



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ARALIK DEĞERLİ Q SEVİYELİ BULANIK
KÜME TEMELLİ MAIRCA YÖNTEMİNİ
KULLANARAK İNSANSIZ HAVA ARACI
SEÇİMİ**

Burak YELBEY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARALIK DEĞERLİ Q SEVİYELİ BULANIK KÜME TEMELLİ MAIRCA YÖNTEMİNİ KULLANARAK İNSANSIZ HAVA ARACI SEÇİMİ

Burak YELBEY

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Burak EFE

2023, 63 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Doç. Dr. Burak EFE

Doç. Dr. Hasan ŞAHİN

İnsansız hava araçları (İHA) üzerine yapılan çalışmaların çoğalması ile birlikte günümüz dünyasında son derece önemli bir yer edinmiştir. Yapılan bu çalışmalar ile birlikte İHA'ların kazanımları ve avantajları göz önünde bulundurulduğunda İHA sistemleri geliştirilmiş ve bu gelişim günümüzde halen devam etmektedir. Bu çalışmalar doğrultusunda hava sistemleri açısından maliyetler düşürülmüş ve teknoloji daha kolay ulaşılabilir hale getirilmiştir. Maliyetlerin yanı sıra insan hayatının önemi mukayese edilmeksizin, insansız hava araçları ile personel hayatı riske edilmeden görevlerin ifa edilmesi en önemli etken olarak göze çarpmaktadır. Ayrıca ülke sınırlarının korunması, terör faaliyetlerine müdahale edilmesi, istihbarat toplanması vb. birçok faaliyeti başarı ile gerçekleştiren İHA sistemleri daha da kritik bir hal almaktadır. Tüm bu avantajlar ile beraber kullanılacak İHA'ların seçiminin bilimsel metotlarla yapılması son derece önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında İHA'ların tanımları, terihçesi ve sınıflandırması konularına değinilmiştir. 4 İHA alternatifini 10 kriter temelinde değerlendirmek için aralık değerli q seviyeli bulanık küme temelli MAIRCA yöntemi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aralık değerli q seviyeli bulanık kümeler, Mairca Yöntemi, İnsansız hava aracı, Çok kriterli karar verme.

ABSTRACT

MS THESIS

UNMANNED AERIAL VEHICLE SELECTION USING INTERVAL-VALUED Q-RUNG ORTHOPAIR FUZZY SET BASED MAIRCA METHOD

Burak YELBEY

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Burak EFE

2023, 63 Pages

Jury

Prof Dr. Mehmet AKTAN

Assoc. Prof. Dr. Burak EFE

Assoc. Prof. Dr. Hasan ŞAHİN

Unmanned aerial vehicles (UAV) have gained an extremely important place in today's world with the proliferation of studies on them. Considering the gains and advantages of UAVs with these studies, UAV systems have been developed and this development still continues today. In line with these studies, costs have been reduced in terms of air systems and the technology has been made more accessible. In addition to the costs, without comparing the importance of human life, the most important factor is the performance of the tasks without risking the life of the personnel with unmanned aerial vehicles. In addition, the protection of the country's borders, intervention in terrorist activities, intelligence gathering, etc. UAV systems, which successfully perform many activities, become even more critical. With all these advantages, it is extremely important to select the UAVs to be used with scientific methods. In this thesis, the definitions, history and classification of UAVs are discussed. In order to evaluate 4 UAV alternatives on the basis of 10 criteria, MAIRCA method based on interval valued q-level fuzzy set is proposed.

Keywords: Interval valued q-rung orthopair fuzzy method, Mairca, Unmanned aerial vehicle, Multi-criteria decision making

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, her konuda bana yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Burak EFE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Görev yapmakta olduğum Milli Savunma Üniversitesi Kara Harp Okulu Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölümü personeli olan sayın komutanlarımdan Serkan ERDOĞMUŞ, Kemal Gürol KURTAY, Hakan Ayhan DAĞISTANLI ve Recep Semih TOPAKLI'ya süreç boyunca motivasyonumu yüksek tutarak verdikleri desteklerden dolayı hepsine ayrı ayrı teşekkürlerimi borç bilirim.

Benim bu günlere gelmemde emekleri geçen ve en büyük destekçim olan YELBEY ailesine teşekkür ederim.

Burak YELBEY
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İnsansız Hava Araçlarının Tanımları	3
1.2. İHA Bileşenleri.....	4
1.2.1. Hava Aracı.....	5
1.2.2. Faydalı Yük	6
1.2.3. İnsan Unsuru.....	6
1.2.4. Komuta Kontrol (Kontrol İstasyonu)	7
1.2.5. Muhabere Unsuru.....	8
1.2.6. Destek unsuru	8
1.3. İnsansız Hava Araçları Tarihsel Gelişimi	8
1.3.1. Türkiye’de İnsansız Hava Araçlarının Geçmişi	15
1.4. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması	18
1.4.1. Taktik İnsansız Hava Araçları	18
1.4.2. Stratejik İnsansız Hava Araçları	19
1.4.3. Özel Amaçlı İnsansız Hava Araçları.....	20
1.5. İnsansız Hava Araçlarının Kapsamlı Sınıflandırılması	20
1.5.1. Kullanım Alanlarına Göre	21
1.5.2. Kontrol Sistemi Türüne Göre	21
1.5.3. Uçuş Talimatlarına Göre	22
1.5.4. Hava Sahasının Durumuna Göre	22
1.5.5. Hava Aracı Tipine Göre	22
1.5.6. Kanat Tiplerine Göre	22
1.5.7. Kalkış/İniş Yönüne Göre.....	23
1.5.8. Kalkış/İniş Alanlarına Göre.....	23
1.5.9. Hava Aracı Motoru Tiplerine Göre.....	23
1.5.10. Yakıt Sistemine Göre	23
1.5.11. Yakıt Deposu Tiplerine Göre.....	24
1.5.12. Yakıt Sisteminin Kullanım Sayısına Göre	24
1.5.13. Genel Kategorisine Göre	24
1.5.14. Uçuş Yarıçapına Göre	24
1.5.15. Uçuş Yüksekliğine Göre	25

1.5.16. Uçuş Fonksiyonlarına ve Uygulama Alanlarına Göre	25
1.6. Sivil ve Askeri Alanda Kullanılan İHA Görevleri	25
1.6.1. Askeri Alanda İHA Kullanımı.....	25
1.6.1.1. Gerekli Görev Sistemleri ve Milli Yetenek Mevcut Durumlarının Karşılaştırılması.....	29
1.6.1.2. Askeri Alanda İHA Kullanımının Avantajları.....	29
1.6.1.3. Askeri Alanda İHA Kullanımının Dezavantajları.....	30
1.6.2. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Alanda Kullanımı	31
2. KAYNAK TARAMASI.....	32
3.YÖNTEM.....	37
3.1. Mairca Yöntemi.....	37
3.2. Bulanık Küme Teorisi.....	39
3.2.1. Sezgisel Bulanık Kümeler	40
3.2.2. Q-Seviyeli Bulanık Kümeler (QSBK)	41
3.3. Aralık Değerli Q-Basamak Tabanlı MAIRCA Yöntemi	42
4. PROBLEMİN TANIMI VE UYGULAMA	47
5. SONUÇ	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İnsansız hava araçları temel bileşenleri	5
Şekil 1.2. Günümüz hava aracı örneği	5
Şekil 1.3. İHA'lara ait bazı faydalı yükler	6
Şekil 1.4. Komuta kontrol odası örneği.....	7
Şekil 1.5. Uçan güvercin	9
Şekil 1.6. Hava jiroskopu	9
Şekil 1.7. Bomba yüklü balon.....	10
Şekil 1.8. Hewitt-Sperry.....	11
Şekil 1.9. Kettering Bug	12
Şekil 1.10. De Havilland DH82B Kraliçe Arı	12
Şekil 1.11. Scout UAV	14
Şekil 1.12. Yakın geçmişteki İHA örnekleri	15
Şekil 1.13. İHA'lara ait askeri görevler	27
Şekil 3.1. Aralık değerli Q-seviyeli bulanık mantık temelli MAIRCA yöntemi akış diyagramı	37

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Türkiye'de kullanılan bazı İHA'lar	16
Çizelge 1.2. İHA sınıflandırması	19
Çizelge 1.3. Keşif ve gözetleme faaliyetlerine göre İHA sınıflandırması	28
Çizelge 1.4. İHA'ların gerekli görev sistemleri ve milli yetenek durumlarının karşılaştırılması	29
Çizelge 2.1. Askeri alanda yapılan seçim çalışmaları ve MAIRCA yöntemini kullanan çalışmalar	32
Çizelge 2.2. Q seviyeli bulanık sayılar üzerine yapılan çalışmalar	36
Çizelge 4.1. Kriterler ve açıklamaları	47
Çizelge 4.2. Dilsel değişkenlerin sayısal karşılıkları	48
Çizelge 4.3. Kriterler için dilsel uzman görüşleri	48
Çizelge 4.4. Her bir alternatif için dilsel uzman görüşleri	49
Çizelge 4.5. Kriterlerin önem dereceleri	49
Çizelge 4.6. Kriter ağırlıkları.....	50
Çizelge 4.7. Kriter temelli alternatifler için 1. uzmanın görüşleri.....	50
Çizelge 4.8. Kriter temelli alternatifler için 2. uzmanın görüşleri.....	51
Çizelge 4.9. Kriter temelli alternatifler için 3. uzmanın görüşleri.....	51
Çizelge 4.10. Birleştirilmiş grup karar matrisi	51
Çizelge 4.11. Ağırlıklı normalize karar matrisi	52
Çizelge 4.12. Teorik derecelendirme matrisi.....	52
Çizelge 4.13. Gerçek derecelendirme matrisi.....	53
Çizelge 4.14. Boşluk matrisi.....	53
Çizelge 4.15. Alternatiflerin sıralanması.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_i	: Alternatifler
C_j	: Kriterler
T_p	: Teorik derecelendirme matrisi
T_r	: Gerçek Derecelendirme Matrisi
t_{pij}	: Matrisin elemanları
w_j	: Kriter ağırlıkları
x_{ij}^+	: Kriterin alternatiften aldığı maksimum değer
x_{ij}^-	: Kriterin alternatiften aldığı minimum değer
P_{Ai}	: i. alternatifin önceliği
G	: Boşluk matrisi
X	: Başlangıç karar matrisi
m	: Toplam alternatif sonucu
μ	: Bulanık sayılarda üye olma derecesi

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
COPRAS	: Complex Proportional Assessment
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EYP	: El Yapımı Patlayıcı
HAVELSAN	: Hava Elektronik Sanayii ve Ticaret A.Ş
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İHAS	: İnsansız Hava Aracı Sistemleri
KBRN	: Kimyasal- Biyolojik- Radyolojik- Nükleer
KG	: Kilogram
M.Ö	: Milattan Önce
MABAC	: Multi-Attributive Border App- Roximation Area Comparison
NATO	: Kuzey Atlantik Ticaret Örgütü
PROMETHEE	: The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
QSBK	: Q Seviyeli Bulanık Küme
SAU	: Special Air Unit One
SBK	: Sezgisel Bulanık Küme
SSM	: Savunma Sanayii Müsteşarlığı
STM	: Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş
TÇD	: Teklife Çağrı Dokümanı
TSK	: Türk Silahlı Kuvvetleri
TUSAŞ	: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle
VIKOR	: VIseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde terör eylemleri, düzensiz göç ve kaçakçılık gibi yasa dışı faaliyetlere oldukça fazla rastlanmaktadır. Bu faaliyetlerin önlenmesi ve coğrafi sınırların korunması ülkeler için oldukça önem arz etmektedir. Aynı zamanda teknolojinin gelişiminin ivme kazanmış olması ile birlikte bu gelişim askeri amaçlı kullanılan teknolojik harp araçlarına da adapte olması önem arz etmektedir. Son yıllarda ülkelerin ekonomi bütçelerinin büyük bir kısmını en önemli harcama kalemlerinden biri olan savunma sanayii harcamaları olduğu görülmüştür. Savunma sanayini destekleyecek ve dışa bağımlılığı azaltacak teknolojileri ülke içinde üretmek, üretilen teknolojileri ordu içerisinde değerlendirmek, yerli imkânlar ile üretmenin mümkün olmadığı durumlarda envantere katmak adına hangi değerlendirme kriterlerini kullanarak karar destek süreçlerine adapte edileceğine karar vermek gerekmektedir. Terör eylemleri, düzensiz göç, kaçakçılık gibi faaliyetlerin önlenmesi ve coğrafi sınırların korunması için ülkelerin güvenlik güçlerinin yapacağı müdahalelerde insan gücünden ziyade teknolojik imkânların kullanılması ile daha etkili olacak, yetişmiş insan kaybını önlemek ve ekonomik kaynakları daha etkin kullanmak mümkün olacaktır.

Günümüz teknolojisinde bahsi geçen müdahaleleri en etkili biçimde yapabilecek araçlardan birisi insansız hava araçlarıdır. İHA'lar günümüz modern harp metotlarının uygulanmasına yardımcı olmaktadır. İHA'lar oldukça kullanışlı, ekonomik, harp sahasında sürpriz etkiler yaratabilecek ve gelecek için vazgeçilmez olma potansiyeline sahip savaş araçları olma yolunda ilerlemektedirler (Kurban ve Can, 2016). Tüm dünya ülkeleri ile beraber ülkemizde de harp araçlarında yerli ve milli teknolojiye dönüşüm çalışmaları hem İHA teknolojisine ilginin giderek fazlaşmasına hem de bu teknolojinin yerli ve milli projeler olarak kara, hava ve denizlerimizin güvenliklerinin arttırılmasına destek olmaktadır. İHA, 2000'li senelerin başından bu yana hızla gelişmiş, kullanılan sistemlerin sayısı ve çeşitleri fazlaşırken bununla beraber yetenekleri de fazlasıyla gelişmiş ve askeri anlamda güvenliğin sağlanması adına yeni bir anlayış kazandırmıştır. Silahlı kuvvetlerin müdahale, keşif, hudut koruma ve gözetleme görevlerini faal, caydırıcı ve etkili bir biçimde gerçekleştirebilmesi, envanterindeki askeri teçhizat ve teknolojilerin güncel ve yeni olması, bunların seçimlerinin bilimsel metotlar ile yapılması ve planlanmasına bağlıdır. Ülkeler dünya düzeninde güçlü bir savunma sanayii ile ordu güçleri ve dayanıklılıklarını geliştirebilir, bu sayede ulusal güvenlik ve istikrarın sağlanmasını destekleyebilmektedir. Savunma sanayii ve ordusu güçlü olan milletler

siyasi gücü de kendilerinde bulmaktadırlar. Aynı zamanda geliştirilmiş bu teknolojilerin kullanımı ve sürdürülmesi beraberinde ekonomik güç olarak ülkelere katkı sağlamaktadır. İnsansız hava araçlarının diğer insanlı sistemlere nazaran daha verimli olarak kullanılması bu alanda yapılacak olan seçimleri daha da kritik hale getirmektedir.

İhtiyaçlara yönelik cevap verebilecek muharebe vasıtalarının gelişen teknolojiye ne durumda olduğu, incelenmesi, seçimi ve seçim yapıldıktan sonra tedarik edilmesi süreçleri stratejik açıdan önemli kararlardandır. Üzerinde karar kılınan teknolojik vasıtanın uzun yıllar envantere katkı sağlaması ve alacağı görevlerde başarılı bir şekilde faydalanılması süreci maksimum verimlilik düzeyinde değerlendirilmelidir. Aynı zamanda bu teknoloji sistemleri oldukça maliyetli ve kompleks sistemler olduklarından ülke ekonomileri açısından savunma sanayi harcamaları bütçesinden önemli bir oranın ayrılması gerektiği teknolojilerdir. Bu nedenle, bu tip gelişmiş askeri teknolojilerin seçim süreci aşamasında ayrıntılı bir biçimde birçok kriterin aynı anda incelenmesi, alternatiflerin doğru belirlenmesi, uzman görüşlerinin ve karar vericilerin tarafsız olup güvenilir verilerin elde edilmesi, elde edilen bu verilerin karar sistemine aktarılması gerekmektedir.

Bu tarz seçim süreçlerinde doğru kararı verme konusunda başarılı sağlanabilmesi adına birçok farklı karar verme yöntemi kullanılmaktadır. Özellikle geçmiş yıllara baktığımızda birçok kriteri göz önünde bulundurarak değerlendirme yapmaya olanak sağlayan geleneksel çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotları sık sık kullanılmaktadır.

Bu çalışmada İHA'ların faydalı yük taşıma kapasitesi, operasyonel irtifa, havada kalış süresi, operasyonel hız, kanat açıklığı, güvenilirlik, harekât kabiliyeti, geliştirilebilirlik, otonomi ve seyir öncesi bakım süresi gibi kriterleri kullanarak önceliklendirmeleri yapılacak ve q seviyeli bulanık sayılar kullanılarak MAIRCA (MultiAtributive Ideal-Real Comparative Analysis) yöntemi ile karar modeli oluşturularak maksimum seviyede fayda sağlanacak olan optimal teknolojik muharip aracın seçimi yapılacaktır.

Çalışma toplamda beş ana başlıktan oluşmaktadır. Birinci bölümde İHA'ların önemini ve neden kullanılması gerektiğini arz eden bir giriş yapıldıktan sonra insansız hava araçları'na ait tanımlamalar, sınıflandırmalar, İHA bileşenleri ve tarihçesine, askeri alanda kullanımının avantaj ve dezavantajlarına dair bilgilendirme yapılmıştır. Ayrıca birinci bölümde teze ait başlıklar hakkında bilgilendirmelere yer verilmiştir. Genel anlamda İHA'ların tanıtımı yapılmasından sonra ikinci bölümde kaynak taraması yapılmış olup üç ayrı kısım halinde incelenmiştir. İlk kısımda ÇKKV yöntemleri

kullanılarak yapılmış olan İHA ve askeri teçhizat seçimi üzerine yapılan çalışmalar incelemesi yapılmıştır. ikinci kısımda bulanık MAIRCA yöntemini kullanılarak yapılan yayınların kriter, alternatif ve kullandıkları yöntemlere ait seçim çalışmalarının literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü kısımda kullanılacak olan yöntem için q seviyeli sayılar kullanılarak yapılmış çalışmalar incelenmiş ve tablo halinde sunulmuştur. Üçüncü bölümde çalışmanın konusu olacak yöntem hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ise uzman görüşleri alınarak oluşturulan alternatifler ve kriterlerin değerleri paylaşılarak problemin tanıtımı yapılmış ve çözüm basamakları uygulanarak problemin nihai sonucu elde edilmiştir. Son bölüm olan sonuç bölümünde tesis edilen modelin uygulanması sonucunda bulunmuş olan sıralama ölçeği üzerinden yorumlar yapılmıştır.

1.1. İnsansız Hava Araçlarının Tanımları

Dünyada ve Türkiye’de bazı kurum ve kişilerin yapmış oldukları İHA tanımlamaları şu şekildedir.

İnsansız hava aracı (UAV: Unmanned Aerial Vehicle); içerisinde personel bulundurmadan, otomatik olarak veya küresel konumlama sistemi yönlendirmesi ile gidebilen hava aracı şeklinde tanımlanmaktadır.

İHA’ların adından da anlaşılacağı gibi en basit anlamda içlerinde personel olmadan uzaktan kumanda yardımı ile kontrol edilebilen veya otonom bir şekilde kendisini kontrol edebilen ya da iki yöntemin de aynı anda kullanılabildiği, çeşitli faydalı yüklerin üzerine monte edilip çıkarabildiği ve görev sonunda belirlenen bölgeye iniş yapabilme becerisine sahip hava araçlarıdır (Kurt & Ün, 2015).

Austin’in yaptığı açıklamaya göre ise İHA, kullanıcı hava aracının içerisinde indirilmiş, uzaktan haberleşme sistemleri sayesinde komutların alınıp, belirli bir merkeze aktarıldığı radyo linki kullanan hava araçlarıdır (Austin, 2010).

Roland, İHA teriminin yerine, “içerisinde yönlendirici personel bulunmayan hava aracı” ifadesini tercih etmiş ve kullanmıştır. Roland’ın yaptığı açıklamaya göre, aracın dışında bulunan yönlendirici personel uzak kumanda yardımı ile vasıtanın rotasını değiştirebilir, uçuşa müdahale edebilir veya uçuşu sonlandırabilir. Yani hava aracının içinde bir pilot bulunmasa dahi o personele komuta etme görevi verilmiştir (Roland, 2003).

Kara Kuvvetleri Komutanlığınca yayınlanan resmi kaynaklarda kullanılan İHA ifadesinin tanımına göre; İHA, içerisinde kullanıcı personel olmaksızın, belirli bir yerdeki

yerleşik veya yerleşik olmayan komuta kontrol merkezinden radyo frekans dalgaları yardımı ile komuta edilerek yönlendirilen, motorlu, üzerinde faydalı yük taşıyabilme yeteneğine sahip olan hava aracıdır.

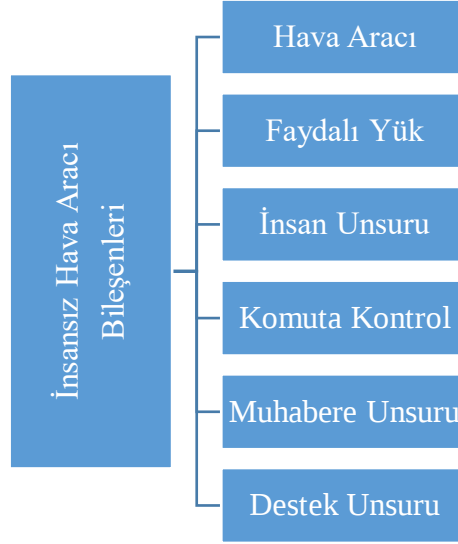
SSM (Savunma Sanayii Müsteşarlığı) tarafından yayınlanmış olan Türkiye İHA Sistemleri Yol Haritası'nda açıklanan tanıma göre; İHA, içerisinde kendisini yönlendiren bir personel taşımayan, kaldırma kuvveti yaratmak maksadıyla aerodinamik kuvvetleri kendi üzerinde kullanabilen, uzaktan kumanda edilebilen ve kendiliğinden uçabilen, tek seferlik veya tekrar kullanılabilen ve öldürücü veya öldürücü olmayan mühimmat ve faydalı yükler taşıma yeteneği ile donatılmış motorlu hava aracıdır (SSM, 2011).

Kuzey Atlantik Ticaret Örgütüne (NATO) göre, İHA terimi muadili olarak uzaktan komutlar verilerek kontrolü sağlanabilen hava aracı kavramını kullanmaktadır. NATO'nun tanımına göre uzaktan kontrol edilebilen hava araçları, standart bir uçağı uçurabilecek kabiliyete sahip, bu ölçütlerde eğitim almış ve sertifikalandırılmış bir yönlendirici pilot kontrolünde uzaktan kumanda sistemi yardımıyla seyir yapabilen hava aracıdır (NATO, 2013).

ABD Savunma Bakanlığının askeri terimler ansiklopedisindeki tanımlamaya göre; "İHA, ulaşım amaçlı veya kullanıcı/yönlendirici insan bulundurmayan, öldürücü veya öldürücü olmayan faydalı mühimmatları otonom ya da uzaktan komuta yardımı ile yapılan uçuşlarda taşıyabilen, yaptığı seyir sonrasında kullanılmayacak duruma gelen veya daha sonrasındaki görevler için tekrar kullanılabilen, motor gücü ile çalışan hava araçlarıdır. Menzili uzun olan füzeler, yarı- balistik ve balistik silahlar, uydular, bir itme kuvvetine sahip olmayan sensörler, hareketli mayınlar, top desteği ile fırlatılan torpidolar İHA olarak değerlendirilmezler" (Özge, 2008).

1.2. İHA Bileşenleri

İHA'ların alt sistemlerinin sınıflandırılması adına birçok farklı çalışma yapılmış olmasına rağmen yapılan çalışmaların arasında çok büyük farklılık gözlemlenmemektedir. Bu durumda alt sistem sınıflandırmalarını, İHA'nın uçabilmesi adına 6 ana bileşende (Şekil 1.1.) toplanabilir. 6 ana İHA bileşeni arasında üstünlük derecesi olmayıp, görevin ifasında her birinin önem derecesi eşit seviyededir. İHA'nın kullanım alanı, amacı ve büyüklüğü gibi durumlara göre bileşenlerden bazıları değerlendirilmeye alınmayabilir veya önem dereceleri değişkenlik gösterebilir (JAPCC, 2010).



Şekil 1.1. İnsansız hava araçları temel bileşenleri (JAPCC, 2010).

1.2.1. Hava Aracı

Hava aracı gerekli operasyonları gerçekleştirmek adına faydalanılan araçlardır. Askeri anlamda uçaklar, helikopterler, zeplinler ve İHA'lar hava araçları olarak değerlendirilmektedir.

Görev için gerekli şartlar, hava aracında bulunması gereken yetenekleri ve performans ölçütlerini belirler. Görev olarak hava aracının, vazifenin özelliğine göre üzerinde bulundurduğu faydalı yükü görevde belirtilen bölgeye taşımaktır. Hava aracı, motor, iletişim sistemleri, uçan platform, kullanacağı yakıt, aviyonik sistemler ve uçuş için mutlak olan diğer aksamı içerisinde bulundurmaktadır (Altundaş, 2021). Günümüzde hava aracının askeri faaliyetlerde kullanılan bir örneği Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Günümüz hava aracı örneği

1.2.2. Faydalı Yük

Görevlerin başarı oranının artırılması adına oldukça önemli olan faydalı yükler çeşitli şekillerde hava araçlarına adapte edilebilmektedir. Düşük ağırlıklardaki kameralar ve sensörlerden, 200 kg civarında füze sistemleri, tanksavar sistemleri ve çeşitli mühimmatlara kadar icra edilecek faaliyetin içeriğine göre değişebilecek teçhizatlardır. İHA üzerine uyumlu bir şekilde entegre olabilecek bazı faydalı yükler; silahlar, aviyonikler, sensörler, kameralar, radar sistemleri, elektro-optik / kızıl ötesi görüntüleme sistemleri, iletişim araçları ve mühimmatlar olarak sıralanabilmektedir (Austin, 2010). Sıralanan bu faydalı yüklerin bazıları Şekil 1.3.'te gösterilmiştir. İHA'lar üzerinde kullanılan kızıl ötesi hedef tespiti için kullanılan görüntüleme sistemleri yaklaşık 10-15 km havadan kaliteli görüntü alabilmeyi sağlamaktadır. Ayrıca bu sistemler cisimlerden yayılan ısıyı görüntüye çevirebilmekte ve bu sayede karanlık ortamlarda icra edilecek görevlerde görüş imkân ve kabiliyeti sağlamaktadırlar (Terkan, 2015) .



Şekil 1.3. İHA'lara ait bazı faydalı yükler

1.2.3. İnsan Unsuru

Her ne kadar kullanılan aracın ismi İHA olsa da sistemin en kritik bileşenlerinden biri de insan faktörüdür. Hava araçlarının kendisi insansız olsa da insansız hava sistemini yönlendirecek bir insana mutlak gerek vardır. Bu sistemler bazı görevlerini otonom olarak gerçekleştirirler dahi sürecin kontrolü adına insan faktörü devreye girmektedir. Bununla birlikte İHA'nın görevi sürecindeki insan unsurları pilot, bakım personeli, istihbarat uzmanı, görev komuta kademesi ve faydalı yük operatörü olarak sıralanabilmektedir.

Sıralanan personelin görev aldıkları konuda yetkin olmaları etkin kullanım için oldukça önemlidir İHA'ların saha kullanımları sırasında etik ve yasal kurallara dikkat edilmesi oldukça önemlidir. Operatör olarak görev alan personelin gizlilik ve güvenlik gibi konulara hakim olması ve İHA kullanımı ile ilgili yasal mevzuatlarda yer alan yerel ve ulusal kurallara da uyması gerekmektedir (Altundaş, 2021; JAPCC, 2010).

1.2.4. Komuta Kontrol (Kontrol İstasyonu)

Diğer bir deyişle kontrol istasyonu görevin gerçekleştirilmesi için planlama aşamasından başlayarak çizelgeleme, faydalı yüklerin denetlenmesi ve kontrol edilmesi, haberleşme faaliyetlerinin yürütüldüğü bütünleşik bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Görevin yapılacağı alana göre karada bir yer istasyonunda, deniz aracında veya gelişen teknoloji ile birlikte başka bir hava aracının içinde bulunabilmektedir. Komuta kontrol unsurunun en önemli detayı makine ara yüzü ve insan uyumudur. İstasyonun büyüklüğü bir bilgisayar ölçülerinde veya yerleşik bir alanda kurulmuş tesis büyüklüğünde olabilmektedir. Kontrol istasyonlarından bazıları görev türüne görüş sahası içerisinde olması gerektiği durumlarda görevin icra edildiği saha içerisine konuşlandırılabilirken bazıları da uydu üzerinden haberleşme özelliğine sahip olduğundan operasyon alanıyla alakasız bir bölgeye kurulabilmektedir. İstasyonun konuşlandırılmasına müteakip pilotlar tarafından hava aracının kullanımı ve operatörler tarafından faydalı yük kullanımı bu alanlardan gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte örneğin keşif faaliyeti gerçekleştirecek olan bir İHA'nın verileri, hava aracının akıbeti ve yer bilgisi konum olarak bu merkezde toplanmaktadır (Altundaş, 2021). Kontrol istasyonuna ait görsele Şekil 1.4.'te yer verilmiştir.



Şekil 1.4. Komuta kontrol odası örneği

1.2.5. Muhabere Unsuru

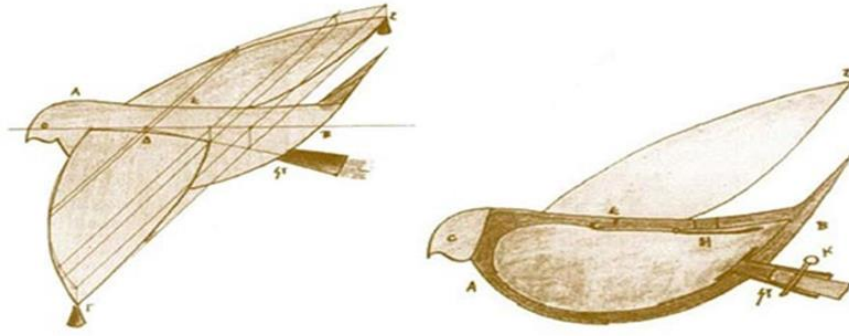
Komuta kontrol merkezi ve hava aracı arasında iletişimin veri bağlantısı bakımından kesilmemesi bu sistemlerdeki en önemli ihtiyaçlardan biridir. İnsansız hava araçları haberleşme ve iletişim sistemleri oldukça komplike sistemler olduklarından görüş hattı ve görüş hattının dışında kalan bölgelerde de çalışabilmektedir. İletişimin sağlanması esnasında genellikle uydular ve lazer ışınları vasıtası ile radyo dalgalarını kullanarak veri hattı iletişimini çift taraflı etkileşimli olarak sağlanmaktadır (Altundaş, 2021).

1.2.6. Destek unsuru

Tüm insan tarafından kullanılan uçak sistemlerindeki gibi İHA'ların da ikmal ihtiyacı kaçınılmazdır. Destek unsuru denildiğinde akla gelen başlıklar şu şekilde sıralanabilir: Bakım, uçuşa hazırlama ve destek verme, bir bölgeden diğer bir bölgeye geçiş, irtibat fonksiyonları ve yeniden yerleşme. İHA'nın boyutuna ve yapacağı görevin özelliğine göre destek unsurunu oluşturan birimin kapasitesi de değişmektedir. Uçuş için piste veya kalkış rampasına ihtiyaç duymayan İHA'lar için küçük çaplı bir destek birimi yeterli olurken, faydalı yük taşıma kapasitesi fazla olan ve sensörlerle donatılmış bir İHA için destek unsurunun yeterince donanımlı olması gerekmektedir (Altundaş, 2021; JAPCC, 2010).

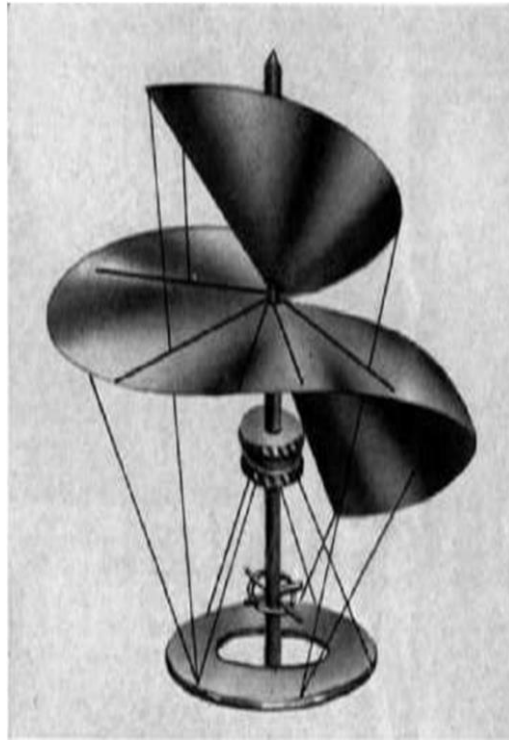
1.3. İnsansız Hava Araçları Tarihsel Gelişimi

Yakın geçmişe baktığımızda İHA'ların kullanımı I. Dünya Harbi zamanı olarak kabul edilse de aslında uçan makine ismi ilk defa kavram olarak yaklaşık MÖ 400'lü yıllarda düşünülmüşve ortaya atılmıştır. MÖ 4. yüzyıl'da tarihin ilk İHA'sı olarak nitelendirilen “Uçan Güvercin” (Şekil 1.5.) geçmişte mekanik bilimi üzerine çalışma yapanların ilklerinden olan Tarentli Archytas tarafından bulunmuştur. Güvercine benzetilen bir maketin uçağın içerisine yerleştirilmiş olan su buharının enerjisini kullanarak kanatlanmasını sağlayan mekanizması yardımı ile havada 200 metreye kadar yol katedebildiği farklı kaynaklarca aktarılmıştır. Aynı zaman diliminde Çin coğrafyasında elle bükülerek ve dikey yollu serbest hareket edebilen çubukların tasarlandığı ve kullanıldığına dair bilgilerden farklı kaynaklarda bahsedilmiştir (Valavanis, 2007).



Şekil 1.5. Uçan güvercin

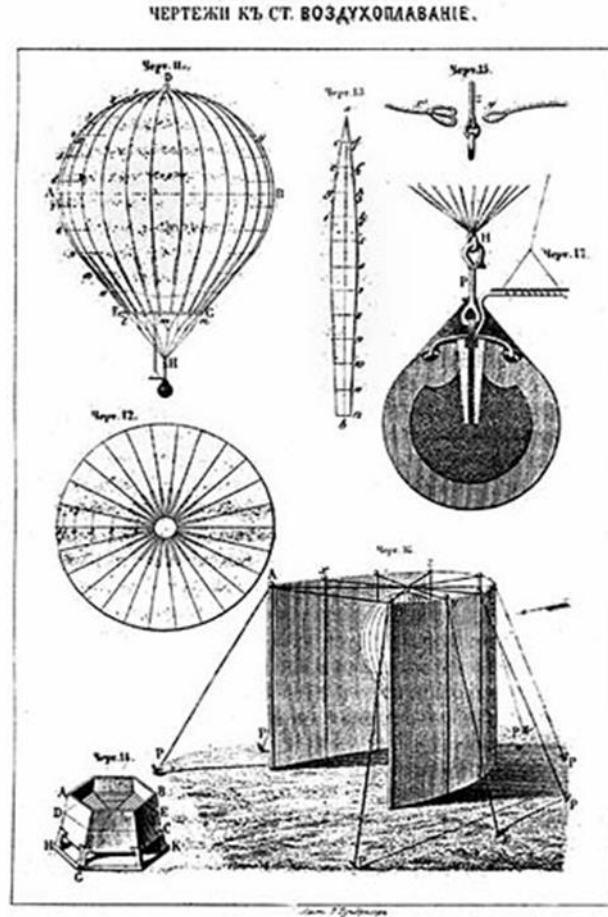
Mühendislik, matematik ve diğer birçok alanda çalışmalar ve icatlar yapmış olan Leonardo Da Vinci'nin, havada asılı kalabilme yeteneğine sahip "Hava Jiroskopu" (air gyroscope) adındaki icadı günümüz helikopterlerinin ilk örneği olarak kabul görmüştür. Ayrıca Da Vinci'nin çift krank sistemini kullandığı farklı tasarımlarının olduğu bilinmektedir (Valavanis, 2007). Hava Jiroskopu Şekil 1.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Hava jiroskopu

1848 tarihinde Avusturya kuvvetleri tarafından Venedik şehrine zaman ayarlı fitiller yardımı ile patlatılabilen yaklaşık 200 adet üzerinde bomba bulunduran pilotsuz balon fırlatılmıştır (Şekil 1.7.). Hava şartlarının elverişli olmaması sebebi ile öngörülen

tesirinden daha az bir tahribata yol açmıştır. 1860'lı yılların başında Amerikan ordusunda iç savaş döneminde keşif faaliyetlerini icra etmek amacı ile envanterinde beş adet aynı anlayış ile çalışan sıcak hava balonu bulundurmıştır. 1863 tarihinde Charles Perley, Avusturya kuvvetlerinin kullanım olduğu bomba yüklü balonları geliştirerek patentini almıştır (Monash University, 2003).



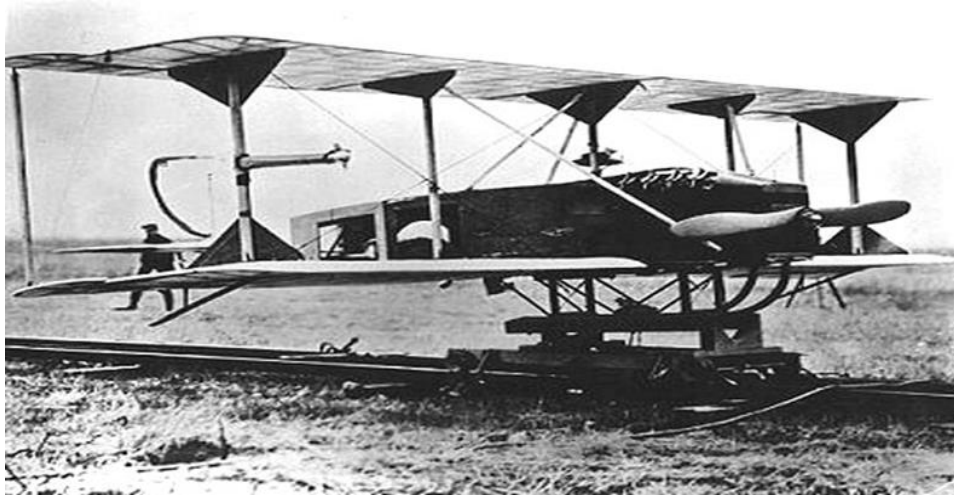
Şekil 1.7. Bomba yüklü balon

1898 yılında İspanyol-Amerikan Savaşı esnasında kullanılan hava uçurtmalarında, ABD Ordusunda görevli olan William Eddy, belirli bir mesafeden tetiklenebilen kameralar kullanmıştır (Hannavy, 2008).

Birinci Dünya Savaşı zamanına gelindiğinde ülkelerin kalkınmasını sağlamak amacıyla 1914 senesinde radyo kontrollü sistemlerin atası olarak tanınan İngiliz araştırmacı Archibald Montgomery Low tarafından uçan hedef tanıtılmıştır. Bu araç radyo kontrol sistemi sayesinde hareket kabiliyetini sağlamak üzere tasarlanmış olup,

uçan hedefin 1917'deki deneme uçuşları esnasında kalkıştan kısa bir süre sonra irtifa kaybederek yere düşmüş ve deneme başarısızlıkla sonuçlanmıştır (Demirkıran, 2010).

İlk defa radyo kontrolü olan bir sistem ABD'li Peter Cooper ve Elmer A. Sperry'in 1917 yılında geliştirdiği Hewitt-Sperry (Şekil 1.8.) adındaki hava aracında görülmektedir. Geliştirilen jiroskop aleti yardımıyla kararlı ve düzgün bir uçuş performansı gösteren ABD envanterine ait Curiss N-9 eğitim uçağına yerleştirilen yaklaşık 130 kilogramlık bir bomba ile 80 km kadar uçuş gerçekleştirmiştir. Üretim ve kumanda kontrolündeki zorluklar nedeniyle bu hava aracı döneminde fazla ilgi görmemiştir (Akyürek vd., 2012).



Şekil 1.8. Hewitt-Sperry

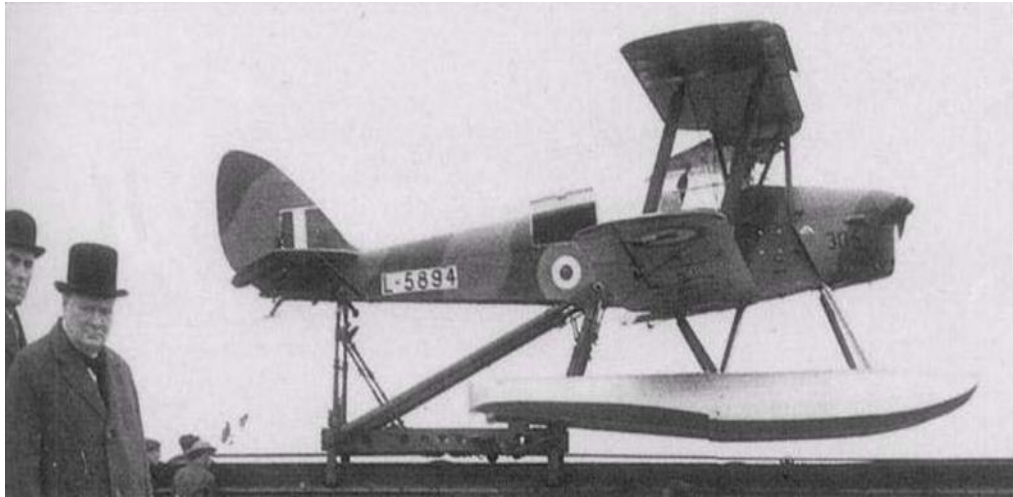
Teknik açıdan çok fazla donanıma sahip olmayan hava araçlarının kullanımı I. Dünya savaşına kadar sınırlı olarak devam etmiştir. 1918 yılında I. Dünya savaşının hemen sonrasında İHA olarak kabul edilmiş olan “Kettering Bug” (Şekil 1.9.) Charles Kettering tarafından tasarlanmış ve imal edilmiştir. Çift kanatlı bir hava torpidosu olan Kattering Bug 135 kilogram patlayıcı mühimmat taşıyabilen ve 40 beygirlik bir motorla donatılmış bir hava aracıdır. İngiltere tarafından bu hava aracının 1934 yılında yeni bir modeli deniz kuvvetlerinde kullanılmak üzere üretilmiştir (Clark, 2004).

Geleceğe yön verecek bu araçlara ek olarak bu yıllara ait 1918 yılında Lawrence Sperry ve Henri Busignies tarafından geliştirilen otomatik bir uçuş sistemi içeren “Sperry Bergel Stick”, 1920'lerin sonlarında Reginald Denny tarafından hobi amaçlı üretilen daha sonraları ordu tarafından uyarlanarak keşif ve eğitim amaçlı kullanılan “Radioplane OQ-2”, 1928 yılında Lawrence Sperry tarafından geliştirilen ve önceden programlanmış bir uçuş rotası izleyebilen “Sperry Messenger” dönemin İHA'ları içinde gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Kettering Bug

Geri dönme yeteneğine sahip ilk İHA'ların geliştirilmesi 1935 yılında "DH. 82B - Queen Bee" (Kraliçe Arı) adındaki hava aracı ile başlamıştır. Şekil 1.10.'da bu araca ait görüntüye yer verilmiştir. İlk olarak insanlı uçurulan Kraliçe Arı daha sonraları otonom olarak uçuşlarını gerçekleştirmiştir. Bugün TUSAŞ'ın geliştirmiş olduğu Turna gibi birçok hava aracının öncüsü olmuştur. Kraliyet Hava Kuvvetleri tarafından 1933 ile 1943 yılları arasında bu hava aracından 380'den fazla üretim yapılmıştır. Radyo kontrolü ile kontrol edilerek yapılan uçuşta yaklaşık 428 kilometre mesafeyi 17,000 feet yüksekliğe çıkarak ulaşmıştır. Aynı zamanda tekrar kullanılabilen bu sistem sahte hedef olarak isimlendirilen sistemlerin fikir öncüsü olmuştur (De havilland museum, 2021).



Şekil 1.10. De Havilland DH82B Kraliçe Arı

1942 yılında Nazi Almanyasında yapılacak olan saldırılarda çok yönlü bir şekilde kullanılabilecek "uçan bomba" Adolf Hitler'in talimatı ile "V1 – Fieseler Fi-103" geliştirilmiştir. 408 knot hıza çıkabilen, 900 kg'lık bomba taşıyabilme kapasitesine sahip

zamanlama mekanizması bulunan ve 250 km menzile sahip olan hava aracı birçok insanın ölümüne yol açması sebebi ile ilk insansız bombardıman uçağı olma özelliğini elinde bulundurmaktadır (Akyürek, Yılmaz ve Taşkiran, 2012).

1941 yılında ABD kuvvetleri tarafından, Alman güçlerinin üretmiş olduğu v1 kalkış rampalarını kullanılmaz hale getirmek amacıyla “Special Air Unit One” (SAU-1) projesine yürütülmüş ve 1944 tarihinde ordu envanterine katılmış ve kullanımına başlanmıştır. Kamera donatımı açısından çözünürlük derecesi düşük bir kameraya sahip olan SAU-1 İHA’sını hedef alan ilk sistem olduğu varsayılmaktadır (Zaloga, 2011).

Firebee (uçan arı) ABD tarafından 1950’li yılların başlarında hedef uçak düşüncesiyle tasarlanmış olsa da daha sonraları geliştirilerek yerden ve başka insanlı hava araçları yardımı ile kontrol edilebilen, üzerine yerleştirilen kameralar sayesinde düşman hatlarında keşif, gözlem ve araştırma yapabilme kabiliyetlerine sahip bir hava aracına dönüşmüştür. Hava aracının Japonya, Tayland ve Vietnam gibi ülkelerde savaş zamanında yaptığı çok uzun uçuş görevleri sırasında keşif ve gözlem faaliyetleri yanı sıra füze tespiti, propaganda yapmak maksadı ile broşür dağıtılması gibi farklı olan görevleri yerine getirerek muharebe zamanında İHA’ların ne kadar efektif kullanılabileceğini göstermiştir (Nonami vd. 2010; Austin, 2010).

ABD Hava Kuvvetlerinin 1960’lı yılların başında geliştirmiş olduğu “AQM-34 Ryan Firebee” adındaki İHA’sı radara yakalanmadan görev yapabilme kabiliyeti ile birlikte, başka bir hava aracından bırakıldıktan sonra paraşüt yardımıyla zemine inebilen ve tekrar kullanılması için başka bir hava aracı ile taşınabilme yeteneğine sahiptir (Tekin vd., 2015).

1980’li yıllarda 360 derece çevre görüntüsü kaydedebilen, anlık olarak görüntü verilerini aktarabilen ve radarlara yakalanma ihtimali düşük olan Scout İHA İsrail tarafından geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (Tekinay, 2022). Scout İHA’ya ait görsele Şekil 1.11.’de yer verilmiştir.

Günümüz İHA anlayışına benzerlik bakımından en yakın olan İHA’lar 1970’li senelerde İsrail tarafından Arap ülkeleri ile yine o yıllarda gelişen soğuk savaş ve sıcak çatışma ortamlarında kullanmak maksadıyla geliştirilmiştir. İsrail bölgeyi kontrol altına alabilmek maksadıyla sürekli olarak keşif ve gözetleme faaliyetleri için çalışmalarını süratlendirmiş ve yeni İHA modelleri geliştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmalar neticesinde İHA’ların elde ettiği verileri kontrol merkezine ileten ve kontrol merkezinden aldığı elektronik frekans sayesinde tüm saha görevlerine istenilen doğrultuda hareket eden İHA’lar üretmişlerdir (Altundaş, 2021).



Şekil 1.11. Scout UAV

Amerika Birleşik Devletleri tarafından 1990'lı yıllarda proje olarak başlayan “RQ-1 Predator” üretim süreçleri tamamlanarak 1996 yılından sonra Balkanlar bölgesinde çeşitli askeri faaliyetler için kullanılmıştır. Uzaktan kumanda sistemiyle bir yer kontrol merkezinden yönlendirilen hava aracı radyo ve uydu bağlantıları yardımı ile kontrol edilmektedir. Günümüzde gelişmiş çeşitleri hem ABD hem de diğer ülkelerde çeşitli görevler için kullanılmaktadır (U.S Department of Defense, 2005).

İHA'lar 1990 yılına kadar bazıları çeşitli şekillerde farklı kullanım amaçlarından türemiş olsalar da, 1990 yılı itibarıyla bu süreç tamamen evrilerek geleceğin savaş ortamının en önemli muharebe aracı olacağı gelişmeler doğrultusunda görülmektedir. Bu gelişmelerle birlikte içinde bulunduğumuz savunma sanayii ve harp ortamı düşünüldüğünde, dönem “İHA Çağı” dönemi olarak adlandırılmaktadır. Öyle ki bazı uzmanlar tarafından belirtilen görüşlerde muharebe ortamında İHA'nın keşfi ve kullanılması, savaşların yönünü değiştirmiş olan barutun bulunmasıyla aynı önem derecesinde sahip olduğu yönündedir. İnsansız sistemlerin avantajları ve gelecekte vadettiği unsurlar göz önünde bulundurulduğunda gelecek yıllarda personel ve manuel olarak kullanılan sistemlerin muadili olacağı, hatta bunların yerini alacağı düşünülmektedir. Dünya ordularının gelecek yıllar için hazırlamış oldukları raporlar sonucunda ülkelerin envanterindeki araçların birçoğunun insansız olacağı tahmin edilmektedir.

Dünya üzerinde son yıllarda üstün teknolojilerle üretilmiş yenilikçi birçok İHA bulunmaktadır. Üretimi gerçekleştirilmiş aynı zamanda geliştirme süreci devam eden bu örnek İHA'ların menşelerine bakıldığında ABD, İsrail, Çin ve Türkiye göze çarpmaktadır. Yakın geçmişte geliştirilmiş ve ülkelerin aktif olarak kullanmakta oldukları bazı İHA örnekleri Şekil 1.12.'de verilmiştir.



Predator B (MQ-9)



MQ-9B Sky Guardian



RQ-2A Pioneer



Heron TP



Predator C Avenger



Tusaş TAI Anka

Şekil 1.12. Yakın geçmişteki İHA örnekleri

1.3.1. Türkiye’de İnsansız Hava Araçlarının Geçmişi

Türkiye’de İHA teknolojisinin gelişim süreci genellikle askeri amaçlara yönelik gerçekleşmiştir. Bunun örneği olarak 1989 yılında Türkiye’de ilk kez TSK’nin kullanmış olduğu Banshee firmasının ürettiği “MEGGİT” isimli İHA gösterilmektedir. Banshee İHA’sı ordu envanterine katıldıktan bir sene sonra Türkiye’de yerli İHA üretmek adına Mart 1990 yılında UAV-X1 Projesi TUSAŞ firması tarafından geliştirilmiş akabinde proje sonucunda deneme süreçleri başarılı bir şekilde tamamlanmasına rağmen bütçe sorunları nedeniyle üretime geçilememiştir. Daha sonraki yıllarda farklı ülkelerden hibe edilmiş, ithal edilmiş ve kiralanmış birçok farklı sistem bulunmaktadır. Bu süreçlerle beraber İHA’ların yerli olarak üretilmesi adına birçok farklı proje de geliştirilmiştir. Geliştirilmiş projelerden bazıları seri üretim süreci gerçekleştirilerek dünyadaki çeşitli ülkelerin envanterine katılması amacıyla ihraç edilmiştir. Ülkemizde yerli imkânlar ile

üretilmiş İHA'lardan bazıları şu şekilde sıralanabilir: Baykar teknolojinin geliştirmiş olduğu Akıncı, TB2, TB3, HAVELSAN'ın geliştirmiş olduğu Baha, STM'nin geliştirdiği Kargu, TUSAŞ'ın geliştirmiş olduğu Aksungur Gözcü, Anka, Baykuş, Martı ve VESTEL'in geliştirmiş olduğu Karayel. Üretimi yapılan bu modellerin haricinde proje aşamasında geliştirme ve test süreçleri devam etmekte olan projeler de mevcuttur. Bu sistemlerin projelerine ait bazı önemli bilgiler ve kullanım durumlarını gösteren veriler Çizelge 1.1.'de verilmiştir (SSM, 2011, s. 19).

Çizelge 1.1. Türkiye'de kullanılan bazı İHA'lar

Proje Başlangıcı	Proje Adı	Sistem Adı	Üretici Firma	Kullanım Durumu
1989		Banshee	Meggitt	Envanterde
Mart 1990	UAV-X1 Projesi	UAV-X1	TUSAŞ	AR-GE Projesi Ürünü
1994	Birinci Paket İHA Tedarik Projesi		General Atomics	Envanterden çıkartıldı
1994		CL-89	Canadair	
Ağustos 1995	Hedef Uçak Projesi	Keklik	TUSAŞ	Envanterde
Ağustos 1995	Hedef Uçak Projesi	Turna	TUSAŞ	AR-GE Projesi Ürünü
Mayıs 1998	Birinci Paket İHA Tedarik Projesi	I-GNAT	General Atomics	Envanterden çıkartıldı
2002		Harpy-1	IAI	Envanterde
Ağustos 2003	İHA Teknoloji ve Ürün Geliştirme Projesi	Baykuş	TUSAŞ	AR-GE Projesi Ürünü
Ağustos 2003	İHA Teknoloji ve Ürün Geliştirme Projesi	Pelikan	TUSAŞ	AR-GE Projesi Ürünü
2004	Sayısal Görüntüleme Projesi	Martı	TUSAŞ	AR-GE Projesi Ürünü
2004	Havacılık Araştırma Geliştirme Uygulama Projesi, DPT Projesi	Güventürk	ODTÜ Havacılık ve Uzay Müh. Bölümü	Prototip üretimi
Aralık 2004	Hedef Uçak Projesi	Turna/G	TUSAŞ	Envanterde
Aralık 2004	Özgün TİHA (MALE) Geliştirme Projesi	ANKA	TUSAŞ	Geliştirme aşamasında
Mart 2005	Mikro İHA Projesi	Arı	Vestel Savunma Sanayi	Prototip üretimi
Temmuz 2005	Mini İHA Projesi	Efe	Vestel Savunma Sanayi	Prototip üretimi
Ağustos 2005	MALE İHA Hazır Alım Projesi	Heron	IUP	Envanterde
Ekim 2006	Mini İHA Geliştirme Projesi	Mini İHA Bayraktar	Kalekalıp/Baykar Makina	Envanterde
2006		Öncü	TUSAŞ	TİHA Projesi, geliştirme platformu
2006		Globiha	Global Teknik	Sivil kullanım

Çizelge 1.1. (Devam) Türkiye'de kullanılan bazı İHA'lar (SSM, 2011, s. 19).

Proje Başlangıcı	Proje Adı	Sistem Adı	Üretici Firma	Kullanım Durumu
Haziran 2007	Havacılık Araştırma Geliştirme Uygulama Projesi, DPT Projesi	RİHA-1	İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, ROTAM	Geliştirme aşamasında
Ekim 2007	Taktik İHA'ların Göreve Uyumlu Kanatlarında Kambur ve Burulma Etkisinin Çırpma ve Kontrol Yönünden Analizi, Tübitak 1001 Projesi		ODTÜ Havacılık ve Uzay Müh. Bölümü	Prototip üretimi (Akademik kullanım)
2007	Kısa Menzil Taktik İHA Sistemi Geliştirme Projesi	Taktik İHA (Gözcü)	TUSAŞ	AR-GE Projesi Ürünü
2008	Taktik İHA Tedarik Projesi	Aerostar	Aeronautics	Envanterde
2008	Mini İHA (Helikopter) Geliştirme Projesi	Malazgirt	Baykar Makina	Envanterde
Ağustos 2008	Taktik İHA Tasarımı ve Üretimi, Tübitak 1001 Projesi	Taktik İHA	ODTÜ Havacılık ve Uzay Müh. Bölümü	Geliştirme Aşamasında
Ocak 2009	Havacılık Araştırma Geliştirme Uygulama Projesi, DPT Projesi	RİHA-2	İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, ROTAM	Geliştirme aşamasında
Aralık 2010	Taktik İHA (Katapult/Paraşüt) Geliştirme Projesi	Karayel	Vestel Savunma Sanayi	Geliştirme aşamasında
Aralık 2011	Taktik İHA (Pist) Geliştirme Projesi	Çaldıran	Kalekalıp /Baykar Makina	Geliştirme aşamasında
2012	Özgün TİHA (MALE) Seri Üretim Projesi	ANKA (Blok A)	TUSAŞ	Sözleşme aşamasında
2012	Hedef Uçak (Drone) Projesi			TÇD aşamasında
2013	Gemiye Konuşlu İnsansız Hava Aracı (GİHA) Projesi			TÇD aşamasında
2017	Döner Kanatlı Bir Kamikaze Drone	Kargu	STM	Envanterde
2019	Silahlı İnsansız Hava Aracı	Bayraktar Akıncı	Baykar Makina	Envanterde
2019	Silahlı İnsansız Hava Aracı	Aksungur	TUSAŞ	Envanterde
2019	Dikey İniş Kalkışlı İnsansız Hava Aracı	DİHA	Baykar Makina	Prototip üretim aşamasında
2021	Bulut Altı İnsansız Hava Aracı	Baha	HAVELSAN	Envanterde

1.4. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

İHA'ları kapsamlı manada; teknik niteliklerine göre (kalkış ağırlıklarına göre, kullandıkları enerji kaynağına göre, kanat türlerine göre, otonom veya uzaktan kumanda yardımı ile kontrol edilip edilmemesine göre vb.) ve kullanım amaçlarına göre askeri amaçlı (keşif, gözetleme, silah, saldırı, hava savunma vb.) ve sivil amaçlı olmak üzere (kişisel kullanım, bilimsel ve ticari) iki ana başlık olarak ayrılmaktadır. İHA'lar, 2000'li senelerin başından bu yana hızla gelişmiş, kullanılan sistemlerin sayısı ve çeşitleri fazlalaşırken bununla beraber yetenekleri de fazlasıyla gelişmiş ve askeri anlamda güvenliğin sağlanması adına yeni bir anlayış kazandırmıştır. Silahlı Kuvvetlerin müdahale, keşif, hudut güvenliği ve gözetleme görevlerini faal, etkin ve caydırıcı bir biçimde gerçekleştirebilmesi, envanterinde var olan askeri teçhizat ve teknolojilerin yenilikçi aynı zamanda güncel olması, bunların seçimlerinin bilimsel metotlardan yararlanılması ile yapılması ve planlanmasına bağlıdır (Bayram, 2022).

Askeri amaçlar için faaliyet gösteren İHA'nın geçmişi 1970'li yıllara uzanmaktadır. 2000'li yıllarda mühimmat taşıyan İHA'ların riskli operasyon bölgelerinde yaygın olarak görev yaptığı görülmektedir. İHA'ların üzerinde silah bulunduran modellerinin geliştirilmesi ile birlikte modern ordular genellikle gözetleme, hedef tespiti ve keşif gibi görevlerini ifa etmek maksadıyla silahlı İHA sistemlerini kullanmışlardır. Kilometrelerce uzaktan radyo frekansları ve uydu haberleşmesi kanallarıyla yönetilebilen bu araçlar uzaktan sabit bulundurulmuş bir platformdan üzerinden komuta edilmektedir. Bugün halen gelişimini sürdürmekte olan İHA sistemleri gelecek yıllarda insanlı hava araçlarının bulundurduğu tüm teknolojik imkanlara ve yeteneklere ulaşması beklenmektedir. Genellikle askeri amaçlar için kullanılan İHA'ların sivil amaçlarla kullanım alanları da gün geçtikçe oldukça çeşitlilik kazanmaktadır (Cole, Dobbing, & Hailwood, 2010).

İnsansız hava araçları genelde üç başlık altında incelenmiştir. (Chin & Sern, 2009):

1.4.1. Taktik İnsansız Hava Araçları

Nano, mikro, mini, kısa menzil, orta menzil ile alçak irtifa uzun havada kalma, alçak irtifa derin sızma ve orta irtifa uzun havada kalma olarak ayrımları yapılmış olan taktik İHA'ların uçuş irtifaları en fazla 40.000 feet'tir. Genellikle küçük alan ve daha az

bir süre içerisinde gerçekleştirilmesi gereken görevlerde tercih edilen İHS'dir. Menzil alanları en çok 500 km olup, seyir halinde kalma süreleri maksimum iki gündür (Altundaş, 2021). Taktik, stratejik ve özel amaçlı başlıklarına ait sınıflandırma Çizelge 1.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 1.2. İHA sınıflandırması (İngiltere Savunma Bakanlığı Joint JDN 2/11, 2011)

Sınıflandırma	Kısaltma	Menzil (km)	İrtifa (m)	Uçuş Süresi (saat)	Kalkış Ağırlığı (kg)
TAKTİK					
Nano	n	<1	100	<1	<0,025
Mikro	μ	<10	250	1	5
Mini	mini	<10	150-300	<2	<30
Yakın Menzil	CR	Eki.30	3000	2.Nis	150
Kısa Menzil	SR	30-70	3000	3.Haz	200
Orta Menzil	MR	70-200	5000	6.Eki	1250
Orta Menzil Havada Kalma	MRE	>500	8000	Eki.18	1250
Alçak İrtifa Derin Sızma	LADP	>25	50-9000	0,5-1	350
Alçak İrtifa Uzun Süre Havada Kalma	LALER	>500	3000	>24	<30
Orta İrtifa Uzun Süre Havada Kalma	MALE	>500	14000	24-48	1500
STRATEJİK					
Yüksek İrtifa Uzun Süre Havada Kalma	HALE	>2000	20000	24-48	12000
ÖZEL AMAÇLI					
İnsansız Muharebe Aracı	UCAV	1500	10000	2	10000
Öldürücü	LETH	300	4000	3.Nis	250
Yem	DEC	0-500	5000	<4	250
Stratosferik	STRATO	>2000	>20000 >30000	>48	
Stratosfer İlerisi Uzay	EXO SPACE		>30000		

1.4.2. Stratejik İnsansız Hava Araçları

Yüksek irtifa havada kalış (High Altitude Long Endurance HALE) şeklinde de isimlendirilen bu tür İHS'ler, daha yüksek irtifalarda ve daha geniş bir sahada görev yapmak için tasarlanmışlardır. Ortalama uçuş süreleri 24-48 saat, maksimum uçuş yükseklikleri 65,000 feet üzeri, maksimum kalkış ağırlığı ortalama 1.200 kg ve menzilleri 500 km'den fazladır. Chin ve Sern'in "komutanların kapanmayan gözü" olarak isimlendirdikleri bu İHA sınıfı gelecek yıllarda havada çok uzun süreler kalabileceği değerlendirilmiş ve faydalı yük kapasitelerinin ciddi oranda gelişeceği öngörülmüştür. Stratejik insansız hava sistemi özellikle NASA tarafından kullanılmaktadır. Yüksek

irtifalara çıkabilme özelliğinden dolayı uzaydan yapılacak olan gözlem faaliyetlerinde kullanılmaktadır (Chin & Sern, 2009). Bu türün en popüler çeşidi “Global Hawk” olarak bilinen İHA’dır.

1.4.3. Özel Amaçlı İnsansız Hava Araçları

Çoğunlukla sivil kişilerin özel maksatlı kullanımları ve akademik çalışmalar için geliştirilmiş İHA sistemleridir.

1.5. İnsansız Hava Araçlarının Kapsamlı Sınıflandırılması

Literatür taraması yapıldığında İHA’lar için standart bir sınıflandırma yöntemine gidilmediği görülmüştür (Kurtuluş ve Tekinalp, 2010). Buna rağmen yapılan çalışmalarda sınıflandırma açısından çok büyük farklar gözlemlenmemiştir. Genellikle operatör yani bir yönlendirici bulundurmamak, yerden komuta edilen veya otonom bir biçimde görev yapan, ölümcül olmayan veya ölümcül ve yararlı yük taşıyabilme durumu yapılan sınıflandırmalarda kullanılmış en temel ölçütlerdir (Gupta vd., 2013).

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında her çalışmanın ihtiyaç alanına ve ilgilenilen konunun içeriğine göre bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu çalışmaları genel olarak incelediğimizde karşımıza şu 16 sınıflandırma başlığı çıkmaktadır (Korchenko ve Illyash, 2013; Yiğit vd., 2018):

1. Kullanım alanlarına göre
2. Kontrol sistemi türüne göre
3. Uçuş talimatlarına göre
4. Hava sahasının durumuna göre
5. Hava aracı tipine göre
6. Kanat tiplerine göre
7. Kalkış/iniş yönüne göre
8. Kalkış/iniş türlerine göre
9. Hava aracı motoru tiplerine göre
10. Yakıt sistemine göre
11. Yakıt deposu tiplerine göre
12. Kullanım sayısına göre
13. Genel kategorisine göre

14. Uçuş yarıçapına göre
15. Uçuş yüksekliğine göre
16. Uçak fonksiyonlarına göre (Korchenko ve Illyash, 2013; Yiğit vd., 2018).

Yapılan bu 16 ayırım geçmişten gelen ihtiyaçlardan doğmuş olup uygun parametrelerle sınıflandırılmıştır. Her bir kriterin açıklamaları detaylı olarak ele alınmıştır (Korchenko ve Illyash, 2013; Yiğit vd., 2018).

1.5.1. Kullanım Alanlarına Göre

Kullanım alanlarına göre İHA'lara baktığımızda, en temelinde askeri ve sivil olarak ayırım yapmak mümkündür. Bu iki ayrıma, terörle mücadele uygulamaları da dâhil edilebilir. Terörle mücadele alanındaki kullanımı esasıyla karakteristik bakımından tam olarak sivil veya askeri uygulama olarak değerlendirilmemektedir. Askeri uygulama alanını ele aldığımızda geniş çapta kara, deniz ve hava uygulama alanları olarak 3 farklı kategoriye ayrılabilir (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.2. Kontrol Sistemi Türüne Göre

“İHA Kontrol sistemleri” diğer hava araçları ve İHA'lar arasındaki en önemli ayırım olan parametrelerden biridir. Hava aracının içinde personelin bulunmadığı durumda kontrol sistemleri daha da önemli bir hal almaktadır. Bu parametre için İHA'ların gelişim sürecine de paralel olarak bazı kontrol sistemleri şu şekildedir: Belirli bir kontrol merkezinden yine belirli bir alana kadar operatör yardımı ile kontrolü sağlanan sistem “doğrudan kontrol” şeklinde adlandırılmaktadır. İHA'nın otonom veya bir pilot tarafından kısmen veya tamamen kontrol edilebildiği sistem “gözlenen kontrol” olarak adlandırılmaktadır. Bir diğer sistem olarak “uyumsuz - otonom kontrol” yani bir yönlendirici olmadan öncesinde yapılmış olan ön programlama marifetiyle uçuşun yapıldığı sistemlerdir. Seyir esnasında stratejik bir değişiklik veya çevre koşullarına uyum sağlanmasını gerektiren bir durumda yapılan ön programlamadan çıkış yapılamamasından dolayı isminde uyumsuz geçmektedir. Dördüncü sistem olarak “uyumlu – otonom kontrol” baktığımızda herhangi bir yönlendirici olmaksızın, tam uyumlu İHA kontrol sistemi yardımı ile kontrol sağlanır ve çevre koşulları veya herhangi bir stratejik durum değişikliğine adapte olabilir. Bu şekilde dışarıda gelişebilecek durumlara uyum gösterebilmektedir (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.3. Uçuş Talimatlarına Göre

Uçuş talimatları başlığında yapılan incelemeye göre, İHA 3 bölümde başlıklandırılmaktadır. Eğer seyir gündüz aynı zamanda bir pilotun nezaretinde ve denetiminde yapılıyor ise ‘görerek uçuş’ olarak sınıflandırılmaktadır. Gün ışığının olmadığı ve oto-pilot sisteminin devrede olduğu durumda gerçekleşen uçuşlar enstrümantasyona dayalı uçuş olarak kabul edilmektedir. Bazı durumlarda seyrin havalanma gibi ilk bölümleri görerek uçuşta, gerçek seyrin yapıldığı bölümleri ise enstrümantasyona dayalı uçuş olarak gerçekleştirilebileceği durumlar görerek uçuş kuralları olarak sınıflandırılmaktadır (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.4. Hava Sahasının Durumuna Göre

Bu başlıkta bahsedilen durum seyir esnasında güzergâh olarak kullanılan bölgenin niteliğidir. Bölünmüş ve bölünmemiş olarak ikiye ayrılmış olan alanlardan, bölünmüş alan; kullanımı kısmi olarak engellenmiş bölgelerde İHA’ların özel kullanımları amacıyla belirlenen bölgeler iken, bölünmemiş alan ile sınıflandırma yaparken kast edilen ise; hava trafik kontrolünün yapıldığı alanlardır (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.5. Hava Aracı Tipine Göre

Direkt olarak hava aracının çeşidine göre yapılan sınıflandırmadır. Hava aracının helikopter, uçak, hibrit, oynar veya sabit kanatlı olmasına göre değişkenlik gösteren ve doğrudan bu temel farklılıklara göre ayırt edilen sınıflandırma türüdür. Yapılan sınıflandırmada hava araçlarını birbirlerinden ayırt edilmesi oldukça kolaydır (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.6. Kanat Tiplerine Göre

Kanat tipi uçuş imkân ve kabileyetlerini doğrudan etkileyen bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Kanat tipi olarak sabit ve sabit olmayan olarak iki tip şeklinde incelenmektedir. Çoğunlukla uçak ve helikopter sınıfına giren İHA’larda sabit kanat tercih edilmektedir. Sabit olmayan kanat kendi içerisinde üç başlık altında incelenmektedir. Sabit olmayan kanatlar: Kanat formu, kanat uzunluğu ve uçuş sırasında pozisyonu değişebilen kanat türleri olarak sıralanmaktadır (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.7. Kalkış/İniş Yönüne Göre

İnsansız hava araçlarında iniş ve kalkışta kullanılan yöne binaen de sınıflandırma yapmak mümkündür. Hava aracının kalkışları yatay veya dikey olarak iki başlık altında sınıflandırılırken, iniş esnasında kalkışlardan farklı olarak yatay, dikey, durmadan, paraşüt, direkt ve bu iniş yöntemlerinin değişik kombinasyonlarla gerçekleştiği durumlar olarak daha fazla seçeneğin olduğu bir sınıflandırma yapılabilmek mümkün olabilmektedir (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.8. Kalkış/İniş Alanlarına Göre

Kalkış alanına göre sınıflandırma parametreleri; kalkış ve iniş pisti bulunan hava limanları, elle havaya bırakılarak, gemi güvertesi, su üstü gibi başlıklar sıralanabilmektedir. İniş alanına göre sınıflandırma parametrelerinde; yine kalkış ve iniş pisti bulunan hava limanları, gemi güvertesi, su yüzeyi, çoklu iniş alanları ve olağan dışı iniş olarak sıralanabilir (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.9. Hava Aracı Motoru Tiplerine Göre

İHA sınıflandırmaları üzerine yapılmış çalışmalarda görüleceği üzere motor tipine göre yapılan sınıflandırma en popüler sınıflandırma metotlarındandır. Kapsamlı olarak İHA'lar için kullanılan motorlara baktığımızda üç ana başlık olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu başlıklar; pistonlu motorlar, gaz türbinli motorlar ve elektrikli motorlar olarak ayrılmış olmasına rağmen her bir motor çeşidinin çok daha kapsamlı ve ayrıntılı bir sınıflandırma yapılması da mümkündür. Örneğin gaz türbinli motorlar turbojet, scramjet, turboşaft, pulsajet ve turboprop gibi alt başlıklara ayrılırken, elektrikli motorlar motor özelliklerine göre veya motorun akım türüne göre alt başlıkta sınıflandırılabilmesi mümkündür (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.10. Yakıt Sistemine Göre

Bu sınıflandırma türünde nasıl bir yakıt sisteminin kullanıldığı belirleyici olmaktadır. Yakıt sistemlerine göre sınıflandırma yapıldığında karşımıza çıkan ilk durum, üretim aşamasında fabrikada yakıt dolumu yapılan tek kullanımlık İHA'lar göze çarparken diğer bir sınıflandırma ise tekrar kullanıma uygun olarak üretilen, yakıt ikmali

için bir yer istasyonu, gemi güvertesi veya yakıt almak için uygun olan bir yeri kullanan İHA'lardır (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.11. Yakıt Deposu Tiplerine Göre

Yakıt tankına göre yapılan sınıflandırma ikiye ayrılmaktadır; ilki sadece bir adet temel yakıt tankı bulunduğu İHA'lar iken, ikincisi temel yakıt tankına ilaveten tamamlayıcı farklı bir yakıt tankının da bulunduğu İHA'lardır. Görev içeriğine veya kullanım alanına göre farklılık göstermektedir (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.12. Yakıt Sisteminin Kullanım Sayısına Göre

İHA'nın planlanan görev sayısına göre yakıt sisteminin ne kadar kullanılabileceği değişkenlik göstermektedir. Farklı görevlerin ifası için yapılan ikmaller ve daha sonraki görevler için İHA'ların yakıt sistemini ne kadar sayıda kullanabileceği dair sayıya göre yapılan sınıflandırmadır (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.13. Genel Kategorisine Göre

Literatürde İHA'ların en popüler sınıflandırma şekli olan yöntemdir. İHA'nın havada kalma süresi, faydalı yük taşıma kapasitesi, çıkabileceği irtifa, haberleşme menzili vb. parametler ile yapılan sınıflandırmadır. Bu parametrelerin literatürde oldukça fazla kullanılmasının nedeni; İHA faaliyetleri ele alındığında gözlemlenebilir, üzerinden ölçüm yapılarak veri elde edilebilir ve uyarlanabilir operasyonel nitelikte olmasındandır. Bu sınıflandırma tüm İHA çeşitleri üzerinde geçerli olması da ayrıca bir avantaj olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca bu ana sınıflandırma grupları alt başlıklar halinde de derlenebilmektedir.

1.5.14. Uçuş Yarıçapına Göre

Bu sınıflandırma yöntemi daha kapsamlı anlamda yüzeysel olarak yapılan ve ayrımı net olan bir sınıflandırma yöntemidir. Gerçekleştirilecek olan uçuşun görev yapacağı alanın yarıçapına istinaden dört bölümde incelenmektedir. Bu bölümler çok kısa, kısa, orta ve uzun mesafeli yarıçap değerleri şeklinde başlıklara ayrılan sınıflandırmalardan biridir (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.15. Uçuş Yüksekliğine Göre

İHA'ların hangi irtifada uçtukları özellik açısından oldukça önemlidir. Farklı görevler için farklı uçuş irtifalarına gereksinim duyulmaktadır. Düşük irtifa, orta irtifa ve yüksek irtifa olarak üç bölümde değerlendirilmektedir. Bu sınıflandırma yönteminde sadece irtifanın yüksekliği dikkate alınarak yapılmaktadır. Genel sınıflandırmada olduğu gibi bu başlıkta da kriterler kendi içlerinde görev uçuş özelliklerine göre alt başlıklara ayrılabilir (Korchenko ve Illyash, 2013).

1.5.16. Uçuş Fonksiyonlarına ve Uygulama Alanlarına Göre

Yapılan bu sınıflandırmada İHA'nın askeri veya sivil olarak ayıran, tipi gözetilmeksizin sadece İHA'nın kullanıldığı alan veya fonksiyonu dikkate alarak bir ayırım yapılmaktadır (Korchenko ve Illyash, 2013; Yiğit vd., 2018).

1.6. Sivil ve Askeri Alanda Kullanılan İHA Görevleri

İnsansız hava araçlarının kullanım alanları iki başlık altında toplanmıştır. Sivil kullanım alanları teknoloji ulaşılabilirliğinin artmasıyla birlikte hobi maksatlı bireysel kullanıcılara kadar ulaşmıştır. Aynı zamanda çok fazla iş gücü ve maliyet ortaya çıkarabilecek sivil işleri kolaylaştırmak adına da kullanılmaktadır. Sivil kullanımlar halk arasında da yaygınlaşmıştır. Askeri anlamda İHA kullanımı ise daha çok muharebe ortamında ve askeri görevlerin icrasında gerekliliklere daha hızlı cevap verebilmesi ve esnek ortamlara adapte olabilmesi sebebi ile kullanılmaktadır. Fakat İHA'ların kullanımıyla alakalı olarak bazı etik, hukuki ve güvenlik gibi prosedürlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca İHA'lar yazılım ve frekans tabanlı çalıştıklarından veri gizliği konusu da oldukça önemlidir (Altundaş, 2021).

1.6.1. Askeri Alanda İHA Kullanımı

Dünya üzerindeki ülkelerin silahlı kuvvetleri savaşın getirdiği gereksinimlerle, muharebe esnasından alandan bilgi toplamak ve daha fazla görevin başarılı olması adına yetişmiş personel gücünü riske atmadan insansız araçların kullanımı için etkin olarak çalışmaktadırlar. Bulunduğumuz yüzyılda insansız teknolojilerin günümüz çağdaş yöntemleri ile geliştirilmesi ve kullanılması günümüz harp ortamında son derece kilit bir

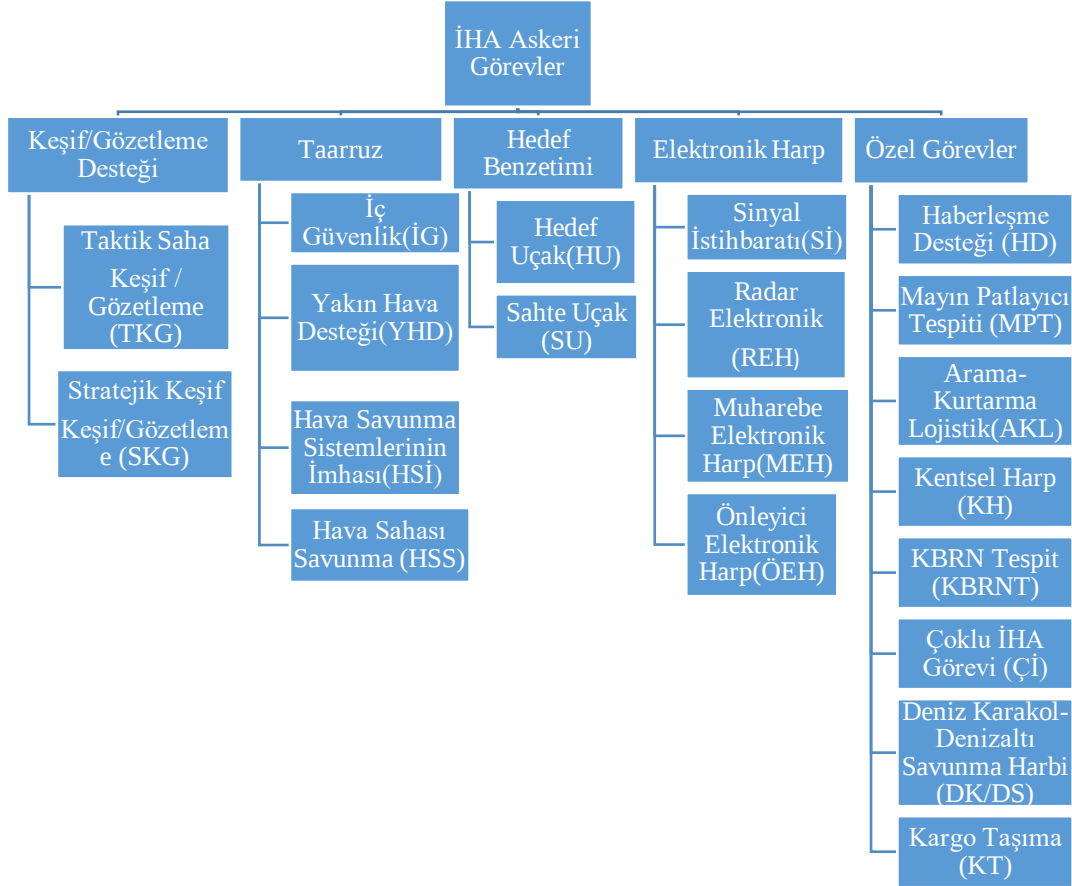
rol olarak son derece önemli hale gelmiştir. İHA'lar harp alanını çok boyutlu olarak gören, üzerindeki faydalı yükler aracılığı ile kullanım avantajları çok fazla olması sebebi ile başlıca harp aracı haline gelmişlerdir (Ercan, 2013; Kang vd., 2020).

Erişilebilirlik bakımından İHA'lar geleneksel uçak veya helioperlere nazaran daha küçük boyutlarda ve daha az maliyetli oldukları için esnek uçuş kabiliyetlerini kullanarak daha zorl alanlarda görev almaları mümkündür. Ayrıca hızlı bir şekilde göreve hazır hale getirilip oluşabilecek acil durumlarda müdahaleler için kullanım bakımından kolaylık sağlamaktadırlar.

İnsansız hava araçları aşağıda sıralanmış olan askeri görevleri yerine getirebilmektedir (Gülen, 2006) :

- Keşif/gözetleme faaliyetlerinin yürütülmesi ve eş zamanlı görüntülerden istihbarat alınması, hasar tespit çalışmaları yapmak, düşman hattının kolay ulaşılamayacak bölgelerinde icra edilen operasyonel süreci incelemek,
- Ateş desteği verilebilmesi için olanakları çoğaltmak, öldürücü ve öldürücü olmayan silah tesirlerini saptamak, uzun mesafeli yapılan güdümlü atışların başarı oranını artırmak adına eş zamanlı olarak konum ve hedef bilgilerinin aktarılması,
- Operasyon bölgesinde tanımlanmış olan taktik planların tesis edilip devam ettirilmesi, ortak yürütülen keşif ve gözetleme faaliyetlerinde yerde konumlandırılmış ve yüksek irtifada bulunan alanları görüş açısına alamayan araçlara göre hedeflerin net tespitini ve teşhisini yapmak,
- Elektronik savaş desteği sağlamak,
- Meteorolojik araştırmalar yürütmek,
- Sabit ve sabit olmayan hedefleri vurmak,
- Düşman kuvvetlerine ait hava savunma sistemlerini etkisiz hale getirmek,
- Füze savunması,
- Yanıltıcı hedef oluşturmak,
- Komuta kontrol ve muhabere imkânlarını artırmak,
- Kolay hâkimiyet sağlanamayan hava ve deniz alanlarında trafik kontrolü yapmak,
- Dost ve düşman bölgesinde icra edilecek arama-kurtarma faaliyetlerine destek sağlamak;
- Mayın/EYP arama çalışmaları yapmak,
- Sinyal istihbaratı bilgilerini temin etmek,
- Hedef işaretlemesi yapmak (Gülen, 2006).

İHA'nın uygulama alanları aşağıda sunulmuştur (Şekil 1.13.) (SSM, 2011) ;



Şekil 1.13. İHA'lara ait askeri görevler

- **Özel görevler:** İletişim desteği sağlamak, mayın/eyp tespiti yapmak, arama kurtarma faaliyetleri yürütmek, lojistik destek sağlamak, meskûn mahal operasyonları, kimyasal/biyolojik/radyolojik/nükleer saldırı tespiti, kolektif İHA görevleri, denizlerde devriye görevi, kargo taşımacılığı.
- **Elektronik harp:** Elektronik radar izleme, elektronik savaş, sinyal istihbaratı, caydırıcı elektronik harp.
- **Hedef benzetimi:** Hedef uçak, sahte maket uçak.
- **Taarruz:** Hava savunma sistemlerinin yok edilmesi, iç güvenlik, hava sahasının müdafaası, yakın hava desteği.

- *Keşif ve gözetleme desteği:* Stratejik bölgenin keşfi ve gözetlenmesi, stratejik keşif ve gözetleme. Keşif ve gözetleme için kullanılan İHA sistemleri üç sınıfa ayrılmış ve bu sınıflarda bulunan İHA'ların irtifa, dayanım, harekât çapı, kalkış-iniş alanları, azami kalkış ağırlıkları, faydalı yük ağırlıkları, veri linki olarak Çizelge 1.3.'te verilmiş olup yapılan sınıflandırmaya göre bir İHA sistemi ile örneklendirilmiştir.

Çizelge 1.3. Keşif ve gözetleme faaliyetlerine göre İHA sınıflandırması

	TKG-1	TKG-2	TKG-3
İrtifa	< 1.000 ft	< 18.000 ft	< 18.000 ft
Dayanım	< 1-8 saat	> 8 saat	> 8 saat
Harekât Çapı	< 15 km	< 100 km	< 100 km
Kalkış/İniş	Pistsiz	Pistten ve/veya Rampa/Paraşüt	Rampa/Paraşüt
Azami Kalkış Ağırlığı	< 15 kg	< 500 kg	< 300 kg
Faydalı Yük Ağırlığı	< 3 kg	< 50 kg	< 50 kg
Veri Linki	LOS	LOS	LOS
Örnek Sistem	Bayraktar Mini İHA	Çaldıran, Karayel	Gözcü Taktik İHA

- *Kirletici görevler:* Personelin bölgeye intikal edip durum kontrolü yapamayacağı hallerde, İHA'nın risksiz bir şekilde görev alacağı KBRN (kimyasal, biyolojik, radyolojik, nükleer) tespit ya da tarımsal ilaçlama gibi uçuş ekibine zarar verme ihtimali olan görevler, İHA'lar için bir tehdit unsuru oluşturmaz.
- *Tehlikeli görevler:* Tehdit unsuru içerebilecek tehlikeli keşif görevlerinde İHA'ların avantajları şu şekilde sıralanabilir: (1) İHA'yı yerden kontrol eden personelin görevini yaparken hayati tehlikesi olmadığından ve çevresel etmenlerden en az şekilde etkileneceğinden görevin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi adına tüm odağını görev üzerinde toplama fırsatı olur ve görevin başarılı olma ihtimali yükselir. (2) Hava aracının herhangi bir şekilde düştüğü veya imha edildiği durumlarda, ülke içerisinde siyasi huzursuzluğun ve kamuoyu baskısının oluşmasını sağlayacak mürettebat ve personel kaybı ihtimalini önler.
- *Uzun süreli görevler:* İnsansız hava araçlarının yerden kontrol/yönlendirme odasında değişimli olarak görev yapmakta olan personeller, tamamı insan gücüne dayalı ve uzun süreli sahada aktif hareket halinde olan sistemlere nazaran uzun süren gözetleme/keşif faaliyetlerinde konsantrasyon bakımından daha verimli çalışmaktadır.

1.6.1.1. Gerekli Görev Sistemleri ve Milli Yetenek Mevcut Durumlarının Karşılaştırılması

Çizelge 1.4'te İHA sistem görevlerine göre İHA'nın sahip olması gereken sistemler ve milli yetenek mevcut durumları sunulmuştur.

Çizelge 1.4. İHA'ların gerekli görev sistemleri ve milli yetenek durumlarının karşılaştırılması (SSM, 2011)

İHA Sistemi Görevi	Gerekli Görev Sistemleri	Milli Yetenek Mevcut Durumu
İstihbarat, Gözetleme ve Keşif Desteği	Elektro Optik/Kızıl Ötesi (EO/KÖ) Sistemleri Radar Sistemleri	Mevcut bir İHA projesinde kullanılmaktadır/kullanılacaktır Mevcut bir İHA projesinde kullanılmak üzere Radar Sistemi geliştirme çalışmaları tamamlanmış olup sistem üretim ve test faaliyetleri devam etmektedir.
Sinyal İstihbaratı	Elektronik İstihbarat Sistemi Haberleşme İstihbarat Sistemi	İnsanlı hava platformunda kullanılan sistem mevcuttur. İnsanlı hava platformunda kullanılan sistem mevcuttur.
Hava Savunma Sistemlerinin Bastırılması (SEAD)	Radar Elektronik Destek (ED) / Radar Elektronik Taarruz (ET) Sistemi Radyo Frekans (RF) Sahte Hedef Sistemi	İnsanlı hava platformunda kullanılan sistem mevcuttur. Sistem alt bileşenleri değişik projeler kapsamında geliştirilmiştir.
Elektronik Taarruz	Haberleşme Elektronik Destek (ED) / Haberleşme Elektronik Taarruz (ET) Sistem Radar Elektronik Destek (ED) / Radar Elektronik Taarruz (ET) Sistemi	Kara platformunda kullanılan sistem mevcuttur. İnsanlı hava platformunda kullanılan sistem mevcuttur. Sistem alt bileşenleri değişik projeler kapsamında geliştirilmiştir.
Önleyici Elektronik Harp	Tetikleyici Sinyal Emülatörü Değişiklik Tespit Sistemi RF Köreltme/Karıştırma Sistemi	Sistem alt bileşenleri geliştirilmiştir. Sistem alt bileşenleri geliştirilmiştir. Kara platformunda kullanılan sistem mevcuttur.
Mayın Algılama	EO/KÖ Sistemi Yere Girmeli Radar (GPR) Sistemi	Karasal mayın algılama görevine yönelik gelişmiş EO/KÖ sistemi mevcut değildir. Taşınabilir GPR sisteminin milli olarak geliştirme çalışmaları mevcuttur.
Kimyasal, Biyolojik, Radyoaktif, Nükleer (KBRN) Harp	Biyokimyasal Algılayıcı	Mevcut değildir.

1.6.1.2. Askeri Alanda İHA Kullanımının Avantajları

İHA'lar görevlerini, bir yer pilotu ve aleti sayesinde uzaktan ifa edebilen ve aynı zamanda gözetlemesi yapılan düşman kuvvetlerini etkisiz hale getirebilecek yeteneğe

sahip öldürücü ve öldürücü olmayan araçlardır. Bir operasyon alanından ki imkân ve kabiliyetleri göz önüne alındığında, operasyonu yöneten ve yönlendiren kişiler tarafından görevin başarı bir şekilde yerine getirilmesi bakımından en uygun harp aracı olarak anılması tesadüf değildir. İHA'lar görev bölgesinde verilecek olan kararlarda ortam koşullarına göre kullanılabilmesi açısından komuta kademesinin elini oldukça güçlendirmektedir. Hedeflerinin takibini yapıp, görev esnası ve öncesinde değerlendirme sürelerini azaltarak, hedefin etkisiz hale getirilmesi için gereken zamanı kazandırmış olur. Aynı zamanda gerçekleştirilen faaliyet sonrasında hasar tespitini kolaylaştırmaktadır. Tüm bu durumlar ve daha fazlası bir avantaj olarak kabul edilse de, suç örgütleri ve terör gruplarının eline geçmesi durumunda, fazlasıyla tehdit unsuru oluşturabilecek bir hal alabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Günümüzde İHA sistemleri lojistik faaliyetler azaltılması, silah kullanım planlamaları ve iletişim teknolojileri gibi alanlara odaklandığını izlese de, gelecekte teknolojiye bağlı yapay zekânın gelişimi ile birlikte kendi kendilerini geliştirmesi ve özerklik kabiliyetlerine ulaşacağını tahmin etmek çok zor olmayacaktır (Bayram, 2022).

İHA'ların insanlı hava araçlarına göre bazı başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir (Karaağaç, 2016):

- İşletme ve devamlılık maliyetlerinin az olması,
- Havada kalış sürelerinin uzun olması,
- İHA'nın havada olduğu, uçuş esnasında kontrol ekibinin ve mürettebatın değiştirilebilir olması,
- İnsandan kaynaklanabilecek hataların en az seviyede olması,
- Tehlikenin olduğu durumlarda uçuş ekibinin güvenli ortamda bulunarak görevine devam etmesi ve Hava aracının infilak etmesi durumunda personelin hayati tehlikesinin olmaması.

1.6.1.3. Askeri Alanda İHA Kullanımının Dezavantajları

İHA'ların dezavantajlarına baktığımızda; mevzuatlar, kanunlar ve düzenlemeler ile ilgili aksaklıklar, izinsiz olarak yapılan sivil kullanımlar ve denetleme eksikliği, hava şartlarının elverişsiz olduğu durumlardan etkilenmeleri, siber ortamlardan gelebilecek saldırılara karşı kontrolün istenmeyen kişilerin eline geçmesi şeklinde sıralanabilmektedir (Tekinay, 2022). Yoğun elektromanyetik spektrumda çalışan İHA'lar sinyal karmaşası nedeniyle kontrol mekanizması etkilenebilir ve operasyonel faaliyeti

sekteye uğratabilmektedir. İHA'ların hedef tanıma ve karar sürecinde oluşabilecek aksaklıklar ise yanlış hedeflere zarar verilmesi ihtimalini arttırabilmektedir.

1.6.2. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Alanda Kullanımı

İHA'lardan yararlanılan bazı sivil görevleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Ollero & Maza, 2007):

- **Hava Fotoğrafçılığı ve Sinemacılığı:** Otopilot ve otonom uçuşların uygulamalarının yaygınlaşması ile bu alanda İHA'ların kullanımı artmıştır.
- **Hava Haritacılığı:** İHA'lar yeryüzü şekillerini gösteren haritaların üç boyutlu hale getirilmesinde yaygın olarak yararlanılmaktadır.
- **Meteoroloji:** Yüksek irtifalarda seyir yapabilen dayanıklı İHA'ların geliştirilmesiyle İHA'lar atmosferik ölçümler yaparak meteoroloji alanında da kullanılmaktadır.
- **Çevresel Denetim:** Çevrede oluşan kirlilik, volkanik patlama sonucu açığa çıkan lavlar, denize yağ, mazot vb. maddelerin boşaltımı dâhil çevresel değişkenlerin denetlenmesi görüntü ve diğer sensörler vasıtasıyla tespit edilmesini içermektedir.
- **Ziraat ve Ormancılık:** Tarımsal faaliyetler yürütülen ve ormanlık olan arazilerin envanterini çıkarmadan, kontrol, tespit ve ilaçlama gibi farklı alanlarda İHA'lar kullanılmaktadır.
- **Denetim:** İHA'ların üzerlerinde bulunan termal kamera, sensörler ve diğer aksamaları yardımıyla binaların ve açık alanlarının kontrolü için kullanılabilir.
- **Felaket ve Kriz Yönetimi:** Doğal felaketlerde yaşam belirtisi gösterenlerin kurtarılmasında, hasar almış yerlerin tespiti ve süratli hareket edilmesini gerektiren konularda İHA'lardan yararlanır.
- **Yangın Söndürme:** Yangın ilk çıktığında uyarı sistemi olarak, alevlerin büyüdüğü ve yaşam alanların ulaşma ihtimali muhtemel olan bölgelerde öncelikli müdahale alanlarının belirlenmesinde kullanılır.
- **Haberleşme:** İHA'lar bazı sinyal yayıcı sistemlerde tekrarlayıcı olarak yararlanılarak kapsam alanının daha fazla alanı içermesi için kullanılmaktadır (Ollero & Maza, 2007).

2. KAYNAK TARAMASI

Bu çalışmadaki literatür taramasında askeri alanda kullanılan teknolojilerin ve İHA seçimi için çözüm yöntemi olarak belirlenmiş çok kriterli karar verme metotları incelenmiş olup ardından tezde kullanılacak olan yöntemin ele alındığı çalışmalar incelenmiştir.

Yapılan literatür taraması sonucunda kullanılan yöntemler incelendiğinde, klasik ÇKKV metotlarının oldukça fazla kullanılmış olduğu göze çarpmaktadır. İlerleyen yıllarda ÇKKV yöntemleri geliştirilerek karar süreçlerine yeni birçok yöntem kazandırılmıştır.

Çizelge 2.1. Askeri alanda yapılan seçim çalışmaları ve MAIRCA yöntemini kullanan çalışmalar

Yazar	Yıl	Yöntem	Uygulama Alanları
Cheng vd.	1999	AHP	Taarruz Helikopteri
Wang ve Chang	2007	Bulanık TOPSIS	Eğitim Uçağı Seçimi
Köse vd.	2019	Gri Teori Temelli	Keskin Nişancı Seçimi
Genç	2015	PROMETHEE ve ELECTRE	Tank Seçimi
Uçakçıoğlu ve Eren	2017	AHP ve VIKOR	Savunma Sanayi Yatırım Projesi
Sennaroğlu ve Çelebi	2018	PROMETHEE ve VIKOR	Askeri Hava Alanı Yer Seçimi
Özge	2008	AHP	İHA Seçimi
Kuo-Ping Lin vd.	2011	Bilgisayar Tabanlı ve Bulanık Ağırlıklandırılmış Ortalama Yöntemi	İHA Seçimi
Ulucan	2016	Gri İlişkisel Analiz	İHA Seçimi
Hamurcu vd.	2020	AHP ve TOPSIS	İHA Seçimi
Pamuçar	2019	Bulanık MAIRCA	İniş Noktası Seçimi
Bayramoğlu	2022	Bulanık COPRAS, ARAS, MAIRCA ve RAFSI	Rüzgar Enerjisi Santrali Yer Seçimi
Ecer vd.	2022	Sezgisel Bulanık EDAS, MAIRCA ve MARCOS	Kripto Para Birimi Seçimi
Ecer	2022	Sezgisel Bulanık MAIRCA	COVID-19 Seçimi
Fetanat ve Tayebi	2023	Bulanık Küme Tabanlı MAIRCA	Endüstriyel Filtrasyon Teknolojileri Seçimi

1997 yılında Cheng'in yapmış olduğu çalışmada, bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi kullanarak askeri donanma için kullanılmakta olan taktik füze sistemlerini incelenmiştir. Bu değerlendirme yapılırken 3 alternatif füze sistemini 5 kriter üzerinden değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda çalışmanın amacına yönelik alternatifler arasından en iyi olan füze sisteminin seçimi yapılmıştır (Cheng, 1997).

1999 yılında Cheng vd. 3 alternatif arasından en iyi taarruz helikopterini seçmek için çalışma yapmışlardır. Seçim aşamalarında dilsel değişkenlerle ilişki kurularak 5 temel kriter, 3 alternatif taarruz helikopteri değişkenler ile birlikte subjektif olarak değerlendirmeye alınmıştır. Alternatifler arasından en iyi seçimi AHP metodunun kullanılması ile elde edilmiştir (Cheng vd., 1999).

2007 yılında Wang ve Chang Tayvan Hava Kuvvetleri envanteri için seçilecek ilk olma özelliği taşıyan eğitim uçağının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Tayvan Hava Kuvvetleri Akademisinde görev yapan 15 kişiden oluşan uzman personelin görüşleri alınarak 16 kriter değerlendirmeye alınmak üzere belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada 7 alternatif uçak arasından performans değeri en yüksek olan belirlenirken subjektif değerler ve parametreleştirilmiş ifadelerle yanıt veren bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır (Wang ve Chang, 2007).

2013 yılında Köse vd. yapmış oldukları çalışmada belirsizliğin sayısallaştırılması için gri teori temelli bir yöntem kullanarak keskin nişancı personeli seçmişlerdir. 10 keskin nişancı seçim kriteri belirlenmiş ve 6 farklı alternatif için bulanık çözüm yöntemi gerçekleştirilmiştir (Köse vd., 2013).

2015 yılında Genç tarafından yapılmış olan çalışmada, PROMETHEE II ve ELECTRE III yöntemleri kullanılarak askeri alanda değerlendirilmek üzere tank seçimi yapmışlardır. Tank seçimini yaparken 6 alternatif, 7 kriter temelinde değerlendirilmiş ve kullanılan iki yöntemin çıktıları karşılaştırılmıştır (Genç, 2015).

2017 yılında Uçakçioğlu ve Eren yaptıkları çalışmada Hava Savunma Sanayi alanında çalışmalar yapan bir kuruluştaki AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak yatırım projesi seçimi için problem çözümünü gerçekleştirmişlerdir. Ekonomik kararlara doğrudan etki edecek 5 temel kriter tespit edilerek, kriter ağırlıklandırmaları yapılmıştır. Sonrasında 8 alternatif, kriter ağırlıklarının çözüm içerisinde değerlendirilmesiyle sıralamaları belirlenmiştir (Uçakçioğlu ve Eren, 2017).

2018 yılında Sennaroğlu ve Çelebi yaptıkları çalışmada PROMETHEE ve VIKOR yöntemlerini kullanılarak askeri hava limanı için yer seçimi yapmışlardır. Bu problemde seçim sürecine etki eden 9 temel 33 alt kriter AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklar bulunmuştur. Bulunan ağırlıklar ile 4 alternatif arasından seçim yapılmış ve elde edilen sonuçlar MABAC (multi-attributive border approximation area comparison), COPRAS (complex proportional assessment) ve MAIRCA metotlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Sennaroglu ve Çelebi, 2018).

Özge tarafından 2008 yılında yapılmış olan yüksek lisans tez çalışmasında iç güvenlik operasyonlarında faydalanılmak için İHA seçimi problemi çözülmüştür. Seçimin yapılması aşamasında 6 temel kriter ve 25 alt kriter belirlenmiş ve ikili kıyaslamalar yardımı ile her birinin ağırlıkları belirlenmiştir. Seçim ÇKKV metotlarından AHP kullanılarak yapılmıştır. 5 alternatif arasından çözüm sonucu olarak elde edilen en optimum alternatif İHA, iç güvenlik operasyonlarında faydalanılmak üzere seçimi yapılmıştır (Özge, 2008).

Kuo-Ping Lin vd. 2011 yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmada askeri ihtiyaçları karşılamak adına sahada kullanılmak üzere İHA seçimi için bilgisayar tabanlı ve bulanık ağırlıklandırılmış ortalama yöntemi kullanarak bir program geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu arayüz ile daha önceden kullanılan yöntemlere göre bilgisayar tabanlı bu yöntem, karar vericilere karar verme sürecinde en efektif sonuca daha kolay ulaşabilmesine imkân tanımıştır (Lin ve Hung, 2011).

Ulucan tarafından 2016 yılında yaptığı yüksek lisans tezinde sivil ve askeri amaçlarla kullanılmak üzere İHA seçimi yapılmıştır. Alternatiflerin belirlenmesi aşamasında aktif olarak kullanılan sistemler simüle edilmiş ve 4 alternatif sezgisel bir biçimde elde edilmiştir. Uzman görüşlerinden yararlanılarak ve Delphi yöntemi kullanılarak 10 kriter belirlenmiştir. Problemin çözümü sırasında ÇKKV metotlarından Gri İlişkisel Analiz kullanılarak belirsizliklerin de probleme katılması sağlanmış ve daha iyi bir çözüm elde etmek amaçlanarak sıralama yapılmıştır (Ulucan, 2016).

Hamurcu vd. tarafından 2020 yılında yapılan çalışma ile savunma amaçlı İHA seçimi ÇKKV metotlarından AHP ve TOPSIS yöntemleri birlikte kullanılarak yapılmıştır. 6 İHA alternatifi ve seçime doğrudan etkisi olacak 7 kriter belirlenmiş, 7 kriter ikili kıyaslamalar yardımı ile ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlıklandırılmış kriterler çözülerek alternatifler arasından en iyi İHA seçilmiştir (Hamurcu ve Eren, 2020).

2019 yılında Pamučar aralık değerli bulanık sayılara (ADBS) dayalı belirsizlik ve kesinsizliğin ortadan kaldırılması için nesnel belirsizliği kullanarak, yalnızca verilerden elde edilen dâhili bilgileri kullanarak karar vermeyi mümkün kılan bir yöntem geliştirmiştir. Klasik MAIRCA yöntemi ile birlikte kullanılan bu model su engellerini aşmak için en uygun iniş noktasının seçimi yapmıştır. ADBS MAIRCA modelinin duyarlılık analizi, sonuçların yüksek stabilite derecesine sahip olduğunu gösteren 24 senaryo üzerinden gerçekleştirilmiştir (Pamucar vd., 2019).

Literatür taraması yapılırken geçmiş senelerde çalışmalara konu olmuş bulanık MAIRCA metodunun kullanıldığı çalışmalara değinilmiştir. Bu çalışmalarda genellikle

birkaç bulanık ÇKKV yönteminden elde edilmiş olan sonuçlar hesaplanarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Bayramoğlu 2022 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında üçgensel bulanık sayılardan yararlanarak çok kriterli karar verme metotlarını birlikte uygulayıp rüzgâr enerjisi santrali yer seçimi problemi üzerine çalışmıştır. Çalışma için 4 ana kriter ve 18 alt kriter belirlenmiş ve Kriter ağırlıklarının bulunması ve alternatifler için sıralamanın yapılmasına adına bulanık COPRAS, bulanık ARAS, bulanık MAIRCA ve bulanık RAFSI yöntemlerine başvurulmuş ve seçim sıralaması yapılmıştır (Bayramoğlu, 2022).

Boral vd. 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada bulanık AHP ve bulanık MAIRCA yöntemlerini entegre ederek başarısızlık modlarının sıralanması yapılmıştır. Risk faktörleri arasındaki göreceli önemi hesaplamak için geometrik ortalama yaklaşımı kullanılmıştır. Gerçek ve teorik değerler arasındaki farklılığı hesaplamak için bulanık MAIRCA yaklaşımı önerilmiştir (Boral vd.,2020).

Ecer vd. 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada yatırım için en uygun kripto para birimlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. En yüksek piyasa değerine sahip on beş tanınmış kripto para birimi, on altı faktöre göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın öne çıkan yeniliği olan Ortalama Çözümünden Mesafeye Dayalı Değerlendirme (EDAS), Çok Nitelikli İdeal Gerçek Karşılaştırmalı Analiz (MAIRCA) ve Uzlaşma Çözümüne Göre Alternatiflerin Ölçümü ve Sıralamayı (MARCOS) içeren sezgisel bulanık küme güdümlü bir yöntem bilim kullanarak kripto para birimi seçimi amacıyla bir grup karar mekanizması sağlamak için uygulanmış ve alternatifleri sıralamıştır (Ecer vd.,2022).

Ecer 2022 yılında yaptığı çalışmada koruma süresi, COVID-19 virüsü için geliştirilmiş olan aşılarda etkinliği, mutasyonlara karşı başarı ve lojistik gibi kriterleri kullanarak dünya sağlık otoriteleri tarafından onaylanmış 5 farklı aşıyı değerlendirmek için MAIRCA çerçevesinin sezgisel bulanık MAIRCA (SB-MAIRCA) adlı yeni bir sezgisel bulanık uzantısını önermektedir. Bu çalışmada SB-MAIRCA çerçevesinde, grubun karar vermesine dayalı olarak, hem kriter ağırlıklarını elde edilmiş hem de belirsizlik altında alternatiflerin öncelik sırasını belirlenmiştir (Ecer, 2022).

Fetanat ve Tayebi 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada bir doğal gaz işleme tesisinde kirlilik kontrolü için endüstriyel filtrasyon teknolojileri seçimi yapmışlardır. Çalışmada yöntem olarak q seviyeli bulanık küme tabanlı MAIRCA yöntemi kullanılmıştır. 18 kriter ve 5 alternatif kullanılarak yapılan çalışmada en çok tercih edilen

alternatiften en az tercih edilen alternatife doğru öncelik sırası elde edilmiştir (Fetanat ve Tayebi, 2023).

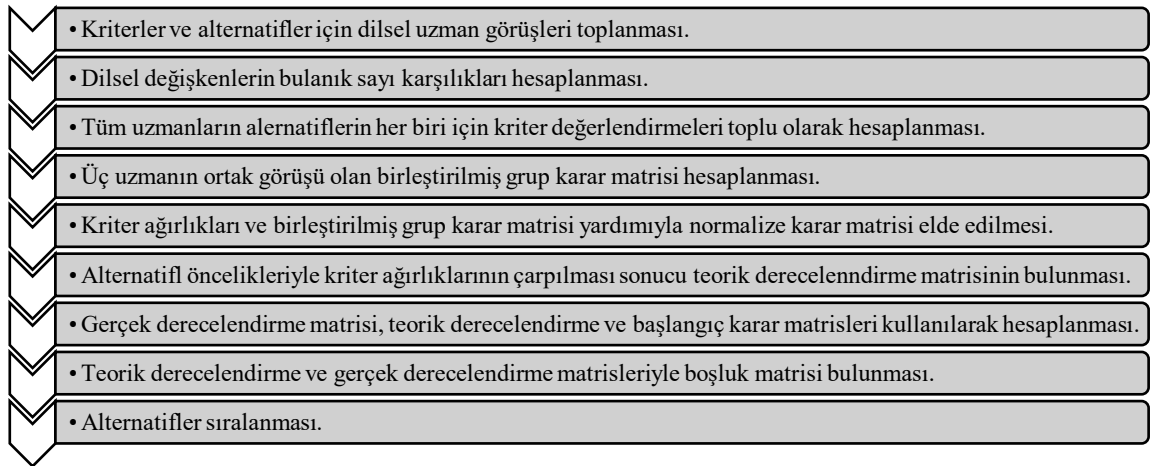
Geçmiş yıllarda q seviyeli orteper bulanık sayılar üzerinde yapılan çalışmalar yayının yapıldığı tarih ve uygulama alanları ile birlikte tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 2.2. Q seviyeli bulanık sayılar üzerine yapılan çalışmalar (Peng ve Luo, 2021)

Yazar	Yıl	Model	Uygulama Alanları
Peng vd.	2018	QSBK	Öğretim Yönetim Sistemi
Liu ve Wang	2018	QSBK	Şirket Yatırımı
Jana vd.	2019	QSBK	Yazılım Sistem Seçimi
Wei vd.	2019	QSBK	Teknoloji Ticarileştirme
Xing vd.	2019	QSBK	Tıbbi Tedavi Sistemi
Wei vd.	2018	QSBK	ERP Sistemi
Liang ve Cao	2018	QSBK	E-Ticaret
Liu vd.	2018	QSBK	Şirket Yatırımı
Krishankumar vd.	2018	QSBK	Bulut Satıcısı
Xing vd.	2018	QSBK	Tedarikçi Seçimi
Liu vd.	2018	QSBK	Lokasyon Seçimi
Liu vd.	2018	QSBK	Şirket Yatırımı
Bai vd.	2018	QSBK	Lokasyon Seçimi
Liu ve Liu	2018	QSBK	Şirket Yatırımı
Ju, vd.	2019	QSBK	Şirket Yatırımı
Zhao vd.	2019	QSBK	Tıbbi Teşhis
Zhong vd.	2019	QSBK	Lokasyon Seçimi
Qin vd.	2019	QSBK	Sanayi Yatırımı
Liu ve Wang	2019	QSBK	Şirket Yatırımı
Yang ve Pang	2019	QSBK	Şirket Yatırımı
Liang vd.	2019	QSBK	Kredi Piyasası Yatırımı
Du	2019	QSBK	Şirket Yatırımı
Krishankumar vd.	2019	QSBK	Yenilenebilir Enerji Kaynağı
Darko ve Liang	2020	QSBK	Mobil Ödeme Platformu
Wang vd.	2019	QSBK	ERP Sistem Seçimi
Joshi ve Gegov	2019	QSBK	Laptop selection
Xing vd.	2020	QSBK	Lokasyon Seçimi
Garg ve Chen	2019	QSBK	Şirket Yatırımı
Sirbiladze	2020	QSBK	Lokasyon Seçimi
Xu vd.	2019	QSBK	Şirket Yatırımı
Liu ve Wang	2020	QSBK	Akıllı Telefon Seçimi
Qin vd.	2020	QSBK	Şirket Yatırımı

3.YÖNTEM

Bu aşamada çalışmada kullanılacak olan yöntemler anlatılacaktır. Alternatif İHA'lar arasından belirlenen kriterlere göre en iyi İHA seçimi için aralık değerli q-seviyeli bulanık mantık temelli MAIRCA (MultiAtributive Ideal-Real Comparative Analysis) yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntemin akış diyagramı Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Aralık değerli Q-seviyeli bulanık mantık temelli MAIRCA yöntemi akış diyagramı

3.1. Mairca Yöntemi

Gigovic vd.'nin üzerinde çalıştığı ve ÇKKV yöntemi olarak literatüre kazandırdığı metotlardan biri olan MAIRCA metodu ideal ve deneysel değerlendirmelerin birbirleri arasındaki boşlukları ifade eden bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Her kritere ait boşlukların ayrı toplanması ve daha sonrasında karar alternatiflerinin toplam boşluklarının hesap edilmesi ile toplam boşluk değeri en düşük bulunan alternatif, sıralamada en iyi sonuç olarak değerlendirilmektedir (Gigoviç vd, 2016; Ayçin ve Güçlü, 2020).

MAIRCA metodu matematiksel açıdan yüzeysel olarak bakıldığında her ne kadar basit görünen bir algoritmik yapıda olsa da, çok kriterli karar verme yöntemleri ile aynı anda kullanılmasında ve sonuçların güvenilir olması açısından herhangi bir mahsur yoktur. MAIRCA metodunun standartlaştırma seviyesinde lineer normalizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle yapılmış çalışmalarda elde edilmiş sıralama sonuçlarının diğer ÇKKV yöntemlerine göre daha tutarlı ve güvenilir sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yöntemin başlangıç basamağında değerlendirmeye alınan alternatiflerin her birine

tarafsız olarak eşit şans vermekte; ilerleyen basamaklarda ise değerlendirme sistemi içerisindeki kriterlere göre alternatifler arasından değerlendirmenin yapılması neticesinde başlangıç aşamasında verilmiş eşdeğer olan şans durumları kendi kendine ortadan kalkmakta ve bunun akabinde alternatiflerin birbirlerinden farklılaşıp ayırt edilebilecek duruma gelmektedir (Ecer, 2020).

MAIRCA metodunun adımları aşağıda verilmiştir (Pamucar vd., 2018; Ayçin, 2020):

Adım 1: Alternatiflerin (A_i) ayrı ayrı her birine ait kriter (C_j) değerleri verilen değerleri Eşitlik (3.1)'de verilmiştir.

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.1)$$

Adım 2: Karar veren kişinin alternatifler arasından seçim yaparken tarafsızlığını koruması, oldukça önemlidir. m toplam alternatif sonucu ve i . alternatifin önceliği (P_{Ai}) Eşitlik (3.2) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$P_{Ai} = \frac{1}{m} \quad ; \quad \sum_{i=1}^m P_{Ai} = 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.2)$$

Karar verici tarafsız olduğundan dolayı alternatiflerin her birine eşit uzaklıktadır ve önceliklerin hepsinin eşit olduğu Eşitlik (3.3)'te verilmiştir.

$$P_{A1} = P_{A2} = \dots = P_{Am} \quad (3.3)$$

Adım 3: Matrisin elemanları ($t_{p_{ij}}$), alternatiflerin önceliklerinin (P_{Ai}) kriter ağırlıkları (w_j) ile çarpılması sonuç ortaya çıkmaktadır. Eşitlik (3.4) ile gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} P_{A1} * W_1 & P_{A1} * W_2 & \dots & P_{A1} * W_m \\ P_{A2} * W_1 & P_{A2} * W_2 & \dots & P_{A2} * W_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{Am} * W_1 & P_{Am} * W_2 & \dots & P_{Am} * n \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Adım 4: Teorik derecelendirme matrisi (T_p) ve başlangıç karar matrisi (X)' ten yararlanılarak Gerçek Derecelendirme Matrisi (T_r) matrisi oluşturulur. Matris elemanları, maksimizasyon eğilimli kriterlerde Eşitlik (3.5) ve minimizasyon eğilimli kriterlerde Eşitlik(3.6) ile elde edilmektedir.

$$t_{rij} = t_{p_{ij}} * \left(\frac{x_{ij} - x_{ij}^-}{x_{ij}^+ - x_{ij}^-} \right) \quad (3.5)$$

$$t_{rij} = t_{pij} * \left(\frac{x_{ij} - x_{ij}^+}{x_{ij}^- - x_{ij}^+} \right) \quad (3.6)$$

x_{ij}^+ kriterin alternatiften aldığı maksimum değeri $x_{ij}^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m)$, x_{ij}^- kriterin alternatiften aldığı minimum değeri $x_{ij}^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m)$ göstermektedir.

Adım 5: Bu aşamada Eşitlik (3.7) ve Eşitlik (3.8) yardımıyla teorik derecelendirme matrisinden (T_p) gerçek derecelendirme matrisi (T_r) çıkartıldıktan sonra, Boşluk Matrisi (G) bulunmuş olur.

$$G_{ij} = t_{pij} - t_{rij} \quad (3.7)$$

$$G = T_p - T_r = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & g_{m2} & \dots & g_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Adım 6: MAIRCA yönteminin son adımı olan bu aşamada, alternatiflerin kriter fonksiyonlarının sonuçları, alternatiflerin her biri için ayrı ayrı Eşitlik (3.9) yardımı ile hesaplanır.

$$Q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij} \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.9)$$

Anlatılan adımlar sonucunda yukarıda verilen eşitlik sonucunda hesaplanan değerlerden en küçük sonucu veren değer alternatiflerden en iyisi olarak kabul edilir.

3.2. Bulanık Küme Teorisi

Klasik küme teorisinde bir durumun bir kümeye ait olup olmama durumu kesin bir şekilde gösterilmektedir. Bu durum için örnek verilecek olursa bir insanın boyu kısa veya uzun, bir araba yavaş veya hızlı, havanın durumu soğuk ya da sıcak olarak ayırt edilecek şekilde ifade edilebilmektedir. Bu şekilde ifade edilen klasik kümeler konu olan durumların ifade edildiği olaylarda her bir eleman için 1 veya 0 değerleri tanımlanarak üyelik durumu ifade edilir. Bu durumda X 'in evrensel küme, A 'nın ise bu evrensel küme içerisinde bulunan bir alt küme olduğunu varsayarsak, X_A ise durum içerisinde yer alan bir elemanın A kümesi içerisinde bulunup bulunmadığını 1 veya 0 ile gösteren bir fonksiyondur. Klasik A kümesi Eşitlik (3.10)'da verilmiştir (Pınar, 2020).

$$X_A : X \rightarrow \{0,1\}$$

$$\forall x \in X, \quad X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.10)$$

Burada A kümesinin içerisinde bulunan elemanlar sayı karşılığı olarak 1 değerini alırken, A kümesi içerisinde yer almayan diğer elemanlar ise sayı karşılığı olarak 0 değerini almaktadır. Bu durumda klasik A kümesinde ait olma ve olmama durumları net bir şekilde 1 ve 0 gibi değerler ile tanımlanmıştır. Dolayısıyla iki durum arasındaki geçiş oldukça belirgindir. Klasik kümenin bu net ayrımına karşılık gerçek dünyada bir kümeye ait olma durumu ile ilgili belirsizlik ve geçişlere oldukça sık rastlanılmaktadır. Havanın ne kadar sıcak olduğuyla ilgili ifadeler, bir cismin hızı veya boyu için yapılan yorum, bir kişinin yaşı ile ilgili yapılan tahminler, bulunulan yerden başka bir yere yapılan mesafe öngörüler gibi net ayrım barındırmayan birçok durum söz konusu olabilmektedir. Bu net ayrım içermeyen durumları inceleyen ve bir kümeye dâhil olma halini dereceli olarak açıklayan bulanık küme teorisinde ise bir elemanın üyeliği sonsuz aralığa bölünebilen bir veya birden fazla küme içerisinde bulunma derecesi ile ifade edilmektedir. Bu durumu örnekle açıklamak gerekirse, havanın sıcaklığı ile ilgili sorulan bir soruda, klasik küme yaklaşımında net bir şekilde soğuk ya da sıcak olarak cevap alınabilirken, bulanık küme yaklaşımında sıcak ve soğuk durumları üyelik fonksiyonu ile belirtilir. O halde 18 °C için hava sıcaklığı klasik küme yaklaşımında soğuk olarak değerlendirmeye alınırken, bulanık kümelerde havanın soğuk kümesine ait olma seviyesi 0,6, sıcak olma kümesine ait olma seviyesi 0,4'tür şeklinde bir yaklaşım ile cevaplamak daha uygun olacaktır (Pınar, 2020).

3.2.1. Sezgisel Bulanık Kümeler

Klasik bulanık küme yaklaşımında bulanıklık fonksiyonu sadece üyelik durumu olarak tanımlanmıştır. 1986 yılında Atanassov'un ortaya koyduğu sezgisel bulanık küme kümeler yöntemi ile Zadeh'in yönteminin geliştiricisi olarak bulanık kümenin üye olmama fonksiyonu olduğunu ve her ikisinin toplamının bir veya birden küçük olduğunu ortaya atmıştır. Üyelik ve üye olmama fonksiyonlarının 1'den küçük olması halinde aradaki bu farkı tereddüt derecesi olarak tanımlamıştır (Atanassov, 1999).

Yine X evrensel kümesindeki A sezgisel bulanık kümesi (SBK) Eşitlik (3.11)'deki gibi ifade edilebilir (Atanassov, 1986):

$$A = \{\langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) | x \in X \rangle\} \quad (3.11)$$

Sırasıyla üye olma ve üye olmama dereceleri Eşitlik (3.12) ile gösterilir:

$$\begin{aligned}
\mu_A(x): X &\rightarrow [0,1] \\
v_A(x): X &\rightarrow [0,1] \\
0 &\leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1
\end{aligned} \tag{3.12}$$

SBK'nın tereddütlük derecesi Eşitlik (3.13) ile ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned}
\pi_A(x) &= 1 - \mu_A(x) - v_A(x) \\
0 &\leq \pi_A(x) \leq 1
\end{aligned} \tag{3.13}$$

$[\pi_A(x)]$, x hakkındaki tereddütlük derecesi için bilginin kesinliğini ifade eder, bu değer ne kadar büyük olursa belirsizliğin de o derecede yüksek olacağı kabul edilmektedir.

3.2.2. Q-Seviyeli Bulanık Kümeler (QSBK)

Q seviyeli bulanık sayılar, Zadeh tarafından 1965 yılında önerilen bulanık kümeler yöntemi, Atanassov'un 1986 yılında önerilen sezgisel bulanık kümeleri, ve Yager'in 2017 yılında önerdiği q seviyeli bulanık kümeleri (QSBK) ile ilgili tanımlara yer verilmiştir (Yager, 2017).

Q-Seviyeli Bulanık Küme, standart olmayan bulanık kümelerin en kapsamlı halidir. $0 = \langle M_0, N_0 \rangle_q$, aşağıda sıralanmış olan üç koşulu karşılıyorsa q seviyeli bulanık küme olduğu söylenir (Doğu, 2019):

- q, 1'den büyük veya eşittir.
- $M_0 \in [0,1]$ ve $N_0 \in [0,1]$
- $0 \leq M_0^q + N_0^q \leq 1$

Bir QSBK'nın bağlılık gücü $S_0 = (M_0^q + N_0^q)^{1/q}$ ve kararsızlık indeksi $H_0 = (1 - S_0^q)^{1/q} = (1 - (M_0^q + N_0^q))^{1/q}$ olarak hesaplanır. q ne kadar artarsa, bağlayıcı kısıtlama o kadar düşer ve bu da q sonsuza gittiğinde karar vericiye en büyük serbestliği vermektedir. Bununla birlikte, aynı bağlılık gücüyle q artarsa, kararsızlık derecesi yükselir ve bu modelde daha fazla belirsizliğin olması olarak yorumlanabilir. Bir karar verme sisteminde belirsizliği en aza indirmek ve optimal sonuca daha fazla yaklaşmak adına q sayısının en küçük değerini belirlemek oldukça önem arz etmektedir (Doğu, 2019).

İki QSBK $0_1 = \langle M_1, N_1 \rangle_q$ ve $0_2 = \langle M_2, N_2 \rangle_q$ herhangi bir k değeri verildiğinde, q seviyeli bulanık kümeler için Eşitlikler (3.14-3.20) aşağıda verilmektedir (Liu ve Wang, 2018):

$$\overline{O_1} = \langle N_1, M_1 \rangle_q \quad (3.14)$$

$$O_1 \vee O_2 = \langle \max(M_1, M_2), \min(N_1, N_2) \rangle_q \quad (3.15)$$

$$O_1 \wedge O_2 = \langle \min(M_1, M_2), \max(N_1, N_2) \rangle_q \quad (3.16)$$

$$O_1 \oplus O_2 = \langle (M_1^q + M_2^q - M_1^q M_2^q)^{1/q}, N_1 N_2 \rangle_q \quad (3.17)$$

$$O_1 \otimes O_2 = \langle M_1 M_2, (N_1^q + N_2^q - N_1^q N_2^q)^{1/q} \rangle_q \quad (3.18)$$

$$kO_1 = \langle (1 - (1 - M_1^q)^k)^{1/q}, N_1^k \rangle_q \quad (3.19)$$

$$O_1^k = \langle M_1^k, (1 - (1 - N_1^q)^k)^{1/q} \rangle_q \quad (3.20)$$

3.3. Aralık Değerli Q-Seviyeli Bulanık Küme Temelli MAIRCA Yöntemi

Başlangıçta Yager tarafından ortaya atılan q basamaklı bulunak kümeler belirsiz bilgileri yansıtanın bir yolu olarak açıklanmıştır. q basamaklı MAIRCA yöntemi ile ÇKKV problemlerini çözmek için maksimum faydayı ve minimum bireysel pişmanlığa sahip uzlaşmacı bir çözüm sağlamaktır. Aralık değerli q basamaklı MAIRCA yöntemi ile mevcut bilgilerdeki yetersizlik durumu ile ilgili karar vericinin üyelik derecelerini net sayılarla ifade etmesini kolaylaştırmaktadır. Önerilen bu yöntem ile birlikte belirsizlik verileri taşıyan ve kesin sonuçları olmayan problemlerin çözümü için oldukça etkili bir şekilde kullanılabilir (Fetanat ve Tayebi 2023; Ju vd., 2019).

MAIRCA yönteminin aralık değerli q basamak tabanlı adımları teorik olarak aşağıda detaylandırılmıştır (Ju vd., 2019).

Adım 1: Oluşturulacak alternatifler, kriterler ve karar vericiler tarafından önerilen model belirlenir. $A_i = (A1, \dots, Am), i = 1, \dots, m$ alternatifler kümesi, $C_j = (C1, \dots, Cn), j = 1, \dots, n$ kümesinin n kriteri kullanılarak değerlendirilir. Sonrasında $w = (w1, \dots, wn), w_j > 0$ ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ tanımlama için kullanılan vektör kümesini tanıtır.

X boş olmayan bir sabit küme olduğu düşünülürse, X üzerindeki bir aralık değerli q seviyeli bulanık küme Eşitlik (3.21) şeklinde ifade edilebilir:

$$A = \{ \langle x, ([\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)], [v_A^L(x), v_A^U(x)]) \rangle \mid x \in X \} \quad (3.21)$$

Burada $\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)$ ve $v_A^L(x), v_A^U(x)$ sırası ile $x \in X$ A'ya göre üyelik ve üyeliksizlik derecesini göstermektedir. Bu da $x \in X : [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)] \subseteq [0,1], [v_A^L(x), v_A^U(x)] \subseteq [0,1], (\mu_A^U(x))^q + (v_A^U(x))^q \leq 1, \text{ ve } [\pi_A^L(x), \pi_A^U(x)] = \left[(1 - (\mu_A^U(x))^q - v_A^U(x))^q \right]^{\frac{1}{q}},$

$(1 - \mu_A^L(x))^q - v_A^L(x))^{\frac{1}{q}} \Big] x \in X$ 'in belirsizlik derecesini göstermektedir. Açıkçası herhangi bir $x \in X$ için $\mu_A^L(x) = \mu_A^U(x)$ ve $v_A^L(x) = v_A^U(x)$ ise aralık değerli q seviyeli bulanık sayı, q basamaklı bulanık kümeye indirgenebilmektedir.

İki farklı aralık değerli q seviyeli bulanık küme olduğunu düşünürsek; $a_1 = \langle [\mu_1^L, \mu_1^U], [v_1^L, v_1^U] \rangle$ ve $a_2 = \langle [\mu_2^L, \mu_2^U], [v_2^L, v_2^U] \rangle$ işlemler Eşitlik (3.22-3.25)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$a_1 \oplus a_2 = \left\langle \left[((\mu_1^L)^q + (\mu_2^L)^q - (\mu_1^L)^q * (\mu_2^L)^q)^{\frac{1}{q}}, ((\mu_1^U)^q + (\mu_2^U)^q - (\mu_1^U)^q * (\mu_2^U)^q)^{\frac{1}{q}} \right], [(v_1^L)^q * (v_2^L)^q, (v_1^U)^q * (v_2^U)^q] \right\rangle ; \quad (3.22)$$

$$a_1 \otimes a_2 = \langle [(\mu_1^L)^q * (\mu_2^L)^q, (\mu_1^U)^q * (\mu_2^U)^q], \left[((v_1^L)^q + (v_2^L)^q - (v_1^L)^q * (v_2^L)^q)^{\frac{1}{q}}, ((v_1^U)^q + (v_2^U)^q - (v_1^U)^q * (v_2^U)^q)^{\frac{1}{q}} \right] \rangle ; \quad (3.23)$$

$$\lambda a_1 = \left\langle \left[(1 - (\mu_1^U)^q)^{\frac{1}{q}}, (1 - (1 - (\mu_1^U)^q)^{\frac{1}{q}})^{\frac{1}{q}} \right], [(v_1^L)^{\lambda}, (v_1^U)^{\lambda}] \right\rangle, \lambda > 0; \quad (3.24)$$

$$a_1^{\lambda} = \langle [(\mu_1^L)^{\lambda}, (\mu_1^U)^{\lambda}], \left[(1 - (1 - (v_1^L)^q)^{\frac{1}{q}})^{\frac{1}{q}}, (1 - (1 - (v_1^U)^q)^{\frac{1}{q}})^{\frac{1}{q}} \right] \rangle, \lambda > 0. \quad (3.25)$$

$a = \langle [\mu_a^L, \mu_a^U], [v_a^L, v_a^U] \rangle$ bir aralık değerli q seviyeli bulanık küme olduğunu düşünürsek, a 'nın puan fonksiyonu $S(a)$ Eşitlik (3.26) ve doğruluk fonksiyonu $P(a)$ Eşitlik (3.27)'deki gibi tanımlanır.

$$S(a) = \frac{1 + (\mu_a^U)^q - (v_a^U)^q + 1 + (\mu_a^L)^q - (v_a^L)^q}{4} \quad (3.26)$$

$$P(a) = \frac{(\mu_a^U)^q + (\mu_a^L)^q + (v_a^U)^q + (v_a^L)^q}{2} \quad (3.27)$$

$0 \leq S(a) \leq 1$ ve $S(a)$ 'nın puan değeri ne kadar büyükse a değeri de o kadar büyük olacaktır. Özellikle $S(a)$ 'nın 1 olduğu durumda $a = \langle [1,1], [0,0] \rangle$; $S(a)$ 'nın 0 olduğu durumda ise $a = \langle [0,0], [1,1] \rangle$ olacaktır. Benzer durum $P(a)$ için de geçerli olacaktır. $0 \leq P(a) \leq 1$; $P(a)$ 'nın doğruluk değeri ne kadar büyükse a değeri de o kadar büyük olacaktır.

Adım 2: Değerlendirme ölçeklerinden yararlanılarak uzman görüşlerine ilişkin q seviyeli değerlendirme matrisleri oluşturulur. Her bir kritere göre aday alternatifleri değerlendirmek için karar verici bazında Eşitlik (3.28) ile q basamaklı değerlendirme matrisi hesaplanacaktır.

$$D^k = [d_{ij}^k]_{m \times n} =$$

$$\begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_M \end{matrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_3 \\ (\mu_{L11}^k, \mu_{U11}^k; v_{L11}^k, v_{U11}^k) & (\mu_{L12}^k, \mu_{U12}^k; v_{L12}^k, v_{U12}^k) & \cdots & (\mu_{L1n}^k, \mu_{U1n}^k; v_{L1n}^k, v_{U1n}^k) \\ (\mu_{L21}^k, \mu_{U21}^k; v_{L21}^k, v_{U21}^k) & (\mu_{L22}^k, \mu_{U22}^k; v_{L22}^k, v_{U22}^k) & \cdots & (\mu_{L2n}^k, \mu_{U2n}^k; v_{L2n}^k, v_{U2n}^k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{Lm1}^k, \mu_{Um1}^k; v_{Um1}^k, v_{Lm1}^k) & (\mu_{Lm2}^k, \mu_{Um2}^k; v_{Lm2}^k, v_{Um2}^k) & \cdots & (\mu_{Lmn}^k, \mu_{Umn}^k; v_{Lmn}^k, v_{Umn}^k) \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Adım 3: Değerlendirme matrisleri normalleştirilir. Karar değerlendirme kriterleri fayda ve maliyet kriterleri olmak üzere iki tür olabileceğinden, fayda kriteri ne kadar büyükse, maliyet kriteri o kadar küçüktür. Eşitlik (3.29)'de verilen formüller yardımıyla sonuçlar dönüştürülür.

$$r_{ij}^k = \begin{cases} d_{ij}^k = (\mu_{ij}^k, v_{ij}^k), & \text{for benefit criteria } C_j \\ (d_{ij}^k)^c = (v_{ij}^k, \mu_{ij}^k), & \text{for cost criteria } C_j \end{cases} \quad (3.29)$$

Adım 4: $a_j = \langle [\mu_j^L, \mu_j^U], [v_j^L, v_j^U] \rangle$ ($j = 1, 2, \dots, n$) a_j eşitliğinin aralık değerli q seviyeli bulanık kümeye ait bir koleksiyon olduğunu düşünürsek, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, $w_j \in [0,1]$ ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olacak şekilde a_j 'nin ağırlık vektörü olsun a_j ($j = 1, 2, \dots, n$). Ardından operatör tarafından Eşitlik (3.30) yardımı ile hesaplanmaktadır. IVq-ROFN and IVq-ROFWA($a_1, a_2, \dots, a_n$) =

$$\left\langle \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - (\mu_j^L)^q)^{w_j}\right)^{\frac{1}{q}}, \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - (\mu_j^U)^q)^{w_j}\right)^{1/q} \right\rangle, \left[\prod_{j=1}^n (v_j^L)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (v_j^U)^{w_j} \right] \quad (3.30)$$

Adım 5: Birleştirme operatörü ağırlıklı geometrik ortalama ile bireysel değerlendirme matrisleri ağırlıklar yardımıyla tek bir değerlendirme matrisinde toplanır. Toplu değerlendirme matrisi Eşitlik (3.31) formülü ile üretilir.

$$r_{aggi} = q - ROFWG(r_{ij}^1, r_{ij}^2, \dots, r_{ij}^l) = \prod_{k=1}^l (r_{ij}^k)^{\lambda^k} = \left(\prod_{k=1}^l (r_{ij}^k)^{\lambda^k} \right)^{\frac{1}{\sum_{k=1}^l \lambda^k}}, \sqrt[q]{\left(1 - \prod_{k=1}^l (1 - (v_{r_{ij}^k})^q)^{\lambda^k}\right)} \quad (3.31)$$

Adım 7: Elde edilen matrisin her satırı w vektörünün çarpılmasıyla normalleştirilmiş matris hesaplanır Eşitlik(3.32).

$$x_{ij} = r_{ij} \otimes w_j, \text{ for } j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m \quad (3.32)$$

Adım 8: Alternatiflerin tercih durumu belirlenir. Karar vericinin seçilen seçeneklerden herhangi biri için tercihinin olmadığı varsayılmaktadır. Alternatifler arasından seçim yapma tercihi Eşitlik (3.33) ile gösterilmektedir.

$$E_{A_i} = \frac{1}{m}; \sum_{i=1}^m 1, (i = 1, \dots, m) \quad (3.33)$$

$a_1 = ([a_1, b_1], [c_1, d_1])$ ve $a_2 = ([a_2, b_2], [c_2, d_2])$ iki aralık değerli q seviyeli bulanık küme olduğunu düşünürsek a_1 ve a_2 arasındaki mesafe ölçümü Eşitlik (3.34)'daki gibi hesaplanır (Ju vd., 2019).

$$d(a_1, a_2) = \frac{1}{4} (|a_1^2 - a_2^2| + |b_1^2 - b_2^2| + |c_1^2 - c_2^2| + |d_1^2 - d_2^2|) \quad (3.34)$$

Adım 9: Teorik düşünme matrisi (T_p) hesaplanır. Teorik düşünme elemanları $t_{pij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$ bir matris olarak üretilir ve değerler Eşitlik(3.35)'de verildiği gibi, seçenek tercihleri E_{Ai} 'nin w_j karar kriteri ağırlıkları ile çarpılması kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$T_p = [t_{pij}]_{m \times n} = \begin{matrix} E_{A1} \\ E_{A2} \\ \vdots \\ E_{Am} \end{matrix} \begin{bmatrix} t_{p11} & t_{p12} & \cdots & t_{p1n} \\ t_{p21} & t_{p22} & \cdots & t_{p2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{pm1} & t_{pm2} & \cdots & t_{pmn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{A1}w_1 & E_{A1}w_2 & \cdots & E_{A1}w_n \\ E_{A2}w_1 & E_{A2}w_2 & \cdots & E_{A2}w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{Am}w_1 & E_{Am}w_2 & \cdots & E_{Am}w_n \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

Adım 10: Gerçek matris (T_r) hesaplanır. Gerçek matris elemanları $t_{rij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$ m satır ve n sütunlu bir matris olarak üretilir Eşitlik(3.36).

$$T_r = [t_{rij}]_{m \times n} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ t_{r11} & t_{r12} & \cdots & t_{r1n} \\ t_{r21} & t_{r22} & \cdots & t_{r2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{rm1} & t_{rm2} & \cdots & t_{rmn} \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Adım 11: Fayda kriteri ve maliyet kriteri hesaplamalar sırasıyla Eşitlik(3.37) ve Eşitlik(3.38)'te verilmiştir.

$$t_{rij} = t_{pij} \left(\frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \right) \quad (3.37)$$

$$t_{rij} = t_{pij} \left(\frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \right) \quad (3.38)$$

Adım 12: Toplam boşluk matrisi (TG) hesaplanır. Eşitlik(3.39)

$$TG = T_p - T_r = \begin{bmatrix} t_{g11} & t_{g12} & \cdots & t_{g1n} \\ t_{g21} & t_{g22} & \cdots & t_{g2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{gm1} & t_{gm2} & \cdots & t_{gmn} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} t_{p_{11}} - t_{r_{11}} & t_{p_{12}} - t_{r_{12}} & \cdots & t_{p_{1n}} - t_{r_{1n}} \\ t_{p_{21}} - t_{r_{21}} & t_{p_{22}} - t_{r_{22}} & \cdots & t_{p_{2n}} - t_{r_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{p_{m1}} - t_{r_{m1}} & t_{p_{m2}} - t_{r_{m2}} & \cdots & t_{p_{mn}} - t_{r_{mn}} \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

En küçük boşluk değerine sahip alternatif en iyi alternatif olarak seçildiğinden $tg_{ij} \rightarrow 0$ değerlerinin daha küçük elde edilmesi istenmektedir.

Adım 13: Alternatifler için karar fonksiyonu B_i ile hesaplanmaktadır. Bu değer Eşitlik (3.40) ile gösterilmiştir.

$$B_i = \sum_{j=1}^n tg_{ij}, 1, \dots, m. \quad (3.40)$$

Alternatiflerin nihai önceliklendirmesi, B_i değerleri temelinde elde edilir. En düşük değere sahip alternatif en iyi seçim olarak sunulur. Alternatifler sıralamaya göre en düşük değerden en yüksek değere doğru sıralanarak seçim öncelikleri sıralaması da belirlenmiş olur.

4. PROBLEMİN TANIMI VE UYGULAMA

Problemimizin çözümü olarak kullanacağımız aralık değerli q seviyeli bulanık kümeler ile ilgili eşitlikler yöntemler başlığı altında ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir. Bu bölümde ise uygulama aşamasında kullanacağımız kriterlerin ve alternatiflerin tanımı yapılmış olup, uzmanların mesleki özellikleri tanıtılmıştır. Bu tez kapsamında alternatif olarak belirlenmiş İHA'lar arasından faydalı yük (K1), operasyonel irtifa (K2), havda kalış süresi (K3), operasyonel hız (K4), kanat açıklığı (K5), güvenilirlik (K6), harekât kabiliyeti (K7), geliştirilebilirlik (K8), otonomi (K9) ve uçuş öncesi bakım süresi (K10) kısıtlarını kullanılmıştır. Kullanılan kriterler Çizelge 4.1 'de tablo halinde verilmiştir. Geçmiş İHA seçimi için yapılan çalışmalar incelendiğinde kullanacağımız kriterlere ilave olarak haberleşme menzili, muhabere kabiliyeti, hava aracı işletim maliyeti ve birlikte işlerlik gibi kriterler de kullanılmış olmasına rağmen uzman personel ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiş olan on kriterin problem için yeterli olacağı ön görülmüştür. Alternatifler arasından kriterler yardımı ile bir seçim problemi oluşturulup matris çözümleriyle beraber alternatifler arasından optimum olanın seçimi işlemleri yapılacaktır.

Çizelge 4.1. Kriterler ve açıklamaları

Kısaltma	Kriterler	Açıklama
K1	Faydalı Yük	Hava aracının icra edeceği göreve bağlı olarak değişen donanımlardır.
K2	Operasyonel İrtifa	Hava aracının görev esnasında çıkabileceği irtifadır.
K3	Havada Kalış Süresi	İHA'nın üssüne geri dönmeden ne kadar süre boyunca görevini ifa edebileceğini ifade eden kriterdir.
K4	Operasyonel Hız	İHA'nın görevini yerine getirirken daha fazla isabetli atış yapabilmesi için maksimum hızı yerine kullanılan kriterdir.
K5	Kanat Açıklığı	Manevra kabiliyetini doğrudan etkileyecek olan kanat açıklığı kritik bir kriter olarak değerlendirilmektedir.
K6	Güvenilirlik	Hava aracında kullanılan yazılım sistemlerinin güvenliklerini içeren kriterdir.
K7	Harekât Kabiliyeti	Görevin, sınırların korunması ve gerektiğinde müdahale edilmesi olduğu düşünüldüğünde harekât kabiliyeti en önemli kriterlerdendir.
K8	Geliştirilebilirlik	Hava aracının yeni teknolojilere adapte olabilme seviyesini ifade eden kriterdir.
K9	Otonomi	Hava aracının otonom olarak kullanılabilme seviyesini ifade eden kriterdir.
K10	Uçuş Öncesi Bakım Süresi	Hava aracının uçuşa hazırlanma aşamasında ne kadar süre harcadığını ifade eden kriterdir.

Alternatif olarak belirlenen İHA'lar hali hazırda görev bölgelerinde aktif bir şekilde kullanılmakta olan sistemlerden seçilmiş ve alternatifler alternatif 1, alternatif 2,

alternatif 3 ve alternatif 4 olarak problemin içerisine dâhil edilmiştir. Çözüm aşamalarında oluşturulacak olan matrislerde alanında aktif bir şekilde çalışmalarına devam etmekte olan 3 uzman askeri personelin görüşlerine başvurulmuştur. Uzman 1 askeri fabrikalarda görev yapmış 25 yıllık deneyim ve tecrübe birikimine sahip üst subaydır. Uzman 2 daha önceden Kara Kuvvetleri Komutanlığında görev yapmış sınıfı mühendis olan üst subaydır. Uzman 3 Milli Savunma Üniversitesi Kara Harp Okulunda görev yapan ve birçok askeri projede yer almış bir personeldir. Üç uzmandan toplanan görüşlere problem çözümünde uzman görüşleri olarak yer verilmiştir ve akabinde uzmanlar tarafından kriterlerin önem dereceleri belirlenmiştir. Öncelikli olarak uzman görüşlerine başvurulurken dilsel değişkenler kullanılmıştır. Çizelge 4.2’te alternatiflerin değerlendirmesinde kullanılan dilsel değişkenler ve bu değişkenlerin bulanık sayı karşılıkları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Dilsel değişkenlerin sayısal karşılıkları

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Yüksek(ÇY)	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]
Yüksek(Y)	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]
Az Yüksek(AY)	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]
Orta(O)	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
Az Düşük(AD)	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]
Düşük(D)	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]
Çok Düşük(ÇD)	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]

Üç uzmandan kriterler ve alternatifler için kriterlerin ayrı ayrı her birini değerlendirmeleri istenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda uzmanlardan elde edilen bilgiler doğrultusunda kriterler için dilsel uzman görüşlerine çizelge 4.3’de ve her bir alternatif için tüm kriterlerin dilsel olarak 3 uzmanın görüşlerine 4.4’te yer verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kriterler için dilsel uzman görüşleri

Kriterler	Önem dereceleri		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
K1	ÇY	AY	Y
K2	O	Y	Y
K3	Y	ÇY	ÇY
K4	AD	O	D
K5	ÇD	D	ÇD
K6	O	AD	O
K7	Y	AY	ÇY
K8	AD	O	D
K9	O	AY	Y
K10	D	AD	AD

Çizelge 4.4. Her bir alternatif için dilsel uzman görüşleri

	Alternatif	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Uzman 1	A1	Y	O	ÇY	AD	D	AD	ÇY	AD	AY	AD
	A2	ÇY	AY	Y	O	ÇD	Y	Y	D	D	ÇD
	A3	AY	AD	AY	D	O	AY	ÇY	D	Y	O
	A4	AY	Y	Y	D	AY	ÇY	O	O	ÇY	D
Uzman 2	A1	O	ÇY	AY	AY	D	Y	AD	AD	ÇY	D
	A2	Y	AY	Y	ÇD	ÇD	O	Y	Y	AY	AD
	A3	AY	Y	AD	AD	O	AY	ÇY	ÇY	D	O
	A4	Y	O	AY	O	ÇD	D	ÇY	O	AD	AY
Uzman 3	A1	AY	ÇY	Y	AD	ÇD	O	AY	Y	O	D
	A2	Y	AY	ÇY	O	D	AY	Y	AD	ÇY	AD
	A3	ÇY	O	AY	D	AD	Y	ÇY	O	D	ÇD
	A4	O	D	ÇY	AY	D	ÇY	O	AY	AD	O

Çizelge 4.5’te verilmiş olan tabloda, çizelge 4.4’te $q=3$ alınarak hesaplanan alt ve üst değer şeklinde verilen bulanık sayı değerleri üç uzman için herbir kritere önem derecesi olarak kaydedilmiştir. Kritereler için verilen dilsel uzman görüşleri Çizelge 4.5’ten itibaren sayısal verilere dönüştürülüp diğer adımlarda oluşturulacak olan matrislerin hesaplanması için kullanılacaktır.

Çizelge 4.5. Kriterlerin önem dereceleri

Kriterler	U1	U2	U3
K1	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]
K2	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]
K3	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]
K4	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]
K5	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]
K6	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
K7	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]
K8	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]
K9	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]
K10	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]

Daha sonrasında Çizelge 4.5.’te elde etmiş olduğumuz kriterler için alt ve üst değerlerin ayrı ayrı geometrik ortalamaları Eşitlik 3.29 kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Alt ve üst değerler olarak ortak uzmanlara ait ortak görüşler Çizelge 4.6’da kriter ağırlıkları olarak tablo haline getirilmiştir.

Çizelge 4.6. Kriter ağırlıkları

Kriterler	Ortak görüş
K1	[(0.7697, 0.8544), (0.3217,0.4177)]
K2	[(0.6840, 0.7862), (0.3933,0.4901)]
K3	[(0.8971, 0.9590), (0.2431,0.3405)]
K4	[(0.3107, 0.4160), (0.7730,0.8530)]
K5	[(0.1260, 0.2289), (0.9461,0.9830)]
K6	[(0.4217, 0.5241), (0.5894,0.6915)]
K7	[(0.7697, 0.8544), (0.3217,0.4177)]
K8	[(0.3107, 0.4160), (0.7730,0.8530)]
K9	[(0.6214, 0.7230), (0.4177,0.5159)]
K10	[(0.2621, 0.3634), (0.7994,0.8777)]

Çizelge 4.4'te verilmiş olan her bir alternatif için dilsel uzman görüşlerini, elde etmiş olduğumuz kriter ağırlıkları ile sayısallaştırarak çizelge 4.7 kriter temelli alternatifler için 1. uzmanın görüşleri tablosu elde edilmiştir. Çizelge 4.7'nin elde edilmesinde kullanıla yöntemler tekrarlanarak, 2. ve 3. uzmanlar için Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.10'un elde edilmesinde kriter temelli alternatifler için uzman görüşleri kullanılarak üç uzmanın ortak görüşlerinin elde edildiği birleştirilmiş grup karar matrisi tablosu oluşturulmuştur. Örneğin çizelge 4.10 oluşturulması aşamasında, alternatif 1 ve kriter 1 kesişiminin ilk elemanı elde edilirken: 1. uzmanın alternatif 1 ve kriter 1'deki kesişiminin ilk elemanı, 2. uzmanın alternatif 1 ve kriter 1'deki kesişiminin ilk elemanı ve 3. uzmanın alternatif 1 ve kriter 1'deki kesişiminin ilk elemanının geometrik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Kriter temelli alternatifler için 1. uzmanın görüşleri

	A1	A2	A3	A4
K1	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]
K2	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]
K3	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]
K4	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]
K5	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]
K6	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]
K7	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
K8	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
K9	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]
K10	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]

Çizelge 4.8. Kriter temelli alternatifler için 2. uzmanın görüşleri

	A1	A2	A3	A4
K1	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]
K2	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
K3	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]
K4	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
K5	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]
K6	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]
K7	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]
K8	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
K9	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]
K10	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]

Çizelge 4.9. Kriter temelli alternatifler için 3. uzmanın görüşleri

	A1	A2	A3	A4
K1	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
K2	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]
K3	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]
K4	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]
K5	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]
K6	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]
K7	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]
K8	[(0.8, 0.9), (0.3, 0.4)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.6, 0.7), (0.4, 0.5)]
K9	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]	[(0.95, 0.99), (0.2, 0.3)]	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]
K10	[(0.2, 0.3), (0.9, 0.95)]	[(0.3, 0.4), (0.7, 0.8)]	[(0.1, 0.2), (0.96, 0.99)]	[(0.5, 0.6), (0.5, 0.6)]

Çizelge 4.10. Birleştirilmiş grup karar matrisi

	A1	A2	A3	A4
K1	[(0.6214, 0.7230), (0.4177, 0.5159)]	[(0.8472, 0.9291), (0.2746, 0.3728)]	[(0.6993, 0.7857), (0.3575, 0.4538)]	[(0.6214, 0.7230), (0.4177, 0.5159)]
K2	[(0.7670, 0.8378), (0.3650, 0.4556)]	[(0.6000, 0.7000), (0.4000, 0.5000)]	[(0.4932, 0.6000), (0.5605, 0.6618)]	[(0.4309, 0.5451), (0.7285, 0.8086)]
K3	[(0.7697, 0.8544), (0.3217, 0.4177)]	[(0.8472, 0.9291), (0.2746, 0.3728)]	[(0.4762, 0.5809), (0.5520, 0.6540)]	[(0.7697, 0.8544), (0.3217, 0.4177)]
K4	[(0.3780, 0.4820), (0.6388, 0.7412)]	[(0.2924, 0.4160), (0.8217, 0.9032)]	[(0.2289, 0.3302), (0.8599, 0.9225)]	[(0.3915, 0.5013), (0.7334, 0.8139)]
K5	[(0.1587, 0.2621), (0.9268, 0.9710)]	[(0.1260, 0.2289), (0.9461, 0.9830)]	[(0.4217, 0.5241), (0.5894, 0.6915)]	[(0.2289, 0.3476), (0.8845, 0.9455)]
K6	[(0.4932, 0.6000), (0.5605, 0.6618)]	[(0.6214, 0.7230), (0.4177, 0.5159)]	[(0.6604, 0.7612), (0.3728, 0.4720)]	[(0.5651, 0.6650), (0.7090, 0.7867)]
K7	[(0.5550, 0.6520), (0.5336, 0.6331)]	[(0.8000, 0.9000), (0.3000, 0.4000)]	[(0.9500, 0.9900), (0.2000, 0.3000)]	[(0.6193, 0.7090), (0.4442, 0.5400)]
K8	[(0.4160, 0.5241), (0.6309, 0.7329)]	[(0.3634, 0.4762), (0.7620, 0.8423)]	[(0.4563, 0.5627), (0.7260, 0.8055)]	[(0.5313, 0.6316), (0.4720, 0.5716)]
K9	[(0.6581, 0.7464), (0.4059, 0.5014)]	[(0.4849, 0.5924), (0.7170, 0.7962)]	[(0.3175, 0.4327), (0.8364, 0.9016)]	[(0.4405, 0.5411), (0.6268, 0.7280)]
K10	[(0.2289, 0.3302), (0.8599, 0.9225)]	[(0.2080, 0.3175), (0.8583, 0.9314)]	[(0.2924, 0.4160), (0.8217, 0.9032)]	[(0.3915, 0.5013), (0.7334, 0.8139)]

Çizelge 4.11. Ağırlıklı normalize karar matrisi

	A1	A2	A3	A4
K1	[(0.4783, 0.6178), (0.4699, 0.5850)]	[(0.6521, 0.7938), (0.3763, 0.4945)]	[(0.5383, 0.6713), (0.4263, 0.5424)]	[(0.4783, 0.6178), (0.4699, 0.5850)]
K2	[(0.5246, 0.6587), (0.4740, 0.5859)]	[(0.4104, 0.5504), (0.4945, 0.6109)]	[(0.3374, 0.4717), (0.6093, 0.7201)]	[(0.2947, 0.4286), (0.7512, 0.8360)]
K3	[(0.6905, 0.8194), (0.3613, 0.4784)]	[(0.7600, 0.8910), (0.3264, 0.4469)]	[(0.4272, 0.5571), (0.5647, 0.6755)]	[(0.6905, 0.8194), (0.3613, 0.4784)]
K4	[(0.1174, 0.2005), (0.8445, 0.9186)]	[(0.0909, 0.1731), (0.9128, 0.9655)]	[(0.0711, 0.1374), (0.9299, 0.9721)]	[(0.1216, 0.2086), (0.8769, 0.9380)]
K5	[(0.0200, 0.0600), (0.9895, 0.9986)]	[(0.0159, 0.0524), (0.9921, 0.9992)]	[(0.0531, 0.1200), (0.9576, 0.9887)]	[(0.0288, 0.0796), (0.9840, 0.9974)]
K6	[(0.2080, 0.3145), (0.7012, 0.8065)]	[(0.2621, 0.3790), (0.6404, 0.7504)]	[(0.2785, 0.3990), (0.6265, 0.7374)]	[(0.2383, 0.3485), (0.7873, 0.8692)]
K7	[(0.4272, 0.5571), (0.5647, 0.6755)]	[(0.6158, 0.7690), (0.3901, 0.5095)]	[(0.7312, 0.8459), (0.3449, 0.4609)]	[(0.4767, 0.6058), (0.4905, 0.6027)]
K8	[(0.1293, 0.2181), (0.8420, 0.9166)]	[(0.1129, 0.1981), (0.8879, 0.9463)]	[(0.1418, 0.2341), (0.8741, 0.9356)]	[(0.1651, 0.2628), (0.8034, 0.8843)]
K9	[(0.4090, 0.5397), (0.5129, 0.6266)]	[(0.3013, 0.4283), (0.7457, 0.8305)]	[(0.1973, 0.3128), (0.8505, 0.9164)]	[(0.2738, 0.3912), (0.6703, 0.7776)]
K10	[(0.0600, 0.1200), (0.9367, 0.9762)]	[(0.0545, 0.1154), (0.9360, 0.9788)]	[(0.0766, 0.1512), (0.9214, 0.9707)]	[(0.1026, 0.1822), (0.8895, 0.9476)]

Çizelge 4.12. Teorik derecelendirme matrisi

	A1	A2	A3	A4
K1	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]
K2	[(0.4513, 0.5352), (0.7919, 0.8367)]	[(0.4513, 0.5352), (0.7919, 0.8367)]	[(0.4513, 0.5352), (0.7919, 0.8367)]	[(0.4513, 0.5352), (0.7919, 0.8367)]
K3	[(0.6494, 0.7453), (0.7022, 0.7639)]	[(0.6494, 0.7453), (0.7022, 0.7639)]	[(0.6494, 0.7453), (0.7022, 0.7639)]	[(0.6494, 0.7453), (0.7022, 0.7639)]
K4	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]
K5	[(0.0794, 0.1444), (0.9862, 0.9957)]	[(0.0794, 0.1444), (0.9862, 0.9957)]	[(0.0794, 0.1444), (0.9862, 0.9957)]	[(0.0794, 0.1444), (0.9862, 0.9957)]
K6	[(0.2682, 0.3366), (0.8762, 0.9119)]	[(0.2682, 0.3366), (0.8762, 0.9119)]	[(0.2682, 0.3366), (0.8762, 0.9119)]	[(0.2682, 0.3366), (0.8762, 0.9119)]
K7	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]
K8	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]
K9	[(0.4048, 0.4819), (0.8039, 0.8475)]	[(0.4048, 0.4819), (0.8039, 0.8475)]	[(0.4048, 0.4819), (0.8039, 0.8475)]	[(0.4048, 0.4819), (0.8039, 0.8475)]
K10	[(0.1655, 0.2303), (0.9456, 0.9679)]	[(0.1655, 0.2303), (0.9456, 0.9679)]	[(0.1655, 0.2303), (0.9456, 0.9679)]	[(0.1655, 0.2303), (0.9456, 0.9679)]

Çizelge 4.11'deki ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilirken Çizelge 4.10'da elde etmiş olduğumuz değerler, Çizelge 4.6'da bulunan kriter ağırlıkları ile Eşitlik 3.23'teki gibi çarpılarak elde edilmiştir. Örneğin alternatif 1'deki 1. kriterin ilk elemanı, Çizelge 4.6'da bulunan 1. kriterin ilk elemanı ile Çizelge 4.10'daki 1. alternatifin kriter 1'de bulunan ilk elemanı ile çarpılması sonucunda elde edilmiştir. Teorik derecelendirme matrisi Eşitlik 3.24'teki gibi alternatiflerin öncelikleri ile kriter ağırlıklarının çarpılması sonucunda elde edilmiştir. Çizelge 4.12'de elde edilen sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.13. Gerçek derecelendirme matrisi

	A1	A2	A3	A4
K1	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]	[(0.3727, 0.4341), (0.9057, 0.9266)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]
K2	[(0.4513, 0.5352), (0.7919, 0.8367)]	[(0.4110, 0.4888), (0.8402, 0.8754)]	[(0.3322, 0.3967), (0.9136, 0.9333)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]
K3	[(0.6079, 0.7021), (0.7550, 0.8073)]	[(0.6494, 0.7453), (0.7022, 0.7639)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]	[(0.6079, 0.7021), (0.7550, 0.8073)]
K4	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]	[(0.1163, 0.1568), (0.9868, 0.9918)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]	[(0.1738, 0.2340), (0.9565, 0.9729)]
K5	[(0.0330, 0.0601), (0.9990, 0.9997)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]	[(0.0794, 0.1444), (0.9862, 0.9957)]	[(0.0487, 0.0887), (0.9968, 0.9990)]
K6	[(0.2189, 0.2751), (0.9309, 0.9513)]	[(0.2568, 0.3224), (0.8906, 0.9223)]	[(0.2682, 0.3366), (0.8762, 0.9119)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]
K7	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]	[(0.4658, 0.5398), (0.8199, 0.8583)]	[(0.5207, 0.6007), (0.7531, 0.8039)]	[(0.3239, 0.3779), (0.9376, 0.9517)]
K8	[(0.1549, 0.2087), (0.9690, 0.9808)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]	[(0.1195, 0.1611), (0.9857, 0.9963)]	[(0.1965, 0.2645), (0.9377, 0.9610)]
K9	[(0.4048, 0.4819), (0.8039, 0.8475)]	[(0.2927, 0.3503), (0.9224, 0.9406)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]	[(0.3206, 0.3834), (0.8989, 0.9223)]
K10	[(0.1637, 0.2279), (0.9473, 0.9689)]	[(0.1655, 0.2303), (0.9456, 0.9679)]	[(0.1455, 0.2026), (0.9627, 0.9781)]	[(0.0000, 0.0000), (0.1000, 0.1000)]

Çizelge 4.13'te bulunan gerçek derecelendirme matrisi, Eşitlik 3.37 ve 3.38 yardımıyla teorik derecelendirme matrisi ve başlangıç karar matrisinden faydalanılarak elde edilmiştir. Çizelge 4.14'te bulunan boşluk matrisinin elde edilmesinde Eşitlik 3.39'da belirtilen teorik derecelendirme matrisi ve gerçek derecelendirme matrisleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Boşluk matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
A1	0,3546	0,0000	0,0650	0,0000	0,0139	0,0585	0,3546	0,0348	0,0000	0,0017
A2	0,0000	0,0568	0,0000	0,0563	0,0158	0,0150	0,0798	0,0764	0,1397	0,0000
A3	0,1925	0,1502	0,4751	0,0764	0,0000	0,0000	0,0000	0,0549	0,2579	0,0177
A4	0,3546	0,2907	0,0650	0,0206	0,0111	0,1465	0,2389	0,0000	0,1101	0,0624

Çizelge 4.15. Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler	Toplam(B_i)	Sıralama
A1	0,8832	2
A2	0,4397	1
A3	1,2248	3
A4	1,2999	4

Kriter fonksiyonlarının değeri, her bir alternatif için Eşitlik 3.37'den yararlanılarak hesaplanmıştır. B_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve alternatiflerin sıralaması da ortaya çıkmıştır. En düşük B_i değerine sahip karar alternatifi, en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin B_i değerleri ve sıralamaları Çizelge 4.15'te verilmiştir. Alternatif 2 en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Diğer sıralamalar sırasıyla A1,A3 ve A4 şeklinde bulunmuştur.

5. SONUÇ

Gün geçtikçe İHA kullanım alanları yaygınlaşmaktadır. Öyle ki 2010 yılının verilerine bakıldığında askeri alanda 60 farklı ülke tarafından İHA'lar kullanılırken, 2019 yılı verilerinde bu sayı 95'e yükselmiştir (Gettinger, 2020). İHA Sistemlerindeki bu artışa paralel ülkemizde de hem bu sistemlerin kullanımı hem de yerli kaynaklarla üretimi artmıştır. İHA'lar kullanılmak istenilen durumlara göre farklı donatılarla teçhiz edilebilmesi sayesinde diğer harp araçlarına nazaran bir üstünlük kurmuşlardır. Ayrıca bu esneklik sayesinde operasyonel faaliyetlerin anlık değişimlerine adapte olabilmesi en büyük avantajlarından olup, bu avantajlar ve daha fazlası sayesinde komuta kontrol kademelerinde yer alan personel için en büyük avantaj haline dönüşmüştür. Askeri alanda kullanılan İHA'ların özellikle personel için hayati tehlike riskini minimuma indirmesi üzerine oldukça faydalı bir teknoloji haline geldiği yadsınamaz bir gerçek oluşturmaktadır. TSK bünyesinde çalışan birçok personelin uzun zaman ayırarak yapacağı görevleri, uzun saatler havada kalma süresi avantajlarını kullanarak efektif bir şekilde özellikle keşif gözetleme, istihbarati faaliyetler ve operasyon gerçekleştirilmesi zor olan bölgelerde hedef imhası için kullanılabilmektedir. Ülkemizin jeopolitik konumu ve yıllardır süre gelen terör faaliyetlerinin engellenmesi adına gelecek dönemler için de İHA'lara ihtiyaç duyulacağı ve aktif kullanımlarının uzun süre devam edeceği düşünülmektedir. Devletler, ülkelerine yapılabilecek olan saldırılara karşı savunma amaçlı bu tür harp araçlarını üreterek veya satın alma yöntemine başvurarak envanterlerine katarlar ve gereksinim duydukları ihtiyaçlarına cevap ararlar. Bu noktada satın alma ile yapılacak olan ihtiyaç karşılamaında kaynakların etkili bir şekilde kullanılması için seçim aşaması son derece kritik rol oynamaktadır.

İHA sistemlerinin bu denli yaygınlaşması ve katkıları düşünüldüğünde karar vericiler tarafından karar alınmasının kritik bir hal almaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kriterlerin ağırlıklandırılması ve seçim konusunda ÇKKV yöntemleri oldukça fazlaca kullanılmış fakat alternatif ve kriterler arasındaki ilişkinin hassasiyetinin ifade edilmesi güçtür. Kriterlerin ağırlıklandırılması aşamasında ortaya çıkan karmaşıklıklar ortadan kaldırılması maksadıyla aralık değerli q seviyeli bulanık küme kullanılarak bu karmaşıklık ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Tez kapsamında komuta kademesinden alınan görüşlere göre yapılan önem ağırlıklandırmaları ve bu ağırlıkların neticesinde aralık değerli q basamaklı bulanık küme temelli Mairca metodu kullanılarak daha önceden belirlenmiş dünya çapında seri üretimi ve kullanımı devam etmekte olan

dört farklı İHA alternatifi arasından oluşturulan çözüm matrisleri yardımı ile seçim yapılması ön görülmüştür. Çözüm aşamasında öncelikle 3 farklı uzmandan dilsel ifade olarak alınan kriter önem dereceleri tablo haline getirilmiş daha sonra uzman görüşleri kriterler ve alternatiflerin ağırlandırılması olarak düzenlenmiştir. Elde edilen tablonun bulanıklaştırılması sonucunda yeni çözüm matrisi elde edilmiş ve q seviyeli bulanık küme temelli Mairca metodunun adımları takip edilerek yapılacak işlemlerin sonucunda en iyi seçimin A2 alternatifi olduğu tespit edilmiştir. A2 alternatifinin seçimi için uygun koşulların oluşmaması durumunda diğer seçeneklerde değerlerine göre sıralanmış ve $A2 < A3 < A1 < A4$ sıralaması oluşturulmuştur. Hesaplanan değerlerden en küçük olanının en iyi sonuç olanın A2 alternatifi en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Daha sonrasında sırasıyla en iyi ikinci alternatif A3, üçüncü en iyi alternatif A1 ve son sırada A4 alternatifi yer almaktadır. Ayrıca aralık değerli q basamaklı bulanık sayı temelli Mairca methodu ile oluşturulan çözüm yöntemi ile değişen strateji ve koşullarda daha fazla kriter ve alternatif ile hesap yapmak mümkündür. Yöntem esnek bir çerçevede kurulmuş olup alternatif ve kısıt sayılarının değişmesi durumunda esnetilerek yeni kurulacak olan probleme de uygun hale getirilebilmektedir. Ayrıca diğer ÇKKV yöntemlerinin bulanıklaştırılması sonucunda verilecek kararlar ile karşılaştırma matrisleri oluşturulabilir ve yöntemin diğer yöntemlere göre kıyaslaması yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akyürek, S., Yılmaz, M. A., & Taşkıran, M., 2012, *İnsansız Hava Araçları: Muharebe Alanında Ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm*. Ankara: Bilge Adamlar Stratejik Araştırma Merkezi (BİLGESAM).
- Altundaş, A., 2021, Türk Kara, Hava Ve Deniz Sınırlarının Korunmasına Yönelik İHA Üssü Yer Seçimi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara*.
- Atanassov, K. T., 1986, Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems* 20 (1), 87-96.
- Atanassov, K. T., 1999, *Intuitionistic Fuzzy Sets, Vol. 35 Of Studies In Fuzziness And Soft Computing*. Physica, Heidelberg, Germany.
- Austin, R., 2010, Unmanned Aircraft Systems, UAVS Design, Development And Deployment. *SAE Aero Desing Rules Document*, s. 36-40.
- Austin, R., 2010, *Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Ayçin, E., 2020, Personel Seçim Sürecinde CRITIC ve MAIRCA yöntemlerinin Kullanılması. *İşletme*, 1(1), 1-12.
- Ayçin, E., & Güçlü, P., 2020, BIST Ticaret Endeksinde Yer Alan İşletmelerin Finansal Performanslarının Entropi ve MAIRCA Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 287-312.
- Bai, K., Zhu, X., Wang, H., & Zhang, R., 2018, Some Partitioned Maclaurin Symmetric Mean Based On Q-Rung Orthopair Fuzzy Information For Dealing With Multi-Attribute Group Decision Making. *Symmetry*, 10(9), 383.
- İngiltere Savunma Bakanlığı, 2011, THE UK approach to unmanned aircraft systems. *Joint Doctrine Note*, 2/11 .
- Bayram, A. E., 2022, Savunma Sanayinde SİHA/İHA Kullanımının Milli Ekonomiye Katkısı. *Altınbaş Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul*.
- Bayramoğlu, S., 2022, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Denizli.
- Boral, S., Howard, I., Chaturvedi, S., & McKee, K., 2020, An İntegrated Approach For Fuzzy Failure Modes And Effects Analysis. *Engineering Failure Analysis* 108.
- 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., Kuo-Lung, Y., & Hwang, C.-L., 1999, Evaluating Attack Helicopters by AHP Based On Linguistic Variable Weight. *European Journal of Operational Research*, 116, 423-435.
- Chin, W. J., & Sern, Y., 2009, V. C. Unmanned Aerial Vehicles: Development Trends & Technology Forecast. *Military Technology*, 33(2), 70-80.
- Clark, J., 2004, A Snake's-eye View. *Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*, 3(10), 14-16.
- Cole, C., Dobbing, M., & Hailwood, A., 2010, *Convenient Killing: Armed Drones And The Playstation Mentality. Fellowship Of Reconciliation* [online]. <https://dronewarsuk.files.wordpress.com/2010/10/conv-killing-final.pdf>
- Darko, A. P., & Liang, D., 2020, Some q-rung orthopair fuzzy Hamacher aggregation operators and their application to multiple attribute group decision making with modified EDAS method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 103259.
- De Havilland Museum. 2021, *De Havilland DH82B Queen Bee* [online]. <https://www.dehavillandmuseum.co.uk/aircraft/de-havilland-dh82b-queen-bee/>

- Defense, U. D., 2005, The US Air Force Remotely Piloted Aircraft and Unmanned Aerial Vehicle Strategic Vision (U.S. Air Force Research. 1.). *Department of Defense*, Nebraska: U.S.
- Demirkıran, Z., 2010, İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi. *Bilim ve Teknik*, 517, 28-31.
- Du, W. S., 2019, Minkowski-type Distance Measures For Generalized Orthopair Fuzzy Sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(4), 802-817.
- Ecer, F., 2020, Çok Kriterli Karar Verme, Geçmişten Günümüze Kapsamlı Bir Yaklaşım. *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.
- Ecer, F., 2022, An Extended MAIRCA Method Using Intuitionistic Fuzzy Sets for Coronavirus Vaccine Selection in the Age of COVID-19. *Neural Computing and Applications*, 5603–5623.
- Ecer, F., Büyükaslan, A., & Zolfani, S. H., 2022, Evaluation of Cryptocurrencies for Investment Decisions in the Era of Industry 4.0: A Borda Count-Based Intuitionistic Fuzzy Set Extensions EDAS-MAIRCA-MARCOS Multi-Criteria Methodology. *Axioms*.
- Ercan, C., 2013, Heterojen İnsansız Hava Sistemi Filosu Dinamik Rota Planlaması İçin Karar Destek Sistemi, Doktora Tezi. *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Fetanat, A., & Tayebi, M., 2023, Industrial Filtration Technologies Selection For Contamination Control In Natural Gas Processing Plants: A Sustainability And Maintainability-Based Decision Support System Under Q-Rung Orthopair Fuzzy Set. *Process Safety and Environmental Protection*, 310-327.
- Garg, H., & Chen, S.-M., 2020, Multiattribute Group Decision Making Based On Neutrality Aggregation Operators Of Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets. *Information Sciences Volume*, 517, 427-447.
- Genç, T., 2015, Application of ELECTRE III and PROMETHEE II in Evaluating the Military Tanks. *International Journal of Procurement Management*, 8(4), 457-475.
- Gettinger, D., 2020, *The Drone Databook* [online]. <https://dronecenter.bard.edu/files/2019/10/CSD-Drone-Databook-Web.pdf>
- Gigović, L., Pamucar, D., Bajic, Z., & Milicevic, M., 2016, The Combination of Expert Judgment and GISMAIRCA Analysis for The Selection of Sites for Ammunition Depots. *Sustainability*, 8(4), 372.
- Gupta, S. G., Ghonge, M. M., & Jawandhiya, P. M., 2013, Review of Unmanned Aircraft System (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 2(4).
- Gülen, M., 2006, İnsansız Hava Aracı Kazalarının Önlenmesinde Örnek Bir Risk Yönetimi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Hamurcu, M., & Eren, T., 2020, Selection of Unmanned Aerial Vehicles by Using Multicriteria Decision-Making For Defence. *Journal of Mathematics*, 1-11.
- Hannavy, J., 2008, *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography*; (14-15 b., Cilt Volume 1). Taylor & Francis Group.
- Jana, C., Muhiuddin, G., & Pal, M., 2019, Some Dombi Aggregation of Q-rung Orthopair Fuzzy Numbers in Multiple-Attribute Decision Making. *Int J Intell Syst*, 34(12), 3220–3240.
- JAPCC., 2010, *Joint Air Power Competence Centre. Strategic concept of employment: for* [online]. http://www.japcc.org/wp-content/uploads/UAS_CONEMP.pdf

- Joshi, B. P., & Gegov, A., 2019, Confidence Levels Q-Rung Orthopair Fuzzy Aggregation Operators and its Applications to MCDM Problems. *International Journal of Intelligent Systems*, 35(1), 125-149.
- Ju, Y., Luo, C., Ma, J., Gao, H., Gonzalez, E. D., & Wang, A., 2019, Some Interval-Valued Q-Rung Orthopair Weighted Averaging Operators and Their Applications to Multiple-Attribute Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(10), 2584-2606.
- Ju, Y., Wang, A., Ma, H., Gao, H., & Gonzalez, E. D., 2019, Some Q-Rung Orthopair Fuzzy 2-Tuple Linguistic Muirhead Mean Aggregation Operators and Their Applications to Multiple-Attribute Group Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 35(1), 184-213.
- Kang, H., Joung, J., Kim, J., Kang, J., & Cho, Y. S., 2020, Protect Your Sky: A Survey of Counter Unmanned Aerial Vehicle Systems. *Ieee Access*, 8, 168671-168710.
- Korchenko, A., & Illyash, O., 2013, The generalized Classification of Unmanned Air Vehicles. (ss. 28-34). *IEEE 2nd International Conference Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments Proceedings (APUAVD)*.
- Köse, E., Kabak, M., & Aplak, H., 2013, Grey Theory Based MCDM Procedure for Sniper Selection Problem. *Grey systems: Theory And Application*.
- Krishankumar, R., Ravichandran, K. S., Kar, S., Cavallaro, F., Zavadskas, E. K., & Mardani, A., 2019, Scientific Decision Framework for Evaluation of Renewable Energy Sources under Q-Rung Orthopair Fuzzy Set with Partially Known Weight Information. *Sustainability*, 11(15), 4202.
- Kurban, Ö., & Can, T., 2016, Acil İstihbarat, Gözetleme ve Keşif İhtiyaçları İçin Mini İnsansız Hava Araçlarının Yer Kontrol İstasyonlarının Seçimi. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 35-59.
- Kurt, Ş., & Ün, O., 2015, İnsansız Hava Araçları (İHA) Üzerine Hava Hukuku Açısından Bir Değerlendirme. *Erciyes Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 195-213.
- Liang, D., & Cao, W., 2019, Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets-Based Decision-Theoretic Rough Sets for Three-Way Decisions Under Group Decision Making. *Int J Intell Syst* 34, 3139–3167.
- Liang, D., Zhang, Y., & Cao, W., 2019, Q-Rung Orthopair Fuzzy Choquet Integral Aggregation and its Application in Heterogeneous Multicriteria Two-Sided Matching Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(12), 3275-3301.
- Lin, K.-P., & Hung, K.-C., 2011, An Efficient Fuzzy Weighted Average Algorithm for The Military UAV Selecting Under Group Decision-Making. *Knowledge-Based Systems*, 24(6), 17-31.
- Liu, P., & Liu, J., 2018, Some Q-Rung Orthopair Fuzzy Bonferroni Mean Operators and Their Application to Multi-Attribute Group Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(2), 315-347.
- Liu, P., & Wang, P., 2018, Multiple-Attribute Decision-Making Based on Archimedean Bonferroni Operators of Q-Rung Orthopair Fuzzy Numbers. *IEEE Transactions on Fuzzy systems*, 27(5), 834-848.
- Liu, P., & Wang, P., 2018, Some Q-Rung Orthopair Fuzzy Aggregation Operators and their Applications to Multiple-Attribute Decision Making. *Int J Intell Syst*, 33(2), 259–280.
- Liu, P., & Wang, Y., 2020, Multiple Attribute Decision Making based on Q-Rung Orthopair Fuzzy Generalized Maclaurin Symmetric Mean Operators. *Information Sciences*, 518, 181-210.

- Liu, Z., Liu, P., & Liang, X., 2018, Multiple Attribute Decision-Making Method for Dealing With Heterogeneous Relationship Among Attributes and Unknown Attribute Weight Information Under Q-Rung Orthopair Fuzzy Environment. *Int J Intell Syst*, 33(9), 1900–1928.
- Liu, Z., Wang, S., & Liu, P., 2018, Multiple Attribute Group Decision Making Based on Q-Rung Orthopair Fuzzy Heronian Mean Operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(12), 2341-2363.
- Monash University, 2003, *Remote Piloted Aerial Vehicles: an Anthology* [online]. https://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html
- NATO, 2013, *North Atlantic Treaty Organization. Glossary Of Terms And Definitions (AAP-06)* [online]. https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/Other_Pubs/aap6.pdf
- Nonami, K., Kendoul, F., Satoshi, S., Wei, W., & Nakazawa, D., 2010, Autonomous Flying Robots: Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles. *Springer Science & Business Media*.
- Ollero, A., & Maza, I., 2007, Multiple Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicles. *Springer-Verlag*, Berlin.
- Özge, İ., 2009, İç Güvenlikte Kullanılacak İnsansız Hava Aracı Seçiminde Analitik Hiyerarşi Metodunun Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü* Ankara.
- Pamucar, D. S., Tarle, S. P., & Parezanovic, T., 2018, 31(1). New Hybrid Multi-Criteria Decision-Making DEMATEL-MAIRCA Model: Sustainable Selection of a Location for the Development of Multimodal Logistics Centre. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 1641-1665.
- Pamucar, D., Cirovic, G., & Bozanic, D., 2019, Application of Interval Valued Fuzzy-Rough Numbers in Multi-Criteria Decision Making: the IVFRN-MAIRCA Model. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 221-247.
- Pamucar, D., Deveci, M., Schitea, D., Erişkin, L., Iordache, M., & Iordache, I., 2020, Developing a Novel Fuzzy Neutrosophic Numbers Based Decision Making Analysis for Prioritizing the Energy Storage Technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 23027-23047.
- Peng, X., & Luo, Z., 2021, A Review of Q-Rung Orthopair Fuzzy Information: Bibliometrics and Future Directions. *Artificial Intelligence Review*, 54, 3361-3430.
- Peng, X., Dai, J., & Garg, H., 2018, Exponential Operation and Aggregation Operator for Q-Rung Orthopair Fuzzy Set and Their Decision-Making Method With a New Score Function. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(11), 2255-2282.
- Pınar, A., 2020, Q Seviyeli Bulanık Küme Temelli Tedarikçi Performans Değerlendirmesi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Qin, Y., Qi, Q., J.Scott, P., & Jiang, X., 2019, Multi-Criteria Group Decision Making Based on Archimedean Power Partitioned Muirhead Mean Operators of Q-Rung Orthopair Fuzzy Numbers. *PLoS One*, 14(9), e0221759.
- Qin, Y., Qi, Q., Scott, P. J., & Jiang, X., 2020, Multiple Criteria Decision Making Based on Weighted Archimedean Power Partitioned Bonferroni Aggregation Operators of Generalised Orthopair Membership Grades. *Soft Computing*, 24, 12329-12355.
- Roland, D., 2003, Uninhabited Air Vehicles From Science to Reality. *Surveillance & Reconnaissance Journal*, 3, 16-21.

- Sennaroglu, B., & 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.
- Sirbiladze, G., 2020, Associated Probabilities Aggregations in Interactive Multiattribute Decision Making for Q-Rung Orthopair Fuzzy Discrimination Environment. *International Journal of Intelligent Systems*, 35(3), 335-372.
- SSM., 2011, Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030) *Savunma Sanayi Müsteşarlığı*, Ankara.
- Tekin, A. B., Fornale, M., Turhan, M., & Maso, M., 2015, Tarımda Teknolojik Evrim; İnsansız Hava Araçları. *Akademik Bilişim Kongresi*. Eskişehir.
- Tekinay, O. N., 2022, Askeri Alanda Kullanılmak Üzere İHA Sistemleri Seçiminde TOPSIS ve BULANIK TOPSIS Yönteminin Kullanılması. *Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Yalova.
- Terkan, A., 2015, Terörizmle Mücadele Kapsamında İnsansız Hava Araçlarının Rolü: Federal Yönetimli Aşiret Bölgesi Örneği. *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Uçakçıoğlu, B., & Eren, T., 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 İnsansız Hava Aracı Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Wang, J., Wei, G., Lu, J., Alsaadi, F. E., Hayat, T., Wei, C., & Zhang, Y., 2019, Some Q-Rung Orthopair Fuzzy Hamy Mean Operators in Multiple Attribute Decision-Making and Their Application to Enterprise Resource Planning Systems Selection. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(10), 2429-2458.
- Wang, T.-C., & Chang, T.-H., 2007, Application of TOPSIS in Evaluating Initial Training Aircraft Under a Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870-880.
- Wei, G., Gao, H., & Wei, Y., 2018, Some Q-Rung Orthopair Fuzzy Heronian Mean Operators In Multiple Attribute Decision Making. *Int J Intell Syst*, 33(7), 1426–1458.
- Wei, G., Wei, C., Wang, J., Gao, H., & Wei, Y., 2019, Some Q-Rung Orthopair Fuzzy Maclaurin Symmetric Mean Operators and Their Applications to Potential Evaluation of Emerging Technology Commercialization. *Int J Intell Syst*, 34(1), 50-81.
- Xing, Y., Zhang, R., & Sun, Y., 2018, Some New q-Rung Orthopair Fuzzy Point-Choquet Integral Aggregation Operators and Their Application to Supplier Selection. (ss. 343-350), In: *2018 IEEE 17th international Conference on*.
- Xing, Y., Zhang, R., Wang, J., Bai, K., & Xue, J., 2020, A New Multi-Criteria Group Decision-Making Approach Based on Q-Rung Orthopair Fuzzy Interaction Hamy Mean Operators. *Neural Computing and Applications*, 32, 7465-7488.
- Xu, Y., Shang, X., Wang, J., Zhao, H., Zhang, R., & Bai, K., 2019, Some Interval-Valued q-Rung Dual Hesitant Fuzzy Muirhead Mean Operators With Their Application to Multi-Attribute Decision-Making. *IEEE Access*, 7, 54724-54745.
- Yager, R. R., 2017, Generalized Orthopair Fuzzy Sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222-1230.
- Yang, W., & Pang, Y., 2019, New Q-Rung Orthopair Fuzzy Partitioned Bonferroni Mean Operators and Their Application in Multiple Attribute Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(3), 439-476.

- Yiğit, E., Yazar, I., & Karakoç, H. (2018). İnsansız Hava Araçları (İHA) ‘ nın Kapsamlı Sınıflandırılması ve Gelecek Perspektifi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*.
- Zaloga, S. J., 2011, Unmanned Aerial Vehicles: Robotic Air Warfare 1917–2007. *Bloomsbury Publishing*.
- Zhao, H., Zhang, R., Shang, X., Xu, Y., & Wang, J., 2019, Some Q-Rung Orthopair Fuzzy Hamy Mean Aggregation Operators With Their Application. *In 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)* (ss. 1098-1103). IEEE.
- Zhong, Y., Gao, H., Guo, X., Qin, Y., Huang, M., & Luo, X., 2019, Dombi Power Partitioned Heronian Mean Operators of Q-Rung Orthopair Fuzzy Numbers for Multiple Attribute Group Decision Making. *PLoS One*, e0222007.