



**TÜRK KARA, HAVA VE DENİZ SINIRLARININ KORUNMASINA  
YÖNELİK İHA ÜSSÜ YER SEÇİMİ**

**Aygün ALTUNDAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2021**

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....  
Aygün ALTUNDAŞ  
23/06/2021

TÜRK KARA, HAVA VE DENİZ SINIRLARININ KORUNMASINA YÖNELİK İHA  
ÜSSÜ YER SEÇİMİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Aygün ALTUNDAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Bu çalışmanın amacı gelişmiş ülkelerin modern ordularının envanterinde bulunan askeri teknolojilerin seçimi, planlanması ve bir üste konuşlandırılmasına yönelik bilimsel bir yaklaşım getirmektir. Ülkenin sınırlarının güvenliğinin sağlanması ve olası tehditlere anında müdahale edilebilmesi için kullanılan İnsansız Hava Araçları (İHA)'nın nereye konuşlandırılacağı problemi üzerinde durulmuştur. İHA'ların seçimi ve bu araçların konumlandırılacakları aday üslerin belirlenmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanılmış ve üslerin kurulacağı yerler doğrusal programlama ve hedef programlama yardımıyla tespit edilmiştir. Bulunacak olan çözümün daha etkin ve doğru olması için ÇKKV ve matematiksel modelleme yöntemleri bir arada entegre şekilde kullanılmıştır. 6 farklı ÇKKV yöntemi ile doğru görev için doğru İHA'ların seçimi yapıldıktan sonra Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nden de faydalanılarak aday üs yerleri belirlenmiştir. Bir sonraki adımda icra edilecek görevin sınır koruması olduğu göz önünde bulundurularak hizmet edilecek yerler yani talep noktaları oluşturulmuştur. Daha sonra problem bir maksimum kapsama problemi olarak farklı senaryolar üzerinde doğrusal programlama ve hedef programlama modelleri ile çözülmüştür. Yapılan modelleme de en fazla talep noktasının kapsanacağı İHA üslerinin yeri farklı kısıtlar altında belirlenmiştir. Ayrıca hangi İHA tipinden hangi üste olması gerektiği, hangi talep noktasının hangi İHA tarafından kapsanacağı gibi sorulara kurulan hedef programlama modeli ile karar verilmiştir. Bu çalışma sonucu; etkin, caydırıcı ve yüksek görev ifasına sahip İHA planlaması yapılmış ve ülke güvenliğinin maksimum sağlanmasına yönelik bir çözüm geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 90620  
Anahtar Kelimeler : İnsansız Hava Aracı (İHA), çok kriterli karar verme (ÇKKV), insansız hava aracı seçimi, tesis yer seçimi, sınır güvenliği, yer tayini ve atama  
Sayfa Adedi : 119  
Danışman : Prof. Dr. Serpil EROL

UAV BASE LOCATION SELECTION FOR THE PROTECTION OF TURKISH LAND,  
AIR AND SEA BORDERS

(M. Sc. Thesis)

Aygün ALTUNDAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

The purpose of this study is to bring a scientific approach to the selection, planning and deployment of military technologies in the inventory of modern armies of developed countries. The problem of where to deploy the Unmanned Aerial Vehicles (UAV), which are used to ensure the security of the borders of the country and to intervene in possible threats immediately, has been emphasized. Multi Criteria Decision Making (MCDM) methods were used for the selection of UAVs and determination of candidate bases where these vehicles will be located, and the locations where the bases will be established were determined with the help of linear programming and goal programming. For the solution to be found to be more effective and accurate, MCDM and mathematical modeling methods were used together in an integrated manner. After selecting the right UAVs for the right mission with 6 different MCDM methods, the candidate base locations were determined by making use of Geographical Information Systems (GIS). In the next step, demand points were created, considering that the task to be carried out is border protection. Later, the problem was solved as a maximum coverage problem with linear programming and goal programming models on different scenarios. In the model, the location of the UAV bases where the highest demand points will be covered has been determined under different constraints. In addition, the questions such as which UAV type should be on which base, which demand point will be covered by which UAV were decided with the goal programming model established. The result of this study; efficient, deterrent and high-duty UAV planning has been made and a solution has been developed to ensure the maximum security of the country.

Science Code : 90620

Key Words : Unmanned Aerial Vehicle (UAV), multi criteria decision making (MCDM), selection of unmanned aerial vehicle, facility location, border security, location-allocation

Page Number : 119

Supervisor : Prof. Dr. Serpil EROL

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarına başladığım günden beri akademik yönden beni destekleyen ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Serpil EROL'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bu tezi hazırlama sürecinde manevi desteklerini esirgemeyen, uzun ve değerli zamanlarını çaldığım, kıymetli annem Gülcan ALTUNDAŞ'a, değerli babam Nusret ALTUNDAŞ'a, canım kardeşim Nazlı ALTUNDAŞ'a ve sayın komutanım Kemal Gürol KURTAY'a sabırları için çok teşekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET.....                                                      | iv    |
| ABSTRACT.....                                                  | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                                  | vi    |
| İÇİNDEKİLER.....                                               | vii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                      | x     |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                        | xii   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                   | xiv   |
| 1. GİRİŞ.....                                                  | 1     |
| 2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER....          | 5     |
| 2.1. İnsansız Hava Aracı Tanımları.....                        | 5     |
| 2.2. İnsansız Hava Aracı Görev ve Kullanım Alanları .....      | 6     |
| 2.3. İnsansız Hava Aracı Türleri ve Sınıflandırma .....        | 8     |
| 2.3.1. Genel İHA sınıflandırması .....                         | 10    |
| 2.3.2. Askeri amaçlı İHA sınıflandırması .....                 | 11    |
| 2.3.3. Avrupa sivil İHA yol haritasına göre sınıflandırma..... | 13    |
| 2.3.4. ABD İHA sınıflandırması .....                           | 14    |
| 2.4. İnsansız Hava Araçlarının Bileşenleri.....                | 14    |
| 2.4.1. Hava aracı .....                                        | 15    |
| 2.4.2. Faydalı yük.....                                        | 15    |
| 2.4.3. İnsan unsuru .....                                      | 15    |
| 2.4.4. Komuta/ Kontrol (Kontrol istasyonu).....                | 15    |
| 2.4.5. Muhabere unsuru.....                                    | 16    |
| 2.4.6. Destek unsuru.....                                      | 16    |

|                                                                                                                | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.5. İnsansız Hava Araçlarının Tarihçesi .....                                                                 | 16           |
| 2.6. İnsansız Hava Araçlarının Türkiye’deki Gelişimi .....                                                     | 26           |
| 2.7. İnsansız Hava Araçları Avantaj ve Dezavantajları .....                                                    | 30           |
| <b>3. LİTERATÜR TARAMASI.....</b>                                                                              | <b>33</b>    |
| <b>4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME.....</b>                                                                        | <b>39</b>    |
| 4.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Hakkında Genel Bilgi .....                                            | 39           |
| 4.2. Sınıflandırma.....                                                                                        | 41           |
| 4.3. AHP ile Grup Karar Verme Yönteminde İkili Karşılaştırmalar Yardımıyla<br>Ağırlıkların Elde Edilmesi ..... | 42           |
| 4.4. ARAS Yöntemi .....                                                                                        | 45           |
| 4.5. EDAS Yöntemi .....                                                                                        | 47           |
| 4.6. WASPAS Yöntemi .....                                                                                      | 48           |
| 4.7. MAUT Yöntemi .....                                                                                        | 50           |
| 4.8. TOPSIS Yöntemi .....                                                                                      | 51           |
| 4.9. VIKOR Yöntemi .....                                                                                       | 52           |
| <b>5. TESİS YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ.....</b>                                                                    | <b>55</b>    |
| 5.1. Tesis Yer Seçimi Problemleri Hakkında Genel Bilgi .....                                                   | 55           |
| 5.2. Sınıflandırma.....                                                                                        | 57           |
| 5.3. Maksimum Kapsama Problemi .....                                                                           | 60           |
| <b>6. İNSANSIZ HAVA ARACI ÜS YERİ SEÇİMİ MODELİ VE ÖRNEK<br/>UYGULAMA.....</b>                                 | <b>63</b>    |
| 6.1. İHA Değerlendirmesi ve Seçimi .....                                                                       | 64           |
| 6.1.1. İkili karşılaştırmalar ile kriter ağırlıklarının elde edilmesi .....                                    | 67           |
| 6.1.2. ARAS yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi .....                                                        | 69           |

|                                                                                           | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 6.1.3.EDAS yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi .....                                    | 69           |
| 6.1.4. WASPAS yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi .....                                 | 70           |
| 6.1.5. MAUT yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi .....                                   | 71           |
| 6.1.6. TOPSIS yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi .....                                 | 72           |
| 6.1.7. VIKOR yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi .....                                  | 73           |
| 6.1.8. Sıralamaların Değerlendirilmesi .....                                              | 73           |
| 6.2. Aday Üs Yerlerinin ve Talep Noktalarının Belirlenmesi.....                           | 74           |
| 6.3. Matematiksel Modelin Kurulması ve Örnek Senaryolar .....                             | 86           |
| 6.3.1. Matematiksel modellerin varsayımları.....                                          | 87           |
| 6.3.2. Senaryo 1 ve Senaryo 2'nin matematiksel modellenmesi ve elde edilen sonuçlar ..... | 87           |
| 6.3.3. Senaryo 3'ün matematiksel modellenmesi ve elde edilen sonuçlar.....                | 91           |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                                 | 95           |
| KAYNAKLAR.....                                                                            | 97           |
| EKLER.....                                                                                | 103          |
| EK-1. Görüş analizi örnekleri .....                                                       | 104          |
| EK-2. Senaryo 1 GAMS Kodu ve Çözümü .....                                                 | 107          |
| EK-3. Senaryo 2 Çözümleri .....                                                           | 109          |
| EK-4. Senaryo 2 GAMS Kodu ve Çözümü .....                                                 | 114          |
| EK-5. Senaryo 3 GAMS Kodu ve Çözümü .....                                                 | 116          |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                             | 119          |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Bazı İHA modelleri ve teknik özellikleri.....             | 9     |
| Çizelge 2.2. Askeri amaçlı İHA sınıflandırması.....                    | 11    |
| Çizelge 2.3. Büyüklüğüne göre askeri amaçlı İHA sınıflandırması .....  | 12    |
| Çizelge 2.4. Avrupa sivil yol haritasına göre İHA sınıflandırması..... | 13    |
| Çizelge 2.5. ABD İHA sınıflandırması.....                              | 14    |
| Çizelge 3.1. ÇAKV ve ÇNKV yöntemlerinin karşılaştırılması.....         | 41    |
| Çizelge 3.2. İkili karşılaştırma skalası .....                         | 43    |
| Çizelge 3.3. Standart düzeltme (RI) değerleri .....                    | 45    |
| Çizelge 6.1. İHA'ların kriterler bazında değerlendirilmesi .....       | 66    |
| Çizelge 6.2. Uzman 1 anket formatı .....                               | 67    |
| Çizelge 6.3. Uzman 1 ikili karşılaştırma matrisi.....                  | 68    |
| Çizelge 6.4. Grup karar verme ikili karşılaştırma matrisi.....         | 68    |
| Çizelge 6.5. Kriter ağırlıkları .....                                  | 68    |
| Çizelge 6.6. ARAS yöntemi son matris .....                             | 69    |
| Çizelge 6.7. ARAS yöntemi ile elde edilen sıralama.....                | 69    |
| Çizelge 6.8. EDAS yöntemi son tablo .....                              | 70    |
| Çizelge 6.9. EDAS yöntemi ile elde edilen sıralama.....                | 70    |
| Çizelge 6.10. WASPAS yöntemi son tablo .....                           | 70    |
| Çizelge 6.11. WASPAS yöntemi ile elde edilen sıralama .....            | 71    |
| Çizelge 6.12. MAUT yöntemi son matris .....                            | 71    |
| Çizelge 6.13. MAUT yöntemi ile elde edilen sıralama .....              | 72    |
| Çizelge 6.14. TOPSIS yöntemi son tablo .....                           | 72    |

| <b>Çizelge</b>                                                       | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 6.15. TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralama .....          | 72           |
| Çizelge 6.16. VIKOR yöntemi son tablo .....                          | 73           |
| Çizelge 6.17. VIKOR yöntemi ile elde edilen sonuç .....              | 73           |
| Çizelge 6.18. Tüm yöntemlere göre elde edilen sıralamalar .....      | 73           |
| Çizelge 6.19. İHA'ların sıralama sayıları .....                      | 74           |
| Çizelge 6.20. Aday üslerin kriterler bazında değerlendirilmesi ..... | 77           |
| Çizelge 6.21. Uzman 1 anket formatı .....                            | 80           |
| Çizelge 6.22. Uzman 1 ikili karşılaştırma matrisi.....               | 81           |
| Çizelge 6.23. Grup karar verme ikili karşılaştırma matrisi.....      | 81           |
| Çizelge 6.24. Kriter ağırlıkları .....                               | 81           |
| Çizelge 6.25. ARAS yöntemi sonucu elde edilen son matris .....       | 82           |
| Çizelge 6.26. Aday üs sıralaması .....                               | 84           |
| Çizelge 6.27. Senaryo içerikleri.....                                | 87           |
| Çizelge 6.28. Senaryo 1 çözümleri .....                              | 89           |
| Çizelge 6.30. Senaryo 3 çözümleri .....                              | 93           |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                             | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. İnsansız hava aracı bileşenleri .....                  | 14    |
| Şekil 2.2. Yer Kontrol İstasyonu .....                            | 16    |
| Şekil 2.3. Tarentli Arcyatas'ın çizdiği uçan güvercin .....       | 17    |
| Şekil 2.4. Kettering Aerial Torpedo.....                          | 18    |
| Şekil 2.5. Kettering Bug .....                                    | 19    |
| Şekil 2.6. Queen Bee.....                                         | 19    |
| Şekil 2.7. V-1 .....                                              | 20    |
| Şekil 2.8. Firebee .....                                          | 21    |
| Şekil 2.9 QH-50 DASH .....                                        | 22    |
| Şekil 2.10. Scout .....                                           | 24    |
| Şekil 2.11. Pioneer .....                                         | 24    |
| Şekil 2.12. Reaper .....                                          | 25    |
| Şekil 2.13. İHA-X1 Şahit.....                                     | 27    |
| Şekil 6.1. Türkiye Cumhuriyeti kara sınırları .....               | 63    |
| Şekil 6.2. Türkiye Cumhuriyeti ulusal hava sahası sınırları ..... | 63    |
| Şekil 6.3. Mavi Vatan haritası .....                              | 64    |
| Şekil 6.4. Türkiye'deki havalimanları .....                       | 75    |
| Şekil 6.5. Alternatif kümesindeki havalimanları .....             | 76    |
| Şekil 6.6. Görüş analizi ön ayarları.....                         | 79    |
| Şekil 6.7. Erzincan havalimanı görüş analizi.....                 | 80    |
| Şekil 6.8. Talep noktaları .....                                  | 85    |
| Şekil 6.9. Aday üs yerleri ve hedef noktaları.....                | 86    |

| Şekil                                     | Sayfa |
|-------------------------------------------|-------|
| Şekil 6.10. Senaryo 1 harita çözümü ..... | 90    |
| Şekil 6.11. Senaryo 3 harita çözümü ..... | 94    |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

|           |           |
|-----------|-----------|
| <b>ft</b> | Feet      |
| <b>kg</b> | Kilogram  |
| <b>km</b> | Kilometre |
| <b>kt</b> | Knot      |
| <b>sa</b> | Saat      |

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

|              |                                              |
|--------------|----------------------------------------------|
| <b>ABD</b>   | Amerika Birleşik Devletleri                  |
| <b>BM</b>    | Birleşmiş Milletler                          |
| <b>CAS</b>   | Coğrafi Analiz Sistemi                       |
| <b>CBS</b>   | Coğrafi Bilgi Sistemi                        |
| <b>CIA</b>   | Central Intelligence Agency                  |
| <b>ÇAKV</b>  | Çok Amaçlı Karar Verme                       |
| <b>ÇKKV</b>  | Çok Kriterli Karar Verme                     |
| <b>ÇNKV</b>  | Çok Nitelikli Karar Verme                    |
| <b>GIS</b>   | Geographic Information System                |
| <b>İHA</b>   | İnsansız Hava Aracı                          |
| <b>KKK</b>   | Kara Kuvvetleri Komutanlığı                  |
| <b>MCDM</b>  | Multi Criteria Decision Making               |
| <b>NATO</b>  | Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü             |
| <b>SSB</b>   | Savunma Sanayi Başkanlığı                    |
| <b>TSK</b>   | Türk Silahlı Kuvvetleri                      |
| <b>TUSAŞ</b> | Türk Uzay ve Havacılık Sanayi Anonim Şirketi |
| <b>UAV</b>   | Unmanned Aerial Vehicle                      |
| <b>YKİ</b>   | Yer Kontrol İstasyonu                        |

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin son yıllarda artan bir şekilde gelişmesiyle birlikte harekât tarzları ve bunların gereksinim duyduğu savaş teçhizatları da değişmektedir. Bu büyük değişim, günümüzde harekât bölgelerinin ilgi ve etki alanlarını genişleterek, modern silahlı kuvvetlerin ihtiyaçlarını ve yeteneklerini de etkilemiştir. Askeri operasyonlarda modern teknoloji ürünlerinden en sık yararlanılanlarından birisi de İnsansız Hava Araçları (İHA)'dır. İHA'ların da içinde bulunduğu insansız sistemler, kullanıcı olan pilotların hayatlarının riske edilmek istenmediği veya girilmesinin tehlikeli olduğu alanlarda kullanılan modern askeri teknolojilerdir. İHA'lar gelişen teknoloji ile birlikte yalnızca keşif, gözetleme ve hedef tespiti için değil, aynı zamanda sınırların korunması ve bu sınırlarda oluşabilecek terör saldırılarına müdahale etmek için bir muharip uçak olarak da kullanılabilir. Bu bağlamda, dünyada İHA'ların muharebe ortamlarında bir askeri güç olarak sık bir şekilde kullanıldığı görülmektedir.

Dünyadaki tüm devletler sahip oldukları sınırları ve toprakları korumak maksadıyla envanterlerinde olan ana silah sistemlerini, ülkenin güvenliğinin sağlanması için stratejik öneme haiz yerlere konumlandırırlar. Temel silah sistemleri kısıtlı olduğundan ve yerleştirildikleri yerde en etkin şekilde kullanılabilmeleri gerektiğinden alternatif yerler içinden bir seçim yapılmalıdır. Seçimi yapılan bölgeler stratejik olarak doğru yerler olmalıdır ki, devletin güvenliği en üst düzeyde tutulabilsin. Çünkü devletin güvenliği, envanterde bulunan modern askeri teknolojilerin yanında bu sistemlerin konumundan doğan verime de bağlıdır.

Tüm bu sebeplerden dolayı bu modern askeri teknolojileri sadece envanterde bulundurmak yeterli değildir. Bir ülkenin sınırlarını tümüyle korumak ve bu sınırlarda herhangi bir olayın yaşanmaması için caydırıcı bir güç oluşturmak amacıyla bu imkân ve kabiliyetlerin etkin bir silah sistemi gibi planlanmasının yapılması gereklidir. Bu tür yapılan stratejik planlamalar ülke savunma mekanizmasını güçlendirecek ve düşman unsurlara karşı üstünlük sağlayacaktır. Bu sebeple, Silahlı Kuvvetlerin keşif, gözetleme, sınır koruma ve müdahale görevlerini etkin, caydırıcı ve verimli bir şekilde icra edebilmesi, envanterindeki askeri teknolojilerin modern olması ve bu teknolojilerin bilimsel yöntemlerle seçilmesi ve planlanmasına bağlıdır.

İhtiyacı karşılayacak muharebe araçlarının araştırılması, incelenmesi ve seçimi, alınması gereken stratejik kararlardandır. Karar verilen teknolojinin uzun yıllar gereksinime cevap verebilmesi ve sistemden alınacak faydanın maksimize edilmesi gerekmektedir. Bu sistemler pahalı ve karmaşık olup ülke ekonomisinden büyük kaynak sağlanmasını gerektiren teknolojilerdir. Bu yüzden, bu tür modern askeri teknolojilerin seçimi detaylı bir inceleme ile birlikte birçok kriterin bir arada analiz edilmesini gerektirir.

İnsansız hava araçları pilotlu bir uçak gibi üsse ihtiyaç duyarlar. Bu nedenden dolayı İHA üssünün hangi konumda olması gerektiği, üzerinde çokça düşünülmesi, çalışılması ve analitik yöntemler kullanılarak alınması gereken bir karardır. Her ne kadar insansız araçlar olsa da bu araçlar da kendini üssünden bir kumanda vasıtasıyla uçuran bir pilota ihtiyaç duyarlar. İHA'nın kendisine verilen görevi yüksek oranda başarı ile yerine getirmesi, üssünden kalkış yapan İHA'nın uçuş bittiğinde yeniden kalktığı üsse dönebilmesidir. İHA'nın bulunduğu yerden gidebileceği maksimum uzaklık İHA'nın menziline bağlıdır. Bundan dolayı İHA konumlandırıldığı yer; merkez olmak üzere menzil kabiliyeti dâhilinde yarıçapa bağlı olan dairesel kapsama alanına sahiptir. İHA, alan dışındaki noktalarda görevini yapamaz, çünkü bu alanın dışında onu kumanda eden pilotun yönetimi altında olamaz. İHA'lar ne kadar teknik donanımla yüklü olursa olsun kapsama alanı içinde etkilidir ve İHA'nın kapsama alanı içindeki her nokta kontrol altındadır.

Günümüzde gelişmiş ve caydırıcı güce sahip olan ülkeler sınırlarını korumak için sensörler, uydu takip araçları ve insansız hava araçları gibi teknolojik araçlar kullanmaktadır. Ülkemizde de bu araçlara ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, değişen muharebe sahaları ve ihtiyaç göz önüne alınarak doğru insansız hava aracı seçimi yapılarak, Türk kara, hava ve deniz sınırlarının kontrol altında tutulması ve korunması amacıyla üs yeri seçimi yapılmıştır.

Yapılan uygulama 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, silahlı kuvvetlerin envanterinde olan ve yakın zamanda envantere girecek olan İHA'lar 6 farklı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemiyle değerlendirilmiş ve sıralamaya sokularak seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. İHA seçiminde birçok kriterin etkili olması nedeniyle ÇKKV yöntemlerinden faydalanmanın doğru olacağı düşünülmüştür. Kriterlerin hem nicel hem nitel olarak belirlenmesi, seçilecek olan İHA'ların kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayacağı için grup karar verme metodolojisinin kullanılması uygun olacaktır. Ayrıca verilecek kararın ülkenin bekasını etkileyecek stratejik bir karar olmasından dolayı

birden fazla ÇKKV yöntemiyle sıralamanın yapılması alınacak olan kararın doğruluğu ve tutarlılığını arttıracaktır. İkinci aşamada seçimi yapılan İHA'ların sınırları koruma görevlerini ifa edebilmeleri için konumlandırılması gereken aday üsler havalimanları olarak belirlenmiştir. İHA konumlandırılacak aday üsler, diğer hava alanlarından ayrılarak CBS'lerde görüş analizi yapılarak değerlendirilmelidir. Bu analizle birlikte İHA'nın teknik kabiliyetleri içinde belirlenen maksimum haberleşme menzilin hangi bölümlerinde kontrol edilebileceği ve görev icra edilip edilemeyeceği belirlenmiş olur. Üçüncü aşamada ise farklı senaryolar üzerinde problem maksimum kapsama problemi olarak değerlendirilip İHA üssünün kurulacağı yerlerin kararı matematiksel model yardımıyla verilmiştir.

Bu çalışma 7 ana bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde yapılan tez çalışması ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. İkinci bölümde İHA'ların tarihçesi, farklı tanımlamaları ve sınıflandırılması gibi konular üzerinde durulmuş ve İHA'lar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde 2 başlık altında toplanan literatür taraması yer almaktadır. Birinci başlıkta askeri teknolojilerin ve askeri tesis yeri seçiminin ÇKKV yöntemleri ile yapıldığı çalışmalar derlenmiş, ikinci başlıkta ise insansız hava araçlarıyla ilgili yapılan geçmiş çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü bölümde çok kriterli karar verme açıklanmış ve uygulamada kullanılan 6 ÇKKV yönteminin adımları detaylı olarak verilmiştir. Beşinci bölümde tesis yer seçimi problemleri incelenmiş ve bu problemlerin sınıflandırılması konusunda bilgi verilmiştir. Ayrıca uygulamamız kapsamına giren maksimum kapsama problemlerine ayrı bir alt başlık olarak değinilmiştir. Altıncı bölümde 3 aşamadan oluşan uygulama yer almaktadır. Yedinci ve son bölümde ise ulaşılan sonuçlar değerlendirilip, yorumlanmış, çalışmanın literatüre olan katkısından söz edilmiş ve gelecekte yapılabilecek araştırmalar üzerine öneriler getirilmiştir.



## 2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 2.1. İnsansız Hava Aracı Tanımları

İHA'ları içerisinde insan taşımadan, tahrik kuvvetleri ve aerodinamikten faydalanarak uçabilen, yerden kumanda edilerek harici bir pilot tarafından kontrol edilen veya önceden programlanarak otonom (bağımsız) uçuş yapabilen, yani kendi kendine hareket edebilen kendi güç sistemine sahip, silah, sensör, kamera vb. faydalı yük taşıyabilen modern teknolojik araçlar olarak tanımlayabiliriz. Yarı balistik ve balistik füzeler, toplarla fırlatılan mühimmatlar ve seyrüsefer füzeleri İHA olarak kabul görmemektedir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin öncülüğünde geliştirilen İHA'lar “Drones”, “pilotsuz uçak”, “uzaktan pilotlu uçak” ve “robot uçak” gibi terimlerle de adlandırılmaktadır.

ABD Savunma Bakanlığı'nın tanımına göre ise İHA, motoru üstünde bulunan, pilot olarak insan taşımayan, kendi kendine veya uzaktan kumanda vasıtasıyla uçabilen, ölümcül veya ölümcül olmayan faydalı yükler taşıyan hava aracı olarak tanımlanmaktadır (DOD, 2021).

SSM tarafından yayınlanan Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası'nda yapılan tanımlamaya göre; İHA, kendisini kullanan bir insan taşımayan, kaldırma kuvvetini oluşturabilmek amacıyla aerodinamik kuvvetleri kullanabilen, kendi kendine uçabilen veya uzaktan yönetilebilen, tekrar kullanılabilen veya kullanılamayan ve ölümcül veya ölümcül olmayan faydalı yükler taşıma kabiliyetine sahip motorlu hava aracıdır (SSM, 2011).

Kuzey Atlantik Ticaret Örgütü (NATO), İHA yerine uzaktan kontrol edilebilen hava aracı terimini kullanmaktadır. Buradaki tanıma göre İHA, insanlı bir uçağı uçurabilecek yeteneklere sahip, bu standartlarda eğitilip sertifikalandırılmış bir pilot tarafından uzaktan kumanda istasyonu aracılığıyla uçurulan hava aracıdır (NATO, 2013).

Kara Kuvvetleri tarafından resmi yayınlarda sıkça kullanılan İHA tanımlamasına göre ise; İHA, içerisinde kullanıcı olarak pilot bulundurmeyen, yerdeki hareketli veya sabit komuta istasyonundan radyo frekans dalgaları ile kontrol edilip yönlendirilen, üzerinde taşıdığı faydalı yüke platform olan motorlu hava aracıdır.

Roland İHA yerine, İçinde Pilot Bulunmayan Hava Aracı terimini kullanmıştır. Çünkü onun yaptığı tanıma göre, yerde bulunan pilot tarafından uzaktan kumanda vasıtasıyla uçuş sırasında her an uçuşa müdahale edilebilir, rota değiştirilebilir veya görev tamamen iptal

edilebilir. Yani pilot kokpitten çıkarılmış fakat ona uçağı yerden kontrol etme misyonu yüklenmiştir (Roland, 2003).

Austin'in yaptığı tanımlamaya göre ise İHA, kullanıcısı olan pilotu araçtan indirilmiş, içerisindeki bilgisayar sistemi vasıtasıyla komutların alınıp, toplanan verilerin yollanabildiğı radyo linke sahip hava aracıdır (Austin, 2010).

## **2.2. İnsansız Hava Aracı Görev ve Kullanım Alanları**

Muharebe ortamlarının gün geçtikçe karmaşıklaşan yapısı, savaşta ve barışta yetişmiş insan gücü kaybı olmadan, operasyon sahasından anlık bilgi sahibi olmak ve görevini başarıyla ifa edebilmek amacıyla Silahlı Kuvvetler, insansız araçların kullanımına ağırlık vermiştir. 21.yüzyıla geldiğimiz bu bilgi çağında, böyle modern stratejik sistemlerin etkin ve verimli kullanılması üzerinde durulmuş ve günümüz orduları için muharebe ortamlarında başarının sağlanmasında önemli bir teknoloji olmuştur. Uçaklarla birlikte üç boyuta ulaşan savaş ortamı, uzayın da eklenmesiyle dördüncü boyuta taşınmıştır. İHA'lar; kullandıkları muhabere sistemleri ve görevlendirildikleri operasyon sahası ile birlikte muharebe alanının dört boyutunu birden kullanan önemli savaş vasıtalarıdır (Ercan, 2013).

Askeri amaç için kullanılan İHA'nın tarihçesi 1970'lere uzanmaktadır. 2000 yılı sonrasında ise silahlı İHA'ların yoğun riskli bölgelerde yaygın olarak kullanılmaya başlandığı görülmektedir. İHA'ların silahlı modellerinin bulunmasıyla beraber modern ordular çoğunlukla hedef tespiti, keşif ve gözetleme gibi görevleri yerine getirmek amacıyla bu silah sistemlerini kullanmışlardır. Sabit bir platformdan uzaktan komuta edilen bu araçlar, yüzlerce kilometre uzaktan uydu haberleşmesi ve radyo frekansları kanalıyla yönetilebilmektedir. Günümüzde hala gelişmeye devam eden İHA sistemlerinin önümüzdeki yıllarda meydana gelecek yeni teknolojik hamlelerle insanlı hava araçlarının sahip olduğu tüm imkân ve kabiliyete ulaşması beklenmektedir. İHA'lar hâlihazırda yoğun olarak askeri amaçlar için tercih edilse de sivil amaçlı kullanımları da gün geçtikçe çeşitlilik kazanmaktadır (Cole, 2010).

İHA'ların kullanıldığı askeri görevler şunlardır;

- İstihbarat, keşif ve gözetleme
- Durumsal farkındalık
- Askeri malzeme ikmali

- Hedef tespiti ve izleme
- Elektronik harp
- Haberleşme
- Fiziksel saldırı ve tahrip
- Mayın tespiti ve imhası
- Nükleer, biyolojik ve kimyasal kirlilik tespiti
- Arama, kurtarma
- Sivil güvenlik
- Kaçakçılık ile mücadele
- Denizaltı ve havadan gözlem
- Ateş desteği
- Düşman hava savunmasını etkisiz hale getirmek
- Füze savunması,
- Sahte hedef oluşturmak,
- Hava-hava savunması yapmak,
- Yakın hava desteği
- Komuta kontrol ve muhabere imkânlarını artırmak,
- Hedef işaretlemesi yapmak
- Endirekt (görmeyerek) yapılacak atışlar için ileri gözetleme
- Karasuları ve sınır güvenliği
- Psikolojik harekât
- Askeri eğitim desteği vb.

Tüm bu görevlerin dışında, önümüzdeki yıllarda teknolojinin de gelişmesine paralel olarak İHA'ların askeri amaçla kullanımlarının artarak devam edeceği ve çok daha zor ve karmaşık görevler ifa edeceği öngörülmektedir.

İHA'lar askeri amaçlarla kullanımlarının yanında birçok sivil amaçla da kullanılmaktadır. İHA'ların sivil amaçlı kullanım alanları şunlardır;

- Hava fotoğrafçılığı ve sinemacılığı
- Hava haritacılığı
- Yangın tespit ve izleme
- Atmosferik gözlem

- Tarımsal gözlem ve ilaçlama
- Bilimsel araştırmalar
- Lojistik faaliyetler
- Meteorolojik faaliyetler
- Çevresel denetim
- Ziraat ve ormancılık
- Felaket ve kriz yönetimi
- Haberleşme
- Narkotik karşı tedbirleri
- Havadan trafik denetimi
- Maden arama
- Cep telefonu ağı genişletme
- Yüksek voltajlı güç hattı izleme
- Nükleer radyasyon gözleme vb.

İHA sistemlerinin ilerleyen zamanda da gelişiminin devam etmesiyle birlikte insanlı hava araçlarına, çeşitli diğer askeri sistemlere ve uydulara nazaran daha ekonomik, güvenilir, emniyetli ve etkin çözümler elde etmesiyle sivil amaçlı kullanım alanları da gün geçtikçe çeşitlenecektir.

### **2.3. İnsansız Hava Aracı Türleri ve Sınıflandırma**

Günümüzde imkân ve kabiliyetlerinin artmasıyla birlikte kullanımı da artan İHA'lar, birçok gelişmiş ülkenin modern silahlı kuvvetlerinin kritik teknolojileri olmuşlardır. Elle fırlatılan küçük boyutta İHA'lar olduğu gibi roket gibi fırlatılan, helikopter görünümüne ve kabiliyetine sahip olan, paraşütle hava yastığı üzerine inen ve bir uçak gibi pistten hareket edip geri piste iniş yapabilen çok çeşitte İHA vardır.

Ülkeler tarafından sıkça kullanılan bazı İHA'lar ve teknik donanımları Çizelge 2.1'de sunulmuştur (Pustam, 2002; Ercan, 2013).

Çizelge 2.1. Bazı İHA modelleri ve teknik özellikleri

| İHA İsmi           | Havada Kalış Süresi (saat) | İrtifa (feet) | Faydalı Yük Kapasitesi (kg) |
|--------------------|----------------------------|---------------|-----------------------------|
| AECV Puma          | 2                          | 500           |                             |
| Aerosonde          | 40                         | 20000         | 10                          |
| Aerostar           | 12                         | 18000         | 50                          |
| Akıncı             | 24                         | 30000         | 1350                        |
| Aksungur           | 24                         | 35000         | 750                         |
| Aladin             | 1                          | 15000         |                             |
| Altus II           | 24                         | 65000         | 400                         |
| Anka               | 24                         | 30000         | 200                         |
| AV Pointer         | 2                          | 8000          | 6,5                         |
| BAMS               | 34                         | 60000         | 1450                        |
| Bow 24             | 25                         | 60000         | 213,5                       |
| Camcopter S100     | 6                          | 16000         | 50                          |
| Cypher             | 25                         | 5000          | 20,5                        |
| Çaldıran           | 16                         | 30000         | 40                          |
| Dark Star          | 8                          | 45000         | 454                         |
| DİHA               | 12                         | 9000          | 5                           |
| Dominator          | 28                         | 30000         | 410                         |
| Dragon Eye         | 1                          | 1000          |                             |
| Eagle Eye          | 6                          | 20000         | 98                          |
| Euro Hawk          | 30                         | 65000         | 1360                        |
| Explorer           | 25                         | 10000         | 11,5                        |
| Falco              | 14                         | 20000         | 70                          |
| Fire Scout         | 6                          | 20000         | 270                         |
| Firebird           | 40                         | 30000         | 14                          |
| Freewing           | 85                         | 15000         | 22,5                        |
| Global Hawk        | 42                         | 65000         | 481                         |
| GNAT 750           | 48                         | 25000         | 63,5                        |
| Golden Eye         | 3                          | 15000         | 12                          |
| Gözcü              | 1,5                        | 2000          |                             |
| Grey Eagle         | 40                         | 25000         | 1450                        |
| H-7F               | 2                          | 8000          | 5,5                         |
| Helios             | 48                         | 90000         | 68                          |
| Hermes             | 15                         | 15000         | 55                          |
| Heron              | 45                         | 35500         | 470                         |
| Hummingbird        | 20                         | 30000         | 1850                        |
| Hunter             | 21                         | 20000         | 100                         |
| Javelin            | 15                         | 8000          | 2,5                         |
| Kalekalıp Mini İHA | 1                          | 12000         | 4,5                         |
| Karayel            | 20                         | 22500         | 70                          |

Çizelge 2.1. (devam) Bazı İHA modelleri ve teknik özellikleri

|              |     |       |      |
|--------------|-----|-------|------|
| Luna         | 8   | 16400 |      |
| Malazgirt    | 1,5 | 10000 | 3    |
| Mercator     | 82  | 70000 | 2,5  |
| MQ1 Predator | 24  | 2500  | 204  |
| MQ9 Reaper   | 20  | 50000 | 1700 |
| Mücke        | 3,5 | 11500 | 35   |
| Neptune      | 4   | 8000  | 90   |
| Orbiter      | 3   | 15000 | 1,5  |
| Path Finder  | 15  | 81000 | 67,5 |
| Pegasus      | 48  | 40000 | 475  |
| Perseus      | 72  | 65500 | 200  |
| Pioneer      | 55  | 12000 | 34   |
| RQ 11B Raven | 1,5 | 1000  |      |
| Scan Eagle   | 20  | 16400 | 6    |
| Scorpio      | 1   | 6500  |      |
| Shadow       | 9   | 15000 | 82   |
| Silverfox    | 8   | 12000 | 2    |
| Skyeye       | 10  | 18000 | 79,5 |
| Skylark      | 2   | 15000 |      |
| Spectre II   | 6   | 28000 | 38,5 |
| Sperwer      | 6   | 15000 | 45   |
| T Hawk       | 1   | 10000 |      |
| TB-2         | 27  | 24000 | 150  |
| Turna        | 1,5 | 12000 | 18   |
| WASP         | 1   | 1000  |      |
| Watchkeeper  | 17  | 16000 | 150  |
| XAP          | 1   | 5000  | 1,5  |

İHA çeşitliliğinin bu kadar fazla olması hepsini kapsayan bir sınıflandırmayı zorlaştırmaktadır. Literatür incelendiğinde farklı özelliklere göre birçok İHA sınıflandırılması yapıldığı görülmüştür.

### 2.3.1. Genel İHA sınıflandırması

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde İHA'lar genel olarak taktik, stratejik ve özel amaçlı olarak sınıflandırılmaktadır (Chin vd., 2009).

➤ **Taktik İnsansız Hava Araçları:** Mikro ve mini, kısa ve orta menzil ile alçak irtifa uzun havada kalış ve orta irtifa uzun havada kalış İHA'ların yer aldığı taktik İHA'ların maksimum uçuş irtifaları 40.000 feet'tir ve çoğunlukla küçük alanda daha kısa zamanda yapılması

gereken görevlerde kullanılırlar. Menzilleri en fazla 500 km'dir. Maksimum havada kalış süreleri en fazla 48 saate kadardır.

➤ **Stratejik İnsansız Hava Araçları:** Yüksek irtifa havada kalış kabiliyetine sahip bu sınıfa dâhil İHA'lar, daha geniş alanda ve daha yüksek irtifalarda uzun süreli kullanım için geliştirilmişlerdir. Menzili 500 km'den fazla, ortalama havada kalma süresi 24-48 saat ve maksimum kalkış ağırlığı ortalama 1200 kg'dır. Maksimum uçuş irtifaları 65.000 feet üzerindedir. Literatürdeki çalışmacılar tarafından "komutanların kapanmayan gözü" olarak adlandırılmışlardır. (Chin vd., 2009)

➤ **Özel Amaçlı İnsansız Hava Araçları:** Daha çok bilimsel çalışmalarda ve sivil maksatlı kullanılan özel amaçlar için geliştirilmiş İHA'lardır.

### 2.3.2. Askeri amaçlı İHA sınıflandırması

Askeri amaçlarla kullanılan İHA'lar için farklı teknik özelliklerine göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Bu sınıflamada bir İHA çeşidi birden çok sınıflama grubu içinde bulunabileceği gibi aynı sınıflama grubunda birden fazla ve farklı kategoriye de girebilmektedir. Bu sınıflandırmalar Çizelge 2.2'deki gibi gösterilebilir;

Çizelge 2.2. Askeri amaçlı İHA sınıflandırması

| Büyükklüğe göre                                                             | Faydalı yük türüne göre | Yakıt türüne göre                           | Uçuş yöntemine göre              | Komuta biçimine göre                   | Kullanım amacına göre                                                 | Kalkış ve iniş yöntemine göre                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -Micro<br>-Mini<br>-Küçük<br>-Taktik<br>-Operatif<br>-Stratejik<br>-Taarruz | -Silahlı<br>-Silahsız   | -İçten yanmalı motorlu<br>-Elektrik moturlu | -Sabit kanatlı<br>-Döner kanatlı | -Otomatik pilotlu<br>-Uzaktan komutalı | -Sahte/Hedef<br>-Keşif gözetleme<br>-Atak/Saldırı<br>-Lojistik destek | -Rampadan kalkan/fırlatılan<br>-Pistten kalkan<br>-Uçaktan bırakılan<br>-Elle fırlatılan<br>-Gövde üzerine iniş yapan<br>-Paraşütle iniş yapan |

Bu sınıflandırmalardan en önemlisi büyüklüklerine ve diğer teknik özelliklerine göre yapılan sınıflandırmadır. Söz konusu sınıflandırma ve her gruba giren İHA modelleri Çizelge 2.3'te verilmiştir. Türkiye'deki İHA sınıflandırmasında ana kriter irtifa kabul edilirken AB ve çoğu NATO bağlı devletlerde ağırlık temel alınmaktadır (UK MOD, 2012; Karaağaç, 2016).

Çizelge 2.3. Büyüklüğüne göre askeri amaçlı İHA sınıflandırması

| Sınıf   | Kategori         | İrtifa (feet) | Menzil Yarıçap 1 (m) | Havada Kalma Süresi (saat) | Örnek İHA                                                                  |
|---------|------------------|---------------|----------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Sınıf 1 | Mikro (< 2 kg)   | 200           | 5                    | 1                          | FanCopter, Black Widow, Micro Star, QuattroCopter, Microbat, Hornet        |
|         | Mini (2 - 20 kg) | 3000          | 25                   | < 2                        | ScanEagle, Skylark, Mikado, Aladin, DragonEye, Raven, Scorpion, Efe, Gözcü |
|         | Küçük (> 20 kg)  | 5000          | 50                   | 3 - 6                      | Hermes, Luna, Silverfox, Eyeview, Firebird, GoldenEye, Neptune, Flyrt      |
| Sınıf 2 | Taktik           | 10000         | 200                  | 6 - 10                     | Sperwer, Watchkeeper, Mücke, Aerostar, Falco, EagleEye, Çaldıran, Karayel  |
| Sınıf 3 | Operatif         | 45000         | Sınırsız             | 24 - 48                    | Skyforce, Reaper, Predator, Hermes, DarkStar, Dominator, Heron, Anka       |
|         | Stratejik        | 65000         | Sınırsız             | 24 - 48                    | GlobalHawk, Raptor, Theseus, Helios, EuroHawk, Global Observer, PathFinder |
|         | Taarruz          | 65000         | Sınırsız             | > 48                       | Pegasus                                                                    |

➤ Mikro İHA Sistemleri: İstihbarat örgütleri ve özel kuvvetler tarafından değeri yüksek hedeflerin keşif ve gözetlenmesi amacıyla kullanılan İHA'lardır. Tek personelden, tim seviyesine kadar olan bu İHA'lar, bazı görevleri ifa edebilmek için Deniz Piyadeleri ve Kara Kuvvetleri tarafından da kullanılabilir. Boyut ve ağırlıkları küçük olan, canlılara ve doğal nesnelere oldukça benzeyen bu İHA'lar, kolayca kamufle olur ve tespitleri zordur.

➤ Mini İHA Sistemleri: Tek erden tabur seviyesine sahip birliklere kadar ve tek gemi seviyesinde kullanılan İHA'lardır. Hava Kuvvetleri tarafından da harekât alanındaki hava üslerinin yakın savunması için kullanılabilir. Sürü halinde operasyon amacıyla operatif ve stratejik seviyedeki İHA'lar ile pilotlu hava araçlarından atılarak yararlanılabilirler. Tabur seviyesindeki ve altındaki birliklerin görüntü istihbaratıyla hedef tespiti yapması, atış hasar değerlendirmesi yapılması ile manevra ve atışlarının yönlendirilmesi amaçları için kullanılırlar.

- Küçük İHA Sistemleri: Alaylar ve tugaylarla deniz görev grubu seviyesindeki birlikler tarafından kullanılan İHA'lardır. Mini İHA'lar gibi Hava Kuvvetleri tarafından da harekât alanındaki hava üslerinin yakın savunması için kullanılabilir. Sürü halinde operasyon amacıyla operatif ve stratejik seviye İHA'lar ile pilotlu hava araçlarından atılarak yararlanılabilirler. Sinyal ve görüntü istihbaratıyla hedeflerin tespiti, manevra ve atışların yönlendirilmesi, atış hasar değerlendirilmesi ve telsiz röle amaçlarıyla kullanılırlar.
- Taktik İHA Sistemleri: Kolordu ve ordu seviyesiyle deniz görev kuvvetleri seviyesinde kullanılan İHA sistemleridir. Sinyal ve görüntü istihbaratı ile hedeflerin tespiti, silahlı angajman, atış ve manevraların yönlendirilmesi, telsiz röle ve atış hasar değerlendirilmesi amaçları için de kullanılırlar.
- Operatif İHA Sistemleri: Ana kullanıcısı Hava Kuvvetleri olan İHA'lardır. Diğer kuvvetlere destek amacıyla da kullanılabilirler. Denizler aşırı operasyon hedefleri ve buna bağlı harekât yeteneği olan Rusya, ABD ve Çin gibi devletlerin Deniz Piyadeleri, Deniz Kuvvetleri ve Kara Kuvvetleri, operatif İHA'lara sahip olabilir.
- Stratejik İHA Sistemleri: Stratejik amaçlar için istihbarat örgütleri ve Hava Kuvvetleri'nce yararlanılan İHA'lardır.
- Taarruz İHA Sistemleri: Modern orduların sınırlarını koruma ve olaylara müdahale etmek amacıyla kullandıkları silahlı İHA'lardır. Asli kullanıcısı Hava Kuvvetleri olan bu İHA'lar, Kara Kuvvetleri'nin yaptığı operasyonlara destek vermek amacıyla da kullanılabilir.

### 2.3.3. Avrupa sivil İHA yol haritasına göre sınıflandırma

Bu sınıflandırma türünde İHA'lar uçuş irtifası ve kalkış ağırlığı esas alınarak gruplandırılmıştır. Bu sınıflandırma Çizelge 2.4'te gösterilmiştir (European Civil Unmanned Air Vehicle Roadmap, 2005).

Çizelge 2.4. Avrupa sivil yol haritasına göre İHA sınıflandırması

| Sınıf         | Kalkış Ağırlığı (kg) | Uçuş İrtifası (feet) |
|---------------|----------------------|----------------------|
| Mikro         | < 7                  | < 400                |
| Mini          | 8 - 40               | 400 - 4000           |
| Döner Kanatlı |                      |                      |
| MALE          | 400 - 4000           | 15000 - 45000        |
| HALE          |                      | > 45000              |

### 2.3.4. ABD İHA sınıflandırması

ABD, İHA teknolojilerini sürekli geliştirmeleriyle birlikte yıllar içinde farklı sınıflandırmalar kullanmıştır. En son kullanılan ve Joint Unmanned Aircraft Systems Centers of Excellence tarafından ağırlık, irtifa ve seyir hızını esas alan sınıflandırma Çizelge 2.5'te sunulmuştur (JUAS COE, 2010).

Çizelge 2.5. ABD İHA sınıflandırması

| Grup    | Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg) | İrtifa (feet) | Seyir Hızı (knot) |
|---------|-------------------------------|---------------|-------------------|
| 1. Grup | < 9                           | < 1200        | < 100             |
| 2. Grup | 9 - 25                        | < 3500        | < 250             |
| 3. Grup | < 600                         | < 18000       | < 250             |
| 4. Grup | > 600                         | < 18000       | Her hız           |
| 5. Grup | > 600                         | < 18000       | Her hız           |

### 2.4. İnsansız Hava Araçlarının Bileşenleri

İHA'lar için birçok alt sistem sınıflandırması yapılmakta fakat bunlar birbirlerinden çok da farklılık göstermemektedir. Bu yüzden bir İHA'nın uçabilmesi için gerekebilecek tüm alt sistemler 6 ana başlıkta toplanabilir. Bu bileşenler Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Aralarında hiyerarşik bir bağlantı olmayıp hiçbirini bir diğerinden daha önemli değildir. Her biri görevin yapılmasında büyük rol oynar. İHA sisteminin kullanım amacı, büyüklüğü vb. kriterlere bağlı olarak bu bileşenlerden bir kısmı olmayabilir ya da büyüklükleri farklılık gösterebilir (JAPCC, 2010).



Şekil 2.1. İnsansız hava aracı bileşenleri

### **2.4.1. Hava aracı**

Görevin gereksinimleri, hava aracının sahip olması gereken performansı belirler. Hava araçlarının vazifesi, görevin niteliğine göre faydalı yükü, görevin icra edileceği alana taşımaktır. Hava aracı, uçan platform, yakıt, motor, seyrüsefer, haberleşme sistemleri ve aviyonik sistemler gibi teknik donanımları içinde barındırır.

### **2.4.2. Faydalı yük**

Hava aracının icra edeceği göreve bağlı olarak değişen donanımlardır. 1 kilogramlık kameradan, 200 kilogramlık mühimmatla hatta 1000 kiloluk radar sistemlerine kadar değişebilen ve görevin başarılı bir şekilde ifası için zaruri olan teçhizatdır. İHA'ya entegre edilebilecek başlıca faydalı yükler; Sensörler, kameralar, haberleşme teçhizatları, silah ve mühimmatlar ile radar sistemleri olarak sayılabilir (Austin, 2010).

### **2.4.3. İnsan unsuru**

Sistemin adı insansız hava aracı olsa da en kritik unsur yine de insanın kendisidir. Çünkü hava araçlarının kendisi insansızdır fakat İHA sistemi, kendisini kullanacak bir insana ihtiyaç duymaktadır. İHA sistemleri belirli seviyeye kadar görevi otonom ifa etse de görevin icrası boyunca insan kontrolünü gerektirir. Görevin başarılı bir şekilde ifası için İHA'ların gerçekleştirdiği operasyonlar süresince pilot, görev komutanı, faydalı yük operatörü ve bakım personeli gibi kritik görevdeki personeller müşterek bir biçimde çalışırlar.

### **2.4.4. Komuta/ Kontrol (Kontrol istasyonu)**

Komuta-kontrol ya da diğer adıyla kontrol istasyonu unsuru; görev planlama ve çizelgeleme, faydalı yük kontrolü ve haberleşme başta olmak üzere çok sayıda görevin yapılması için en kritik bileşendir. Görevin gereksinimine göre genellikle yerde ya da gemide bulunur. Başka bir hava aracına yerleştirilebilme imkânı da vardır. Kontrol istasyonu operasyonun ana merkezi ve makineyle insanın ara yüzüdür. Dizüstü bilgisayar büyüklüğünde olabileceği gibi bir kontrol aracı ya da sabit bir tesis büyüklüğünde de olabilir. Bazı kontrol istasyonları görüş sahası içerisinde görev yaptıklarından dolayı yardımcı oldukları birlikle aynı bölge içinde konuşlanabilir. Bazılarıysa uydu yardımıyla kontrol edilme yeteneğine sahiptir ve bu sayede operasyon bölgesinin çok uzağına konuşlandırılabilir. Hava aracı ve faydalı yük kullanımı operatörler tarafından bu istasyonlarda yapılır. Aynı zamanda hava aracının

durumu, konum bilgileri ve topladığı veriler de bu istasyona gelir. Şekil 2.2’de örnek bir kontrol istasyonu resmi görülmektedir.



Şekil 2.2. Yer Kontrol İstasyonu

#### 2.4.5. Muhabere unsuru

İletişim sistemlerinin en önemli ihtiyacı kontrol istasyonu ile hava aracı arasındaki veri bağlantısının sağlanmasıdır. İHA’nın iletişim sistemleri, görüş hattında veya görüş hattı ilerisinde çalışabilir. İletişim ortamında çoğunlukla uydu aracılığıyla radyo frekansları kullanılmakla beraber, lazer ışınları da kullanılabilir. Veri hattı çift yönlüdür.

#### 2.4.6. Destek unsuru

İnsanlı uçakların olduğu gibi İHA’lar da ikmal desteğine ihtiyaç duymaktadır. Bu destek unsuru; bakım, yeniden konuşlanma, uçuş destek, intikal ve haberleşme fonksiyonlarını içerir. İHA’ların boyutuna göre destek biriminin büyüklüğü de değişmektedir. Elle fırlatılan ve boyutu ufak olan bir İHA için küçük boyutlu destek birimi gerekirken; boyutu büyük olan İHA’lar, muharip uçaklar gibi oldukça büyük ve önemli bir destek birimine gereksinim duyar.

### 2.5. İnsansız Hava Araçlarının Tarihçesi

İnsansız Hava Araçlarının tarihsel gelişimi 4 ana başlıkta toplanabilir. Bunlar;

- Uçan makineler
- Dronlar
- Uzaktan Kumanda Edilen Uçaklar
- İnsansız Hava Araçlarıdır.

Modern anlamda ilk İHA’lar, 1.Dünya Savaşı itibariyle ortaya çıkmış gibi görünse de “uçan makine” M.Ö. 4’üncü yüzyıllarda bir kavram olarak düşünülmüştür.

M.Ö. 400'lü yıllarda, matematikçi kimliğiyle tanındığımız Pisagor, bu zamana kadar bilgi sahibi olduğumuz ilk uçan makinenin de mucididir. Enerjisini kendi kendine sağlayabilen ve bir kuş gibi görünen icadın, 200 metre uçabildiği farklı kaynaklarca iddia edilmiştir. Aynı senelerde Çin'de dikey olarak uçuş yapma kabiliyetine sahip araçlar tasarlandığı söylenmektedir. Yine Çin coğrafyasında iki elle bükülüp bırakıldığında havada serbest uçuş yapan sopalar kullanıldığına kaynaklarda rastlanmıştır (Valavanis, 2007).

Bir sanatçı olan Leonardo Da Vinci'nin "Hava Jiroskopu" havada asılı kalabilen, günümüz helikopterlerin atası olarak görülen ve hava araçlarının mekaniğinde rol oynamış önemli icatlardandır. Yine Da Vinci'nin çift krank sistemiyle kanat çırpma yeteneğine sahip başka tasarımının olduğu da bilinmektedir (Valavanis, 2007).

M.Ö. 300'lü yılların sonlarında Tarentli Archytas Şekil 2.3'teki "Uçan Güvercin" adlı bir alet geliştirmiştir. Mekanik biliminin temellerini atan isimlerden biri olan Archytas, Uçan Güvercin'in iç kısmına yerleştirdiği su ve bu suyun buhar hareketleri sonucunda kanat çırpma bir mekanizma icat etmiştir. Bu buluştan 17 yüzyıl sonrasında bir mühendis tarafından tasarlanan Uçan Kuş, Archytas'ın fikrine dayanmaktadır (Valavanis, 2007).



Şekil 2.3. Tarentli Arcyatas'ın çizdiği uçan güvercin

Tüm bunların dışında yine uçan makine olarak adlandırabileceğimiz ilk insansız balonlar, Avusturyalılar tarafından 1849 yılında Venice saldırısında kullanılmıştır (Rasmussen, 2009).

Bugün tanımladığımız gibi İnsansız Hava Araçları kavramına en yakın hava aracını 19. yüzyılda New York'ta yaşayan Charles Perley geliştirmiştir. Kronometreli bomba gönderme mekanizmasına sahip bir balon olan bu hava aracı, birliklerin üzerine yollanarak belirlenmiş zamanın sonunda bombanın bırakılmasını sağlanmaktaydı. Günümüzde "Gezici Mühimmat" denilen İsrail menşeli Harpy ve ikamesi hava araçlarının ilk tasarımı

sayılabilecek bu sistemin şimdiki gezici mühimmatlardan farkı, otonom uçuş kabiliyeti ve düşman tespiti amacıyla kullanılan sensörlerinin olmamasıdır (Uyar [web], 2010).

William Eddy, aynı senelerde mekanizma yardımıyla fotoğraf çekilmesini mümkün kılan bir uçurtma icat etmiştir. Bu uçurtma sayesinde Amerikan-İspanyol savaşlarında çok fazla sayıda fotoğraf çekilerek büyük bir başarıya imza atılmıştır.

Gezici Mühimmat türünün ikincisi 1910'lu senelerde icat edilmiştir. General Motors'un geliştirip ürettiği Şekil 2.4'te görülen Kettering Aerial Torpedo, 136 kilo patlayıcı taşıyan, 270 kiloluk, tahtadan yapılmış, 40 beygir gücü motoru olan, çift kanatlı, pilotsuz ve demir raylardan fırlatılan bir hava aracıydı. Uçağın hedefe ulaşması için gerekli motor dönüm sayısı, rüzgârın yönü, hızı ve hedefin uzaklığı dikkate alınarak hesaplanıyor ve kurulumu yapılıyordu. Motor gereken sayıda dönüşü yapınca duruyor, kanatlar bırakılıyor ve yüklü olan patlayıcı, hedefin üstüne düşüyordu. Bu hava aracı Amerikan Kara Kuvvetleri'nin 1918 yapımı Kettering Bug'ı ve İngiliz Ordusu'nun 1914 yapımı Aerial Target'i ile aynı kapsamda değerlendirilmekte ve geçmiş zamanlarda kullandığımız anlamda İHA kavramı olan bomba yüklü hava aracının, belirlenen bir hedefe ulaştırılmaya çalışıldığı ilk örneklerdendir (Austin,2010).



Şekil 2.4. Kettering Aerial Torpedo

Radyo kontrollü ilk hava aracına 1917 yılında rastlanmaktadır. Amerika vatandaşı olan Peter Cooper ve Elmer A. Sperry'nin icat ettiği kararlı uçuş gerçekleştirebilen ABD Donanmasının sahip olduğu Curtiss N-9 eğitim uçağı, pilotsuz bir şekilde uçağa yüklenen 300 pound ağırlığındaki bombayı 80 km taşıyabilmekteydi. Fakat programlanmasının zaman alması ve üretimindeki zorluklar nedeniyle fazla rağbet görmedi (Uyar [web], 2010).

Sınırlı imkân ve kabiliyetlere sahip dronların ilk kullanımı ise 1.Dünya Savaşı zamanlarına kadar uzanmaktadır. Şekil 2.5'te görülen Kettering Bug isimli dron, C.Kettering tarafından 1918 yılında geliştirilmiş, Aerial Torpedo'ya benzer çalışan, 135 kg patlayıcı yük

taşıyabilen, çift kanatlı bir hava torpidosudur. Ayrıca deniz kuvvetlerinde kullanılmak üzere bir modeli de İngiltere tarafından 1934 yılında üretilmiştir. İnsanlı bir hava aracından atılan hava hedefleri ve bombalar şeklinde kullanılan bu araçların çok da başarılı olmadığı bilinmektedir (Clark, 2004).



Şekil 2.5. Kettering Bug

1930’lu senelerde İngilizler, hedefe gönderilen hava araçları yerine uzaktan kumanda edilen sistemler üzerinde çalışmalar yapmışlardır. 2. Dünya Savaşı’nın öncesinde ve sırasında İngiliz kara ve deniz güçlerinin havadaki hedeflerine atış yapan nişancıları Şekil 2.6’da görülen Queen Bee adlı hedef uçaklarıyla yetiştirilmiştir. Radyo kontrollü bu hava aracı TAI’nin ürettiği Turna modelinin de ilham kaynağıdır ve günümüzde “Sahte Hedef/Yem”, “Hedef Dronu”, olarak anılan hava araçlarının ilk örneğidir. Aynı zamanda Amerikan Ordusu da çok sayıda RP4 adı verilen daha küçük bir hedef uçağı geliştirerek savaş boyunca eğitimlerde kullanmıştır (Austin, 2010).

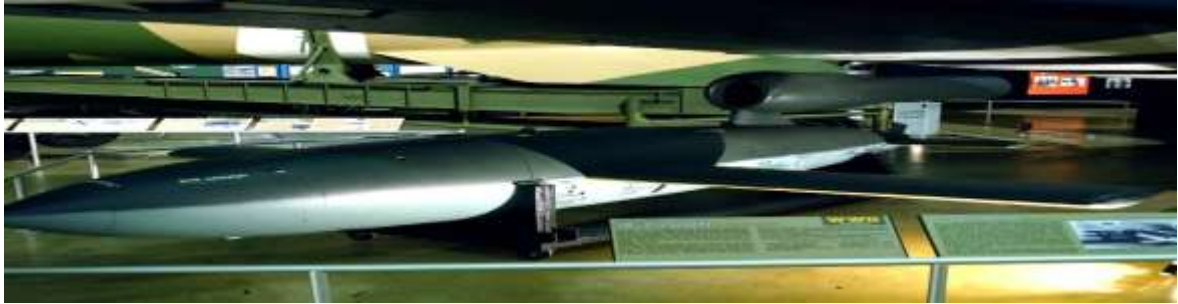


Şekil 2.6. Queen Bee

Bu tür hava araçlarının ortak özelliği, kalktığı noktaya tekrar geri dönememesi ve yeni harekâtlarda tekrar kullanılamamasıdır. Bu nedenlerden dolayı bu araçlar günümüzün İHA tanımıyla tam olarak örtüşmemektedir. Ancak bu hava araçları, üretilen düşük maliyetli insansız uçakların, savaşta düşman uçaksavarlarını oyalamak ve zayıfatı azaltmak amacıyla sahte hedef olarak kullanılması fikrinin öncüsü olmuştur. Bu düşüncenin tüm dünyada

yaygınlaşmasıyla beraber ABD’de Radioplane Company, kendi adını taşıyan “Radioplane” radyo kontrollü ve paraşütle inme yeteneğine sahip sahte hedef uçaklarını üretmiştir. Düşman uçaksavarlarını oyalamaktan ziyade, uçaksavar personelini eğitmek için kullanılan bu hava araçları, eğitim amacıyla kullanılan hedef uçağının da ilk örneklerindendir. (Uyar [web], 2010)

2. Dünya Savaşı sırasında Almanya’nın tüm Avrupa’yı işgal etme fikriyle beraber Alman teknolojisi öne çıkmıştır. Adolf Hitler’in hedeflere saldırılarda etkin bir şekilde kullanılacak “uçan bomba” üretilmesini istemesiyle beraber Fieseler Fi-103 yani bilinen ismiyle V-1’ler geliştirilmiştir. Şekil 2.7’de görülen V-1’ler, taşıdığı 900 kg’lık bombayı zamanlama mekanizmasını kullanarak bırakabiliyor ve pulsjet motorlarıyla 408 knot hıza çıkabiliyordu. V-1, İngiltere’nin bombardımanında yoğun olarak kullanılmış ve pek çok sivilin Londra’yı terk etmesine ve yaralanmasına yahut ölmesine sebep olmuştur. Bu açıdan, ilk insansız bombardıman uçağı olarak tarihteki yerini almıştır. Fakat V-1 tehdidi karşıt güçler için de önlemleri zorunlu kılmıştır. V-1’lerin askeri üstünlüğünden kaygılanan ABD Donanması, V-1’lerin kalktığı rampaların imha edilmesi için, PB47-1 ve B-17 ismiyle anılan Special Air Unit One (SAU-1) prototipini geliştirmiştir. Bir güdüm sistemine sahip olan ve uzaktan kontrol edilen hava aracı 11 tonluk patlayıcı taşıyabiliyordu. Bu hava araçları, karşı tedbir İHA’sı yani İHA’lara karşı kullanılan İHA olarak tarihteki yerini aldı (Uyar [web], 2010).



Şekil 2.7. V-1

1941 yılında Amerikan Deniz Kuvvetleri tarafından geliştirilen Project Fox ismi verilen yine uçan bomba olarak geliştirilmiş araç, burun kısmındaki kamera ve başka bir uçaktan kontrol edilmesi ile gelecek teknolojileri için önemli bir adım olmuştur (Austin, 2010).

2. Dünya Savaşında İHA’lar kara ve deniz hedeflerine saldırı için kullanılırken, 2. Dünya savaşı sonrası, hedef tespiti ve hava keşfi yapmak amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır. 1950’lerin ortasında ABD tarafından geliştirilen Şekil 2.8’deki Firebee serisi, prototipte

hedef uçak olarak tasarlansa da yıllar içinde modifiye edilerek; yüksek irtifada yer kontrol istasyonu ile düşük irtifada ise uzaktaki başka insanlı uçaklar yardımıyla kontrol edilebilme ve üzerlerindeki kamera yardımıyla düşman bölgesinde keşif yapabilme yeteneklerine sahip olmuştur. Bu hava araçları Tayland, Vietnam ve Japonya’da gece gündüz aralıksız 34.000 görev ifa etmiş, sadece keşif-gözlem için değil, karadan havaya füze tespiti, propaganda amaçlı ilan dağıtımı vb. görevleri de başarıyla yerine getirerek İHA’ların savaş zamanındaki önemini anlaşılmalarını sağlamıştır. Ayrıca yine ABD tarafından geliştirilen Hell Cat ismiyle bilinen uzaktan komuta edilen uçaklar geliştirilmiş ve bu hava araçlarına patlayıcı mühimmat yükleyerek Kore Savaşı’nda, düşmanın kritik askeri tesislerine yönelik saldırılarda önemli bir silah olarak kullanmıştır. Bu hava araçları başka bir hava aracı tarafından taşınarak operasyon bölgesine götürülüp havada bırakılabildiği gibi yerden de atılabiliyordu. Geri güvenli bölgeye döndüklerinde ise sahip oldukları paraşüt sistemiyle yere iniyor ve görev esnasında topladıkları bilgilere ulaşabiliyordu (Nonami vd., 2010; Austin, 2010).



Şekil 2.8. Firebee

Firebee’lerin görünmezlik hususunda başarı gösterememesi ve bir U-2 hava aracının 1960 senesinde Rusya’da düşürülmesinden sonra ABD tam görünmez ve yüksek süratli İHA geliştirme faaliyetlerine hız vermiş ve bunun sonucunda D-21’ler geliştirilmiştir. İlk yüksek irtifa İHA’sı olan D-21’ler, Soğuk Savaş zamanında Sovyetler Birliği’nin gözetlenmesi amacıyla, U-2 hava araçlarının ikamesi olarak düşünülmüştür. 8 Mach hızına çıkabilen D-21, M-12 hava aracının alt kapağından bırakılan, 80.000 ft. irtifada görev yapabilen ancak operasyonel manada başarı elde edememiş bir İHA olmuştur. Ancak bu uçağı geliştirirken edinilen tecrübe ve bilgi F-117 ve B-2’lerin temelini oluşturmuştur. Bu projeden sonra ilk başarılı “Yüksek İrtifa Uzun Uçuş Süreli” İHA olan Ryan SPA 147 geliştirilmiştir. ABD menşeli bu uçak 60.000 ft.’de 8 saat görev yapabilen ve fotoğraf alabilen bugünkü HALE sınıfı İHA’ların öncüsü olmuştur (Ehrhard, 2010).

1950’li yılların sonlarında Amerika, büyük bir tehdit olarak gördüğü Sovyet denizaltı gücüne karşı farklı çözüm yolları aramıştır. 1960’lı yıllarda 800 adet üretilen Şekil 2.9’daki DASH (Drone Anti-Submarine Helicopter) ilk insansız savaş helikopteri olarak Amerikan Deniz Kuvvetleri’nin ihtiyacını karşılamak adına tasarlanmıştır. DASH insansız helikopterleri, bir uçak veya yer kontrol istasyonunun yanı sıra gemi güvertesinden de kontrol edilebiliyordu. Taşıdığı torpido ve sualtı mühimmatlarıyla denizaltılara saldırı düzenleme, kargo taşıma, gözetleme, kurtarma ve hedef tarifi gibi görevleri başarıyla yerine getirmek için modifiye edilmiştir. Ancak program, çoğunun suya düşüp başarısızlığa uğraması sonucu iptal edilmiş ve geri kalanlar hedef uçağı olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.9 QH-50 DASH

İHA’ların tarihini, üzerinde bulunan faydalı yükler temel alınarak kazandığı kabiliyetler çerçevesinde bir dönüm noktası olan 1960 senesi öncesi ve sonrası olarak inceleyebiliriz. 2. Dünya Savaşı’nın bitmesiyle başlayan Soğuk Savaş zamanında tüm taraflar için öncelikli görev, istihbarat ve bilgi elde etmek olmuştur. Bunu sağlamak amacıyla üretilecek İHA’ların düşman tarafından tespit edilmemesi, istenen bilgiyi elde edip aktarabilecek hareket kabiliyeti ve iletişim mesafelerine sahip olması öne çıkmıştır.

Günümüzdeki tanımlara uyan İHA’lar ilk kez 1970’li senelerde İsrail tarafından geliştirilip kullanılmıştır. İsrail, bu yıllarda Arap dünyası ile girmiş olduğu soğuk ve sıcak savaş ortamında düzenli ve sürekli ve kesintisiz olarak keşif-gözetleme yapmak istemiş ve bu ihtiyacın giderilmesi maksadıyla yeni İHA geliştirme çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, yaptığı gözetleme sonunda elde ettiği istihbarat ve bilgileri yerdeki kontrol istasyonuna aktaran ve kontrol istasyonundan aldığı elektronik frekanslar yardımıyla uçuş ve gözlemine devam eden bir İHA imal etmişlerdir. Bu İHA’nın yerden kalkışını temin etmek maksadıyla sapan tipi fırlatma rampası kullanılmış ve rampa üstünden sağlam bir kauçuk ile ileri doğru fırlatılarak İHA uçuşuna başlatılmıştır. İHA’nın inişi ise güvenli bölgeye girdikten sonra yerde gerilen ağı takılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir.

İsrail 1970 yılında gizli anlaşma ile ABD'den Firebee almış ve bu araçları modifiye edip Firebee 1241'i geliştirmiştir. Yom Kippur savaşında çok önemli operasyonlarda görev alan Firebee 1241'ler hem gözlem ve keşif yapmak amacıyla hem de Mısır'a ait Hava Savunma Sistemlerini meşgul etmek maksadıyla “Sahte Uçak” olarak kullanılmıştır. Mısır'a ait hava savunma füzeleri bu hava araçlarını vurmak için harcanınca, savaştaki üstünlük İsrail tarafına geçmiştir. İsrail bu savaşlarda kazandığı tecrübeyi 1982'deki Suriye operasyonlarında da başarılı ve doğru bir biçimde kullanmıştır (Sanders, 2003; Mahadevan, 2010).

İHA'ların askeri amaçlara ulaşılması maksadıyla yararlanıldığı savaşlardan biri de Vietnam Savaşıdır. ABD yaklaşık olarak 1000 İHA'yı Çin ve Kuzey Vietnam birliklerinin ikmal yollarının haritasını çıkarmak için kullanmış ancak hava araçlarının çoğu Çin tarafından hava savunma sistemleri vasıtasıyla düşürülmüştür (Sanders, 2003).

İHA'lar askeri hedeflere ulaşmak maksadıyla ilk defa ABD tarafından Vietnam'da kullanılsa bile bu hava araçlarının ve kullanım taktiklerinin geliştirilmesinde, 1970'li ve 1980'li senelerde İsrail'in öncülüğü görülmektedir. (Gertler, 2012) Ayrıca İsrail Ordusu tarafından 1982'de Lübnan'daki operasyonlarda yürütülen görevlerden sahip olunan tecrübeler ile birlikte ABD'nin İHA'lara olan ilgisinin ve bu hava araçlarına ayırdığı bütçenin arttığı bilinmektedir. Lübnan ve Suriye'de yürüttüğü operasyonlar göz önüne alındığında; İsrail, İHA'ları savaşta sürekli keşif ve gözetleme yapmak için kullanan ilk devlettir. Bu operasyonlarda, İHA'ların muharebe hedeflerini başarmak adına etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir (Sanders, 2003).

İsrail'in operasyonlarda sahip olduğu diğer İHA türü de yine “hedef uçak” adıyla bilinen hava araçlarıdır. Sahte uçaklar gibi yine geri dönüşsüz hava araçlarından olan bu tür hava savunma sistemleri atış ve takip eğitiminde kullanılmak için üretilen uçaklardır. Bu hava araçlarının Vietnam sonrası ilk ciddi operasyonlarda kullanımlarından biri de 1982 senesinde İsrail tarafından Suriye'ye yönelik yürütülen harekâtlar sırasında olmuştur. İsrail 1982 senesinde Lübnan'da bulunan Suriye üslerine taarruza geçmeden, buradaki radar sistemlerini kendi lehlerine kullanmak amacıyla İHA'lardan faydalanmış ve elde edilen bu istihbaratlar sayesinde girdiği hava muharebesinde yalnızca 1 uçağını kaybedip 86 Suriye savaş uçağını imha etmiştir. Bu harekât esnasında İsrail İHA'ları sahte frekanslar yardımıyla radarları yanıltmış ve Suriye'nin sahip olduğu karadan havaya füze sistemi araçlarını aktive ederek SAM füzelerinin boşa ateşlenmesini sağlamıştır. Ayrıca bu operasyonlarda Suriye'ye

karşı yine İsrail menşeli Şekil 2.10'daki Scout adlı İHA kullanılmıştır. 1980'li yıllarda geliştirilen Scout, mini insansız hava araçlarının öncüsü konumundadır. Scout, fiber glas gövdesi ve 3,96 metrelik kanat açıklığı ile radar tarafından tespit edilmeyecek biçimde üretilmiştir. Üzerine takılan kamerasıyla ilk senkronize veri ve görüntü aktarımı yapan Scout, bu niteliği ile tarihe adını yazdırmıştır (CSS, 2012).



Şekil 2.10. Scout

Scout ile birlikte hafif İHA'ların büyük avantajlara sahip olduğunu tüm dünyaya gösteren İsrail vakit kaybetmeden Şekil 2.11'deki Pioneer'i geliştirmiş ve ABD ordusuna satış yapmıştır. Böylece ABD ilk taktik İHA'sına sahip olmuştur. Uçak gemisine iniş yapmayı başaran ilk İHA olan bu hava aracı Körfez Harekâtı, Bosna, Haiti ve Somali'de etkin olarak kullanılmıştır. Bu operasyonlar, ABD'nin İHA'ların sahip olduğu yüksek potansiyeli kendi tecrübeleriyle fark etmelerini sağlayan bir süreç olmuştur. Afganistan ve Irak operasyonlarıyla birlikte silahlı İHA'ların ön plana çıktığı bir dönem başlamış ve İHA teknolojisinin önemi daha da artmıştır. Pioneer'ler günümüzde Balkanlar'daki barış kuvveti ve İsrail tarafından da kullanılmaya halen devam etmektedir (Uyar [web], 2010).



Şekil 2.11. Pioneer

General Atomics şirketi, 1989 yılında GNAT serisini imal etmeye başlamıştır. GNAT'ların en üst düzey alıcısı Central Intelligence Agency (CIA) olmuştur. Uçuş testleri yapıldıktan hemen sonra Balkanlar'a yerleştirilen GNAT, Türkiye tarafından da satın alınıp

kullanılmıştır. Bu hava araçları aynı zamanda görülen Predotor'un temelini oluşturmuştur. GNAT'ların üstünde yapılan modifikasyonlar ile elde edilen Predator'lar, ilk aşamada keşif ve gözetleme amaçlı kullanılırken, Şekil 2.12'de görülen Reaper'ın geliştirilmesiyle birlikte ilk avcı/katil türü İHA olmuş ve Pakistan ile Afganistan'da yapılan harekâtlarda kullanılmıştır. Reaper İHA'ları yüksek faydalı yük kapasitesi ve nokta atışı yapan füze sistemleri ile önemli bir hava aracıdır.



Şekil 2.12. Reaper

1991 yılında ABD Körfez Savaşı'nda, Pioneer'dan farklı olarak Pointer ismi verilen bir İHA'da kullanılmıştır. Fakat Pointer kısa menzilinden dolayı çöl şartlarında kullanılırken problemler yaşamış ve etkili olamamıştır. Pioneer'lar ise ABD Deniz ve Kara birliklerine o zamana dek görülmemiş seviyede istihbarat desteği sağlamıştır. Yine aynı harekâtta bu hava araçları Suudi Arabistan'a gerçekleştirilecek Irak saldırısını tespit etmiş ve ABD birliklerinin tedbir almasına imkân sağlamıştır. Savaş sonrasında ABD'nin resmi evraklarında Pioneer'lerden "istihbaratın kahramanları" diye bahsedilmiştir. Ayrıca bu savaştan 8 yıl sonra Kosova'da Pioneer'lar daha kritik görevlerde kullanılmıştır. Bu harekâtta İHA'lar, düşmanlar tarafından vurulma riskini de alarak alçak irtifada uçurulmuş ve muharip uçaklar için hedef yeri tayini yapmıştır. Bu hava araçlarına lazer işaretleyicilerin monte edildiği yenilikçi uygulama, hafif füze sistemlerinin faydalı yük olarak takılarak Silahlı İnsansız Hava Araçlarının (SİHA) geliştirilmesi için önemli bir adımdır. 2000'li yıllarda ABD'nin Predator ve Reaper modellerini geliştirerek silahlı hava araçlarına dönüştürdüğü görülmektedir. Reaper'lerin 14 adet Hellfire füzesi ile güdümlü bombalar taşıyabilmesi, bu hava araçlarının imkân, kabiliyet düzeyi ve ateş gücünü görmek açısından önemlidir. İHA'ların kabiliyetlerinin artmasıyla beraber kuvvet koruma, mayın arama ve sağlık malzemesinin ikmali gibi görevler de İHA'ların rolü olarak tanımlanmıştır (Helmore, 2009).

Gelişimi açısından daha yeni sistemler olan, füze sistemine sahip SİHA'lar suikast silahı olarak ilk kez 2002 senesinde Yemen'de bir El-Kaide üyesini etkisiz hale getirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu tarz kullanımın ilkindeki bu SİHA saldırısında hedef kişi etkisiz hale getirilmiştir. 2004 senesinde CIA tarafından da ilk kez Pakistan'da kullanılan bu hava araçları, gelişmiş dünya ülkelerinin ilgisini çekmeye başlamış ve İngiltere tarafından 2007 senesinde Afganistan'da, İsrail tarafından da 2008 senesinde Gazze'de kullanılmaya başlamıştır. Ayrıca SİHA'ların ABD tarafından Libya ve Somali'de de kullanıldığı bilinmektedir. Düşmanların tespiti ve etkisiz hale getirilmesi Birinci Körfez Harekatı'nda 3 günü bulurken, bu yeni teknolojik gelişmelerle beraber, SİHA'ların etkisiyle Afganistan, Irak, Pakistan örneklerindeki gibi beş dakikaya indirilmiştir (Gertler, 2012)

İHA'ların tarihçesi dikkatlice incelendiğinde bu hava araçlarına geleceğin savaşlarında büyük bir önem yüklendiği ve bu yönde gelişmeler gerçekleştirildiği görülmektedir. 1990'lardan itibaren başlayan dönem, savunma sanayii ve harekâtlar için "İHA Çağı" olarak isimlendirilmektedir. Bu konuda uzman bazı kişiler İHA'ların modern muharebelerin değişimindeki rolünü, barutun bulunmasıyla eşdeğer görmektedir. Bu hava araçlarının, sahip olduğu avantajlarla geleceğin savaş alanlarında pilotlu hava araçları da dâhil olmak üzere kullanılan çoğu silah sisteminin ve askeri kabiliyetin yerini alacağı öngörülmektedir.

Gelecekte savunma sanayisi gelişmiş olan ülkelerin silahlı kuvvetlerinin envanterinde bulunduracağı sistemlerin çok büyük bir kısmının insansız sistemlerden oluşacağı düşünülmektedir. Bundan dolayı günümüzde çoğu gelişmiş ülke önümüzdeki 25 yılın İHA vizyonunu oluşturmaktadır. Aralarında son yıllarda Türkiye'nin de olduğu gelişmiş ülkelerde İHA Sistemlerinin üretimi ve geliştirmesine yönelik faaliyetler yoğun bir şekilde devam etmektedir.

## **2.6. İnsansız Hava Araçlarının Türkiye'deki Gelişimi**

Türkiye'de İHA sistemlerinin geliştirilmesi ve Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) kullanımına hazır edilmesi için yapılan çalışmalar 1980'li senelerin sonunda başlamıştır. Meggitt firması tarafından üretilen Banshee, 1989 yılında insansız hedef uçağı olarak kullanılması amacıyla TSK envanterine girmiş ve Türk Ordusu tarafından kullanılmaya başlanmıştır (Karaağaç, 2016).

İHA'ların kullanım konseptlerini belirlemek ve buna bağlı olarak sanayileşme modelini oluşturmak için 1980'li senelerde çalışmalarını başlatan Savunma Sanayi Başkanlığı (SSB),

1991 yılında yaptığı uluslararası ihalede İsraili AAI ve ABD’li General Atomics şirketlerince teklif edilen Falcon 600 ve GNAT-750, taktik İHA’ları için 6’şar adet sipariş vermiştir. Fakat Falcon 600 hava araçları kabul aşamalarını başarıyla tamamlayamadığı için AAI ile imzalanan sözleşme iptal edilmiştir. GNAT-750 hava aracı ise 1993 yılında yapılan testleri geçerek aynı yıl şirket ile kontrat imzalanmıştır. 6 uçaktan oluşan sistem 1994 senesinde TSK envanterine girmiştir.

GNAT-750 ile beraber Türkiye, İHA’ya sahip dünyadaki ilk birkaç ülkeden birisi olmuştur. Ancak Hava Kuvvetleri Komutanlığı envanterine insansız bir uçak dâhil etmek istemediği için satın alınan hava araçları uzun süre kullanılmamış ve sonunda Kara Kuvvetleri Komutanlığı envanterine girmiştir. Kara Kuvvetleri, insansız hava araçlarını kara havacılık değil de topçu sınıfının fonksiyonu olarak görüp Çorlu’da kullanıma soktuğundan dolayı idame, eğitim, lojistik gibi açılardan sıkıntılar yaşanmış ve bu hava araçlarından istenilen verim elde edilememiştir. GNAT-750 İHA’larından istenilen verim Mayıs 1997 tarihinde Çorlu’daki birliğin Batman’a intikalinden sonra iç güvenlik harekâtlarında etkin bir şekilde kullanılmasıyla alınmıştır. Olumlu sonuçlar üzerine, Mayıs 1998’de 2 adet Gelişmiş GNAT (I-GNAT) İHA ile 1 adet Yer Kontrol İstasyonu (YKİ) daha alınmıştır. Böylece Türkiye, MALE sınıfında gelişmiş İHA’ları kullanmaya başlayan ABD’den sonraki ikinci NATO üyesi ülke konumuna gelmiştir. Ancak GNAT ve I-GNAT’lar çeşitli nedenlerle 2008 yılında operasyonel kullanımdan kaldırılmış ve TSK envanterinden çıkarılmıştır.

Milli İHA geliştirilmesi ilk kez 1990’lı senelerin başında Türk Havacılık ve Uzay Sanayi Anonim Şirketi (TUSAŞ) tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.13’teki İHA-X1 Şahit adı verilen hava aracının ilk prototipi 1992 senesinde bitirilmiş ve 2 adet üretilmiştir. Aracın testleri Denizli, Afyon ve Sivrihisar’da yapılmış fakat seri üretimi gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 2.13. İHA-X1 Şahit

1993 senesinde Almanya tarafından verilen Canadair şirketinin üretimi olan 5 adet CL-89 İHA'sı 1994 senesinde uçuşlara başlamıştır. Ancak kazakırımlar ve lojistik sıkıntılardan dolayı sistem envanterden çıkarılmıştır.

2001 senesinde TSK envanterine dâhil olan TUSAŞ'ın ürettiği Turna, ilk yerli üretim hedef uçağıdır. İstihbarat, gözetleme ve keşif gibi görevlerdeki büyük başarısı ve bunun terörle mücadeledeki etkisi sebebiyle 2004 yılından itibaren İHA sistemleriyle ilgili yeni arayışlara girilmiştir. Bu tarihlerde bir yandan TUSAŞ projeleri geliştirilirken diğer yandan kısa sürede İHA ihtiyacını karşılamak için temin projeleri başlatılmıştır. Teminde öncelikli İHA'lar IAI'ye ait Heron ile General Atomics'e ait Predator olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda bu şirketlerden alınan teklifler kısa sürede incelenerek, 2005 yılında TUSAŞ üzerinden 10 tane Heron sipariş edilmiştir. Yapılan anlaşmada siparişi verilen 10 adet İHA'nın en önemli donanımı olan elektro-optik sistemlerin ASELSAN tarafından geliştirmesi kararlaştırılmıştır. Böylece milli savunma sanayinin güçlendirilip geliştirilmesi ve anlaşma bedelinin 3'te 1'ini Türkiye'ye geri dönmesi hedeflenmiştir. Aynı zamanda elde edilen istihbarat bilgilerinin İsrail tarafından da kullanılabileceği gibi endişelerin de önüne geçilmesi düşünülmüştür (Karaağaç, 2016).

Yine 2004 senesinde SSB, özgün İHA geliştirilmesini öncelikli sanayileşme alanlarından birisi olarak belirlemiş ve TSK'nın MALE sınıfı İHA ihtiyacını milli bir ürün üzerinden karşılamak amacıyla Türk İnsansız Hava Aracı [TİHA] Geliştirme Programı TUSAŞ üzerinden başlatılmıştır. Daha sonra ANKA adını alacak projede ilk uçuşun 3 yıl içinde gerçekleştirilmesi ve projenin en fazla 4,5 yıl içinde tamamlanması öngörülmüştür. Fakat proje zamanında tamamlanamamış ve geliştirme çalışmaları günümüze kadar sürmüştür.

2006 senesi itibariyle Türkiye, farklı firmalarca geliştirilen birçok yerli mini İHA modeline sahip duruma gelmiştir. Bu bağlamda Türkiye'deki İHA üretici firmaları ve üretilen mini İHA modelleri şunlardır;

- Kalekalıp / Baykar- Bayraktar ve Malazgirt
- Vestel Savunma- Efe ve Arı
- ODTÜ – Güventürk
- Global Teknik – Globiha

Kara kuvvetlerinin mini İHA ihtiyacını karşılamak adına açılan ihalenin sonucunda Bayraktar Mini İHA'dan 76 adet sipariş verilmiş ve bunların teslimatı Ağustos 2008'de

tamamlanmıştır. Sonradan yapılan siparişler ile birlikte 2010 yılında Özel Kuvvetler Komutanlığı, Kara Kuvvetleri Komutanlığı ve Jandarma Genel Komutanlığı'nın envanterindeki milli üretim olan mini İHA sayısı 164 adede ulaşmıştır.

Savunma sanayiinde faaliyet gösteren Vestel Savunma A.Ş. 2005 senesinde SSB'nin başlattığı Mini İHA Projesiyle birlikte İHA sistemlerine yaptığı yatırımlarını artırmış ve Efe mini İHA'larını modifiye ederek yeni modellerini geliştirmiştir. Geliştirilen bu İHA'lar 1,6 metre gövde uzunluğu, 2,6 metre kanat açıklığı ile 4,1 kg ağırlığı olan ve elden atılabilen sistemlerdir. 12.000 feet irtifada 1,5 saat aralıksız görev yapabilmektedir.

2006 senesinde Baykar Makina firmasınca Malazgirt ismi verilen döner kanat mini İHA'sının geliştirilmesi için çalışmalar başlatılmıştır. 2008 yılında SSB ile yapılan sözleşme çerçevesinde imal edilen İHA'lar 2009 yılında TSK envanterine girmiştir.

Yine Kalekalıp-Baykar Makina Ortak Girişimi tarafından taktik İHA sınıfı Bayraktar TB2'nin prototip geliştirme faaliyetleri 2007 senesinde başlatılmıştır. Geliştirilen prototip İHA'nın ilk test uçuşu 8 Haziran 2009 tarihinde yapılmıştır. Bu testlerden başarıyla geçmesi sonucunda 2010 senesinde seri üretime karar verilmiş ve Kara Kuvvetleri için 12 adet İHA'nın teslimine yönelik anlaşma 2011 yılında yapılmıştır. İHA'lar 2015 yılında envantere girerek operasyonlarda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde de farklı modelleri geliştirilmeye devam eden TB2 İHA'ları, iç güvenlik hareketindeki ve Karabağ Zaferi'ndeki başarılarda önemli bir pay sahibidir.

Vestel Savunma A.Ş. şirketi tarafından taktik İHA sınıfı Karayel'in prototip üretme çalışmaları 2007 senesinde başlatılmıştır. Prototip İHA'nın ilk test uçuşu 2009 senesinde gerçekleştirilmiş ve seri üretime geçme kararı verilmiştir. Kara Kuvvetlerinin ihtiyacını karşılamak için paraşütle inme ve katapultla atılma yeteneklerine sahip 6 adet İHA'nın teslimi amacıyla 2010 yılında sözleşme yapılmış ve proje kapsamında üretilen İHA'lar 2015 yılında TSK envanterine girerek hareketlarda kullanılmaya başlanmıştır. (Karaağaç, 2016)

TUSAŞ tarafından geliştirilen ve ilk taktik İHA'lardan biri olan Gözcü ilk uçuşunu 2007 senesinde yapıp ardından test uçuşlarını gerçekleştirmiştir. Baykar ürünü olan bir diğer taktik İHA Çaldıran ise 2009 senesinde ilk uçuşunu yapmıştır. Yapılan ihaleler sonucunda SSB tarafından 2 adet Çaldıran İHA Sistemi siparişi yapılmıştır.

Ayrıca acil İHA ihtiyacını karşılayabilmek için 2007-2010 seneleri arasında, IAI şirketinden Searcher ile Heron ve Aeronautics şirketinden ise Dominator geçici süre ile kiralanarak görevlerde kullanılmıştır. Daha sonra Aeronautics şirketinden alınan 3 adet Aerostar 2008 senesinde Kara Kuvvetleri'nin envanterine girerek kullanılmaya başlanmıştır. 2008 ile 2009 yıllarında da envanterdeki İHA yelpazesini geliştirmek için ABD'den Predator ve Reaper temini için talepte bulunulmuş ancak konuyla alakalı sonuç alınamamıştır.

Son 25 yıldır tüm gelişmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de insansız hava araçları ön plana çıkmış ve hem üretimlerine hem de kullanımlarına yönelik çalışmalar artmıştır. Bu çalışmalar kapsamında Türkiye de gelişen teknolojiler ışığında kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerini içeren "Türkiye İHA Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)"'nı hazırlamıştır. Bu doküman ile Türkiye'nin modern zamanların güç faktörü olan teknolojisi İHA'lar kapsamında; ağ destekli kabiliyet, ihtiyaç analizleri, müştereklik birlikte çalışılabilirlik gibi ihtiyaçları göz önüne alınarak savunma sanayinin önümüzdeki 20 yılına yön verecek rehber, strateji ve yol haritası sunulmuştur.

## **2.7. İnsansız Hava Araçları Avantaj ve Dezavantajları**

İHA'ların son yıllarda bu kadar öne çıkmasının en büyük nedeni riskli görülen askeri operasyonlarda insanların hayatının tehlikeye atılmasının önlenmesidir. Bu tür avantajlarından dolayı İHA teknolojisi her geçen gün gelişmekte ve İHA'lar yeni imkân ve kabiliyetler kazanmaktadır. Muhabere kabiliyetlerindeki iyileştirmelerle birlikte İHA'ların uydular ile hassas konumlama ve zamanlama yetenekleri gelişmiş planlı uçuş rotasında kullanıcıya bağlı kalmadan otonom görev yapmaları sağlanmıştır. İHA'lar bu sayede diğer sistemlere göre daha kaliteli görüntü toplama, depolama ve gerçek zamanlı aktarım yapabilme imkânı sunmuştur. Tüm bu imkân ve kabiliyetler göz önüne alındığında İHA'ların insanlı sistemlere göre birçok avantajı vardır. Bu avantajların en önemlileri şu şekilde sunulabilir (Deal, 2005):

- Gerçek zamanlı veri aktarımı sağlaması
- Bakım ve işletme masraflarının düşük olması
- Düşük radar izi ve buna bağlı olarak tespit edilebilirlik oranlarının düşük olması
- Mikro, mini ve bazı küçük İHA'ların kalkış için piste ihtiyaç duymaması
- Yüksek hareket ve manevra kabiliyetlerine sahip olması
- Pilot kaybı riskinin olmaması

- Verimliliklerinin yüksek olması
- İnsanlı araçlara nazaran riski azaltıp, görev başarısı ve görev emniyetini artırması görev başarısız olduğunda dahi insan hayatı kaybını önlemesi
- Çok daha yüksek görev esnekliği sağlaması
- Ağır görevlerde daha iyi ve atikliklerini koruyabilir olması
- Biyolojik ve kimyasal savaşlarda kullanımındaki etkinliği ve bu tip mühimmatlarla kirlenmiş bölgelerde etkilenmeden görev yapabilmesi
- Hız ve irtifadan kaynaklı, ısı, basınç ve g kuvveti gibi olumsuz parametrelerden etkilenmemesi
- Pilotların yorgunluğu ve fiziksel kısıtlamaları nedeniyle ortaya çıkan sınırlı uçuş saati problemlerine sahip olmaması
- Bir yer operatörünün birçok aracı kontrol edebilmesinden dolayı maliyet ve yetişmiş operatör ihtiyacının daha az olması
- Cephe hattının gerisinde, düşman bölgesinin derinliklerinde görev yapabilmesi
- Haberleşme linkleri sayesinde kara, hava ve denizden komuta ve kontrole uygun olması
- Elektro-optik sistemler sayesinde gece ve gündüz görev yapabilmesi
- Sürü halinde kullanımı sonucunda çok daha büyük alanları gözetlemesi
- Havada dinamik yeniden görevlendirme imkânı sunması.

İHA'lar yukarıda sayılan tüm bu avantajları sayesinde kullanımları ile gerçek zamanlı gözetleme, keşif ve istihbarat bilgileri sağlayarak birliklerin savaş temposunu hızlandırmış, alan hakimiyetini daha kolay kazanır hale getirmiş ve hem taktik hem de stratejik seviyedeki karar verici kişiler için süratli ve kaliteli bilgi sağlayarak karar verme döngüsünü kısaltmışlardır. Tüm bu imkân ve kabiliyetler, İHA'lara sahip olmayan veya operasyonlarda bu teknolojileri etkisiz hale getirilen kuvvetler için risk haline gelmiştir.

Her yeni teknoloji gibi İHA'ların da henüz tam olarak gelişmediği alanlar vardır. Bu alanlar İHA'ların dezavantajlarını ortaya çıkarmaktadır. Bu dezavantajlar şu şekilde özetlenebilir:

- Yer kontrol ünitesi ile İHA'lar arasındaki veri akışı ve iletişimin dışardan müdahalelere ve sızmalara açık olması
- Hava aracıyla operatör arasındaki mesafenin gecikmeye ve zaman farkına sebep olması
- Kontrol linklerine bağlı olması ve irtibatın kaybedilmesi durumunda hava aracı ile iletişimin de kaybolması

- Operatörün ortamsal duyarlılığının uçak içindeki pilota göre daha düşük olması
- Meteorolojik şartlardan olumsuz etkilenmesi
- Ağ merkezli bir iletişim ağı, muhabere yönetim sistemi ve komuta kontrole bağımlı olması
- Kaza kırım oranlarının yüksek olması
- Siber savaşlara karşı daha dayanıksız olması
- Geniş bant haberleşme ağına ihtiyaç duyması.
- Meskûn mahallerde kullanımının kırsala ve açık alanlara göre sınırlı olması

Tüm bu dezavantajlarına sahip olmasına rağmen İHA'ların insanlı rakiplerine göre çok daha fazla avantaja sahip olduğu açıkça görölmektedir. Her geçen gün gelişen modern İHA teknolojileri sayesinde bu dezavantajlarında giderileceği ve yeni avantajlarının ortaya çıkacağı öngörülmektedir.

### 3. LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışmada literatür incelemesi iki ana grupta toplanmıştır. Birinci grupta askeri teknolojilerin seçimi ve askeri tesis yeri seçimi ile ilgili yapılan ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar incelenmiş, ikinci grupta ise İHA'larla ilgili yapılan seçim ve konuşlandırma problemleri taranmıştır.

Literatür incelendiğinde askeri teknolojilerin seçimi için ÇKKV yöntemlerinin sıkça kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar başlangıçta klasik ÇKKV yöntemlerinin kullanılmasıyla başlamış ilerleyen yıllarda ise literatüre yeni yöntemlerin kazandırılmasıyla yelpazesi genişlemiştir.

Cheng 1997 yılında yaptığı çalışmada donanmada kullanılan taktik füze sistemlerini Bulanık AHP yöntemi kullanarak değerlendirmiştir. Buna göre 3 alternatif füze sisteminin 5 kriter dikkate alınarak karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda karar vericilere en iyi alternatif füze sistemine dair seçim yapmaları sağlanmıştır (Cheng, 1997).

Cheng vd. 1999 yılında taarruz helikopteri seçim problemi için çalışmışlardır. Bu çalışmada 5 ana kriter dilsel değişkenlere bağlı olarak belirlenmiş ve alternatif 3 helikopter bu değişkenler ile subjektif olarak değerlendirilmiştir. En iyi alternatifin seçimi için AHP yöntemi kullanılmıştır (Cheng vd., 1999).

Wang ve Chang tarafından 2007 yılında Tayvan Hava Kuvvetlerine ait ilk eğitim uçağının seçim problemi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Tayvan Hava Kuvvetleri Akademisi'nden 15 uzman ilk eğitim uçağının seçimi için 16 kriter belirlemiştir. Daha sonra bu kriterleri kullanarak öznel yargılar ve parametreleştirilmiş dilsel terimlere cevap veren Bulanık TOPSİS yöntemi ile 7 adet alternatif uçak arasından en iyi performans skoruna sahip uçak tespit edilmiştir (Wang ve Chang, 2007).

Köse vd. tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada keskin nişancı personeli seçimi için gri teori bazlı bir çözüm gerçekleştirilmiştir. Keskin nişancı olma kriterlerini 10 tane olarak belirleyip 6 alternatif arasından bulanık çözüm gerçekleştirmişlerdir (Köse vd., 2013).

Genç tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, askeri bir tank seçimi için PROMETHEE II ve ELECTRE III yöntemleri kullanılmıştır. Askeri tank seçimini etkileyen 7 kriter

belirlenmiş ve 6 alternatif bu kriterler temelinde değerlendirilmiştir. Daha sonra ise iki yöntemden bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır (Genç, 2015).

Uçakçioğlu ve Eren tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada Hava Savunma Sanayisinde faaliyet gösteren bir firmada yatırım projesi seçim problemini çözmek için AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada bütçe, süre, bağımlılık durumu personel sayısı ve ekonomik katkı olarak tespit edilen 5 ana kriter baz alınarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra 8 alternatif, belirlenen bu kriter ağırlıklarının alternatiflerin değerlendirilmesine yansıtılması sağlanarak sıralanmıştır (Uçakçioğlu, 2017).

Sennaroğlu vd. tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada askeri havaalanı yer seçimi için PROMETHEE ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Askeri havaalanı seçimini etkileyen 9 ana 33 alt kriter belirlenmiş ve bunların ağırlıkları AHP yöntemiyle elde edilmiştir. 4 alternatiften en iyi yer belirlenmiş ve bulunan sonuçlar COPRAS, MAIRCA ve MABAC yöntemlerinden bulunan sonuçlar ile kıyaslanmıştır (Sennaroğlu, 2018).

Jafarzadeh vd. tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada, Erdebil'deki askeri birliğin konuşlanması için garnizon yer seçimi yapılmıştır. Bu problemin çözümünde Coğrafi Bilgi Sistem (CBS) ve ÇKKV yöntemleri bir arada kullanılmıştır (Jafarzadeh vd., 2018).

Çarman vd. tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada ulusal güvenlik projesi kapsamında ülke genelindeki kentsel alanların izlenmesi için gözetleme sistemlerinin konumlandırılması problemi üzerine çalışmışlardır. Belirlenen talep noktalarının kritiklik derecelerini belirlemek için AHP metodunu kullanmışlar ve burdan bulunan ağırlıkları matematiksel modelde kullanarak çözüme ulaşmışlardır (Çarman vd., 2019).

Silva vd. tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada Brezilya'da seçilen pilot bir bölgede eyalet askeri polis karakolu yer seçimi için FITradeoff adlı ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. 4 kriter bazında 26 alternatif yer kıyaslanarak en uygun yer seçimi yapılmıştır (Silva vd., 2019).

Lozana ve Rodriguez tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada ileri askeri eğitim uçağı seçimine ilişkin bir karar problemi çözümü yapılmıştır. Çalışmada askeri eğitim uçağı seçiminde dikkat edilmesi gereken unsurlar olarak 13 kriter belirlenmiş ve kriterlerin önem dereceleri AHP yöntemiyle hesaplanmıştır. Daha sonra bu önem derecelerinin RIM ve FRIM

yöntemlerinde ağırlık olarak kullanılmasıyla 4 tip alternatif uçak arasından en iyi alternatif belirlenmiştir (Lozana ve Rodriguez, 2020).

Askeri teknoloji seçimi ve askeri tesis yeri seçiminde olduğu gibi İHA'lar ile ilgili de literatürde çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde en fazla çalışılan konunun rotalama problemleri olduğu görülmüştür. İHA'lar için yer seçimi problemleri ve çok kriterli seçim problemleri de yine araştırma yapılan konulardır. Bazı araştırmalarda ise bu problemlerin birleştirilerek çalışıldığı görülmüştür. Bu bölümde insansız hava araçları üzerinde çalışılan yer seçimi ve çok kriterli karar verme problemleri aşağıda sunulmuştur. İHA'ların rotalanması ile ilgili yapılan araştırmalara çalışma kapsamına girmediği için yer verilmemiştir.

2007 yılında M.Kress vd. tarafından yapılan “Aerial Search Optimization Model (ASOM) for UAVs in Special Operations” adlı çalışmada kısa menzili olan İHA'ların yer kontrol istasyonlarının kuruluş yeri seçimi ve uçuş rotalarının optimizasyonu problemi iki aşamalı olarak modellemiştir. Hava şartlarının çözüme etki etmeyeceği varsayılmış ve modele ilave edilmemiştir. İHA menzili, muharebe kabiliyetleri ve arazi yapısı kısıt olarak kullanılmıştır (Kress vd., 2007).

2008 yılında Özge tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında iç güvenlikte kullanılmak üzere İHA seçimi yapılmıştır. Seçimi gerçekleştirmek amacıyla ÇKKV yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılmıştır. Seçimde dikkate alınması gereken 6 ana kriter 25 alt kriter belirlenmiş ve her birinin ağırlığı ikili kıyaslamalar yapılarak bulunmuştur. Bulunan ağırlıklar yardımıyla 5 alternatif değerlendirilmiş ve en iyi İHA, iç güvenlik harekâtında kullanılmak üzere seçilmiştir (Özge, 2008).

2009 yılında Akkuş tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında İHA'larla kara sınırı güvenliğinin sağlanabilmesi için ana dağıtım üssü seçimi ve rotalama problemi ele alınmıştır. Çalışmada ana üslerin ve talep noktalarının ağırlıkları ELECTRE yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemlerden elde edilen ağırlıklarında kullanıldığı bir matematiksel model yardımıyla ana dağıtım üsleri İHA menzili gibi kısıtlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Son aşamada ise her üs için uygun rotaların belirlenmesi maksadıyla bir matematiksel model daha kurulup farklı senaryolar üzerinde denemesi yapılmıştır. Bulunan rotalama sonucu ağırlığı fazla olan talep noktalarının gözetleme sıklığı arttırılmıştır (Akkuş, 2009).

2011 yılında Ayöperken vd. tarafından yapılan çalışmada ağırlık verilmiş hedeflerin, farklı kabiliyet ve tipteki İHA'larla gözetlenmesi amacıyla geliştirilen problem maksimum kaplama modeli yardımıyla çözülmüştür. Kullanılan İHA'lar farklı özellikler göstermekte ve menzil yeteneği ile maliyetleri farklıdır. Yaptıkları çalışmada, tesis yer seçimi problemi ve kapsama problemlerini birlikte inceleyerek İHA'lar için çok stratejik bir karar olan üs konumlandırma sorununa, kurdukları 0-1 tam sayılı programlama modeli ile çözüm geliştirmişlerdir. Coğrafya, lojistik, hava durumu ve maliyet her aday üs, maliyet ve menzil her İHA tipi için kısıt şeklinde modele eklenmiştir (Ayöperken, 2011).

2011 yılında Kuo-Ping Lin vd. tarafından yapılan çalışmada askeri ihtiyaçları karşılayan insansız hava aracını seçebilmek amacıyla bulanık ağırlıklandırılmış ortalama ile bilgisayar tabanlı bir arayüz geliştirilmiştir. Klasik yöntemlere nazaran geliştirilen ve önerilen bilgisayar destekli yöntem ile karar vericinin karar aşamasında kolaylıkla en ideal ve efektif kararı verebilmesi için kolaylıklar sağlanmıştır (Kuo-Ping Lin vd., 2011).

2014 yılında F.Guerriero vd. tarafından yapılan çalışmada ÇKKV yöntemiyle sivil amaçlar için insansız hava aracı konumlandırma ve rotalama problemi ele alınmıştır. Söz konusu problem için matematiksel bir algoritma geliştirilmiş ve bu yöntem ile çok kriterli bir optimizasyon elde edilmiştir (Guerriero, 2014).

2016 yılında Yakıcı tarafından yapılan çalışmada küçük İHA'ların taktiksel olarak konumlandırılması problemi ele alınmıştır. Her bir hedef noktası geçmiş verilerden hareketle ağırlılandırılmıştır. Çalışmanın amacı, İHA'ların uçuş rotalarına göre ziyaret ettikleri hedef noktalarından topladıkları puanı en büyükleyecek şekilde İHA'ların konumlandırılacakları yerin belirlenmesidir. Kurulan modelin çözümü için Karınca Kolonisi Algoritması temelli bir metasezgisel geliştirilmiştir. Geliştirilen metasezgisel çoğu örnekte en iyi çözümü veya bilinen en iyi çözümü bulmuştur (Yakıcı, 2016).

2016 yılında Kurban vd. tarafından yapılan çalışmada farklı kaplama alanlarına sahip İHA'lar için üs konumu seçim problemi ilk başta hava şartları göz ardı edilerek maksimum kaplama modeli yardımıyla daha sonra ise hava şartları da probleme ilave edilerek maksimum beklenen kaplama modeli yardımıyla on yedi farklı senaryo için çözülmüştür. 2 ülkenin sınır hattı boyunca 52 kritik nokta belirlenmiş ve bu noktaların gözetlenmesi için uygun üs yeri seçimi yapılmıştır. Çalışmanın en sonunda ise duyarlılık analizi yapılarak,

parametrenin değişimlerine göre çözümün nasıl etkilendiği incelenmiştir (Kurban vd., 2016).

2016 yılında Ulucan tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında askeri ve sivil görevlerde kullanılması için İHA seçimi yapılmıştır. Alternatifler belirlenirken mevcut sistemlerin simülasyonu yapılmış ve sezgisel olarak 4 İHA alternatifi oluşturulmuştur. Kriterler belirlenirken ise uzman görüşlerinden faydalanılmış ve Delphi metodu kullanılmıştır. Bunun sonucunda seçimi etkileyen 10 kriter belirlenmiştir. Ortamdaki belirsizliği de probleme katarak daha iyi bir çözüm elde etmek amaçlanmış ve bu maksatla ÇKKV yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz ile sıralama yapılmıştır (Ulucan, 2016).

2017 yılında Caillouet vd. tarafından yapılan çalışmada havadan yere sürekli iletişim halinde olan İHA'lar için baz istasyonlarının kurulum yeri seçimi yapılmıştır. Amaç, her hedef noktasının en az bir İHA tarafından kapsanmasıdır. Modelde kısıt olarak her hedefe dağıtım maliyetleri ve İHA'ların iyi iletişim sağlayabilmeleri için sahip oldukları irtifalar kullanılmıştır. Kurulan model farklı senaryolar üzerinde çalıştırılmış ve doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Caillouet vd., 2017).

2017 yılında Şengül vd. tarafından yapılan çalışmada güvenlikten sorumlu olan bir kurumun, olayların sıklıkla yaşandığı bölgelerdeki emniyet, gözetleme vb. görevlerini yerine getirebilmesi amacıyla İHA'ların konuşlandırılacağı bir ana üs ve gerekli sayıda ileri uç haberleşme istasyonunun nereye konumlandırılacağı problemi üzerine çalışılmıştır. Aday üsler belirlenirken Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılmış ve aday yerlerin görüş analizleri yapılmıştır. İstasyonların kurulacağı en uygun yerleri belirlemek için öncelikli ve ağırlıklı hedef programlama kullanılmıştır (Şengül vd., 2017).

2019 yılında İpek tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında uçuş dinamiği kısıtları da göz önüne alınarak İHA'lar için baz istasyonlarının konumlandırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında farklı senaryolar tanımlanarak operasyon süresini en iyileyen bir yer seçimi çalışması yapılmıştır. Bu seçim yapılırken İHA aerodinamiği de hesaba katılarak bulunan sonucun doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir (İpek, 2019).

Taban 2019 yılında yaptığı yüksek lisans tezinde deniz güvenliğini sağlamak maksadıyla İHA yer seçimi problemi üzerine çalışmış ve Bulanık TOPSIS ve Dematel yöntemlerini kullanarak 15 alternatifi 10 farklı kriter ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak en iyi alternatiften

en kötüye doğru bir sıralama yaparak karar vericilere bölge bazlı dikkate almaları gereken yerleri belirlemiştir (Taban, 2019).

2019 yılında Cui vd. tarafından yapılan çalışmada istihbarat toplamak, keşif ve gözetleme yapmak amacıyla sınır devriyesi atan İHA'lar için baz istasyonlarının yer seçimi ve hedef rotalaması yapılmıştır. Problem tam sayılı programlama ile modellenmiştir. Baz istasyonunun kapasitesi ve İHA'nın dayanıklılığı modele kısıt olarak dâhil edilmiştir. Modelin çözümü için yerel arama stratejileriyle bütünleştirilmiş 2 ayrı sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen sezgisel algoritmalar farklı senaryolar üzerinde uygulanmış ve performansları karşılaştırılmıştır (Cui vd., 2019).

2020 yılında Macias vd. tarafından yapılan çalışmada insani yardım operasyonlarında İHA'ların kullanımı için en uygun konumlandırma yeri seçimi yapılmıştır. Çalışılan problemde en büyük zorluğun İHA menzili ve İHA'ların insani yardım tedarik zincirine entegrasyonu olduğu belirtilmiştir. Bu sorunları çözmek için birden fazla uçuş aşamasını dikkate alan yörünge optimizasyon algoritması ve daha iyi bir pil yönetimi sağlayan rota yönlendirme algoritması geliştirerek iki aşamalı bir planlama yaklaşımı sunulmuştur. Geliştirilen yaklaşım gerçek vaka üzerinde denenmiş ve görev süresi ile batarya stok gereksinimini düşürerek başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Macias vd., 2020).

2020 yılında Hamurcu vd. tarafından yapılan çalışmada savunma amacıyla İHA seçimi yapılmıştır. Çalışmada AHP-TOPSIS ÇKKV yöntemleri entegre olarak kullanılmıştır. Seçimi etkileyecek 7 kriter belirlenmiştir ve AHP yöntemindeki ikili kıyaslamalar ile bu kriterler ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra elde edilen ağırlıklar TOPSIS yönteminde kullanılarak 6 İHA değerlendirilip en iyi alternatif seçilmiştir (Hamurcu, 2020).

Sonuç olarak, yazında farklı alanlardaki askeri teknolojiler ile İHA'larla ilgili çalışmalar incelenmiş ve İHA'ların seçimi için çok sayıda farklı ÇKKV yöntemlerinin karma bir biçimde bütüncül bir bakış açısıyla kullanılarak karşılaştırıldığı, aday üs yerlerinin seçiminde CBS ve ÇKKV yöntemlerinin entegre şekilde kullanıldığı ve ilk iki aşamadan elde edilen sonuçlar ile farklı senaryolar üzerinde matematiksel modellerin kullanılıp optimal sonuçlara ulaşarak bir ülkenin tüm sınırlarının tamamiyle korunduğu herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

## 4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

### 4.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Hakkında Genel Bilgi

Modern zamanların karmaşık ve zor koşulları, karşımıza çıkan sorunlara kolay ve hızlı çözüm arayan yeni çözüm yöntemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Gerçek dünyada karşılaştığımız karar problemleri; fazla sayıda kriterin ve/veya amacın aynı anda değerlendirilmek zorunda olması, amaçların birbirleriyle çelişmeleri, bu amaçlara ulaşma derecelerinin belirlenmesindeki güçlükler, karar problemlerinin sahip olduğu belirsizlik ortamları, karar döngülerine fazla sayıda karar vericinin dâhil olması, alınacak olan kararın neden olduğu sonuçların birden fazla kişiyi etkilemesi ve büyük önem taşıyor olması vb. sebeplerden dolayı karmaşık yapıdadırlar.

Yaşamın her alanında verilen kararlar insanların geleceklerini ve yaşantılarını etkilemektedir. Her verilen karar vazgeçilen en az bir seçeneğe sebep olmaktadır. Belirlenen alternatifler değerlendirildiğinde doğru verilen kararlar kişilere fayda sağlarken yanlış verilen kararlar kişilere farklı biçimlerde bedel ödetmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı karar verme analizi farklı koşullara bağlı bir şekilde seçeneklerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Lin vd., 2008).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), bir veya birden fazla karar vericinin sayılabilen veya sayılamayan sonsuz seçenek içinden en az 2 kriter kullanarak gerçekleştirdiği bir seçim işlemidir. Diğer bir deyişle, iki ya da daha fazla faktöre dayalı değerlendirme yapılarak alternatifler arasından birinin seçilmesidir. ÇKKV yöntemleri en iyi seçeneği veya en iyi seçenekler alt kümesini belirlemek, seçenekleri en iyiden en kötüye sıralamak veya seçenekler kümesini bazı normlara bağlı olarak alt kümelere ayırmak için kullanılabilir.

Gerçek hayatta karşımıza çıkan birçok problem ÇKKV tanımlamasına uymaktadır. Karar vericiler, ÇKKV problemlerinde değerlendirici yargılarda bulunurken, subjektif tercihlerini kullanırlar. Az sayıda kriterin ya da az sayıda alternatifin bulunduğu durumlarda karar vermek zor olmayabilir. Fakat kriter sayısı ve alternatif sayısı arttıkça, problem karmaşılaşmakta ve karar verme süreci uzamaktadır. Bu tür durumlarda, çok fazla bilgiyi bütünleştirip karara varmak yerine, basit prosedür ve kurallar uygulayıp, problemi aşamalara ayırarak değerlendirmek karar vericinin işini kolaylaştıracaktır. Bu tür yaklaşımlar, karar mercilerinin akılcı kararlar almasını da sağlayacak, verilen nihai karar amaca ve kısıtlara

uygun olacaktır. ÇKKV problemlerinin kendine özgü özellikleri vardır (Köse, 2003). Bunlar;

- Alternatifler: Her problemde birden fazla alternatif içinden sınırlı sayıdaki alternatifler ayıklanır, ağırlıklandırılır, seçilir ve/veya sıralanır.
- Çok kriterlilik: Her problem iki veya daha fazla kriterle sahiptir. Kriterlerin sayısı ve içeriği problemin kendisine bağlıdır. Karar vermek için analiz edilmesi gereken birçok faktör olmasına rağmen karar vericiler, içlerinden en önemli gördüklerini kriter olarak belirleyebilir.
- Aynı birimle ölçülme: Her kriter farklı ölçüm birimleriyle ifade edilebilir. Fakat doğru bir karar verebilmek için tüm ölçüm birimi farklılıklarının ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu yüzden normalizasyon işlemleri uygulanır.

ÇKKV konusunda çok fazla sayıda metot geliştirilmiştir. Bu metotların birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Karar verecek olan kişinin çözüme başlamadan önce karşılaşacağı ilk problem hangi metotun kendi problemi için uygun metot olduğuna karar vermesidir. En uygun metot seçilirken, sürecin özellikleri ve problemin yapısı değerlendirilmelidir. Metot seçildikten sonraki ilk adım kriterlerin tespit edilmesi ve bunların birbirleri arasındaki önem dereceleri ve ağırlıklarının belirlenmesidir. İkinci adım ise seçeneklerin belirlenmesi ve belirlenen seçeneklerin bu kriterleri hangi oranda sağladığını tespit ederek tüm kriterler üzerinden tüm seçeneklere ait son değerlendirmeye ulaşılmasıdır. Üçüncü ve son adım ise en yüksek değerlendirme puanına sahip seçeneğin seçilmesi veya seçeneklerin değerlendirme puanlarına göre sıralanması işlemidir.

ÇKKV, yöneylem araştırması biliminin son zamanlardaki en süratli gelişen disiplinlerinden biri olarak dikkat çekmekte ve bu alanın temeli olan çok disiplinlilik, problem çözmede sistemsel bakış açısı ve bilimsel yaklaşım karakterlerini canlandırıp yenileyen bir alanı temsil etmektedir. ÇKKV yaklaşımının ana hedefi, karar verici konumundaki kişilerin alacağı bir karar hususunda eldeki bilgileri düzenlemek ve sentezlemesine yardımcı olmak, bütün kriterleri dikkate alarak memnuniyetini sağlamak, güven içinde ve kendilerini rahat hissetmesini sağlayarak potansiyel karar sonrasında pişmanlığı en küçükmektir.

## 4.2. Sınıflandırma

ÇKKV yöntemleri farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu konudaki öncülerden biri olan Zimmerman, ÇKKV'yi Çok Amaçlı Karar Verme ve Çok Nitelikli Karar Verme olarak iki sınıfta değerlendirmiştir (Zimmermann, 1991).

➤ Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV): Bu tür problemlerde, karar vericiye optimal çözümü verecek olan seçeneklerin sayısı önceden belirlenmemektedir ve kurulan modelin hedefi “en iyi” seçeneği belirlemektir. Alternatiflerin matematiksel programlamayla dolaylı yoldan belirlediği ve sonsuz miktarda olduğunda karar vermeye yardımcı olur (Gregory, 1988).

➤ Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKKV): Bu tür problemler ise önceden belirlenmiş sayıda seçeneğe sahiptir ve bu seçeneklerin her biri için elde edilecek başarı ölçüleri belirlenmektedir. Karar verici, her seçenek için belirlenen faktörlerin karşılaştırılması sonucunda son kararını vermektedir. Sonlu sayıda alternatifin seçilme, sınıflandırma, önceliklendirme, sıralanma veya elenme gibi amaçlarla genellikle ağırlıklandırılmış, birbirleriyle çelişen ve aynı ölçü birimleriyle ölçülemeyen hatta bazıları nitel değerler alan çok fazla sayıda kriter kullanılarak değerlendirilmesi işlemidir (Hwang ve Yoon, 1981).

ÇAKV ve ÇNKKV yöntemleri birçok açıdan birbirinden farklılaşmaktadır. Çizelge 3.1’de bu farklılıklar özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. ÇAKV ve ÇNKKV yöntemlerinin karşılaştırılması

|                               | Çok Amaçlı Karar Verme<br>(ÇAKV)                     | Çok Nitelikli Karar Verme<br>(ÇNKKV)        |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Kriterlerin Tanımlanması      | Amaçlar tarafından                                   | Nitelikler tarafından                       |
| Amaçların Tanımlanması        | Açık-Belirgin olarak                                 | Örtük olarak                                |
| Niteliklerin Tanımlanması     | Örtük olarak                                         | Açık-Belirgin olarak                        |
| Kısıtlılıklar                 | Aktif                                                | Aktif değil                                 |
| Alternatifler                 | Sonsuz sayıda, Sürekli ve süreç esnasında belli olan | Sonlu sayıda, Ayırık ve önceden tanımlanmış |
| Karar Verici ile Etkileşim    | Çoğunlukla                                           | Seyrek                                      |
| Kullanıcı Amacı, Problem Türü | Tasarım                                              | Seçim, Sıralama, Değerlendirme              |

Literatür incelendiğinde karşımıza birçok ÇKKV yöntemi çıkmaktadır. Bu yöntemlerin her birinin kendine has karakteristik özellikleri bulunmaktadır. Bu yüzden ÇKKV yöntemlerinin yukarıda bahsedilen sınıflandırmadan farklı olarak sınıflandırılması da mümkündür. ÇKKV yöntemleri, kullandıkları bilginin türüne göre deterministik, stokastik veya bulanık olarak sınıflandırılabilirler. ÇKKV yöntemlerinin başka bir sınıflandırması da karar sürecine dâhil olan karar verici sayısına göre yapılmıştır. Buna göre ÇKKV yöntemleri tek karar vericinin dâhil olduğu veya çok karar vericinin dâhil olduğu olarak da sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada İHA'ların seçimi için 6 farklı ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerden 2'si TOPSIS ve VIKOR gibi literatürde sıkça kullanılan ve kendini kanıtlamış yöntemler iken 4'ü ARAS, EDAS, MAUT ve WASPAS olmak üzere literatürde 2000'li yıllardan sonra kazandırılmış yöntemlerdir. 6 farklı ÇKKV yöntemi kullanılarak ulaşılabilecek sonucun doğruluğu ve tutarlılığının arttırılması hedeflenmiştir. Alternatiflerin sıralanmasında kullanılacak kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için yine literatürde sıkça kullanılan ve uzman görüşlerinden yararlanılan AHP yöntemiyle ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan ikili karşılaştırmalar grup karar verme ile birleştirilerek nihai ağırlıklar elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin açıklamaları ve uygulama adımları aşağıdaki başlıklarda özetlenmiştir.

### **4.3. AHP ile Grup Karar Verme Yönteminde İkili Karşılaştırmalar Yardımıyla Ağırlıkların Elde Edilmesi**

AHP yöntemi 1970'li yıllarda tasarlanan nicel ve nitel değişkenleri analiz ederek problemleri çözüme kavuşturan bir yöntemdir (Saaty, 1986). Bu yöntem çok kriterli karar verme problemlerini hiyerarşik yapıda bir model oluşturarak ele alır. Bu sayede problemin ana hedefinde dikkat edilmesi gereken kriterler, bu kriterlere ait olan alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişki ifade edilir.

Kriterlerin birbirleriyle kıyaslandığı ikili karşılaştırma matrisi,  $n \times n$  boyutlu bir matristir. Kriterlerin kıyaslanması, birbirlerine göre önem değerleri kapsamında karşılıklı-birebir olacak biçimde Çizelge 3.2'deki Saaty'nin oluşturduğu skala kullanılarak yapılır. Matrisin köşegeni üzerindeki kıyaslamalar 1 değerini alır. Çünkü bu karşılaştırmada kriter kendisi ile kıyaslanmaktadır.

Çizelge 3.2. İkili karşılaştırma skalası

| Sayısal Derece | Sözel Değerlendirme                |
|----------------|------------------------------------|
| 1              | Eşit Önem                          |
| 2              | Eşit- Orta Arası Önem              |
| 3              | Orta Önem                          |
| 4              | Orta- Güçlü Arası Önem             |
| 5              | Güçlü Önem                         |
| 6              | Güçlü- Çok Güçlü Arası Önem        |
| 7              | Çok Güçlü Önem                     |
| 8              | Çok Güçlü- Mutlak Güçlü Arası Önem |
| 9              | Mutlak Önem                        |

Yöntem 4 adımda uygulanmaktadır.

1. İkili karşılaştırma matrisinin hazırlanması: Her bir kriter diğer bir kriterle önem bazında karşılaştırılır. Sonuçta matris (3.1) elde edilir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

2. Grup karar verme için ikili karşılaştırma matrislerinin birleştirilmesi: Birden fazla karar vericinin bulunduğu durumlarda, her karar verici kriterler için ikili karşılaştırma matrisi hazırlar ve bu ikili karşılaştırma matrisleri bağıntı (3.2)'deki gibi geometrik ortalama yardımıyla birleştirilir.

$$a_{nn} = \sqrt[n]{a_{nn}^{(1)} \times a_{nn}^{(2)} \times \dots \times a_{nn}^{(n)}} \quad (3.2)$$

3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi: A matrisi yardımıyla kriterlerin birbirlerine karşı önemleri belirlenir. Bu kriterlerin ağırlıklarını, tespit etmek amacıyla A matrisinin kolon vektörlerinden faydalanılır ve matris (3.3)'teki B<sub>i</sub> kolon matrisi elde edilir.

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

B<sub>i</sub> kolon matrisini oluşturan değerler hesaplanırken bağıntı (3.4)'den yararlanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n (a_{ij})} \quad (3.4)$$

Yukarıdaki adımlar bütün kriterler için tek tek gerçekleştirildiğinde kriter sayısı kadar  $B_i$  sütun matrisi oluşturulur ve  $n$  adet  $B_i$  sütun matrisi birleştirilip matris (3.5) ile gösterilen  $C$  matrisi oluşturulur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$C$  matrisinden faydalanılarak kriterlerin yüzde ağırlıkları bulunabilir. Bu ağırlıkları bulabilmek için  $C$  matrisinin satır elemanlarının aritmetik ortalaması bağıntı (3.6)'dan yararlanılarak bulunur ve matris (3.7)'de gösterilen Öncelik Vektörü denilen  $W$  kolon matrisi elde edilir. Bulunan öncelik değerleri  $0 < w_j < 1$  koşulunu sağlamaktadır ve toplamı 1'e eşittir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n (c_{ij})}{n} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.6)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3.7)$$

4. Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranlarının bulunması: İkili karşılaştırma matrisleri bir sistematığe sahip olsa bile ulaşılan sonuçlar karar vericinin sahip olduğu değerlendirme kriterlerine olan öznel yaklaşımına bağlıdır. O yüzden hazırlanan ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranının ölçülmesi önerilir. Tutarlılık oranı (CR) hesaplamasının temelini, Temel Değer adı verilen ( $\lambda$ ) katsayısı ile kriter sayısının karşılıklı değerlendirilmesi oluşturur.  $\lambda$ 'nın hesaplanabilmesi için Bağıntı (3.8)'deki gibi ikili karşılaştırma matrisi ( $A$ ) ile öncelik vektörünün ( $W$ ) matris çarpımından yeni bir  $D_i$  kolon matrisi elde edilir.

$$D_i = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Bağıntı (3.9)'daki gibi elde edilen  $D_i$  kolon matrisi ile  $W$  kolon matrisinin karşılıklı hücre elemanlarının bölümünden tüm değerlendirme kriterleri ve karar noktalarına ilişkin temel değerler ( $E_i$ ) elde edilir. Bulunan değerlerin aritmetik ortalaması bağıntı (3.10) yardımıyla alınarak karşılaştırmaya ilişkin temel değere ( $\lambda$ ) ulaşılır.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.9)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (3.10)$$

( $\lambda$ ) bulunduktan sonra Tutarlılık Göstergesi (CI), aşağıdaki bağıntı (3.11) yardımıyla hesaplanabilir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (3.11)$$

Son aşamada ise CI, Çizelge 3.3'te gösterilen ve Standart Düzeltme (RI) olarak isimlendirilen değere bağıntı (3.12)'deki gibi bölünerek CR elde edilir.

Çizelge 3.3. Standart düzeltme (RI) değerleri

| N  | 1 | 2 | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|----|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,53 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.12)$$

Elde edilen CR değeri 0,1'den küçük olduğu durumda ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu, 0,1'den büyük olduğu durumdaysa ikili karşılaştırmaların tutarsız olduğu söylenir. Bu tür durumlarda karar vericinin ikili karşılaştırma matrislerini düzenlemesi gerekir.

#### 4.4. ARAS Yöntemi

2010 yılında Zavadskas ve Turskis tarafından geliştirilen Additive Ratio Assesment (ARAS) metodunda, seçeneklerin fayda fonksiyonu değerleri, çözülmesi istenen probleme karar verici tarafından yerleştirilen optimal seçeneğin fayda fonksiyonu değerleri ile kıyaslanmaktadır (Sliogeriene- Turskis, vd., 2013).

ARAS metodu, her bir seçeneğin ideal seçeneğe göre oransal benzerliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu sayede diğer ÇKKV metotları arasında oransal derecelendirme amacına en yakın metot olarak değerlendirilmektedir (Dadelo- Turskis, vd., 2012).

ARAS yöntemi 4 adımdan oluşmaktadır (Zavadskas- Turskis, 2010).

1. Karar matrisinin oluşturulması: Bütün ÇKKV metotlarında olduğu gibi ARAS metodunda da ilk adım başlangıç karar matrisinin oluşturulmasıdır. Diğer yöntemlerden farklı olarak bu yöntemde başlangıç karar matrisine her kritere ait optimal değerlerin

oluşturduğu bir satır eklenmektedir. Oluşturulan matris (3.13)'deki  $X$  başlangıç karar matrisinde;  $m$  alternatif sayısını,  $n$  kriter sayısını,  $x_{ij}$   $i$ . alternatife  $j$ . kriterde gösterdiği performans değerini ve  $x_{oj}$   $j$ . kriterin optimal değerini ifade etmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{o1} & x_{o2} & \dots & x_{on} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0, 1, \dots, m \quad j = 0, 1, \dots, n \quad (3.13)$$

Kritere ait optimal değer, kriterin fayda veya maliyet kriteri olması durumuna göre sırasıyla bağıntı (3.14) ve bağıntı (3.15)'deki gibi hesaplanır.

$$\text{Fayda kriteri ise: } x_{oj} = \max(x_{ij}) \quad (3.14)$$

$$\text{Maliyet kriteri ise: } x_{oj} = \min(x_{ij}) \quad (3.15)$$

2. Normalize karar matrisinin oluşturulması:  $\bar{x}$  normalize karar matrisi  $\bar{x}_{ij}$  değerlerinden oluşmaktadır.  $\bar{x}_{ij}$  değerleri kriterin fayda veya maliyet kriteri olmasına bağlı olarak sırasıyla bağıntı (3.16) ve bağıntı (3.17)'deki gibi iki farklı yolla hesaplanmaktadır. Kriter fayda kriteri ise direk normalize değer hesaplanır, maliyet kriteri ise öncelikle fayda durumuna dönüştürülür daha sonra normalize değer hesaplanır.

$$\text{Kriter fayda kriteri ise: } \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (3.16)$$

$$\text{Kriter maliyet kriteri ise: } x_{ij}^* = \frac{1}{x_{ij}}, \quad \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=0}^m x_{ij}^*} \quad (3.17)$$

3. Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması: Normalize karar matrisi oluşturulduktan sonra bulunan  $w_j$  ağırlıkları ile matris (3.18)'deki ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi bağıntı (3.19) yardımıyla oluşturulur. Kriterlere ait ağırlık değerleri  $0 < w_j < 1$  koşulunu sağlar ve ağırlıklar toplamı 1'e eşittir.

$$\ddot{X} = \begin{bmatrix} \ddot{X}_{o1} & \ddot{X}_{o2} & \dots & \ddot{X}_{on} \\ \ddot{X}_{11} & \ddot{X}_{12} & \dots & \ddot{X}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \ddot{X}_{m1} & \ddot{X}_{m2} & \dots & \ddot{X}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0, 1, \dots, m \quad j = 0, 1, \dots, n \quad (3.18)$$

$$\ddot{X}_{ij} = \bar{x}_{ij} \times w_j, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3.19)$$

4. Optimal değerlerin hesaplanması: Her seçenek için optimal değerler ( $S_i$ ) bağıntı (3.20) kullanılarak hesaplanır. Seçeneklere ait  $S_i$  değerleri, bağıntı (3.21)'deki gibi  $S_o$  optimal

değerine oranlanarak  $K_i$  fayda değerleri hesaplanır. Değerler, büyükten küçüğe doğru sıralanarak alternatifler değerlendirilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \ddot{X}_{ij} \quad i = 0, 1, \dots, m \quad (3.20)$$

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (3.21)$$

#### 4.5. EDAS Yöntemi

Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS) yöntemi 2015 yılında Ghorabae vd. tarafından geliştirilen ÇKKV yöntemidir. EDAS yöntemi VIKOR, TOPSIS, SAW ve COPRAS gibi diğer farklı ÇKKV yöntemleri ile kıyaslanmış ve geçerliliği ile tutarlılığı test edilmiştir.

EDAS yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır. (Keshavarz Ghorabae vd., 2015)

1. Başlangıç Karar Verme Matrisinin Oluşturulması: Karar verme matrisi ( $X$ ), matris (3.22)'deki düzende oluşturulur. Bu matriste  $x_{ij}$ ;  $i$ . seçeneğin  $j$ . ölçüte göre performansını temsil etmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

2. Ortalama Çözümlerin Bulunması: Tüm ölçütlere göre ortalama çözüm ( $AV_j$ ) bağıntı (3.23) yardımıyla belirlenir.

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}}{m}, \quad AV = [AV_j]_{1 \times n} \quad (3.23)$$

3. Ortalamadan Uzaklık Matrislerinin Oluşturulması: Her bir ölçüt için ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) oluşturulur. Kriterlerin fayda ya da maliyet cinsinden olmasına göre ise PDA ve NDA matrisleri sırasıyla bağıntı (3.24), bağıntı (3.25), bağıntı (3.26) ve bağıntı (3.27) yardımıyla oluşturulur.

$$PDA = [PDA_{ij}]_{m \times n}$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{m \times n}$$

Kriterler fayda cinsinden ise PDA ve NDA matrisleri:  $PDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j}$  (3.24)

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j} \quad (3.25)$$

Kriterler maliyet cinsinden ise PDA ve NDA matrisleri:  $PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j}$  (3.26)

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (3.27)$$

4. Ağırlıklandırılmış değerlerin bulunması: Her bir alternatif için ağırlıklandırılmış toplam PDA ve NDA sırasıyla bağıntı (3.28) ve bağıntı (3.29) kullanılarak hesaplanır.  $w_j$ , j. kriterin ağırlığını göstermektedir.

$$SP_i = \sum_{j=1}^n w_j \times PDA_{ij} \quad (3.28)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n w_j \times NDA_{ij} \quad (3.29)$$

5. Normalize değerlerin bulunması: Her bir seçenek bağıntı (3.30) ve bağıntı (3.31) yardımıyla  $SP_i$  ve  $SN_i$  değerlerine normalize edilir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)} \quad (3.30)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)} \quad (3.31)$$

6. Değerlendirme puanının hesaplanması: Tüm seçenekler için bağıntı (3.32) kullanılarak değerlendirme puanı ( $AS_i$ ) hesaplanır.

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i \times NSN_i) \quad 0 \leq AS_i \leq 1 \quad (3.32)$$

7. Alternatifler, değerlendirme puanına ( $AS_i$ ) göre büyükten küçüğe sıralanır. En büyük puana sahip alternatif en iyi olarak kabul edilir.

#### 4.6. WASPAS Yöntemi

Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) yöntemi, oldukça yaygın kullanılan Weighted Sum Model (WSM) ve Weighted Product Model (WPM) yöntemlerinin entegresine dayanmaktadır (Zolfani vd., 2013). Yöntem, Zavadskas vd. tarafından 2012 yılında geliştirilmiştir. Metot, ağırlıklı bütünleştirilmiş fonksiyonu optimize ederek yapılan tahminde yüksek tutarlılığa ulaşmayı hedeflemektedir (Lashgari vd., 2014).

WASPAS yöntemi 4 adımdan oluşmaktadır. (Zavadskas vd., 2013; Madic vd., 2014; Zavadskas vd., 2015)

1. Başlangıç karar verme matrisinin oluşturulması: Karar verme matrisi (X), matris (3.33) formunda oluşturulur. Bu matriste  $x_{ij}$ ; i. seçeneğin j. ölçüte göre performansını temsil etmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

2. Normalize karar matrisinin oluşturulması: Karar matrisi normalize edilir. Maksimizasyon ve minimizasyon tipindeki kriterlere göre bağıntı (3.34) ve bağıntı (3.35)'deki gibi iki farklı şekilde normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Aşağıdaki eşitliklerde i. alternatifin j. kriter altındaki normalize edilmiş performans değeri,  $x_{ij}^*$  ile gösterilmiştir.

$$\text{Kriter maksimizasyon kriteri ise: } x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_{(i)} x_{ij}} \quad (3.34)$$

$$\text{Kriter minimizasyon kriteri ise: } x_{ij}^* = \frac{\min_{(i)} x_{ij}}{x_{ij}} \quad (3.35)$$

3. Görelî önemlerin hesaplanması: Bu adımda WSM ve WPM'ye göre her bir seçenek için görelî önem hesaplanmaktadır. WSM'ye göre bir seçeneğin toplam görelî önemi, kriter değerlerinin ağırlıklı toplamı olarak elde edilirken; WPM'ye göre ise bir seçeneğin kriter bazındaki performans değerinin kriter ağırlığı kadar kuvvetinin çarpımı ile elde edilir (Turskis vd., 2015). WSM'ye göre i. seçeneğin toplam görelî önemi ( $Q_i^{(1)}$ ) ve WPM'ye göre i. seçeneğin toplam görelî önemi ( $Q_i^{(2)}$ ), sırasıyla bağıntı (3.36) ve bağıntı (3.37) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \times w_j \quad (3.36)$$

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n r_{ij}^{w_j} \quad (3.37)$$

4. Toplam görelî önemlerin bulunması: WSM ve WPM metotlarına göre bulunan seçeneklerin toplam görelî önem dereceleri, bağıntı (3.38) yardımıyla birleştirilir.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (3.38)$$

$\lambda = 0$  ve  $\lambda = 1$  olarak alınırsa WASPAS metodu, sırasıyla WPM ve WSM metotlarına dönüşmektedir.  $\lambda$  değerinin seçimi, karar vericinin kendisine bağlıdır.  $Q_i$  değerleri büyükten küçüğe sıralanarak alternatifler arasındaki sıralama elde edilir.

#### 4.7. MAUT Yöntemi

2007 yılında Loken tarafından geliştirilen farklı kriterlerin değerlendirilerek en iyi çözümü belirlemek için kullanılan Multi Attribute Utility Theory (MAUT) yöntemi, niceliksel ve niteliksel kriterler temelinde en faydalı alternatifi belirlemek için tercih edilen bir yöntemdir. Karar vermede objektif ölçümleri titizlikle uygulayabilmek adına geliştirilmiş bir metottur. MAUT'un temel hipotezi, karar problemlerindeki alternatifler kümesinde tanımlı olan U fayda fonksiyonunu en büyükmektir. (Loken, 2007)

MAUT yöntemi 3 adımdan oluşmaktadır (Loken, 2007).

1. Başlangıç karar verme matrisinin oluşturulması: Karar verme matrisi (X) matris (3.39) formunda oluşturulur. Bu matriste  $x_{ij}$ ; i. seçeneğin j. ölçüte göre performansını temsil etmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

2. Normalize karar matrisinin oluşturulması: Normalizasyon işlemi gerçekleştirilirken öncelikle her nitelik için en iyi değer ( $X_i^+$ ) ve en kötü değer ( $X_i^-$ ) belirlenerek en iyi değere 1, en kötü değere 0 ataması yapılır ve diğerlerinin hesaplanması için bağıntı (3.40) kullanılır.

$$u_i(x_i) = \frac{x_i - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (3.40)$$

3. Fayda değerlerinin bulunması: Normalizasyon işleminden sonra normalize edilmiş değerlerle ( $u_i(x_i)$ ) kriter ağırlıkları ( $w_i$ ) bağıntı (3.41)'deki gibi çarpılarak fayda değerleri ( $U_x$ ) bulunur. Bulunan değerler büyükten küçüğe sıralanarak alternatifler değerlendirilir.

$$U_x = \sum_{i=1}^m u_i(x_i) \times w_i \quad (3.41)$$

#### 4.8. TOPSIS Yöntemi

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS) yöntemi ilk defa 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştiren karar problemleri için alternatiflerin sıralanmasında kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biridir. Yöntem pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak en iyi çözümü belirler ancak uzaklıkların göreceli önemini göz önüne almaz (Cristóbal, 2012, 752). TOPSIS, hesaplamadaki basitliği, kolay kavranabilirliği, rasyonelliği ve değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılmasına imkân sunması gibi avantajlarından dolayı literatürde çok sık kullanılan yöntemlerden biridir.

TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır (Lin vd., 2008, Li vd., 2011):

1. Karar matrisinin ( $A_{ij}$ ) oluşturulması: Satırlarda değerlendirilecek alternatifler, sütunlarda ise karşılaştırma yapılacak kriterler bulunur. Matris (3.42) formunda düzenlenir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

2. Standart Karar Matrisinin ( $R_{ij}$ ) Oluşturulması: Başlangıç karar matrisine ( $A_{ij}$ ) bağıntı (3.43)'te gösterilen normalizasyon işlemi uygulanarak matris (3.44)'teki standart karar matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (3.43)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

3. Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin ( $V_{ij}$ ) Oluşturulması: Kriterlerin ağırlıkları ( $w_i$ ) ile standart karar matrisi ( $R_{ij}$ ) çarpılarak matris (3.45)'teki Ağırlıklı standart karar matrisi ( $V_{ij}$ ) bulunur.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

4. Pozitif İdeal ( $A^*$ ) ve Negatif İdeal ( $A^-$ ) Çözüm Kümelerinin Oluşturulması: Pozitif ideal çözüm setinin oluşturulabilmesi için kriter fayda kriteri ise  $V_{ij}$  matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin en büyüğü, kriter maliyet kriteri ise en küçüğü bağıntı (3.46)'daki gibi seçilir.

$$A^* = \{(max_i V_{ij})j \in J\}, \{(min_i V_{ij})j \in J'\} \quad (3.46)$$

Negatif ideal çözüm setinin oluşturulabilmesi için ise kriter fayda kriteri ise  $V_{ij}$  matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin en küçüğü, kriter maliyet kriteri ise en büyüğü bağıntı (3.47)'deki gibi seçilir.

$$A^- = \{(min_i V_{ij})j \in J\}, \{(max_i V_{ij})j \in J'\} \quad (3.47)$$

5. Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması: Alternatiflerin kriterlere ilişkin sapma değerleri Pozitif İdeal Ayırım ( $S_i^*$ ) ve Negatif İdeal Ayırım ( $S_i^-$ ) ölçüsü olarak adlandırılır. Bu iki parametre bağıntı (3.48) ve bağıntı (3.49) yardımıyla hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.48)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.49)$$

6. İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: Alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlığı ( $C_i^*$ ) bulunurken pozitif ve negatif ideal ölçülerinden yararlanılır. Negatif ideal ayırım ölçüsünün, toplam ayırım ölçüsü içindeki payı göreli yakınlık değerini verir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (3.50)$$

$C_i^*$  değeri  $0 \leq C_i^* \leq 1$  aralığında yer alır ve  $C_i^*$  değerinin 1'e yakın olması ideal çözüme olan yakınlığını ve 0'a yakın olması ideal çözüme olan uzaklığını gösterir. Bu yüzden büyükten küçüğe sıralanan  $C_i^*$  değerleri aynı zamanda alternatiflerin sıralamasını da verir.

#### 4.9. VIKOR Yöntemi

Vıse Kriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemi ilk kez Tzeng ve Huang tarafından çok kriterli problemlerin optimizasyonu için önerilmiştir (Tzeng, 2011). VIKOR, uzlaşılmış bir sıralama elde etmeyi ve belirtilen ağırlıklar altında uzlaşılmış çözümü

belirleyen bir yöntemdir. VIKOR, ideal çözüme yakınlığa dayanan sıralama indeksini kullanır.

VIKOR yöntemi 5 adımdan oluşur (Opricovic and Tzeng, 2004).

1. En iyi ve en kötü değerlerin bulunması: Her bir kriter için en iyi ( $f_i^*$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) değerler bulunur. Kriterin fayda veya maliyet yönlü olmasına göre sırasıyla bağıntı (3.51), bağıntı (3.52), bağıntı (3.53) ve bağıntı (3.54)'teki gibi iki farklı şekilde elde edilir.

$$\text{Kriter fayda yönlü ise: } f_i^* = \max_j f_{ij} \quad (3.51)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (3.52)$$

$$\text{Kriter maliyet yönlü ise: } f_i^* = \min_j f_{ij} \quad (3.53)$$

$$f_i^- = \max_j f_{ij} \quad (3.54)$$

2. Ortalama grup ve en kötü grup değerlerinin hesaplanması: Her bir seçenek için ortalama grup ( $S_j$ ) ve en kötü grup ( $R_j$ ) değerleri sırasıyla bağıntı (3.55) ve bağıntı (3.56)'daki eşitlik yardımıyla bulunur. Eşitlikteki  $w_i$  değeri her bir kriterin ağırlığıdır.

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_i(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (3.55)$$

$$R_j = \max \left[ \frac{w_i(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right] \quad (3.56)$$

3. Maksimum grup faydasının hesaplanması: Her bir seçenek için değerlendirme kriterlerine göre belirlenen maksimum grup faydası ( $Q_j$ ) değerleri bağıntı (3.57) kullanılarak hesaplanır. Bağıntıdaki  $S^*$  minimum ortalama grup değerini,  $R^*$  minimum en kötü grup değerini,  $S^-$  maksimum ortalama grup değerini,  $R^-$  maksimum en kötü grup değerini göstermektedir.

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{R^- - R^*} \quad (3.57)$$

Eşitlikteki  $v$  değeri maksimum grup faydası için gerekli ağırlık değerini,  $(1-v)$  değeri ise karşıt görüşteki karar vericilerin minimum pişmanlığını ifade eder.  $v > 0,5$  çoğunluk tercihini,  $v = 0,5$  konsensusu,  $v < 0,5$  ise vetoyu temsil eder. Literatürde  $v$  değeri genellikle 0,5 olarak kabul edilir.

4.  $S_j$ ,  $R_j$  ve  $Q_j$  değerlerinin sıralanması: Değerler küçükten büyüğe sıralanır.

5. Kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar kümelerinin belirlenmesi: Herhangi bir seçeneğim kabul edilebilir avantaj ( $C_1$ ) kümesinde yer alması için bağıntı (3.58)'deki koşulu sağlaması gereklidir.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{(1-m)} \quad m = \text{alternatif sayısı} \quad (3.58)$$

$Q_j$  sıralamasına göre  $A_{i+1}$  seçeneği  $A_i$  seçeneğinden sonraki sırada yer alıyorsa ve yukarıdaki koşul sağlanıyorsa  $A_i$  seçeneği  $C_1$  kümesinde yer alır. Bu yöntem tüm  $Q_j$  değerleri için uygulanıp  $C_1$  kümesi içinde olan alternatifler tespit edilir. Kabul edilebilir istikrar ( $C_2$ ) kümesi ise  $S_j$ ,  $R_j$  ve  $Q_j$  sıralamalarının tamamında aynı sırada olan seçeneklerden oluşur.  $C_1$  ve  $C_2$  kümesinin kesişiminde olan seçenekler sıralama mantığına bağlı olarak istikrarlı seçenekleri gösterir.

## 5. TESIS YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ

### 5.1. Tesis Yer Seçimi Problemleri Hakkında Genel Bilgi

Tesis yer seçimi problemleri, belli sayıdaki tesislerin, müşteri talebini karşılayacak şekilde, belirlenmiş olan potansiyel yerleşim yerlerinden bazılarına, amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize edecek şekilde yerleştirilmesi ve tesislere müşterilerin atanması konusuyla ilgilenmektedir. Bu tip problemlerde amaç fonksiyonu; kurulum, taşıma, üretim maliyetleri gibi birçok farklı maliyeti kapsayabilmektedir. Çoğunlukla amaç bu maliyetleri minimize edecek şekilde tesis yerleşimini ve müşteri atamasını yapmaktır. Tesis yer seçimi problemlerinde ayrıca hizmet süresinin ve reaksiyon süresinin azaltılması veya hizmet edilecek kişi sayısının da maksimizasyonu amaçlanabilmektedir. Ayrıca mevcut bir bütçe kısıtı içinde firmalar bazı tesislerini kapayıp yenilerini başka yerlerde açarak müşterilerine daha iyi bir hizmet vermek için de tesis yeri seçimi problemleriyle karşı karşıya kalmaktadır (Kurtay, 2020).

Tesis yeri seçimi kararı; toplam maliyetlerinin düşürülmesi, kâr maksimizasyonu, personel, ekipman, teslim süresinin kısaltılması, makine ve zaman tasarrufunun sağlanması, müşteri sayısı ve memnuniyetinin artırılarak sürekli kılınması, müşteri ihtiyaçlarına hızlı yanıt verilmesi vb. birçok çok amacı içinde barındıran stratejik kararlardan birisidir (Farahani, Steadieseifi ve Asgari, 2010).

Alternatif aday yerler içinden bir seçim yapmayı hedefleyen tesis yerleşim problemleri, aynı zamanda bir çeşit karar verme problemi olmasından dolayı matematiksel modellerle çözülmektedir. Problemin zorluğu, çok sayıda birbiriyle çelişen kriter ve faktörlerle beraber, nicel olarak ifade edilemeyen çok sayıda nitel kısıt içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu sebeplerden dolayı tesis yer seçimi, birçok ölçülebilen veya ölçülemeyen kriterin dikkatli analiz edilerek alınması gereken bir karardır.

Tesis yer seçimine yönelik verilecek kararlarda birçok kriterin ele alınması gerekmektedir. Üretilecek ürün çeşidi ve özelliği, verilecek hizmetin çeşidi, kurulacak tesisin özelliğine ve seçim yerine etki yapmaktadır. Tesis yer seçimi problemlerinde karşılaşılan önemli bir zorluk, pek çok somut faktörün yanında çok sayıda soyut kriter veya kısıtın bulunmasıdır. Tesis/depo yeri seçimi problemlerinde başlangıçta çoğunlukla matematiksel modeller kullanılmasına rağmen, problem ele alınırken belirlenen ölçülebilen ya da ölçülemeyen kriterler analiz edilmekte ve bu analizler sonucunda ortaya çıkan sonuçlar matematiksel

modellerde kullanılmaktadır. Yöneylem araştırması da bu kapsamda kullanılan yöntemlerden bir tanesidir Belirli kısıtlar altında, belirli bir amaç için en iyi çözümün elde edilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir.

Tesis yer seçimi problemlerinin literatürde birçok farklı tanımı bulunmaktadır. Literatürde yapılmış olan tanımlardan bazıları aşağıda gösterilmiştir.

- Yer seçimi analizleri, değişik kısıtlar ve ortamın özel karakteristiklerini dikkate alarak objelerin spesifik olarak yerlerinin tanımlanması ve planlamasıdır (Aikens, 1985).
- Bir veya daha fazla hizmet noktası yerinin, talep merkezi ihtiyaçları için belirli kısıt değerleriyle ölçülebilir/ölçülemeyen ölçütler dikkate alınarak en az maliyetle ve/veya en kısa süre içinde karşılayabilecek şekilde belirlenmesidir (Farahani ve Hekmatfar, 2009).
- Tesis yer seçimi; bir veya birden fazla hizmet noktasının yerlerinin, talep merkezlerinin ihtiyaçlarının olasılıklı veya belirli kısıt değerleriyle ölçülebilir ya da ölçülemeyen kriter değerleri dikkate alınarak minimum maliyetle veya en kısa sürede karşılayabilecek şekilde belirlenmesidir (Farahani vd., 2009).
- Tesis yer seçimi, birden fazla mevcut tesis bakımından en az bir amaç fonksiyonunu (kâr, gelir, maliyet, hizmet seviyesi, mesafe, bekleme zamanı, pazar payları ve kapsama alanı vb.) eniyilemek (arttırmak veya azaltmak) amacıyla bir yeni tesis yerini seçmek veya lokasyona yerleştirmek ile ilgilenen yöneylem araştırmasının bir dalıdır (Farahani vd., 2010).

Tesis yeri seçimi problemleri yapısı dolayısıyla bir eniyileme problemidir. Problemlerde tesis yeri olarak değerlendirilecek bölge sayısı veya müşterilerin sayısı fazlaştıkça çözüm kümesi artmaktadır ve dolayısıyla da çözüm zorlaşmaktadır. Diğer bir ifadeyle bu tip problemlerin çözümü yapısı nedeniyle üssel olarak zorlaşmaktadır. Bu problemler optimizasyon teknikleri ve sezgisel yöntemlerle çözülebilmektedir. Optimizasyon metotları, kesin çözümün sağlanmasına imkân sağlamakla birlikte, problemin boyutu büyüdüğünde pratik olarak uygulanamamaktadır. Sezgisel yöntemler ise özellikle problemi çözmenin çok zaman alacağı durumlarda tercih edilirler ancak bunlar da en iyi çözümü garanti etmezler. En iyiyi, en iyiye yakın bir çözümü veya bölgesel en iyiyi verirler. Bu sebepler dolayısıyla problemin çözümü kabul edilebilecek bir zaman içinde gerçekleştiği durumlarda sezgisel yöntemler yerine kesin çözüm veren teknikler tercih edilmelidir (Kurtay, 2020).

Yer seçimi problemlerinde, temel olarak kurulacak tesis veya tesisler (arz noktaları) kümesi ile bu tesislerden istifade edecek müşteriler (talep noktaları) kümesi bulunur. Problemin

çözümü için iki kümenin alabileceği değerlere göre pek çok algoritma geliştirilmiştir.

Yer seçimi problemlerinde farklı amaçlar belirlenebilmektedir. Bu amaçların bazılarını şöyle özetleyebiliriz;

- Toplam tesis kuruluş maliyetlerinin en küçüklenmesi,
- Mevcut tesislere olan en büyük uzaklığın en küçüklenmesi,
- Sabit maliyetlerin en küçüklenmesi,
- Yıllık toplam işletme maliyetlerinin en küçüklenmesi,
- Kapsanan talep noktalarının en büyüklenmesi,
- Ortalama zaman veya mesafenin en küçüklenmesi,
- Maksimum ulaşım mesafesi ve/veya zamanının en küçüklenmesi,
- Kurulacak tesis miktarının en küçüklenmesi,
- Çözüm hızının en büyüklenmesi (Farahani vd., 2010).

## 5.2. Sınıflandırma

Literatürde yer seçimi problemleri ile ilgili farklı bakış açılarına göre değişik sınıflandırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; problemin amaç fonksiyonuna, yerleşim uzayına, kapasite durumuna, tesis sayısı ve tipine, sunulan ürün sayısı ve çeşidine, olasılıklı veya sezgisel olmasına, maliyet minimizasyonu veya kâr maksimizasyonu gibi çeşitli faktörlere göre sınıflandırıldığı görülmektedir.

Bu çalışmaların en önemli ve kapsamlı olanlarından bazıları Daskin'in 1995, Owen ve Daskin'in 1998, Klose ve Drexl'in 2005, Arabani ve Farahani'nin 2012 yılında yapmış oldukları sınıflandırma çalışmalarıdır. Aşağıda bu sınıflandırmalar gösterilmiştir. Daskin tarafından 1995 yılında yapılan sınıflandırmada tesis yer seçimi problemleri 14 farklı gruba ayrılmıştır. Bu gruplar aşağıda gösterilmiştir.

- Kesikli, sürekli veya ağ yapıda olmasına göre,
- Ağaç problemi ya da genel grafik yapısında olmasına göre,
- Mesafe ölçüsüne göre,
- Tesis sayısına göre,
- Dinamik veya statik oluşuna göre,
- Deterministik veya olasılıklı olmasına göre,
- Tek veya çoklu ürün olmasına göre,

- Kamu sektörü veya özel sektör olmasına göre,
- Problemin amacının tekli veya çoklu olmasına göre,
- Talebin esnek veya esnek olmamasına göre,
- Tesis kapasitenin kısıtsız veya kısıtlı olmasına göre,
- Talebin genel talep merkezli veya en yakın tesisten olmasına göre,
- Tek aşamalı veya çok aşamalı olmasına göre,
- Tesislerin istenen veya istenmeyen olmasına göre problemler sınıflandırılmıştır.

Owen ve Daskin tarafından 1998 yılında yapılan sınıflandırmada tesis yer seçimi problemleri üç gruba ayrılmıştır.

1. Statik ve deterministik tesis yerleşim problemleri: Tesis yer seçimi modellerinin zamana bağlı olarak katsayı ve parametrelerinin değişmediği problem tipidir. Bu problem tipi Medyan, Kapsama ve Merkez problemleri olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır.

- Medyan problemleri: Tesis yeri seçiminde talep miktarına olan ortalama mesafeyi minimize etmeye çalışan problemlerdir. Ortalama ulaşım mesafesinin artması tesisin ulaşılabilirliğini azalttığından yer seçiminin etkinliğini azaltmaktadır. İstenmeyen tesislerin yer seçimi kararlarında ise mesafenin artması istendiğinden yukarıda belirtilenin tam tersi olmaktadır.

- Kapsama problemleri: Tesis yer seçimi problemi küme kapsama problemi ve maksimum kapsama problemleri olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Küme kapsama probleminde amaç tüm talepleri kapsayacak en az tesis noktasını belirleyen problemidir. Maksimum kapsama problemleri tesis sayısının kısıtlı olduğu durumda kapsanan talep yerleri sayısını maksimize yapmayı hedefleyen problemidir.

- Merkez problemleri: Bu tip problemler minimaks tipi problemler olarak adlandırılmaktadır. Amaç bir talep noktası ile o talep noktasına en yakın tesis arasındaki en büyük mesafeyi en küçükmektir. Tesis yerlerinin ağ modelindeki düğüm noktalarıyla kısıtlandığı probleme vertex merkez, şebekedeki herhangi bir noktaya yerleştirildiği problemlere de tam merkez problemi denmektedir.

2. Dinamik yerleşim problemleri: Tesis yer seçimi modellerinin zamana bağlı olarak katsayı ve parametrelerinin değiştiği problemlerdir. Karar vericiler yalnızca ilgili zaman dilimindeki bütün talepleri karşılayacak doğru yer seçimini tespit etmemeli, tesisin büyüceği veya

genişleyeceği zamanı da düşünerek tesis yeri seçimindeki kriterlerin zamana bağlı değişimini dikkate almalıdır.

3. Stokastik yerleşim problemleri: Gerçekleşmesi muhtemel olan fakat kesinlik barındırmayan birçok parametre altında performansı en iyi tesis yeri seçiminin yapılmasına çalışıldığı problemlerdir. Olasılıksal modeller, rastgele değişkenlerin olasılık dağılımlarını kullanırken, senaryo planlama modelleri ise oluşturulan muhtemel gelecek değişkenler kümesini kullanmaktadır.

Klose ve Drexel tarafından 2005 yılından yapılan çalışmada tesis yer seçimi problemleri 9 başlık altında sınıflandırılmıştır.

- Tesislerin yerleştirilmesi açısından; kesikli yerleşim modeli, şebeke yerleşim modeli veya karışık tam sayılı programlama modelleri,
- Amaç fonksiyonlarının özelliği açısından; maksimum uzaklığın veya toplam mesafenin en küçüklenmesine göre hesaplanan yapıldığı modeller,
- Kapasite kısıtsız veya kısıtlı, çok ya da tek tesisli olan modeller,
- Çok veya tek aşamalı modeller,
- Çoklu ya da tek ürünli modeller,
- Talebin sabit veya esnek olduğu modeller,
- Dinamik veya statik modeller,
- Deterministik ve olasılıklı modeller,
- Klasik yer seçimi veya birleşik yer seçimi/rotalama problemi modelleri

Ayrıca, bu sınıflandırmaya ek olarak çok ve tek amaçlı modeller ile istenen/istenmeyen tesis yer seçim modelleri de bu sınıflandırma içerisine eklenmiştir.

Arabani ve Farahani tarafından 2012 yılında yapılan sınıflandırmada ise tesis yer seçimi problemleri 2 ana sınıfta toplanmış ve bunlar alt sınıflara ayrılmıştır. Söz konusu sınıflandırma aşağıda gösterilmiştir.

1. Statik yer seçimi problemleri
  - Sürekli yer seçimi problemleri:
    - Tek tesisli yer seçimi problemleri
    - Çok tesisli yer seçimi problemleri

- Yer seçimi ve atama problemleri
- Kesikli yer seçimi problemleri:
  - Karesel atama problemi
  - Kuruluş (Plant) yer seçimi problemleri
- Şebeke yer seçimi problemleri:
  - Medyan problemleri
  - Kapsama problemleri
  - Merkez problemleri
  - Ana dağıtım üssü yer seçimi problemleri
  - Hiyerarşik yer seçimi problemleri
- 2. Dinamik yer seçimi problemleri
  - Dinamik deterministik yer seçimi problemleri
  - Yer seçimi-atama problemleri
  - Çok periyotlu-tek periyotlu yer seçimi problemleri
  - Zaman bağımlı yer seçimi problemleri
  - Stokastik, olasılıklı ve bulanık yer seçimi problemleri

### 5.3. Maksimum Kapsama Problemi

Tesis yer seçimi problemlerinin alt türlerinden biri olan maksimum kapsama problemlerinde amaç, belirlenmiş bir bölgede bulunan hedeflerin en çoğuna hizmet edebilecek tesis yeri seçimini yapmaktır. Maliyet, mevcut personel, arazinin yapısı ve teçhizat gibi kısıtlar nedeniyle kurulabilecek tesis sayısı da kısıtlıdır. Amaç kısıtlı sayıda kurulacak tesislerin maksimum verimlilikle yerleştirmesinin yapılması ve en fazla sayıda hedefin kapsanmasıdır. Hedeflerin amaç fonksiyonunda değişik ağırlık dereceleri olabilir. Bu tür problemlerde eğer hedeflenen bütün noktalar kapsanırsa problem kapsama alanı problemine dönüşür. Kapsama alanı ve maksimum kapsama alanı problemleri tesis yer seçiminin yapılmasında kullanılan önemli problem türleridir. Askeri birimlerin, otobüs duraklarının, yangın söndürme istasyonlarının, hava alanlarının ve hastanelerin yerlerinin seçimi bu yöntemler ile yapılmaktadır.

Literatürde çalışılan ilk kapsama alanı problemi 1974 senesinde Revelle ve Church tarafından ele alınmıştır. Küme kaplamadan farklı olarak talep noktalarının talep ettiği miktarlar vardır. Modelin amaç fonksiyonu mümkün olan en fazla müşteri tatminine ulaşmaktır. Problem doğrusal programlama modeli kullanılarak formüle edilmiştir (Church,

1974). Daha sonraki öncü çalışmalar Daskin'e aittir. Daskin literatüre kabul edilebilecek yüzdeye sahip kapsama alanı problemlerini kazandırmıştır. Çalışmasında istenen oranda kapsama alanına ulaşmak amacıyla en az sayıda tesis kurmak üzerinde durmuştur (Daskin, 1979).

Tüm tesis yer seçimi problemlerindeki amaç tesisler için uygun kuruluş yerlerinin tespit edilmesidir. Problemin türüne bağlı olarak uygun matematiksel modeller kullanılabilir. İHA'lar için üs yerlerinin belirlenmesi hususu da tesis yer seçimi probleminin alt gruplarından olan kapsama alanı problemi içerisine girmektedir. Kapsama alanı büyüdükçe amaç fonksiyonunun aldığı değer de aynı oranda iyileşecektir.

Maksimum kapsama alanı probleminin 0-1 tam sayılı programlama modeli aşağıdaki gibidir;

$$\max z = \sum_{i \in I} h_i \times z_i \quad (4.1)$$

s. t.

$$\sum_{j \in N} x_j - z_i \geq 0, \forall i \in I \quad (4.2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p_j \quad (4.3)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall j \in J \quad (4.4)$$

$$z_i \in \{0,1\}, \forall i \in I \quad (4.5)$$

$h_i = i$  noktasındaki müşteri sayısı

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{şayet } i\text{'nci müşteri kapsanıyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{şayet } j\text{'nci bölgeye tesis kuruluyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Bağıntı (4.1), amaç fonksiyonu olup, hedef toplam müşterilerin en fazlasını kapsamaktır.

Bağıntı (4.2), en fazla kapsama problemi için en önemli kısıttır. Eğer  $i$  noktasındaki hedef kapsanacaksa, kapsama alanına alan noktaya bir tesis kurma zorunluluğunu ifade eder.

Bağıntı (4.3), kurulabilecek olan tesis sayısı kısıtıdır.

Bağıntı (4.4), tamsayılı programlamanın doğasından gelmektedir. Karar değişkeninin eğer tesis konuşlanıyorsa 1, diğer durumlarda 0 değerini almasını sağlayan kısıttır.

Bağıntı (4.5), tam sayılı programlamanın doğasından gelmektedir. Karar değişkeninin eğer hedeflenen nokta kapsanıyorsa 1, diğer durumlarda 0 değerini almasını sağlayan kısıttır.

Maksimum kapsama problemlerinin çözümü 3 aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada aday üsler, ikinci aşamada talep noktaları ve bu noktaların talep miktarları belirlenir. Üçüncü ve son aşamada ise matematiksel model yardımıyla optimal tesis kuruluş yeri seçilir.

Bu çalışmanın birinci aşamasında aday üslerin belirlenmesi için ÇKKV yöntemlerinden biri olan ARAS yöntemiyle CBS'leri entegre olarak kullanılmıştır. İkinci aşamada ise talep noktalarının belirlenmesi için CBS üzerinde rectangular uzaklıklar referans alınarak eşit aralıklarla talep noktaları belirlenmiştir. Üçüncü ve son aşama için ise 3 farklı senaryo üzerinde doğrusal programlama ve hedef programlama modelleri kullanılarak optimal üs yerleri bulunmuştur.



## 6. İNSANSIZ HAVA ARACI ÜS YERİ SEÇİMİ MODELİ VE ÖRNEK UYGULAMA

Türkiye Cumhuriyeti devleti coğrafi konumu ve jeopolitik özellikleri nedeniyle farklı özelliklere sahiptir. Kara sınırlarının uzunluğu 2.949 km ve kıyı sınırlarının uzunluğu ise 7.816 km olan ülkemizin toplam sınır uzunluğu 10.765 km'dir. Batıda Bulgaristan ve Yunanistan, doğuda Ermenistan, Azerbaycan-Nahcivan, Gürcistan ve İran, güneyde ise Suriye ve Irak ile sınır komşuluğu olan ülkemizin olası bir tehdit durumunda bu sınırlarını koruması çok elzem bir husustur. Şekil 6.1'de komşularımızla olan kara sınırlarımız ve bu sınırların uzunlukları görülmektedir. Bu sınırlar çok önceden yapılmış uluslararası tanınan anlaşmalar neticesinde kesinlik kazanmıştır.



Şekil 6.1. Türkiye Cumhuriyeti kara sınırları

Ülke güvenliğinin tam olarak sağlanabilmesi için sadece kara sınırlarının güvenliğinin sağlanması yeterli değildir. Hava sınırlarının da aynı şekilde olası bir tehlikeye karşı eldeki kaynakların iyi bir şekilde planlamasıyla korunması gerekmektedir. Şekil 6.2'de Uluslararası Sivil Havacılık Konvansiyonu'nda belirlenmiş ülkemize ait hava sahası sınırları görülmektedir.



Şekil 6.2. Türkiye Cumhuriyeti ulusal hava sahası sınırları

Bir ülkenin ileride oluşabilecek tehlikelere karşı korunmasındaki son aşama uluslararası anlaşmalarla tanınan açık deniz sularındaki haklarını korumasıdır. 27 Kasım 2019 tarihinde Türkiye ile Libya hükümetleri arasındaki Akdeniz’de deniz yetki alanlarının sınırlandırılmasına dair mutabakat muhtırasının Birleşmiş Milletler’e (BM) bildirilmesiyle beraber Türkiye ve Libya denizden komşu olmuş ve ülkemizin şu anki deniz yetki alanları son halini almıştır. Şekil 6.3’te yapılan son anlaşmaya göre Emekli Tümamiral Cihat YAYCI tarafından oluşturulan Mavi Vatan haritası görülmektedir.



Şekil 6.3. Mavi Vatan haritası

Bu çalışmada vatan sınırlarının korunması için kara, hava ve deniz sınırlarının aynı anda korunmasının gerektiği düşüncesi ile hareket edilmiş ve uygulama buna göre planlanmıştır. Uygulama üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, Silahlı Kuvvetlerin envanterindeki 9 İHA, 8 kriter altında 6 farklı ÇKKV yöntemi ile değerlendirilmiş ve en iyi sıralama bulunmaya çalışılmıştır. İkinci aşamada İHA’ların konumlandırılacağı aday üs noktaları belirlenmiş ve bunlar 5 farklı kriter bazında değerlendirilmiştir. Daha sonra İHA’ların kapsaması istenen 52 hedef noktası tayin edilmiştir. Üçüncü aşamada ise problem için matematiksel model kurulmuş ve farklı senaryolar üzerinde İHA üs yeri seçimi yapılmıştır.

### 6.1. İHA Değerlendirmesi ve Seçimi

Bir ülkenin modern teknolojilere sahip olması kadar bu teknolojileri doğru bir şekilde planlayıp kullanması da ülke savunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Planlama sonucu seçilecek olan teknolojinin stratejik bir karar olması ve önemli sonuçlar doğuracak

olmasından dolayı kullanılacak yöntemler iyi belirlenmelidir. Bu yüzden ÇKKV yöntemlerinin birçok kriter bazında alternatiflerin değerlendirilmesini sağladığı için uygun olacağı değerlendirilmiştir. Fakat burada da sadece bir yöntem yerine birden fazla yöntem ile oluşturulan sıralamalar sonucu seçimin yapılması çözümün doğruluğunu arttıracaktır. Tüm bu sebeplerden dolayı çalışmada 6 farklı yöntem ile sıralamalar belirlenmiştir. Sıralama yapılırken kullanılacak kriterlerin uzman görüşlerinden faydalanılarak belirlenmesi ve ağırlıklarının da yine bu konuda uzman kişiler tarafından oluşturulması çözümlerin tutarlılığı ve doğruluğu açısından elzemdir.

Kriterler belirlenirken ve değerlendirilmesi yapılırken 10 kişilik bir uzman kadronun görüşünden faydalanılmıştır. Bu kadrolar ile yapılan müşterek çalışmalar sonucu İHA seçimini etkileyen 8 kriter belirlenmiştir. Bunlar;

- **Faydalı Yük (K1):** Kapsama alanı içerisindeki herhangi bir noktada olan olaya müdahale etmeye giden İHA için taşıyabileceği faydalı yük kapasitesinin yüksek olması gerektiği değerlendirilmiştir. Faydalı yük kapasitesi fazla olan İHA üzerinden daha fazla mühimmat taşıyabilecektir. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.
- **Operasyonel İrtifa (K2):** İHA'nın görevini yerine getirirken oluşabilecek aksaklıklardan etkilenme oranını en aza indirmek için maksimum irtifası yerine operasyonel irtifasının kriter olarak belirlenmesinin daha doğru olacağı değerlendirilmiştir. Böylece İHA en az şekilde etkilendiği en yüksek irtifada görevini yapacaktır. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.
- **Haberleşme Menzili (K3):** İHA'nın gidebileceği maksimum mesafeyi belirleyeceği için önemli bir kriterdir. Yüksek menzile sahip İHA'lar daha fazla kapsama alanına sahip olacaktır. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.
- **Havada Kalış Süresi (K4):** İHA'nın üssüne geri dönmeden ne kadar süre boyunca görevini ifa edebileceğini belirlediğinden dolayı önemli bir kriter olduğu değerlendirilmiştir. Daha yüksek havada kalma süresine sahip olan İHA görev boyunca karşılaşılabilecek sorunlara karşı daha esnek yapıda olabilecektir. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.
- **Operasyonel Hız (K5):** İHA'nın görevini yerine getirirken daha fazla isabetli atış yapabilmesi için maksimum hızı yerine operasyonel hızının kriter olarak belirlenmesinin daha doğru olacağı değerlendirilmiştir. Böylece İHA'lar işaretleme ve tespiti daha doğru yaparak daha isabetli atışlar gerçekleştirecektir. Buna bağlı olarak görev başarısı da artacaktır. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.

➤ Muhabere Kabiliyeti (K6): İHA'nın yerdeki kontrolcüsüyle arasındaki bağlantının iyi sağlanması gereklidir. Bu yüzden muhabere kabiliyeti de İHA seçimi için önemli kriterlerden biridir. Yüksek muhabere kabiliyetine sahip İHA'lar tam olarak kendisini kumanda eden pilotun kontrolünde olacak ve ona daha iyi tepkiler verecektir. Dilsel değerler sahadaki personelin geçmişteki deneyimlerine dayalı olarak elde edilmiştir. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.

➤ Harekât Kabiliyeti (K7): Görevin sınırların korunması ve gerektiğinde müdahale edilmesi olduğu düşünüldüğünde harekât kabiliyeti belki de en önemli kriterdir. İHA'nın yapabildiği manevralar, sahip olduğu karıştırıcı sistemler vb. ile görevin başarılı bir şekilde ifasında büyük rol oynamaktadır. Dilsel değerler sahadaki personelin geçmişteki deneyimlerine dayalı olarak elde edilmiştir. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.

➤ Uçuş Öncesi Bakım Süresi (K8): Her an göreve hazır olmaları gerektiğinden havalanmadan önce gerçekleştirilmesi gereken bakım süresinin de önemli bir kriter olduğu değerlendirilmiştir. Böylece kısa bakım zamanına sahip olan İHA'lar ihtiyaç olduğu anda havalanıp kısa sürede görev sahalarına varacaklardır. Dilsel değerler sahadaki personelin geçmişteki deneyimlerine dayalı olarak elde edilmiştir. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.

Tüm bu kriterler bazında eldeki 9 İHA değerlendirildiğinde Çizelge 6.1 elde edilmiştir. Ulusal ve uluslararası güvenlik hususları göz önünde bulundurularak İHA isimleri kodlanmıştır. Ayrıca her alternatifin kriterler bazında aldığı değerler yapılacak olan seçimi etkilemeyecek derecede değiştirilmiştir.

Çizelge 6.1. İHA'ların kriterler bazında değerlendirilmesi

|      | K1<br>(kg) | K2<br>(feet) | K3<br>(km) | K4<br>(saat) | K5<br>(knot) | K6         | K7         | K8       |
|------|------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|------------|----------|
| İHA1 | 1350       | 30000        | 250        | 24           | 130          | Yüksek     | Çok Yüksek | Çok Uzun |
| İHA2 | 150        | 24000        | 150        | 27           | 70           | Yüksek     | Yüksek     | Uzun     |
| İHA3 | 5          | 9000         | 150        | 12           | 50           | Çok Yüksek | Çok Düşük  | Çok Kısa |
| İHA4 | 200        | 30000        | 200        | 24           | 75           | Yüksek     | Yüksek     | Orta     |
| İHA5 | 750        | 35000        | 200        | 24           | 135          | Çok Yüksek | Çok Yüksek | Uzun     |
| İHA6 | 70         | 22500        | 150        | 20           | 70           | Orta       | Orta       | Orta     |
| İHA7 | 470        | 35000        | 350        | 45           | 70           | Yüksek     | Orta       | Orta     |
| İHA8 | 64         | 25000        | 100        | 48           | 70           | Düşük      | Orta       | Kısa     |
| İHA9 | 25         | 10000        | 200        | 9            | 150          | Orta       | Düşük      | Çok Kısa |



Anket formundaki verilere bağlı kalınarak her bir uzman için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 6.3'te, anketi verilen uzmanın görüşlerine göre hazırlanan ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir.

Çizelge 6.3. Uzman 1 ikili karşılaştırma matrisi

|    | K1    | K2    | K3    | K4    | K5 | K6    | K7    | K8    |
|----|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|
| K1 | 1     | 3     | 5     | 6     | 8  | 2     | 0,333 | 4     |
| K2 | 0,333 | 1     | 3     | 4     | 4  | 1     | 0,200 | 3     |
| K3 | 0,200 | 0,333 | 1     | 2     | 4  | 0,500 | 0,143 | 0,500 |
| K4 | 0,166 | 0,250 | 0,500 | 1     | 5  | 0,250 | 0,166 | 0,250 |
| K5 | 0,125 | 0,250 | 0,250 | 0,200 | 1  | 0,250 | 0,125 | 0,250 |
| K6 | 0,500 | 1     | 2     | 4     | 4  | 1     | 0,200 | 2     |
| K7 | 3     | 5     | 7     | 6     | 8  | 5     | 1     | 7     |
| K8 | 0,250 | 0,333 | 2     | 4     | 4  | 0,500 | 0,143 | 1     |

10 ayrı uzman görüşü sonucunda elde edilen ikili karşılaştırma matrisi grup karar verme yöntemi ile birleştirilmiş ve Çizelge 6.4'teki ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 6.4. Grup karar verme ikili karşılaştırma matrisi

|    | K1    | K2    | K3    | K4    | K5 | K6    | K7    | K8    |
|----|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|
| K1 | 1     | 3     | 5     | 5     | 9  | 3     | 0,333 | 4     |
| K2 | 0,333 | 1     | 2     | 3     | 5  | 1     | 0,200 | 2     |
| K3 | 0,200 | 0,500 | 1     | 2     | 3  | 0,333 | 0,143 | 0,500 |
| K4 | 0,200 | 0,333 | 0,500 | 1     | 4  | 0,250 | 0,166 | 0,333 |
| K5 | 0,111 | 0,200 | 0,333 | 0,250 | 1  | 0,200 | 0,125 | 0,200 |
| K6 | 0,333 | 1     | 3     | 4     | 5  | 1     | 0,250 | 2     |
| K7 | 3     | 5     | 7     | 6     | 8  | 4     | 1     | 7     |
| K8 | 0,250 | 0,500 | 2     | 3     | 5  | 0,500 | 0,143 | 1     |
|    |       |       |       |       |    |       | CR    | 0,047 |

Nihai ikili karşılaştırma matrisinde Bölüm 4.3'te adımları gösterilen işlemlerin yapılmasının ardından Çizelge 6.5'te görülen kriter ağırlıkları elde edilmiştir.

Çizelge 6.5. Kriter ağırlıkları

| Kriterler | Ağırlıklar |
|-----------|------------|
| K1        | 0,223      |
| K2        | 0,099      |
| K3        | 0,051      |
| K4        | 0,043      |
| K5        | 0,022      |
| K6        | 0,113      |
| K7        | 0,374      |
| K8        | 0,075      |

### 6.1.2. ARAS yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi

Grup karar verme ile elde edilen kriter ağırlıkları ile Bölüm 4.4'te gösterilen ARAS yönteminin adımları uygulanmıştır. Yöntemin adımlarının sırasıyla uygulanması sonucu Çizelge 6.6'da verilen son matris ve değerlendirme verileri elde edilmiştir.

Çizelge 6.6. ARAS yöntemi son matris

|                  | K1     | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    | K8    | Si    | Ki    |
|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Optimal Değerler | 0,068  | 0,014 | 0,009 | 0,007 | 0,003 | 0,015 | 0,056 | 0,012 | 0,184 |       |
| İHA1             | 0,068  | 0,012 | 0,006 | 0,004 | 0,003 | 0,012 | 0,056 | 0,001 | 0,161 | 0,877 |
| İHA2             | 0,008  | 0,009 | 0,004 | 0,004 | 0,002 | 0,012 | 0,044 | 0,004 | 0,085 | 0,465 |
| İHA3             | 0,0002 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | 0,015 | 0,006 | 0,012 | 0,044 | 0,237 |
| İHA4             | 0,010  | 0,012 | 0,005 | 0,004 | 0,002 | 0,012 | 0,044 | 0,007 | 0,094 | 0,511 |
| İHA5             | 0,038  | 0,014 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,015 | 0,056 | 0,004 | 0,138 | 0,750 |
| İHA6             | 0,004  | 0,009 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,008 | 0,031 | 0,007 | 0,067 | 0,363 |
| İHA7             | 0,024  | 0,014 | 0,009 | 0,007 | 0,002 | 0,012 | 0,031 | 0,007 | 0,104 | 0,564 |
| İHA8             | 0,003  | 0,010 | 0,002 | 0,007 | 0,00  | 0,005 | 0,031 | 0,009 | 0,070 | 0,380 |
| İHA9             | 0,001  | 0,004 | 0,005 | 0,001 | 0,003 | 0,008 | 0,019 | 0,012 | 0,054 | 0,293 |

Elde edilen matristeki  $K_i$  değerleri büyükten küçüğe sıralanarak Çizelge 6.7'deki İHA sıralamaları elde edilmiştir.

Çizelge 6.7. ARAS yöntemi ile elde edilen sıralama

| Sıralama | İHA  |
|----------|------|
| 1        | İHA1 |
| 2        | İHA5 |
| 3        | İHA7 |
| 4        | İHA4 |
| 5        | İHA2 |
| 6        | İHA6 |
| 7        | İHA8 |
| 8        | İHA9 |
| 9        | İHA3 |

### 6.1.3. EDAS yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi

Grup karar verme ile elde edilen kriter ağırlıkları ile Bölüm 4.5'te sunulan EDAS yönteminin adımları uygulanmıştır. Yöntemin adımlarının sırasıyla uygulanması sonucu Çizelge 6.8'de verilen son tablo ve değerlendirme verileri elde edilmiştir.

Çizelge 6.8. EDAS yöntemi son tablo

|                 | İHA1  | İHA2  | İHA3  | İHA4  | İHA5  | İHA6  | İHA7  | İHA8  | İHA9  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NSP             | 1     | 0,107 | 0,119 | 0,134 | 0,636 | 0,004 | 0,229 | 0,043 | 0,090 |
| NSN             | 0,924 | 0,729 | 0,000 | 0,843 | 0,951 | 0,555 | 0,923 | 0,458 | 0,219 |
| AS <sub>i</sub> | 0,962 | 0,418 | 0,059 | 0,489 | 0,793 | 0,279 | 0,576 | 0,250 | 0,154 |

Elde edilen tablodaki AS<sub>i</sub> değerleri büyükten küçüğe sıralanarak Çizelge 6.9'daki İHA sıralamaları elde edilmiştir.

Çizelge 6.9. EDAS yöntemi ile elde edilen sıralama

| Sıralama | İHA  |
|----------|------|
| 1        | İHA1 |
| 2        | İHA5 |
| 3        | İHA7 |
| 4        | İHA4 |
| 5        | İHA2 |
| 6        | İHA6 |
| 7        | İHA8 |
| 8        | İHA9 |
| 9        | İHA3 |

#### 6.1.4. WASPAS yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi

Grup karar verme ile elde edilen kriter ağırlıkları ile Bölüm 4.6'da verilen WASPAS yönteminin adımları uygulanmıştır. Yöntemin adımlarının sırasıyla uygulanması sonucu Çizelge 6.10'da verilen son tablo ve değerlendirme verileri elde edilmiştir.

Çizelge 6.10. WASPAS yöntemi son tablo

| İHA  | Q <sub>i</sub> <sup>1</sup> | Q <sub>i</sub> <sup>2</sup> | Q <sub>i</sub> |
|------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| İHA1 | 0,855                       | 0,772                       | 0,813          |
| İHA2 | 0,538                       | 0,415                       | 0,477          |
| İHA3 | 0,296                       | 0,097                       | 0,196          |
| İHA4 | 0,573                       | 0,469                       | 0,521          |
| İHA5 | 0,791                       | 0,713                       | 0,752          |
| İHA6 | 0,411                       | 0,299                       | 0,355          |
| İHA7 | 0,589                       | 0,536                       | 0,562          |
| İHA8 | 0,420                       | 0,295                       | 0,357          |
| İHA9 | 0,354                       | 0,204                       | 0,279          |

Elde edilen tablodaki  $Q_i$  değerleri büyükten küçüğe sıralanarak Çizelge 6.11'deki İHA sıralamaları elde edilmiştir.

Çizelge 6.11. WASPAS yöntemi ile elde edilen sıralama

| Sıralama | İHA  |
|----------|------|
| 1        | İHA1 |
| 2        | İHA5 |
| 3        | İHA7 |
| 4        | İHA4 |
| 5        | İHA2 |
| 6        | İHA8 |
| 7        | İHA6 |
| 8        | İHA9 |
| 9        | İHA3 |

#### 6.1.5. MAUT yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi

Grup karar verme ile elde edilen kriter ağırlıkları ile Bölüm 4.7'de gösterilen MAUT yönteminin adımları uygulanmıştır. Yöntemin adımlarının sırasıyla uygulanması sonucu Çizelge 6.12'de verilen son matris ve değerlendirme verileri elde edilmiştir.

Çizelge 6.12. MAUT yöntemi son matris

|      | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    | K8    | $U_x$ |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| İHA1 | 0,223 | 0,047 | 0,017 | 0,011 | 0,009 | 0,038 | 0,374 | 0,000 | 0,719 |
| İHA2 | 0,024 | 0,034 | 0,006 | 0,014 | 0,002 | 0,038 | 0,224 | 0,015 | 0,356 |
| İHA3 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,002 | 0,000 | 0,113 | 0,000 | 0,075 | 0,196 |
| İHA4 | 0,032 | 0,047 | 0,011 | 0,011 | 0,003 | 0,038 | 0,224 | 0,030 | 0,397 |
| İHA5 | 0,123 | 0,099 | 0,011 | 0,011 | 0,009 | 0,113 | 0,374 | 0,015 | 0,756 |
| İHA6 | 0,011 | 0,030 | 0,006 | 0,008 | 0,002 | 0,019 | 0,150 | 0,030 | 0,256 |
| İHA7 | 0,076 | 0,099 | 0,051 | 0,027 | 0,002 | 0,038 | 0,150 | 0,030 | 0,473 |
| İHA8 | 0,010 | 0,036 | 0,000 | 0,043 | 0,002 | 0,000 | 0,150 | 0,045 | 0,286 |
| İHA9 | 0,003 | 0,002 | 0,011 | 0,000 | 0,022 | 0,019 | 0,075 | 0,075 | 0,207 |

Elde edilen tablodaki  $Q_i$  değerleri büyükten küçüğe sıralanarak Çizelge 6.13'teki İHA sıralamaları elde edilmiştir.

Çizelge 6.13. MAUT yöntemi ile elde edilen sıralama

| Sıralama | İHA  |
|----------|------|
| 1        | İHA5 |
| 2        | İHA1 |
| 3        | İHA7 |
| 4        | İHA4 |
| 5        | İHA2 |
| 6        | İHA8 |
| 7        | İHA6 |
| 8        | İHA9 |
| 9        | İHA3 |

#### 6.1.6. TOPSIS yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi

Grup karar verme ile elde edilen kriter ağırlıkları ile Bölüm 4.8'de sunulan TOPSIS yönteminin adımları uygulanmıştır. Yöntemin adımlarının sırasıyla uygulanması sonucu Çizelge 6.14'te verilen son tablo ve değerlendirme verileri elde edilmiştir.

Çizelge 6.14. TOPSIS yöntemi son tablo

|       | İHA1  | İHA2  | İHA3  | İHA4  | İHA5  | İHA6  | İHA7  | İHA8  | İHA9  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S+    | 0,288 | 0,427 | 0,440 | 0,421 | 0,363 | 0,430 | 0,377 | 0,431 | 0,435 |
| S-    | 0,261 | 0,146 | 0,048 | 0,147 | 0,213 | 0,103 | 0,129 | 0,101 | 0,061 |
| $C_i$ | 0,475 | 0,255 | 0,099 | 0,259 | 0,370 | 0,193 | 0,255 | 0,191 | 0,123 |

Elde edilen tablodaki  $C_i$  değerleri büyükten küçüğe sıralanarak Çizelge 6.15'teki İHA sıralamaları elde edilmiştir.

Çizelge 6.15. TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralama

| Sıralama | İHA  |
|----------|------|
| 1        | İHA1 |
| 2        | İHA5 |
| 3        | İHA4 |
| 4        | İHA2 |
| 5        | İHA7 |
| 6        | İHA6 |
| 7        | İHA8 |
| 8        | İHA9 |
| 9        | İHA3 |

### 6.1.7. VIKOR yöntemi ile sıralamanın elde edilmesi

Grup karar verme ile elde edilen kriter ağırlıkları ile Bölüm 4.9’da verilen VIKOR yönteminin adımları uygulanmıştır. Yöntemin adımlarının sırasıyla uygulanması sonucu Çizelge 6.16’da verilen son tablo ve değerlendirme verileri elde edilmiştir.

Çizelge 6.16. VIKOR yöntemi son tablo

| İHA  | $S_i$ | $R_i$ | $Q_i$ |
|------|-------|-------|-------|
| İHA1 | 0,204 | 0,075 | 0,000 |
| İHA5 | 0,216 | 0,099 | 0,051 |
| İHA7 | 0,429 | 0,187 | 0,376 |
| İHA4 | 0,452 | 0,191 | 0,402 |
| İHA2 | 0,510 | 0,199 | 0,464 |
| İHA6 | 0,649 | 0,212 | 0,603 |
| İHA8 | 0,676 | 0,213 | 0,628 |
| İHA9 | 0,744 | 0,281 | 0,798 |
| İHA3 | 0,798 | 0,374 | 1,000 |

Elde edilen tablodaki  $Q_i$  değerleri ile C1 ve C2 kümeleri oluşturulmuş ve Çizelge 6.17’deki sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 6.17. VIKOR yöntemi ile elde edilen sonuç

| C1               | C2             | Çözüm Kümesi |
|------------------|----------------|--------------|
| 0,051143789      | +              | İHA1, İHA5   |
| Koşul Sağlanmadı | Koşul Sağlandı |              |

### 6.1.8. Sıralamaların Değerlendirilmesi

Silahlı Kuvvetler envanterindeki 9 farklı İHA’nın 8 kriter bazında değerlendirildiği 6 farklı ÇKKV yöntemi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 6.18’de özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 6.18. Tüm yöntemlere göre elde edilen sıralamalar

| Sıralama | ARAS | EDAS | WASPAS | MAUT | TOPSIS | VIKOR |
|----------|------|------|--------|------|--------|-------|
| 1        | İHA1 | İHA1 | İHA1   | İHA5 | İHA1   | İHA1  |
| 2        | İHA5 | İHA5 | İHA5   | İHA1 | İHA5   | İHA5  |
| 3        | İHA7 | İHA7 | İHA7   | İHA7 | İHA4   |       |
| 4        | İHA4 | İHA4 | İHA4   | İHA4 | İHA2   |       |
| 5        | İHA2 | İHA2 | İHA2   | İHA2 | İHA7   |       |
| 6        | İHA6 | İHA6 | İHA8   | İHA8 | İHA6   |       |
| 7        | İHA8 | İHA8 | İHA6   | İHA6 | İHA8   |       |
| 8        | İHA9 | İHA9 | İHA9   | İHA9 | İHA9   |       |
| 9        | İHA3 | İHA3 | İHA3   | İHA3 | İHA3   |       |

Elde edilen sıralamalar incelendiği zaman İHA1'in 6 yöntemin 5'inde birinci sırada olduğu sadece 1 yöntemde ise ikinci sırada olduğu görülmektedir. İHA5'in 5 yöntemde ikinci sırada bir yöntemde ise birinci sırada olduğu bulunmuştur. İHA3 ise tüm yöntemler için son sırada yer almıştır. Sıralamalar dikkatli bir şekilde analiz edildiğinde tüm yöntemlerin birbirini desteklediği ve bulunan sonuçların tutarlı olduğu söylenebilir. Tüm İHA'lar için ilk üçe girdikleri sıralama sayılarını gösteren tablo Çizelge 6.19'da sunulmuştur.

Çizelge 6.19. İHA'ların sıralama sayıları

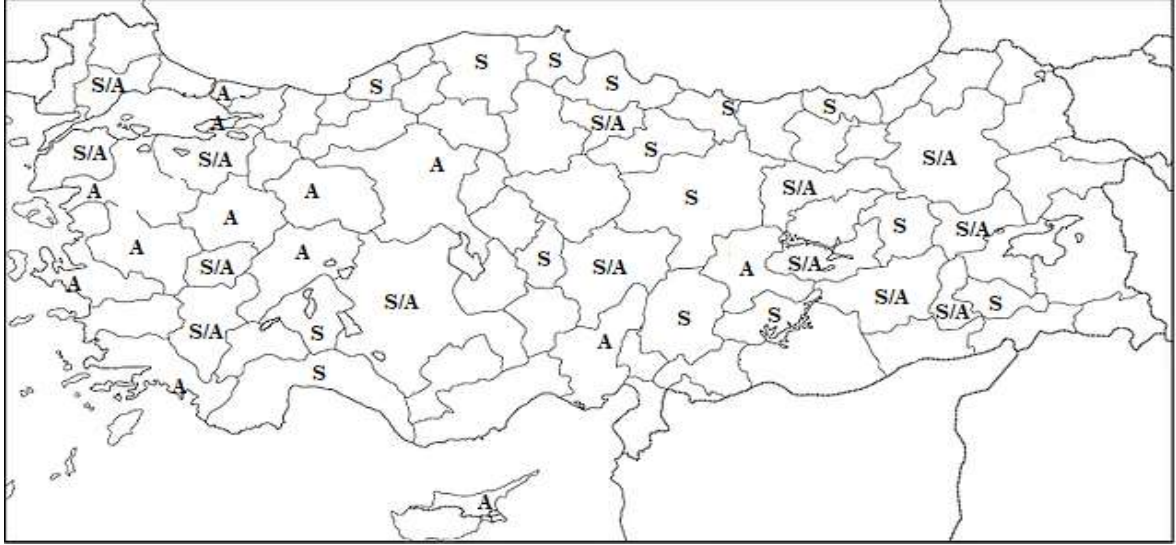
| İHA  | Birincilik Sayısı | İkincilik Sayısı | Üçüncülük Sayısı |
|------|-------------------|------------------|------------------|
| İHA1 | 5                 | 1                | 0                |
| İHA2 | 0                 | 0                | 0                |
| İHA3 | 0                 | 0                | 0                |
| İHA4 | 0                 | 0                | 1                |
| İHA5 | 1                 | 5                | 0                |
| İHA6 | 0                 | 0                | 0                |
| İHA7 | 0                 | 0                | 4                |
| İHA8 | 0                 | 0                | 0                |
| İHA9 | 0                 | 0                | 0                |

Çizelge 6.19'daki tabloya göre en fazla birincilik elde eden İHA1, en fazla ikincilik elde eden İHA5 ve en fazla üçüncülük elde eden İHA7 olmuştur. İleride kurulacak olan matematiksel modelde bu üç İHA tipi kullanılacaktır. Bu sıralamaya göre Silahlı Kuvvetlerin düzenleyeceği operasyonlarda yüksek görev ifa oranı için bu İHA'ların kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

## 6.2. Aday Üs Yerlerinin ve Talep Noktalarının Belirlenmesi

Bir devletin savunma mekanizmasını güçlendirmek için elindeki kaynakları doğru yerlerde kullanması gereklidir. Kaynakların nerelerde kullanılacağı ülkeler için son derece önemli bir karar olduğu için üzerinde yoğun şekilde çalışılması gereken bir konudur. İHA'ların nereye konuşlandırılacağı da verilmesi gereken stratejik kararlardan biridir. Aday üslerin belirlenmesi işlemi birçok kriterin bir arada değerlendirilmesini gerektirdiği için ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmesi uygun olacaktır. İHA değerlendirmesi aşamasında doğru ve tutarlı sonuçlar veren ARAS yönteminin, aday üsler belirlenirken de kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.





Şekil 6.5. Alternatif kümesindeki havalimanları

Alternatifler belirlendikten sonraki aşama, bu alternatiflerin değerlendirileceği kriterleri belirlemektir. Kriterleri belirlemek için uzmanlarla yapılan görüşmeler sonrası İHA üs yeri seçimini önemli derecede etkileyen 5 adet kriter olduğu değerlendirilmiştir. Bunlar;

- Havalimanı Türü (K1): Belirlenen 43 adet havalimanının sivil, askeri ve sivil/askeri amaçlı olmak üzere 3 türde olduğu görülmektedir. Bu türlerden askeri olanlara öncelik verilmesinin emniyet, güvenlik ve istihbarat gibi faktörler yönünden daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Askeri olanlara 9, askeri/sivil olanlara 7, sivil olanlara 5 değeri verilmiştir. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.
- En Yakın Denize Uzaklık (K2): Ülkenin savunma mekanizmasının tasarımının kara, hava ve deniz sınırları üçlüsünün ortak savunmasını içermesi gerektiğinden denize yakın yerlerde konuşlandırılacak üslerin daha fazla alanı kapsayacağı değerlendirilmiştir. Uzaklıklar kuş uçuşu mesafeler olarak CBS’de hesaplanmıştır. Minimize edilmek istenen bir kriterdir.
- İşletime Açık Olduğu Süre (K3): Herhangi bir güvenlik ihlali günün herhangi bir zamanında gerçekleşebileceği için üs olarak kullanılacak havalimanının işletime açık olduğu sürenin uzun olması istenmektedir. Veriler havalimanlarının sitelerinden elde edilmiştir. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.
- Coğrafi Puan (K4): İHA’nın haberleşme sistemleri ve görüş hattı coğrafi engellerden fazlaca etkilenmektedir. Bu yüzden üs olarak belirlenecek yerin engebeli ve çok fazla yer şekline sahip olmaması istenmektedir. Değerler CBS’de görüş analizi yapılarak elde edilmiştir. Maksimize edilmek istenen bir kriterdir.

➤ Trafik Yoğunluğu (K5): İHA'nın olası bir güvenlik ihlaline anında müdahale edebilmesi için bulunduğu üssün hava sahasının trafik yoğunluğunun az olmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Veriler havalimanlarının sitelerinden elde edilmiştir. O havalimanına inişlerin havalimanının olduğu hava sahasındaki toplam uçuşlara oranıdır. Minimize edilmek istenen bir kriterdir.

Belirlenen 43 aday üs tüm bu kriterler bazında değerlendirildiğinde Çizelge 6.20'deki karar matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 6.20. Aday üslerin kriterler bazında değerlendirilmesi

| Konum          | Havaalanı Adı              | K1 | K2 (km) | K3 (saat/gün) | K4 (0-100) | K5     |
|----------------|----------------------------|----|---------|---------------|------------|--------|
| Adana          | İncirlik Hava Üssü         | 9  | 30      | 24            | 78         | 0,0296 |
| Adıyaman       | Adıyaman Havalimanı        | 5  | 225     | 10            | 66         | 0,0014 |
| Afyonkarahisar | Afyon Havalimanı           | 9  | 210     | 24            | 64         | 0,0810 |
| Amasya         | Amasya Havalimanı          | 7  | 105     | 8             | 70         | 0,0019 |
| Ankara         | Mürted Hava Üssü           | 9  | 171     | 24            | 87         | 0,0726 |
| Antalya        | Gazipaşa Havalimanı        | 5  | 2,5     | 24            | 93         | 0,1617 |
| Balıkesir      | Bandırma Havalimanı        | 9  | 120     | 24            | 92         | 0,0163 |
| Batman         | Batman Havalimanı          | 7  | 340     | 12,5          | 65         | 0,0025 |
| Bingöl         | Bingöl Havalimanı          | 5  | 230     | 9             | 62         | 0,0011 |
| Bursa          | Bursa Yenişehir Havalimanı | 7  | 100     | 24            | 90         | 0,0044 |
| Çanakkale      | Çanakkale Havalimanı       | 7  | 2       | 24            | 95         | 0,0044 |
| Denizli        | Denizli Çardak Havalimanı  | 7  | 145     | 24            | 71         | 0,0046 |
| Diyarbakır     | Diyarbakır Havalimanı      | 7  | 330     | 24            | 82         | 0,0081 |
| Elâzığ         | Elâzığ Havalimanı          | 7  | 280     | 24            | 76         | 0,0049 |
| Erzincan       | Erzincan Havalimanı        | 7  | 175     | 24            | 61         | 0,0032 |
| Erzurum        | Erzurum Havalimanı         | 7  | 120     | 24            | 91         | 0,0051 |
| Eskişehir      | Eskişehir Hava Üssü        | 9  | 145     | 24            | 82         | 0,0047 |

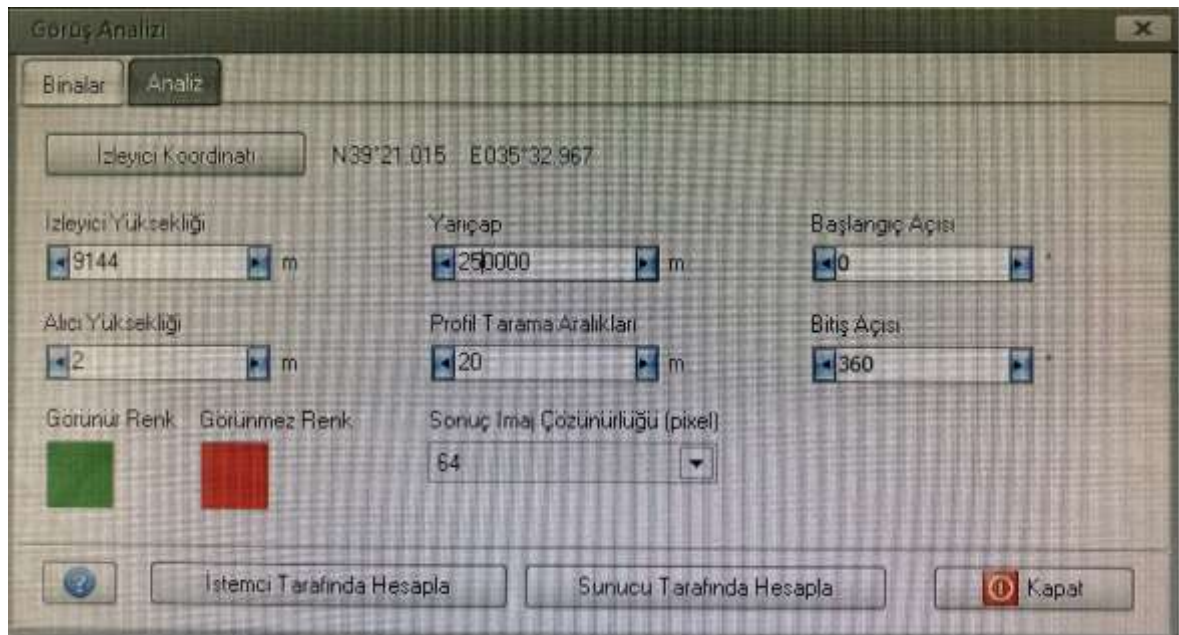
Çizelge 6.20. (devam) Aday üslerin kriterler bazında değerlendirilmesi

|               |                          |   |     |     |    |        |
|---------------|--------------------------|---|-----|-----|----|--------|
| Isparta       | Isparta Havalimanı       | 5 | 110 | 24  | 78 | 0,0173 |
| İstanbul      | Samandıra Hava Üssü      | 9 | 25  | 24  | 88 | 0,2327 |
| İzmir         | Çiğli Hava Üssü          | 9 | 8   | 24  | 94 | 0,0612 |
| Kahramanmaraş | Kahramanmaraş Havalimanı | 5 | 100 | 24  | 73 | 0,0016 |
| Kastamonu     | Kastamonu Havalimanı     | 5 | 75  | 8   | 70 | 0,0009 |
| Kayseri       | Erkilet Havalimanı       | 7 | 230 | 24  | 74 | 0,0112 |
| Kıbrıs        | Geçitkale Havalimanı     | 9 | 15  | 24  | 99 | 0,0002 |
| Kocaeli       | Cengiz Topel Havalimanı  | 7 | 45  | 24  | 92 | 0,0010 |
| Konya         | Konya Havalimanı         | 7 | 175 | 24  | 80 | 0,0058 |
| Kütahya       | Kütahya Hava Üssü        | 9 | 190 | 24  | 81 | 0,0810 |
| Malatya       | Malatya Tulga Havalimanı | 9 | 240 | 24  | 60 | 0,0039 |
| Manisa        | Akhisar Hava Üssü        | 9 | 70  | 24  | 72 | 0,0612 |
| Muğla         | İmsık Havalimanı         | 9 | 8   | 24  | 82 | 0,0326 |
| Muş           | Muş Havalimanı           | 7 | 240 | 9   | 77 | 0,0015 |
| Nevşehir      | Nevşehir Havalimanı      | 5 | 215 | 24  | 77 | 0,0086 |
| Ordu-Giresun  | Ordu-Giresun Havalimanı  | 5 | 4   | 24  | 70 | 0,0058 |
| Samsun        | Samsun Havalimanı        | 5 | 3   | 24  | 71 | 0,0110 |
| Siirt         | Siirt Havalimanı         | 5 | 380 | 8   | 60 | 0,0006 |
| Sinop         | Sinop Havalimanı         | 5 | 1   | 8,5 | 76 | 0,0012 |

Çizelge 6.20. (devam) Aday üslerin kriterler bazında değerlendirilmesi

|           |                           |   |     |     |    |        |
|-----------|---------------------------|---|-----|-----|----|--------|
| Sivas     | Sivas Havalimanı          | 5 | 145 | 24  | 72 | 0,0031 |
| Tekirdağ  | Tekirdağ Çorlu Havalimanı | 7 | 55  | 24  | 91 | 0,0215 |
| Tokat     | Tokat Havalimanı          | 5 | 130 | 8,5 | 70 | 0,0010 |
| Trabzon   | Trabzon Havalimanı        | 5 | 2   | 24  | 82 | 0,0190 |
| Uşak      | Uşak Havalimanı           | 7 | 230 | 9   | 71 | 0,0051 |
| Yalova    | Yalova Hava Üssü          | 9 | 2   | 24  | 94 | 0,0044 |
| Zonguldak | Zonguldak Havalimanı      | 5 | 12  | 24  | 95 | 0,0005 |

Alternatiflerin coğrafi puan değerleri belirlenirken bir CBS olan Harita Genel Komutanlığı'nın geliştirdiği Coğrafi Analiz Sistemi programı kullanılmıştır. Coğrafi Analiz Sistemi'nde her bir aday üs yeri için görüş analizi yapılmış ve bu analize göre puanlar belirlenmiştir. Şekil 6.6'da yerden 2 metre yükseklikteki alıcıya sahip 30000 feet (9144 km) irtifa ve 250 km'lik menzile sahip bir İHA için program ayarları ve Şekil 6.7'de Erzincan Havalimanı için gerçekleştirilen örnek bir görüş analizi görülmektedir. Daha fazla görüş analizi örneği EK-1'de sunulmuştur.



Şekil 6.6. Görüş analizi ön ayarları



Şekil 6.7. Erzincan havalimanı görüş analizi

Alternatiflerin değerlendirilmesi için belirlenen 5 kriter uzman kadro tarafından değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Değerlendirme yapılırken anket formatı kullanılmış ve buna bağlı olarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. 10 kişinin ayrı ayrı oluşturduğu bu ikili karşılaştırma matrisleri Bölüm 4.3'te adımları sunulan AHP yöntemindeki grup karar verme ile birleştirilmiş ve nihai kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Bir uzman için anket örneği Çizelge 6.21'de verilmiştir.

Çizelge 6.21. Uzman 1 anket formatı

[illegible]

Anket formundaki verilere bağlı kalınarak her bir uzman için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 6.22’de, anketi verilen uzmanın görüşlerine göre hazırlanan ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir. Her ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranının 0,10’ dan küçük olması sağlanmıştır.

Çizelge 6.22. Uzman 1 ikili karşılaştırma matrisi

| Kriterler | K1    | K2    | K3 | K4    | K5    |
|-----------|-------|-------|----|-------|-------|
| K1        | 1     | 4     | 5  | 3     | 4     |
| K2        | 0,250 | 1     | 2  | 0,200 | 1     |
| K3        | 0,200 | 0,500 | 1  | 0,166 | 0,200 |
| K4        | 0,333 | 5     | 6  | 1     | 3     |
| K5        | 0,250 | 1     | 5  | 0,333 | 1     |

10 ayrı uzman görüşü sonucunda elde edilen ikili karşılaştırma matrisi grup karar verme yöntemi ile birleştirilmiş ve Çizelge 6.23’teki ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 6.23. Grup karar verme ikili karşılaştırma matrisi

| Kriterler | K1    | K2    | K3 | K4    | K5    |
|-----------|-------|-------|----|-------|-------|
| K1        | 1     | 3     | 4  | 2     | 3     |
| K2        | 0,333 | 1     | 2  | 0,330 | 0,500 |
| K3        | 0,250 | 0,500 | 1  | 0,250 | 0,330 |
| K4        | 0,500 | 3     | 4  | 1     | 2     |
| K5        | 0,333 | 2     | 3  | 0,500 | 1     |
|           |       |       |    | CR    | 0,026 |

Elde edilen ikili karşılaştırma matrisinde gerekli işlemlerin yapılmasının ardından Çizelge 6.24’te görülen kriter ağırlıkları elde edilmiştir.

Çizelge 6.24. Kriter ağırlıkları

| Kriterler | Ağırlıklar |
|-----------|------------|
| K1        | 0,402      |
| K2        | 0,140      |
| K3        | 0,082      |
| K4        | 0,290      |
| K5        | 0,086      |

Aday üs yeri için belirlenen kriterlerin ağırlıkları ARAS yönteminde kullanılarak aday üs yerleri arasında sıralama elde edilmiştir. Aras yönteminde elde edilen son matris Çizelge 6.25’te gösterilmiştir.

Çizelge 6.25. ARAS yöntemi sonucu elde edilen son matris

| Havaalanı Adı         | Havaalanı türü | En Yakın Denize Uzaklık (km) | İşletime Açık Olduğu Süre (saat/gün) | Coğrafi Puan (100 üzerinden) | Trafik Yoğunluğu | Si    | Ki    |
|-----------------------|----------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------|-------|-------|
| Optimal Değerler      | 0,012          | 0,027                        | 0,002                                | 0,008                        | 0,016            | 0,065 |       |
| İncirlik Hava Üssü    | 0,012          | 0,001                        | 0,002                                | 0,007                        | 0,0001           | 0,022 | 0,330 |
| Adıyaman Havalimanı   | 0,007          | 0,0001                       | 0,001                                | 0,006                        | 0,003            | 0,016 | 0,241 |
| Afyon Havalimanı      | 0,012          | 0,0001                       | 0,002                                | 0,005                        | 0,00004          | 0,020 | 0,299 |
| Amasya Havalimanı     | 0,009          | 0,0003                       | 0,001                                | 0,006                        | 0,002            | 0,018 | 0,274 |
| Mürted Hava Üssü      | 0,012          | 0,0002                       | 0,002                                | 0,007                        | 0,00005          | 0,021 | 0,329 |
| Gazipaşa Havalimanı   | 0,007          | 0,011                        | 0,002                                | 0,008                        | 0,00002          | 0,027 | 0,420 |
| Bandırma Havalimanı   | 0,012          | 0,0002                       | 0,002                                | 0,008                        | 0,0002           | 0,022 | 0,339 |
| Batman Havalimanı     | 0,009          | 0,0001                       | 0,001                                | 0,005                        | 0,001            | 0,017 | 0,265 |
| Bingöl Havalimanı     | 0,007          | 0,0001                       | 0,001                                | 0,005                        | 0,003            | 0,016 | 0,245 |
| Bursa Havalimanı      | 0,009          | 0,0003                       | 0,002                                | 0,008                        | 0,001            | 0,020 | 0,306 |
| Çanakkale Havalimanı  | 0,009          | 0,014                        | 0,002                                | 0,008                        | 0,001            | 0,034 | 0,516 |
| Denizli Havalimanı    | 0,009          | 0,0002                       | 0,002                                | 0,006                        | 0,001            | 0,018 | 0,280 |
| Diyarbakır Havalimanı | 0,009          | 0,0001                       | 0,002                                | 0,007                        | 0,0004           | 0,019 | 0,287 |
| Elâzığ Havalimanı     | 0,009          | 0,0001                       | 0,002                                | 0,006                        | 0,001            | 0,019 | 0,284 |
| Erzincan Havalimanı   | 0,009          | 0,0002                       | 0,002                                | 0,005                        | 0,001            | 0,018 | 0,271 |
| Erzurum Havalimanı    | 0,009          | 0,0002                       | 0,002                                | 0,008                        | 0,001            | 0,020 | 0,305 |
| Eskişehir Hava Üssü   | 0,012          | 0,0002                       | 0,002                                | 0,007                        | 0,001            | 0,022 | 0,334 |
| Isparta Havalimanı    | 0,007          | 0,0002                       | 0,002                                | 0,007                        | 0,0002           | 0,016 | 0,241 |
| Samandıra Hava Üssü   | 0,012          | 0,001                        | 0,002                                | 0,007                        | 0,00002          | 0,022 | 0,344 |
| Çiğli Hava Üssü       | 0,012          | 0,003                        | 0,002                                | 0,008                        | 0,0001           | 0,025 | 0,388 |

Çizelge 6.25. (devam) ARAS yöntemi sonucu elde edilen son matris

|                          |       |        |       |       |         |       |       |
|--------------------------|-------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|
| Kahramanmaraş Havalimanı | 0,007 | 0,0003 | 0,002 | 0,006 | 0,002   | 0,017 | 0,265 |
| Kastamonu Havalimanı     | 0,007 | 0,0004 | 0,001 | 0,006 | 0,004   | 0,018 | 0,270 |
| Erkilet Havalimanı       | 0,009 | 0,0001 | 0,002 | 0,006 | 0,0003  | 0,018 | 0,276 |
| Geçitkale Havalimanı     | 0,012 | 0,002  | 0,002 | 0,008 | 0,016   | 0,040 | 0,612 |
| Cengiz Topel Havalimanı  | 0,009 | 0,001  | 0,002 | 0,008 | 0,004   | 0,023 | 0,357 |
| Konya Havalimanı         | 0,009 | 0,0002 | 0,002 | 0,007 | 0,001   | 0,019 | 0,288 |
| Kütahya Hava Üssü        | 0,012 | 0,0001 | 0,002 | 0,007 | 0,00004 | 0,021 | 0,321 |
| Malatya Tulga Havalimanı | 0,012 | 0,0001 | 0,002 | 0,005 | 0,001   | 0,020 | 0,307 |
| Akhisar Hava Üssü        | 0,012 | 0,0004 | 0,002 | 0,006 | 0,0001  | 0,020 | 0,314 |
| İmsik Havalimanı         | 0,012 | 0,003  | 0,002 | 0,007 | 0,0001  | 0,024 | 0,373 |
| Muş Havalimanı           | 0,009 | 0,0001 | 0,001 | 0,006 | 0,002   | 0,019 | 0,290 |
| Nevşehir Havalimanı      | 0,007 | 0,0001 | 0,002 | 0,006 | 0,0004  | 0,016 | 0,241 |
| Ordu-Giresun Havalimanı  | 0,007 | 0,007  | 0,002 | 0,006 | 0,001   | 0,022 | 0,337 |
| Samsun Havalimanı        | 0,007 | 0,009  | 0,002 | 0,006 | 0,0003  | 0,024 | 0,368 |
| Siirt Havalimanı         | 0,007 | 0,0001 | 0,001 | 0,005 | 0,006   | 0,018 | 0,275 |
| Sinop Havalimanı         | 0,007 | 0,027  | 0,001 | 0,006 | 0,003   | 0,044 | 0,669 |
| Sivas Havalimanı         | 0,007 | 0,000  | 0,002 | 0,006 | 0,001   | 0,016 | 0,246 |
| Tekirdağ Havalimanı      | 0,009 | 0,0005 | 0,002 | 0,008 | 0,0002  | 0,020 | 0,301 |
| Tokat Havalimanı         | 0,007 | 0,0002 | 0,001 | 0,006 | 0,004   | 0,017 | 0,261 |
| Trabzon Havalimanı       | 0,007 | 0,014  | 0,002 | 0,007 | 0,0002  | 0,029 | 0,449 |
| Uşak Havalimanı          | 0,009 | 0,0001 | 0,001 | 0,006 | 0,001   | 0,017 | 0,257 |
| Yalova Hava Üssü         | 0,012 | 0,014  | 0,002 | 0,008 | 0,001   | 0,036 | 0,555 |
| Zonguldak Havalimanı     | 0,007 | 0,002  | 0,002 | 0,008 | 0,007   | 0,026 | 0,404 |

Elde edilen son matristeki  $K_i$  değerleri büyükten küçüğe sıralandığında Çizelge 6.26'daki sıralama elde edilmiştir

Çizelge 6.26. Aday üs sıralaması

| Sıralama | Havalimanı Adı                      |
|----------|-------------------------------------|
| 1        | Sinop Havalimanı                    |
| 2        | Geçitkale Havalimanı                |
| 3        | Yalova Hava Üssü                    |
| 4        | Çanakkale Havalimanı                |
| 5        | Trabzon Havalimanı                  |
| 6        | Gazipaşa Havalimanı                 |
| 7        | Zonguldak Havalimanı                |
| 8        | Çiğli Hava Üssü                     |
| 9        | İmsık Havalimanı                    |
| 10       | Samsun Çarşamba Havalimanı          |
| 11       | Cengiz Topel Havalimanı             |
| 12       | Samandıra Hava Üssü                 |
| 13       | Bandırma Havalimanı                 |
| 14       | Ordu-Giresun Havalimanı             |
| 15       | Eskişehir Hava Üssü                 |
| 16       | İncirlik Hava Üssü                  |
| 17       | Mürted Hava Üssü                    |
| 18       | Kütahya Hava Üssü                   |
| 19       | Akhisar Hava Üssü                   |
| 20       | Malatya Tulga Havalimanı            |
| 21       | Bursa Yenişehir Havalimanı          |
| 22       | Erzurum Havalimanı                  |
| 23       | Tekirdağ Çorlu Havalimanı           |
| 24       | Afyon Havalimanı                    |
| 25       | Muş Havalimanı                      |
| 26       | Konya Havalimanı                    |
| 27       | Diyarbakır Havalimanı               |
| 28       | Elâzığ Havalimanı                   |
| 29       | Denizli Çardak Havalimanı           |
| 30       | Erkilet Havalimanı                  |
| 31       | Siirt Havalimanı                    |
| 32       | Amasya Merzifon Havalimanı          |
| 33       | Erzincan Havalimanı                 |
| 34       | Kastamonu Havalimanı                |
| 35       | Kahramanmaraş Havalimanı            |
| 36       | Batman Havalimanı                   |
| 37       | Tokat Havalimanı                    |
| 38       | Uşak Havalimanı                     |
| 39       | Sivas Nuri Demirağ Havalimanı       |
| 40       | Bingöl Havalimanı                   |
| 41       | Nevşehir Kapadokya Havalimanı       |
| 42       | Isparta Süleyman Demirel Havalimanı |
| 43       | Adıyaman Havalimanı                 |

ARAS yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen sıralamada ilk 30'da olan havalimanlarının matematiksel modelde kullanılmak üzere seçilmesinin doğru olacağı değerlendirilmiştir. Aday üs sayısının azaltılmasıyla hem İHA'ların konuşlandırılmasının uygun olmayacağı yerler elenmiş hem de kurulacak matematiksel modelin karmaşıklığı azaltılmıştır.

Aday üs yerleri belirlendikten sonra talep noktalarının belirlenmesi işlemine geçilmiştir. Amaç tam bir sınır güvenliği olduğu için kara sınırları, hava sınırları ve deniz yetki alanı sınırları ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Yapılan analiz sonucu deniz yetki alanı sınırlarını koruyan bir çözümün hava sınırlarını da koruyacağı görülmüş ve talep noktaları deniz yetki alanı sınırları ile kara sınırlarının her 100 km'lik uzunluklara ayrılması sonucu elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucu belirlenen 52 talep noktası Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Talep noktaları

Aday üsler ve talep noktaları belirlendikten sonra matematiksel modelin kurulduğu aşamaya geçilmiştir.

### 6.3. Matematiksel Modelin Kurulması ve Örnek Senaryolar

Uygulamanın son bölümünde doğrusal programlama ve hedef programlama modelleri kullanılarak 3 farklı senaryo üzerinde bu modeller yardımıyla çözüme ulaşılmıştır. Senaryo 1 ve 2’de problem sadece kapsama alanı modeli olarak düşünülürken, Senaryo 3’te maliyeti de dikkate alan iki amaçlı bir hedef programlama modeli kurulmuştur. Modellerde 30 aday üs yeri ve 52 hedef noktası kullanılmıştır. Bu noktalar Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Aday üs yerleri ve hedef noktaları

Senaryo 1 ve 2’de kurulan doğrusal programlama modelinde ilk aşamada yapılan seçimde birinci sırada yer alan İHA tek tip olarak kullanılmıştır. Amaç kapsanan talep noktalarının en büyüklenmesidir. Senaryo 1’de menzil, talep noktası, atama ve üs sayısı kısıtı kullanılırken Senaryo 2’de bunlara ek olarak coğrafi puan ve iklim puanı kısıtları da kullanılmıştır. Senaryo 3’te kurulan hedef programlama modelinde ise sadece kapsama aka İHA tipi üçe çıkarılmıştır ve ilk aşamada yapılan seçimde ilk üç sırada yer alan İHA’ların özellikleri kullanılmıştır. Amaç hedeflerden pozitif ve negatif sapmayı en küçükmektir. Senaryo 3’te menzil, talep noktası, atama ve üs sayısı kısıtlarının yanında kapsama hedefi kısıtı ve maliyet hedefi kısıtı eklenmiştir. 3 ayrı senaryo sonucu elde edilen çözümler karşılaştırılmış ve modelin tutarlılığı da bu esnada kontrol edilmiştir. Çizelge 6.27’de kurulan senaryolar ve içerikleri özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 6.27. Senaryo içerikleri

| Senaryo Adı | Model Türü              | İHA Tipi | Amaç Fonksiyonu                                        | Kısıtlar              |
|-------------|-------------------------|----------|--------------------------------------------------------|-----------------------|
| Senaryo 1   | Doğrusal<br>programlama | Tek tip  | Kapsanan hedef noktalarının en büyüklenmesi            | Menzil kısıtı         |
|             |                         |          |                                                        | Talep noktası kısıtı  |
|             |                         |          |                                                        | Atama kısıtı          |
|             |                         |          |                                                        | Üs sayısı kısıtı      |
| Senaryo 2   |                         |          | Kapsanan hedef noktalarının en büyüklenmesi            | Menzil kısıtı         |
|             |                         |          |                                                        | Talep noktası kısıtı  |
|             |                         |          |                                                        | Atama kısıtı          |
|             |                         |          |                                                        | Üs sayısı kısıtı      |
|             |                         |          |                                                        | Coğrafi puan kısıtı   |
| Senaryo 3   | Hedef<br>programlama    | Üç tip   | Hedeften pozitif ve negatif sapmaların en küçüklenmesi | İklim puanı kısıtı    |
|             |                         |          |                                                        | Menzil kısıtı         |
|             |                         |          |                                                        | Talep noktası kısıtı  |
|             |                         |          |                                                        | Atama kısıtı          |
|             |                         |          |                                                        | Üs sayısı kısıtı      |
|             |                         |          |                                                        | Kapsama hedefi kısıtı |
|             |                         |          |                                                        | Maliyet hedefi kısıtı |

### 6.3.1. Matematiksel modellerin varsayımları

Problemin çözümü için doğrusal programlama ve hedef programlama modelleri kurulurken bazı varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar aşağıda liste halinde sunulmuştur.

- Üs kurma, yer kontrol istasyonu kurulumu vb. maliyetler göz ardı edilmiştir.
- Her üsse sadece bir İHA konuşlandırılmıştır.
- Konuşlandırılması gereken İHA sayısı dolaylı olarak, üssün kapsadığı hedef nokta sayısına bağlı şekilde belirlenmiştir.
- Senaryo 2’de kurulacak İHA üslerinin ortalama coğrafi ve iklim puanlarının en az 65 olması gerektiği varsayılmıştır.
- Birinci ve ikinci tip İHA’ların yerli üretim, üçüncü tip İHA’nın ise yurtdışı tedarik olduğu bilindiği için temsili maliyetler kullanılmıştır.
- Uluslararası güvenlik kaygılarından dolayı gerçek veriler kullanılmamıştır. Kullanılan verilerin gerçek durumu modelleyebileceği varsayılmıştır.

### 6.3.2. Senaryo 1 ve Senaryo 2’nin matematiksel modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

Kurulan ilk iki senaryoda tek tip İHA ile kapsanan hedef noktalarının maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca uygun olarak aşağıdaki doğrusal programlama modeli kurulmuştur.

$$\max z = \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^{52} X_{ij} \quad (6.1)$$

s. t.

$$d_{ij}X_{ij} \leq 250 \quad i = 1, \dots, 30, \quad j = 1, \dots, 52 \quad (6.2)$$

$$\sum_{i=1}^{30} X_{ij} \leq 1 \quad j = 1, \dots, 52 \quad (6.3)$$

$$X_{ij} \leq y_i \quad i = 1, \dots, 30, \quad j = 1, \dots, 52 \quad (6.4)$$

$$\sum_{i=1}^{30} y_i = p \quad (6.5)$$

$$\sum_{i=1}^{30} c_i y_i \geq CP \sum_{i=1}^{30} y_i \quad (6.6)$$

$$\sum_{i=1}^{30} l_i y_i \geq IP \sum_{i=1}^{30} y_i \quad (6.7)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, \text{şayet } i. \text{ aday üsse yerleştirilen İHA } j' \text{ nci hedef noktasını kapsıyorsa} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, \text{şayet } i. \text{ aday üsse İHA atanmışsa} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$d_{ij}$  =  $i$ . aday üs ile  $j$ . hedef noktası arasındaki kuş uçuşu uzaklık

$p$  = Açılması istenen üs sayısı

$c_i$  =  $i$ . aday üssün sahip olduğu coğrafi puan değeri

$l_i$  =  $i$ . aday üssün sahip olduğu iklim puanı değeri

$CP$  = Coğrafi puan

$IP$  = İklim puanı

Bağıntı (6.1), amaç fonksiyonu olup kapsanan talep noktasını maksimize eder. Bağıntı (6.2), menzil kısıtıdır. Birinci İHA'nın menzil kapasitesi olan 250 değeri modelde kullanılmıştır.

Bağıntı (6.3), talep noktası kısıtıdır ve her hedef noktasının en fazla 1 aday üs yeri tarafından kapsanmasını sağlar. Böylelikle gereksiz üs yeri açmanın da önüne geçilir.

Bağıntı (6.4), atama kısıtıdır. Eğer  $j$  hedefi kapsanacaksa, kapsayacak olan noktalardan birine atama yapmayı zorunlu kılar.

Bağıntı (6.5), üs sayısı kısıtıdır.

Bağıntı (6.6), coğrafi puan kısıtıdır ve açılacak üslerin ortalama CP kadar coğrafi puana sahip olmasını sağlar. Senaryo 2'de kullanılmıştır.

Bağıntı (6.7), iklim puan kısıtıdır ve açılacak üslerin ortalama IP kadar iklim puanına sahip olmasını sağlar. Senaryo 2'de kullanılmıştır.

Senaryo 1 için kurulan matematiksel model GAMS programında kodlanmış ve ulaşılan çözümler Çizelge 6.28’de özet olarak sunulmuştur. GAMS kodu ve çözümü EK-2’de verilmiştir.

Çizelge 6.28. Senaryo 1 çözümleri

| Senaryo   | Üs sayısı | Amaç fonksiyonu değerleri | Açılan üsler                                                                                                                                                                   |
|-----------|-----------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senaryo 1 | p = 7     | z = 39                    | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>10 = Samsun Çarşamba<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>25 = Muş                                                      |
|           | p = 8     | z = 42                    | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>9 = Imsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>25 = Muş                                         |
|           | p = 9     | z = 43                    | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>9 = Imsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>16 = İncirlik<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>25 = Muş                        |
|           | p = 10    | z = 43                    | 2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>9 = Imsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>13 = Bandırma<br>16 = İncirlik<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>25 = Muş           |
| Senaryo 1 | p = 11    | z = 43                    | 1 = Sinop<br>2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>9 = Imsık<br>13 = Bandırma<br>14 = Ordu Giresun<br>16 = İncirlik<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>25 = Muş |

Ulaşılan çözümler incelendiğinde üs sayısının 9 ve daha fazla olduğu durumlarda kapsanan hedef noktasının maksimum değerine ulaştığı görülmektedir. Fazla üs kurmak daha fazla maliyete sebep olacağı için kapsanan hedef noktasının en büyük olduğu en az üs sayısının bu senaryo için en etkin çözüm olduğu değerlendirilmiştir. Senaryo 1'in çözümünün harita üzerinde gösterimi Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Senaryo 1 harita çözümü

Çözüm harita üzerinde incelendiğinde 18, 21, 22, 23, 38, 39, 40, 41, 42 numaralı hedef noktalarının kapsanmadığı görülmektedir. 18, 21, 22 ve 23. noktalar üs yerlerinden dolayı kapsanmaz iken diğer noktalar üs nereye kurulursa kurulsun İHA menzili olan 250 km'den uzakta oldukları için kapsanamamışlardır. İlerleyen senaryolar da bu durumları çözmeye yönelik yeni yaklaşımlar getirilecektir.

Senaryo 2'de ilk senaryoya ek olarak ortalama coğrafi puan ve ortalama iklim puanı kısıtları da ilave edilmiştir. Coğrafi puanlar, CAS'tan görüş analizi yapılarak elde edilirken, iklim puanları ise havalimanlarının olduğu bölgeye düşen yağmur oranına göre belirlenmiştir. Kurulan model GAMS programında kodlanmış ve Senaryo 2 için ulaşılan çözümler EK-3'te sunulmuştur. Ayrıca GAMS kodu ve çözümü EK-4'te verilmiştir.

Coğrafi puan ve iklim puanı ortalamalarının 65, 70 ve 75 olmasına göre Senaryo 2 farklı durumlarda çözülmüştür. EK-2'de sunulan tablodaki çözümler incelendiğinde üs sayısı aynı kaldığında coğrafi puan ve iklim puanı arttırılırsa kapsanan hedef noktalarının azaldığı

görülmektedir. Coğrafi puan ve iklim puanının ortalaması 65 olması istendiğinde en yüksek hedef noktasının kapsanması için en az 12 üs kurulmalıdır. Coğrafi puan ve iklim puanının ortalaması 70 olması istendiğinde ise en yüksek hedef noktasının kapsanması için en az 14 üs kurulmalıdır. Coğrafi puan ve iklim puanının 75 olması istendiği durumda en yüksek hedef noktası kapsamasına ulaşamamıştır. Bu durumda 14 üs kurulduğunda en fazla 40 hedef noktası kapsanmış üs sayısı artırıldığında ise kapsanan hedef noktası azalmaya başlamıştır. Coğrafi puan ve iklim puanı ortalamasının 75 olması istendiği durum için en fazla kapsanan hedef noktası sayısı 40 ancak 14 üs ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar analiz edildiğinde coğrafi puan ve iklim puanı ortalamasının yüksek olması istendiğinde kapsanan hedef noktasının azaldığı çünkü etkin çözümler arasında yer alan bazı havaalanlarının açılmadığı tespit edilmiştir.

### 6.3.3. Senaryo 3'ün matematiksel modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

Kurulan son senaryoda üç tip İHA ile kapsama alanı ve maliyet hedeflerinden sapmaların minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca uygun olarak aşağıdaki hedef programlama modeli kurulmuştur. Bu senaryoda temsili maliyetler de matematiksel modelde kullanılmıştır.

$$\min z = w_1 s_1^- + w_2 s_2^+ \quad (6.8)$$

s. t.

$$d_{ij} X_{ijk} \leq r_k \quad i = 1, \dots, 30. \quad j = 1, \dots, 52. \quad k = 1, \dots, 3. \quad (6.9)$$

$$\sum_{i=1}^{30} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} \leq 1 \quad j = 1, \dots, 52. \quad (6.10)$$

$$X_{ijk} \leq y_i \quad i = 1, \dots, 30. \quad j = 1, \dots, 52. \quad k = 1, \dots, 3. \quad (6.11)$$

$$\sum_{i=1}^{30} y_i = p \quad (6.12)$$

$$\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^{52} \sum_{k=1}^3 X_{ijk} + s_1^- - s_1^+ = 52 \quad (6.13)$$

$$\sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^{52} \sum_{k=1}^3 t_k X_{ijk} + s_2^- - s_2^+ = M \quad (6.14)$$

$$X_{ijk} = \begin{pmatrix} 1, \text{şayet } i. \text{ aday üsse yerleştirilen } k. \text{ tip İHA } j' \text{ nci hedef noktasını kapsıyorsa} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{pmatrix}$$

$$y_i = \begin{pmatrix} 1, \text{şayet } i. \text{ aday üsse İHA atanmışsa} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{pmatrix}$$

$$w_i = i. \text{ hedefin ağırlığı}$$

$$s_i^- = i. \text{ hedeften negatif sapma miktarı}$$

$$s_i^+ = i. \text{ hedeften pozitif sapma miktarı}$$

$$d_{ij} = i. \text{ aday üs ile } j. \text{ hedef noktası arasındaki kuş uçuşu uzaklık}$$

$r_k = k.$  İHA'nın menzili

$p =$  Açılması istenen üs sayısı

$M =$  Maliyet hedefi sağ taraf değeri

Bağıntı (6.8), Senaryo 3'ün amaç fonksiyonudur ve kapsanan hedef ile maliyet hedeflerinden sapma miktarlarını minimize eder.

Bağıntı (6.9), menzil kısıtıdır. İlk üç sıralamada yer alan İHA'ların menzil değerleri modelde kullanılmıştır.

Bağıntı (6.10), talep noktası kısıtıdır ve her hedef noktasının en fazla 1 aday üs yeri tarafından kapsanmasını sağlar. Böylelikle gereksiz üs yeri açmanın da önüne geçilir.

Bağıntı (6.11), atama kısıtıdır. Eğer  $j$  hedefi kapsanacaksa, kapsayacak olan noktalardan birine atama yapmayı zorunlu kılar.

Bağıntı (6.12), üs sayısı kısıtıdır.

Bağıntı (6.13), kapsama hedefi kısıtıdır. Her hedefin kapsanmasını sağlar.

Bağıntı (6.14), maliyet hedefi kısıtıdır. Eldeki bütçeyi en iyi şekilde kullanarak hedeflerin kapsanmasını sağlar.

Senaryo 1 ve Senaryo 2'de kullanılan tek tip İHA'nın menzil özelliğinden dolayı bazı hedef noktalarının kapsanamayacağı görülmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için İHA tipi sayısı arttırılmış ve sıralamada ilk üç sırada yer alan İHA'ların menzil özellikleri kullanılmıştır. İHA tipi sayısı arttıkça maliyette önemli bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü bu İHA'lardan ilk ikisi milli savunma sanayi imkanları ile üretilmekte üçüncü ve son tip İHA ise yurtdışından satın alınmaktadır. Birinci tip İHA'nın üretim maliyeti 3 pb, ikinci tip İHA'nın üretim maliyeti 1 pb ve üçüncü tip İHA'nın satın alma maliyeti 10 pb'dir. Kurulan hedef programlama modelinde de bu değerler kullanılmıştır. Hedeflerin hepsinin kapsanması istendiği için kapsama hedefine yüksek bir ağırlık değeri verilmiştir. Senaryo 1'in çözümünün maliyeti etkin çözüm 9 üs ile sağlandığından ve her üste 1 İHA olacağı varsayımından dolayı 27 pb olarak alınmış ve maliyet hedefi sağ taraf değeri olarak kullanılmıştır. Senaryo 3 için kurulan GAMS modeli sonucunda farklı durumlara göre farklı çözümlere ulaşılmış ve ulaşılan çözümler Çizelge 6.30'da özet olarak sunulmuştur. Ayrıca kurulan GAMS modeli ve çözümü EK-5'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.30. Senaryo 3 çözümleri

| Senaryo   | Üs sayısı | Kapsanan hedef noktası sayısı | Maliyet hedefinden pozitif sapma | Açılan üsler ve atanan İHA tipleri                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------|-----------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senaryo 3 | p = 6     | 52                            | 26                               | 1 = Sinop - 3.tip İHA<br>2 = Geçitkale - 3.tip İHA<br>9 = Imsık - 3.tip İHA<br>13 = Bandırma - 3.tip İHA<br>20 = Malatya Tulga - 1.tip İHA<br>25 = Muş - 3.tip İHA                                                                                                               |
|           | p = 7     | 52                            | 29                               | 2 = Geçitkale - 3.tip İHA<br>4 = Çanakkale - 1.tip İHA<br>7 = Zonguldak - 1.tip İHA<br>9 = Imsık - 3.tip İHA<br>10 = Samsun Çarşamba - 3.tip İHA<br>20 = Malatya Tulga - 3.tip İHA<br>25 = Muş - 3.tip İHA                                                                       |
|           | p = 8     | 52                            | 25                               | 2 = Geçitkale - 3.tip İHA<br>4 = Çanakkale - 1.tip İHA<br>7 = Zonguldak - 1.tip İHA<br>9 = Imsık - 3.tip İHA<br>10 = Samsun Çarşamba - 1.tip İHA<br>20 = Malatya Tulga - 1.tip İHA<br>22 = Erzurum - 3. tip İHA<br>25 = Muş - 3.tip İHA                                          |
|           | p = 9     | 52                            | 28                               | 2 = Geçitkale - 3.tip İHA<br>4 = Çanakkale - 1.tip İHA<br>7 = Zonguldak - 1.tip İHA<br>9 = Imsık - 3.tip İHA<br>10 = Samsun Çarşamba - 1.tip İHA<br>16 = İncirlik - 1.tip İHA<br>22 = Erzurum - 3. tip İHA<br>25 = Muş - 3.tip İHA<br>27 = Diyarbakır - 1.tip İHA                |
|           | p = 10    | 52                            | 31                               | 1 = Sinop - 1.tip İHA<br>2 = Geçitkale - 3.tip İHA<br>4 = Çanakkale - 1.tip İHA<br>5= Trabzon - 1.tip İHA<br>7 = Zonguldak - 1.tip İHA<br>9 = Imsık - 3.tip İHA<br>16 = İncirlik - 1.tip İHA<br>22 = Erzurum - 3. tip İHA<br>25 = Muş - 3.tip İHA<br>27 = Diyarbakır - 1.tip İHA |

Senaryo 3’te ulaşılan çözümler incelendiğinde en az 6 üs açılarak tüm hedef noktalarının kapsanabildiği görölmektedir. Fakat farklı üs sayısı açma durumlarına göre üslere atanan İHA tiplerinin değişmesinden dolayı maliyetten pozitif yöndeki sapma miktarlarının değiştiği gözlenmektedir. Maliyetten pozitif yönde sapmanın en küçük olduğu ve tüm hedef noktaların kapsandığı üs sayısının 8 olduğu çözüm en iyi çözüm olarak kabul edilmiştir. Ulaşılan çözümün harita üzerinde gösterimi şekil 6.11’de gösterilmiştir.



şekil 6.11. Senaryo 3 harita çözümlü

Çözüm haritada incelendiğinde tüm hedef noktalarının 8 üs yeri ile kapsandığı görölmektedir. Üs yerlerine birinci ve üçüncü tip İHA’lar yerleştirilirken ikinci tip İHA yerleştirilmemiştir. Bunun nedeninin birinci ve ikinci tip İHA arasındaki maliyet farkının az olmasına karşılık birinci tip İHA’nın menzilinin ikinciye göre daha iyi olmasının bir sonucu olduğu değerlendirilmiştir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile daha önce bir arada ele alınmamış bir problem sahasına yoğunlaşmıştır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve bu teknolojiyle üretilen askeri teçhizatların harekât ortamlarında yoğun olarak kullanılması ile birlikte bu sistemlerin seçimi ve planlanması önemli bir konu haline gelmiştir. Ülke kaynaklarından yüksek miktarlarda ayrılması gerektiğinden bu tür askeri teçhizatların doğru bir şekilde seçilip üretiminin veya alımının yapılması Silahlı Kuvvetlerin etkinliği ve caydırıcılığı için önemli bir konudur. Bu çalışmayla doğru silah sistemlerinin seçimi ve doğru yerlere konumlandırılarak sınır güvenliğinin sağlanması bir arada değerlendirilmiştir.

Ülkemiz üç tarafının denizlerle çevrili olması, Asya ve Avrupa'yı birbirine bağlaması ve birçok kaynağa olan yakınlığı gibi nedenlerle jeopolitik açıdan çok stratejik bir coğrafyadadır. Böylesine kritik bir coğrafyada bulunan ülkemiz için kara, hava ve deniz sınırlarının korunmasının ne kadar kritik bir konu olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Tüm bu sebeplerden dolayı bu tez çalışmasında bu problem sahası üzerine çalışılmıştır.

Literatürde İHA'lar ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde daha yoğun olarak rotalama problemleri üzerine araştırmalar yapıldığı görülmüş, İHA'ların konumlandırılacağı üs yerlerinin neresi olması gerektiğiyle ilgili çalışmaların kısıtlı olduğu tespit edilmiştir. Üs yeri belirleme ile ilgili yapılan çalışmaların da ya gerçek olmayan haritalar üretilerek ya da gerçek haritaların sadece bir kısmının kullanılarak ülkelerin belirli bölgelerinin korunması için gerçekleştirildiği sonucuna varılmıştır. Bu kapsamda, bu tez çalışmasında gerçek bir haritanın bütüncül olarak kullanılmasıyla var olan bir problem sahasına çözüm geliştirilmeye çalışılmıştır.

Var olan problemin çözümü için farklı disiplinlerarası teknikler kullanılmış ve ulaşılan çözümlerin doğruluğu ve tutarlılığının arttırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla İHA seçimi için 6 farklı ÇKKV yöntemi kullanılmış, aday üs yerleri ve talep noktalarının tayini için ÇKKV yöntemi olan ARAS yöntemi ile CBS entegre edilmiş ve üs yerlerinin tespiti için farklı senaryolar üzerinde doğrusal programlama ve hedef programlama modelleri kurulmuştur. Bu açıdan incelendiğinde yapılan tez çalışmasının, İHA üssü yer seçimi problemi için birçok bileşeni barındırmasıyla literatürde özgün çalışmalar kategorisine gireceği düşünülmektedir.

Ülke sınırlarının korunması probleminin çözümü için yapılan bu çalışmada birçok faktörün göz önüne alınması ve kompleks bir şekilde çözümünün yapılması nedeniyle bu yüksek lisans tezinin, özgün çalışmalar kategorisine gireceği düşünülmektedir. Ancak çalışma belirli varsayımlar altında yürütüldüğü için elde edilen bulgular bu varsayımlar altında geçerlidir. Farklı varsayımlar ile farklı sonuçlar elde edilebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

İlerleyen zamanlarda yapılacak çalışmalarda yeni üs yerlerinin değerlendirilmesini yapmak için üs yeri kurma maliyetlerinin de modele dâhil edilerek fayda maliyet analizleri yapılabileceği, savaş gemilerinin kullanımıyla birlikte hareketli üs yerlerinin çözüme etkilerinin araştırılabileceği, rotalama problemleri üzerine yoğunlaşarak stokastik hedefler oluşturulup İHA'ların hedeflere rotalamasının planlanabileceği ve bu tür problemlerin çözümü için sezgisel algoritmalar geliştirilebileceği, İHA teknolojisinin gelişmesiyle artan çeşitlilikten dolayı İHA'ların seçimi içinde farklı matematiksel modeller geliştirilebileceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aikens, C. H. (1985). Facility Location Models for Distribution Planning. *European Journal of Operational Research*, 22, 263-279.
- Akkuş, İ. (2009). *İnsansız uçaklarla Türkiye kara sınırları güvenliğinin sağlanmasında ana dağıtım üssü belirleme ve rotalama*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Arabani, A. and Farahani, R. Z. (2012). Facility Location Dynamics: An Overview of Classifications and Applications. *Computers and Industrial Engineering*, 62(1), 408-420.
- Austin, R. (2010). *Unmanned aircraft systems: UAVs design, development and deployment* (First Edition). United Kingdom: John Wiley & Sons, 127-143.
- Ayöperken, E., ve Ermiş, M. (2011). İnsansız hava araçları için üs konumlarının kapsama alanı problemi olarak modellenmesi ve eniyilenmesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 61-71.
- Caillouet, C., and Razafindralambo, T. (2017). *Efficient deployment of connected unmanned aerial vehicles for optimal target coverage*. Paper presented at the Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), France.
- İnternet: Center for Security Studies. The Military Utility of Drones. CSS. URL: [https://www.files.ethz.ch/isn/118844/CSS\\_Analysis\\_78.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/118844/CSS_Analysis_78.pdf), Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- Cheng, C. H. (1997). Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function. *European Journal of Operational Research*, 96(2), 343-350.
- Cheng, C. H., Yang, K. L., and Hwang, C. L. (1999). Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight. *European Journal of Operational Research*, 116(2), 423-435.
- Chin, W. J., and Yung Sern, V. C. (2009). Unmanned Aerial Vehicles: Development Trends & Technology Forecast. *Military Technology*, 33(2), 70-80.
- Church R.L. and ReVelle C.S. (1974). The Maximal Covering Location. *Papers of the Regional Science Association*, 32, 101-118.
- Clark, J. G. (2004). A snake's-eye view. *Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*, 3(10), 14-16.
- İnternet: Cole, C., Dobbing, M., and Hailwood, A. Convenient killing: Armed drones and the PlayStation mentality. *Fellowship of Reconciliation*. URL: <https://dronewarsuk.files.wordpress.com/2010/10/conv-killing-final.pdf>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.

- Cristóbal, J.R.S. (2012). Contractor Selection Using Multicriteria Decision-Making Methods. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(6), 751-758.
- Cui, J., Liu, Y., and Nallanathan, A. (2019). Multi-agent reinforcement learning-based resource allocation for UAV networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19(2), 729-743.
- Çarman, F., and Tuncer Şakar, C. (2019). An MCDM-integrated maximum coverage approach for positioning of military surveillance systems. *Journal of the Operational Research Society*, 70(1), 162-176.
- Dadelo, S., Turskis, Z., Zavadskas, E. K., and Dadelienė, R. (2012). Multiple criteria assessment of elite security personal on the basis of ARAS and expert methods. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 46(4), 65-88.
- Daskin M.S. (1979). A Maximum Expected Coverage Location Model: Formulation, Properties and Heuristic Solution, *Transportation Science*, 17, 48-70.
- Daskin, M. S. (1995). *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications*. New York: John Wiley and Sons, 1-28.
- Deal, W. F. (2005). Aviation insights: unmanned aerial vehicles. *Technology and Engineering Teacher*, 65(1), 14.
- İnternet: Department of Defense. Dictionary of military and associated terms. *DOD*. URL:<https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/dictionary.pdf>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- İnternet: Ehrhard, T. P. Air Force UAV's: The Secret History. *Mitchell Institute for Airpower Studies*. URL:<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a526045.pdf>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- Ercan, C. (2013). *Heterojen insansız hava sistemi filosu dinamik rota planlaması için karar destek sistemi*, Doktora Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- European civil unmanned air vehicle roadmap (2005), *Volume 3 – Strategic Research Agenda*.
- Farahani, R. Z., Steadieseifi, M. and Asgari, N. (2010). Multiple Criteria Facility Location Problems: A Survey. *Applied Mathematical Modelling*, 34(7), 1689-1709.
- Farahani, R. Z. and Hekmatfar, M. (2009). *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. New York: Springer, 219-220.
- Genç, T. (2015). Application of ELECTRE III and PROMETHEE II in evaluating the military tanks. *International Journal of Procurement Management*, 8(4), 457-475.
- İnternet: Gertler, J. US unmanned aerial systems. *Library of Congress Washington DC Congressional Research Service*. URL:<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA566235.pdf>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.

- Gregory, G. (1988). *Decision Analysis*, New York: Plenum Pres, 63-64.
- Guerriero, F., Surace, R., Loscri, V., and Natalizio, E. (2014). A multi-objective approach for unmanned aerial vehicle routing problem with soft time windows constraints. *Applied Mathematical Modelling*, 38(3), 839-852.
- Hamurcu, M., and Eren, T. (2020). Selection of Unmanned Aerial Vehicles by Using Multicriteria Decision-Making for Defence. *Journal of Mathematics*, Volume 2020.
- İnternet: Helmore, E. US Air Force prepares drones to end era of fighter pilots. *The UK Guardian*. URL:<https://www.theguardian.com/world/2009/aug/22/us-air-force-drones-pilots-afghanistan>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- Hwang, C.L. and Yoon, K. (1981) *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag, 58-65.
- İpek, M. Ç. (2019). *Bir İnsansız Hava Aracı Baz İstasyonunun Uçuş Dinamikleri Kısıtları Altında Konuşlandırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Jafarzadeh, J., and Valizadeh Kamran, K. (2018). Locating military bases with passive defense approach and using a combination of remote sensing and MCDM. *The Journal of Urban Planning and Research*, 9(32), 41-52
- İnternet: Joint Air Power Competence Centre. Strategic Concept of Employment: For Unmanned Aircraft Systems in NATO. JAPCC. URL: [http://www.japcc.org/wp-content/uploads/UAS\\_CONEMP.pdf](http://www.japcc.org/wp-content/uploads/UAS_CONEMP.pdf), Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- İnternet: Karaağaç, C. İHA Sistemleri Yol Haritası Geleceğin Hava Kuvvetleri: 2016-2050. *Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.* URL: <https://docplayer.biz.tr/15675496-Iha-sistemleri-yol-haritasi-gelecegin-hava-kuvvetleri-2016-2050-cengiz-karaagac.html>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., and Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.
- Klose, A. and Drexler, A. (2005). Facility Location Models for Distribution System Design. *European Journal of Operational Research*, 162(1), 4-29.
- Köse, E. (2003). *Türk silahlı kuvvetlerinde garnizon derecelendirme sistemine yönelik bir model önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Köse, E., Kabak, M., & Aylak, H. (2013). Grey theory based MCDM procedure for sniper selection problem, *Grey Systems: Theory and Application*, 3(1), 35-45.
- Kress M. and Royset J. (2007) *Aerial Search Optimization Model (ASOM) for UAVs in Special Operations*, Ph.D thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA.

- Kurban, Ö. F., ve Can, T. (2016). Acil istihbarat, gözetleme ve keşif ihtiyaçları için mini insansız hava araçlarının yer kontrol istasyonlarının seçimi. *Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi* 12(45), 35-59
- Kurtay, K.G. (2020). *Mühimmat geri dönüşüm problemi için CBS ile depo yeri seçimi ve birlik atama modeli*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Lashgari, S., Antuchevičienė, J., Delavari, A., and Kheirkhah, O. (2014). Using QSPM and WASPAS methods for determining outsourcing strategies. *Journal of Business Economics and Management*, 15(4), 729-743.
- Li H., Adeli H., Sun J., and Han J.G., (2011). Hybridizing Principles of TOPSIS with Case-Based Reasoning for Business Failure Prediction, *Computers and Operations Research*, 38(2), 409-419.
- Lin, K. P., and Hung, K. C. (2011). An efficient fuzzy weighted average algorithm for the military UAV selecting under group decision-making. *Knowledge-Based Systems*, 24(6), 877-889
- Lin M.C., Wang, C.C., Chen, M.S., and Chang, C.A., (2008). Using AHP And TOPSIS Approaches in Customer-Driven Product Design Proces, *Computers in Industry*, 59(1), 17-31.
- Løken, E. (2007). *Multi-Criteria Planning of Local Energy Systems with Multiple Energy Carriers*, Ph.D thesis, Norwegian University of Science and Technology Faculty of Information Technology, Norway.
- Macias, J. E., Angeloudis, P., and Ochieng, W. (2020). Optimal hub selection for rapid medical deliveries using unmanned aerial vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 110, 56-80.
- Madić, M., Gecevška, V., Radovanović, M. and Petković, D. (2014). Multi-criteria economic analysis of machining processes using the WASPAS method. *Journal of Production Engineering*, 17(2), 79-82.
- Mahadevan, P. (2010). The military utility of drones. *CSS Analyses in Security Policy*, 78, 1-3.
- Opricovic S. and Tzeng G.H., (2004). "Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS", *European Journal of Operational Research*, 156, 445-455.
- İnternet: Ministry of Defence. Current Terminology, Doctrine, and Classification. *UK MOD*. URL:[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/673940/doctrine\\_uk\\_uas\\_jdp\\_0\\_30\\_2.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/673940/doctrine_uk_uas_jdp_0_30_2.pdf), Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., and Nakazawa, D. (2010). *Autonomous flying robots: unmanned aerial vehicles and micro aerial vehicles*. Japan: Springer Science & Business Media, 1-29.

- İnternet: North Atlantic Treaty Organization. Glossary of terms and definitions (AAP-06). NATO. URL:[https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/Other\\_Pubs/aap6.pdf](https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/Other_Pubs/aap6.pdf), Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- Owen, S. H. and Daskin, M. S. (1998). Strategic Facility Location: A Review. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 423-447.
- Özge, İ. (2008). *İç güvenlikte kullanılacak insansız hava aracı seçiminde analitik hiyerarşi metodunun kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Pustam, A. R. (2002). "Unmanned Aerial Vehicles: Trends and Prospects", *Military Technology*, 26(11), 44-55.
- Rasmussen, S. (2009). *UAV Cooperative Decision and Control Challenges and Practical Approaches*, Ohio: Control Science Center of Excellence Miami Valley Aerospace LLC Wright-Patterson Air Force Base.
- Roland, D. (2003). Uninhabited Air Vehicles From Science to Reality. *Intelligence, Surveillance & Reconnaissance Journal*, 3, 16-21.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32(7), 841-855.
- Sánchez-Lozano, J. M. and Rodríguez, O. N. (2020). Application of Fuzzy Reference Ideal Method (FRIM) to the military advanced training aircraft selection. *Applied Soft Computing*, 88, 106061-106073.
- İnternet: Sanders, R. (2003). An Israeli military innovation: UAVs. *Mitchell Institute* URL:<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a526045.pdf>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- İnternet: Savunma Sanayi Müsteşarlığı. Türkiye insansız hava aracı sistemleri yol haritası (2011-2030). SSM. URL: [http://ercancinar.com/wpcontent/uploads/2017/10/SSM\\_IHA\\_Sistemleri\\_Yol\\_Haritası\\_2012.pdf](http://ercancinar.com/wpcontent/uploads/2017/10/SSM_IHA_Sistemleri_Yol_Haritası_2012.pdf), Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- Sennaroglu, B., and Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173.
- Silva, L. C., Daher, S. D. F. D., Santiago, K. T. M., and Costa, A. P. C. S. (2019). *Selection of an Integrated Security Area for locating a State Military Police Station based on MCDM/A method*. Paper presented at the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). Italy.
- Sliogeriene, J., Turskis, Z., and Streimikiene, D. (2013). Analysis and choice of energy generation technologies: The multiple criteria assessments on the case study of Lithuania. *Energy Procedia*, 32, 11-20.
- Şengül, T. (2016). *İnsansız hava aracı sistemleri için üs bölgesi yer seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

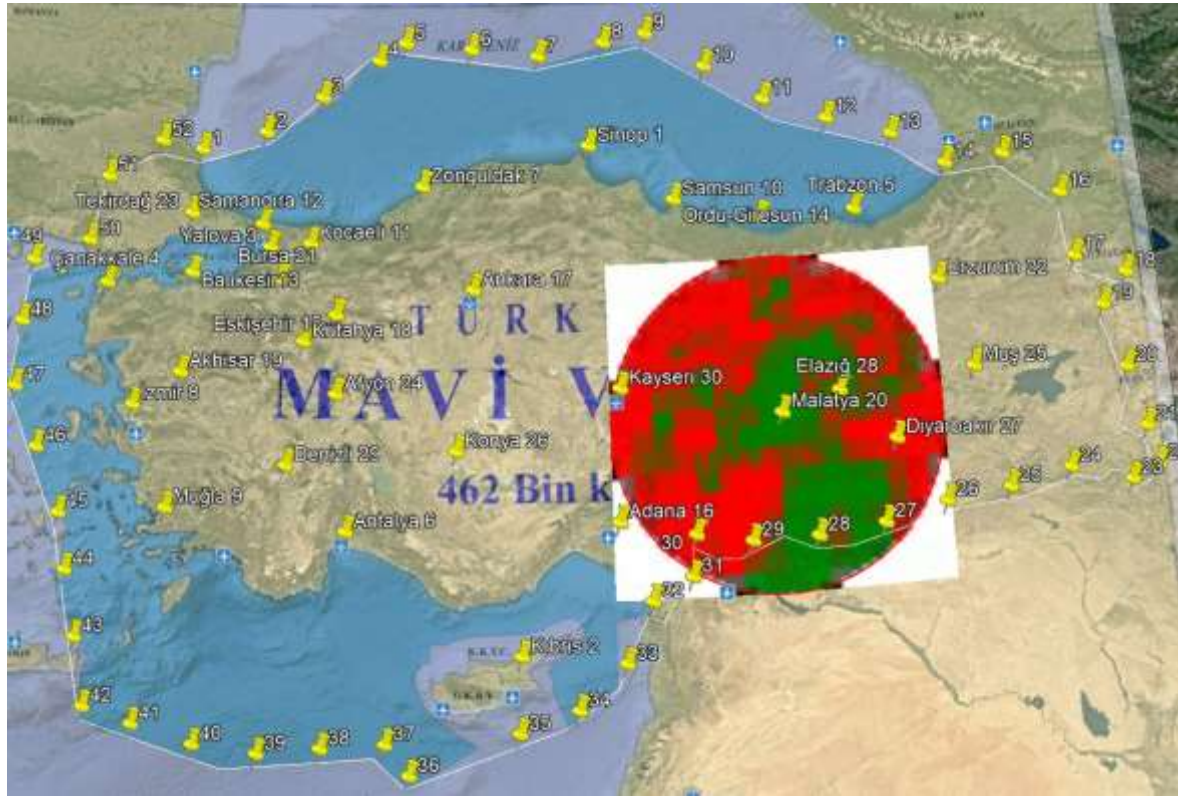
- Taban, C. (2019). *Deniz güvenliğinin sağlanması için bulanık çok kriterli karar verme teknikleri ile İHA yeri seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Tzeng, G.H. and Huang, J.J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*, United States of America: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 69-71.
- Uçakcioğlu, B., ve Tamer, E. (2017). Analitik hiyerarşi prosesi ve VIKOR yöntemleri ile hava savunma sanayisinde yatırım projesi seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2(2), 35-53.
- Ulucan, S. (2016). *Gri tabanlı insansız hava aracı seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- İnternet: U.S. Army UAS Center of Excellence. Eyes of the Army, U.S. Army roadmap for unmanned aircraft systems (2010-2035). (JUAS COE) URL: <https://fas.org/irp/program/collect/uas-army.pdf>, Son Erişim Tarihi: 28.06.2021.
- İnternet: Uyar, T. ANKA başarısı ve insansız hava araçları. Erişim adresi <http://www.tevfikuyar.com/2010/blog/mesleki-yazilar/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari.html>, Son Erişim Tarihi: 17.06.2021.
- Valavanis, K. P., (2007). *Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy*, Netherlands: Springer, 15-46.
- Wang, T. C., and Chang, T. H. (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870-880.
- Yakıcı, E. (2016). Generalization of a UAV location and routing problem by time windows. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 12(2), 67-78.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., and Vilutiene, T. (2010). Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(3), 123-141.
- Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Šaparauskas, J. and Zenonas Turskis, Z. (2013). Multicriteria assessment of facades' alternatives: peculiarities of ranking methodology. *Procedia Engineering*, 57, 107 – 112.
- Zavadskas, E.K., Baušys, R. and Lazauskas, M. (2015). Sustainable assessment of alternative sites for the construction of awaste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set. *Sustainability*, 7, 15923–15936.
- Zimmerman, H. J. (1991). *Fuzzy Set Theory - and It's Applications*. (Fourth Edition). Kluwer Academic Publishers, 213-260.
- Zolfani, S. H., Aghdaie, M. H., Derakhti, A., Zavadskas, E. K. and Varzandeh, M. H. M. (2013). Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert Systems with Applications*, 40(17), 7111-7121.



**EKLER**



# EK-1. (devam) Görüş analizi örnekleri



## Malatya Görüş Analizi



## Muğla Görüş Analizi

# EK-1. (devam) Görüş analizi örnekleri



## Yalova Görüş Analizi

## EK-2. Senaryo 1 GAMS Kodu ve Çözümü

Sets

i aday ana üs yerleri /1\*30/

j talep noktaları /1\*52/

k İHA tipleri /1/;

Alias (i,m);

Alias (j,n);

Sets

a(m) /1\*30/

b(n) /1\*52/;

Table d(i,j) i. aday ana üs ile j. talep noktası arası uzaklık

\$include C:\Users\AygünAltundas\Desktop\Tez\GAMS \diğ.txt

Parameter r(k) k. İHAnın menzili

/1 250/;

Variables z amaç fonksiyonu;

Binary Variables x(i,j) i. aday ana üs j. talep noktasını kapsıyorsa 1 dd 0

y(i) i.aday üs açılmışsa 1 dd 0;

Equations amacfonksiyonu Kapsanan talep noktalarını maximize eder

menzilkisiti(i,j) İHAnın menzil içerisinde kalmasını sağlar

talepnoktasikisiti(j) Her talep noktası 1 kere kapsansın

atamakisiti(i,j)

ussayi(j);

amacfonksiyonu.. z =E= sum ((i,j), x(i,j));

menzilkisiti(i,j)\$a(i).. d(i,j)\*x(i,j) =L= 250;

talepnoktasikisiti(j).. sum(i, x(i,j)) =L= 1;

atamakisiti(i,j)\$a(i).. x(i,j) =L= y(i);

ussayi(j).. sum(i, y(i)) =E= 8;

Model tez /all/;

Solve tez using mip maximizing z;

Display z.L, x.L, y.L;

## EK-2. (devam) Senaryo 1 GAMS Kodu ve Çözümü

```

----      82 VARIABLE z.L                      =      42.000   amaç fonksiyonu
----      82 VARIABLE x.L   i. aday ana üs j. talep noktasını kapsıyorsa 1 dd 0

          1          2          3          4          5          6
4      1.000
7          1.000      1.000      1.000      1.000      1.000
+          7          8          9          10         11         12
7      1.000
10         1.000      1.000      1.000      1.000      1.000
+          13         14         15         16         17         19
22      1.000      1.000      1.000      1.000
25                                     1.000      1.000
+          20         24         25         26         27         28
20                                     1.000      1.000
25      1.000      1.000      1.000      1.000
+          29         30         32         33         34         35
2          1.000      1.000      1.000      1.000      1.000      1.000
20      1.000      1.000
+          36         37         43         44         45         46
2          1.000      1.000
4
9          | 1.000      1.000      1.000
+          47         48         49         50         51         52
4      1.000      1.000      1.000      1.000      1.000      1.000

----      82 VARIABLE y.L   i.aday üs açılmışsa 1 dd 0
2  1.000,    4  1.000,    7  1.000,    9  1.000,    10 1.000,    20 1.000
22 1.000,    25 1.000

```

## EK-3. Senaryo 2 Çözümleri

| Senaryo   | Üs sayısı | Ortalama Puan      | Amaç fonksiyonu | Açılan üsler                                                                                                                                                                |
|-----------|-----------|--------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senaryo 2 | p = 9     | CP = 65<br>IP = 65 | z = 40          | 2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>10 = Samsun Çarşamba<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>28 = Elâzığ<br>30 = Kayseri Erkilet               |
|           |           | CP = 70<br>IP = 70 | z = 38          | 2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>10 = Samsun Çarşamba<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>26 = Konya<br>27 = Diyarbakır<br>30 = Kayseri Erkilet         |
|           |           | CP = 75<br>IP = 75 | z = 35          | 1 = Sinop<br>2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>15 = Eskişehir<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya                        |
| Senaryo 2 | p = 10    | CP = 65<br>IP = 65 | z = 42          | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>9 = Imsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya |

## EK-3. (devam) Senaryo 2 Çözümleri

|           |        |                    |        |                                                                                                                                                                                               |
|-----------|--------|--------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senaryo 2 | p = 10 | CP = 70<br>IP = 70 | z = 40 | 2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya                  |
|           |        | CP = 75<br>IP = 75 | z = 36 | 1 = Sinop<br>2 = Geçitkale<br>8 = Çiğli<br>15 = Eskişehir<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya                               |
|           | p = 11 | CP = 65<br>IP = 65 | z = 42 | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>9 = Imsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya |
|           |        | CP = 70<br>IP = 70 | z = 40 | 2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya   |

## EK-3. (devam) Senaryo 2 Çözümleri

|           |        |                    |        |                                                                                                                                                                                                                |
|-----------|--------|--------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senaryo 2 | p = 11 | CP = 75<br>IP = 75 | z = 37 | 2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>26 = Konya<br>28 = Elâzığ<br>30 = Kayseri Erkilet        |
|           | p = 12 | CP = 65<br>IP = 65 | z = 43 | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>9 = Imsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>16 = İncirlik<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya |
|           | p = 12 | CP = 70<br>IP = 70 | z = 42 | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>9 = Imsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya   |

## EK-3. (devam) Senaryo 2 Çözümleri

|           |        |                    |        |                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------|--------|--------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senaryo 2 | p = 12 | CP = 75<br>IP = 75 | z = 38 | 2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>26 = Konya<br>27 = Diyarbakır<br>30 = Kayseri Erkilet             |
|           | p = 13 | CP = 70<br>IP = 70 | z = 42 | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>9 = Imsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya<br>30 = Kayseri Erkilet   |
|           | p = 13 | CP = 75<br>IP = 75 | z = 39 | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya<br>28 = Elâzığ<br>30 = Kayseri Erkilet |

## EK-3. (devam) Senaryo 2 Çözümleri

|           |        |                    |        |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------|--------|--------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senaryo 2 | p = 14 | CP = 70<br>IP = 70 | z = 43 | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>9 = İmsık<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>16 = İncirlik<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>25 = Muş<br>26 = Konya<br>30 = Kayseri Erkilet                   |
|           |        | CP = 75<br>IP = 75 | z = 40 | 2 = Geçitkale<br>7 = Zonguldak<br>8 = Çiğli<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>24 = Afyon<br>25 = Muş<br>26 = Konya<br>28 = Elâzığ<br>30 = Kayseri Erkilet                        |
|           | p = 15 | CP = 75<br>IP = 75 | z = 39 | 2 = Geçitkale<br>4 = Çanakkale<br>7 = Zonguldak<br>10 = Samsun Çarşamba<br>15 = Eskişehir<br>17 = Mürted<br>20 = Malatya Tulga<br>22 = Erzurum<br>23 = Tekirdağ Çorlu<br>24 = Afyon<br>25 = Muş<br>26 = Konya<br>27 = Diyarbakır<br>28 = Elâzığ<br>30 = Kayseri Erkilet |

#### EK-4. Senaryo 2 GAMS Kodu ve Çözümü

Sets

i aday ana üs yerleri /1\*30/

j talep noktaları /1\*52/

k İHA tipleri /1/;

Sets

a(m) /1\*30/

b(n) /1\*52/;

Table d(i,j) i. aday ana üs ile j. talep noktası arası uzaklık

\$include C:\Users\AygünAltundas\Desktop\Tez\GAMS\diş.txt

Parameter c(i) i. aday üssün coğrafi puanı

\$include C:\Users\AygünAltundas\Desktop\Tez\GAMS\ci.txt

Parameter l(i)

\$include C:\Users\AygünAltundas\Desktop\Tez\GAMS\li.txt

Parameter r(k) k. İHANın menzili

/1 250/;

Variables z amaç fonksiyonu;

Binary Variables x(i,j) i. aday ana üs j. talep noktasını kapsıyorsa 1 dd 0

y(i) i.aday üs açılmışsa 1 dd 0;

Equations amacfonksiyonu Kapsanan talep noktalarını maximize eder

menzilkisiti İHANın menzil içerisinde kalmasını sağlar

talepnoktasikisiti Her talep noktası 1 kere kapsansın

atamakisiti j talep noktası i üssü tarafından kapsanıyorsa değeri almasını sağlar

ussayi açılması istenen üs sayısı

cografi coğrafi puan kısıtı

iklim iklim puan kısıtı;

amacfonksiyonu.. z =E= sum ((i,j), x(i,j));

menzilkisiti(i,j)\$a(i).. d(i,j)\*x(i,j) =L= H;

talepnoktasikisiti(j).. sum(i, x(i,j)) =L= 1;

atamakisiti(i,j)\$a(i).. x(i,j) =L= y(i);

ussayi(j).. sum(i, y(i)) =E= 15;

cografi(j).. sum(i, c(i)\*y(i)) =G= 75\*sum(i,y(i));

iklim(j).. sum(i, l(i)\*y(i)) =G= 75\*sum(i,y(i));

Model tez /all/;

Solve tez using mip maximizing z;

Display z.L, x.L, y.L;

## EK-4. (devam) Senaryo 2 GAMS Kodu ve Çözümü

```

---- 156 VARIABLE z.L                      =      39.000  amaç fonksiyonu

---- 156 VARIABLE x.L  i. aday ana üs j. talep noktasını kapsıyorsa 1 dd 0

      1      2      3      4      5      6

7      1.000      1.000      1.000
23     1.000      1.000      1.000

+      7      8      9      10     11     12

7      1.000
10     1.000      1.000      1.000      1.000      1.000

+      13     14     15     16     17     19

22     1.000      1.000      1.000      1.000      1.000      1.000

+      20     24     25     26     27     28

20     1.000
25     1.000      1.000      1.000      1.000      1.000      1.000

+      29     30     32     33     34     35

2      1.000
20     1.000      1.000      1.000      1.000      1.000      1.000

+      36     37     46     47     48     49

2      1.000      1.000
4      1.000
23     1.000      1.000      1.000      1.000      1.000

+      50     51     52

4      1.000
23     1.000      1.000

---- 156 VARIABLE y.L  i.aday üs açılmışsa 1 dd 0

2 1.000,  4 1.000,  7 1.000,  10 1.000,  15 1.000,  17 1.000
20 1.000,  22 1.000,  23 1.000,  24 1.000,  25 1.000,  26 1.000
27 1.000,  28 1.000,  30 1.000

```

### EK-5. Senaryo 3 GAMS Kodu ve Çözümü

Sets

i aday ana üs yerleri /1\*30/

j talep noktaları /1\*52/

k İHA tipleri /1\*3/;

a(m) /1\*30/

b(n) /1\*52/

f(l) /1\*3/;

Table d(i,j) i. aday ana üs ile j. talep noktası arası uzaklık

\$include C:\Users\AygünAltundas\Desktop\Tez\GAMS\diş.txt

Parameter u(i)

\$include C:\Users\AygünAltundas\Desktop\Tez\GAMS\ui.txt

Parameter r(k) k. İHANın menzili

/1 250, 2 200, 3 350/;

Parameter t(k) k. İHANın maliyeti

/1 3,2 1,3 10/;

Variables z amaç fonksiyonu;

Binary Variables x(i,j,k) i. aday ana üs j. talep noktasını kapsıyorsa 1 dd 0

y(i) i.aday üs açılmışsa 1 dd 0;

Positive Variables s1e,s1a,s2e,s2a;

Equations amacfonksiyonu Kapsanan talep noktalarını maximize eder

menzilkisiti(i,j,k) İHANın menzil içerisinde kalmasını sağlar

talepnoktasikisiti(j) Her talep noktası 1 kere kapsansın

atamakisiti(i,j,k)

maliyethedefi

kapsamahedefi

amacfonksiyonu.. z =E= 100\*s1e+s2a;

menzilkisiti(i,j,k)\$a(i).. d(i,j)\*x(i,j,k) =L= r(k);

talepnoktasikisiti(j).. sum((i,k), x(i,j,k)) =L= 1;

atamakisiti(i,j,k)\$a(i).. x(i,j,k) =L= y(i);

ussayi.. sum(i, y(i)) =E= 7;

kapsamahedefi..sum ((i,j,k), x(i,j,k))+s1e-s1a =E= 52;

maliyethedefi.. sum((i,j,k), t(k)\*x(i,j,k))+s2e-s2a =E= 27;

Model tez /all/;

Solve tez using mip minimizing z;

Display z.L, x.L, y.L, s1e.L, s2a.L;

## EK-5. (devam) Senaryo 3 GAMS Kodu ve Çözümü

```

----      101 VARIABLE z.L                      =          29.000   amaç fonksiyonu

----      101 VARIABLE x.L   i. aday ana üs j. talep noktasını kapsıyorsa 1 dd 0

                1                2                3

2 .31                      1.000
2 .32                      1.000
2 .33                      1.000
2 .34                      1.000
2 .35                      1.000
2 .36                      1.000
2 .37                      1.000
2 .38                      1.000
4 .1          1.000
4 .46          1.000
4 .47          1.000
4 .48          1.000
4 .49          1.000
4 .50          1.000
4 .51          1.000
4 .52          1.000
7 .2          1.000
7 .3          1.000
7 .4          1.000
7 .5          1.000
7 .6          1.000
7 .7          1.000
9 .39                      1.000
9 .40                      1.000
9 .41                      1.000
9 .42                      1.000
9 .43                      1.000
9 .44                      1.000
9 .45                      1.000
10.8                      1.000
10.9                      1.000
10.10                     1.000
10.11                     1.000
10.12                     1.000
10.13                     1.000
20.27                     1.000
20.28                     1.000
20.29                     1.000
20.30                     1.000
25.14                     1.000
25.15                     1.000
25.16                     1.000
25.17                     1.000
25.18                     1.000
25.19                     1.000
25.20                     1.000
25.21                     1.000
25.22                     1.000
25.23                     1.000
25.24                     1.000
25.25                     1.000
25.26                     1.000

----      101 VARIABLE y.L   i.aday üs açılmışsa 1 dd 0

2  1.000,      4  1.000,      7  1.000,      9  1.000,      10 1.000,      20 1.000
25 1.000

|----      101 VARIABLE sle.L                      =          0.000
          VARIABLE s2a.L                      =          29.000

```

## EK-5. (devam) Senaryo 3 GAMS Kodu ve Çözümü

```
----- 101 VARIABLE y.L 1.aday üs açılmışsa 1 dd 0
```

```
2 1.000, 4 1.000, 7 1.000, 9 1.000, 10 1.000, 20 1.000
25 1.000
```

```
----- 101 VARIABLE sle.L = 0.000
        VARIABLE s2a.L = 29.000
```



*GAZİ GELECEKTİR..*