleştirilir (görevin koşullarına göre İHA grubu kendisini daha kolay uyarlayabilir.)

- Görevin amacına uygun olarak İHA'lar kendi aralarında gruplanabilirler,

- Basit tasarıma sahip İHA'lar karmaşık sistemlere sahip İHA'lara göre daha ucuza imal edilebilir böylelikle maliyetten tasarruf sağlanabilir.

Otonomi sonucunda İHA'ların çoklu olarak emniyetli ve güvenli bir şekilde görev gerçekleştirebilmeleri için bir çok çalışma yapılmıştır bunlardan birtanesi de 2014 yılı içerisinde ABD'de DARPA tarafından İHS'lerin çoklu olarak görev yapmalarına yönelik "Collaborative Operations in Denied Environments (CODE)" isimli Ar-Ge çalışmasıdır, bu çalışma sadece bir pilot tarafından birden fazla İHS'nin görev yapabilmesini, İHS'lerin kendi aralarında iletişim kurabilmelerini, sensör ve mesafe kısıtlamalarının azaltılmasını sağlamak üzerinedir (<https://www.darpa.mil/program/collaborative-operations-in-denied-environment/>Erişim Tarihi 25.11.2018).

İHS'lerin otonom kullanım çalışmalarından farklı olarak sensörlere, sensörlerin tespit ettiği bilgileri İHS pilotuna ileten sistemlere ve İHS'nin navigasyon sistemlerine yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Jovanovic ve Stanovic, 2008: 285).

İHS pilotlarına gelişen teknolojiyede bağılı olarak İHS'nin sensörlerinden birçok bilgi gelmektedir. Pilotlar için zaman çok değerli olduğundan pilotlara o an için ihtiyaç duydukları bilgilerin iletilmesi ve bu bilgilerin pilotları çok yormayacak ekranlar üzerinden okunabilmesi, takip edilebilmesi çok önemlidir (Jovanovic ve Stanovic, 2008: 285). İHS'nin emniyetli ve güvenli bir şekilde uçuşunu gerçekleştirebilmesi için navigasyon sistemi büyük önem taşımaktadır, uçuş 3 boyutlu bir ortamda tüm engel ve tehditlere karşın en emniyetli ve güvenli şekilde gerçekleştirilebilmeli ve bu esnada İHS'nin sensörlerinden de kayıt işlemleri yapılabilmelidir (Jovanovic ve Stanovic, 2008: 286).

#### **1.2.5. İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları**

İHS'lerin gerçekleştirdikleri faaliyetlere katkı anlamında kullanımlarından kaynaklanan avantajları ve çeşitli kısıtlamalarını ifade eden dezavantajları bulunmaktadır. İHS'ler farklı görevlerde farklı amaçlarla kullanılabilir, İHS'ler ile ilgili avantaj ve dezavantajlar bu araçların gerçekleştirdikleri görevler özelliklerinden bağımsız olarak İHS'lerin genel yapıları ile ilgili olarak belirlenmiş hususlardır.

İHS'lerin sağladıkları avantajlar ve sahip oldukları dezavantajlar, teknoloji ve otomasyon alanındaki gelişmelere bağılı olarak gelecek dönem içerisinde değişiklik gösterebilecektir.

##### **1.2.5.1. İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Avantajları**

İnsanlı uçaklara göre İHS'leri daha avantajlı kılan temel özellik, “sıkıcı, tehlikeli ve kirlili” olarak tanımlanabilen üç durumda daha etkili, ekonomik ve emniyetli çözümler sunabilmeleridir.

Sıkıcı görevler, çok fazla zaman alan ve aynı şekilde devam eden (bir alanının birkaç gün gözetlenmesi, aranması gibi) görevlerdir. Bu görevlere örnek olarak kazazedelerin açık denizde havadan aranması gösterilebilir. Herhangi bir art niyetli kişi, grup ya da örgütlerin saldırı riski olan bir alanda A/K faaliyetinin yapılmasını tehlikeli görevlere örnek gösterebiliriz. Kirlili görevler ise kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer herhangi bir sebeple insanların erişme imkânı olmayan yerlerde yapılması gereken görevlerdir. Radyoaktif bir sızıntının olduğu nükleer santralden görüntü alınması bu görevlere örnek olabilir.

Bu esas avantajlardan sonra İHA'ların insanlı uçaklara göre avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- İşletme ve idame maliyetinin daha düşük olması

- Uçuş süresinin daha uzun olması ve uçuş ekibinden kaynaklanan uçuş süresi limiti gibi bir sınırlamanın olmaması,

- Havada görev yaptığı esnada dinamik şekilde yeniden görevlendirilebilme imkânı,

- İnsan kaynaklı hata riskinin daha az olması,

- Düşmesi durumunda insan kaybı riskinin olmaması.

İHA'ların insanlı uçaklara göre avantajlarını belirttikten sonra uydulara göre sahip oldukları avantajları şu şekilde ifade edebiliriz.

- Daha düşük tedarik ve işletme maliyeti

- İHA'ların elde ettikleri verilerin uydulara göre daha doğru ve kaliteli olması,

- Görev yapılacak bölgenin sürekli kapsanabilmesi,

- Uydulara göre İHA'ların yüksek manevra kabiliyeti.

#### **1.2.5.2. İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Dezavantajları**

İHS'lerin en hassas noktalarından birisi, elverişsiz meteorolojik koşullardan önemli şekilde etkilenmeleridir. Kuvvetli yağış, rüzgâr ve türbülans koşullarında İHS'lerin görev performansı azalmakta, hatta bazı durumlarda birçok İHA uçuş bile gerçekleştirememektedir.

İHS'lerin dezaavantajlı oldukları bir başka durum İHA pilotlarının insanlı uçaklardan farklı olarak limitli görsel imkanlara ve durumsal farkındalığa sahip olmalarıdır bu sebeple İHA pilotları normal bir pilotun sahip olduğu görüş imkânına ve özellikle kısa süre içerisinde reaksiyon gösterebilme kabiliyetine sahip değildir.

İHA'ların kontrol birimi ile bağlantılarının olması gereksinimi, insanlı uçaklarda olmayan bazı kısıtlamalara ve tehlikelere neden olmaktadır. Kontrol bağlantısının kaybı veya yaşanacak kesintiler, görev etkinliğinin azalmasına, görevin gerçekleştirilememesine veya İHA'nın düşmesine neden olabilir.

#### **1.2.6. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları**

İHS'ler sivil ya da askeri birçok alanda kullanılmaktadır. İHS'lerin sivil kullanım sahası olarak; güvenlik alanında asayişin sağlanmasında, sinema televizyon ve yayıncılık sektöründe, inşaat sektöründe, arazilerin haritalanmasında, ulaştırma modlarının kontrolünde, tarımsal faaliyetlerde (ekin ve harman izleme, zirai ilaçlama), su ve ulaşım yollarının kontrolü, bilimsel faaliyetler (meteorolojik, oşinografik, jeolojik çalışmalar), afetlere ve acil durumlara müdahalede (afet sonrası

temizlik, yangınla mücadele, arama ve kurtarma, erozyon ve orman yangınlarının kontrolü), uydu görevlerini bütünlemede (haberleşme,seyrüsefer desteği, röle servisi), insanların girmesi tehlikeli olan ya da insanların ulaşamadığı bölgelerde yapılan incelemelerde (KBRN tehlikesi olan yerlerden veri alınması vb.) kullanılır (Kurban, 2014: 14) (Haser, 2010: 35).

İHS'lerin askeri alanda birçok kullanım yeri bulunmaktadır. İHS'lerin askeri kullanım alanları, keşif/gözetleme desteği sağlama (belirlenen bölgelerde devriye yapılarak güvenliğin sağlanması ve tespitler yapılması), taaruz (İHS'lerden bırakılacak mühimmat ile düşman unsurlara zahiyat verdirilmesi), elektronik harp (sinyal/muhabere/radar karıştırması, önleyici elektronik harp,) ve diğer görevler (aldatma yapma, KBRN saldırılarında yer alma, haberleşme desteği, uydu haberleşmesine yardımcı olmak için aktarım istasyonu olarak kullanma vb.) olarak sınıflandırılabilir (Kurban, 2014: 15) (Haser, 2010: 36,37).

İHA'ların riskli görevlerde tek başlarına kullanımları yerine çoklu olarak birden fazla İHA ile grup şeklinde kullanımları, üzerinde çalışılan ve taktik açıdan değerlendirilen bir konudur. Farklı yetenekteki İHA'ları taktiksel olarak aynı görev esnasında kullanımının sağlanmasıyla gerçekleştirilebilen görev çeşitliliği de artırılmaktadır (Bacanak ve diğerleri, 2012: 83).

### **1.2.7. İnsansız Hava Araçlarına İlişkin Mevzuat**

Paris Konvansiyonu'ndan (3 Ekim 1919) itibaren sivil havacılıkla ilgili hukuki zemin oluşturulmaya başlanmış, Paris Konvansiyonu'nu tadil eden 15 Haziran 1929 tarihli protokolün 15'inci maddesinde pilotsuz hava aracı şu şekilde geçmektedir: "Akit devletlerin pilotsuz uçuş kabiliyetine sahip hava araçları; özel bir yetki olmadığı takdirde diğer akit devletin toprakları üzerinde pilotsuz olarak uçamaz" (ICAO, 2015).

1944 yılında imzalanan Şikago Konvansiyonu'nun 8'inci maddesinde "pilotsuz olarak uçuş yeteneğine sahip hiçbir uçak, bu konvansiyon'a taraf her ülke kendi sivil hava sahasında uçacak pilotsuz her uçak için, diğer uçaklara tehlike yaratmayacak şekilde tedbirleri almakla yükümlüdür" şartı bulunmaktadır. ICAO'ya bağlı çalışan Hava Seyrüsefer Komisyonu 19 Nisan 2007 tarihli oturumunda "İnsansız Hava Aracı Sistemleri Çalışma Grubu (İHSÇG)"nu oluşturmuştur. İHSÇG devam eden çalışmalarında "İnsansız Hava Aracı Sistemleri (Cir 328)" isimli bir yönerge hazırlamıştır.

ICAO'nun Mart 2011 ayı içerisinde yayımladığı bu yönergede İHA, içinde pilot olmaksızın çalıştırılan uçak "İHA Sistemi" ise söz konusu uçak ile bunun yardımcı bileşenlerinin tamamı olarak tanımlanmıştır (ICAO, 2011). ICAO mevzuatı bu tanımlara göre şekillendirilmektedir. Bu nedenle ister uzaktan kumandalı olsun ister tamamen otomatik veya bunların bir kombinasyonu olsun, tüm İHA'lar Şikago Konvansiyonunun 8'inci maddesi kapsamında değerlendirilmektedir (Kahveci ve Can, 2017: 525).

Türkiye'de İHA'larla ilgili konular, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğünce 22 Şubat 2016 tarihinde hazırlanan, 22 Nisan 2016 tarihinde yürürlüğe giren "İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı-SHT-İHA" ile düzenlenmiştir (SHGM,2013). Söz konusu talimat; 10 Kasım 2005 tarihli ve 5431 sayılı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunu ile 14 Ekim 1983 tarihli 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu'na dayanarak hazırlanmıştır. Talimatın neleri kapsadığı 2'nci maddesinde "Türk Hava Sahasında uçacak İHA'ları, ilgili sistemleri, bunları ithal edecek, satışını yapacak, işletecek ya da kullanacak gerçek ve tüzel kişileri, bu kapsamda görev alacak personeli, İHA ekibini ve hava sahası kullanımı ile verilecek hava trafik hizmetlerini kapsar" ifadesi ile belirlenmiştir (Kahveci ve Can, 2017: 528).

#### **1.2.8. İnsansız Hava Araçlarının Arama ve Kurtarma Operasyonlarında Kullanımı**

A/K operasyonlarının ana amaçlarından bir tanesi en kısa sürede kurtarılacak kişi ya da kişileri belirleyebilmektir çünkü en ufak bir gecikme kazazedenin yaşantısını riske sokabilir. Bu kapsamda hava araçları atıklıkları, taşınabilirlikleri ve havadan kısa sürede kazazedelere ulaşabilme imkânları nedeniyle A/K operasyonlarında etkin bir şekilde kullanılmaktadırlar.

İHA'lar sahip oldukları aygıt ve sensörler vasıtasıyla operasyon bölgesini tarayarak gözlem yapabilmekte elde ettikleri bilgileri yer istasyonlarına iletebilmektedirler (Yeong ve diğerleri, 2015: 396). İHA sensörlerinin kullanımı çok önemlidir, sensörler vasıtasıyla kazazedeler takip edilerek yerleri belirlenmekte ya da en son kayboldukları nokta kaydedilebilmektedir (Yeong ve diğerleri, 2015: 396).

Waharte ve Trigoni tarafından İHA'ların A/K operasyonlarında kullanımlarına ilişkin yapılan bir çalışmada İHA'ların A/K operasyonlarında en optimum faydayı sağlayacak şekilde kullanılabilmesi için dikkate alınması gereken birkaç faktör olduğu ifade edilmiş bunlar "sensör bilgisi kalitesi", "enerji kısıtlamaları", "çevresel tehlikeler", "bilgi paylaşımı" olarak belirlenmiştir (Waharte ve Trigoni, 2010: 1).

Sensör Bilgisi Kalitesi: A/K operasyonlarında, kurtarma ekibine iletilen bilgiler çok önemlidir, İHA'lar tarafından kazazedenin yerine ilişkin bilgilerin yanlış iletilmesi, kurtarma ekibinin, kazazedenin olmadığı bir yerde faaliyet göstermesine neden olabilir ayrıca bilgilerin zamanında iletilmesi gerekmektedir, geç gelen bilgi kazazedenin hayatını kaybetmesine yol açabilir. Bunun dışında İHA'lar A/K faaliyetleri süresince kazazedelerin takibini kesmemeli ve kazazedelerin yerlerini kaybetmemelilerdir.

Enerji Kısıtlamaları: İHA'ların kullanımlarında dikkat edilmesi gereken bir diğer faktör İHA'ların enerji kısıtlamalarıdır. İHA'lar A/K faaliyetlerinde kaza mahaline intikallerinin yanında askıda (hover) kalma, süratli yer değiştirme gibi yakıt sarfiyatına neden olan birçok manevra gerçekleştirmektedirler. Dolayısıyla İHA'ların A/K faaliyetlerinde kullanımlarında enerji kısıtlamalarının göz önünde bulundurulmasına ayrıca gelişen teknolojiye'de bağlı olarak bu araçların daha az yakıt sarf etmelerini sağlayacak motorların kullanılmasına özen gösterilmelidir.

Çevresel Faktörler: İHA'lar uçarlarken, ağaçlar, binalar vb. engellere çarpabilirler ayrıca aynı anda faaliyet gösteren birden fazla İHA birbirine çarpabilir, bu yüzen İHA'ların intikal edecekleri rotalar dikkatli planlanmalı bu tür tehlikelere bağlı oluşabilecek gecikmelerin önüne geçilmelidir.

Bilgi Paylaşımı: İHA'ların A/K operasyonlarında kullanımındaki veri paylaşımını "veri birleştirme" ve "iletişim bağlantısı" olmak üzere iki açıdan ele almak gerekmektedir.

**Veri Birleştirme:** Birçok İHA'nın kullanıldığı A/K operasyonlarında, İHA'lardan gelen bilgilerin toplanması ve A/K operasyonunun resmini gösterecek şekilde bilgilerin kullanılması gerekmektedir.

Bu husus A/K operasyonunun taktiksel olarak doğru şekilde yönetilebilmesi için önem arz etmektedir. Ayrıca veri birleştirmek için gerekli alt yapıların (verilerin işlenmesi, hafızada kalma süresi, sensörlerin birbirlerine uyumu, enerji tüketimi vb.) iyi planlanması gerekmektedir.

**İletişim Bağlantısı:** İHA ile YKİ arasındaki bağlantı çok önemlidir. Bu bağlantının istenildiği zaman mı yoksa belirli periyotlarla mı yapılacağı A/K operasyonuna göre değişiklik gösterebilir fakat bilgi alışverişi istenildiği zaman yapılabilmelidir. Gerekli bilgiler YKİ'ye mutlaka doğru şekilde iletilmelidir. Bunların dışında İHA'ların (İHA pilotlarının) birbirleri arasında iletişim kurmaları sağlanabilir.

Ayrıca İHA'ların YKİ'leriyle iletişimlerine ilave olarak, YKİ'lere A/K faaliyetindeki görevleriyle ilgili düzenli periyotlarda rapor göndermeleri sağlanabilir (Waharte ve Trigoni, 2010: 2).

Molina ve diğerleri İHA'ların kayıp insanları bulması üzerine yaptıkları çalışmada, A/K'da İHA kullanımındaki en kritik unsurun İHA'nın intikalini sağlayan navigasyon sisteminin güvenilirliği (emniyet açısından) olduğunu ifade etmişlerdir (Molina ve diğerleri, 2012: 441).

Belçika'da Kraliyet Askeri Akademisi denizde A/K faaliyetlerine yardımcı olacak ICARUS (Integrated Components for Assisted Rescue and Unmanned Search) isimli, İHA'lardan yer ve suda gidebilen insansız sistemlerden oluşan bir projeyi hayata geçirmiştir (Yeong ve diğerleri, 2015: 397). Bu sistemde İHA'lar kazazedeleri tespit ederek yerlerini belirleyebilmektedir. Ayrıca kurtarma ekibinin erişme imkânı olmayan kazazedelere ilk yardım malzemesi gibi malzemeler ulaştırılabiliyor ya da kurtarma ekibinin ihtiyacı olan malzemeler kurtarma ekibine iletebiliyor. İHA'lar gemilerin manevra yapmak için ihtiyaç duydukları zamandan daha kısa sürede kazazedelere ulaşabiliyor ve kurtarma ekibi YKİ ile iletişime geçemez ise İHA'lar üzerinden iletişim kurulabiliyor (Yeong ve diğerleri, 2015: 397).

İHA'lar denize yakın mesafede yüzen insanları kurtarmakta da birçok avantaj sağlamaktadır. İran tarafından geliştirilen "Pars" isimli kıyıya yakın mesafelerde kurtarma amaçlı kullanılan bir İHA sahilden 75 mt mesafedeki bir kazazedeye 22 sn'de ulaşabiliyor, can kurtaranlar ise 90 sn'de aynı mesafedeki bir kazazedeye ulaşabilmektedir (Yeong vd., 2015, s.398). Ayrıca İHA'lar bir uçuşta üç can simidini farklı kazazedelere ulaştırabiliyorlar. Can simitleri vasıtasıyla da kazazedeler su üzerinde kalabilmekte böylelikle can kurtaran sayısından da tasarruf edilerek bir can kurtaran ile sırayla üç kazazedenin kurtarılması sağlanabilmektedir (Yeong ve diğerleri, 2015: 398).

Drone üretiminde Avrupa'da ve Dünya'da önemli bir konumda olan Altigator Aerial View Aircrafts firması A/K operasyonlarında dahil olmak üzere birçok alanda İHA üretmektedir (<https://altigator.com/drone-uas-uav-manufacturer-europe/>, Erişim Tarihi 28.10.2018). Bir İHA üretim kuruluşu olan ve ürünlerini çok geniş bir pazara sunan bu firma İHA'ların A/K operasyonlarında kullanımlarından sağladıkları avantajları şu şekilde belirtmektedir (<https://altigator.com/drones-for-search-rescue-missions/> Erişim Tarihi 28.10.2018);

-Gerçek zamanlı görsel bilgileri iletebilmek, böylelikle kazazedelerin konumlarını kurtarıcalara ulaştırabilmek,

-Karar vericilere durumsal farkındalık sağlamak (böylelikle kaza bölgesine ait riskler, tehditler ve ihtiyaçlar düşük maliyetle belirlenebilmektedir.),

-Personeli risk'e atmadan müdahale edebilmek,

-Kısa sürede kazazedelere ilk yardım malzemelerini ulaştırmak.

Termal kamera ve diğer gece görüş sistemleri ile İHA'lar hem gündüz hem de gece A/K operasyonlarında kullanılabilir. Kullanıcılara sağladıkları kolaylıklar ile kaynakların etkin kullanımı açısından tasarruf sağlamaktadır (<https://altigator.com/drones-for-search-rescue-missions/>Erişim Tarihi 28.10.2018).

### **1.2.9. Türkiye'de Gerçekleştirilen İHA Projeleri**

Türkiye'de İHA'ların kullanımına ilişkin ilk çalışmalar, dünyadaki gelişmelere paralel olarak 1980'lerin sonunda başlamıştır (Karaağaç, 2016: 24). Meggitt firması tarafından üretilen Banshee sistemi, ilk insansız hedef uçağı olarak 1989 yılında Türk Silahlı Kuvvetlerince kullanılmaya başlanmıştır. 1990'lı yılların başında milli İHA çalışmalarına başlanmıştır. 2004 yılı sonrasında Savunma Sanayi Müsteşarlığı önderliğinde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda Türkiye'de İHA Sistemleri konusunda faaliyet gösteren geniş bir sanayi alt yapısı oluşmaya başlamıştır (Karaağaç, 2016: 24). 1992 yılında TUSAŞ firmasının ürettiği İHA-X1 Şahit sistemi ilk üretilen Yerli İHA'dır. Sonrasında Türk Havacılık ve Uzay San.A.Ş. tarafından üretilen ANKA, Baykar Makina A.Ş. tarafından üretilen Bayraktar Mini İHA, Bayraktar Taktik İHA, Malazgirt Döner Kanat Mini İHA, Vestel firmasınca üretilen Karayel İHS ülkemizde geliştirilen önemli İHA projeleridir (Kurban, 2014: 18).

Bu projelerin dışında da EES A.Ş., ASELSAN, Global Teknik, Helitechnic, MİLYAZ Savunma, SE Savunma, TK3-Teknik, Z-Sistem gibi birçok yerli firma ile 19 Mayıs Üniversitesi, Akdeniz Üniversitesi, Anadolu Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, İTÜ, ODTÜ, THK Üniversitesi ve TOBB Üniversitesi gibi çok sayıda üniversite tarafından İHA'lar ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Karaağaç, 2016: 26,27).

#### **1.2.9.1. ANKA Projesi**

Türk Havacılık Uzay Sanayi A.Ş. (TAI) tarafından tasarlanan ve üretiminde birçok yerli alt yüklenici firmanın da görev aldığı Türk İnsansız Hava Aracı "ANKA"nın üretimi 16 Temmuz 2010 tarihinde tamamlanmıştır (<https://www.tai.com.tr/urun/anka>, Erişim Tarihi:12.12.2018).

ANKA projesiyle ihtiyaç duyulan özelliklere sahip Orta İrtifa Uzun Havada Kalabilen (MALE) sınıf prototipler üretilmiştir. (<https://www.ssb.gov.tr/website/contentlist.aspx?PageID=364&LangID=1>, Erişim Tarihi:12.12.2018).

Gece ve gündüz, kötü hava koşullarında dahi keşif, gözetleme, istihbarat, hedef tespit, teşhis, tanımlama, takip amaçlı, gerçek zamanlı görüntü elde etme görevleri için geliştirilen ANKA, elektro optik kamera, kızıl ötesi kamera, lazer mesafe bulucu, lazer işaretleyici, Spotter (fotoğraf çeken bir cihaz), SAR/MTI-SAR gibi faydalı yükleri taşımaktadır (<https://www.tai.com.tr/urun/anka>, Erişim Tarihi:12.12.2018).

**Tablo 4:** Anka Taktik İHA'nın Özellikleri

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Haberleşme Menzili            | 150-200 km              |
| Seyir Sürati                  | > 75 kts./sa            |
| Azami Sürat                   | 117 kts./sa (217 km/sa) |
| Operasyonel İrtifa            | 30.000 ft.              |
| Azami İrtifa                  | 25.000 ft.              |
| Kanat Açıklığı                | 17 mt.                  |
| Boy                           | 8 mt.                   |
| Kalkış ve İniş                | Pist (Otomatik)         |
| Azami Kalkış Ağırlığı         | 1.500 kg                |
| Faydalı Yük Taşıma Kapasitesi | < 55 kg                 |
| İtici Tipi                    | 155 hp Turbolu Motor    |

Kaynak: Kurban, 2014, s.23

**Şekil 2:** Anka İnsansız Hava Aracı



Kaynak: <https://www.tai.com.tr/urun/anka>, Erişim Tarihi:12.12.2018

#### 1.2.9.2. Bayraktar Taktik İHA Projesi

Bayraktar TB2 Taktik İHA sistemi prototip geliştirme çalışmalarına yerli firmalar tarafından 2007 yılında başlanmıştır (Karaağaç, 2016, s.26).

Orta İrtifa ve Uzun Menzil (MALE) Sınıfı İHA Konseptine uygun olarak geliştirilen Taktik İHS milli ve özgün tam otomatik uçuş kontrol özellikleri ve üç yedekli uçuş kontrol sistem mimarisi, özgün seyrüsefer ve sensör füzyonu uygulamaları ile dünya klasmanında en ileri teknolojik seviyede geliştirilmekte olan keşif ve gözetleme aracıdır (<http://baykarmakina.com/sistemler-2/bayraktar-taktik-ih/>, Erişim Tarihi, 20.12.2018).

**Tablo 5:** Bayraktar Taktik İHA'nın Özellikleri

|                               |                                         |
|-------------------------------|-----------------------------------------|
| Haberleşme Menzili            | < 150 km                                |
| Seyir Sürati                  | 70-80 kts/sa                            |
| Azami Sürat                   | 110 kts/sa                              |
| Operasyonel İrtifa            | 22.500 ft.                              |
| Azami İrtifa                  | 25.000 ft.                              |
| Kanat Açıklığı                | 12 mt.                                  |
| Boy                           | 6.5 mt.                                 |
| Kalkış ve İniş                | Pist (Otomatik)                         |
| Azami Kalkış Ağırlığı         | 650 kg                                  |
| Faydalı Yük Taşıma Kapasitesi | < 55 kg                                 |
| İtke Tipi                     | 100 hp İçten Yanmalı Enjeksiyonlu Motor |

Kaynak: <http://baykarmakina.com/sistemler-2/bayraktar-taktik-ih/>, Erişim Tarihi, 24.12.2018

**Şekil 3:** Bayraktar Taktik İnsansız Hava Aracı



Kaynak: <http://baykarmakina.com/sistemler-2/bayraktar-taktik-ih/>, Erişim Tarihi, 24.12.2018

### **1.3. TÜRK ARAMA VE KURTARMA ORGANİZASYONU, ARAMA VE KURTARMA BÖLGELERİ VE ULUSLARARASI İŞ BİRLİĞİ FAALİYETLERİ/YAŞANAN ANLAŞMAZLIKLAR**

#### **1.3.1. Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu**

Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu, Türkiye'nin sorumluluk alanında gerçekleştirdiği A/K operasyonlarını en etkili şekilde icra edebilmek ve uluslararası anlaşmalardan kaynaklanan yükümlülüklerini yerine getirebilmek maksadıyla ilgili kamu kurum ve kuruluşlar tarafından görev ve sorumluluk dağıtımı yapılarak oluşturulmuş ve ilgili ulusal mevzuatta belirtilmiştir.

Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu içerisinde görev yapan kurum ve kuruluşlar aşağıda belirtilen ulusal mevzuata uygun olarak Türk Arama ve Kurtarma Sorumluluk Sahalarında görev yaparlar.

##### **1.3.1.1. Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği**

Tehlike altında bulunan kazazedelerin Türk karasuları, iç sular, hava sahası ve açık denizlerde kurtarılmasıyla ilgili işlemler 12.12.2001 tarihli ve 24611 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan "Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğine" göre yapılır. Türk Arama ve Kurtarma Bölgesindeki çalışmalar, Ulaştırma, Denizcilik ve Altyapı Bakanlığı bünyesindeki "Denizcilik Genel Müdürlüğü"nce tesis edilen Ana Arama ve Kurtarma Koordinasyon Merkezi (AAKKM) tarafından koordine edilir. AAKKM ülkemizde gerçekleşen A/K faaliyetlerindeki en üst düzey organdır. (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001). A/K hizmetleri denizde, kara ve adalar üzerinde olmak üzere iki kategoride verilmektedir. Denizde gerçekleşen A/K faaliyetleri için sorumlu makam Sahil Güvenlik Komutanlığı (Deniz-AKKM), kara ve adalarda gerçekleşen A/K faaliyetleri için ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğüdür (Hava-AKKM).

Sahil Güvenlik Komutanlığı ve Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü kendi sorumluluk alanlarında A/K faaliyetlerini AAKKM adına koordine ve icra eder. A/K operasyonları Arama ve Kurtarma Birlikleri (AKBİR) tarafından gerçekleştirilir. Deniz-AKKM ve Hava-AKKM'ye bağlı AKBİR'ler bulunmaktadır. Deniz AKBİR'leri Sahil Güvenlik Komutanlığı ve Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü arasında yapılan bir protokol çerçevesinde bu kurumlar tarafından, Kara AKBİR'leri ise Jandarma Genel Komutanlığı ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından tesis edilir. (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği birçok kuruma görevler vermiştir. Bu kurumlar, 1979 tarihli Hamburg Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesi, Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği ve Ulusal Arama ve Kurtarma Planı esasları doğrultusunda kendi özel yönergelerini hazırlamakla yükümlüdür. (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001)

A/K faaliyetlerinin ana amacı kazazedelerin hayatını kurtarmaktır, tehlike altındaki deniz/hava vasıtalarının kurtarılmasını kapsamaz. A/K sorumluluğu milliyet farkı gözetilmeden barış zamanında diğer görevlere göre öncelik taşıyacak şekilde yerine getirilir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

A/K hizmeti, bu faaliyete iştirak eden tüm araç ve vasıtalar dahil, kamu ve özel kaynakların kullanımıyla, tehlike mesajlarını izleme iletişim, koordinasyon, tıbbi danışmanlık ve ilk yardım dahil tüm A/K fonksiyonlarının yerine getirilmesidir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001). Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, diğer kurumlarla koordine edildikten sonra Ulusal Arama ve Kurtarma Planının hazırlanması sorumluluğunu Denizcilik Müsteşarlığına vermiştir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001). Denizcilik Müsteşarlığı 2011 yılında kaldırıldığından görevleri Denizcilik Genel Müdürlüğüne yerine getirilir.

#### **1.3.1.2. Ulusal Arama ve Kurtarma Planı**

Denizcilik Müsteşarlığı tarafından 11 Temmuz 2002 tarihli tebliğ ile Ulusal Arama ve Kurtarma Planı yayınlanmıştır. Bu plan, Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği ve diğer ulusal mevzuat çerçevesinde, taraf olunan uluslararası mevzuata uygun olarak uluslararası taahhütleri karşılamak, A/K faaliyetlerini daha etkin gerçekleştirmek amacıyla, A/K hizmetlerini düzenleyen ve koordine eden ulusal çapta bir planı ortaya koymayı, ortaya koyulan planda belirtilen A/K görevlerinin gerçekleştirilmesinde ilgili kurumların mevcut imkanlarını en etkin/verimli şekilde kullanmayı hedefler. (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002)

Ulusal Arama ve Kurtarma Planında, Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğinde belirtilen kurum ve kuruluşların görevleri ayrıntılı şekilde açıklanmaktadır. Planın içerisinde yer almayan bir kurum ya da kuruluş, Araştırma ve Geliştirme Komitesi'nin teklifiyle Denizcilik Genel Müdürlüğü'nün alacağı karar sonrasında katılımcı listesinde yer alabilir. Gerekli durumlarda liman işleten kuruluşlar, kılavuzluk/römorkör hizmeti veren kuruluşlar ile gönüllü kuruluşlar bu plan kapsamında görevlendirilebilmektedir (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002).

Ulusal Arama ve Kurtarma Planında, kurum ve kuruluşların görev ve sorumluluklarının ne olduğunun yanısıra, hangi faaliyetlerin A/K faaliyeti olup olmadığı da belirtilmektedir. Ayrıca bu planda diğer ülkeler ile yapılacak faaliyetlere ilişkin hükümler ve koordinasyon hususları da yer almaktadır. Yabancı bir ülkenin, karasularında, kara ülkesinde ya da o ülkenin yetki alanında uluslararası iş birliğine dayalı A/K faaliyetleri, uluslararası kural ve düzenlemelere göre, Dışişleri Bakanlığı ve Genel Kurmay Başkanlığı'nın onayı ile AAKKM koordinesinde gerçekleştirilmektedir (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002).

Ülkemizin A/K hizmetini icra etmek maksadıyla belirlediği şekil 1'de belirtilen Deniz Arama ve Kurtarma Sorumluluk Sahasının koordinatları Ulusal Arama ve Kurtarma Planında belirtilmektedir. Bu sorumluluk sahasında ve Türk Ana Karasında gerçekleşecek A/K hizmetini koordine etmek üzere görev ve sorumlulukları bu planda ayrıntılı olarak belirtilmiş, Samsun, İstanbul, İzmir ve Mersin'de dört adet Deniz-YAKKM, Ankara ve İstanbul'da iki adet Hava-YAKKM tesis edilmiştir (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002).

Olağanüstü ya da acil durumlar ile ilgili safhalar, "Şüpheli Safha", "Alarm Safhası" ve "Tehlike Safhası" plan içerisinde belirtilmiştir. Bu safhaların hangi durumlarda ilan edileceği ve sona erdileceği bunları ilan etmekle ve sona erdirmekle yetkili kuruluşlar plan içerisinde yer almaktadır (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002). A/K hizmeti içerisinde yer alan unsurların (AAKKM, AKKM'ler, YAKKM'ler, Olay Yeri Koordinatörleri, AKBİR'ler, Yabancı A/K Koordinasyon Merkezleri) A/K hizmeti verirken uygulayacakları koordinasyon şeması planda belirtilmektedir. Ayrıca tüm arama kurtarma ve koordinasyon merkezleri ile A/K faaliyetlerinde yer alan personelin eğitimleri ile ilgili tüm hususlar plan içerisinde anlatılmaktadır (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002).

Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği ve Ulusal Arama ve Kurtarma Planından başka, 4922 Sayılı Denizde Can ve Mal Koruma Hakkındaki Kanunda ülkemizde A/K faaliyetlerini ilgilendiren ulusal bir mevzuattır. Bu kanun; gemi kaptanlarının denizdeki kazazedelere karşı sorumlulukları, tehlike içerisinde bulunan gemi kaptanlarının yapmaları gereken uygulamalar, gemi kaptanlarının kazazedelerin yardımına gidemeyecekleri haller ve bu kanun maddesine aykırı hareket etmeleri durumunda karşılaşılabilecekleri müeyyideler ile alakalıdır (4922 Sayılı Denizde Can ve Mal Koruma Hakkındaki Kanun, md.14-19 ve 23-25).

### **1.3.2. Arama ve Kurtarma Bölgeleri ve Uluslararası İş Birliği Faaliyetleri/Yaşanan Anlaşmazlıklar**

#### **1.3.2.1. Karadeniz Arama ve Kurtarma Bölgesi**

Karadeniz Arama ve Kurtarma Bölgesi 05.12.1986 tarihli ve 86/11264 sayılı Bakanlar Kurulu Kararnamesiyle Karadeniz'de ilan ettiğimiz 200 NM genişliğindeki Münhasır Ekonomik Bölgemiz (MEB) hemen hemen bu denizdeki A/K bölgemizi oluşturmaktadır. Karadeniz MEB'imiz ile A/K bölgesi arasında çok küçük farklılıklar bulunmaktadır.

Karadeniz, Türkiyenin önderliğinde sorumluluk bölgelerine ayrılmış bu denizdeki Türk Arama ve Kurtarma Bölgesi de Karadenize kıyıdaş devletlerle yapılan üç anlaşma neticesinde belirlenmiştir.

Karadeniz A/K bölgesiyle ilgili yapılan anlaşmalardan ilki 1998 yılında, Türkiye Cumhuriyeti, Bulgaristan Cumhuriyeti, Romanya Hükümeti, Ukrayna Hükümeti, Rusya Federasyonu ve Gürcistan Cumhuriyeti arasında imzalanan "Karadeniz'e Sahildar Ülkeler Arasında Deniz Arama ve Kurtarma Faaliyetlerinde İş Birliği Sağlanması Hakkında Anlaşma'dır". Bu anlaşmayla kıyıdaş ülkeler, Karadeniz'deki A/K hizmetlerinin koordinasyonunu ve iş birliğini sağlamak üzere ikili veya çoklu anlaşmalar yapmayı, yaptıkları anlaşma ve düzenlemeleri IMO Genel Sekreterliğine sunmayı, A/K operasyonlarında iş birliği yapmayı taahhüt etmişlerdir.

Karadeniz'e kıyıdaş ülke olan Rusya ile 25 Şubat 2004 tarihinde, Karadeniz'e Sahildar Ülkeler Arasında Deniz Arama ve Kurtarma Faaliyetlerinde İş Birliği Anlaşmasının beşinci maddesi uyarınca Türkiye Cumhuriyeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti arasında Karadeniz'de Denizde Arama ve Kurtarma Alanında İş Birliği Anlaşması imzalanmıştır.

Anlaşma ile iki ülkenin A/K bölgeleri sorumluluk sınırları belirlenmiştir, A/K bölgesinin sınırlarının belirlenmesi dışında anlaşmanın diğer maddeleri iki ülke arama ve kurtarma merkezleri arasında yapılacak iş birliği faaliyetleri ve ülkelerin yardım taleplerinde verilecek izinlerle ilgilidir.

Karadeniz A/K bölgesiyle ilgili bir diğer anlaşma 24 Mayıs 2004 tarihinde Türkiye ile Bulgaristan arasında imzalanan "Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Bulgaristan Cumhuriyeti Hükümeti Arasında Karadeniz'de Denizde Arama ve Kurtarma Alanında İş Birliği Anlaşmasıdır." Bu anlaşma ile Türkiye ve Bulgaristan arasında Deniz A/K sınırları belirlenmiş, A/K faaliyetlerinde iki ülke arasındaki iş birliğinin nasıl yapılacağı kararlaştırılmıştır.

Türkiye ile diğer ülkelerin yaptıkları anlaşmalara ilave olarak 2004 yılından itibaren her sene IMO şemsiyesi altında Karadeniz'e kıyıdaş bir ülkenin ev sahipliğinde Karadeniz Arama ve Kurtarma Konferansları gerçekleştirilmektedir. Bu konferansa Karadeniz'e kıyısı olan ülkelere ilave olarak ilgili diğer ülkelerde katılmaktadır. Konferanslarda bu denizdeki A/K faaliyetlerinin daha etkili şekilde gerçekleştirilebilmesine yönelik öneriler, karşılaşılan sorunlar görüşülmektedir.

#### **1.3.2.2. Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesi**

Ülkemiz 1979 tarihli "Hamburg Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesine" ve 1944 tarihli "Şikago Milletler arası Sivil Havacılık Antlaşmasına" taraftır bu sözleşmelerin hükümlerine göre A/K konusundaki hükümlere bağlı kalmayı kabul etmiştir. Yunanistan'da bu iki sözleşmeye taraftır ancak 1979 Hamburg Sözleşmesinin;

"Md.2.1.4 Her arama ve kurtarma bölgesi, ilgili taraflar arasında antlaşma yoluyla tesis edilecektir.",

"Md.2.1.5. İlgili taraflar arasında, bir arama ve kurtarma bölgesinin kesin boyutları konusunda antlaşmaya varılamaması halinde, taraflar bu alan içerisinde arama ve kurtarma hizmetlerinin eşit ve şümullü bir koordinasyonunu sağlayacak uygun düzenlemeleri kabul konusunda antlaşmaya varmak için mümkün olan bütün çabayı gösterecektir.",

maddelerine rezervasyon koymuştur. Türkiye anlaşmanın bu maddelerine istinaden Ege Denizinde A/K sorumluluk alanlarının belirlenmesi için müzakerelere hazır olduğunu tüm ortamlarda dile getirmiş ve gayret sarf etmiştir.

Yunanistan ise Ege Denizindeki A/K Bölgesini, Arama ve Kurtarma gibi başka bir hizmet alanı olan Uçuş Bilgi Bölgesine (FIR Hattı) dayandırmak istemektedir. Yunanistan'ın Ege Denizi'ndeki karasularının genişliği 6 mildir bununla birlikte ulusal hava sahasının genişliğinin 10 mil olduğunu iddia etmektedir. Uluslararası hukuk kurallarına göre karasularının dışında kalan alanın üzerindeki hava sahası uluslararası hava sahasıdır. Bununla birlikte Yunanistan 1931 yılında yayımlamış olduğu bir kararnameye dayanarak ulusal hava sahasının 10 mil olduğunu iddia etmektedir.

Türkiye, Yunanistan'ın bu iddiasını kabul etmemektedir. Bu çerçevede Yunanistan Ege Denizi'ni kendisine ait bir hükümlerlik alanı olarak göstermek maksadıyla, bu denizdeki arama ve kurtarma sahasını da Doğu Ege Adalarının konumundan faydalanarak FIR Hattına dayandırmak istemektedir.

Yunanistan'ın bu tutumuna karşın Türkiye'nin çabalarıyla, 8 Eylül 1988 tarihinde iki ülke arasında "Uluslararası Sularda ve Uluslararası Hava Sahasında Kazaları ve Olayları Önleme için İzlenecek Yöntemler" protokolü imzalanmıştır. Bu protokol'de her iki ülke A/K konusunda gereken çabayı göstereceklerini ve birbirlerine askeri tacizden uzak duracaklarını ifade etmişlerdir.

Protokolün içerisinde iki ülkenin arama ve kurtarma sorumluluk alanlarının belirlenmesine ya da deniz ulaştırmasının belirlenecek en emniyetli sulardan yapılmasına yönelik herhangi bir madde bulunmamaktadır.

Türkiye sonrasında da Yunanistan'a bu bölgelerin belirlenmesine yönelik çağrılarda bulunmuş ancak olumlu bir yanıt alınamayınca, Ege Denizine kıyıdaş bir ülke olmasından dolayı uluslararası hukukun kendine yüklediği A/K hizmeti verme sorumluluğunu yerine getirmek maksadıyla 1979 Hamburg Sözleşmesinin genel yükümlükler başlığını taşıyan 1. maddesine dayanarak 11 Aralık 1988 tarihinde "Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğini" yayınlamıştır. A/K hizmeti verilecek deniz alanlarının koordinatları Türkiye tarafından 1992 yılında IMO'ya deklare edilmiştir. Türkiye, A/K hizmetinin insan hayatını kurtarmak için yapıldığının bilincinde ve uluslararası hukukun yüklemiş olduğu sorumluluğun farkında olarak Ege Denizindeki Arama ve Kurtarma Bölgelerinin belirlenmesinde her zaman anlaşmacı bir tutum izlemiştir. Yayımlanan Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğinin bu konudaki aşağıda belirtilen 8.maddesinin g ve f fıkraları bu tutumunun bir göstergesidir.

*"Md.8.g. Komşu ülkelerle müşterek icra edilecek arama ve kurtarma faaliyetlerinde komşu ülkelerin AKKM'leri ile yapılacak iş birliği esasları, uluslararası kurallarla veya söz konusu ülkeler ile aramızda yapılacak olan anlaşmalarla tespit edilir."*

*"Md.8.h. Açık denizler üzerindeki hava sahasında, ICAO kurallarına göre tanınan arama ve kurtarma sorumluluğu, denizdeki arama ve kurtarma faaliyetlerini kapsamaz. Türkiye'nin karasuları dışındaki denizlerde arama ve kurtarma hizmetinin yapacağı bölgeler, ilgili devletlerle yapılacak anlaşmalarla tespit edilir."*

Yunanistan 1989 Mart ayında, Ege Denzinde kendi A/K alanlarını belirleyerek yayınlamıştır. Yunanistan, FIR Hattını kapsayacak şekilde tüm denizalanlarını kendi A/K bölgesi olarak belirlemiştir. Belirlediği bu alanlar, Türk Arama Kurtarma Bölgesiyle iç içedir. Türkiye, A/K bölgesinin belirlenmesinde iki ülkenin belirlediği alanların örtüşmesini bir problem olarak görmemektedir.

Çünkü, A/K hizmeti vermek için kaza bölgesine yardım amaçlı ne kadar çok vasıta giderse insan hayatının kurtarılması için o kadar faydalı olur. Burada sıkıntı yaratan husus Yunanistan'ın A/K bölgesini bir deniz yetki alanı olarak görmesinden kaynaklanmaktadır. A/K hizmetinde kullanılacak yetkiler uluslararası hukuk kurallarının o devlete verdiği görevlerin yerine getirilmesini sağlamaktan başka bir amaç taşımamaktadır.

A/K sorumluluğu devletlere bazı kamu hizmetleri yüklemiştir ve bu hizmetler devlet egemenliğinden değil, uluslararası hukuk kuralarından doğar. Türkiye bu nedenle Yunanistan'ın A/K bölgesindeki egemenlik yetkisini tanımamaktadır.

### **1.3.2.3. Akdeniz Arama ve Kurtarma Bölgesi**

Akdeniz'de A/K hizmetinin hızlı ve etkili şekilde gerçekleştirilmesine yönelik olarak Suriye ve KKTC ile imzalanan anlaşmalar mevcuttur. 16 Haziran 2000 tarihinde Türkiye ile KKTC arasında imzalanan "Denizciliğin Geliştirilmesine Yönelik İş Birliği Protokolü" çerçevesinde bölgedeki A/K faaliyetlerinin iş birliği içerisinde yapılması sağlanmıştır (Başeren, 2006: 235). Türkiye karasuları ile Kıbrıs Adası arasında, KKTC karasuları dışında bulunan açık deniz alanlarındaki A/K Hizmeti Türkiye tarafından yürütülmektedir. KKTC karasuları içerisinde A/K sorumluluğu KKTC Sahil Güvenlik Yasası gereğince KKTC Sahil Güvenlik Komutanlığınca yerine getirilmektedir (Başeren, 2006: 234).

Bununla birlikte GKRY 1990'lı yıllardan itibaren Kıbrıs Cumhuriyeti olarak tanınmanın verdiği avantajlar ile konuyu, Türkiye ve KKTC'nin bölgedeki fiili etkinliğine bir ölçüde de olsa kısıtlama getirmek için 1996 yılında Larnaka Hava Alanında kendi arama ve kurtarma merkezini kurarak işletmeye hazır hale getirmiş ve bu merkezi IMO'ya bildirmiştir (Başeren, 2006: 234). Türkiye ve KKTC arasında 19 Eylül 2002 tarihinde Hava A/K Alanında İş birliği Anlaşması imzalanmıştır. İngilterenin, Kıbrıs Adasındaki hava A/K sorumluluğunu 01 Mart 2002 tarihi itibarıyla GKRY'ye devrettiğini açıklaması sonrasında KKTC'nin 01 Nisan 2002 tarihinden itibaren hava A/K hizmetini kendi birimleriyle gerçekleştireceğini ilan etmesine müteakip imzalanmıştır. Anlaşma genel itibarıyla A/K faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde iş birliği ve koordinasyon, personelin ve A/K birliklerinin eğitimi, KKTC'nin A/K imkân ve kabiliyetlerinin geliştirilmesi ve bu hususta araç gereç temini gibi konuları kapsamaktadır.

Türkiye ile Suriye arasında 14 Ekim 2008 tarihinde “Arama ve Kurtarma Hizmetlerinin Koordinasyonuna Dair Anlaşma” imzalanmıştır. Bu anlaşma ile her iki ülke kendi iç yasal mevzuatlarına uygun olarak yayımladıkları AKB’lerinde A/K faaliyetlerini gerçekleştirmekte AKB sınırları boyunca A/K hizmetlerinin yürütülmesinde imkanlar ölçüsünde yardımlaşmaktadırlar.

Bu anlaşma ile ülkelerin Kurtarma Koordinasyon Merkezlerinin (KKM) A/K hizmetleri için iş birliği içerisinde olması, potansiyel veya gerçek bir tehlike durumuna karşı düzenli hızlı şekilde bilgi paylaşımları ve her iki tarafın senede en az bir defa A/K Tatbikatı yapmaları yönünde irade ortaya koyulmuştur.

#### **1.3.2.4. AB’nin Çevre Denizlerdeki Arama ve Kurtarma Uygulamalarına Etkisi**

Avrupa Birliği üyesi ülkeler hem A/K faaliyetleri hemde diğer denizcilik faaliyetleri ile ilgili uygulamalarında AB’nin bu konulardaki mevzuatı ile kendi ulusal mevzuatlarını uyumlu hale getirmeye çalışmaktadırlar. Çevre denizlerimizde kıyıdaş olan AB üyesi ülkelere bakıldığında Romanya, Bulgaristan, Yunanistan ve GKRY gibi ülke ve oluşumlar karşımıza çıkmaktadır. Karadeniz, A/K faaliyetlerine yönelik kıyıdaş ülkeler ile anlaşmalar yapılmış olduğundan herhangi bir sorun içermeyen bir deniz alanıdır. Bununla birlikte Ege Denizi ve Akdeniz’de çeşitli anlaşmazlıklar bulunmaktadır.

AB üyesi olan GKRY ve Yunanistan, AB’nin deniz alanlarına yönelik siyasalarını oluştururken ulusal çıkar ve önceliklerini içeren düzenlemeleri yapma fırsatına sahip olduklarından dolayı Ege ve Akdenizdeki çıkarlarını AB uluslararası kimliğinden yararlanarak savunabilmektedir. Türkiye bu ülkeler ile yaşadığı bir anlaşmazlığı uluslararası bir ortamda dile getirdiğinde bu ülkeler uygulamalarını AB mevzuatına uygun olarak AB’nin çıkarlarını gözeterek yerine getirdiklerini ifade ederek bir tür meşruiyet alanı yaratmaya çalışmaktadırlar. Türkiye’nin hukuksal argümanlarının güçlü olmasına karşın bu ülkeler ile yaşanan sorunlarda AB’nin siyasal etkisi nedeniyle ülkemiz uluslararası alanda hak ettiği sonuçlarla karşılaşmamaktadır.

AB’nin A/K ile ilgili olan EUROSUR (European Border Surveillance System) ve FRONTEX (Frontieres Exterierieures) uygulamaları bulunmaktadır.

EUROSUR, AB'nin "Avrupa Sınır Gözetleme Sistemidir", EUROSUR'un amacı deniz alanlarının emniyet ve güvenliğinin sağlanması, sınır denetimi, deniz çevresinin korunması, balıkçılık faaliyetlerinin denetimi ve AB'nin ekonomik açıdan çıkarları üzerinde etkisi bulunan deniz faaliyetleri hakkında durumsal farkındalığın sağlanmasıdır. FRONTEX, bir diğer A/K ile ilgili olan AB kurumudur.

FRONTEX, "AB Üye Ülkelerinin Dış Sınırlarının Yönetimi için Operasyonel İş Birliği Ajansıdır", AB ülkelerinin komşularıyla olan sınırlarının korunmasını ve sınır güvenliğini sağlamak maksadıyla görev yapan bir AB kurumudur.

FRONTEX daha çok yasadışı göçmenlerin AB'ye girmesini engellemeye yönelik faaliyet göstermektedir ancak gerekli eğitimlerin verilmesiyle deniz yoluyla yasadışı göçmen trafiğindeki trajik ölüm oranlarının azaltılmasının sağlanması hedeflenmektedir.

AB'ye yapılan yasadışı göç trafiğinde Türkiye'nin kara ve deniz yolu açısından transit bir ülke konumunda olması sınır ötesi komşuluk ilişkileri bağlamında Yunanistan ve diğer AB ülkeleriyle olan ilişkilerini etkilemektedir. Türkiye'nin IMO'ya kaydettirmiş olduğu A/K bölgesi, Yunanistan'ın itirazlarına rağmen uluslararası arama ve kurtarma sistemi olan COSPAS-SARSAT sistemine de deklare edilmiştir. COSPAS-SARSAT sistemi birçok AB üyesinde yer aldığı ve tamamıyla seyir emniyetinin sağlanmasının hedeflendiği 1982 yılından itibaren hizmet veren uluslararası çapta seyir emniyeti açısından en geçerli sistemdir.

## İKİNCİ BÖLÜM

### TESİS YERİ SEÇİM PROBLEMLERİ

#### 2.1. TESİS YERİ SEÇİM PROBLEMLERİNİN TANIMI

Tesis yeri seçimine karar vermek gerek özel sektör gerekse kamu alanında stratejik planlamada çok önemli yer işgal etmektedir. Bir perakende zincirine dâhil edilecek bir dükkânın yeri, üreticinin yeni açacağı bir deponun konumu, şehir planlayıcısının itfaiye merkezlerinin yerini seçmesi ya da acil ambulans hizmeti veren merkezlerin yerlerinin belirlenmesi gibi kararlar stratejik açıdan karar verilen ve karar vericileri çok zorlayan konulardır (Tozan ve Dönmez, 2015: 916). Nüfus değişimi, pazar eğilimlerindeki değişiklikler, tesislerin genişletilme, değiştirilme ihtiyaçları vb. etmenler tesis yerinin seçimini zorlaştıran etkenlerdir. Tesis yeri seçimi tipik olarak çok maliyetli, zamana hassas projelerdir. Bir tesis satın alınmadan ya da inşa edilmeden önce uygun konum planlama çalışması yapılır, şartnameler hazırlanır ve buna bağlı olarak sermaye tahsisleri yapılır. Karar vericiler dışında her seviyedeki yönetici tarafından düşünüldüğünde bile tesis yeri seçimi uzun vadeli bir yatırım kararıdır. Bu kararın yanlış verilmesi, yatırımcılara gelecek uzun vadede çok büyük maliyetlere sebebiyet verebilecektir (Owen ve Daskin, 1998: 424).

Tesis yeri seçiminde öngörülebilir etkileyici faktörlerin yanı sıra, hızla gelişen teknoloji, çevresel etkenlerdeki beklenmeyen değişiklikler, rekabetçi avantaj sağlamak için maliyetlerin azaltılması ihtiyacı, müşterilerin memnuniyet algılarındaki farklılıklar ve değişiklikler gibi faktörler nedeniyle “Tesis Yeri Seçimi” son yıllarda büyük öneme sahip bir konu haline gelmiştir. Böylelikle tesis yeri seçimi üzerine yapılan çalışmaların sayısında önemli bir oranda artış olduğu görülmektedir. Ayrıca ülkeler bünyesinde faaliyet gösteren firmaların ülke içerisinde farklı yerlerde çalışma yapması, birden fazla ülkede bölgesel ya da küresel olarak faaliyet gösteren firma sayısındaki artışta kuruluş yeri seçimi ve atama modelleri olarak da ifade edilen tesis yerlerinin konumlarının belirlenmesini önemli bir konu haline getirmektedir.

Tesis yeri seçimi üzerine yöneylem araştırması uygulayıcılarının üzerinde birçok çalışma yaptıkları bir alandır (Küçük, 2010: 24). Yöneylem araştırması (Yönetim Bilimi), gerçek hayatta karşılaşılan sistemlerin matematiksel modeller ile temsil edilmesi ve en iyi (optimum) çözümü bulmak için kurulan modellere sayısal yöntemlerin (algoritmalar) uygulanmasıdır.

Bir eniyileme (optimizasyon) modeli verilen kısıtları sağlayan karar değişkenlerinin tüm değerleri arasında amaç fonksiyonunu eniyileyen (enbüyükleyen veya enküçükleyen) değerleri bulmayı amaçlamaktadır (Topcu ve Kabak, 2018: 5). Yöneylem araştırmacıları da tesis yeri problemlerini temsil eden bir dizi matematiksel modeller ve bu modelleri uygulamaya elverişli hale getirmek için çeşitli farklı amaç fonksiyonları geliştirmişlerdir (Owen ve Daskin, 1998: 424). Tesis yeri seçimi problemlerinin büyük bir kısmı tam sayılı programlama yöntemleriyle çözülebilmektedir. Bu problemler, çözüm için harcanan sürenin problemin boyutuyla ilişkili şekilde üssel olarak arttığı problemler olduğundan, NP-Zor olarak ifade edilmektedir. Tesis yeri seçimi problemleri, problem boyutunun polinom fonksiyonu ile sınırlı olan hesaplama süresi içerisinde çözülememektedir. Bu nedenden ötürü NP-Zor kategorisindeki problemlerin çözümü düşünüldüğünde tam çözüm metodları yerine, optimum çözümü garanti etmeyen ancak kabul edilebilir makul bir çözüme ulaşabilen, çözüm süresi açısından da polinom süresi sınırları içerisinde kalan sezgisel algoritmalarda kullanılabilmektedir (Bastı, 2012: 4).

Tesis yeri seçim problemleri genel itibarıyla;  $n$  adet tesisin  $m$  adet konuma ( $n < m$ ) taşıma maliyetlerinin minimum seviyede olması sağlanacak şekilde yerleştirilmesi ile ilgilenmektedir (Tavakkoli ve Shayan, 1998). Konuyu daha geniş şekilde ifade edecek olursak; bir grup hizmet veren tesisin bazı kısıtlar göz önünde tutularak, müşterilerin (talep noktası) taleplerinin karşılanması maliyetlerini minimum seviyeye indirecek şekilde uygun konumlara yerleştirilmesini ve her bir müşterinin hizmet veren tesislere atanmasını kapsayan problemlerdir (Arslan, 2018: 339).

Tesis yeri seçimi problemlerine ilişkin literatür incelendiğinde yapılan ilk çalışmanın 1909 yılında Alfred Weber tarafından bir deponun müşterilerine en az mesafede konumlandırılmasına yönelik yapılan çalışma olduğu görülmektedir (Owen ve Daskin, 1998: 425). Bu ilk çalışmanın ardından tesis yeri seçimi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. 1964 yılında Hakimi tarafından, bir santral ağında anahtarlama merkezlerinin konumlarının belirlenmesi ve otoyol ağı üzerindeki polis istasyon noktalarının konumlandırılması üzerine önemli bir çalışma yapılmıştır.

Hakimi bu problemlerin çözümünde üzerinde durulması gereken noktanın, müşteriler (talep noktaları) ve tesisler arasında bulunan mesafeyi en kısaya indirmek ya da bunlar arasındaki maksimum mesafeyi en aza indirmek olduğunu düşünmüştür (Owen ve Daskin, 1998: 425).

Tesis yeri seçimi üzerine yapılan çalışmalarda, acil müdahale merkezlerinin konumlandırılmasına yönelik yapılan çalışmaların önemli yer tuttuğu görülmektedir. Literatüre göre acil müdahale merkezlerinin konumlarının belirlenmesine ilişkin ilk çalışmanın Toregas ve arkadaşları tarafından 1971 yılında yapılmış, tüm talep noktalarını asgari tesis sayısı ile karşılamayı amaçlayan küme kapsama problemi (Location Set Covering Problem) çalışması olduğu görülmektedir. Bu çalışmada talep noktalarının mesafelerinin birbirlerinden farklı olması sebebiyle standart bir mesafe ile bu taleplerin karşılanamayacağı üzerinde durulmuştur (Tozan ve Dönmez, 2015: 916). Bu çalışmadan birkaç yıl sonra 1974 yılında Church ve Re Velle tarafından maksimum deterministik bir kapsama modeli geliştirilmiştir. Bu modelde amaç sınırlı sayıdaki tesis ile maksimum talep edilen kaplanmanın karşılanabilmesi amaçlanmıştır. Church ve Re Velle tarafından bu tür problemlere Maksimum Kapsama Problemi (Maximal Covering Location Problem) adı verilmiştir (Arabani ve Farabani, 2012: 411). Sonraki yıllarda da özellikle acil müdahale unsurlarının konum optimizasyonlarının yapılması olmak üzere Maksimum Kapsama Problemleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Eaton ve arkadaşları 1985 yılında Teksas'ta bulunan ambulansların konumlarının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır (Belanger ve diğerleri, 2019: 4). Schiling ve arkadaşları 1979 yılında yapmış oldukları bir çalışmada iki farklı aracı acil müdahale hizmet noktasına konumlandırarak taleplerin karşılanmasını sağlamak üzere bir maksimum kaplama modeli üzerine çalışmışlardır (Belanger ve diğerleri, 2019: 4). Her ne kadar geliştirdikleri formülasyon oldukça basit olsa da hazırladıkları deterministik tek kapsama modeli sonraki yıllarda geliştirilen birçok modelin hazırlanmasında önemli katkı sağlamıştır (Belanger ve diğerleri, 2019: 4).

Tesis yeri seçimi problemlerinin sınıflandırılmalarına yönelik olarak literatür incelendiğinde bu problemler ile ilgili yapılmış olan birçok sınıflandırma ile karşılaşılabilir. Tesis yeri seçimi problemlerinin sınıflandırılmasına ilişkin Daskin tarafından yapılan geniş bir sınıflandırma bulunmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre tesis yeri seçimi problemleri aşağıda belirtilen 14 sınıfta ele alınmaktadır. (Daskin, 1996: 10-18);

- Düzlem (sürekli), ağ ya da ayrık yapıda olmasına göre,
- Ağaç problemi veya genel grafik yapısında olmasına göre,
- Mesafe ölçüsüne göre,
- Konumlandırılacak tesis sayısına göre (çoklu veya tekli),
- Statik ya da dinamik yerleşim modelleri olmasına göre,

- Deterministik ya da probalistik olmasına göre,
- Tek veya çoklu ürün modellenmesi olmasına göre,
- Özel sektör ya da kamu sektörü problemleri olmasına göre,
- Tek amaçlı ya da çok amaçlı olmasına göre,
- Esnek ya da esnek olmayan talep durumuna göre,
- Kapasite kısıtlı ya da kapasite kısıtsız olmasına göre,
- Talebin en yakın tesisten ya da dağıtılarak karşılanmasına göre,
- Hiyerarşik ya da tek aşamalı olmasına göre,
- İstenen veya istenmeyen tesisler olmasına göre.

Tesis yeri seçimi problemleri, tesisin ve talep noktalarının konumlandırılmalarına göre “sürekli”, “ayrık” ve “ağ” şeklinde olmak üzere üç sınıfta sınıflandırılabilir (Bastı, 2012: 5). Sürekli tesis yeri seçimi problemlerinde hem tesislerin hemde talep noktalarının düzlem üzerinde bulunan herhangi bir noktaya yerleştirilebildiği kabul edilmektedir. Ayrık tesis yeri seçim probleminde ise kurulacak tesisler ve talep noktaları sadece şebeke üzerindeki düğüm noktalarına yerleştirilebilmektedir. Ağ Tesis Yeri Seçimi problemlerinde ise talep noktaları şebeke üzerindeki düğümlerde bulunuyorken tesisler düğümler ya da düğüm noktaları arasındaki bağlantılar üzerinde yerleştirilebilirler (Daskin, 1996: 10-11).

Tez konusu Ege Denizi üzerindeki Türk A/K Bölgesinde gerçekleşecek deniz kazalarına müdahale için ana karada bulunacak sahil kontrol istasyonları olduğundan, talep noktaları deniz üzerinde tesisler ise karalar üzerinde bulunmaktadır. Bu kapsamda da ayrık tesis yeri seçimi problemleri üzerinde durulacaktır. Ayrık tesis yeri problemleri ise, “medyan problemleri”, “kapsama problemleri”, “merkez problemleri”, “sabit maliyetli tesis yeri seçim problemleri” olmak üzere 4 sınıfta gruplandırılabilir (Bastı, 2012: 5).

Tesis yeri seçimi problemleri ve bu problemlerin çözümünde kullanılabilecek matematiksel modelleme kavramlarıyla ilgili literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmalar, yazarlar ve çalışma konuları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

**Tablo 6:** Tesis Yeri Seçimi Problemleri ile İlgili Literatür Taraması.

| Yazar                    | Yıl  | Çalışmanın Konusu                                                                                                                            | Yayın türü |
|--------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Owen, S.H., Daskin, M.S. | 1998 | Stratejik Tesislerin Konum Optimizasyonlarının Yapılması, Tesis Yeri Seçimi Problemlerinin Tanıtımı ve Denklemler ile İlgili Bilgi Verilmesi | Makale     |
| Tozan, H., Dönmez, S.    | 2015 | İlk Yardım Tesislerinin Konum Optimizasyonlarının Yapılmasıyla İlgili Bir Çalışma                                                            | Makale     |

**Tablo 6:** Tesis Yeri Seçimi Problemleri ile İlgili Literatür Taraması (Devamı).

|                                                  |      |                                                                                                 |          |
|--------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Küçük, Y.                                        | 2010 | İşletmelerde Bilgi İşlem Uygulamalarında Yöneylem Araştırma Tekniklerinin Kullanılması          | Y.L. Tez |
| Topcu, İ., Kabak, Ö.                             | 2018 | Yön Eylem Araştırmasının Tanıtılması Konuyla İlgili Bilgi Verilmesi                             | Kitap    |
| Bastı, M.                                        | 2012 | P-medyan Tesis Yeri Seçimi Problemi ve Çözüm Yaklaşımları                                       | Makale   |
| Daskin, M.S.                                     | 1996 | Ayrık Tesis Yeri Seçimi Problemi Çözümü Yöntemlerinin Kullanımı                                 | Makale   |
| Belanger, V., Ruiz, A., Soriano, P.              | 2019 | Acil Müdahale Araçlarının Dağıtımının Yapılması                                                 | Makale   |
| Arabani, A.B., Farahani, R.Z.                    | 2012 | Tesis Yeri Seçimi Problemlerinde Göz Önenünde Tutulması Gereken Önemli Etmenler                 | Makale   |
| Arslan, H.M.                                     | 2018 | Electre ve Maksimum Kapsama Modeli Yöntemleri ile Bilim Merkezlerinin Optimum Tesis Yeri Seçimi | Makale   |
| Toregas, C., Swain, R., Revelle, C., Bergman, L. | 1971 | Emercensi Tesislerin Konum Optimizasyonlarının Tesis Yeri Seçimi Modelleriyle Yapılması         | Makale   |
| Durak, İ., Yıldız, M.S.                          | 2015 | P-Medyan Problemi Çözüm Yöntemleri Kullanılarak Problem Çözümü                                  | Makale   |
| Sule, D. R.                                      | 2001 | Lojistik Tesislerinin Konum Optimizasyonlarının Yapılması                                       | Makale   |
| Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., Wyatt, T.             | 2011 | Acil Müdahale Merkezlerine Yönelik Kapsama Modelleri                                            | Makale   |
| Current, J., Daskin, M.S., Schilling, D.         | 2001 | Ayrık Tesis Yeri Seçimi Problemi Çözümü Yöntemlerinin Kullanımı                                 | Makale   |
| Aydın, H., Ayvaz, B.                             | 2016 | Afet Yönetiminde Lojistik Depo Yer Seçimi                                                       | Bildiri  |
| Gendreau M., Laporte G., Semet F.                | 1997 | Tabu Algoritması ile Ambulans Dağıtım Merkezlerinin Konum Optimizasyonu                         | Makale   |
| Revelle, C., Hogan, K.                           | 1989 | Maksimum Geçerli Kaplama Problemi Yöntemleriyle Çözülen Bir Problem                             | Makale   |
| Miah, M.S., Knoll, J.                            | 2018 | Robotik Sistemler ile Alan Kaplanması Üzerine Matematiksel Bir Model Geliştirilmesi             | Makale   |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 2.1.1. Medyan Problemleri

Bir tesisin konumunun uygun olup olmadığını anlamının bir yolu tesisi ziyaret edenlerin tesise ulaşım mesafesinin ortalamasına bakmaktır (Durak ve Yıldız, 2015: 46). Tesise ortalama ulaşım mesafesi arttıkça, tesise erişilebilirlik azalır ve böylece konumun etkinliği düşer.

Bu yakınlık ilişkisi okullar, kütüphaneler veya acil müdahale merkezleri için dikkate alınabilir nükleer santraller, atık depolama merkezleri vb. yerler için ise önemli değildir.

Taleplerin hizmet seviyesine duyarlı olmadığı durumlarda, konumun etkinliğini ölçmenin bir yolu, talep noktaları ve tesisler arasındaki mesafeyi talep miktarına göre ağırlıklandırmak ve talep noktaları ve tesisler arasındaki toplam ağırlıklandırılmış toplam mesafeyi bulmaktır. Bu problem türünde tesisler ve talep noktaları arasındaki toplam ağırlıklandırılmış ulaşım mesafesinin en az olacak şekilde tesislerin konumlarının bulunması amaçlanmaktadır (Sule, 2001: 21,22). Bu problem türünün formüle edilmesi 1964 senesinde Hakimi tarafından yapılmıştır.

**Girdiler:** (Durak ve Yıldız, 2015: 48,49).

$i$  = Talep noktası indeksi

$j$  = Potansiyel tesis alanı indeksi

$h_i$  =  $i$  noktasındaki talep

$d_{ij}$  =  $i$  noktasındaki talep ile potansiyel  $j$  noktasındaki tesis alanı arasındaki mesafe

$P$  = konumlandırılacak tesis sayısı

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } j \text{ noktasına tesis konumlandırılmışsa.} \\ 0, & \text{Eğer } j \text{ noktasına tesis konumlandırılmamışsa.} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i \text{ noktasındaki talep } j \text{ tesisi tarafından karşılanıyor ise.} \\ 0, & \text{Eğer } i \text{ noktasındaki talep } j \text{ tesisi tarafından karşılanmıyor ise.} \end{cases}$$

**Amaç Fonksiyonu :** (Durak ve Yıldız, 2015: 48,49).

$$\text{Minimum } \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij}, \quad (1)$$

**Kısıtlar:** (Durak ve Yıldız, 2015: 48,49)

$$\sum_j X_j = P, \quad (2)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1, \quad \forall i, \quad (3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0, \quad \forall i, j, \quad (4)$$

$$X_j \in \{0,1\}, \forall j, \quad (5)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\}, \forall i,j. \quad (6)$$

Eşitlik (1) amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Tesisler ile talep noktaları arasındaki ağırlıklandırılmış mesafelerin minimum olması amaçlanmaktadır.

Kısıtlarda yer alan;

Eşitlik (2) konumlandırılması yapılacak tesis sayısını en fazla  $p$  sayıda olacak şekilde sınırlandırmaktadır.

Eşitlik (3) her bir talep noktasının talebini sadece 1 tesisten karşılanmasını sağlamaktadır.

Eşitlik (4) konumlandırılması yapılmamış bir tesisten taleplerin karşılanmamasını sağlayan kısıttır.

Eşitlik (5) ve (6) karar değişkenlerinin sadece 0 veya 1 değerlerini alabilmesini sağlayan kısıttır.

Medyan problemleri ayrık tesis yeri problemleri sınıfına girmektedir. Bu problem kapsamındaki tesisler sadece şebeke üzerinde bulunan düğüm noktalarına konumlandırılmaktadır. Tesislerin şebeke düğüm noktaları dışında şebeke üzerinde başka bir yere konumlandırılmamaları, yukarıda Hakimi tarafından hazırlanan formülasyonun en iyi (optimum) çözümü vermeyeceğini düşündürebilir, ancak Hakimi, formülünde, tesislerin şebeke üzerindeki düğüm noktalarına yerleştirilmeleri durumunda elde edilecek çözümlerden en az bir tanesinin optimum çözüm vereceğini ispatlamıştır (Owen ve Daskin, 1998: 426).  $N$  adet düğüm sayısı ile sınırlı bir ağa yerleştirilecek  $P$  sayıdaki tesis için çözüm sayısı aşağıda belirtilen eşitlik ile gösterilebilir.

$$\left[ \begin{matrix} N \\ P \end{matrix} \right] = \frac{N!}{P! (N-P)!}$$

### 2.1.2. Merkez Problemleri

Bu problemler, tesislerin talep noktaları ile olan kapsama mesafeleri en az olacak şekilde tüm talep noktalarının kapsanması esasıyla çalışan problemlerdir (Arabani ve Farahani, 2012: 411).

Merkez problemlerinde her bir tesis için talep noktalarını karşılamak için “S” kapsama mesafesinin belirlenmesi yerine, önceden yerleştirilmiş olan tesislerin talep noktalarına olan kapsama mesafeleri içsel olarak en az yapılmaya çalışılır. Merkez problemlerinde, talep ile talebe en yakın mevcut tesis arasındaki mesafe en aza indirilmeye çalışıldığından bu problemler “minimax” problemleri olarak da bilinmektedir. Eğer bu problemlerde tesis yerleri; bir ağın düğümleri ile sınırlı olarak atanıyorsa bu tür merkez problemlerine “tepe noktası merkez problemleri”, bir ağın düğümleriyle sınırlandırılmadan ağ üzerinde herhangi bir noktaya atanıyorsa “mutlak merkez problemleri” denilmektedir (Owen ve Daskin, 1998: 429). Bu problemlerin formülasyonunu yazarken talep noktasıyla en yakın tesis yeri arasındaki mesafeyi belirten “D” karar değişkenine ihtiyaç vardır.

D = Bir Talep Noktasıyla En yakın Tesis Arasındaki Maksimum Mesafe

**Amaç Fonksiyonu:** (Arabani ve Farahani, 2012: 411)

$$\text{Minimum D} \quad (1)$$

**Girdiler:** (Arabani ve Farahani, 2012: 411)

i = Talep noktası indeksi

j = Potansiyel tesis alanı indeksi

d<sub>ij</sub> = i noktasındaki talep ile potansiyel j noktasındaki tesis alanı arasındaki mesafe

P = Tesis sayısı

**Kısıtlar:** (Arabani ve Farahani, 2012: 411)

$$\sum_j X_j = P, \quad (2)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1, \quad \forall i, \quad (3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0, \quad \forall i, j, \quad (4)$$

$$D \geq \sum_j d_{ij} Y_{ij}, \quad \forall i, \quad (5)$$

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j, \quad (6)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i,j. \quad (7)$$

Eşitlik (1) amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Talep noktasıyla talep noktasına en yakın tesis arasındaki mesafenin minimum olması amaçlanmaktadır.

Kısıtlarda yer alan;

Eşitlik (2) konumlandırılması yapılacak tesis sayısını en fazla  $p$  sayıda olacak şekilde sınırlandırmaktadır.

Eşitlik (3) her bir talep noktasının talebini sadece 1 tesisten karşılanmasını sağlamaktadır.

Eşitlik (4) konumlandırılması yapılmamış bir tesisten taleplerin karşılanmamasını sağlayan kısıttır.

Eşitlik (5) Her bir “i” noktasındaki talep ile en yakın “j” noktasında yer alan tesis arasındaki maksimum mesafenin “D” mesafesinden küçük olmasını sağlayan kısıttır.

Eşitlik (6) ve (7) karar değişkenlerinin sadece 0 veya 1 değerlerini alabilmesini sağlayan kısıttır.

### 2.1.3. Kaplama Problemleri

Bazı tesisler için talep noktalarıyla tesisler arasındaki ortalama mesafeyi en az yapacak şekilde tesislerin konumlandırılmaları uygun olmayabilir. Örneğin, bir şehirdeki itfaiye veya ambulans servis merkezlerinin konumlandırılmalarını düşündüğümüzde taleplerin karşılanmasındaki kritik durum nedeniyle ulaşım mesafesinin veya süresinin “kabul edilebilir” bir seviyede olması gerekli görülmektedir. Bu tür tesisler bu nedenle farklı bir yeterlilik ölçüsüne göre konumlandırılmalıdır (Owen ve Daskin, 1998: 427). Bu tesislerin konumlarının belirlenmesi için asıl önemli konu “kapsama”dır ve bu problemler kapsama problemi olarak ele alındıklarında çözülebilmektedir. Kapsama problemlerinde, taleplerin önceden tanımlanmış bir mesafe ya da sürede en az bir tesis tarafından ulaşıldığı durumlarda karşılandıkları kabul edilmektedir (Arabani ve Ferahani, 2012: 411).

Litaratürde kapsama problemlerinin “**Küme Kaplama Problemleri**” (Location Set Covering Problems (LSCP)), “**Maksimum Kaplama Problemleri**” (Maximum Covering Location Problems (MCLP)), “**İkili Standart Model**” (Double Standart Modele(DSM)), “**Maksimum Beklenen Kaplama Problemi**” (Maximum Expected Covering Location Problems (MEXCLP)) ve “**Maksimum Geçerli Kaplama Problemleri**” (Maximum Availability Location Problems (MALP)) olmak üzere kolaydan karmaşığa göre sıralanan 5 grupta sınıflandırılabilirdiği görülmektedir (Li ve diğerleri, 2011: 2).

### 2.1.3.1. Küme Kaplama Problemleri

Küme kaplama problemleri literatüre göre 1971 yılında ortaya çıkan ilk kaplama problemi (Tozan ve Dönmez, 2015: 917). Bu problem tüm talep noktalarını karşılayacak asgari tesis sayısını bulmayı amaçlar, ancak kaynakların sınırlı olması nedeniyle tam kaplamanın sağlanması zordur. Bu tür problemlerde tesis yerleri belirli bir kaplama seviyesi elde edildikten sonra maliyetler minimize edilmeye çalışılır (Current ve diğerleri, 2001: 88,89). Küme Kaplama Problemlerinin formülasyonunu aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

**Girdiler:** (Aydın ve Ayvaz, 2016: 163)

$c_j$  Bir tesisin  $j$  Noktasındaki bir noktaya atandığındaki sabit maliyet.

$S$  Maksimum kabul edilebilir hizmet mesafesi ya da süresi.

$N_i$  Kabul edilebilir bir mesafedeki  $i$  noktasına atanan  $j$  tesislerinin sayısı.

**Amaç Fonksiyonu :** (Aydın ve Ayvaz, 2016: 163)

$$\text{Minimum } \sum_j c_j X_j, \quad (1)$$

**Kısıtlar:** (Aydın ve Ayvaz, 2016: 163)

$$\sum_{j \in N_i} X_j \geq 1, \quad \forall i, \quad (2)$$

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j, \quad (3)$$

Eşitlik (1) amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Her bir tesisin kurulum maliyetinin aynı olduğu kabul edilmektedir. Minimum tesis ataması yapılarak toplam tesis kurulum maliyetinin minimum yapılması amaçlanmaktadır.

Kısıtlarda yer alan;

Eşitlik (2) her bir talebin kabul edilebilir bir mesafe/süre'deki bir konuma atanmış olan en az bir tesisten karşılanmasının sağlanması amaçlanmıştır.

Eşitlik (3) karar değişkenlerinin sadece 0 veya 1 değerlerini alabilmesini sağlayan kısıttır.

Küme kapsama problemleri için belirlenmiş olan bu formülasyonda tesisler konumlandırılırken, karşıladıkları talep noktalarının içerdikleri talep büyüklüklerine göre bir ayrıma gidilmediği görülmektedir.

Bir talep noktasının, bir talebi ya da toplam talebin büyük bir kısmını içerip içermediğine bakılmaksızın, maliyet ne olursa olsun kabul edilebilir mesafe/süre içerisinde karşılandığı görülmektedir (Owen ve Daskin, 1998: 427).

### 2.1.3.2. Maksimum Kaplama Problemleri

Maksimum kaplama problemi de küme kaplama problemi gibi taleplerin karşılanmasını amaçlar. Bu model için talep noktalarındaki taleplerin miktarı önemlidir, talep noktalarına ağırlık katsayıları atanır, bu da modeli daha gerçekçi kılmaktadır (Li ve diğerleri, 2011: 6). Maksimum Kaplama Problemlerinde mevcut sınırlı kaynakların mümkün olan en iyi şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Bu problemlerde talepler konumlandırılmış belirli bir mesafeden hizmet veren belirli sayıdaki tesis tarafından karşılanmaktadır (Tozan ve Dönmez, 2015: 918). Bu problemler 1974 yılında Church ve ReVelle tarafından geliştirilen modeller ile çözülmeye başlanmıştır. Eaton ve arkadaşları 1981, 1985 ve 1986 yıllarında Kolombiya, ABD ve Dominik Cumhuriyetindeki acil müdahale hizmeti veren araçların lokasyonlarının belirlenmesinde bu problemlerin çözümlerini kullanmışlardır. Sonraki yıllarda da bu modeller acil müdahale hizmeti veren tesis/araçların konumlandırılmalarının yapılması için çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilerek kullanılmıştır (Li ve diğerleri, 2011: 6).

**Girdiler:** (Arslan, 2018: 344,345)

$h_i$   $i$  noktasındaki talebin talep popülasyonunun büyüklüğü.

$S$  Maksimum kabul edilebilir hizmet mesafesi ya da süresi.

$N_j$  Kabul edilebilir bir mesafedeki  $i$  noktasındaki talep için atanan  $j$  tesislerinin sayısı.

$P$  = Tesis sayısı

$$Z_i = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i \text{ talep noktası kaplanmışsa.} \\ 0, & \text{Eğer } i \text{ talep noktası kaplanmamışsa.} \end{cases}$$

**Amaç Fonksiyonu :** (Arslan, 2018: 344,345)

$$\text{Maksimum } \sum_i h_i Z_i, \quad (1)$$

**Kısıtlar:** (Arslan, 2018: 344,345)

$$Z_i \leq \sum_{j \in N_i} X_j, \forall i, \quad (2)$$

$$X_j \leq P, \quad (3)$$

$$X_j \in \{0,1\}, \forall j, \quad (4)$$

$$Z_i \in \{0,1\}, \forall i, \quad (5)$$

Eşitlik (1) amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Azami sayıda talebin kaplanması hedeflenmektedir.

Kısıtlarda yer alan;

Eşitlik (2) Hangi talep noktasının belirlenen mesafeden hizmet veren bir ya da birden fazla tesis tarafından kaplandığını gösterir.

Eşitlik (3) Kaplama yapan tesis sayısının toplam tesis sayısından küçük ya da eşit olmasını sağlar.

Eşitlik (4) karar değişkenlerinin sadece 0 veya 1 değerlerini alabilmesini sağlayan kısıttır.

Eşitlik (5) İlave karar değişkenlerinin sadece 0 veya 1 değerlerini alabilmesini sağlayan kısıttır.

### 2.1.3.3 İkili Standart Model

Maksimum kaplamada belirli bir mesafe standardı dahilinde kaplamanın azami olması hedeflenirken, İkili Standart Model daha uzun bir mesafe standardı kullanılarak potansiyel alanlara tesislerin atanması amaçlanmaktadır (Li ve diğerleri, 2011: 3).

Bu model 1997 yılında Gendreau, Laporte ve Semet tarafından 1997 yılında geliştirilmiştir (Gendreau ve diğerleri, 1997: 77-88). Bu model'de  $r_1$  ve  $r_2$  olmak üzere iki standart mesafe ( $r_1 < r_2$ ) göz önüne alınır.

**Girdiler:** (Li ve diğerleri, 2011: 4)

$V$  Talep Noktaları Seti

$i$  Talep Noktaları İndeksi

|                |                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W              | Potansiyel Tesisler Seti                                                                           |
| j              | Potansiyel Tesisler İndeksi                                                                        |
| W <sub>i</sub> | Talep Noktalarını Kaplayan Tesisler Seti                                                           |
| d <sub>i</sub> | "i" Talep Noktasının Popülasyon Genişliği                                                          |
| P              | Geçerli Toplam Tesis Sayısı                                                                        |
| Y <sub>i</sub> | "i" Talep Noktasının En Az 1 Defa Tesis/Tesisler Tarafından Kaplanması Durumundaki Binary Değişken |
| X <sub>j</sub> | Bir tesisin "j" lokasyonuna atanması durumundaki binary değişken                                   |

**Amaç Fonksiyonu :** (Li ve diğerleri, 2011: 3)

$$\text{Maksimum } \sum_{i \in V} d_i Y_{i2}, \quad (1)$$

**Kısıtlar:** (Li ve diğerleri, 2011: 7,8)

$$\sum_{j \in W_{i2}} X_j \geq 1, \quad i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} d_i Y_{i1} \geq \alpha \sum_{i \in V} d_i \quad (3)$$

$$Y_{i2} \leq Y_{i1}, \quad i \in V \quad (4)$$

$$\sum_{j \in W_{i1}} X_j \geq Y_{i1} + Y_{i2}, \quad i \in V \quad (5)$$

$$\sum_{j \in W} X_j = P \quad (6)$$

$$X_j \leq P_j, \quad j \in W \quad (7)$$

$$Y_{i1}, Y_{i2} \in \{0,1\}, \quad i \in V \quad (8)$$

$$X_j \in \text{Tam Sayılar Kümesi}, \quad j \in W \quad (9)$$

Y<sub>i1</sub> ve Y<sub>i2</sub> binary değişkenlerdir, eğer "i"nci talep noktası r<sub>1</sub> içerisinde en az bir kez veya iki defa kaplanıyorsa bu değişkenler 1 değerini alır. W<sub>i1</sub> ve W<sub>i2</sub>, r<sub>1</sub> ve r<sub>2</sub>'deki talep noktalarını kapsayabilecek tesis siteleri kümelerini temsil eder.

İkili Standart Model'in amacı  $r_1$  standart mesafesinde kaplanan talepleri maksimum seviyede tutmaktır.

Kısıtlarda yer alan;

Eşitlik (1) amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Azami sayıda talebin kaplanması hedeflenmektedir.

Eşitlik (2) ve Eşitlik (3), tüm taleplerin  $r_2$  mesafesinde ve toplam taleplerin  $\alpha$  oranının  $r_1$  mesafesinde kaplanması gerektiğini ifade etmektedir.

Eşitlik (4), bir talep noktasının bir kez kaplanamadığı takdirde iki kez kaplanamayacağını gösteren kısıttır.

Eşitlik (5) ve Eşitlik (6), eğer  $r_1$  standart mesafesi içerisinde birden fazla sayıda tesis var ise "i"nci talep noktasının iki defa kaplanmasını sağlar.

Eşitlik (6) ve Eşitlik (7), kaplama yapan tesis sayısının toplam tesis sayısından küçük ya da eşit olmasını sağlar.

Eşitlik (8) ve Eşitlik (9) karar değişkenlerinin sadece 0 veya 1 değerlerini alabilmesini sağlayan kısıttır.

#### 2.1.3.4 Maksimum Beklenen Kaplama Problemi

Maksimum Beklenen Kaplama Problemi (MBKP) 1983 yılında Daskin tarafından geliştirilen tesis yeri seçimi modelidir (Li ve diğerleri, 2011: 9). Bu modelde tüm tesislerin aynı görev yoğunluğuna sahip olduğu ve birbirlerinden bağımsız olarak çalıştıkları varsayılmaktadır (Li ve diğerleri, 2011: 9). MBKP tesislerin gerçek hayatta hizmet veremeyecekleri durumları da dikkate almaktadır, eğer bir talep düğümündeki talep sadece tek bir tesis tarafından karşılanıyorsa o tesisin hizmet veremediği durumlarda talep karşılanamaz (Daskin, 1983: 48). MBKP'de bu durum göz önüne alınarak talep düğümlerinin, mevcut tesisler ile olabildiğince fazla sayıda kaplanması böylelikle de taleplerin azami şekilde karşılanması amaçlanmaktadır.

MBKP'de azami kaplamanın yapılmasını sağlayacak şekilde belirli sayıdaki tesisin yerleştirilmesi hedeflenmektedir (Batta ve diğerleri, 1989: 227).

**Amaç Fonksiyonu:** (Li ve diğerleri, 2011: 9)

$$\text{Maksimum} \sum_{i \in V} \sum_{k=1}^p d_i (1 - q) q_{k-1} Y_{i1} \quad (1)$$

(q= Bir tesisin hizmet verememe olasılığı)

**Kısıtlar:** (Li ve diğerleri, 2011: 9)

$$\sum_{j \in W_i} X_j \geq \sum_{K=1}^p Y_{ik}, \quad i \in V \quad (2)$$

$$X_j \leq P, \quad j \in W_i \quad (3)$$

$$Y_{ik} \in \{0,1\}, \quad i \in V, K=1, \dots, p \quad (4)$$

$$X_j \in \text{Tam Sayılar Kümesi}, j \in W \quad (5)$$

Eşitlik (1) amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. ‘i’nci talebin azami şekilde ‘k’ sayıda tesis tarafından karşılanması hedeflenmektedir.

Kısıtlarda yer alan;

Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) taleplerin eldeki tesis sayısı ile karşılanmasını sağlayan kısıtlardır.

Eşitlik (4) ve Eşitlik (5) karar değişkenlerinin sadece 0 veya 1 değerlerini alabilmesini sağlayan kısıttır.

#### 2.1.3.5 Maksimum Geçerli Kaplama Problemi

Maksimum Geçerli Kaplama Problemi (MGKP) sınırlı sayıdaki tesisin belirli bir zaman sınırı içerisinde uygun sayıdaki talep noktasının taleplerinin azami şekilde karşılanmasını amaçlar (Revelle ve Hogan, 1989: 192).

### 2.2. TESİS YERİ OPTİMİZASYONUNDA KULLANILABİLECEK MATEMATİKSEL MODELLEME KAVRAMLARI

Tesis yeri seçimi problemlerinin çözümünde doğrusal programlama, çok kriterli kara verme, tavlama benzetimi, bulanık yöntemler vb. deterministik ya da sezgisel yöntemler kullanılabilmektedir. Hazırlanan çalışma kapsamında tam sayılı doğrusal programlama ile matematiksel bir model hazırlanacağı için bu model ile ilgili kavramlar bu kısımda ifade edilmektedir.

Tesis yeri seçimi problemlerinin çözümünde kullanılacak doğrusal programlama yöntemleri ve sezgisel yöntemler ile ilgili literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmalar, yazarlar ve çalışma konuları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

**Tablo 7:** Tesis Yeri Seçimi Problemlerinin Çözümünde Kullanılabilecek Yöntemler ile İlgili Literatür Taraması.

| Yazar                                                                 | Yıl  | Çalışmanın Konusu                                                                                                | Yayın türü |
|-----------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Yılmaz, H.                                                            | 2010 | Doğrusal Programlama Yöntemleri kullanılarak Üretim Planlaması Yapılması                                         | Y.L. Tez   |
| Klose, A.                                                             | 1998 | Dal-Kesme Yöntemi Kullanılarak Kapasite Dışında Diğer Kısıtları Bulunan Bir Tesis Yeri Seçimi Probleminin Çözümü | Makale     |
| Mitchell, J.E.                                                        | 1998 | Tamsayılı Programlamada Dal-Kesme Yönteminin Anlatan Bir Uygulama                                                | Makale     |
| Tulunay, Y.                                                           | 1980 | İşletme Uygulamalarında Matematiksel Programlama Yöntemlerini İçeren Bir Uygulama                                | Makale     |
| Tervonen, T., Figueira, J.                                            | 2008 | Stokastik Çok Kriterli Çözüm Yöntemlerini İçeren Bir Tarama                                                      | Makale     |
| Tavakkoli, R., Shayan, E.                                             | 1988 | Tesis Yeri Seçimi Problemlerinin Genetik Algoritmalar Kullanılarak Çözümü                                        | Makale     |
| Taha, H.                                                              | 2007 | Yön Eylem Araştırması Çalışma Alanı ve Çözüm Yöntemleri                                                          | Kitap      |
| Aerts, J.C.J.H.<br>Eisinger, E.<br>Heuvelink, G.B.M.<br>Stewart, T.J. | 2010 | Arazi Tahsisinin Minimüm Maliyetle Yapılmasını Amaçlayan Doğrusal Programlama Modeli Çözümü                      | Makale     |
| Özder                                                                 | 2009 | Tamsayılı Doğrusal Programlama Yöntemini Kullanarak Karar Verme Sürecine Katkı Sağlama                           | Y.L. Tez   |
| Türköz, N.F.                                                          | 2001 | Doğrusal Programlama Yöntemleri kullanılarak Üretim Planlaması Yapılması                                         | Y.L. Tez   |
| Genova,K., Guliashki, V.                                              | 2011 | Son 50 Yıl İçerinde Ele Alınan NP_Hard (Zor) Problemlerin, Hibrit Çözüm Yöntemleri ile İncelenmesi               | Makale     |
| Şahin, S.                                                             | 1994 | Tamsayılı Doğrusal Programla Yöntemleri ile Optimizasyon Yapılması                                               | Y.L. Tez   |
| Dieter, K., Edward, H.                                                | 1982 | Çok Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama Problemlerinin Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi                         | Makale     |
| Ulucan,A.                                                             | 2004 | Yön Eylem Araştırması ile İlgili Kavram ve Çözüm Yöntemlerini İçeren Ders Kitabı                                 | Kitap      |

**Tablo 7:** Tesis Yeri Seçimi Problemlerinin Çözümünde Kullanılabilecek Yönetmeler ile İlgili Literatür Taraması (Devamı).

|                                                  |      |                                                                                                                                           |          |
|--------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Öztürk, A.                                       | 2002 | Yön Eylem Araştırması ile İlgili Kavram ve Çözüm Yöntemlerini İçeren Ders Kitabı                                                          | Kitap    |
| Çevik, O.                                        | 2006 | Tamsayılı Doğrusal Programla Yöntemleri Kullanılarak İşgücü Planlaması Yapılması                                                          | Makale   |
| Özcan, S.                                        | 2014 | Entegre Bir Doğrusal Programlama Metodu ile Tesis Yeri Seçimi Problemi Çözümü                                                             | Y.L. Tez |
| Başkaya, Z., Öztürk, B.A.                        | 2005 | Bir Fabrikadaki Araç Rotalama Probleminin Dal-Kesme Yöntemiyle Çözülmesi                                                                  | Makale   |
| Özdağoğlu, A.                                    | 2008 | Tesis Yeri Seçim Problemlerinin Bulanık Yöntemler ile Çözümü                                                                              | Makale   |
| Zheng, G., Zhu. N., Tian. Z., Chen. Y., Sun. B., | 2012 | İş Emniyetinin Sağlanması ve Bir Erken Uyarı Sistemi Geliştirilmesi Probleminin Bulanık AHP Metoduyla Çözümü                              | Makale   |
| Nasibe, Ç.                                       | 2008 | Ulaştırma Problemlerinde Maliyet Optimizasyonu Amaç Fonksiyonuna Sahip Bir Problemin Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yöntemleriyle Çözümü | Y.L. Tez |
| Önel, F.                                         | 2014 | Tesis Seçimi Problemlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Çözümü                                                                 | Y.L. Tez |
| Özcan, S.                                        | 2014 | Tesis Yeri Seçimi Problemlerini Doğrusal Programlama Yöntemleriyle Çözümü                                                                 | Y.L. Tez |
| Yiğit, V., Türkbey, O.                           | 2003 | Tesis Yeri Seçim Problemlerinin Sezgisel Metodlarla Çözümü                                                                                | Makale   |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 2.2.1. Doğrusal Programlama ve Optimizasyon

Doğrusal Programlama, optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir, başta yön eylem araştırması olmak üzere üretim sistemlerinin planlamasında sıklıkla kullanılmaktadır (Yamak,1994: 221).

Doğrusal Programlama, belirli doğrusal eşitliklerin kısıtlayıcı koşulları altında doğrusal bir amaç fonksiyonunu optimumlaştırmak şeklinde tanımlanır (Türköz, 2001: 14). Doğrusal Programlama için bir başka tanım da belirli bir amacın gerçekleşme derecesini etkileyen bazı kısıtların bulunduğu ve bunların doğrusal eşitlik/eşitsizlikler olarak ifade edildiği koşullarda bu amaca en iyi biçimde ulaşılması için kısıt kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan matematiksel bir yöntemdir (Tulunay, 1980: 167). Burada amaç kâr maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu olabileceği gibi, çıktı veya girdi kullanımının maksimizasyonu olabilir.

Doğrusal Programlama probleminin çözümü 3 safhada gerçekleşmektedir (Tulunay, 1980: 167).

- Gerekli verilerin toplanması,
- Probleme ait modelin kurulması,
- Kurulan modelin çözümlerinin araştırılması.

Kurulan modelin çözüm aşamasında üç değişik sonuç ile karşılaşılabilir.

- Modelin yapısına bağlı olarak çözümler birden fazla olabilir,
- Modelin hiçbir çözümü bulunmayabilir,
- Amaç denklemine aynı değeri kazandıran farklı (alternatif) çözümler bulunabilir.

Erdoğan'a göre optimizasyon, bir ya da birden fazla bağımsız değişkeni olan matematiksel bir fonksiyonun verilen kısıtlayıcı koşullar altındaki en iyi çözümünü arama işlemi olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2016: 293). Optimizasyon en büyükleme (maksimizasyon) ya da en küçükleme (minimizasyon) işlemlerinin genel bir adıdır ve ekonomi, üretim, tasarım, planlama vb. birçok alanda kullanılan ve tüm bilim dallarını ilgilendiren bir konudur. Örneğin işletmelerde kârın maksimizasyonu, bir araç motorunun etrafa yaydığı zararlı gazların minimizasyonu veya tasarlanacak cihazların en uygun boyutta üretilmesi birer optimizasyon işlemidir (Erdoğan, 2016: 294).

### **2.2.2. Doğrusal Programlama ile İlgili Varsayımlar**

Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde tutarlı sonuçların elde edilebilmesi için kabul edilmesi gereken altı adet varsayım bulunmaktadır ([https://web.itu.edu.tr/~cebife/DP\\_model\(2\).pdf](https://web.itu.edu.tr/~cebife/DP_model(2).pdf), Erişim Tarihi, 17.10.2019). Bu varsayımlar aşağıda belirtilmiştir.

#### **2.2.2.1. Belirlilik Varsayımı (Certainty)**

Bir doğrusal programlama probleminde yer alan parametrelerin bilindiği ve değişmediği kabul edilir. Problem kapsamında, birim başına kârın, maliyetlerin, kaynakların sabit olduğu değişme eğilimi içerisinde olmadığı kabul edilmektedir.

#### **2.2.2.2. Doğrusallık (Linearity)**

Doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonu ile kısıt denklemleri doğrusal olmalıdır. Bir işletme açısından değerlendirecek olursak işletmenin girdileri-çıktıları arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır, üretim girdileri artışı üretim düzeyi artışı ile doğru orantılıdır. Amaç fonksiyonu ve kısıt denklemleri matematiksel bir biçimde ifade edilmektedir. Amaç fonksiyonu ve kısıtların doğrusallığı için, karar değişkenlerinin ( $X_i$ ) birinci dereceden, katsayıların da sabit ( $C_j$ ) olması gerekir.

#### **2.2.2.3. Negatif Olmama (Non-Negativity)**

Doğrusal programlama problemindeki tüm değişkenlerin negatif olmayan değerler alması gerekir. Bir işletme açısından negatif bir üretim söz konusu olamayacağından değişkenler pozitif ya da en azından sıfıra eşit değerler almalıdır.

#### **2.2.2.4. Bölünebilirlik (Divisibility)**

Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde kesirli sonuçlar elde edilebilir örneğin motorsiklet üretimi yapan bir firmanın, yapılan modelleme sonucunda günlük 4.57 adet motorsiklet üretmesi gerektiği sonucuna varılabilir, optimum sonuca ulaşıldıktan sonra kesirli değerler “Tam Sayı Programlama” algoritmasıyla tamsayılaştırılabilir.

#### **2.2.2.5. Toplanabilirlik (Additivity)**

Doğrusal programlama problemlerinde amaç fonksiyonunun ve kısıt denklemlerinin değerlerine yapılan toplam katkı, her birine yapılan katkının ayrı ayrı toplanmasıyla elde edilir. Bir işletme açısından bir iş iki iş-gücü saat ile diğer bir iş üç iş-gücü saat ile yapılıyorsa iki işin birden yapılması için beş iş-gücü saati gerekir.

#### **2.2.2.6. Orantısallık (Proportionality)**

Karar değişkenlerinin her birinin amaç fonksiyonu veya kısıt denklemlerinin sol tarafına yapacağı katkı karar değişkeninin değeri ile orantılıdır. Örneğin amaç fonksiyonunda yer alan kalemıraş değişkeninin amaç fonksiyonuna katkısı 2 TL ise 5 adet kalemıraşın amaç fonksiyonuna toplam katkısı 10 TL olacaktır.

### 2.2.3. Doğrusal Programlama Probleminin Matematiksel Gösterimi

Doğrusal programlama problemleri maksimizasyon veya minimizasyon problemleri olabilir. Her iki problemin matematiksel modellerinde genel olarak; “amaç fonksiyonu”, “kısıtlayıcı denklemler”, “negatif olmayan değişkenler” ve “model içerisindeki tüm ilişkilerin doğrusal olduğunun kabul edilmesi” olmak üzere dört ana unsur bulunmaktadır (Yılmaz, 1988: 54). Matematiksel modelin çözülmesinde en önemli husus, öncelikle değişkenlerin belirlenmesi, sonrasında da amaç ve kısıtların bu değişkenlerin matematiksel bir fonksiyonu olarak model içerisinde ifade edilmesi veya tanımlanmasıdır (Taha, 1971: 17).

Bir doğrusal programlama modeli, doğrusal eşitlik/eşitsizlikler şeklindeki kısıt denklemleri kapsamında en iyilenecek (optimum kılınacak) bir doğrusal amaç fonksiyonunu içermektedir.

Doğrusal programlama problemi, matematiksel modelleme ile aşağıdaki şekilde gösterebilir. ([https://web.itu.edu.tr/~cebife/DP\\_model\(2\).pdf](https://web.itu.edu.tr/~cebife/DP_model(2).pdf), Erişim Tarihi, 17.10.2019).

$$\begin{aligned} Z_{\max/\min} &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_j &\geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Doğrusal programlama problemlerinde;

- Uygun çözüm birden fazladır fakat genellikle optimum çözüm bir tanedir bununla birlikte alternatif çözüm/çözümler olabilir.

- Kaynakların miktarı sınırsız değildir amaç fonksiyonunu sağlamak için sonsuz miktarda kaynak kullanılamayacağından miktar açısından en kısıt kaynak çözüm alanını belirler.

- Verilen bilgiler, amaç ve kaynaklar ile ilgili kısıtlayıcı koşullar, matematiksel olarak eşitlikler veya eşitsizlikler şeklinde ifade edilmeli, ifadeler doğrusal olmalıdır.

- Karar değişkenleri ( $x_j$ ) negatif değerde olmamalıdır.

- Katsayılar önceden belirlenmiştir, her bir matematiksel model için sabit oldukları kabul edilir.

#### **2.2.4. Doğrusal Programlama Problemlerinin Çözüm Yöntemleri**

Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde grafik metodu ve simpleks metodu genellikle kullanılan çözüm yöntemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Problemlerde kullanılan değişkenler ve değişkenlerin sayıları, problemlerin zorluk dereceleri gibi etmenlere bağlı olarak her iki metod çözüm yolu itibariyle birbirlerinden farklı özellikler taşımaktadır.

##### **2.2.4.1. Grafik Çözüm Tekniği**

Grafik çözüm tekniği en fazla üç değişkenli problemlerin çözümünde kullanılabilen bir tekniktir.

Bununla birlikte üç değişkenli problemlerin çözümleri üç boyutlu koordinat sistemiyle yapıldığından çizim ve anlama açısından zorluk söz konusudur. Bu yüzden grafik çözüm tekniği daha çok iki değişkenli problemlerin çözümlerinde kullanılmaktadır (Özder, 2009: 13).

İki değişkenli doğrusal programlama modelinin grafik çözümü  $x_1$  ve  $x_2$  koordinat eksenleri yardımıyla ve tek bir şekil üzerinde gösterilir. Bu modelin grafik çözüm tekniğinde başvurulacak işlemler aşağıda belirtildiği şekilde sıralanabilir.

- Sınırlayıcı koşulların grafiğini çizme
- Uygun çözüm alanını belirleme
- Amaç fonksiyonunun grafiğini çizme
- En iyi çözümü bulma.

##### **2.2.4.2. Simpleks Metodu**

Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan simpleks metodu 1947 yılında George B. Dantzig tarafından geliştirilmiş daha sonraki yıllarda da birçok alandaki problemler bu metodla çözülmüştür.

Simpleks metodu amaç fonksiyonunu, gerçekleştirilen ardışık işlemlerle basamak basamak, optimum çözüme yaklaştıran bir metottur. Tekrarlama sayısının bir standardı yoktur sabit değildir. Her tekrar sonrasında amaç fonksiyonu ile problemi ifade eden eşitsizlikler birbirine yaklaşır (Türköz, 2001: 18).

Simpleks metodu “tek bir noktada en iyi çözüm”, “birden fazla uç noktada en iyi çözüm”, “sınırsız çözüm” ve “uygun çözüm alanının boş olması” gibi karşılaştırılabilir tüm durumlara cevap vermektedir (Yılmaz, 2010: 39). Simpleks metotta uygun bölgenin sınırları üzerinde uç noktaları ziyaret ederek hangi noktada optimal çözüm olduğu araştırılmaktadır. Simpleks metot bu uç noktasından başladıktan sonra optimuma daha yakın bir ikincisine, oradan bir üçüncüsüne atlayıp optimum uç noktaya ulaşılmasını sağlamaktadır. Her atlayışta amaç fonksiyonu optimum çözüme biraz daha yaklaşmakta veya mevcut değerini muhafaza etmektedir. Simpleks metod, uygun bir başlangıç noktasından başlayarak amaç fonksiyonunu iyileştiren yönde uygun bölgenin köşe noktalarını kontrol ederek en iyi çözüm veren noktayı bulmaya çalışmaktadır. Simpleks metodu optimum sonuca ulaşılan dek veya optimum değer bağımsız olduğundan emin oluncaya kadar çözümleri geliştirmek için kullanılmaktadır (Yılmaz, 2010: 39).

Simpleks metodunda modelleme işlemleri değişkenler üzerinden yapılmaktadır, bu değişkenler “aylak değişkenler”, “artık değişkenler” ve “yapay değişkenler” olmak üzere üç gruba ayrılır (Taha, 2007: 67).

- Aylak (slack) Değişken: Her bir “ $\leq$ ” eşitsizlik için negatif olmayan aylak değişkeni “S” eşitsizliğin sağ tarafı ile sol tarafı arasındaki farkı ifade eder.

Aylak değişkenler kullanılmayan kapasite ve kaynak miktarını gösterirler, kullanılmayan kapasite ve kaynak miktarları işletmelerin kârını etkilemediğinden bu değişkenlerdeki değişiklikler amaç fonksiyonunu etkilemez.

- Artık Değişken (surplus): Her bir “ $\geq$ ” eşitsizliği için negatif olmayan artık değişken “V” vardır ki, bunun değeri eşitsizliğin sağ ve sol tarafı arasındaki farkı gösterir. Bu değişkenlerin amaç fonksiyonundaki katsayıları kârı etkilememeleri için ‘0’dir.

- Yapay Değişkenler (A): “ $\geq$ ” ve “ $=$ ” şeklindeki kısıtların sol tarafına eklenmektedir. Yapay değişkenlerin, maksimizasyon sorunlarında amaç fonksiyonundaki katsayıları “-M” minimizasyon sorunlarında ise “M” dir.

Simpleks çözüm tekniği aşağıda belirtilen adımlardan oluşmaktadır (Öztürk, 2002).

1. Verilen doğrusal programlama problemindeki kısıtları eşitlik haline dönüştürmek.
2. Başlangıç simpleks tablosunun düzenlenmesi.
3. Kârı maksimum veya maliyeti minimum yapacak olan değişkenin işleme girmesi.

4. Anahtar sıranın ve temelden çıkacak değişkenin belirlenmesi.
5. Yeni sıranın bulunması.
6. Optimal çözüme ulaşılması.

Bu adımların açıklanması ve daha iyi anlaşılabilmesi maksadıyla hazırlanan örnek problem aşağıda sunulmuştur.

Örnek Problem:

Bir işletme x, y, z ürünleri üretmek için elinde 40 kg. ham madde ve 20 saat işgücü kapasitesine sahiptir. Ürünlerin kâr payları sırasıyla 2, 6 ve 5 TL. dir. Bu ürünler için ham madde kullanım katsayısı sırasıyla; 1,1,1 kg. olup iş gücü katsayıları da 1, 2 ve 0 saattir. İşletme için en yüksek kârı sağlayan üretim bileşeni nedir?

Çözüm:

Problem şu şekilde modellenir.

$$\text{Maksimum } Z = 2x + 6y + 5z$$

$$x + y + z \leq 40$$

$$x + 2y \leq 20$$

$$x, y, z \geq 0$$

1. Adım: Problemdeki Kısıtların Eşitlik Haline Dönüştürülmesi

Daha önce de belirtildiği üzere eşitsizlikleri, amaç fonksiyonunun maksimum ya da minimum oluşuna göre eşitlik haline getirmek için kullanılan Aylak (slack) (S), Artık (surplus) (V) ve Yapay (artificial) (A) olmak üzere üç tip değişken bulunmaktadır. Bu değişkenlerin problem çözümünün ilk adımlarında kullanışlarıyla ilgili durumlar aşağıda belirtilmiştir.

**Tablo 8:** Eşitsizlikleri Eşitlik Haline Getirmek İçin Kullanılan Değişkenlere Yönelik Hususlar

| Kısıt    | Gerekli Ek  | Ek Değişkenin Değeri |       | Başlangıç Temelde Olup Olmadığı |
|----------|-------------|----------------------|-------|---------------------------------|
| İlişkisi | Değişkenler | Max.Z                | Min.Z |                                 |
| $\leq$   | + S         | 0                    | 0     | Var                             |
| $\geq$   | - V         | 0                    | 0     | Yok                             |
|          | + A         | - M                  | + M   | Var                             |
| =        | + A         | - M                  | + M   | Var                             |

Kaynak:(Şahin, 1994: 16)

Tablodan da görüldüğü üzere, aylak ve artık değişkenlerin amaç denklemindeki katsayıları sıfır olarak tanımlanmıştır. Yapay değişkenler için ise bu durum farklılık göstermektedir.

Simpleks yöntemin uygulanışında, elde edilecek mümkün temel çözümlerde yapay değişkenler bulunabilecektir. Ancak son simpleks tabloda hiçbir yapay değişkenin kalmaması gerekir. Bunun için minimizasyon problemlerinde yapay değişkenlerin amaç denklemindeki katsayıları çok büyük bir sayı (bu genelde M ile gösterilir) olarak düşünülür.

Maksimizasyon problemlerinde ise “M” mutlak değerce çok büyük bir negatif sayı olarak alınır (ya da M yerine –M kullanılır).

Yapay değişkenlerin amaç denklemindeki katsayıları alarak bu M değerlerini kullanan yöntem “M-yöntemi” olarak bilinir.

Ayrıca herhangi bir minimizasyon problemini bir maksimizasyon problemine dönüştürmek de mümkündür. Örneğin,

$$\text{Min.}Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n \text{ şeklindeki amaç denklemini,}$$

$$\text{Maks.}Z = -\text{Min.}Z = -C_1X_1 - C_2X_2 - C_3X_3 - \dots - C_nX_n \text{ şeklinde yazılabilecektir.}$$

Bu kapsamda verilen örnek problem için simpleks çözüm modeli şu şekildedir.

$$\text{Maks.}Z = 2x + 6y + S + 0S_1 + 0S_2$$

$$x + y + z + S_1 = 40$$

$$x + 2y + S_2 = 20$$

$$x, y, z, S_1, S_2 \geq 0$$

## 2. Adım: Başlangıç Simpleks Tablosunun Düzenlenmesi

Simpleks çözüm modeli oluşturulduktan sonra çözümü simpleks tabloda ifade etmek için aşağıdaki şekilde düzenleme yapılmalıdır.

**Tablo 9:** Başlangıç Simpleks Tablosunun Oluşturulması.

|    | Cj             | 2 | 6 | 5 | 0              | 0              | Bi    |
|----|----------------|---|---|---|----------------|----------------|-------|
| CB | Temel          | x | y | z | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | Çözüm |
| 0  | S <sub>1</sub> | 1 | 1 | 1 | 1              | 0              | 40    |
| 0  | S <sub>2</sub> | 1 | 1 | 1 | 1              | 0              | 20    |
|    | Zj             | 0 | 0 | 0 | 0              | 0              | 0     |
|    | Cj-Zj          | 2 | 6 | 5 | 0              | 0              |       |

Kaynak:(Şahin, 1994: 16)

Başlangıç tablosunda yer alan notasyonlar ve bunların neyi ifade ettiklerini kısaca belirtirsek.

CB : Amaç katsayı sütunu

Cj : Amaç satırı

Bi : Çözüm sütunu veya sabitler sütunu

### 3. Adım: Temele Girecek Değişkenin Belirlenmesi

Bu adımda “anahtar sütun” belirlenmektedir. Bu belirleme Cj-Zj satırına bakılarak tespit edilmektedir. Bu işlem doğrusal programlama probleminin amaç fonksiyonunun maksimum ya da minimum oluşuna göre aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

- Maksimizasyon problemlerinde Cj-Zj satırında en büyük pozitif değerli değişken,
- Minimizasyon problemlerinde Cj-Zj satırında mutlak değerce en yüksek negatif değerli değişken temele girecektir.

Verilen örnek problem kâr maksimizasyonu amaçlı bir problem olduğundan temele girecek değişken Cj-Zj satırındaki en büyük pozitif değer olan 6 rakamına karşılık gelen y değişkenidir.

### 4. Adım: Temele Girecek Değişkenin Belirlenmesi

Bu adımda “anahtar satır” belirlenecektir. Bunun için sırasıyla şu yol takip edilmektedir.

- Çözüm (bi) sütunundaki elemanlar anahtar sütunundaki elemanlara (aij) bölünerek bi/aij oranı bulunur. Yalnız burada aij elemanları sıfır veya negatif olan oranlar dikkate alınmaz.

- Bu oranların en küçüğü seçilir. Problemin amaç fonksiyonunun Maks.Z veya Min.Z amaçlı olması önem arz etmez.

Bu kapsamda örnek problem için oranlar aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 10:** Simpleks Tabloda Anahtar Satırın Bulunması İçin Oran Tablosu.

| Temel | y | bi/aij               |
|-------|---|----------------------|
| S1    | 1 | 40 : 1 = 40          |
| S2    | 2 | 20 : 2 = 10 en küçük |

Kaynak:(Şahin, 1994: 19)

Yukarıdaki tabloya bakıldığında  $S_2$  satırının anahtar satır olduğu görülmektedir. Anahtar sayı ve anahtar sütunun kesiştiği noktadaki sayıya da “anahtar (pivot) sayı” denilmektedir. Örnek problemde anahtar sayının 2 olduğu görülmektedir. Temelden çıkacak olan değişken ise  $S_2$  değişkenidir. Bu durumda  $y$   $S_2$  değişkeninin yerine geçer ve temel satır yeni tablo için bütün satır elemanları anahtar sayı olan 2’ye bölünmek suretiyle elde edilir buna “temel satır” denir.

#### 5. Adım: Yeni Satır (veya satırların) Bulunması

Anahtar satır, temel satır şeklinde dönüştürüldükten sonra diğer eski satırı yeni satır şekline çevirmek için önce “temel sayılar” belirlenir.

Temel sayılar, anahtar sütundaki anahtar sayı haricindeki sayılardır. Verilen örnek problem için bu sayı 20’dir.

Yeni satır için formül:

Yeni Satır Elemanı=Eski Satır Elemanı- (Temel Sayı x Temel Satır Elemanı)

Bu kapsamda yeni tablo şu şekilde olur

**Tablo 11:** Yeni Simpleks Tablo.

|    | Cj    | 2   | 6 | 5 | 0     | 0     | Bi    |
|----|-------|-----|---|---|-------|-------|-------|
| CB | Temel | x   | y | z | $S_1$ | $S_2$ | Çözüm |
| 0  | $S_1$ | 1/2 | 0 | 1 | 1     | -1/2  | 30    |
| 0  | y     | 1/2 | 1 | 0 | 0     | 1/2   | 10    |
|    | Zj    | 3   | 6 | 0 | 0     | 3     | 60    |
|    | Cj-Zj | -1  | 0 | 5 | 0     | 3     |       |

Kaynak:(Şahin, 1994, s.20)

#### 6. Adım: Optimal Çözüme Ulaşılması

Bu adımda bir önceki adımda izlenen kurallara istinaden iterasyonlara devam edilmektedir.  $C_j - Z_j \leq 0$  (veya  $Z_j - C_j \geq 0$ ) olduğu zaman optimal çözüme ulaşılır. Problem minimizasyon amaçlı ise optimal çözüm için  $C_j - Z_j \geq 0$ , (veya  $Z_j - C_j \leq 0$ ) olmalıdır.

Verilen problemdeki ilk simpleks tabloda  $C_j - Z_j$  satır elemanlarına ve  $b_j/a_{ij}$  oranlarına bakarak “anahtar sütun, satır ve sayı” şu şekilde belirlenmiştir:

Anahtar Sütun: z,  
 Anahtar Satır:  $S_1$ ,  
 Anahtar Sayı: 1.

**Tablo 12:** Nihai Simpleks Tablo.

|    | Cj    | 2    | 6 | 5 | 0              | 0              | Bi    |
|----|-------|------|---|---|----------------|----------------|-------|
| CB | Temel | x    | y | z | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | Çözüm |
| 5  | z     | 1/2  | 0 | 1 | 1              | -1/2           | 30    |
| 6  | y     | 1/2  | 1 | 0 | 0              | 1/2            | 10    |
|    | Zj    | 5.5  | 6 | 5 | 5              | 0.5            | 210   |
|    | Cj-Zj | -3.5 | 0 | 0 | -5             | -0.5           |       |

Kaynak:(Şahin, 1994: 20)

Bu tabloda  $C_j - Z_j \geq 0$  olduğu için optimal çözüm bulunmuştur. İşletme maksimum kâr ( $Z=210$  TL) elde etmek için y'den 10 birim ve z'den 20 birim üretmelidir.

### 2.2.5. Doğrusal Programlamada Dualite Kavramı

Bir doğrusal programlama probleminin çözüm süreci uzun olabilir ya da çözüm mümkün herhangi bir sonuç vermeyebilir. Böyle bir durumla karşılaşıldığında o problemin dualinin çözümü ile asıl problem için bir çözüm bulunabilir. Bu tür durumlarda problemin çözülebilmesi için dualite kavramının anlaşılması ve dual problemin yorumlanabilmesi gerekmektedir.

#### 2.2.5.1. Dual Problem ve Dualite Kavramı

Herhangi bir doğrusal programlama problemi primal veya asıl olarak bilinir. Bununla birlikte problemin primal görünümü yanında "dual problem" olarak ifade edilen bir başka görünümü daha mevcuttur. Her doğrusal programlama problemi kendisiyle ilgili olan dual doğrusal programlama problemiyle ilişkilendirilmektedir. Bu problemlerden biri minimizasyon problemiye diğeri maksimizasyon problemidir (Yılmaz, 2010: 51). Dual problem kavramının ele alınmasında iki ana neden göz önünde tutulmaktadır.

- Primale göre dual problemin çözümünün daha az hesaplama işlemi gerektirmesi,
- Dual problemin çözümünün önemli ekonomik yorumlar sağlamasıdır.

Bir doğrusal programlama probleminin duali aşağıdaki adımlar ile bulunmaktadır.

- Optimizasyon yönü tersine çevrilir, dual problemde, primal problemin amaç fonksiyonundaki minimizasyon maksimizasyona ve aynı şekilde maksimizasyon da minimizasyon haline gelir.

- Kısıtlarda bulunan eşitsizlik işaretleri dual problemde tersine çevrilir. Bununla birlikte karar değişkenleri için doğrusal programlamada söz konusu negatif olmama kısıtları aynı şekilde kalmaktadır.

- Primal problem kısıtlarının katsayı matrisindeki satırlar dual problemdeki kısıtlar matrisinde sütunlar durumuna çevrilmektedir.

- Primal problemin amaç fonksiyonunun katsayılarını içeren satır dual problemin kısıtlar için sabitler sütununa çevrilmektedir.

- Primal problemdeki kısıtların sabitler sütunu, dual problemin amaç fonksiyonunun katsayılar satırını oluşturmaktadır.

Doğrusal programlama probleminin genel matematik formunu ele aldığımızda, amaç fonksiyonunun maksimizasyon problemi olduğunu ve tüm kısıtların eşitsizliğinin ( $\leq$ ) yönde olduğunu düşündüğümüzde bu problemi primal doğrusal programlama problemi olarak kabul edersek duali şu şekilde olacaktır;

Primal Problem:

$$\text{Maks. } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Kısıtlar

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

.

.

.

.

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

$$\text{ve } X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_n \geq 0$$

Yukarıda ifade edilen primal problemin dual problem olarak karşılığı ise aşağıdaki şekilde karşımıza çıkmaktadır.

Dual Problem:

$$\text{Min. } W = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_my_m$$

Kısıtlar

$$a_{11}y_1 + a_{21}y_2 + \dots + a_{m1}y_m \geq c_1$$

$$a_{12}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{m2}y_m \geq c_2$$

.

.

.

$$a_{m1}y_1 + a_{m2}y_2 + \dots + a_{mn}y_m \geq c_n$$

$$\text{ve } y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, \dots, y_n \geq 0$$

Amaç fonksiyonunun optimal değeri primal problem ve dual problem için de aynıdır. Eğer optimal çözümde herhangi bir dual değişken temel değişken olarak yer alırsa, onun primal problemdeki karşılığı olan aylak değişkenin değeri '0' olmaktadır.

Dual probleminin temel değişkenlerinin optimal çözüm değerleri primal simpleks çözüm tablosunda aylak değişkenlerin altındaki  $Z_j$  satırındaki veya  $C_j - Z_j$  satırında ters işaretli olarak bulunmaktadır (Yılmaz, 2010: 54).

Primal problemin optimal çözümünde amaç fonksiyonu denklemindeki aylak değişkenlerin katsayıları dual değişkenlerin optimal değerlerini vermektedir. Primal değişkenlerin optimal değeri dual simpleks çözüm tablosunda artık değişkenlerin altındaki  $C_j - Z_j$  satırında bulunmaktadır (Yılmaz, 2010: 54).

#### 2.2.5.2. Gölge Fiyatlar Kavramı ve Dual Problemin Yorumlanması

Dual model değişkenlerinin optimal değerlerine "gölge fiyatlar" denmektedir. Gölge fiyatlar herhangi bir üretim kaynağının miktarının bir birim artırılması veya azaltılması durumunda amaç fonksiyonunda meydana gelebilecek artış ya da azalış olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2010: 55).

Modelde mevcut olan sağ taraftaki sabit değerler sınırlı kaynakların miktarını belirtmektedir, gölge fiyatlar ise primal modelin optimum çözümünden de anlaşılacağı gibi, her kaynağın biriminin değerini göstermektedir.

#### 2.2.6. Tamsayılı Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama problemlerinde çözüm sonuçları, çoğunlukla tamsayı olmayan rastgele pozitif sayılardır. Fakat gerçek hayatta sonuçların tam sayı olmasını gerektiren otomobil, beyaz eşya, takım tezgâhları vb. üretimler söz konusudur. Ekonomik yaşamda her zaman girdi ve çıktıların bölünememesi sorunuyla karşılaşilmektedir. Bölünmezlikleri göz önünde tutulan problemlerin çözümleri de tam sayı olmalıdır.

Modellerin uygulanmasında, değişkenlerin tam sayı olması şartının incelenmesi ve araştırılması kapsamında kullanılacak model “Tam Sayılı Doğrusal Programlama (TDP)” modelidir (Öztürk, 2002: 167).

Tam Sayılı Doğrusal Programlama, değişkenlerinden bir kısmının veya tamamının tam sayılı (ya da kesikli) değerler aldığı bir doğrusal programlama türüdür (Ulucan, 2004: 211). Doğrusal Programlama ile Tamsayılı Doğrusal Programlama arasındaki fark, Doğrusal Programlama modelinde karar değişkenlerinin sıfır ve sıfırdan büyük olma koşulu aranırken, Tam Sayılı Doğrusal Programlama da değişken değerlerinin sıfıra eşit ve sıfırdan büyük tam sayı almaları koşulunun istenmesidir (Öztürk, 2002: 167).

Tam Sayılı Doğrusal Programlama problemi genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \text{Maks } Z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_j &= 0, 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Tam Sayılı Doğrusal Programlama Problemleri değişkenlerinin alacakları değerlere istinaden “Saf (pure) TDP” ve “Karma (mixed) TDP” olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Çevik, 2006: 159). Bir TDP probleminde karar değişkenlerinin tamamının tam sayı olması gerekiyorsa bu problem “Saf (pure) Tam Sayılı Doğrusal Programlama” problemidir.

Eğer TDP içerisinde mevcut n adet karar değişkeninden k adedinin tam sayı olması gerekiyorsa bu problem türü de “Karma (mixed)” Tam Sayılı Doğrusal Programlama problemidir.

Saf TDP’lerde problem değişkenlerinin alabilecekleri değerlere göre iki grupta ele alınmaktadırlar. Eğer değişkenler sadece 0 veya 1 değerlerini alabiliyorlarsa “sıfır-bir model”, her pozitif değeri alabiliyorlarsa pozitif model olarak ifade edilmektedirler (Çevik, 2006: 159).

Tamsayılı Doğrusal Programlama modelleri, sermaye bütçesi (capital budgeting) hesaplama, planlama (scheduling), sabit maliyet (fixed-charge) problemi, sırt çantası (knapsack) problemi, gezgin satıcı (travelling salesman) problemi, iş-atelye/makina planlama (job-shop scheduling) problemi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

### **2.2.6.1. Tamsayılı Doğrusal Programlamada Çözüm Yöntemleri**

Tamsayılı doğrusal programlama problemi, doğrusal programlama probleminin özel bir durumudur. Doğrusal programlama probleminin çözüm yöntemleriyle birlikte kendine has çözüm yöntemleri de bulunmaktadır. Tam sayılı doğrusal programlama problemi için çözüm yönteminin seçimi önemlidir. Bir problem için optimum çözüm veren bir yöntem bir diğer problem için uygun bir çözüm vermeyebilir.

#### **2.2.6.1.1. Grafiksel Çözüm Yöntemi**

Doğrusal Programlama problemleri kısmında yukarıda ifade edildiği şekilde “Grafik Yöntemi” Tam Sayılı Doğrusal Programlama problemlerinde de kullanılmaktadır.

#### **2.2.6.1.2. Kesme Düzlemi Yöntemleri**

Kesme Çözüm Yöntemleri, tam sayılı doğrusal bir problemin çözüm alanındaki dış bükey sınırlarının hesaplanmasının çok zor olması sebebiyle optimum çözümün çevresinde iterasyon yaparak bu sınırların tamsayılı hale getirmeyi amaçlamaktadır (Özder, 2009: 35).

Bu amacı başarmak içinde kümeyi tam sayılı değerleri içerisinde bırakacak şekilde yeni kısıtlar oluşturulur ve sonunda elde edilen yeni uç değerlerin tam sayı olması sağlanır.

#### **2.2.6.1.3. Dal-Sınır Yöntemi**

Bu metod ilk olarak Land ve Doig tarafından bulunmuş olup 1962 yılında Daskin tarafından geliştirilmiş sonrasında da Little, Murty, Sweeney ve Karel tarafından 1963 yılında gezgin satıcı problemlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Şahin, 1994: 56). Dal-Sınır Yöntemi bir tamsayılı doğrusal programlama probleminin tüm mümkün sonuçlarını belirlemeye yönelik bir yöntemdir. Bu yöntemde en uygun çözüme götürmeyen seçenekler önceden elenmektedir.

Çözümler seti çeşitli alt dallara ayrılır ve bunların her biri için olmak üzere, alt setlerdeki çözümler amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir (Özcan, 2014:68).

Bu yöntem isminden anlaşıldığı üzere, dallanma ve sınırlama olmak üzere iki işlemi içermektedir. Dallanma, problemin iki ya da daha fazla sayıda alt probleme ayrılmasıdır. Sınırlama bir alt problemin optimum çözümü üzerine bir alt ve/veya bir üst sınır değeri belirleme işlemidir (Özcan, 2014:68,69). Örneğin minimize edilmesi gereken bir amaç denklemi olduğunu düşünelim. Bu denklemin optimum değeri ile ilgili bir “üst sınır” vardır (Bu sınır genellikle amaç denkleminin bulunmuş olan en iyi değeridir). Buna göre ilk adımda, mümkün çözümler seti çeşitli setlere ayrılacaktır ve bunların her biri için olmak üzere, alt setlerdeki çözümlerin amaç denklemi değerlerine bir “alt sınır” bulunacaktır. Amaç denkleminin üst sınırını aşan alt sınırlara sahip alt setler araştırma dışı bırakılacaktır.

Kalan alt setlerden biri, örneğin en küçük alt sınıra sahip olanı, yeniden başka alt setlere ayrılacak sonrasında da bu alt setlerin alt sınırları saptanacaktır. Giderek, yukarıda yapıldığı gibi, burada da alt setlerden bazıları araştırma dışı bırakılacaktır. Amaç denklemi değeri herhangi bir alt setin alt sınırından daha büyük olmayan bir mümkün çözüm bulununcaya dek sürdürülecektir.

#### **2.2.6.1.4. Dal-Kesme Yöntemi**

Dal-kesme yöntemi, dal-sınır yöntemi ile kesme düzlemi algoritmasının birleşiminden oluşan bir yöntemdir, diğer tamsayılı programlama algoritmalarıyla benzer şekilde tamsayılı programlama probleminin, doğrusal programlama ile yapılacak çözümü ile başlamaktadır (Başkaya ve Öztürk:2005, 103).

Bir tamsayılı programlama problemini sadece kesme düzlemi algoritması kullanarak uygun şekilde çözebilme mümkün değildir. Alternatif optimum çözümlerin bulunabilmesi için problemin ayrıca dallandırılması gerekmektedir. Dal-sınır çözümüne kesme düzlemi algoritmasının uygulanmasıyla çözüm oldukça hızlandırılabilir. Kesmeler, dallandırma yapılmadan da eklenebileceği gibi ağacın her düğümünün çözümü esnasında da kesme kullanılabilir (Mitchell, 1998: 1,2).

Bu çözüm yönteminde problem alt dallara ayrılır, alt problemler için amaç fonksiyonu değerleri sınır değerleriyle karşılaştırılarak optimum çözüm bulunmaya çalışılır. Minimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu değerlerine bir alt sınır, maksimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu değerlerine bir üst sınır bulunur, değerler bu sınır değerleriyle kıyaslanır (Tütek ve Gümüšoğlu,1994: 260,261).

Elde edilen çözümler tamsayı değilse, probleme kesik düzlem kuralına göre elde edilen bir kısıtlayıcı eklenir bu kısıtlayıcıdan faydalanarak kesirli karar değişkeni seçilip bir denklem oluşturulur bu denklemin çözümüne göre, tam sayılı bir çözüm bulununcaya kadar kesir düzlemi kuralına göre kısıtlayıcı eklenerek ya da problem alt dallara ayrılarak tam sayılı optimum çözüm bulunmaya çalışılır (Öztürk,2002:168).

#### **2.2.6.1.5. Tam Sayı Olmayan Çözümün Yuvarlanması Yöntemi**

Tam sayı olmayan çözümün yuvarlanması yöntemi ile en iyi doğrusal programlama çözümünde (kesirli olabilir) değişkenlerin kesirli değerlerini bir yukarı veya bir aşağı tam sayıya yuvarlamak suretiyle tam sayılı çözüm elde edilir.

Yuvarlama yöntemi ile iyi bir tam sayılı çözüm bulunabilir ancak bunun en iyi tam sayılı çözüm olduğunun garantisi yoktur. Bu yöntem tam sayılı doğrusal programlama problemi çözümünde kolaylıkla kullanılabilen bir yöntemdir. Zaman ve masraftan tasarruf sağlar. Bulunan çözüm optimal çözümden farklı olabilir ve hatta uygun bir çözüm olmayabilir (Çevik, 2006: 162).

#### **2.2.7. Doğrusal Programlama Problemlerinin Duyarlılık Analizleri**

Duyarlılık analizi diğer tüm parametrelerin değerleri sabit tutulurken sadece bir parametrenin değerinin değişmesi esasına dayanır (Özgüven, 2003: 150). Duyarlılık analizlerinde, modelde bulunan katsayıların kesin olmadığı düşünülür ve gelecek dönemlerde bu katsayıların değişmesi durumunda optimal çözümü ne derece etkileyeceği incelenir.

Duyarlılık analizlerinde, amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı katsayılar ve kaynak değerlerindeki değişikliklerin incelenmesine ile modele yeni bir değişkenin ya da yeni bir kısıtın eklenmesi durumunda optimum çözümdeki değişiklikler de incelenmektedir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### EGE DENİZİ ARAMA KURTARMA BÖLGESİNDE GERÇEKLEŞECEK ARAMA KURTARMA FAALİYETLERİ KAPSAMINDA KULLANILACAK İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ SAHİL İSTASYON MEVKİLERİNİN OPTİMİZASYONU

Bu bölüm tezin uygulama kısmından oluşmaktadır. Araştırma kapsamında problem tanıtılmış, araştırmanın amacı, araştırma kapsamında yapılan çalışmalar, matematiksel modelin oluşturulması anlatılmıştır. Çalışmanın tamamlanması sonrasında yapılan duyarlılık analizleriyle model doğrulanmış çalışmanın sonucu ve yapılan çalışmanın gelecek dönemde geliştirilmesi ile ilgili öneri ve değerlendirmeler detaylı şekilde ifade edilmiştir.

#### 3.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU

Araştırmanın konusu Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesinde gerçekleşecek kaza/olaylara müdahale edecek olan İHA'ların kontrol edilecekleri sahil istasyonlarının konumlarının belirlenmesidir.

#### 3.2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

##### 3.2.1. Araştırmanın Amacı

Araştırmanın amacı Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesinde gerçekleşecek kaza/olaylara en kısa sürede müdahale edebilmek için kullanılacak İHA'ların kalkış yapacakları sahil istasyonlarının mevkilerini optimum (en uygun) şekilde belirlemektir.

A/K operasyonlarına zamanında müdahale edebilmek için sürat büyük bir avantajdır İHA'lar deniz araçlarına göre daha süratli olmaları, üzerlerinde radar, elektro-optik kamera, kızılötesi ve termal takip sistemleri, GPS gibi faydalı yükleri taşıyabilmeleri sebebiyle kazazedelerin yerlerinin tespit ve takip edilebilmesi açısından etkili araçlardır ve bu özellikleri sebebiyle problem kapsamında ana A/K vasıtası olarak İHA'lar ele alınmıştır.

### 3.2.2. Araştırmanın Kapsamı

Araştırmanın kapsamını Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Bölgesinde gerçekleşen deniz kaza/olayları oluşturmaktadır. Araştırmanın coğrafi kapsamı Ulusal Arama ve Kurtarma Planında koordinatları belirtilen Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Bölgesidir. Araştırma probleminde örneklem olarak 2015-2020 yılları arasında bu bölgede gerçekleşmiş deniz kaza/olayları ele alınmıştır.

### 3.3. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Arama ve kurtarma faaliyetlerinin ana amacı insan hayatını kurtarmaktır, insan hayatının tehlikeye düştüğü tüm durumlarda gecikme en istenmeyen husustur süratli hareket edilerek kaza yerine ulaşılması ve kurtarma operasyonuna ivedilikle başlanması, planlı ve organize bir şekilde kazazedelerin kurtarılması gerekmektedir.

Türkiye'nin 8.372 km uzunluğunda sahil hattına (Ege 2.805 km, Akdeniz 1.577 km, Karadeniz 1.695 km, Marmara 927 km), üç çevre denize ve bir iç denize sahip olduğunu düşündüğümüzde, günümüzde artarak devam eden deniz trafiğini ve yaşanan düzensiz göç olaylarındaki yoğunluk durumunu göz önünde tuttuğumuzda deniz kazalarının yaşanma olasılığı yüksektir. Türkiye'nin de kıyı hattını çevreleyen denizlerde yaşanabilecek bu olaylara en etkili şekilde reaksiyon göstermesi ve başarılı A/K operasyonları gerçekleştirmesi gerekmektedir.

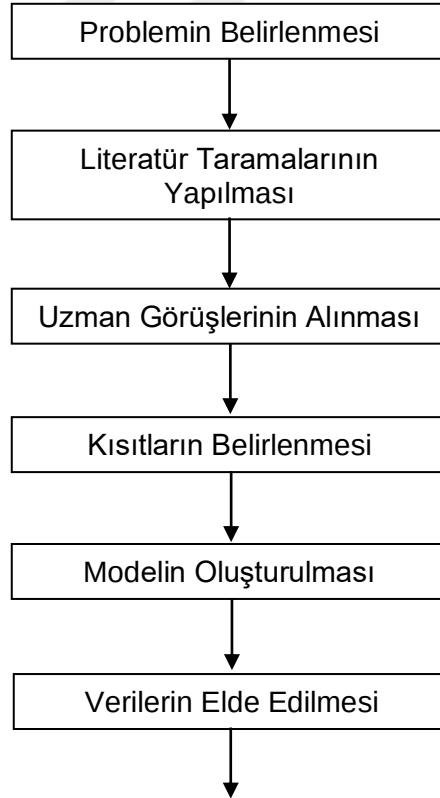
Araştırma problemi, bir coğrafi alan içerisinde yer alan kaza mahallerinin İHA'ların çalışma menzili içerisinde kalmasını sağlayacak olan YKİ'lerin mevkilerinin belirlenmesi ile ilgili olan bir tesis yeri seçimi problemidir. Tez kapsamında tasarlanan matematiksel model tesis yeri seçim problemlerinin çözüm yöntemleri esas alınarak hazırlanmıştır. İHA sahil kontrol istasyonları tesis olarak, kaza mahalleri ise müşteriler olarak ele alınmıştır. Modelleme iki model üzerinden gerçekleştirilmektedir. İlk modelde Küme Kapsama Modeli ile bazı veriler elde edilmiştir. Bu verilerin elde edilmesi sonrasında Maksimum Kapsama Modeli ile problem çözülmüştür. Benzer problemlere yönelik literatür taraması yapıldığında çözümlerin genellikle tek bir matematiksel model üzerinden yapılmış olduğu görülmektedir. Çözüm modelinin iki model ilişkilendirilerek hazırlanmış olması diğer problemler için örnek teşkil etmektedir.

Problemin modeli herhangi bir senaryoya istinaden hazırlanmamıştır. Modelleme tamamiyle gerçek durum esas alınarak hazırlanmıştır. A/K faaliyetleri kapsamında tüm Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Bölgesinin İHA'lar tarafından kaplanması gerektiği kabul edilmiş bahse konu deniz alanının en az bir kez uçuş yapacak İHA'lar ile kaplanmasını sağlayacak minimum sayıdaki İHA sahil kontrol istasyonunun belirlenmesi hedeflenmiştir.

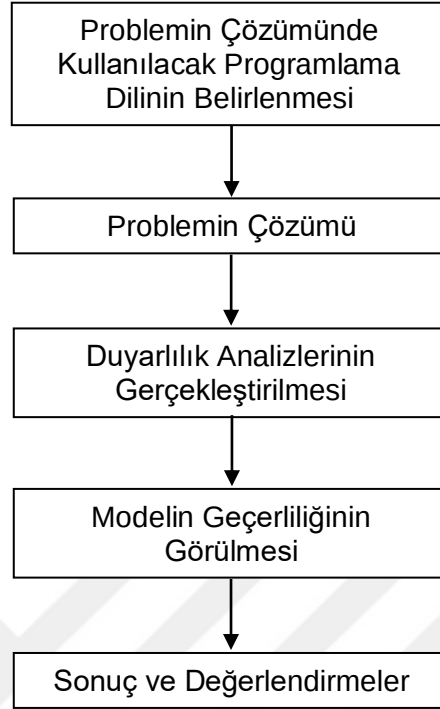
### 3.4. ARAŞTIRMANIN SÜREÇLERİ

Araştırma süreci Ocak 2018 Ayı içerisinde literatür taramalarının yapılmaya başlanmasıyla başlamıştır. A/K faaliyetleri, A/K organizasyonu, A/K bölgelerinin önemi, A/K konusunda yaşanan Türkiye'yi ilgilendiren uluslararası anlaşmazlıklar, İHA'lar, İHA'ların kullanımları, doğrusal programlama, tam sayılı doğrusal programlama, optimizasyon, tesis yeri seçimi problemleri konularında yazım taramaları gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın amacı doğrultusunda problemin çözümüne yönelik takip edilen süreçler aşağıdaki şekilde sunulmuştur.

**Şekil 4:** Araştırma Süreçleri



**Şekil 4:** Araştırma Süreçleri (Devamı)



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Problemin optimum çözümünü sağlayabilmek için tam sayılı doğrusal programlama yöntemiyle matematiksel model hazırlanmıştır. Problemin amacına uygun şekilde karar değişkenleri belirlenmiş ve matematiksel modelin amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu oluşturulduktan sonra karar değişkenleri ile ilgili küme/parametreler belirlenmiştir. Tesis yeri seçimi problemleri üzerine önceki yıllarda yapılmış çalışmalar ve alan uzmanlarıyla yapılan görüşmeler sonrasında amaç fonksiyonunu etkileyen kısıt denklemleri hazırlanmıştır.

Problemi çözecek programlama dilini seçmek için tesis yeri seçimi problemlerinin çözümünde kullanılan programlama dilleri incelenmiştir. Bu diller arasından GAMS (General Algebraic Modeling System) isimli hem doğrusal hem de doğrusal olmayan problemlerin ve karma problemlerin çözümünde kullanılan güçlü, esnek bir programlama dili seçilmiştir. GAMS bünyesinde, CPLEX, LINGO, DICOPT gibi çözücü algoritmaları barındırmaktadır. Araştırma probleminin çözümü CPLEX çözücüsü vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

### **3.5.1. Veri Toplama Aracı**

İHA'ların YKİ'lerinin belirlenmesinde göz önüne alınması gereken ve İHA'ların görev yapmasını etkileyen kısıtları (Meteorolojik, Coğrafi, Teknik vb.) belirlemek maksadıyla halihazırda aktif olarak meslek yaşantılarına devam eden İHA pilotlarıyla görüşme yapılması kararlaştırılmıştır. Görüşmelerde kullanılmak üzere referans olacak görüşme formunun hazırlanması sonrasında, Ekim 2019 ayı içerisinde hâlihazırda aktif olarak Türkiye'de taktik sınıf İHA pilotu olarak görev yapmakta olan İHA pilotlarıyla görüşmeler yapılmıştır.

İHA pilotlarıyla gerçekleştirilen görüşmeler sonrasında elde edilen bulgular ışığında İHA'ların kalkış yapmalarını etkileyen kısıtlar belirlenmiştir. Belirlenen kısıtlar hazırlanan matematiksel modelde kullanılmıştır.

Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Bölgesinde gerçekleşen deniz kazalarına yönelik örneklem verilerini elde etmek üzere Ulaştırma Denizcilik ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğüne yazılı talepte bulunulmuştur.

#### **3.5.1.1 Araştırma Kapsamında Belirlenen Görüşme Yöntemi**

Görüşme özellikle nitel araştırma yöntemlerinde kullanılan bir veri toplama aracı/yöntemidir. Bir araştırma aracı olan görüşme, araştırmacı ile araştırmanın öznesi konumunda olan kişi arasında geçen kontrollü ve amaçlı sözel iletişim biçimidir (Türnüklü, 2000: 544). Araştırma problemi göz önüne alındığında Türkiye'de görev yapan İHA pilotlarının, İHA'lar ile ilgili kısıtların belirlenmesine yönelik görüşme yapılacak örneklem kümesi için uygun bir topluluk olduğu görülmektedir Taktik İHA'lar günümüzde güvenlik maksatlı olarak kullanıldıkları için ülkemizde görev yapan İHA pilotlarının sayısı güvenlik zafiyeti oluşturmamak adına çalışma kapsamında ifade edilmemiştir. İHA pilotlarıyla yapılan görüşmelerde, görüşme yönteminin gereklerinden olan geçerlilik ve güvenilirlik prensiplerine titizlikle riayet edilmiştir. Görüşme yapılan tüm kişiler sertifikalarını tamamlamış ve halen aktif şekilde görev yapmakta olan İHA pilotlarıdır, sorulan sorular konuya açıklık getirecek anlam taşıyan, anlaşılır, karmaşık cevaplar yerine kısa anlaşılır cevapların verilebileceği ve görüşülen kişilerden nesnel cevaplar almaya uygun olacak şekilde hazırlanmıştır.

Gerçekleştirilen görüşmelerde, görüşmecinin soru soruş biçiminin de görüşme sonucunda elde edilen verinin içeriğini veya niteliğini etkileyebileceği göz önünde tutulmuş, görüşme yapılan her bir pilota aynı sorular, aynı sözcükler kullanılarak aynı biçimde sorulmaya özen gösterilmiştir.

Görüşmeler genel olarak, yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış, yapılandırılmamış olmak üzere 3 grupta sınıflandırılmaktadır.

Yapılandırılmış görüşme; dikkatlice yazılarak belirli bir sıraya koyulan bir dizi sorunun hazırlanmasından oluşmaktadır. Görüşme yapılan her bir kişiye bu sorular aynı tarzda ve aynı sırada sorulur. Bu yaklaşım ile “görüşmeci yanlılığını ve öznelliğini” azaltmak amaçlanmaktadır.

Yarı yapılandırılmış görüşme; bu yaklaşım yapılandırılmış görüşme yaklaşımından daha esnektir. Araştırmacı sormayı planladığı soruları içeren görüşme protokolü hazırlar fakat sorduğu bu sorular hakkında daha ayrıntılı bilgi almak için görüşme yapılan kişiye konuya ilişkin ilave sorular da sorabilir. Bu görüşme yönteminin en önemli avantajı görüşmenin önceden hazırlanan sorulara bağlı olarak sürdürülmesi sebebiyle daha sistematik ve karşılaştırılabilir bilgiler sunmasıdır.

Yapılandırılmamış görüşme; bu yaklaşımda önceden kararlaştırılmış sorular yoktur, sorular görüşmenin doğal akışı içinde sorulur ve görüşmenin ne tarafa gideceği önceden net olarak tahmin edilemez. Bu yöntem daha çok araştırmacının bir konu hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığı durumda kullanılır. Bu görüşme ayrıca daha sonraki görüşmeler için soru hazırlamak maksadıyla da kullanılabilir.

İHA pilotlarıyla yapılan görüşmelerde görüşme yöntemi olarak yarı yapılandırılmış görüşme yöntemi kullanılmıştır. Görüşme öncesinde hazırlanan sorular İHA’ların görev kısıtlarını belirlemeye yönelik olarak hazırlanmış olup görüşmeler esnasında da pilotların verdikleri bilgiler doğrultusunda ilave sorular sorularak her bir konu ayrıntılandırılmıştır. Sorulan ilave sorularda pilotlara herhangi bir şekilde yönlendirmede bulunmak amaçlanmamış sadece konunun aydınlatılması amaçlanmıştır.

Görüşmeler sonucunda elde edilen veriler analiz edilerek İHA sahil kontrol istasyonlarının mevkilerinin belirlenmesinde göz önüne alınması gereken kısıtlar tespit edilmiştir.

### 3.5.1.2. Görüşmeler Sonucunda Elde Edilen Bulgular

İHA pilotlarıyla yapılan görüşmede EK 1'de belirtilen görüşme formu kullanılmıştır. Görüşme formu İHA'ların kalkış yapma faaliyetini etkileyen teknik, coğrafi, meteorolojik ve fiziki etmenleri belirleyerek bunları İHA'ların sahil kontrol istasyonlarının belirlenmesiyle ilişkilendirmek üzere hazırlanmıştır.

Gerçekleşen görüşmelerde İHA pilotları tarafından; İHA'ların, YVT adı verilen antenlerden gönderilen anten anteni görme prensibi ile çeşitli frekans bantlarında bulunan sinyaller ile ya da uydu kontrollü olarak sevk ve idare edildikleri, uydu kontrollü olsalar dahi YVT'lere ihtiyaç duydukları, YVT'lerin konuşlandırılmasında göz önüne alınması gereken en önemli hususun antenlerin etrafında coğrafi engellerin bulunmaması olduğu ve hatta antenlerin olabildiğince yüksekte olması ve antenlerin etrafında herhangi bir engelin bulunmamasının en istenen durum olduğu böylelikle İHA'ların sevk ve idare edilebilecekleri mesafenin artacağı ifade edilmiştir.

İHA'larının sevk ve idaresinde genel prensip olarak YVT'lerin, İHA'ların iniş ve kalkış yaptıkları hava meydanlarına konuşlandırıldığı bununla birlikte hava meydanları ile YVT'lerin aynı yerde bulunmaları gibi bir zorunluluğun olmadığı öğrenilmiştir. YKİ'lerdeki kontrol konsollarıyla YVT'ler arasında fiber optik bağlantılar olduğu sürece İHA'ların çok uzun mesafelerden bile kontrol edilebildikleri ancak genel kullanım konseptleri gereğince İHA'ların kontrol edildikleri YKİ'ler ile YVT'lerin aynı yerde bulunmalarının uygun olacağı İHA pilotları tarafından ifade edilmiştir.

İHA'ların sahil kontrol istasyonları için yükseklik ve engellerin bulunmamasına ilave olarak ihtiyaç duyulan bir diğer faktör İHA'ların iniş kalkış esnasında tabi olmaları olan rüzgârların en düşük seviyede olması gerektiğidir. Rüzgârlar dışında da bulut alt taban yüksekliğinin çok alçak olmaması da YVT'lerin seçiminde bir faktör olarak kabul edilebilir. Bulut alt taban yüksekliğinin alçak olması daha çok İHA'nın uçuş görevinde zorluk yaratan bir faktördür, İHA'nın sadece kalkış yapma faaliyeti göz önüne alındığında bulut alt taban yüksekliğinin alçak olması önemli bir zorluk oluşturmaz. Bununla birlikte İHA pilotları bulut alt taban yüksekliğinin alçak olduğu sisli hava koşullarında emniyet sebebiyle İHA'ları kaldırmadıklarını ifade etmişlerdir.

Sahil kontrol istasyonları yapılırken fiberoptik kablo bağlantısı sağlanması, elektrik enerjisi ihtiyacı, su deposu ve ulaşım imkanları gibi alt yapı ihtiyaçlarının bulunduğu bu ihtiyaçlar arasında ise en önemli ihtiyacın fiberoptik bağlantı ihtiyacı olduğu İHA Pilotları tarafından ifade edilmiştir.

İHA'ların bakım tutum ve onarımlarının bulundukları üslerde yapıldığı öğrenilmiştir. Bu bakımların yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan malzemeler üs içerisinde yer alan bakım kademelerinde bulunmaktadır. Bu kademelerde bulunacak malzeme, cihaz ve sistemler ile görev yapacak personelin idamesi lojistik bir konudur ancak günümüz teknolojisinde bunların üsse ulaştırılmasının ve idamesinin herhangi bir şekilde sorun teşkil etmediği görülmektedir.

İHA'ların üzerlerinde kamera, termometre, barometre, lazer işaretleme cihazı vb. faydalı yükler bulunmaktadır. İHA'nın YKİ'lerinin belirlenmesinde bu cihazlardan kaynaklı herhangi etken bulunmamaktadır.

İHA'ların sahil kontrol istasyonlarının mevkilerinin belirlenmesinde İHA'ların emniyetli bir şekilde kalkış yapmaları ve YVT'lerle kesintisiz bir şekilde iletişim içerisinde kalmalarının en önemli konular olduğu görülmektedir. Zaten İHA'ların maksimum görev menzilleri yakıt kapasitelerinden ziyade YVT'ler ile etkili iletişim kurabilecekleri mesafe ile ilgilidir. İHA pilotları kalkış esnasında İHA'yı etkileyecek en önemli etmenin yan rüzgârlar (İHA'nın sağ veya sol tarafına esen rüzgârlar) olduğunu ifade etmişlerdir. Bu rüzgârların 15 kts'tan fazla olduğu koşullarda İHA'lar emniyetli kalkış yapamamaktadır. İHA pilotlarıyla yapılan görüşmeler sonrasında İHA'ların sahil kontrol istasyonlarının belirlenmesinde etkili olacak coğrafi, meteorolojik, teknik kriterler verilen cevaplara istinaden belirlenerek aşağıdaki tabloda önem derecelerine göre belirtilmiştir.

**Tablo 13:** İHA'ların Yer Kontrol İstasyonlarının Belirlenmesinde Etkili Kriterler

| No. | Kriter                                                                                   | Etki Derecesi      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1.  | Anten-Anteni Görebilme                                                                   | Yüksek             |
| 2.  | Kalkış Esnasındaki Yan Rüzgarlar                                                         | Yüksek             |
| 3.  | İHA'nın Kalkışına Engel Olabilecek Doğal Engeller                                        | Yüksek             |
| 4.  | Yükseklik                                                                                | Yüksek             |
| 5.  | Bulut Altı Taban Yüksekliği                                                              | Orta               |
| 6.  | Rüzgar ve Bulutluluk Dışındaki Meteorolojik Koşullar (Yağış, Sis vb.)                    | Orta               |
| 7.  | Üs'ler ile YVT Arasındaki Mesafe                                                         | Orta               |
| 8.  | Fiber Optik Kablo Bağlantıları                                                           | Düşük              |
| 9.  | Uygun Altyapının Sağlanması                                                              | Düşük              |
| 10. | İHA'ların Sınıfları                                                                      | Gözardı Edilebilir |
| 11. | İHA'lar Üzerinde Mevcut Faydalı Yüklerin Çeşitliliği                                     | Gözardı Edilebilir |
| 12. | İHA'ların Onarım/Bakım Tutum Yapılacak İstasyonlara Olan Uzaklıkları                     | Gözardı Edilebilir |
| 13. | İHA'ların Bakım ve İdamelerine Yönelik İhtiyaç Duyulan Malzemeler İçin Depolama İhtiyacı | Gözardı Edilebilir |
| 14. | Operatörlerin (Pilotların) Kabiliyetleri                                                 | Gözardı Edilebilir |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5.1.3. Kaza/Olay Yoğunluk Oranlarının Belirlenmesi

Problemin çözümünde ihtiyaç duyulan bir diğer parametre ise kaza-olay yoğunluk oranlarıdır.

Çalışma kapsamında hazırlanan matematiksel modelde kullanılmak üzere Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesinde son 5 yıl içerisinde gerçekleşmiş olan deniz kaza/olaylarının mevki bilgilerine istinaden bir yoğunluk haritası oluşturulmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Kaza/olayların gerçekleştikleri mevki bilgilerine erişmek için konu ile ilgili kayıtların tutulduğu Ulaştırma Denizcilik ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğüne, Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dekanlığı vasıtasıyla 03 Şubat 2020 tarihinde yazılı talepte bulunulmuştur. Denizcilik Genel Müdürlüğü başlısı AAKKM tarafından 2015-2020 yılları arasında Ege Denizinde gerçekleşmiş deniz kaza/olay bilgilerinin gönderilmesi sonrasında Maps Info isimli bilgisayar programı vasıtasıyla Ege Denizi Kaza/Olay Yoğunluk Haritası oluşturulmuştur.

### 3.5.2. Verilerin Analizi

Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesinde gerçekleşecek kaza/olaylara en kısa sürede müdahale edebilmek için kullanılacak İHA'ların kalkış yapacakları sahil istasyonlarının mevkilerinin optimum (en uygun) şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır ve bu kısımda da konuyla ilgili literatürden, İHA pilotlarıyla yapılan görüşmelerden ve kaza/olaylardan elde edilen sonuçlara göre modelin oluşturulması hedeflenmiştir.

Tezin konusu ve özellikleri nedeniyle problem “tesis yeri seçimi problemi” olarak ele alınmıştır. Kaza/olayların gerçekleştiği yerler “**talep noktası**”, sahil istasyonları ise “**aday noktası**” olarak ifade edilmiştir. Amaç fonksiyonu **asgari sayıda aday noktası ile azami sayıda talep noktasının kaplanması** üzerine oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde karar değişkenleri (aday noktaları ve talep noktaları) binary değişkenler olarak belirlenmiştir.

Araştırma problemi için model oluşturulurken İHA'ların uçuşlarının sağlıklı bir şekilde gerçekleşebilmesi için ihtiyaç duyulan coğrafi/meteorolojik koşullar, İHA'lardan kaynaklı çeşitli kısıtlar, bölge içerisinde gerçekleşen kaza/olayların yoğunluk oranları gibi hususlar kısıt olarak yer almıştır.

### 3.5.2.1. Problem ile İlgili Varsayımlar

Maliyet kalemi probleme dahil edilmemiştir. Bununla birlikte kaynakların sınırlı olması gerçeğinden hareketle problemi gerçekçi bir çözüme kavuşturmak için tesis sayısında bir sınırsızlık düşünülmemiştir.

Tüm talepleri karşılayacak şekilde tesis ataması yapılırken, tesis sayısının belirli bir sayı ile sınırlı tutulması gerekmektedir. Çünkü çözüm tüm talep noktalarının her biri için ayrı ayrı tesis atanmasıyla, ya da talep noktası sayısından fazla sayıda tesis atanmasıyla da sağlanabilir.

Talep noktalarının her biri yalnızca tek bir istasyonun sorumluluğuna bırakılmamıştır. Talep noktalarının, bu noktaları kapsayan tüm istasyonların müşterek sorumluluğunda olduğu kabul edilmektedir. (Yani bir talep noktası birden fazla aday nokta tarafından kaplanabilir)

Sahil istasyonlarında yer alacak İHA sayısı probleme dahil edilmemiştir, her daim kalkış yapabilecek sayıda İHA'nın hazır bulunacağı kabul edilmektedir.

Talep noktaları ile aday noktaları arasında sadece yatay mesafe göz önünde tutulmuştur, yükseklikten kaynaklı dikey mesafe ihmal edilebilecek seviyede düşük bir mesafe olduğundan göz ardı edilmiştir.

Problemin çözümünde aday noktalarının her birinin kaplama mesafesi, sahil istasyonlarında konuşlandırılacak olan ANKA Taktik İHA'ların maksimum kontrol mesafesi olan 200 km olarak belirlenmiştir. Bu sınıf İHA'lar saatte azami 117 km hız ile 200 km mesafeye kadar kontrol edilebilmektedir. Bu mesafe Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesini kapsamak için yeterli bir mesafedir. Bununla birlikte farklı bölgelere göre yapılacak çözümler için farklı sınıfta İHA'lar kullanılabilir.

### 3.5.2.2. Matematiksel Model

Modellemede Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Sahasının tamamının kaplanması amaçlanmaktadır. Tüm talep noktaları kaplanacak, öncelik değeri düşük olan talep noktalarının en az bir defa öncelik değeri yüksek olan talep noktalarının ise en az iki defa kaplanması sağlanacaktır. Problemin çözümünde öncelik değerleri ile karar değişkenlerinin ilişkilendirilmesi çok önemlidir. Problem çerçevesinde talep noktalarının tamamının asgari (minimum) sayıdaki tesisle kaplanması amaçlanmaktadır.

Talep noktalarının tamamının kaplanması maksadıyla asgari sayıdaki tesis sayısının belirlenmesi bir **minimizasyon** problemi, bununla birlikte belirlenen sınırlı sayıdaki tesisin, tam kaplamayı sağlamak üzere meteoroloji, coğrafi ve mesafe uygunluk değerlerine istinaden en uygun yere konumlandırılması ise bir **maksimizasyon** problemidir. Dolayısıyla **problem iki model oluşturulup birbiriyle ilişkilendirilerek çözülmüştür**. Oluşturulan ilk model talepleri kaplayacak minimum tesis sayısını hesaplayan minimizasyon modelidir.

İkinci model ise minimum tesis sayısı bulunduktan sonra, bu sınırlı sayıdaki tesisin tüm talep noktalarını kapsayabilen ve uygunluk değeri en yüksek olan mevkilere konumlandırılmasını hedefleyen maksimizasyon modelidir.

İHA'ların pist üzerinden kalkış yapabilmeleri için hava meydanının rüzgâr, yağış, buzlanma ve bulut alt taban yükseklikleri gibi meteorolojik koşullar açısından uygun olması gerekmektedir. Bu koşullar ne kadar elverişli ise İHA'ların kalkış yapmaları o kadar kolay olacaktır. Ayrıca İHA'ların pist üzerinden kalkış yapabilmeleri için gerekli bir diğer koşul ise kalkış yaptıktan sonra İHA'nın etrafında fiziki bir engel olmaması gerektiğidir. İHA'ların kalkış yapıp görev icra etmeleriyle ilgili meteorolojik ve coğrafi gerekler modele meteoroloji uygunluk değeri ve coğrafi uygunluk değerleri olarak eklenmişlerdir.

Meteoroloji uygunluk değerleri (HUD), İHA'ların rüzgâr, yağış, buzlanma ve bulut alt taban yükseklikleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Meteorolojik uygunluk değeri yüksek olan istasyon İHA'ların kalkışı için daha elverişlidir dolayısıyla bu değerler hem kısıt olarak model de yer almalı hem de daha elverişli istasyonların kullanılmasını sağlamak maksadıyla amaç fonksiyonu içerisinde yer almalıdır.

Coğrafi uygunluk değerleri (CUD), İHA'ların kalkışı esnasında etraflarında fiziki bir engel olmaması, İHA-YVT arasındaki iletişimin kesilmemesini sağlamak üzere belirlenen bir katsayıdır. Coğrafi uygunluk değeri yüksek olan istasyon İHA'ların kalkışı için daha elverişlidir. Bu katsayının da HUD'lar gibi hem model içerisinde hem de kısıtlar içerisinde yer alması gerektiği düşünülmektedir.

CUD ve HUD değerleri hava meydanlarının bulundukları mevkilerin coğrafi ve meteorolojik koşullarıyla ilgilidir. Coğrafi ve meteorolojik koşulların, İHA'ların kalkışlarında birbirlerine göre olan etkileri farklı olacaktır. Bu etkiyi ifade etmek üzere modele " $\alpha$  (Meteoroloji uygunluk değeri ağırlığı)" ve " $\beta$  (Coğrafi uygunluk değeri ağırlığı)" eklenmiştir. Örneğin bir hava meydanı için coğrafi koşullar İHA kalkışını 1 önem derecesinde etkiliyor, meteorolojik koşullar 3 önem derecesinde etkiliyor ise amaç fonksiyonunda bu durumu ifade etmek için  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 3$  değeri almalıdır.

Problem arama ve kurtarma problemi olduğu için en kısa sürede kaza/olay yerine intikal edebilmek çok önemlidir. Dolayısıyla talep noktalarını kendilerine daha yakın aday noktaları ile kaplayabilmek için mesafeye dayalı önceliklendirme yapmak gerekmektedir. Bu önceliklendirme de modele mesafe uygunluk değeri olarak eklenmiştir. Mesafe uygunluk değeri (MUD) aday noktaları ile talep noktaları arasındaki mesafeler göz önünde tutularak belirlenmiş katsayılardır.

### 3.5.2.3. Aday Noktaların Belirlenmesi:

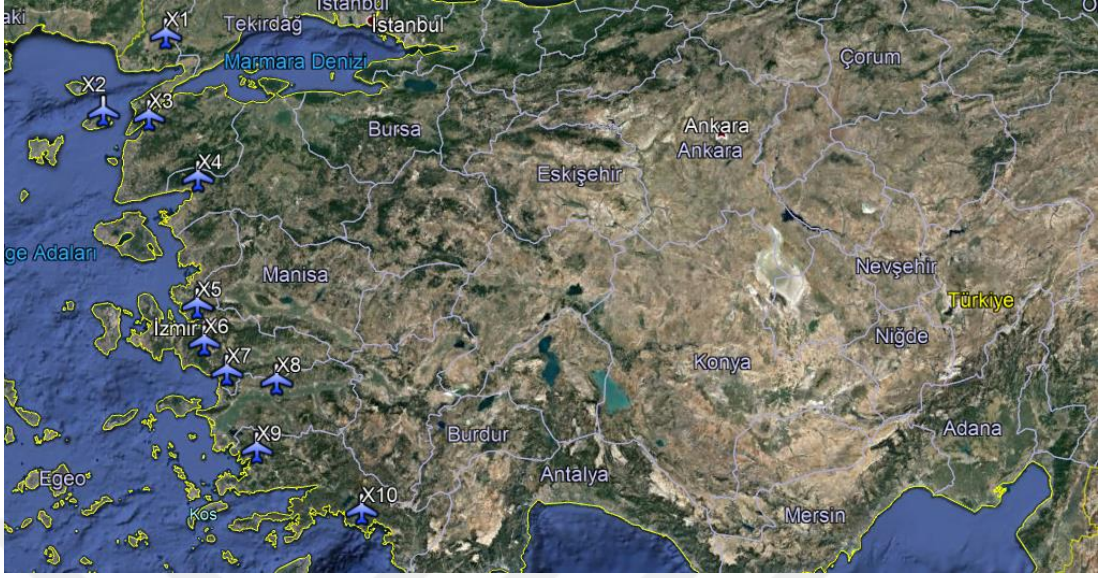
Ege Denizi kıyılarımızı çevreleyen havalimanlarımız aday noktalar olarak belirlenmiştir. Ege Denizi kıyılarının coğrafi yapısı ve bu bölgedeki Türk Arama ve Kurtarma sorumluluk sahamız, İHA'ların sürat ve haberleşme imkanları birlikte değerlendirildiğinde hâlihazırda aktif olarak kullanılan hava meydanlarının aday nokta olarak belirlenmesinin maliyet etkinlik açısından uygun olacağı değerlendirilmiştir. Ege Denizi kıyılarına yakın mesafede toplam 12 adet hava meydanı bulunmaktadır. Bunlardan Gaziemir Hava Üssü, Adnan Menderes Havalimanı ile Kaklıc Hava Üssü ise Çiğli Hava Üssü ile çok yakın olduğundan Gaziemir Hava Üssü ve Kaklıc Hava Üssü aday noktası olarak belirlenmemiştir. Aday nokta olarak belirlenen 10 adet havalimanı aşağıda sunulmuştur.

**Tablo 14:** Aday Noktaları Koordinatları

| Sıra No. | Aday No.        | Konum                  | Havalimanı                         | Koordinatları               |
|----------|-----------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1.       | X <sub>1</sub>  | Edirne                 | Keşan Hava Üssü                    | 40°47'0.89"K-26°36'24.80"D  |
| 2.       | X <sub>2</sub>  | Çanakkale/<br>Gökçeada | Gökçeada<br>Havalimanı             | 40° 6'38.22"K-25°54'15.12"D |
| 3.       | X <sub>3</sub>  | Çanakkale              | Çanakkale<br>Havalimanı            | 40° 4'29.77"K-26°26'6.73"D  |
| 4.       | X <sub>4</sub>  | Balıkesir              | Balıkesir Koca Seyit<br>Havalimanı | 39°32'52.55"K-27°0'43.84"D  |
| 5.       | X <sub>5</sub>  | İzmir/Çiğli            | Çiğli Hava Üssü                    | 38°27'27.68"K-27°1'3.20"D   |
| 6.       | X <sub>6</sub>  | İzmir                  | Adnan Menderes<br>Havalimanı       | 38° 8'30.55"K-27°5'50.67"D  |
| 7.       | X <sub>7</sub>  | İzmir/<br>Selçuk       | Selçuk-Efes<br>Havalimanı          | 37°53'25.00"K-27°20'51.50"D |
| 8.       | X <sub>8</sub>  | Aydın                  | Aydın Çıldır<br>Havalimanı         | 37°48'45.35"K-27°53'41.48"D |
| 9.       | X <sub>9</sub>  | Muğla                  | Milas-Bodrum<br>Havalimanı         | 37°13'42.16"K-27°40'16.70"D |
| 10.      | X <sub>10</sub> | Muğla                  | Dalaman Havalimanı                 | 36°41'57.15"K-28°47'37.05"D |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Şekil 5:** Aday Noktalar



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

#### 3.5.2.4. Talep Noktalarının Belirlenmesi:

2015-2020 yılları arasında Ege Denizinde yaşanan kayıtlı kaza/olayların gerçekleştiği mevkieilerin tamamı Maps Info isimli program vasıtasıyla harita üzerine plotlanmıştır.

Oluşturulan Kaza/Olay Yoğunluk Haritası aşağıda sunulmuştur.

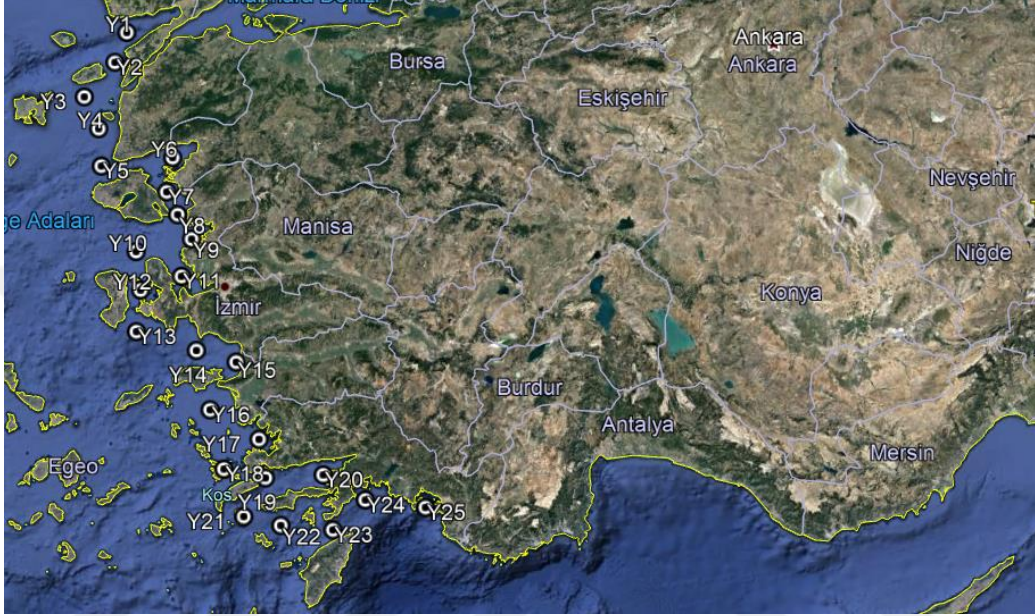
**Şekil 6:** 2015-2020 Yılları Arasında Ege Denizinde Gerçekleşen Kaza/Olay Mevkileri



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Gerçekleşen kaza/olayların mevkilerine istinaden toplam 25 adet talep noktası belirlenmiştir. Talep Noktaları aşağıdaki harita üzerindeki bölgelerin yoğunluk oranları göz önünde tutularak belirlenmiştir. Belirlenen talep noktalarının mevki bilgileri aşağıdadır.

**Şekil 7: Talep Noktaları**



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 15: Talep Noktalarının Koordinatları.**

| Sıra No. | Talep No. | Koordinatları                 |
|----------|-----------|-------------------------------|
| 1.       | Y1        | 40°28'57.52"K - 26°15'50.40"D |
| 2.       | Y2        | 40°15'3.83"K - 26° 7'44.58"D  |
| 3.       | Y3        | 39°59'28.36"K - 25°47'44.90"D |
| 4.       | Y4        | 39°43'55.38"K - 25°56'10.98"D |
| 5.       | Y5        | 39°26'7.79"K - 25°57'2.42"D   |
| 6.       | Y6        | 39°28'3.64"K - 26°41'27.91"D  |
| 7.       | Y7        | 39°12'6.17"K - 26°36'52.62"D  |
| 8.       | Y8        | 39° 1'5.08"K - 26°42'54.73"D  |
| 9.       | Y9        | 38°49'11.63"K - 26°50'41.67"D |
| 10.      | Y10       | 38°44'51.94"K - 26°16'27.19"D |
| 11.      | Y11       | 38°32'1.12"K - 26°43'21.51"D  |
| 12.      | Y12       | 38°26'39.69"K - 26°18'7.07"D  |
| 13.      | Y13       | 38° 7'16.44"K - 26°14'22.87"D |
| 14.      | Y14       | 37°56'54.60"K - 26°50'1.62"D  |
| 15.      | Y15       | 37°50'22.57"K - 27°13'26.09"D |
| 16.      | Y16       | 37°28'47.85"K - 26°56'9.62"D  |
| 17.      | Y17       | 37°13'40.27"K - 27°24'4.87"D  |
| 18.      | Y18       | 37° 0'40.42"K - 27° 2'13.59"D |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 15:** Talep Noktalarının Koordinatları (Devam).

| Sıra No. | Talep No. | Koordinatları                 |
|----------|-----------|-------------------------------|
| 19.      | Y19       | 36°55'26.23"K - 27°26'18.71"D |
| 20.      | Y20       | 36°55'11.54"K - 28° 0'21.81"D |
| 21.      | Y21       | 36°37'55.31"K - 27°12'3.78"D  |
| 22.      | Y22       | 36°32'44.61"K - 27°33'27.26"D |
| 23.      | Y23       | 36°29'9.42"K - 28° 3'37.58"D  |
| 24.      | Y24       | 36°42'8.66"K - 28°23'50.05"D  |
| 25.      | Y25       | 36°36'34.66"K - 28°58'22.74"D |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

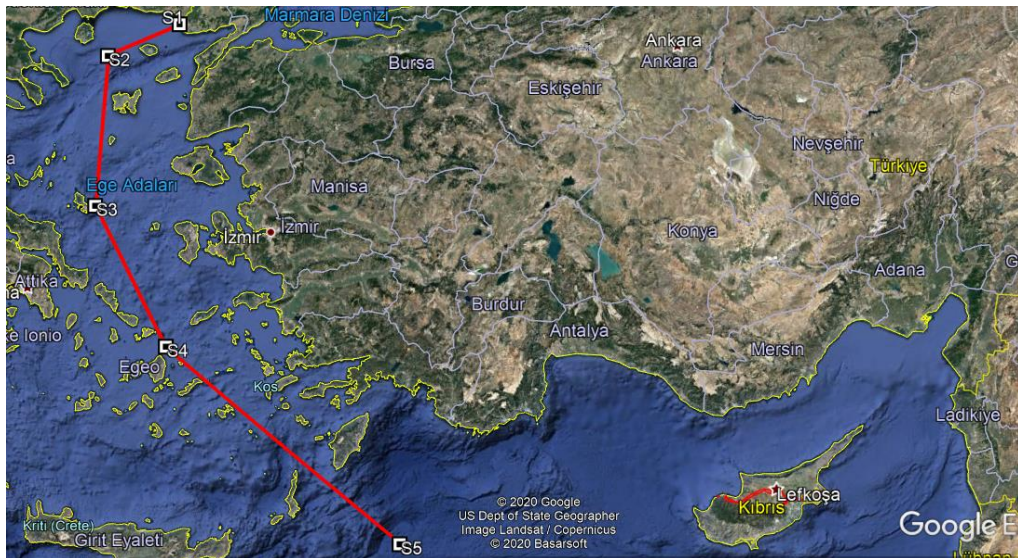
Kaza/olay yaşanmış olsun ya da olmasın Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesinin tamamının, İHA'ların görev yapabilecekleri azami mesafe ölçüsünde kaplanması gerekmektedir. Bu hususu sağlamak üzere Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesinin dış sınırları ve bu sınırlar arasında belirlenen noktalar probleme dahil edilmiştir. Bu noktalar en az bir defa herhangi bir hava meydanından kalkacak İHA ile kaplanacak şekilde talep noktası olarak kabul edilmiştir. Dış sınırlar ve bu sınırlar arasında belirlenen noktalar aşağıda sunulmuştur.

**Tablo 16:** Dış Sınırların Koordinatları.

| Sıra No. | Talep No. | Koordinatları               |
|----------|-----------|-----------------------------|
| 1.       | S1        | 40°42'50.00"K-26° 3'0.00"D  |
| 2.       | S2        | 40°25'50.00"K-25° 0'0.00"D  |
| 3.       | S3        | 38°50'0.00"K- 24°45'0.00"D  |
| 4.       | S4        | 37°17'60.00"K-25°37'60.00"D |
| 5.       | S5        | 35° 2'60.00"K- 28°30'0.00"D |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Şekil 8:** Dış Sınırlar



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 17:** Dış Sınırlar ve Aralarında Belirlenen Mevkilerin Koordinatları.

| Sıra No. | Talep No.       | Koordinatları                 |
|----------|-----------------|-------------------------------|
| 1.       | S <sub>1</sub>  | 40°42'50.00"K - 26° 3'0.00"D  |
| 2.       | M <sub>1</sub>  | 40°39'32.58"K - 25°52'25.95"D |
| 3.       | M <sub>2</sub>  | 40°36'47.94"K - 25°42'4.75"D  |
| 4.       | M <sub>3</sub>  | 40°34'2.65"K - 25°31'19.56"D  |
| 5.       | M <sub>4</sub>  | 40°31'44.15"K - 25°21'59.87"D |
| 6.       | M <sub>5</sub>  | 40°29'18.52"K - 25°12'7.28"D  |
| 7.       | S <sub>2</sub>  | 40°25'50.00"K - 25° 0'0.00"D  |
| 8.       | M <sub>6</sub>  | 40°17'55.47"K - 24°58'40.64"D |
| 9.       | M <sub>7</sub>  | 40° 9'23.31"K - 24°57'43.53"D |
| 10.      | M <sub>8</sub>  | 40° 1'3.50"K - 24°56'1.32"D   |
| 11.      | M <sub>9</sub>  | 39°51'58.94"K - 24°55'5.03"D  |
| 12.      | M <sub>10</sub> | 39°43'45.68"K - 24°53'28.67"D |
| 13.      | M <sub>11</sub> | 39°33'49.18"K - 24°52'8.62"D  |
| 14.      | M <sub>12</sub> | 39°27'25.31"K - 24°50'55.60"D |
| 15.      | M <sub>13</sub> | 39°18'44.56"K - 24°49'39.75"D |
| 16.      | M <sub>14</sub> | 39° 9'42.93"K - 24°48'6.87"D  |
| 17.      | M <sub>15</sub> | 39° 0'33.35"K - 24°46'43.52"D |
| 18.      | S <sub>3</sub>  | 38°50'0.00"K - 24°45'0.00"D   |
| 19.      | M <sub>16</sub> | 38°41'39.86"K - 24°49'47.57"D |
| 20.      | M <sub>17</sub> | 38°33'1.28"K - 24°54'30.14"D  |
| 21.      | M <sub>18</sub> | 38°23'46.02"K - 24°59'53.28"D |
| 22.      | M <sub>19</sub> | 38°14'10.96"K - 25° 5'29.17"D |
| 23.      | M <sub>20</sub> | 38° 5'52.38"K - 25°10'34.22"D |
| 24.      | M <sub>21</sub> | 37°57'1.44"K - 25°15'22.13"D  |
| 25.      | M <sub>22</sub> | 37°48'39.38"K - 25°20'6.05"D  |
| 26.      | M <sub>23</sub> | 37°40'17.22"K - 25°24'37.35"D |
| 27.      | M <sub>24</sub> | 37°32'33.97"K - 25°29'0.68"D  |
| 28.      | M <sub>25</sub> | 37°25'1.63"K - 25°33'22.24"D  |
| 29.      | S <sub>4</sub>  | 37°17'60.00"K - 25°37'60.00"D |
| 30.      | M <sub>26</sub> | 37°11'34.16"K - 25°45'26.16"D |
| 31.      | M <sub>27</sub> | 37° 5'22.92"K - 25°53'36.68"D |
| 32.      | M <sub>28</sub> | 36°59'22.54"K - 26° 1'43.01"D |
| 33.      | M <sub>29</sub> | 36°53'21.05"K - 26° 9'15.16"D |
| 34.      | M <sub>30</sub> | 36°48'9.55"K - 26°16'31.69"D  |
| 35.      | M <sub>31</sub> | 36°42'39.16"K - 26°22'46.26"D |
| 36.      | M <sub>32</sub> | 36°36'45.65"K - 26°31'26.15"D |
| 37.      | M <sub>33</sub> | 36°30'10.85"K - 26°40'2.69"D  |
| 38.      | M <sub>34</sub> | 36°23'16.90"K - 26°48'37.43"D |
| 39.      | M <sub>35</sub> | 36°16'52.35"K - 26°56'58.56"D |
| 40.      | M <sub>36</sub> | 36°11'6.94"K - 27° 4'18.60"D  |
| 41.      | M <sub>37</sub> | 36° 4'40.65"K - 27°11'26.94"D |
| 42.      | M <sub>38</sub> | 35°59'56.43"K - 27°18'44.86"D |
| 43.      | M <sub>39</sub> | 35°53'54.82"K - 27°26'26.02"D |
| 44.      | M <sub>40</sub> | 35°47'49.86"K - 27°34'16.25"D |
| 45.      | M <sub>41</sub> | 35°41'45.19"K - 27°41'54.88"D |
| 46.      | M <sub>42</sub> | 35°35'40.81"K - 27°49'30.39"D |

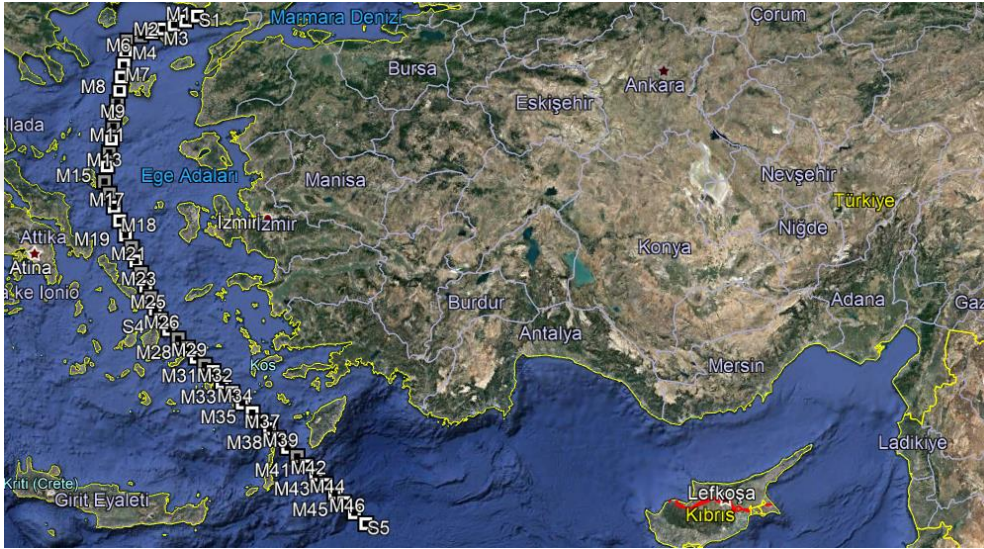
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 17:** Dış Sınırlar ve Aralarında Belirlenen Mevkilerin Koordinatları (Devam).

| Sıra No. | Talep No. | Koordinatları                 |
|----------|-----------|-------------------------------|
| 47.      | M43       | 35°29'17.87"K - 27°57'41.99"D |
| 48.      | M44       | 35°23'11.40"K - 28° 4'59.46"D |
| 49.      | M45       | 35°17'12.37"K - 28°12'24.95"D |
| 50.      | M46       | 35°10'20.86"K - 28°20'53.03"D |
| 51.      | S5        | 35° 2'60.00"K - 28°30'0.00"D  |

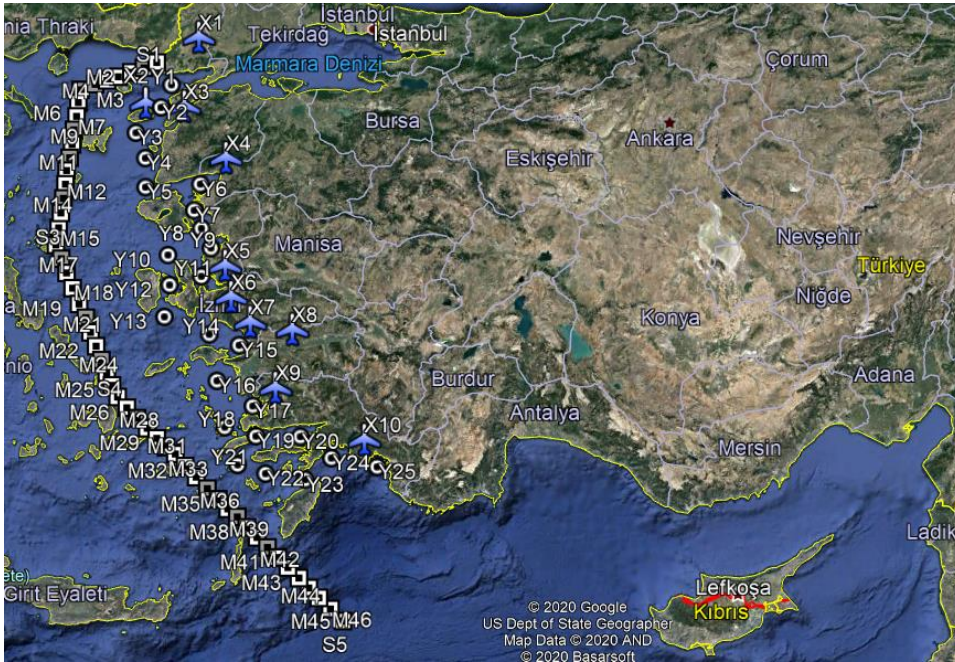
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Şekil 9:** Dış Sınırlar ve Aralarında Belirlenen Mevkiler



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Şekil 10:** Talep ve Aday Noktalarının Genel Görünümü



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5.2.5. Talep Noktalarının Öncelik Değerleri:

Belirlenen talep noktalarının kaza/olay yoğunluk oranlarına göre en az 1 ya da en az 2 defa kaplanması hedeflenmiştir. Çünkü herhangi bir hava meydanının görev yapamaz durumda olması halinde A/K için diğer hava meydanı üzerinden kalkacak İHA'lar kullanılabilir. Kaza/olayların yoğun olarak yaşandığı bölgeler en az 2, diğer bölgeler ve A/K bölgesi dış sınırları en az 1 defa kaplanacaktır.

Talep noktalarının önceliklendirilmesinde kaza/olay yoğunluk oranlarına ilave olarak mevkilerin deniz ulaştırmasındaki önemi de değerlendirilmiştir. Çanakkale Boğazının emniyetinin sağlanması deniz ulaştırmasının devamlılığı açısından diğer mevkilere göre daha önemlidir. Kaza/olay yoğunluğu düşük olmasına karşın Çanakkale Boğazı Bölgesi en az 2 defa kaplanacak şekilde değerlendirmeye alınmıştır. Talep ve A/K bölgesi dış sınır noktalarının öncelik değerleri aşağıdadır.

**Tablo 18:** Talep Noktalarının Öncelik Değerleri.

| Sıra No. | Talep Noktası   | Öncelik Değeri |
|----------|-----------------|----------------|
| 1.       | Y <sub>1</sub>  | 1              |
| 2.       | Y <sub>2</sub>  | 3              |
| 3.       | Y <sub>3</sub>  | 3              |
| 4.       | Y <sub>4</sub>  | 2              |
| 5.       | Y <sub>5</sub>  | 1              |
| 6.       | Y <sub>6</sub>  | 1              |
| 7.       | Y <sub>7</sub>  | 2              |
| 8.       | Y <sub>8</sub>  | 1              |
| 9.       | Y <sub>9</sub>  | 2              |
| 10.      | Y <sub>10</sub> | 1              |
| 11.      | Y <sub>11</sub> | 4              |
| 12.      | Y <sub>12</sub> | 3              |
| 13.      | Y <sub>13</sub> | 1              |
| 14.      | Y <sub>14</sub> | 1              |
| 15.      | Y <sub>15</sub> | 1              |
| 16.      | Y <sub>16</sub> | 1              |
| 17.      | Y <sub>17</sub> | 3              |
| 18.      | Y <sub>18</sub> | 1              |
| 19.      | Y <sub>19</sub> | 2              |
| 20.      | Y <sub>20</sub> | 1              |
| 21.      | Y <sub>21</sub> | 1              |
| 22.      | Y <sub>22</sub> | 1              |
| 23.      | Y <sub>23</sub> | 1              |
| 24.      | Y <sub>24</sub> | 2              |
| 25.      | Y <sub>25</sub> | 4              |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 19:** Sınır Noktalarının Öncelik Değerleri

| Sıra No. | Talep Noktası   | Öncelik Değeri |
|----------|-----------------|----------------|
| 1.       | S <sub>1</sub>  | 1              |
| 2.       | M <sub>1</sub>  | 1              |
| 3.       | M <sub>2</sub>  | 1              |
| 4.       | M <sub>3</sub>  | 1              |
| 5.       | M <sub>4</sub>  | 1              |
| 6.       | M <sub>5</sub>  | 1              |
| 7.       | S <sub>2</sub>  | 1              |
| 8.       | M <sub>6</sub>  | 1              |
| 9.       | M <sub>7</sub>  | 1              |
| 10.      | M <sub>8</sub>  | 1              |
| 11.      | M <sub>9</sub>  | 1              |
| 12.      | M <sub>10</sub> | 1              |
| 13.      | M <sub>11</sub> | 1              |
| 14.      | M <sub>12</sub> | 1              |
| 15.      | M <sub>13</sub> | 1              |
| 16.      | M <sub>14</sub> | 1              |
| 17.      | M <sub>15</sub> | 1              |
| 18.      | S <sub>3</sub>  | 1              |
| 19.      | M <sub>16</sub> | 1              |
| 20.      | M <sub>17</sub> | 1              |
| 21.      | M <sub>18</sub> | 1              |
| 22.      | M <sub>19</sub> | 1              |
| 23.      | M <sub>20</sub> | 1              |
| 24.      | M <sub>21</sub> | 1              |
| 25.      | M <sub>22</sub> | 1              |
| 26.      | M <sub>23</sub> | 1              |

| Sıra No. | Talep Noktası   | Öncelik Değeri |
|----------|-----------------|----------------|
| 27.      | M <sub>24</sub> | 1              |
| 28.      | M <sub>25</sub> | 1              |
| 29.      | S <sub>4</sub>  | 1              |
| 30.      | M <sub>26</sub> | 1              |
| 31.      | M <sub>27</sub> | 1              |
| 32.      | M <sub>28</sub> | 1              |
| 33.      | M <sub>29</sub> | 1              |
| 34.      | M <sub>30</sub> | 1              |
| 35.      | M <sub>31</sub> | 1              |
| 36.      | M <sub>32</sub> | 1              |
| 37.      | M <sub>33</sub> | 1              |
| 38.      | M <sub>34</sub> | 1              |
| 39.      | M <sub>35</sub> | 1              |
| 40.      | M <sub>36</sub> | 1              |
| 41.      | M <sub>37</sub> | 1              |
| 42.      | M <sub>38</sub> | 1              |
| 43.      | M <sub>39</sub> | 1              |
| 44.      | M <sub>40</sub> | 1              |
| 45.      | M <sub>41</sub> | 1              |
| 46.      | M <sub>42</sub> | 1              |
| 47.      | M <sub>43</sub> | 1              |
| 48.      | M <sub>44</sub> | 1              |
| 49.      | M <sub>45</sub> | 1              |
| 50.      | M <sub>46</sub> | 1              |
| 51.      | S <sub>5</sub>  | 1              |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

#### 3.5.2.6. Aday Noktaların Coğrafi ve Meteorolojik Uygunluk Değerleri:

Hava meydanlarının bulunduğu mevkielele coğrafi ve meteorolojik koşullarının İHA'ların kalkış yapabilmeleri için elverişli olması gerekmektedir. Bu koşulları model içerisinde değerlendirmek için oluşturulan CUD ve HUD'lar yukarıda açıklanmıştır. İHA'ların hava meydanlarından kalkış yapabilmeleri için asgari değer'de veya daha yüksek HUD ve CUD değerlerine sahip olmaları gerekmektedir. İHA pilotlarıyla yapılan görüşmeler ve meteorolojik gözlemler sonucunda problem kapsamında seçilen hava meydanları için asgari HUD değeri 4, CUD değeri 4 olarak belirlenmiştir.

Aday noktaların HUD ve CUD değerlerine ilişkin hazırlanan tablo aşağıda belirtilmiştir. Problem içeriğinde seçilen aday noktaların tamamının İHA'ların kalkış yapabilmeleri için elverişli olduğu görülmektedir.

**Tablo 20:** Aday Noktalarının Coğrafi ve Meteorolojik Uygunluk Değerleri.

| Sıra No. | Aday Nokta      | Havalimanı                      | HUD | CUD |
|----------|-----------------|---------------------------------|-----|-----|
| 1.       | X <sub>1</sub>  | Keşan Hava Üssü                 | 5   | 9   |
| 2.       | X <sub>2</sub>  | Gökçeada Havalimanı             | 5   | 9   |
| 3.       | X <sub>3</sub>  | Çanakkale Havalimanı            | 5   | 8   |
| 4.       | X <sub>4</sub>  | Balıkesir Koca Seyit Havalimanı | 7   | 8   |
| 5.       | X <sub>5</sub>  | Çiğli Hava Üssü                 | 6   | 8   |
| 6.       | X <sub>6</sub>  | Adnan Menderes Havalimanı       | 6   | 7   |
| 7.       | X <sub>7</sub>  | Selçuk-Efes Havalimanı          | 6   | 7   |
| 8.       | X <sub>8</sub>  | Aydın Çıldır Havalimanı         | 6   | 7   |
| 9.       | X <sub>9</sub>  | Milas-Bodrum Havalimanı         | 7   | 7   |
| 10.      | X <sub>10</sub> | Dalaman Havalimanı              | 8   | 7   |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5.2.7. Aday Noktaları ile Talep Noktaları Arasındaki Mesafeler

Aday noktaları ile talep ve sınır noktaları arasında ölçülen mesafeler aşağıda tablolarda sunulmuştur.

**Tablo 21:** Aday Noktalar ile Talep Noktaları Arasındaki Mesafeler (Km).

| Mevki | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Y1    | 58             | 42             | 35             | 110            | 220            | 260            | 295            | 315            | 370            | 465             |
| Y2    | 88             | 17             | 25             | 99             | 202            | 240            | 275            | 300            | 350            | 450             |
| Y3    | 122            | 28             | 59             | 110            | 185            | 225            | 260            | 295            | 340            | 445             |
| Y4    | 138            | 55             | 70             | 95             | 155            | 195            | 235            | 265            | 305            | 415             |
| Y5    | 170            | 85             | 95             | 95             | 130            | 165            | 205            | 240            | 280            | 385             |
| Y6    | 158            | 105            | 85             | 35             | 102            | 145            | 175            | 205            | 250            | 350             |
| Y7    | 186            | 125            | 115            | 65             | 75             | 115            | 155            | 185            | 230            | 330             |
| Y8    | 205            | 150            | 135            | 79             | 55             | 90             | 130            | 165            | 210            | 310             |
| Y9    | 230            | 175            | 159            | 95             | 30             | 65             | 105            | 135            | 185            | 285             |
| Y10   | 240            | 165            | 165            | 122            | 65             | 90             | 130            | 170            | 202            | 315             |
| Y11   | 260            | 201            | 190            | 130            | 25             | 45             | 85             | 125            | 155            | 270             |
| Y12   | 270            | 201            | 199            | 150            | 65             | 70             | 105            | 150            | 170            | 290             |
| Y13   | 310            | 235            | 235            | 185            | 85             | 75             | 98             | 145            | 155            | 270             |
| Y14   | 325            | 265            | 255            | 195            | 75             | 45             | 45             | 90             | 102            | 215             |
| Y15   | 340            | 285            | 275            | 205            | 85             | 50             | 18             | 58             | 70             | 185             |
| Y16   | 380            | 320            | 305            | 245            | 125            | 90             | 70             | 95             | 70             | 185             |
| Y17   | 415            | 355            | 345            | 275            | 155            | 115            | 78             | 90             | 25             | 135             |
| Y18   | 435            | 370            | 360            | 295            | 175            | 135            | 105            | 125            | 70             | 155             |
| Y19   | 445            | 390            | 375            | 305            | 190            | 150            | 115            | 115            | 55             | 125             |
| Y20   | 455            | 410            | 390            | 315            | 205            | 170            | 125            | 110            | 55             | 75              |
| Y21   | 475            | 415            | 400            | 335            | 220            | 178            | 145            | 155            | 90             | 145             |
| Y22   | 490            | 435            | 420            | 350            | 235            | 195            | 155            | 155            | 95             | 115             |
| Y23   | 505            | 455            | 440            | 365            | 250            | 215            | 175            | 158            | 95             | 75              |
| Y24   | 490            | 445            | 425            | 350            | 245            | 205            | 165            | 145            | 95             | 35              |
| Y25   | 520            | 480            | 460            | 380            | 280            | 245            | 205            | 175            | 135            | 25              |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 22:** Aday Noktalar ile Sınır Noktaları Arasındaki Mesafeler (Km).

| Mevki           | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| S <sub>1</sub>  | 55             | 50             | 62             | 138            | 250            | 285            | 315            | 345            | 400            | 490             |
| M <sub>1</sub>  | 65             | 55             | 75             | 151            | 252            | 290            | 320            | 345            | 395            | 495             |
| M <sub>2</sub>  | 79             | 52             | 85             | 155            | 255            | 290            | 325            | 355            | 400            | 500             |
| M <sub>3</sub>  | 98             | 55             | 92             | 165            | 260            | 292            | 325            | 355            | 400            | 500             |
| M <sub>4</sub>  | 110            | 63             | 102            | 175            | 266            | 295            | 330            | 365            | 405            | 510             |
| M <sub>5</sub>  | 125            | 72             | 110            | 177            | 265            | 296            | 368            | 368            | 415            | 510             |
| S <sub>2</sub>  | 145            | 79             | 125            | 190            | 270            | 300            | 330            | 370            | 410            | 520             |
| M <sub>6</sub>  | 149            | 79             | 127            | 192            | 263            | 293            | 333            | 356            | 395            | 505             |
| M <sub>7</sub>  | 159            | 79             | 125            | 185            | 255            | 285            | 315            | 360            | 395            | 502             |
| M <sub>8</sub>  | 169            | 85             | 128            | 185            | 248            | 278            | 311            | 351            | 385            | 490             |
| M <sub>9</sub>  | 179            | 92             | 135            | 185            | 235            | 260            | 295            | 337            | 370            | 478             |
| M <sub>10</sub> | 192            | 101            | 140            | 185            | 230            | 255            | 295            | 333            | 365            | 475             |
| M <sub>11</sub> | 205            | 110            | 149            | 185            | 225            | 250            | 285            | 330            | 350            | 465             |
| M <sub>12</sub> | 215            | 118            | 155            | 188            | 215            | 240            | 275            | 320            | 345            | 460             |
| M <sub>13</sub> | 230            | 135            | 169            | 195            | 210            | 235            | 270            | 310            | 332            | 447             |
| M <sub>14</sub> | 240            | 148            | 177            | 198            | 207            | 226            | 260            | 307            | 338            | 448             |
| M <sub>15</sub> | 262            | 165            | 193            | 207            | 205            | 223            | 258            | 303            | 320            | 430             |
| S <sub>3</sub>  | 280            | 186            | 215            | 220            | 195            | 215            | 240            | 290            | 305            | 420             |
| M <sub>16</sub> | 285            | 190            | 212            | 215            | 192            | 205            | 235            | 285            | 290            | 410             |
| M <sub>17</sub> | 295            | 202            | 225            | 220            | 185            | 195            | 225            | 275            | 280            | 400             |
| M <sub>18</sub> | 310            | 215            | 235            | 225            | 175            | 185            | 210            | 260            | 263            | 375             |
| M <sub>19</sub> | 325            | 230            | 245            | 230            | 175            | 178            | 198            | 250            | 250            | 365             |
| M <sub>20</sub> | 335            | 245            | 255            | 235            | 168            | 168            | 191            | 240            | 235            | 350             |
| M <sub>21</sub> | 345            | 255            | 270            | 240            | 169            | 166            | 185            | 235            | 225            | 340             |
| M <sub>22</sub> | 360            | 270            | 280            | 250            | 169            | 162            | 179            | 225            | 215            | 330             |
| M <sub>23</sub> | 370            | 285            | 290            | 260            | 175            | 164            | 175            | 225            | 205            | 320             |
| M <sub>24</sub> | 390            | 300            | 305            | 275            | 178            | 163            | 175            | 220            | 195            | 310             |
| M <sub>25</sub> | 385            | 310            | 315            | 278            | 179            | 163            | 169            | 215            | 189            | 300             |
| S <sub>4</sub>  | 415            | 330            | 335            | 295            | 190            | 170            | 170            | 215            | 185            | 285             |
| M <sub>26</sub> | 420            | 335            | 340            | 295            | 190            | 168            | 168            | 210            | 175            | 275             |
| M <sub>27</sub> | 430            | 350            | 350            | 300            | 191            | 168            | 165            | 199            | 162            | 263             |
| M <sub>28</sub> | 440            | 360            | 350            | 310            | 195            | 168            | 165            | 198            | 148            | 250             |
| M <sub>29</sub> | 450            | 375            | 375            | 320            | 205            | 175            | 165            | 195            | 148            | 240             |
| M <sub>30</sub> | 455            | 380            | 375            | 325            | 210            | 177            | 165            | 193            | 137            | 228             |
| M <sub>31</sub> | 460            | 385            | 385            | 330            | 210            | 180            | 163            | 185            | 132            | 215             |
| M <sub>32</sub> | 474            | 400            | 395            | 337            | 215            | 190            | 167            | 190            | 130            | 205             |
| M <sub>33</sub> | 490            | 415            | 410            | 350            | 235            | 196            | 177            | 192            | 128            | 196             |
| M <sub>34</sub> | 500            | 435            | 425            | 360            | 240            | 210            | 185            | 195            | 130            | 180             |
| M <sub>35</sub> | 510            | 445            | 435            | 370            | 250            | 220            | 194            | 197            | 130            | 174             |
| M <sub>36</sub> | 525            | 460            | 450            | 385            | 265            | 230            | 197            | 205            | 137            | 168             |
| M <sub>37</sub> | 535            | 470            | 460            | 395            | 277            | 240            | 210            | 215            | 145            | 165             |
| M <sub>38</sub> | 545            | 480            | 470            | 405            | 285            | 250            | 220            | 220            | 148            | 159             |
| M <sub>39</sub> | 560            | 500            | 485            | 420            | 300            | 265            | 235            | 230            | 165            | 158             |
| M <sub>40</sub> | 570            | 510            | 495            | 430            | 310            | 275            | 245            | 235            | 167            | 156             |
| M <sub>41</sub> | 586            | 530            | 512            | 447            | 324            | 290            | 257            | 251            | 185            | 161             |
| M <sub>42</sub> | 600            | 540            | 522            | 460            | 338            | 300            | 270            | 256            | 195            | 158             |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 22:** Aday Noktalar ile Sınır Noktaları Arasındaki Mesafeler (Km) (Devam).

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| M43 | 618 | 558 | 541 | 471 | 350 | 319 | 285 | 275 | 210 | 167 |
| M44 | 628 | 568 | 553 | 480 | 365 | 330 | 298 | 282 | 221 | 171 |
| M45 | 640 | 585 | 567 | 500 | 380 | 350 | 315 | 300 | 237 | 179 |
| M46 | 660 | 605 | 585 | 515 | 400 | 365 | 330 | 310 | 255 | 188 |
| S5  | 670 | 615 | 600 | 535 | 415 | 380 | 350 | 330 | 270 | 190 |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5.2.8. Aday Noktalar ile Talep Noktaları Arasındaki Mesafe Uygunluk Değerleri

Mesafeler belirlendikten sonra aday noktalarının talep noktalarına yakınlık durumlarını görebilmek ve modelde kullanmak maksadıyla mesafe uygunluk değerleri belirlenmiştir. Aday noktaları ve talep noktaları arasındaki mesafelerin uygunluğu tablo 20'de belirtilen derecelendirmeye göre değerlendirilmektedir. Örneğin i aday noktası ile j talep noktası arasındaki mesafe 92 km ise ij mesafe uygunluk değeri 6'dır.

**Tablo 23:** Mesafe Uygunluk Değeri Derecelendirme Tablosu.

| Aday Noktası ile Talep Noktası Arasındaki Mesafe | Mesafe Uygunluk Değeri | Aday Noktası ile Talep Noktası Arasındaki Mesafe | Mesafe Uygunluk Değeri |
|--------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|
| 0-20                                             | 10                     | 100-120                                          | 5                      |
| 20-40                                            | 9                      | 120-140                                          | 4                      |
| 40-60                                            | 8                      | 140-160                                          | 3                      |
| 60-80                                            | 7                      | 160-180                                          | 2                      |
| 80-100                                           | 6                      | 180-200                                          | 1                      |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Problem içeriğindeki talep /sınır noktaları ile aday noktaları arasındaki mesafe uygunluk değerleri aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

**Tablo 24:** j'inci Aday Noktanın i'nci Talep Noktasına Olan Mesafe Uygunluk Değeri.

| Mevki          | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Y <sub>1</sub> | 8              | 8              | 9              | 5              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| Y <sub>2</sub> | 6              | 10             | 9              | 6              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| Y <sub>3</sub> | 4              | 9              | 8              | 5              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| Y <sub>4</sub> | 4              | 8              | 7              | 6              | 3              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0               |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 24:** j'inci Aday Noktanın i'nci Talep Noktasına Olan Mesafe Uygunluk Değeri (Devam).

| Mevki           | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Y <sub>5</sub>  | 2              | 6              | 6              | 6              | 4              | 2              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| Y <sub>6</sub>  | 3              | 5              | 6              | 9              | 5              | 3              | 2              | 0              | 0              | 0               |
| Y <sub>7</sub>  | 1              | 4              | 5              | 7              | 7              | 5              | 3              | 1              | 0              | 0               |
| Y <sub>8</sub>  | 0              | 3              | 4              | 7              | 8              | 6              | 4              | 2              | 0              | 0               |
| Y <sub>9</sub>  | 0              | 2              | 3              | 6              | 9              | 7              | 5              | 4              | 1              | 0               |
| Y <sub>10</sub> | 0              | 2              | 2              | 4              | 7              | 6              | 4              | 2              | 0              | 0               |
| Y <sub>11</sub> | 0              | 0              | 1              | 4              | 9              | 8              | 6              | 4              | 3              | 0               |
| Y <sub>12</sub> | 0              | 0              | 1              | 3              | 7              | 7              | 5              | 3              | 2              | 0               |
| Y <sub>13</sub> | 0              | 0              | 0              | 1              | 6              | 7              | 6              | 3              | 3              | 0               |
| Y <sub>14</sub> | 0              | 0              | 0              | 1              | 7              | 8              | 8              | 6              | 5              | 0               |
| Y <sub>15</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 6              | 8              | 10             | 8              | 7              | 1               |
| Y <sub>16</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 4              | 6              | 7              | 6              | 7              | 1               |
| Y <sub>17</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 3              | 5              | 7              | 6              | 9              | 4               |
| Y <sub>18</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 4              | 5              | 4              | 7              | 3               |
| Y <sub>19</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 3              | 5              | 5              | 8              | 4               |
| Y <sub>20</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 4              | 5              | 8              | 7               |
| Y <sub>21</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 3              | 3              | 6              | 3               |
| Y <sub>22</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 3              | 3              | 6              | 5               |
| Y <sub>23</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 3              | 6              | 7               |
| Y <sub>24</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 3              | 6              | 9               |
| Y <sub>25</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 4              | 9               |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 25:** j'inci Aday Noktanın i'nci Sınır Noktasına Olan Mesafe Uygunluk Değeri.

| Mevki           | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| S <sub>1</sub>  | 8              | 8              | 7              | 4              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>1</sub>  | 7              | 8              | 7              | 3              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>2</sub>  | 7              | 8              | 6              | 3              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>3</sub>  | 6              | 8              | 6              | 2              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>4</sub>  | 5              | 7              | 5              | 2              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>5</sub>  | 4              | 7              | 5              | 2              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| S <sub>2</sub>  | 3              | 7              | 4              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>6</sub>  | 3              | 7              | 4              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>7</sub>  | 3              | 7              | 4              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>8</sub>  | 2              | 6              | 4              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>9</sub>  | 2              | 6              | 4              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>10</sub> | 1              | 5              | 3              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>11</sub> | 0              | 5              | 3              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>12</sub> | 0              | 5              | 3              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>13</sub> | 0              | 4              | 2              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>14</sub> | 0              | 3              | 2              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>15</sub> | 0              | 2              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| S <sub>3</sub>  | 0              | 1              | 0              | 0              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>16</sub> | 0              | 1              | 0              | 0              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 25:** j'inci Aday Noktanın i'nci Sınır Noktasına Olan Mesafe Uygunluk Değeri (Devam).

| Mevki           | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| M <sub>17</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>18</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 1              | 0              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>19</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 1              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>20</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 1              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>21</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 1              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>22</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 2              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>23</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 2              | 0              | 0              | 0               |
| M <sub>24</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 2              | 0              | 1              | 0               |
| M <sub>25</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 2              | 0              | 1              | 0               |
| S <sub>4</sub>  | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 2              | 2              | 0              | 1              | 0               |
| M <sub>26</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 2              | 2              | 0              | 2              | 0               |
| M <sub>27</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 2              | 2              | 1              | 2              | 0               |
| M <sub>28</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 2              | 2              | 1              | 3              | 0               |
| M <sub>29</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 1              | 3              | 0               |
| M <sub>30</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 1              | 4              | 0               |
| M <sub>31</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 2              | 1              | 4              | 0               |
| M <sub>32</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 2              | 1              | 4              | 0               |
| M <sub>33</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 2              | 1              | 4              | 1               |
| M <sub>34</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 1              | 4              | 2               |
| M <sub>35</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 1              | 4              | 2               |
| M <sub>36</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 0              | 4              | 2               |
| M <sub>37</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 3              | 2               |
| M <sub>38</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 3              | 3               |
| M <sub>39</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 3               |
| M <sub>40</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2              | 3               |
| M <sub>41</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 2               |
| M <sub>42</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 3               |
| M <sub>43</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2               |
| M <sub>44</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2               |
| M <sub>45</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 2               |
| M <sub>46</sub> | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1               |
| S <sub>5</sub>  | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1               |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5.3. Bulgular

Bu kısımda veri analizi sonrası oluşturulan model ve modelin çözümü anlatılmıştır. Çözümün elde edilmesi sonucunda parametrelerdeki değişikliklere göre yapılan duyarlılık analizleri ifade edilmiştir.

### 3.5.3.1. Problemin Modellenmesi:

Problem tamsayılı dağrusal programlama dal-kesme yöntemi ile modellenmiştir. Modele ilişkin parametre ve denklemler aşağıda sunulmuştur.

#### Kümeler/Parametreler:

- $I$ : Talep noktaları kümesi
- $I^a$ : Yüksek önem derecesine sahip talep noktaları kümesi ( $I^a \subset I$ ) ( $p_i \geq 2$ )
- $I^b$ : Düşük önem derecesine sahip talep noktaları kümesi ( $I^b \subset I$ ) ( $p_i = 1$ )
- $J$ : İHA istasyon mevkileri aday noktaları kümesi
- $S$ : Kaplama Menzili
- $h_j$ :  $j$  aday istasyon mevkiinin meteoroloji uygunluk değeri
- $c_j$ :  $j$  aday istasyon mevkiinin coğrafi uygunluk değeri
- $\underline{h}$ : Asgari meteoroloji uygunluk değeri
- $\underline{c}$ : Asgari coğrafi uygunluk değeri
- $M$ : Çok büyük bir değer
- $\alpha$ : Meteoroloji uygunluk değeri ağırlığı
- $\beta$ : Coğrafi uygunluk değeri ağırlığı
- $p_i$ :  $i$  talep noktasının öncelik değeri
- $N$ : Kurulabilecek azami istasyon adedi
- $m_{ij}$ :  $i$  talep noktası ile  $j$  aday noktası arasındaki mesafe uygunluk değeri

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } j \text{ aday mevkiinde konuşlandırılacak istasyon } i \text{ talep noktasına} \\ & \text{hizmet edebilecek mesafede ise } (d_{ij} \leq S), \\ 0, & \text{diğer durumda.} \end{cases}$$

#### Karar Değişkenleri

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } j \text{ aday mevkiinde istasyon konuşlandırıldıysa,} \\ 0, & \text{diğer durumda.} \end{cases}$$
$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } j \text{ aday mevkiindeki istasyon } i \text{ talep noktasına hizmet ediyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumda.} \end{cases}$$

#### MODEL-1 (Küme Kaplama Problemi (Set Covering Problem))

##### Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{j \in J} x_j \tag{1.1}$$

#### Kısıtlar

$$\sum_{j \in J} k_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I^b \quad (1.2)$$

$$\sum_{j \in J} k_{ij} x_j \geq 2 \quad \forall i \in I^a \quad (1.3)$$

$$x_j h_j + M(1 - x_j) \geq \underline{h} \quad \forall j \in J \quad (1.4)$$

$$x_j c_j + M(1 - x_j) \geq \underline{c} \quad \forall j \in J \quad (1.5)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (1.6)$$

#### MODEL-2 (Maksimum Kaplama Problemi (Maximum Covering Problem))

##### Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max} \sum_{j \in J} (x_j (\alpha h_j + \beta c_j)) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} y_{ij} m_{ij} \quad (2.1)$$

#### Kısıtlar

$$\sum_{j \in J} x_j \leq N \quad (2.2)$$

$$y_{ij} \leq x_j k_{ij} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J \quad (2.3)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in I^b \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \geq 2 \quad \forall i \in I^a \quad (2.5)$$

$$x_j, y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J \quad (2.6)$$

### **MODEL-1 (Küme Kaplama Problemi (Set Covering Problem))**

Amaç Fonksiyonu (1.1): Amaç fonksiyonu, minimum sayıda aday noktaya tesis konuşlandırılmasını hedeflemektedir.

Kısıt (1.2): Düşük önem katsayısına sahip “i” talep noktalarının “j” aday noktaları tarafından en az 1 defa kaplanmasını sağlayan kısıttır.

Kısıt (1.3): Yüksek önem katsayısına sahip “i” talep noktalarının “j” aday noktaları tarafından en az 2 defa kaplanmasını sağlayan kısıttır.

Kısıt (1.4): “j” aday noktasına tesis kurulabilmesi için aday noktanın asgari meteoroloji uygunluk değerine sahip olmasını sağlayan kısıttır.

Kısıt (1.5): “j” aday noktasına tesis kurulabilmesi için aday noktanın asgari coğrafi uygunluk değerine sahip olmasını sağlayan kısıttır.

Kısıt (1.6): Her bir aday noktanın 0 ya da 1 değerini almasını sağlayan kısıttır.

### **MODEL-2 (Maksimum Kaplama Problemi (Maximum Covering Problem))**

Amaç Fonksiyonu (2.1): “j” aday noktalarının meteorolojik ve coğrafi uygunluk değerleri ile hizmet verdikleri “i” talep noktalarına göre almış oldukları mesafe uygunluk değerleri göz önünde tutularak maksimum uygunluğu sağlayacak amaç fonksiyonudur.

Kısıt(2.2): Aday noktalarına konuşlandırılacak tesislerin bir önceki model çözümünde belirlenen sayıdan büyük olmamasını sağlayan kısıttır.

Kısıt (2.3): “i” talep noktasının “j” aday noktasından hizmet alabilmesi için bu aday noktasına kaplama sağlayabilecek mesafede tesis kurulmasını sağlayan kısıttır.

Kısıt (2.4): Düşük önem derecesine sahip “i” talep noktalarının en az 1 defa “j” aday noktaları tarafından kaplanmasını sağlayan kısıttır.

Kısıt (2.5): Yüksek önem derecesine sahip “i” talep noktalarının en az 2 defa “j” aday noktaları tarafından kaplanmasını sağlayan kısıttır.

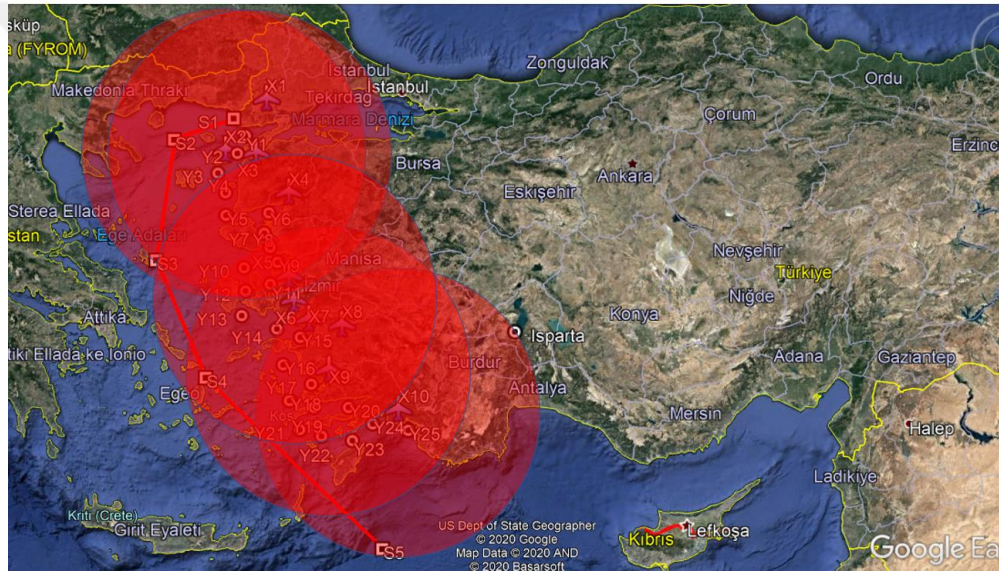
Kısıt (2.6): Karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değeri almasını sağlayan kısıttır.

### 3.5.3.2. Problemin Çözümü:

Modeller GAMS 24.2.2 (General Algebraic Modeling System) geliştirme ortamı ile kodlanmış olup, GAMS bünyesindeki CPLEX 12.6.0.0 çözücünün varsayılan ayarları kullanılarak dal kesme algoritması aracılığıyla çözülmüştür.

GAMS yazılımı çözümü EK 2'de sunulmuştur. Çözüm sonucuna göre 2 (Gökçeada Havalimanı), 3 (Çanakkale Havalimanı), 6 (Adnan Menderes Havalimanı), 9 (Milas-Bodrum Havalimanı) ve 10'uncu (Dalaman Havalimanı) aday noktaları olmak üzere toplam 5 adet İHA Sahil Kontrol İstasyonu ile Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesi talep noktalarını en uygun şekilde kaplayabilmektedir.

Şekil 11: Çözüm Haritası



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5.3.3. Duyarlılık Analizleri:

Duyarlılık analizlerinde model parametrelerindeki değişikliklerin optimum çözüm üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Duyarlılık analizi, diğer tüm parametrelerin değerleri sabit tutulup bir parametredeki değişimin çözüme olan etkisine bakılarak yapılmaktadır. Hazırlanan modelin amaç fonksiyonu incelendiğinde, talep noktalarının öncelikleri ile coğrafi ve meteorolojik uygunluk katsayılarının problem açısından önemli katsayılar olduğu görülmektedir. Model kapsamındaki duyarlılık analizleri bu katsayılarla ilişkin gerçekleştirilmiştir.

### 3.5.3.3.1. Talep Noktalarının Önem Dereceleri Üzerinden Gerçekleştirilen Duyarlılık Analizleri:

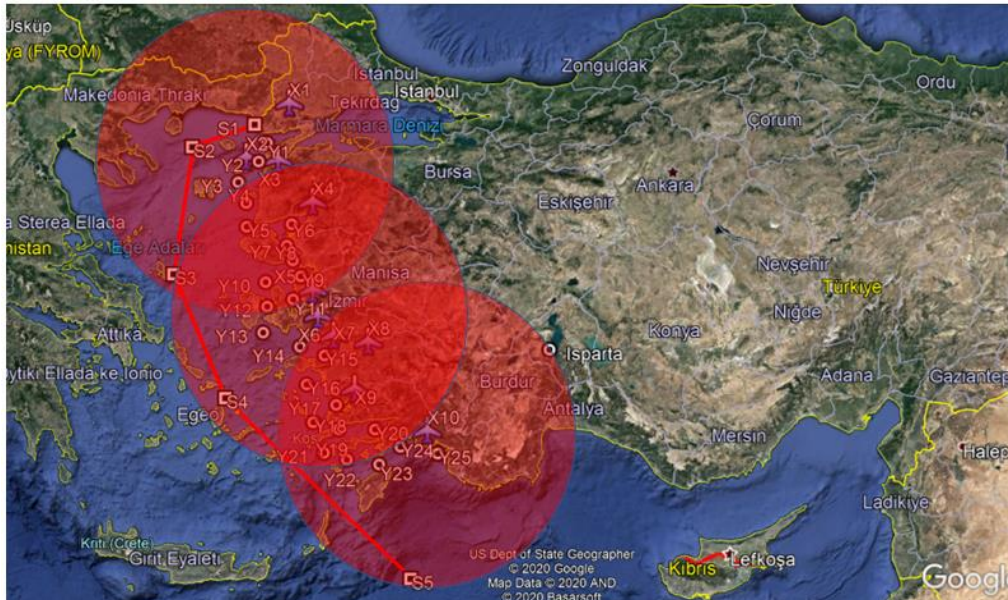
Yapılan çalışmada talep noktalarının önem dereceleri üzerinden yapılacak duyarlılık analizi 3 duruma yönelik ele alınmıştır. İlk analizde tüm noktaların en az 1 defa kaplanması yeterli olduğu durum, ikinci analizde tüm talep noktalarının en az 2 defa kaplanması gereken durum, üçüncü analizde ise önem dereceleri yüksek olan talep noktalarının en az 3 defa kaplanma durumu analiz edilmiştir.

#### Duyarlılık Analizi 1-1:

Bu analizde yüksek öncelikli talep noktaları  $I^b$  kümesine (Düşük önem derecesine sahip talep noktaları) alınmış böylelikle tüm talep noktalarının en az 1 defa kaplanması sağlanmıştır. Model GAMS programında çözüldüğünde 2 (Gökçeada Havalimanı) 6 (Adnan Menderes Havalimanı) ve 10'uncu (Dalaman Havalimanı) aday noktaları olmak üzere toplam 3 hava meydanı ile talep noktalarının tamamının en az 1 defa kaplandığı görülmektedir.

Bu çözüm kısıtlardaki sağ taraf sabiti azaldığı için ihtiyaç duyulan aday nokta sayısında azaldığını gösteren tutarlı bir çözümdür. Önem derecelerini göz ardı ettiğimizde tüm Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Bölgesinin 3 adet İHA sahil kontrol istasyonu ile kaplanabildiğini göstermektedir.

**Şekil 12:** Duyarlılık Analizi 1-1 Kaplama Durumu



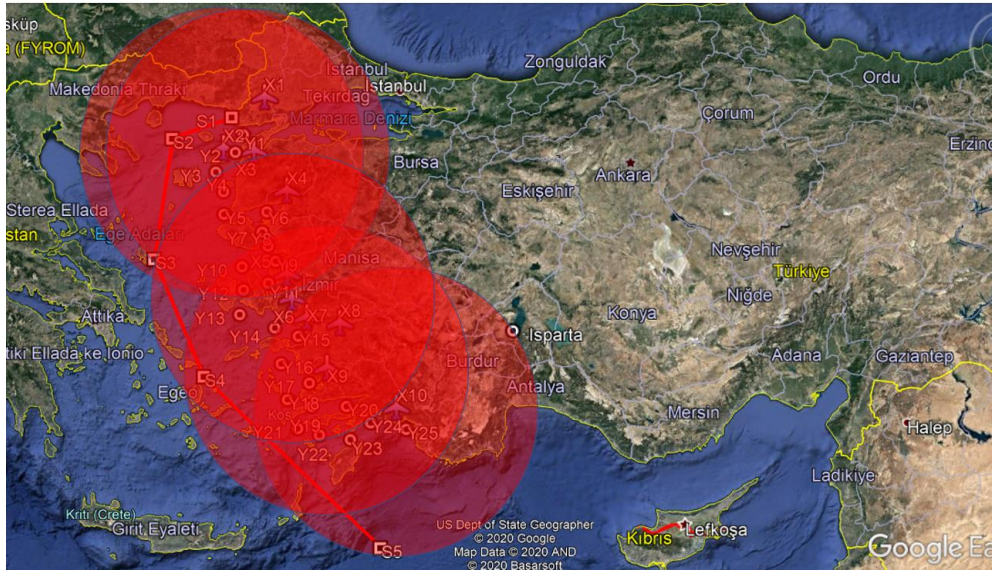
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### Duyarlılık Analizi 1-2:

Bu analizde düşük öncelikli talep noktaları  $I^a$  kümesine (Yüksek önem derecesine sahip talep noktaları) alınmış böylelikle tüm talep noktalarının en az 2 defa kaplanması sağlanmıştır. Model GAMS programında çözüldüğünde tüm talep noktalarının 2 (Gökçeada Havalimanı), 3 (Çanakkale Havalimanı), 6 (Adnan Menderes Havalimanı), 9 (Milas-Bodrum Havalimanı) ve 10'uncu (Dalaman Havalimanı) aday noktaları olmak üzere toplam 5 havalimanı ile kaplandığı görülmektedir.

Bu çözüm önemli bir göstergedir. Çünkü tüm talep noktalarının iki defa kaplanması istendiğinde çalışma probleminin çözümü ile aynı çözüm ortaya çıkmaktadır. Çözüm harita üzerinden incelendiğinde problemin çözümünde tüm talep noktalarının en az iki defa kaplandığı görülmektedir. Probleme zorlayıcı bir kısıt eklenmesine karşın hazırlanan model minimum tesis ile maksimum kaplama prensibine uygun şekilde hareket ederek tesis sayısını artırmamıştır. Bununla birlikte modelin güvenilirliğini test etmek üzere bir sonraki duyarlılık analizinde yüksek öncelikli talep noktalarının 3 defa kaplama koşulunu modele ekleyerek tesis sayısının artma durumu incelenmiştir.

**Şekil 13:** Duyarlılık Analizi 1-2 Kaplama Durumu



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

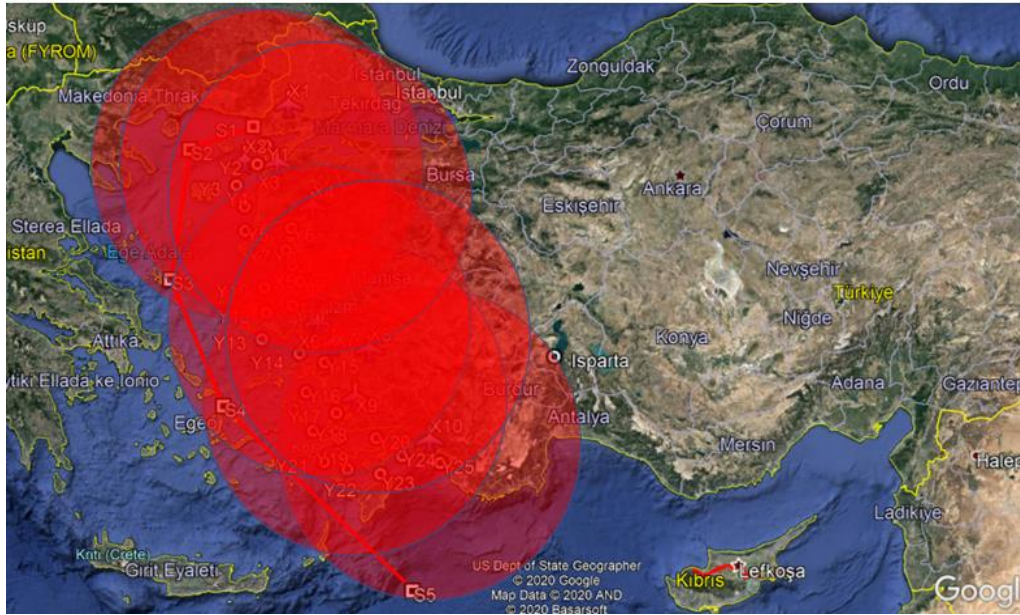
### Duyarlılık Analizi 1-3:

Bu analizde problemin maksimum kaplama modelinde yüksek öncelikli talep noktalarının kaplanma kısıtındaki (kısıt 2-5) değer 3 yapılarak yüksek öncelikli talep noktalarının en az 3 defa kaplanması koşulu modele eklenmiştir.

Güncellenen model GAMS programında çözüldüğünde 2 (Gökçeada Havalimanı), 3 (Çanakkale Havalimanı), 4 (Balıkesir Koca Seyit Havalimanı), 6 (Adnan Menderes Havalimanı) 8 (Aydın Çıldır Havalimanı), 9 (Milas-Bodrum Havalimanı) ve 10'uncu (Dalaman Havalimanı) aday noktaları olmak üzere toplam 7 havalimanı ile yüksek öncelikli talep noktaları en az 3 defa kaplanacak şekilde tüm talep noktalarının kaplandığı görülmektedir.

Probleme kaplama sayısını artıracak şekilde zorlayıcı bir kısıt eklendiğinde tesis sayısı artmış ve önceliği artan talep noktalarının istendiği şekilde kaplanması sağlanmıştır.

**Şekil 14:** Duyarlılık Analizi 1-3 Kaplama Durumu



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5.3.3.2. Coğrafi ve Meteoroloji Uygunluk Değer Ağırlıkları Üzerinden Gerçekleştirilen Duyarlılık Analizleri:

İHA'ların kalkış yapabilmeleri için kalkış yaptıkları bölgeye yönelik ihtiyaç duyulacak uygunluğun önem derecesini modelde ifade edebilmek için " $\alpha$ " (Meteoroloji uygunluk değeri ağırlığı) ve " $\beta$ " (Coğrafi uygunluk değeri ağırlığı) katsayıları kullanılmıştır.

Bu katsayıların modele etkisi, talep noktalarının aday noktalarına olan mesafeleri, önem dereceleri, coğrafi ve meteorolojik koşullar ile topyekûn ilgilidir. Okyanus kıyılarını göz önüne aldığımızda Ege Bölgesi küçük bir deniz alanıdır. Dolayısıyla küçük bir deniz alanındaki elverişli koşulların modele etkisi ile büyük bir deniz alanında elverişsiz koşulların modele etkisi arasında büyük farklar olacaktır.

Ayrıca Ege kıyılarımızdaki trafik kontrol istasyonları sayesinde gemi kaptanları emercensi durumlara karşı uyarıldıkları için birçok kaza yaşanmadan önlenmektedir. Bu durum modeldeki talep noktalarının sayısını etkilemektedir. Dolayısıyla çalışma problemi kapsamında  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarındaki büyük değişikliklerin çözümü etkileyebileceği değerlendirilmektedir.

Coğrafi ve meteoroloji uygunluk değer ağırlıkları üzerinden yapılan duyarlılık analizlerinde bu parametrelerdeki değişikliklerin modele etkisi incelenmiştir.

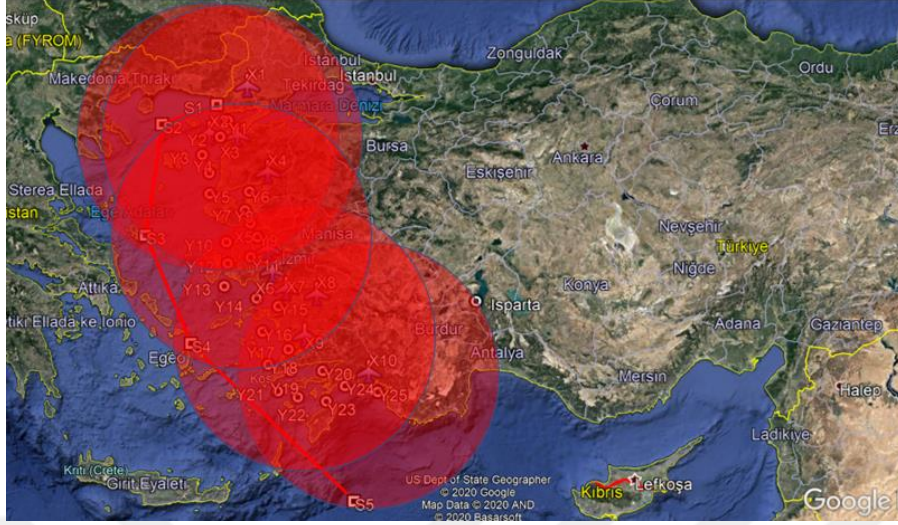
#### **Duyarlılık Analizi 2-1:**

Ege kıyılarına yakın olan hava meydanlarının koşulları İHA'ların kalkış yapabilmeleri açısından birbirlerine göre fark gösterebilir de koşulların elverişliliği nedeniyle model içerisinde coğrafi ve meteorolojik koşullar aynı önem derecesinde yer almaktadır. Farklı coğrafyalar göz önünde tutulursa örneğin istasyonlar Sibiry'a gibi hem coğrafi hem meteorolojik koşulların hemde ulaştırma yollarının Ege bölgesinden çok farklı olduğu bir bölgede kurulmak istense bu katsayıların birbirlerine göre olan önem dereceleri daha büyük ve daha farklı olacaktır.

Hazırlanan çalışmada Ege Bölgesi için  $\alpha$  ve  $\beta$  için değerleri 1 olarak ele alınmıştır. Bu değerler 12 oluncaya kadar çözüm değişmemiştir. Her iki değerden herhangi birine 12 değeri verildiğinde yeni çözümün 2 (Gökçeada Havalimanı), 3 (Çanakkale Havalimanı), 5 (Çiğli Hava Üssü), 9 (Milas-Bodrum Havalimanı) ve 10'uncu (Dalaman Havalimanı) (2,3,5,9,10) olarak değiştiği görülmektedir.

Ege'deki coğrafi ve meteorolojik koşullar İHA uçuşları için elverişlidir. Talep noktaları ve aday noktaları arasındaki durum itibarıyla coğrafi ve meteorolojik koşullardaki çok büyük değişikliklerin çözümü etkileyebileceği görülmektedir. Koşulların daha sert olduğu coğrafyalar için meteorolojik ve coğrafi uygunluk değerlerinin hassas bir şekilde belirlenmesi aynı şekilde  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarında hassas bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değer ve katsayılar bölgeden bölgeye hizmet verilecek alanın büyüklüğüne göre farklılık gösterecektir.

**Şekil 15:** Duyarlılık Analizi 2-1 Kaplama Durumu



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

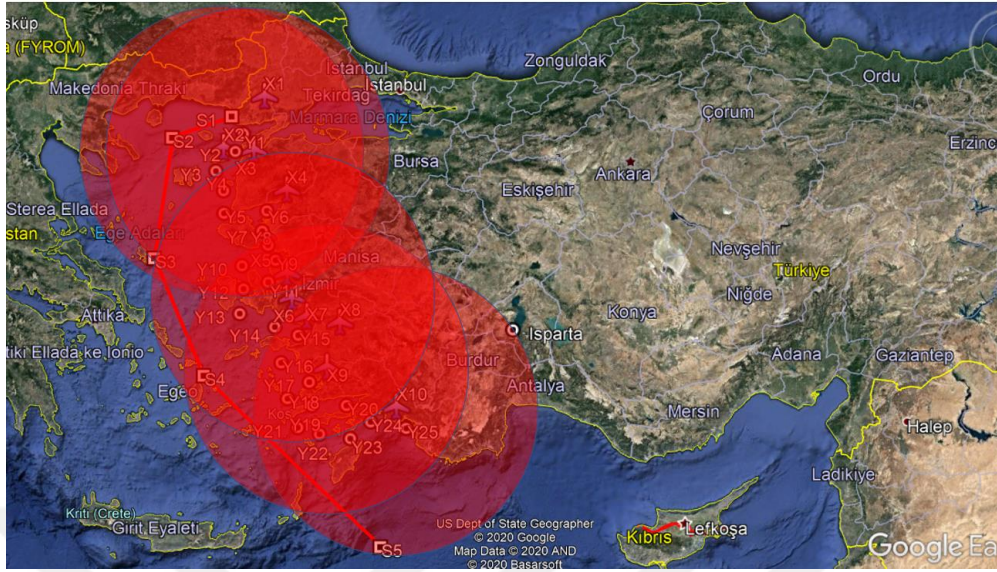
### Duyarlılık Analizi 2-2:

Aday noktaları açısından meteorolojik ve coğrafi koşulların İHA'ların kalkış yapabilmeleri açısından en az asgari uygunluğa sahip olduğu ve İHA'ların görev yapacakları bölgenin coğrafi ve meteorolojik açıdan İHA'lara olan etkisinin aynı ve düşük seviyede kabul edildiği koşullar için model kapsamında oluşturulan  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarının çözümü bir etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

Bu duyarlılık analizinde bu durumu görebilmek için  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarına 0 değeri verilerek problem çözülmüştür. Problem bu şekilde çözüldüğünde, beklendiği şekilde çalışma problemi açısından çözümün değişmemiş olduğu görülmektedir.

Bu çözümde de bir önceki duyarlılık analizinde görüldüğü gibi Ege'deki coğrafi ve meteorolojik koşullar İHA uçuşları için elverişli olduğu için ancak coğrafi ve meteorolojik çok büyük değişikliklerin çözümü etkileyebileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

**Şekil 16:** Duyarlılık Analizi 2-2 Kaplama Durumu

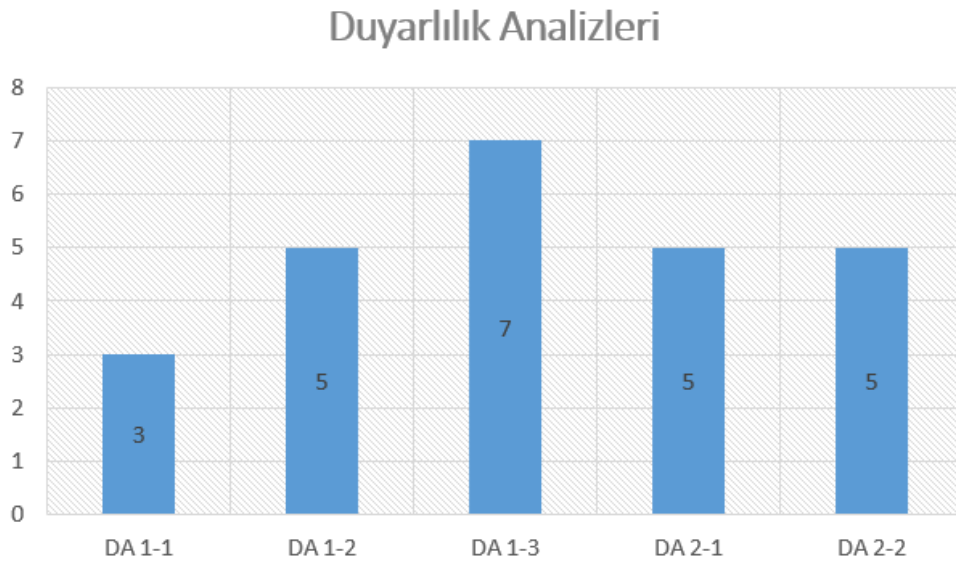


Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 3.5.3.3.3. Duyarlılık Analizlerinin Sonuçlarını Gösteren Genel Grafik

Parametrelerdeki değişikliklere istinaden yapılan duyarlılık analizlerine göre Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Bölgesi için ihtiyaç duyulan İHA sahil kontrol istasyon sayısını gösteren genel grafik aşağıda sunulmuştur.

**Şekil 17:** Duyarlılık Analizleri Sonucunda Elde Edilen İstasyon Sayısı Grafiği



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

DA 1-1: Tüm Talep Noktalarının En Az 1 Defa Kaplanma Durumu.

DA 1-2: Tüm Talep Noktalarının En Az 2 Defa Kaplanma Durumu.

DA 1-3: Yüksek Önceliğe Sahip Talep Noktalarının En Az 3 Defa Kaplanma Durumu.

DA 2-1: Meteorolojik Uygunluk Değeri Ağırlığı ve Coğrafi Uygunluk Değeri Ağırlığının Probleme Etkisinin Yüksek Olması Durumu (Not-1).

DA 2-2: Meteorolojik Uygunluk Değeri Ağırlığı ve Coğrafi Uygunluk Değeri Ağırlığının Probleme Etkisinin Düşük Olması Durumu (Not-2).

Not-1: Değer ağırlıklarını ifade eden katsayıların yüksek olduğu durumlarda ihtiyaç duyulan İHA sahil kontrol istasyonu sayısı değişmemiş ancak istasyonlarda değişiklik olduğu görülmüştür.

Not-2: Değer ağırlıklarını ifade eden katsayılar göz ardı edildiğinde istasyon sayılarında ve istasyonlarda bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

#### **3.5.4. Tartışma**

A/K faaliyetlerinde kullanılacak İHA'ların sahil kontrol istasyonlarının optimizasyonu sonucunda İHA'ların A/K bölgelerinde kullanımından en verimli sonuçların alınacağı değerlendirilmektedir. İHA'ların konum optimizasyonu ele alınırken İHA'lardan kaynaklı kısıtlar, bölgedeki önemli su yolları, kaza/olay yoğunluk oranları gibi parametreler göz önünde tutulmuştur. Kontrol istasyonlarının optimizasyonu ile ilgili yapılan benzer çalışmalar mevcuttur. Kurban, (2014) tarafından sınır güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılacak mini İHA'ların yer kontrol istasyonlarının seçimi ile ilgili yapılan çalışmada belirli senaryolara dayalı, farklı tip İHA'ların kullanıldığı ve model parametrelerinin güvenlikle ilgili hususlara dayandırıldığı bir matematiksel modelin kullanıldığı görülmektedir. Başdemir, (2000) tarafından yapılan çalışmada Ege Denizi için helikopterlerin kullanıldığı ve helikopterlerin uçuş menzilleri olan 150, 120 ve 80 mil mesafeleri esas alan senaryolara dayalı konum optimizasyonu çalışması yapılmış olduğu görülmektedir. Hazırlanan çalışmaların tesis yeri seçimi problemi olarak ele alındığı ve maksimum beklenen kaplama problemi denklemlerine göre çözülmüş olduğu anlaşılmaktadır.

Hazırlamış olduğum çalışmada 200 km uçuş menziline sahip taktik İHA'lar A/K vasıtası olarak ele alınmıştır. Bu mesafe Ege Denizi A/K Bölgemizin dış sınırlarına erişme açısından yeterli bir mesafedir. Problemin çözümünde küme kaplama ve maksimum kaplama problemlerinin çözüm denklemleri kullanılmıştır. Denklem için belirlenen karar değişkenleri, kısıtlar ve parametreler problem içeriği analiz edilerek konu özelinde belirlenmiştir. Acil müdahale merkezleri ile ilgili çalışılacak tesis yeri seçimi problemleriyle ilgili parametre ve kısıtlar konu özelinde belirlenmelidir. Örneğin emniyet ve güvenlik birbirine yakın konular olmasına karşın farklı konulardır, emniyet ile ilgili bir acil müdahale merkezinin konum optimizasyonuna yönelik bir çalışmada kaza olasılığı, hasar derecesi gibi parametreler etkiliyken, güvenlik ile ilgili bir çalışmada zarar verecek art niyetli kişi ya da örgütler, saldırı silahları vb. farklı parametreler etkili olabilir.

Deniz trafik yoğunluğu ve deniz trafiğinin kontrolü gibi hususlar deniz kaza yoğunluğunu etkilemektedir. Ayrıca su yollarının genişlikleri, derinlikleri, gel-git durumu, rüzgâr, akıntı gibi fiziki, meteorolojik ve oşinografik etmenler de kaza yoğunluklarını etkilemektedir. Deniz ulaştırmasıyla ilgili acil müdahale merkezlerinin konum optimizasyonu ile ilgili yapılacak çalışmalarda bu etmenlerin analiz edilerek problem içerisine dahil edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında hazırlanan matematiksel model İHA'lar için kullanılacak istasyonların konum optimizasyonları için hazırlanmış bir modeldir. Bu modelde yapılacak bazı güncellemeler ile kıyılarımızda deniz trafiğini kontrol eden VTS'ler için hazırlanacak bir konum optimizasyonu modeli ya da sorumluluk alanı içerisinde görev yapacak tahlisiye bot istasyonlarının konum optimizasyonu içinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Optimizasyon problemlerinin amaç fonksiyonlarının parametrelerdeki değişikliklerden ne derece etkileneceğinin incelenmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında kapsanma sayıları ile coğrafi ve meteorolojik koşulların modele etkisi üzerine duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin seçimi de problemin tanımı özelinde belirlenmiştir. Benzer başka problemler için oluşturulacak modellerde amaç fonksiyonu ve parametreler değerlendirilerek hangi parametreler üzerinde duyarlılık analizi yapılacağı da kararlaştırılmalıdır. Gelecek dönem içerisinde İHA'ların gelişen teknoloji ve otomasyon seviyesine bağlı olarak gelişme göstereceği ve bu kapsamda da İHA'ların kalkışını etkileyen etmenlerde de farklılık olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca içinde bulunduğumuz yüz yıl içerisinde etkisinde artış gösteren küresel ısınma sebebiyle bölgelerdeki coğrafi ve meteorolojik koşullarda da farklılıklar yaşanacağı değerlendirilmektedir. Bu sebeple optimizasyon modellerinin amaç fonksiyonları ve kısıtları güncellemeye açıktır yaşanan değişikliklere bağlı olarak güncellenmesi gerekebilir.

Arama ve kurtarma devletler tarafından müstakil olarak ya da birlikte icra edilebilen insan canını kurtarmaya odaklı bir faaliyet alanıdır. Bu alanda yapılan operasyonlarda yapılan hatalar can kayıplarına sebebiyet verebileceği gibi ülkelerin uluslararası kamuoyunda prestijlerini olumsuz etkileyebilecektir. Dolayısıyla bu alanda İHA'ların kullanımı ve bu vasıtaların iniş ve kalkış yapacakları istasyonların doğru şekilde belirlenmesi ile deniz kazalarına daha süratli ve daha etkili şekilde müdahale edilebileceği değerlendirilmektedir.

## SONUÇ

İHA'ların sahil kontrol istasyonlarının belirlenmesi tesis yeri seçimi problemi olarak ele alınmış ve doğrusal programlama ile model oluşturulduktan sonra GAMS geliştirme ortamında çözüm yapılmıştır. Model önce küme kaplama sonrasında da maksimum kaplama denklemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Çünkü talep noktalarının tamamının kaplanması amaçlandığından problem konusu itibarıyla maksimum kaplama problemi olup bu kaplamanın minimum sayıdaki tesisle yapılması hedeflenmiştir. Maksimum kaplamayı yapacak tesis sayısının belirlenmesi küme kaplama problemidir, belirlenecek olan tesis sayısı maksimum kaplama modelinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla ilk modelden elde edilen çıktı ikinci modelde ister olarak yer almaktadır.

Problem herhangi bir senaryodan bağımsız gerçek durum ve gerçek verilere dayanmaktadır. Talep noktaları, resmi makamlarca tutulan istatistiklere istinaden belirlenmiştir. Bununla birlikte talep noktalarının dışında da kaza/olay yaşanabileceği için sadece bu noktalar değil A/K bölgesinin tamamının İHA sahil kontrol istasyonları tarafından kaplanması sağlanmıştır.

Kaplanma tekrar sayıları talep noktalarının önem dereceleri göz önünde tutularak belirlenmiştir. A/K bölgesi içerisindeki her talep noktasının her daim en az bir defa kaplanması model içerisinde koşul olarak belirlenmiştir. Önem derecelerinin belirlenmesinde sadece kaza/olay yoğunlukları değil aynı zamanda talep noktalarının bulunduğu mevkinin deniz ulaştırması açısından önemi de göz önünde tutulmuştur. Çanakkale Boğazı, kaza/olay yoğunluğu açısından Ege Denizindeki diğer bir çok bölgeye göre daha düşük bir orana sahip olmasına karşın boğazın deniz ulaştırması açısından stratejik önemi nedeniyle bu bölgedeki talep noktalarına ilave önem katsayısı verilmiştir.

Tesis yeri seçimi problemlerinde çözüm için aday noktaların belirlenmesi gerekmektedir, aday noktaları ise problemin içeriğine ve değişkenlerin özelliklerine göre belirlenmektedir. Önceki yıllarda yapılan benzer çalışmalarda da inşaa ve ilk kurulum maliyetleri (pist kurulumu, alt yapı, sistem ve cihazların yerleştirilmesi, bakım tesisi ve depoların konulması vb.) gözönüne alınarak aday noktaların aktif kullanılan tesisler üzerinden seçildiği görülmektedir. Bu kapsamda problemin çözümüne yönelik aday noktaları Ege kıyılarında farklı şehirlerde bulunan ve halihâzırda aktif şekilde kullanılan hava meydanları olarak belirlenmiştir.

İHA'ların uçuş yapabilmeleri için ihtiyaç duydukları coğrafi ve meteorolojik koşullara göre aday noktalarının her biri için değerlendirme yapılarak ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Değerlendirmeler, İHA pilotlarıyla gerçekleştirilen görüşmeler ve aday noktaların bulunduğu mevkiye ait coğrafi, meteorolojik istatistikler göz önünde tutularak yapılmıştır. A/K operasyonları özelinde süratli müdahale önemli bir etmen olduğundan talep noktaları ile aday noktaları arasındaki mesafe modelde önemli bir parametre olarak yer almaktadır. Bir aday noktanın bir talep noktasına mesafesi diğer aday noktalara göre daha yakınsa o talep noktasının öncelikli olarak yakın aday noktası tarafından kaplanması gerekir. Bu kaplamayı sağlamak için tüm aday noktaları ile tüm talep noktaları arasındaki mesafeler hesaplanmış, mesafelere göre ağırlık katsayıları belirlenerek modele ithal edilmiştir.

Model oluşturulduktan sonra GAMS 24.2.2. geliştirme ortamı ile kodlanmıştır. GAMS programı hazırlanan modelin kolaylıkla ifade edilebileceği bir program olması nedeniyle seçilmiştir. Bu program ayrıca gelecekte model içerisindeki değişkenlerde ya da kısıtlarda oluşabilecek değişikliklerde (örneğin kaza/olay yoğunluğundaki değişimler nedeniyle talep noktalarının yerlerinin değişmesi gibi) yeni değerler üzerinden yine optimum çözümü verecek esnekliğe sahip bir programdır.

Çözümler elde edildikten sonra modelin tutarlılığını değerlendirmek değişken ve kısıtlardaki değişikliklerin çözümü ne şekilde etkileyebileceğini görmek için duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda talep noktalarının önem derecelerine bağlı olarak kaplanma sayıları artırıldığında, kaplamayı yapacak İHA sahil kontrol istasyonlarının sayısında da artış olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Coğrafi ya da meteorolojik kısıtlarda yapılacak değişikliklerde istasyon sayısında ciddi değişiklik olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır. Ege Denizinin coğrafyasından kaynaklı koşullar İHA'ların kalkış yapabilmeleri için genel itibarıyla elverişlidir dolayısıyla öncelik derecelerinin etkisi ile coğrafi ve meteorolojik koşulların etkisi arasında fark olması normaldir. Tüm dünya denizlerini ele aldığımızda daha büyük bir kıyı hattındaki daha sert hava koşulları altında bulunan bir coğrafyaya yerleştirilecek hava meydanlarından İHA'ların kalkış yapmaları gerekseydi o zaman coğrafi ve meteorolojik kısıtların modele etkisinin daha fazla olması gerekirdi. Zorlu ve farklı coğrafyalara sahip ülkelerin (Örn. Kanada, Japonya, Endonezya vb.) deniz alanlarına yönelik bir çalışma için modelde coğrafi ve meteorolojik kısıtların buralardaki doğa koşullarındaki zorluklar nedeniyle talep noktalarının önceliklerinden daha etkili olabileceği değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında hazırlanan matematiksel model Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Bölgesi için kullanılmıştır. Çözüm sonrasında, Gökçeada Havalimanı, Çanakkale Havalimanı, Adnan Menderes Havalimanı, Milas-Bodrum Havalimanı ve Dalaman Havalimanına İHA'ların konuşlanabilmeleri sağlandığı takdirde A/K operasyonlarında İHA'lar kullanılabileceklerdir.

Çözüm için tasarlanan matematiksel model her ne kadar Ege Denizi için hazırlanmış olsada Dünya üzerindeki herhangi bir coğrafyaya uygulanabilecek kadar esnektir. Modelin değişkenleri ve katsayıları bulunan coğrafyanın özelliklerine ya da yaşanan kaza/olay yoğunluğuna bağlı olarak değerler almaktadır. Modelde ki bu nesnel dinamiklik sayesinde model hem Dünya üzerindeki herhangi bir coğrafya için kullanılabileceği gibi ayrıca arama ve kurtarma faaliyeti dışında trafik kontrol radarlarının, afet toplanma alanlarının, hastanelerin, acil durum müdahale merkezlerinin, itfaiye merkezlerinin vb. tesislerin konum optimizasyonunun yapılması gibi farklı alanlarda kullanım içinde uygundur.

Denizde arama ve kurtarma operasyonları insan hayatının kurtarılmasına kumanda eden önemli bir faaliyet alanı olduğundan bu operasyonlar için süratli müdahale en büyük amaçlardan biridir. Özellikle son dönemde birçok bölgede artan düzensiz göç faaliyetleri sebebiyle deniz kazalarının yaşanma sıklığı artmaktadır. Bu olayları önleyebilmek için hem devletler kendileri önlem almakta hem de çok uluslu olarak işbirliği yapılmaktadır. Düzensiz göç kavramının kamu oyunda öne çıkması sebebiyle ülkeler bu olaylara müdahale ederken çok dikkatli davranmaktadır. Düzensiz göç faaliyetleri sonucunda yaşanan bir deniz kazasına zamanında müdahale edilememesi A/K operasyonu yapmakla mükellef ülkenin uluslararası kamu oyundaki itibarını zedeleyebilecektir. Dolayısıyla bir deniz arama ve kurtarma bölgesinin her noktasına İHA gibi süratli ve operasyonel bir müdahale aracıyla zamanında ulaşılabilir olması A/K operasyonlarının icra etkinliğini artırdığı için o ülkenin uluslararası kamuoyu nezdinde değerini yükseltecektir.

Ege Denizi Türk Arama ve Kurtarma Bölgesine yönelik olarak hazırlanan matematiksel model Karadeniz ve Akdeniz Arama ve Kurtarma Bölgelerimiz içinde kullanılmaya hazırdır. Karadeniz ve Akdeniz'deki arama ve kurtarma bölgelerimizin trafik yoğunluğu ve yaşanan deniz kazalarının sıklığı göz önüne alındığında talep noktalarının sayısında ve önem derecelerinde Ege Bölgesine nazaran farklılıklar olacaktır.

Akdeniz için yapılacak çalışmada sadece kendi kıyılarımızdakiler değil KKTC sahillerine kurulacak İHA sahil kontrol istasyonları da değerlendirmeye alınmalıdır. İki ülke arasındaki arama ve kurtarma işbirliğine dayalı bu yönde yapılacak bir çalışmanın diğer ülkeler içinde örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

İHA'ların arama ve kurtarma operasyonunda kullanımları ülkelere aşağıda belirtilen imkânları kazandıracaktır.

- Kazazedeler daha süratli şekilde tespit edilebilecek, sürdürülebilir şekilde (devamlılıkla) izlenebilecek denizde takip edilmeleri sağlanacak ve kaza/olay yeri sürekli gözlem altında tutulabilecektir. Bu sayede kazazedeleri kurtarmak ve A/K operasyonunu yönetmek için etkili şekilde planlama yapılabilecek alınacak riskler ve tahminler daha kolay olacaktır.

- Bilgi paylaşımı daha etkin yapılabilecektir. İHA'ların sahip oldukları sensörler ile gönderecekleri bilgiler A/K merkezlerinde analiz edilebilecek diğer bilgiler ile birleştirilerek daha değerli bilgiler elde edilebilecektir.

- İHA'lar ile kazazedelerin hayatta kalması için ilk ihtiyaç duyacakları malzemeler (can yeleği, su vb.) taşınabilecektir.

- Kazazedelerin kurtarılmaları dışında da deniz araçlarında meydana gelen hasarların belirlenmesi ve kayıt altına alınması gibi imkanlar elde edilebilecektir.

- A/K ekipleri denizde iletişimlerini İHA'lar üzerinden yapabileceklerdir. Açık denizlerde mobil iletişim imkânı kısıtlı ve uydu iletişimi yüksek maliyetli olduğu için İHA'lar A/K ekiplerine iletişim desteği ve iletişim kurma imkanı sağlayacaklardır.

### **Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler:**

İnsansız araç teknolojisi son dönemde büyük gelişme göstermektedir, İHA'lar bir çok sektörde kullanım alanı bulmuştur. İHA'ların daha uzak mesafelere erişimlerini sağlayabilmek için YVT ve İHA'lar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Deniz alanlarını düşündüğümüzde gemilerin üzerine YVT yerleştirilmesi suretiyle İHA'ların erişim mesafelerinin artırılmasına yönelik çalışmalara devam edilmektedir ancak ülkemizde yüzer bir YVT bulunmamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte kendilerini yenileyecek olan İHA'ların coğrafi ve meteorolojik koşullardan daha az etkilenecek kalkış yapabilecek seviyeye gelebilecekleri değerlendirilmektedir. Dolayısıyla çalışma kapsamında hazırlanan modeldeki kısıtlar ve katsayıların gelişen teknolojiye bağlı olarak değişim gösterebileceği düşünülmektedir.

Otomasyon alanındaki gelişmelere bağlı olarak pilotlara ihtiyaç duymadan yapay zeka ve derin öğrenme vb. uygulamalarla kendi kendine karar verebilecek İHA'ların üretilbileceği ve buna bağlı olarakta çalışma kapsamında hazırlanan modelde otomasyonla ilgili yeni kısıtlara yer verilebileceği değerlendirilmektedir. Kısıtlardaki değişikliklerin optimizasyona etkisinde farklı olacaktır şu an için optimizasyona güçlü derecede etki eden bir kısıt gelecek dönemde o derecede etkili olamayabilir ya da gelişen teknolojiyle birlikte yeni eklenen kısıtlar ile yeni duyarlılık analizleri yapılabilir.

Problem tesis yerleştirmesi üzerine tasarlanmıştır Ege Bölgesi Arama ve Kurtarma Bölgesi için İHA sahil kontrol istasyonlarının belirlendiği bu çalışma sonrasında, konuyla ilişkili tesis yeri seçimi dışındaki diğer problemler üzerine çalışmalar yapılabilir. Örneğin gelişen teknoloji çerçevesinde; otomasyon, İHA teknolojisi, faydalı yüklerdeki gelişmeler, YVT'lerin yeteneklerindeki artış, uluslararası kurallar, yakıt tüketimi vb. konular değerlendirilerek tüm parametreler belirlendikten sonra A/K bölgeleri üzerinde intikal edecek İHA'lara yönelik çok kriterli güzergâh belirleme çalışması A/K bölgelerinin kontrol edilmesi ve kullanımı açısından faydalı bir çalışma olacaktır.

Yapılan çalışmada çözüm için tam sayılı doğrusal programlama ve matematiksel modelleme kullanılmıştır. Tesis yeri seçimi problemleri önem dereceleri ile değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi zor olduğundan “zor problemler” kategorisinde yer almaktadır. Son dönemde yapılmış çalışmalar incelendiğinde bu problemlerin çözümünde iki farklı çözüm yönteminin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemlerden ilki matematiksel modelleme diğer ise çok kriterli karar verme yöntemleridir. Tesis yeri seçimi problemleri kapsamında tesislerin yerleştirileceği mevkiiler ile ilgili verilerin elde edilmesinde, uzman kişilere danışılarak onların sahip oldukları bilgi ve tecrübelerine istinaden veriler elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu veriler analiz edildikten sonra model içerisinde bir kısıt değeri olabileceği gibi sıralı bir çözüm aşamasındaki önemli bir katsayı değeri de olabilmektedir.

Çok kriterli karar verme yöntemleriyle yapılan çözümlerde bireylerin görüşleri üzerinden hareket edilmektedir. Dolayısıyla hazırlanan çalışma problemi gibi problemlerin çözümünde değişkenlerin önem dereceleri ve değerlendirme kriterleri belirlenirken sözel veriler ile yapılan değerlendirmelerin sayısal verilerle ifade edildiği “Bulanık Mantık” uygulamalarının kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bulanık mantık yöntemleri grup olarak verilen kararlarda da etkili bir yöntemdir.

Kuruluş yeri seçimi problemlerinin çözümleriyle ilgili “Bulanık Topsis” ve “Bulanık AHP (Analitic Hierarchy Proses)” yöntemleri sıklıkla kullanılan bulanık mantık yöntemleridir. Bu yöntemlerin hazırlanan çalışmaya benzer çalışmalardaki problemlerin çözümünde ayrı ayrı ya da birlikte kullanılabilecekleri düşünülmektedir.

Tesis yerleşim problemleri, çözüm zamanının uzunluğu problemin boyutuna dayalı şekilde üssel olarak arttığı için bu problemlerin çözümünde deterministik yöntemler ve bulanık mantık uygulamaları dışında, “Tabu Arama Algoritmaları”, “Tavlama Benzetimi”, “Tepe-Tırmanma”, “Yapay Sinir Ağları”, “Genetik Algoritmalar” vb. sezgisel yöntemlerde çözüm yöntemi olarak düşünülebilir. Araştırma kapsamındaki problem mevcut koşullar altında optimum çözümün bulunması hedeflenerek tamsayılı doğrusal programlama kullanılarak çözülmüştür. Sezgisel yöntemler genellikle probleme özgüdür yani bir problem için kullanılan bir sezgisel bir başka problem için kullanılamamaktadır. Ayrıca sezgisel yöntemler sayıca daha fazla değişkenin yer aldığı büyük boyutlu problemler için düşünülmektedir ve bu yöntemler ile optimumu garanti etmeyen ama uygun çözümler elde edilmektedir. Gelecekte araştırma problemi veya benzeri problemlerdeki değişkenlerde ya da kısıtlarda bir değişiklik olduğu durumda deterministik yöntemlere göre daha esnek ve daha genel özelliklere sahip olan sezgisel yöntemlerin, problem çözümü için kullanımları düşünülebilir.

Problemin çözümünde nicel araştırma yöntemleriyle birlikte nitel araştırma yöntemleri de (yarı yapılandırılmış yüz yüze görüşme) kullanılmıştır. İHA pilotlarıyla yapılan görüşmelerde geçerlilik ve güvenilirlik prensibine kesinlikle uygun hareket edilmiştir. Model tasarlandıktan sonra model kısıtlarında yer alabilecek konulara göre görüşme cetveli hazırlanmıştır. Bu ve benzeri çalışmalar için yarı yapılandırılmış yüzyüze görüşme yönteminin çok uygun bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Çünkü her ne kadar konuyla ilgili önceden araştırma yapılmış olsada görüşmeler esnasında pilotlardan alınan bilgiler çerçevesinde konuya yönelik yeni önemli bilgiler tespit edilebilmiştir.

Taktik İHA'lar ülkemizde son iki-üç yıldır aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanda gelişen teknoloji de göz önüne alındığında, ilerleyen yıllarda böylesine önemli bir aracın hem teknik hem de taktik açıdan kullanımına yönelik tecrübe birikiminin daha büyük boyutlarda olacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla gelecekte İHA pilotlarıyla yapılacak görüşmelerde talep edilecek ve elde edilecek bilgilerde de farklılıklar olabilecektir.

Problemin çözümünde konum optimizasyonu yapılarak tesis yerleşimi hedeflendiği için maliyet, bütçe, personelin eğitimi ve sertifikasyonlar vb. diğer konular problem içerisine dahil edilmemiştir. Bu tür kısıtların eklenmesiyle konuyla ilgili başka problemler tasarlanarak çözüm üretilebilecektir. Model kapsamındaki kaplama kavramı, arama ve kurtarma operasyonuna uygun olarak ele alınmıştır, güvenlik, istihbarat-gözetleme gibi faaliyetler için ele alınacak problemlerde kaplama kavramı konusu daha farklı olabilecektir.

Kesintisiz iletişim ve sürdürülebilir kontrol konusunda ilk akla gelen araçlardan birtanesi de uydulardır. Uydu teknolojisiyle hem doğrudan takip yapılabilmekte hem de sistemler kullanılabilmektedir. Gelecek dönem içerisinde İHA'lar ile uyduların bütünleşik kullanımı ya da uydular vasıtasıyla İHA'ların daha etkili kullanımına ilişkin gelişmeler yakından takip edilmelidir. İki farklı disiplinin birleşiminden oluşan bir sistem ile A/K faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi durumuna yönelik yapılacak bir matematiksel modelde bulunacak değişkenlerde, kısıtlarda ve çözüm yönteminde farklılıklar olabilecektir.

## KAYNAKÇA

Aerts, J.C.J.H., Eisinger, E., Heuvelink, G.B.M., Stewart, T.J, (2010). Using linear integer programming for multi-site land-use allocation. *Geographical Analysis*. 35 (2): 148-170.

Anisi, D.A., Ogren, P. ve Hu, X., (2015). Cooperative Minimum Time Surveillance with Multiple Ground Vehicles. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 55 (12): 2679-2691.

Arabani, A.B. ve Farahani, R.Z. (2012). Facility Location Dynamics: An Overview of Clasifications and Applications. *Computers & Industrial Engineering*. 62 (12): 408-420.

Arasan, İsmail (2014). Türkiye'nin AB'ye Üyelik Sürecinde Arama-Kurtarma Bölgesi Düzenlemeleri: Kuvvetler Arası Koordinasyon ve Hava Kuvvetlerinin Rolü (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Harp Akademileri Stratejik Araştırmalar Enstitüsü.

Arseven, Haydar (1987). Sigortanın Tarihçesi ve Geri Kalmışlığımızın Sebepleri. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*. 87 (43): 415-431.

Akkurt, Sinan Sami (2014). Türk Havacılık Mevzuatı ve Uluslararası Konvansiyonlar Kapsamında Sivil Hava Yolu ile Yolcu Taşımacılığından Kaynaklanan Hukuki Sorumluluk. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Aksu, Fırat ve Başeren, S.H. (2013). Doğu Akdeniz Deniz Yetki Alanları Sorunu ve Türkiye-AB İlişkileri, Doğu Akdenizde Hukuk ve Siyaset. Eskişehir: A.Ü.SBF Yayınları.

Aktaş, İ. (2007). Türkiye İnsansız Hava Aracı Yol Haritası (Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi). Ankara: Savunma Sanayi Müsteşarlığı.

Akyürek, S., Yılmaz, M.A. ve Taşkıran M. (2008). Sosyal İnsansız Hava Araçları Muharebe Alanında ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm. İstanbul: Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi.

Aydın, H. ve Ayvaz, B. (2016). Afet Yönetiminde Lojistik Depo Yer Seçimi Problemi: Ümraniye İlçesinde Bir Uygulama. Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiri Kitabı (ss.162,162), Düzenleyen İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Mühendisliği Bölümü. İstanbul. 12-14 Ekim 2016.

Arslan, H.M. (2018). Electre ve Maksimum Kapsama Modeli Yöntemleri ile Bilim Merkezlerinin Optimum Tesis Yeri Seçimi. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi. 17 (65): 337-355.

Ayan, M. ve Baykal,T. (2010). Uluslararası Denizcilik Örgütü ve Çevre: Türkiye'nin Örgüt İçindeki Durumu. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 7 (13):275-297.

Aybay, Atilla (1998). Deniz Ticaret Hukuku, Denizciler, İşletmeciler ve Yöneticiler İçin Deniz Hukuku. İstanbul: Aybay Yayıncılık.

Ayöperken, E. ve Ermiş, M. (2010). İnsansız Hava Araçları İçin Üs Konumlarının Kapsama Alanı Problemi Olarak Modellenmesi ve En İyilenmesi. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi. 5 (1): 61-71.

Bacanak, H., Güder, H. ve Durak, U.A.U. (2012). Çoklu İnsansız Hava Aracı Simülasyonu İçin Altyapı Çözümü. Savunma Bilimleri Dergisi. 11(1):81-89.

Bastı, M. (2012). P-medyan Tesis Yeri Seçimi Problemi ve Çözüm Yaklaşımları. Online Academic Journal of Information Technology. 3 (7):47-79.

Başdemir Melih (2000). Locating Search And Rescue Stations In The Aegean And Western Mediterranean Regions Of Turkey (Unpublished Master Dissertation). Ohio, USA: Air Force Institute of Technology.

Başeren, Sertaç.H. (2006). Ege Sorunları. Ankara: Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayınları.

Başkaya, Z. ve Öztürk, B.A. (2005). Tamsayılı Programlamada Dal Kesme Yöntemi ve Bir Ekmek Fabrikasında Oluşturulan Araç Rotalama Problemine Uygulanması. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 14 (1):101-114.

Batta R., Dolan J.M. ve Krishnamurthy N.N. (1989). The Maximal Expected Covering Location Problem: Revisited. *Transport Science* 23 (4): 277–287.

Belanger,V., Ruiz, A. ve Soriano, P. (2019). Recent Optimization Models and Trends in Location, Relocation and Dispatching of Emergency Medical Vehicles. *European Journal of Operation Research*. 19 (272):1-23.

Bernard, M., Kondak, K., Maza, I ve Ollero, A. (2011). Autonomous Transportation and Deployment with Aerial Robots for Search and Rescue Missions. *Journal of Field Robotics*. 28 (6):914-931

Boskovic, J.D., Prasanth, R. ve Mehra, R.K. (2002). An Autonomous Hierarchical Control Architecture for Unmanned Aerial Vehicles. *American Control Conference Kitabı* (ss.44-68), Düzenleyen American Institute of Aeronautics and Astronautics. USA, AK. 5-6 Ağustos 2002.

Cihan, E. ve Gencer, C. (2013). Dinamik İnsansız Hava Sistemleri Rota Planlaması Litaratür Araştırması ve İnsansız Hava Sistemleri Çalışma Alanları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 19 (2): 104-111.

Church, R.L ve ReVelle, C.S. (1974). The Maximum Covering Location Problem. *Papers of Regional Science Association*. 74 (32): 101–118.

Correia, A., Moura R. ve Fonseca M. (2019). Assessing the Location of Search and Rescue Stations on the Portuguese. *Developments and Advances Defense and Security Conference* (pp.321-331). Portuguese: Proceedings of MICRADS.

Coşkun, N., (2007). Acil Servis Sistemlerinde Yerleşim Problemine Analitik ve Genetik Programlama Yaklaşımları (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Current, J., Daskin, M.S. ve Schilling, D. (2001). Discrete Network Location Model. *FacilityLocation: Applications and Theory*. 3 (540): 83-120.

Çayırpunar, Ö. (2009). Çoklu Robot Sistemlerinde Robotlararası Haberleşme ve İşbirliğinde Kullanılacak Arama Verimliliğinin Artırılması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.

Çetin, G. (2010). Türk İnsansız Uçak Sistemlerinin En Gelişmiş: ANKA. Bilim ve Teknik Dergisi. 44 (517): 47-51.

Çevik, O. (2006). Tamsayılı Doğrusal Programlama ile İşgücü Planlaması ve Bir Uygulama. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 8(1): 157-171.

Çınar, N.T. (2010). Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yöntemi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama. KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi. 12 (18): 37-45.

Daskin, M.S. (1996). Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications. Journal of The Operational Research Society. 48 (7):763-764.

Dieter, K., Edward, H. (1982). An Algorithm for The Multiple Objective Integer Linear Programming Problem. 9 (4): 378-385.

Dönmez, S. (2014). A New Genetic Algorithm Based Software Development For Set And Maximal Covering Location Problems And An Application. (Unpublished Master Dissertation). İstanbul: Turkish Naval Academy Naval Science and Engineering Institute.

Du, W., Zhong, W., Tang, Y., Du, W. ve Jin, Y. (2019). High-Dimensional Robust Multi-Objective Optimization for Order Scheduling: Adecision Variable Cassification Approach. IEEE Trans. Ind. Inf. 15 (1): 293–304.

Durak,İ. ve Yıldız, M.S. (2015). P-Medyan Tesis Yeri Seçimi ve Bir Uygulama. Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi. 7 (2):43-64.

Ebrahimi, E. (2014). Swarm of UAVs: Search & Rescue Operation in Chaotic Ship Wakes (U) (Unpublished Master Dissertation). London, England: School of

Engineering Sciences (SCI), Aeronautical and Vehicle Engineering Royal Institute of Technology.

Engin, Mehtap (2009). Kurtarma Yardımda Sigortacının Rolü (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Erdelj, M., Natalizio, E., Chowdhury, K.R. ve Akyıldız, I.F. (2017). Help From The Sky: Leveraging UAVs For Disaster Management. IEEE Pervasive Computing 5 (1): 24-32.

Erdoğan, P. (2016). Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları ve Optimizasyon Algoritmalarının Optimizasyonu. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 4 (16): 293-304.

Erol, S. ve Başar, E. (2015). The Analysis of Ship Accident Occurred in Turkish Search and Rescue Area by Using Decision Tree. Maritime Policy & Management. 4 (42): 377-388.

Gendreau M., Laporte G. ve Semet F. (1997). Solving An Ambulance Location Model by Tabu Search. Location Science 5 (2): 77-88.

Genova, K. Ve Guliashki, V. (2011). Linear Integer Programming Methods and Approaches – A Survey. Cybernetics and Information technologies. 11 (1): 3 - 25.

Goodman, Carl S., Hogan ve David E. (2007). Disaster Medicine. Philadelphia, USA: Wolters Kluwer.

Gürgüze, G. ve Türkoğlu, İ. (2019). Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi. 31(1): 53-66.

Haser, B.A. (2010). Bu İnsansız Hava Aracı'ndan Daha Önce Yapmamışmıydık. Bilim ve Teknik Dergisi. 44 (517): 32-37.

Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981). Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications. Newyork, USA: Springer.

Jeppesen, GmbH. (2001). Air Law. Germany: Oxford Aviation Services Limited.

Jovanovic, M. ve Starcevic, D. (2008). Software Architecture for Ground Control Station for Unmanned Aerial Vehicle. Tenth International Conference on Computer Modeling and Simulation UKSIM (08): 284–288.

Kahveci, M. ve Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye’deki Yasal Durumu. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi. 5 (4):511-535.

Kan, E. (2019). Gemi Donatanlarının Zabitan Seçimlerinde Karar Verme Sürecine İlişkin Model Geliştirme. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü.

Kara, A. (2013). Arama Kurtarma Operasyonlarında Risk Analizi ve Türkiye İçin Arama Kurtarma Model Araştırması (Yayınlanmamış Denizcilik Uzmanlık Tezi). Ankara: Ulaştırma, Denizcilik ve Altyapı Bakanlığı.

Karabay, S., Köse, E. ve Kabak, M. (2014). Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi ile Bir Kamu Kurumu İçin Tesis Yeri Seçimi. Ege Akademik Bakış. 14 (3):361-359.

Karaağaç, C. (2016). İHA Sistemleri Yol Haritası Geleceğin Hava Kuvvetleri 2016-2050. 16. Ankara: STM Mühendislik Teknoloji Danışmanlık.

Kenaroğlu, Y. (2013). İnsansız Hava Aracı Ne Kadar Güvenilir?. Mühendis ve Makina Dergisi. 54 (636): 54-69.

Kılınçoğlu, D.B. (2016). Farklı İnsansız Hava Araçları ile Elde Edilen Görüntülerin Otomatik Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Doğruluk Analizi. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Klose, A. (1998). Branch And Bound Algorithm For An Uncapacitated Facility Location Problem With A Side Constraint. International Transactions On Operations Research. 5(2): 155-168.

Kök, T. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Güvenli Kullanımı İçin Spektrum İhtiyaçlarının Belirlenmesi ile İlgili Öneriler (Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi). Ankara: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.

Kurban, Ö.F. (2014). Anlık İstihbarat, Gözetleme ve Keşif İhtiyaçları İçin Mini İnsansız Hava Araçlarının Yer kontrol İstasyonlarının Seçimi (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Küçük, Y. (2010). İşletmelerde Bilgi İşlem Uygulamalarında Yöneylem Araştırma Tekniklerinin Kullanılması (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Lee, S.G., Diaz-Mercado, Y. ve Egerstedt, M. (2015). Multirobot Control Using Time-Varying Density Functions. IEEE Trans. Robot. 31 (2): 489-493.

Li, X., Zhao, Z., Zhu, X. and Wyatt, T. (2011). Covering Models and Optimization Techniques for Emergency Response Facility Location and Planning: A Review. Mathematical Methods of Operations Research. 74 (3): 281-310.

Miah, M.S. and Knoll, J. (2018). Area Coverage Optimization Using Heterogeneous Robots: Algorithm and Implementation. IEEE Transactions on Instrument and Measurement. 67 (6): 1380-1388.

Mitchell, J.E. (1998). Branch-And-Cut Algorithms For Integer Programming. USA: Mathematical Sciences Rensselaer Polytechnic Institute.

Molina P., Colomina.I., Vitoria T., Silva P.F, Skalous J., Kornus W., Prades R. ve Aguilera C. (2012). Searching Lost People With UAVS: The System And Results Of The Close-Search Project. International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 39 (B1):441-446

Mutlu, R. (2016). Sahil Güvenlik Komutanlığı Arama ve Kurtarma Merkezlerine Yönelik Etkinlik Analizi (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Narayanan, R.G.L. ve Ibe, O.C. (2012). A Joint Network for Disaster Recovery and Search and Rescue Operations. *Computer Networks*. 56 (14):3347-3373

Nasibe, Ç. (2008). Ulaştırma Modeli ile Maliyet Optimizasyonu ve Bir Uygulama (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Denizli: Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Owen, S.H. ve Daskin, M.S. (1998). Strategic Facility Location: A Review. *European Journal of Operational Research*. 98 (111): 423-447.

Polka, M., Ptak, S. ve Kuziora, L. (2017). The Use of UAV's for Search and Rescue Operations. *Procedia Engineering*. 192 (2): 748-752.

Rahmes, M., Chester, D., Hunt, J. ve Chiasson, B., (2018). Optimizing Cooperative Cognitive Search and Rescue UAVs. *Autonomous Systems: Sensors, Vehicles, Security and The Internet of Everything*.

Önel, F. (2014). Kuruluş Yeri Seçiminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Uygulanması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Denizli: Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Özcan, S. (2014). Tesis Yeri Seçimine Doğrusal Programlama Yaklaşımı: Entegre Bir Model Önerisi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Mersin: Mersin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Özdağoğlu, A. (2008). Tesis Yeri Seçiminde Farklı Bir Yaklaşım: Bulanık Analitik Serim Süreci. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 22 (1): 421-437.

Özder, U. (2009). Kobilerde Otomasyona Geçiş Sürecinde Tamsayılı Doğrusal Programlama Yöntemini Kullanarak Karar Verme (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Özgüven, C. (2003). Doğrusal Programlama ve Uzantıları. Ankara: Detay Yayıncılık.

Öztürk, A., (2002). Yöneylem Araştırması. Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları.

Parasuraman R., Sheridan T.B. ve Wickens C.D. (2000). A model for types and levels of human Interaction. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Systems and Humans. 30 (3): 286-297.

Revelle, C., Hogan, K. (1989). Maximum Availability Location Problem. Transportation Science. 23 (3): 192-200.

Sonia Waharte ve Niki Trigoni (2010). Supporting Search and Rescue Operations with UAVs. International Conference on Emerging Security Technologies. Bildiri Kitabı (ss.142-147), Canterbury., Eylül 2010.

Sözleşme, (1974). SOLAS Denizde Can Güvenliğine İlişkin Uluslararası Sözleşmesi.

Şahin, S. (1994). Tam Sayılı Programlama ve Bir Uygulama (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Sule, D. R. (2001). Logistics of Facility Location and Allocation.USA. New York. Boca Location.

Taha, Hamdi A. (1971). Operation Research: An Introduction. USA: Collier-Macmillan.

Taha Hamdy A. (2007). Yöneylem Araştırması. İstanbul: Literatür Yayıncılık. 4.Baskı.

Talimat, (2016). İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü.

Talimat, (1998). IAMSAR Klavuzu. IMO.

Tavakkoli, R., Shayan, E. (1998). Facilities Layout Design by Genetic Algorithms. Computers and Industrial Engineering. 35 (3/4):527-530.

The Global Air Traffic Management Operational Concept Doc.9854.

Tomic, T., Schmid, K., Lutz, P., Dömel, A., Kassecker, M., Mair, E. Burschka, D. (2012). Toward A Fulluy Autonomous UAV: Research Platform For Indoor and Outdoor Urban Search and Rescue. Robotics and Automation Magazine, IEEE. 19 (3):46-56.

Topcu, İ. ve Kabak,Ö. (2018). Yöneylem Araştırması Ders Notları. END 331-web.itu.edu.tr. (17.08.2019).

Toregas, C., Swain, R., Revelle, C., Bergman, L., (1971). The Location of Emergency Service Facilities. Operations Research. 19 (6):1363-1373.

Tervonen, T. ve Figueira, J. (2008). A Survey on Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis Methods. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. 08 (15):1-14.

Tozan, H., Dönmez, S. (2015). A Genetic Algorithm Based Approach to Provide Solutions for Emergency Aid Stations Location Problem and A Case Study for Pendik/İstanbul. Journal of Homeland Security and Emergency Management. 12 (4): 915-940.

Tulunay, Y. (1980). Matematiksel Programlama ve İşletme Uygulamaları.İstanbul: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları.

Türköz, N.F. (2001). Doğrusal Programlama Metodu ile Üretim Planlaması (Isparta Mensucat A.Ş.'nde Uygulama) (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Tütek, H.H. ve Gümüsoğlu, Ş. (1994). Sayısal Yöntemler.İstanbul, Beta Basım Yayım.

ULUCAN, A. (2004). Yöneylem Araştırması (İşletmecilik Uygulamaları Bilgisayar Destekli Modelleme). Ankara: Siyasal Kitabevi.

Ural, Suphi (2014). Arama ve Kurtarma Bilgisi.Erzurum: Atatürk Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Yayınları.

Uysal, M., Yılmaz, M., Tiryakioğlu, İ. ve Polat, N. (2017). İnsansız Hava Araçlarının Afet Yönetiminde Kullanımı. 4.Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Düzenleyen Anadolu Üniversitesi. Eskişehir. 11-13 Ekim 2017.

Yamak, O. (1994). Üretim Yönetimi, Sistemler, İlkeler ve Teknikler (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi.

Yang, T. ve Shen, X., (2020). Mission-Critical Search and Rescue Networking Based on Multi-Agent Cooperative Communication. Mission-Critical Application Driven Intelligent Maritime Networks (ss:55-76). Singapore: Springer

Yenigün, C. (2010). Ege’de Barış Yolunda Donmuş Sorunlar. Dünya Çatışmaları Dergisi. 1(3):707-726.

Yeong S.P., King L.M. ve Dol S.S. (2015). A Review on Marine Search and Rescue Operations Using Unmanned Aerial Vehicles. World Academy of Science International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. 9 (2):396-399.

Yılmaz, H. (2010). Doğrusal Programlama Tekniği ile Üretim Planlamasının Mobilya Sektöründe Uygulanması (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

YILMAZ, Z. (1988). Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ders Kitapları. Bursa: Uludağ Üniv. Basımevi, Uludağ Üniv. Yayınları.

Yiğit, V. ve Türkbey, O. (2003). Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi. 18 (4): 45-56.

Zheng, G., Zhu. N., Tian. Z., Chen. Y. ve Sun. B., (2012). Application Of A Trapezoidal Fuzzy AHP Method For Work Safety Evaluation And Early Warning Rating Of Hot And Humid Environments. Safety Science. 2 (50): 228-239.

Zimmer, Ben (2013). The Flight of Drone From Bees to Planes. The Wall Street Journal.

Yönetmelik, (2001). Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği. T.C. Resmî Gazete, 24611, 12.12.2001.

1944 tarihli Şikago Milletler arası Sivil Havacılık Antlaşması.

1979 tarihli Hamburg Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesi.

4922 Sayılı Denizde Can ve Mal Koruma Hakkındaki Kanun.

### **İnternet Kaynakları**

Url 1, [http://www.fas.org/irp/doddir/army/fm 34-25-2/index.html/](http://www.fas.org/irp/doddir/army/fm%2034-25-2/index.html/) (01.07.2018).

Url 2, [www.altigator.com/drone-uas-uav-manufacturer-europe/](http://www.altigator.com/drone-uas-uav-manufacturer-europe/) (28.10.2018).

Url 3, [www.altigator.com/drones-for-search-rescue-missions/](http://www.altigator.com/drones-for-search-rescue-missions/) (28.10.2018).

Url 4, <https://altigator.com/drones-for-search-rescue-missions/> (28.10.2018).

Url 5, [http://www.sahilguvenlik.gov.tr/baskanliklar/harekat/platformlar/araKur/araKurGemi. Asp/](http://www.sahilguvenlik.gov.tr/baskanliklar/harekat/platformlar/araKur/araKurGemi.Asp/) (30.08.2018).

Url 6, [https://www. tai.com.tr/ urun/ anka/](https://www.tai.com.tr/urun/anka/) (12.12.2018).

Url 7, <https://www.ssb.gov.tr/website/contentlist.aspx?PageID=364&LangID=1/> (12.12.2018).

### **İnternet Kaynakları**

Url 8, <http://baykarmakina.com/sistemler-2/bayraktar-taktik-ihh/> (20.12.2018).

Url 9, [https://web.itu.edu.tr/~cebife/DP\\_model\(2\).pdf](https://web.itu.edu.tr/~cebife/DP_model(2).pdf). / (17.10.2019).

Url 10, [https://www.unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-\(Series\).aspx](https://www.unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-(Series).aspx). (11.09.2020)





**EK 1: Araştırmada Kullanılan Görüşme Formu.**

**GÖRÜŞME FORMU**

**1. Görüşmenin Amacı:** İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin (İHS) yer kontrol istasyonlarının mevkileri belirlenirken göz önüne alınması gereken, İHS'lerin hizmet vermesini etkileyen kısıtları (Meteorolojik, Coğrafi, Teknik) belirlemektir.

**2. Görüşme Yöntemi:** Yarı Yapılandırılmış Yüz Yüze Görüşme.

Sorulara verilecek yanıtlarda standartlaşma sağlamak, sorulara cevap veren cevaplayıcıların kişisel yorum ve değerlendirmelerini asgari seviyede tutmak maksadıyla; "dikkatlice hazırlanan ve belirli bir sırayla sunulan sorular" ile yanıtların alınması hedeflenmiştir.

**3. Görüşülecek Hedef Kitle:** Taktik İnsansız Hava Aracı Sistemini Kullanan İHA Pilotları.

**4. Sorular:**

Bir İnsansız Hava Aracı Sisteminin;

(1) Etkin bir şekilde hizmet verebilmesi (uçuş yapabilmesi ve faydalı yüklerin kullanımı) için, yer kontrol istasyonlarının konumlandırılmasına yönelik etmenler (coğrafi, meteorolojik, mesafe, teknik vb.) nelerdir.

(2) Belirttiğiniz bu etmenlerin sınırlamaları/limitleri nelerdir?

(Örneğin 20 kts.'dan yüksek bir rüzgâr durumunun olması, İHA pilotunun etkin kontrol yapabilmesi için 900 mt. yükseltiden fazla engellerin olmaması vb.)

(3) Bu etmenlerden İHA yer kontrol istasyonunun seçimi esnasında;

- a. Diğer etmenlere nazaran bariz derecede fazla önemi haiz,
- b. Önemine göre göz ardı edilebilecek,

herhangi bir etmen mevcut mudur?

## EK 2: Modelin GAMS Yazılımı Çözümü.

### MODEL-1 (Küme Kaplama Problemi (Set Covering Problem))

OPTIONS

reslim = 7200

optcr = 0.0000001

MIP = CPLEX;

Sets

I talep noktaları /1\*76/  
IA(I) yüksek önem derecesine sahip talep noktaları /2,3,4,7,9,11,12,17,19,24,25/  
IB(I) düşük önem derecesine sahip talep noktaları /1,5,6,8,10,13,14,15,16,18,20,21,22,23,26\*76/  
J istasyon aday mevkileri /1\*10/;

scalars

hAlt asgari meteoroloji uygunluk değeri /5/  
cAlt asgari coğrafi uygunluk değeri /4/  
T Çok büyük değer /9999999/

parameters

h(J) aday istasyon mevkinin meteorolojik uygunluk değeri /1 5, 2 5, 3 5, 4 7, 5 6, 6 6, 7 6, 8 6, 9 7, 10 8/  
c(J) aday istasyon mevkinin coğrafi uygunluk değeri /1 9, 2 9, 3 8, 4 8, 5 8, 6 7, 7 7, 8 7, 9 7, 10 7/

table

k(I,J) kaplama durumu

|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 1  | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 7 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 8 0  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 9 0  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 11 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 12 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 13 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 14 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 15 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 26 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 32 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 41 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 43 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 44 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 46 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 47 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 48 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 49 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 50 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 51 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 52 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 53 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 54 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 55 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 56 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 57 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 58 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 59 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 60 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0  |
| 61 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0  |
| 62 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  |
| 63 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1  |
| 64 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1  |
| 65 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1  |
| 66 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 67 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 68 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 69 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 70 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 71 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 72 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 73 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 74 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 75 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 76 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1; |

variables

$x(J)$  j aday istasyon mevkine istasyon kurulması

$z$  amaç fonksiyonu değeri;

binary variables

$x(J)$ ;

equations

amac

asgariMeteorolojikUygunluk

asgariCografikUygunluk

yuksekOnemlilerinKaplanmasi

dusukOnemlilerinKaplanmasi;

amac..  $z=e=\sum((J),x(J));$

asgariMeteorolojikUygunluk(J)..  $x(J)*h(J)+T*(1-x(J))=g=hAlt;$

asgariCografikUygunluk(J)..  $x(J)*c(J)+T*(1-x(J))=g=cAlt;$

yuksekOnemlilerinKaplanmasi(IA)..  $\sum((J),k(IA,J)*x(J))=g=2;$

dusukOnemlilerinKaplanmasi(IB)..  $\sum((J),k(IB,J)*x(J))=g=1;$

Model model1 /all/;

Solve model1 using mip minimizing z;

Display x.l;

## ÇÖZÜM-1

---- 129 VARIABLE x.L j aday istasyon mevkine istasyon kurulması

1 1.000, 2 1.000, 5 1.000, 9 1.000, 10 1.000

## MODEL-2 (Maksimum Kaplama Problemi (Maximum Covering Problem))

OPTIONS

reslim = 7200

optcr = 0.0000001

MIP = CPLEX;

Sets

I talep noktaları /1\*76/

IA(I) yüksek önem derecesine sahip talep noktaları /2,3,4,7,9,11,12,17,19,24,25/

IB(I) düşük önem derecesine sahip talep noktaları  
/1,5,6,8,10,13,14,15,16,18,20,21,22,23,26\*76/

J istasyon aday mevkileri /1\*10/;

scalars

A meteorolojik uygunluk değeri ağırlığı /1/

B coğrafi uygunluk değeri ağırlığı /1/

N azami istasyon kurulum sayısı /5/

parameters

h(J) aday istasyon mevkinin meteorolojik uygunluk değeri /1 5, 2 5, 3 5, 4 7, 5  
6, 6 6, 7 6, 8 6, 9 7, 10 8/

c(J) aday istasyon mevkinin coğrafi uygunluk değeri /1 9, 2 9, 3 8, 4 8, 5 8, 6 7,  
7 7, 8 7, 9 7, 10 7/

table

k(I,J) kaplama durumu

|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0  |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0  |
| 8 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0  |

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 0  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 11 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 12 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 13 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 14 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 15 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 26 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 32 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

|     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 390 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 400 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 410 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 420 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 430 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 440 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 450 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 460 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 470 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 480 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 490 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 500 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 510 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 520 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 530 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 540 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 550 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 560 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 570 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 580 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 590 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 600 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 610 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 620 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 630 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 640 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 650 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 660 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 670 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 680 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

|     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 690 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 700 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 710 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 720 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 730 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 740 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 760 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1; |

table

m(I,J) mesafe uygunluk

|    | 1 | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7  | 8 | 9 | 10 |
|----|---|----|---|---|---|---|----|---|---|----|
| 1  | 8 | 8  | 9 | 5 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0  |
| 2  | 6 | 10 | 9 | 6 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0  |
| 3  | 4 | 9  | 8 | 5 | 1 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0  |
| 4  | 4 | 8  | 7 | 6 | 3 | 1 | 0  | 0 | 0 | 0  |
| 5  | 2 | 6  | 6 | 6 | 4 | 2 | 0  | 0 | 0 | 0  |
| 6  | 3 | 5  | 6 | 9 | 5 | 3 | 2  | 0 | 0 | 0  |
| 7  | 1 | 4  | 5 | 7 | 7 | 5 | 3  | 1 | 0 | 0  |
| 8  | 0 | 3  | 4 | 7 | 8 | 6 | 4  | 2 | 0 | 0  |
| 9  | 0 | 2  | 3 | 6 | 9 | 7 | 5  | 4 | 1 | 0  |
| 10 | 0 | 2  | 2 | 4 | 7 | 6 | 4  | 2 | 0 | 0  |
| 11 | 0 | 0  | 1 | 4 | 9 | 8 | 6  | 4 | 3 | 0  |
| 12 | 0 | 0  | 1 | 3 | 7 | 7 | 5  | 3 | 2 | 0  |
| 13 | 0 | 0  | 0 | 1 | 6 | 7 | 6  | 3 | 3 | 0  |
| 14 | 0 | 0  | 0 | 1 | 7 | 8 | 8  | 6 | 5 | 0  |
| 15 | 0 | 0  | 0 | 0 | 6 | 8 | 10 | 8 | 7 | 1  |
| 16 | 0 | 0  | 0 | 0 | 4 | 6 | 7  | 6 | 7 | 1  |
| 17 | 0 | 0  | 0 | 0 | 3 | 5 | 7  | 6 | 9 | 4  |
| 18 | 0 | 0  | 0 | 0 | 2 | 4 | 5  | 4 | 7 | 3  |

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 5 | 5 | 8 | 4 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 | 8 | 7 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 6 | 3 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 | 6 | 5 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 6 | 7 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 6 | 9 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 9 |
| 26 | 8 | 8 | 7 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 7 | 8 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 7 | 8 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 6 | 8 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 5 | 7 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 4 | 7 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 3 | 7 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 3 | 7 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | 3 | 7 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 2 | 6 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 2 | 6 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | 1 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 0 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 0 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 44 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0  |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0  |
| 51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0  |
| 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0  |
| 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0  |
| 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0  |
| 55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0  |
| 56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0  |
| 57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0  |
| 58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0  |
| 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 4 | 0  |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 4 | 0  |
| 61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0  |
| 62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1  |
| 63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 | 2  |
| 64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 | 2  |
| 65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 2  |
| 66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2  |
| 67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3  |
| 68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3  |
| 69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3  |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2  |
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3  |
| 72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2  |
| 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2  |
| 74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2  |
| 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1; |

variables

$x(j)$

j aday istasyon mevkine istasyon kurulması

$y(l,j)$  j aday istasyon tarafından i talep noktasına hizmet edilmesi  
 $z$  amaç fonksiyonu değeri;

binary variables

$x(j)$   
 $y(l,j);$

equations

amac  
azamiIstasyonSayisi  
hizmetIstasyonKurulumulliskisi  
yuksekonemlilerinKaplanmasi  
dusukonemlilerinKaplanmasi;

amac..
$$z = e = \sum(j, x(j) * (A * h(j) + B * c(j))) + \sum((l,j), y(l,j) * m(l,j));$$

azamiIstasyonSayisi..
$$\sum(j, x(j)) = l = N;$$

hizmetIstasyonKurulumulliskisi(l,j)..
$$y(l,j) = l = x(j) * k(l,j);$$

yuksekonemlilerinKaplanmasi(lA)..
$$\sum(j, k(lA,j) * x(j)) = g = 2;$$

dusukonemlilerinKaplanmasi(lB)..
$$\sum(j, k(lB,j) * x(j)) = g = 1;$$

Model model1 /all/;

Solve model1 using mip maximizing z;

Display x.l,y.l,z.l;

## ÇÖZÜM-2

---- 211 VARIABLE y.L j aday istasyon tarafından i talep noktasına hizmet ed  
ilmesi

|    | 2     | 3     | 6     | 9     | 10    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 1.000 | 1.000 |       |       |       |
| 2  | 1.000 | 1.000 |       |       |       |
| 3  | 1.000 | 1.000 |       |       |       |
| 4  | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 5  | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 6  | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 7  | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 8  | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 9  | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |
| 10 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 11 |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |
| 12 |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |
| 13 |       |       | 1.000 | 1.000 |       |
| 14 |       |       | 1.000 | 1.000 |       |
| 15 |       |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 16 |       |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 17 |       |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 18 |       |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 19 |       |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 20 |       |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 21 |       |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 22 |       |       | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

|    |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 23 |       |       | 1.000 | 1.000 |
| 24 |       |       | 1.000 | 1.000 |
| 25 |       |       | 1.000 | 1.000 |
| 26 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 27 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 28 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 29 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 30 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 31 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 32 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 33 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 34 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 35 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 36 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 37 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 38 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 39 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 40 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 41 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 42 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 43 | 1.000 |       |       |       |
| 44 | 1.000 |       |       |       |
| 45 |       | 1.000 |       |       |
| 46 |       | 1.000 |       |       |
| 47 |       | 1.000 |       |       |
| 48 |       | 1.000 |       |       |
| 49 |       | 1.000 |       |       |
| 50 |       | 1.000 |       |       |
| 51 |       | 1.000 |       |       |
| 52 |       | 1.000 | 1.000 |       |

|    |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|
| 53 | 1.000 | 1.000 |       |
| 54 | 1.000 | 1.000 |       |
| 55 | 1.000 | 1.000 |       |
| 56 | 1.000 | 1.000 |       |
| 57 | 1.000 | 1.000 |       |
| 58 | 1.000 | 1.000 |       |
| 59 | 1.000 | 1.000 |       |
| 60 | 1.000 | 1.000 |       |
| 61 | 1.000 | 1.000 |       |
| 62 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 63 |       | 1.000 | 1.000 |
| 64 |       | 1.000 | 1.000 |
| 65 |       | 1.000 | 1.000 |
| 66 |       | 1.000 | 1.000 |
| 67 |       | 1.000 | 1.000 |
| 68 |       | 1.000 | 1.000 |
| 69 |       | 1.000 | 1.000 |
| 70 |       | 1.000 | 1.000 |
| 71 |       | 1.000 | 1.000 |
| 72 |       | 1.000 |       |
| 73 |       | 1.000 |       |
| 74 |       | 1.000 |       |
| 75 |       | 1.000 |       |
| 76 |       | 1.000 |       |