



**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ORTA İRTİFA İNSANSIZ HAVA KARGO ARACI İÇİN HAVAALANI
ALTYAPISI KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Cemal Tuğrul İ DEMİR

Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

**Havacılık Yönetimi Programı
Yüksek Lisans Tezi**

AĞUSTOS 2024



**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EēİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ORTA İRTİFA İNSANSIZ HAVA KARGO ARACI İÇİN HAVAALANI
ALTYAPISI KRİTERLERİNİN DEēERLENDİRİLMESİ**

Cemal Tuērul İÇDEMİR

2208051008

Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Havacılık Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Dr. ēr. Üyesi Meriç H. GÖKDALAY

Tez Onayı:

**ORTA İRTİFA İNSANSIZ HAVA KARGO ARACI İÇİN HAVAALANI
ALTYAPISI KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı, Havacılık Yönetimi (Türkçe) Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi **Cemal Tuğrul İÇDEMİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirerek, aşağıda imzaları olan jüri önünde tezini başarı ile sunmuştur.

Doç. Dr. Adnan GÜZEL

Müdür, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Doç. Dr. Bahar AŞCI

Anabilim Dalı Başkanı, Havacılık Yönetimi

Dr. Öğr. Üyesi Meriç H. GÖKDALAY

Tez Danışmanı: Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Tez Jüri Üyeleri :

Prof. Dr. Hediye Tüydeş YAMAN

Müh. Fakültesi, İnşaat Müh. (Ulaştırma ABD),
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Haydar ATEŞ

İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Meriç H. GÖKDALAY

İşletme Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Tarih: 01 Ağustos 2024

TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Orta İrtifa İnsansız Hava Kargo Aracı İçin Havaalanı Altyapısı Kriterlerinin Değerlendirilmesi” konulu tez çalışmasında tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, başkalarının eserlerinden yararlanmada ilgili eserlere bilimsel normlar dahilinde atıfta bulunduğumu, atıfta bulunduğum her eserin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite ya da başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

...../...../2024

Cemal Tuğrul İÇDEMİR

ÖNSÖZ

Türkiye'de “orta irtifa havada uzun kalışlı insansız kargo uçağı için ideal havaalanı yapısının belirlenmesi” çalışması için emeklerinin karşılığını ödeyemeyeceğim tüm öğretmenlerim gibi tez çalışmamda bana zaman mefhumu gözetmeksizin daima vakit ayıran, motive eden, yol gösteren saygıdeğer tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Meriç H. Gökdalay’a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda verileri oluşturan, yüz yüze görüşmeler ile vakit ayıran, karar verici olarak katılımda bulunan, sektörel tecrübelerini ve değerlendirmelerini paylaşan kıymetli katılımcılara geleceğe ışık tuttukları için teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilime olan sonsuz saygısı ve inancı ile oğlumuzu büyüten mükemmel bir anne olan, geleceğe güven ile bakabilmemizi sağlayan yeni nesillerin yetiştirilmesini sağlayan eğitim neferi olan eşim Ebru İÇDEMİR’e ve oğlum Ali Ömer İÇDEMİR başta olmak üzere tüm aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Cemal Tuğrul İÇDEMİR

İÇİNDEKİLER

Tez Onayı:.....	II
ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
TABLO LİSTESİ	IX
ŞEKİL LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR	xi
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT	xvi
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	4
1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ	4
1.1 İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Tanımı.....	4
1.1.1 İnsansız Hava Aracı	4
1.1.2 Görev Sistemleri	4
1.1.3. Hava Yer Tümlleşik Sistemler.....	5
1.1.4 Yer Sistemleri	6
1.2. İnsansız Hava Araçlarının Tarihçesi	8
1.3. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları	10
1.3.1 Askeri Kullanım Alanları.....	10
1.3.2. Sivil Kullanım Alanları.....	12
1.4. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması	12
1.4.1 Sınıf I İHA Kısıtlamaları ve Kabiliyetleri	15
1.4.2 Sınıf II İHA Kısıtlamaları ve Kabiliyetleri	16
1.4.3 Sınıf III İHA Kısıtlamaları ve Kabiliyetleri.....	16
1.4.3.1 Avcı Bombardıman İHA'ları	17
1.4.3.2 Yüksek İrtifa Havada Uzun Kalışlı (HALE) İHA'ları.....	17
1.4.3.3 Orta İrtifa Havada Uzun Kalışlı (MALE) İHA'ları	18
1.5. Türkiye’de İnsansız Hava Aracı Yönelimi.....	19
1.6. MALE Sınıfı İnsansız Kargo Uçağı	21
İKİNCİ BÖLÜM	25

2.HAVA KARGO TAŞIMACILIĞI SEKTÖRÜ	25
2.1. Sektöre Genel Bakış	25
2.1.1 Dünyada Deregülasyon ve Liberalleşme	27
2.1.2 Hava Kargo Hacmini Etkileyen Faktörler	29
2.1.2.1 Küresel Ürün Ticareti.....	30
2.1.2.2 Satın alma yöneticileri endeksi	30
2.1.2.3 İhracat rakamları	31
2.1.2.4 E-Ticaret.....	32
2.2. Hava Kargo Taşımacılığı Tedarik Zinciri	33
2.2.1 Roller ve Sorumluluklar.....	34
2.2.1.1 Gönderici.....	35
2.2.1.2 Alıcı.....	35
2.2.1.3 Yük göndericileri.....	35
2.2.1.4 Yer hizmet sağlayıcıları	36
2.2.1.5 Anlaşmalı posta operatörü.....	37
2.2.1.6 Uçak operatörü	37
2.2.1.7 Acil taşıyıcılar	38
2.3.Hava Kargo Operasyonları	38
2.3.1. Havaalanları	39
2.3.2. Kara Tarafı Yükleme/Boşaltma Operasyonları	40
2.3.3. Depolama ve Elleçleme Operasyonları.....	42
2.3.4. Uçak Yükleme/Boşaltma Operasyonları.....	44
2.4. Niteliklerine Göre Kargo Türleri.....	47
2.4.1. Tehlikeli Maddeler.....	47
2.4.2. Canlı Hayvan	49
2.4.3. İlaç.....	50
2.4.4. Bozulabilir Maddeler	51
2.5. Türkiye'nin Küresel Hava Kargo Sektöründe Yeri	53
2.6. Türkiye'nin Hava Kargo Sektöründe Gelecek Hedefleri	55
2.7. Türkiye'nin En Yüksek Hacimli Hava Kargo Havalimanları	56
2.8 İnsansız Kargo Uçağı Operasyonları.....	57
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	59

3.HAVA TRAFİK YÖNETİMİ	59
3.1. Hava Trafik Yönetimi Fonksiyonları	59
3.1.1. Hava Trafik Hizmetleri	59
3.1.1.1 Hava Trafik Kontrol Hizmeti	59
3.1.1.2 Uçuş Bilgi Hizmeti	60
3.1.1.3 Alarm İkaz Hizmeti	60
3.1.2 Hava Sahası Yönetimi	61
3.1.2.1 Hava Sahasının Sınıflandırılması	61
3.1.2.2 Hava Sahası Çeşitleri	63
3.1.2.3. Hava Sahasının Esnek Kullanım Konsepti	63
3.1.3.Hava Trafik Akış Yönetimi	65
3.2. Uzaktan Pilotlu Uçak Sistemleri İçin Tanımlanmış Operasyon Tipleri	66
3.2.1. Çok Yüksek İrtifa Operasyonları	66
3.2.2. Aletli ve Görerek Uçuş Kuralları Operasyonları	67
3.2.3. Çok Alçak İrtifa Operasyonlar	67
3.3. İKU İçin Hava Trafik Yönetim Sahası ve Gereksinimleri	68
3.4. İKU Operasyonlarının Mevcut İnsanlı Uçuş Operasyonlarına Etkisi	70
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	73
4. İKU'LARIN HAVA TAŞIMACILIĞINA ENTEGRASYONU VE ETKİLERİ	73
4.1. İKU'ların Hava Taşımacılığına Entegrasyonu	73
4.2. Ekonomik Etkileri	75
4.3. Hava Sahası Yönetimine Etkileri	76
4.4. Havaalanı İşletme Yönetimine Etkileri	77
4.5. E-Ticaret Zincirine Etkileri	78
BEŞİNCİ BÖLÜM	80
5. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR	80
5.1 Uluslararası Alanda yapılan Literatürdeki Çalışmalar	80
5.2 Türkiye'de Yapılan Literatürdeki Çalışmalar	85
ALTINCI BÖLÜM	88
6. YÖNTEM: ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (MCDM)	88
6.1 Çok Kriterli Karar Verme (MCDM)	88

6.1.1 ÇKKV Yöntemi Adımları ve Prensipleri.....	89
6.2 Araştırmada Kullanılacak ÇKKV Yöntemleri	90
6.2.1 ENTROPİ Yöntemi.....	90
6.2.2 ARAS Yöntemi	91
6.2.3 TOPSIS Yöntemi	93
YEDİNCİ BÖLÜM	96
7. BULANIK KÜME TEORİSİ	96
7.1 Bulanık Mantık.....	96
7.2 Bulanık Küme Teorisi	97
7.3 Üçgen Bulanık Sayılar.....	99
SEKİZİNCİ BÖLÜM.....	102
8. ORTA İRTİFA İNSANSIZ HAVA KARGO ARACI İÇİN HAVAALANI ALTYAPISI KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	102
8.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı.....	102
8.2 Modelin Analizinde Kullanılan Yöntem	103
8.3 Araştırmanın Kısıtları ve Varsayımları	104
8.4 Araştırma Modelinin Yapısı	105
8.4.1 Alternatifler.....	105
8.4.1.1 Mevcut düşük trafik yoğunluklu havaalanları.....	106
8.4.1.2 Mevcut iniş şeritleri.....	110
8.4.1.3 İHA havaalanı (droneport) düzenlemesi	113
8.4.1.4 İKU firmalarının iniş şeridi inşası	113
8.4.2 Kriterler.....	114
8.4.3 Karar Vericiler	117
8.5 Çalışma Süreci ve Analizler	117
8.5.1 Entropi Temelli ARAS Yöntemi ile Analiz.....	118
8.5.2 Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Analiz.....	127
DOKUZUNCU BÖLÜM.....	133
9. SONUÇ	133
KAYNAKÇA	135
ÖZGEÇMİŞ.....	143

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1: SHGM Tarafından Yapılan İHA Sınıflandırması.....	13
Tablo 1.2: Uluslararası İnsansız Araç Sistemleri İHA sınıflandırması.....	14
Tablo 1.3: NATO JAPCC Tarafından Yapılan İHA Sınıflandırması	15
Tablo 4.1: Yurtiçi ve MNG Kargo Şirketlerinin Gönderi Teslimat Süreleri	79
Tablo 6.1: ÇKKV Çalışması İşlem Basamakları	89
Tablo 7.1: Klasik ve Bulanık Mantık ile gösterimi	98
Tablo 8.1: Türkiye Havalimanları Saatlik Hareket Ortalamaları.....	108
Tablo 8.2 (Devam): Türkiye Havalimanları Saatlik Hareket Ortalamaları	109
Tablo 8.3: Türkiye’de Bulunan İniş Şeridi Bilgileri	112
Tablo 8.4 : Kriter Ağırlığı Ölçeği.....	117
Tablo 8.5: Kriter Değerlendirme Ölçeği	117
Tablo 8.6: Kriterlerin Ağırlıklandırılması Matrisi	118
Tablo 8.7: Aritmetik Ortalaması Alınmış Kriter Değerlendirmeleri	120
Tablo 8.8: Normalize Edilmiş Karar Matrisi	120
Tablo 8.9 (Devamı): Normalize Edilmiş Karar Matrisi.....	121
Tablo 8.10: Logaritması alınmış Karar Matrisi.....	121
Tablo 8.11: Logaritma Değeri ile Normalize Edilmiş Değerler Çarpımı Matrisi...	122
Tablo 8.12: Entropi Yöntemi ile Belirlenen Üçgen Bulanık Kriter Ağırlıkları	122
Tablo 8.13: Normalize Edilmiş Ortak Karar Matrisi	124
Tablo 8.14: İdeal Değer ile Toplanarak Normalize Edilen Karar Matrisi	125
Tablo 8.15: Entropi ile Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisi.....	126
Tablo 8.16: Karar Matrisinin Reel Sayıya Dönüştürülmesi.....	126
Tablo 8.17: Alternatiflerin Entropi Temelli ARAS Yöntemi ile Sıralandırması	127
Tablo 8.18: Birleştirilmiş Kriter Ağırlıkları	128
Tablo 8.19: Normalize Edilmiş Karar Matrisi	129
Tablo 8.20: Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralandırması	129

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: SSB'nın Yıllara Bağlı Yürüttüğü Proje Sayısı	20
Şekil 1.2: Savunma Sanayisinin Yıllara Bağlı İhracat Tutarları.....	20
Şekil 1.3: AT-200 İnsansız Kargo Uçağı.....	21
Şekil 1.4: Natilus Kona İnsansız Kargo Uçağı	23
Şekil 1.5: The Black Swan Cargo Drone	23
Şekil 2.1: Küresel Hava Kargo Ton Başına Taşınan Kilometre (KTK)	25
Şekil 2.2: Hava Kargo Trafik Tahmini	26
Şekil 2.3: Türkiye'nin Yıllık Küresel Ürün Ticareti ve KTK Değişim Oranları Kaynak: (OECD ve DHMİ,2023)	30
Şekil 2.4: Türkiye'nin İmalat Sanayi PMI Endeksi	31
Şekil 2.5: Türkiye'nin Yıllık İhracat ve KTK Rakamlarının Yüzdelik Değişimi Kaynak: (Türkiye İhracatçılar Meclisi ve DHMİ, 2022)	32
Şekil 2.6: Türkiye E-ticaret Verileri	33
Şekil 2.7: Hava Kargo Hareketine Genel Bakış	34
Şekil 2.8: Basit Bir Kargo Terminali Yerleşkesi	38
Şekil 2.9: Austin Bergstrom Uluslararası Havaalanı	41
Şekil 2.10: Tek Gözlü Raf, Çift Gözlü Raf ve Konsol Raf	43
Şekil 2.11: Manuel Yükleme ve Mekanize Sınıflandırma Tesisleri.....	43
Şekil 2.12: Otomatik Terminal ve Bölgesel Toplanma Yük Tesisleri.....	44
Şekil 2.13: Kargo Apronunda Bulunan İşaretler	45
Şekil 2.14: Uçak Park Alanı ve İşlemi.....	45
Şekil 2.15: Uçak Yükleme/Boşaltma Esnasında Yer Destek Cihazları.....	46
Şekil 2.16: Tehlikeli Maddeler Uyarı ve Elleçleme İşaretleri	48
Şekil 2.17: Canlı Havyan Kargosu ve Etiketleri	49
Şekil 2.18: Sıcaklık ve Zaman Hassasiyeti Etiketleri	50
Şekil 2.19: İlaç Lojistiği Kuruluşu Amblemi.....	51
Şekil 2.20: Bozulabilir Madde Etiketleri	52
Şekil 2.21: 2020 yılında Dünyada Hava Yük Taşımacılığında İlk 10 Ülke	53
Şekil 2.22: 2017-2020 Yılları Türkiye Hava Kargo Yük Miktarları	54
Şekil 2.23: 2023 Yılı İç Hat Taşınan Hava Kargolarının Havalimanı Dağılımı Kaynak: (DHMİ, 2024).....	56
Şekil 2.24: Geleneksel Hava Kargo Tedarik Zinciri Gösteri.....	58
Şekil 2.25: İKU Operasyonlarının Hava Kargo Tedarik Zincirine Girişi.....	58
Şekil 3.1: Hava Sahasının Sınıflandırılması	62
Şekil 7.1: Klasik Mantıkta Önerilen Başarı Durumu.....	98
Şekil 7.2: Bulanık Mantıkta Önerilen Başarı Durumu	99
Şekil 7.3: Üçgen Üyelik Fonksiyonu	100
Şekil 8.1: Havaalanı Alternatifleri	106
Şekil 8.2: Sivil Hava Ulaşımına Açık Havalimanları	107
Şekil 8.3: Saatlik Hareket Ortalaması 1'in Altında Olan Havalimanları.....	110
Şekil 8.4: Türkiye'de Uçak Kullanımına Açık İniş şeridi	112

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACC	: Saha Kontrol Merkezi (Area Control Center)
ACERE	: Avrupa Havacılık Araştırmaları Danışma Konseyi (The Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe)
ADS-B	: Otomatik Bağımlı İzleme Yayını (Automatic Dependent Surveillance Broadcast)
AIAA	: Amerikan Havacılık ve Uzay Enstitüsü (The American Institute of Aeronautics and Astronautics)
AGL	: Yer Seviyesinde Yükseklik (Above Ground Level)
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process)
AIP	: Havacılık Bilgi Yayını (Aeronautical Information Publication)
AIS	: Havacılık Bilgi Hizmetleri (Aeronautical Information Services)
ALAADy	: Otomatik Alçak İrtifa Hava Teslimatı (Automated Low Altitude Air Delivery)
AMC	: Hava Yönetim Hücresi (Air Management Cell)
ANSP	: Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı (Air Navigation Service Provider)
AO	: Uçak Operatörü (Aircraft Operator)
ASM	: Hava Sahası Yönetimi (Airspace Management)
ASR	: Havaalanı Gözetleme Radarı (Airport Surveillance Radar)
ATC	: Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control)
ATFM	: Hava Trafik Akış Yönetimi (Air Traffic Flow Management)
ATM	: Hava Trafik Yönetimi (Air Traffic Management)
ATS	: Hava Trafik Servisi (Air Traffic Service)
AUP	: Hava Sahası Kullanım Planı (Airspace Use Plan)
ARAS	: Katkı Oranı Değerlendirmesi (Additive Ratio Assessment)
BNİÇ	: Bulanık Negatif İdeal Çözüm
BPİÇ	: Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
BVLOS	: Görüş Hattı Ötesi (Beyond Visual Line Of Sight)
CAB	: Sivil Havacılık Kurulu (Civil Aviation Board)
CATMT	: İşbirlikçi Hava Trafik Yönetim Teknolojileri (Collaborative Air Traffic Management Technologies)
CDM	: Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism)
CEIV	: Bağımsız Doğrulamaların Mükemmeliyet Merkezi (Center Of Excellence for Independent Validators)
CG	: Ağırlık Merkezi (Center of Gravity)
CNS	: Haberleşme Seyrüsefer Gözetim (Communication, Navigation, Surveillance)
CTR	: Kontrol Sahası (Control Zone)
ÇKKV	: Çok Kriter Karar Verme
D&A	: Algıla ve Kaçın (Detect and Avoid)
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DLR	: Almanya Havacılık ve Uzay Merkezi (Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt)
EASA	: Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (European Union Aviation Safety Agency)

ELECTRE	: Eliminasyon ve Seçimi İfade Eden Gerçeklik (Elimination and Choice Expressing Reality)
EVLOS	: Genişletilmiş Görüş Hattı (Extended Visual Line Of Sight)
FAA	: Federal Havacılık İdaresi (Federal Aviation Administration)
FDM	: Bulanık Karar Haritaları (Fuzzy Decision Maps)
FFS	: Uçuş Emniyet Sistemi (Flight Safety System)
FL	: Uçuş Seviyesi (Flight Level)
FIR	: Uçuş bilgi bölgesi (Flight Information Region)
GA	: Genel Havacılık (General Aviation)
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
HALE	: Yüksek İrtifa Havada Uzun Kalışlı (High Altitude Long Endurance)
HES	: Havaalanı Emniyet Standartları
HTY	: Hava Trafik Yönetimi
IATA	: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (International Air Transport Association)
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization)
IFR	: Aletli Uçuş Kuralları (Instrument Flight Rules)
JAPCC	: Müşterek Hava Gücü Yetkinlik Merkezi (Joint Air Power Competence Centre)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İKU	: İnsansız Kargo Uçağı
İSU	: İnsansız Savaş Uçağı
İTY	: İnsansız Hava Araç Sistemleri Trafik Yönetimi
KHA	: Kişisel Hava Araçları
KHH	: Kentsel Hava Hareketliliği
KTK	: Kargo Ton Kilometre
LAPB	: Canlı Hayvan ve Bozulabilir Maddeler Kurulu (Live Animals and Perishables Board)
MALE	: Orta İrtifa Havada Uzun Kalışlı (Medium Altitude Long Endurance)
MCDM	: Çok Kriter Karar Verme Analizi (Multiple-Criteria Decision Analysis)
MDPI	: Moleküler Çeşitliliğin Uluslararası Korunması (Molecular Diversity Preservation International)
MSL	: Deniz Seviyesi (Mean Sea Level)
MTMA	: Askeri Terminal Manevra Sahası (Military Terminal Maneuvering Area)
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (National Aeronautics and Space Administration)
NATO	: Kuzey Atlantik Antlaşması Teşkilatı (North Atlantic Treaty Organization)
NOAA	: Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (National Oceanic and Atmospheric Administration)
NOTAM	: Havacılara Duyuru (Notice to Airmen)
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü (The Organization for Economic Co-operation and Development)
PMI	: Satın alma Yöneticileri Endeksi (Purchasing Managers Index)
RPAS	: Uzaktan Pilotlu Uçak Sistemleri (Remotely Piloted Aircraft Systems)
RTCA	: Havacılık için Radyo Teknik Komisyonu (Radio Technical Commission for Aeronautics)

RVSM	: Azaltılmış Dikey Ayırma Minimumu (Reduced Vertical Separation Minima)
PROMETHUS	: Değerlendirmelerin Zenginleştirilmesi için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi (Preference Ranking Organization Method, for Enrichment of Evaluations)
SATCOM	: Uydu Haberleşmesi (Satellite Communications)
SESAR	: Tek Avrupa Seması Hava Trafik Yönetimi Araştırması (Single European Sky ATM Research)
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SHT	: Sivil Havacılık Talimatı
SNA	: Ulusal Hesaplar Sistemi (System of National Accounts)
SSB	: Savunma Sanayi Başkanlığı
SSR	: İkincil Gözlem Radarı (Secondary Surveillance Radar)
TCA	: Terminal Kontrol Sahası (Terminal Control Area)
TCAS	: Trafik Uyarı ve Çarpışma Önleyici Sistem (Traffic Alert and Collision Avoidance System)
TMA	: Terminal Manevra Sahası (Terminal Maneuvering Area)
TOBB	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Sıralandırma Tercih Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
TUBİSAD	: Türkiye Bilişim Sanayicileri Derneği
UAV	: İnsansız Hava Aracı (Unmanned Aerial Vehicle)
UCA	: İnsansız Kargo Uçağı (Unmanned Cargo Aircraft)
UHF	: Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
ULD	: Evrensel Posta Birliği (Universal Postal Union)
UPHAS	: Uzaktan Pilotlu Hava Aracı Sistemleri
UVS	: İnsansız Araç Sistemleri (Unmanned Vehicle Systems)
VHF	: Çok Yüksek Frekans (Very High Frequency)
VFR	: Görerek Uçuş Kuralları (Visual Flight Rules)
VLL	: Çok Alçak Seviye (Very Low Level)
VLOS	: Görerek Görüş Hattı (Visual Line Of Sight)

ÖZET

ORTA İRTİFA İNSANSIZ HAVA KARGO ARACI İÇİN HAVAALANI ALTYAPISI KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ

İÇDEMİR, Cemal Tuğrul
Yüksek Lisans, Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Öğr. Üyesi Meriç H. GÖKDALAY
Ağustos 2024, 163 Sayfa

Gerginlik, Kriz ve savaş dönemlerinde yaşanan endişelerin aşılması için insanoğlunun bulduğu çözüm ve teknolojik gelişmeler birçok icatların yapılmasına zemin hazırlamıştır. Bu zamanlarda elde edilen teknoloji ve icatlar, kargaşa, kriz ve endişe döneminin ardından ekonomik gelir elde etme ve yaşam kalitesini artırma amaçlı insan hayatına ticari amaçla kullanımı için şekil değiştirmiştir. Günümüzde kullanılan İnsansız Hava Aracı Sistemleri genellikle anlık veri alışverişi yapabilen, itki ve kumanda sistemine sahip ve ihtiyaç duyulan ek donanımlar taşıyabilen, çoğunlukla savunma sanayi tarafından üretilen ve kullanılan sistemler olup, bu sistemler içinde Kullanımına, sahip olduğu özelliklere göre sınıflara ayrılan İnsansız Uçak Sistemleri de bulunmaktadır. Bu sistem içinde görülen İnsansız Kargo Uçağı Sistemleri (İKU) gelişen teknolojilerin ortaya çıkan ihtiyaçların karşılanması için kullanılması sonucunda henüz başlangıç aşaması içinde olsa da Dünyada çok az firma tarafından tasarım, üretim ve bazılarının operasyon aşamasında olduğu bilinmektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda yakın gelecekte operasyonel hizmet vermesi beklenen İKU'ların lojistik sektöründe ulaşım faaliyetlerinde önemli bir araç olabileceği ve tedarik zincirinde önemli bir bileşen olarak yer alabileceği düşünülmektedir. Buradan hareketle İKU'ların operasyonel olarak günümüzde uygulanabilirlik, sınıf çeşitliliği, taşıdığı yükün miktarı ve erişebileceği menzilin uzunluğu göz önüne alındığında, tedarik zincirinin orta teslimat kısmında kullanılmasının, son teslimatta kullanılmasına göre daha kullanışlı ve uygulanabilir olan Orta İrtifa Havada Uzun Kalışlı (MALE) İKU'larının lojistik sektöründe önemli oranda katkı sağlayabileceği ancak, bir altyapıya ve yer hizmetlerine ihtiyaç duyabileceği ve mevcut insanlı trafik ile Hava

Trafik Sisteminde entegre olarak faaliyet göstereceği anlaşılmıştır. Bu çalışmada, bir MALE sınıfı İKU filosuna sahip olan ve işleten havayolu şirketi için faaliyetlerinin etkin, ekonomik olabilmesi açısından en uygun altyapının seçimi için bir model oluşturulmuş ve bulanık Entropi temelli ARAS ve bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Altyapı seçenekleri için İstanbul ili göz önüne alınmış ve uygun faaliyet altyapısı olarak Atatürk Havalimanı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kargo, İnsansız Hava Aracı, Hava Trafik Yönetimi, Havaalanı Altyapısı,



ABSTRACT

EVALUATION OF AIRPORT INFRASTRUCTURE CRITERIA FOR MEDIUM ALTITUDE UNMANNED AERIAL CARGO VEHICLE

İÇDEMİR, Cemal Tuğrul
Master, Department of Aviation Management

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Meriç H. GÖKDALAY
August 2024, 163 Pages

As historical development of Unmanned Aerial Vehicle Systems, it is observed the first powered flight took place before 1903. It is observed that bomb-laden balloons were used in 1849 during the riots that broke out in the 1848 revolutions and used for reconnaissance purposes in the American Civil War. (Kahveci an Can, 2017) The solutions and technological developments found by human beings to overcome the concerns experienced during periods of tension, crisis and war have paved the way for many inventions. After a period of turmoil and anxiety, the technologies and inventions obtained during these times were transformed for commercial use in human life to generate economic income and improve the quality of life. Unmanned Aerial Vehicle Systems used today are generally systems that can exchange instantaneous data, have a propulsion and control system, and carry additional required equipment, and are mostly produced and used by the defense industry. There are Unmanned Aircraft Systems that are divided into classes according to their use and features. Unmanned Aerial Vehicle Systems produced create a new classification and category according to developed technologies and needs. It is known that Unmanned Cargo Aircraft Systems are in the design, production and operation phases of several companies operating today, because of the use of developing technologies to meet the emerging needs. In line with these developments, the necessary infrastructure needs and regulations will need to be made in Turkey for UCA's that are expected to provide operational services soon. Based on this, considering the operational applicability of UCA's today, class diversity, the place they will take in the supply chain and the needs, it has been evaluated that the medium altitude long endurance (MALE) class will be

suitable for the study. It has been evaluated that the use of Medium Altitude Long Endurance UCA's in the middle mile delivery part of the supply chain is more useful and applicable than using them in the last mile delivery. MALE class UCA's need an airport to carry out their operations. Airport alternatives have been put forward, considering the integration of UCA's into the Air Traffic System and existing manned traffic. For UCA's that need some infrastructure and services at these airports with prepared or unprepared surfaces, airport structures in Turkey were examined and airport alternatives were determined, considering the needs of UCA's. Criteria have been determined that will enable the determined alternatives to be compared with each other and provide the best environment for the UCA operation. The MCDM study, which was carried out with decision makers who working at academicians, ATS and air cargo sector with over 15 years of industry experience, to determine the best airport structure, was analyzed and ranked by using fuzzy logic entropy-based ARAS method and the fuzzy TOPSIS method. Two different criteria weighting, and two different ranking methods were used, and the same ranking was obtained.

Keywords: Air Cargo, Unmanned Aerial Vehicle, Air Traffic Management, Airport Infrastructure.

GİRİŞ

Türkiye hava sahası içerisinde görev yapacak orta irtifa havada uzun kalışlı İnsansız Kargo Uçağı (İKU) konseptinin yakın gelecekte uygulamaya geçmesiyle mevcut hava trafik yönetimine entegre olması beklenmektedir. Bu çalışmanın amacı, İKU'ların görevlerini yerine getirirken diğer insanlı hava trafiklerini minimum etkileyecek ve diğer taraftan ise iniş/kalkış meydanında yaklaşma, kule ve yer hizmetlerinin aksaksız bir şekilde alabileceğı ideal havaalanı yapısını belirlemektir.

Dünya çapında, İKU üretimini halihazırda yapan sınırlı sayıda firma ve kuruluş bulunmaktadır. Ancak ICAO, IATA gibi uluslararası otoriteler ve EASA gibi bölgesel otoriteler İKU'ların yakın zamanda operasyon yapacaklarını değerlendirdikleri için gerekli düzenlemeler için konseptler geliştirmişlerdir. EASA tarafından Avrupa Birliğı Konseyinin destekleri ile Dronamics firması Avrupa'nın ilk drone havayolu olarak ticari lisansa sahip olmuştur.

Türkiye'de özellikle savunma sanayinde dünya çağında büyük başarılar imza atmış İnsansız Hava Aracı Teknolojilerine sahip olması ve ülkemizin coğrafi koşulları göz önünde bulundurulduğunda ihtiyacı olacağı değerlendirilen, hatta sadece ticari değil afet lojistiğı, ilaç ve organ nakli gibi ihtiyaçlara cevap verebilecek İKU teknolojisinin yakın zamanda operasyonel olarak hizmet vereceğı değerlendirilmektedir.

İKU konsepti yakın zaman içerisinde teknolojik alt yapının ihtiyaçlara cevap vermesi sonucunda hayata geçerek, Türkiye'de hizmet vermesi öngörülmektedir. Uluslararası yapılan düzenlemelere ve insanlı uçuş trafiklerine herhangi bir engel veya ek bir donanım ihtiyacı doğurmadan mevcut hava trafik sistemine entegre edilmesi için gerekli çalışmaların yapılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu çalışmaların ön görülebilir olması adına önemli husus hizmet verecekleri en uygun havaalanı yapısının belirlenmesi olacaktır.

Türkiye hava sahası içerisinde görev yapacak orta irtifa havada uzun kalışlı İnsansız Kargo Uçağının operasyonel olarak hizmete girmesi için uygun bir havaalanı yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma bünyesinde, İHA, hava kargo, Hava Trafik Yönetimi, havaalanı ve yer hizmetleri yönetimi gibi birçok konuyu bünyesinde barındırmaktadır. Henüz ülkemizde ticari bir operasyon örneği bulunmayan İKU'ları için uygun havaalanı yapısı belirlenirken bahsi geçen kavramları ve sektörlerin kendi gerekliliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Buradan hareketle çalışmanın birinci bölümünde İnsansız Hava Aracının tanımı yapılarak, tarihsel gelişiminden bahsedilmiş, günümüz uygulamalarında sahip olduğu alt sistemler detaylı olarak tanıtılmış, dünya üzerinde yapılan çeşitli İHA sınıflandırmalarına değinilmiştir. Orta İrtifa Hava Uzun Kalışlı (MALE) İKU tanımı yapılmış ve dünya üzerinde bulunan tasarım örneklerinden bahsedilmiştir. MALE sınıfı İKU kapsamında, mikro ölçekte yük taşıyan, dikey iniş kalkış yapan ve pist ihtiyacı duymayan ve alçak irtifa operasyonları yapan insansız hava araçlarının çalışmanın dışında bırakılması amaçlanmıştır.

Bir platform olarak MALE sınıfı İKU tanımı detaylı olarak ortaya konulduktan sonra taşıdıkları faydalı yük olarak taşınacak hava kargo ve sektör hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Hava kargo sektörünü etkileyen faktörler, tedarik zinciri ve operasyonlarını konusuna değinilmiştir. Bölüm sonunda ise Türkiye bazında küresel hava kargo sektöründe yeri ve gelecek hedefleri doğrultusunda mevcut havaalanlarında işlem gören hava kargo hacimleri için veriler sunulmuştur. Bu bilgiler ışığında ise Türkiye'de hizmet verecek İKU'ların hava kargo operasyonlarını hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Havaalanı İKU'lar için yerde önemli olduğu kadar havada tabi olacağı Hava Trafik Yönetimi de büyük önem taşımaktadır. Üçüncü bölümde ise Hava Trafik yönetimi fonksiyonları, RPAS için ortaya konulan operasyon tipleri ile birlikte ortaya konularak gereksinimler ve mevcutlu insanlı uçuş operasyonlarına etkisi değerlendirilmiştir.

Platform olarak MALE sınıfı UKA, yerde havaalanı ve havada Hava Trafik Yönetimi konuları detaylı işlendikten sonra dördüncü bölümde bu çalışmanın yapılmasına sebep olan problemin açıklanması ve etkileri belirtilmiştir. Problemin, ekonomik, e-ticaret zincirine, hava sahası ve havaalanı işletme yönetimine etkileri ayrı

ayrı olarak değerlendirilmiştir. Buradan hareketle ile geçmişte yapılan literatür çalışmaları bu bölümde incelenmiştir.

Çalışmanın ortaya çıkmasına sebep olan problem ortaya koyulduktan sonra beşinci bölümde problemin çözülmesi için kullanılacak ÇKKV yöntemi belirtilmiştir. ÇKKV çalışmasının ardından değerlendirmenin yapılması için kullanılacak ENTROPİ temelli ARAS ve TOPSIS Yöntemi bu bölümde değinilmiştir.

Yöntem içerisinde üçgen bulanık sayıların kullanımı ile ÇKKV değerlendirmesinin belirsizliklerin ve insan düşüncelerinin matematiksel olarak ifade edilerek, daha esnek ve gerçekçi karar destek sistemleri oluşturulmasını sağladığı bilinmektedir. Altıncı bölüm içerisinde bulanık mantık ve bulanık küme teorisi hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın detaylı olarak anlatıldığı yedinci bölümde; Türkiye’de MALE sınıfı İKU için ideal havaalanı yapısının belirlenmesi için yapılan çalışmanın önem ve amacı, çalışmanın kısıtları ve varsayımları, araştırma modelinin yapısı ve kullanılan yöntemlere değinilmiştir. Bu çalışma için ortaya konulan kriterler ve havaalanı alternatifleri detaylı olarak anlatılmıştır. Sektöründe uzman en az 15 yıllık sektör tecrübesine sahip Karar Vericiler ile yapılan çalışmada Bulanık Entropi temelli ARAS ve Bulanık TOPSIS yöntemi analiz edilerek, havaalanı alternatifleri sıralandırılmıştır.

Çalışmanın sonucunda analiz edilen verileri hakkında sekizinci bölümde bulgular ve tartışmalar belirtilmiştir. Dokuzuncu bölümde çalışmanın sonucunda yapılan havaalanı alternatifleri sıralandırması göz önünde bulundurularak sırası ile değerlendirme yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİ

1.1 İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Tanımı

İnsansız hava aracı sistemlerini dört ana başlık altında sınıflandırılabilir. İnsansız Hava Aracı (İHA), görev sistemleri, hava-yer tümleşik sistemler, yer sistemleri birleşerek insansız hava aracı sistemlerini oluşturmaktadır.

1.1.1 İnsansız Hava Aracı

Tasarlandığı görev doğrultusunda gerekli teknik donanıma sahip, üzerinde bulunan itki sistemleri ile aerodinamik kuvvetleri kullanarak otonom olarak uçabilen veya uzaktan kumanda edilebilen, görev yaptığı esnada içinde insan bulundurmeyen hava taşıtıdır. İnsansız hava aracını, balistik ve seyir füzesi gibi silahlardan ayıran en büyük etken bir hava taşıtı prensibi ile belli bir amaca hizmet etmesi için tasarlanmış olmasıdır.

İnsansız hava aracının uçuş esnasında kullandığı itki, kumanda yüzeyleri, iniş takımı sistemleri, buza mâni sistemler, uçuşu gerçekleştirebilmesi için kullandığı küresel konumlandırma sistemleri ve seyrüsefer sistemleri insansız hava aracı tanımının kapsamı içindedir.

1.1.2 Görev Sistemleri

İnsansız hava aracı tanımının kapsamı hava taşıtının uçuşu için gerekli tüm sistemleri kapsamaktadır.

Görev sistemleri bir insansız hava aracının kullanılma amacına hizmet etmesi için İHA üzerine monte edilen, uçuş elemanları haricindeki gerekli ekipmanlardır. Görev sistemi insansız hava aracının tasarlanma amacına göre değişiklik gösterebilmektedir. Keşif ve gözetleme amacı ile tasarlanmış bir hava aracının üzerinde bulunan görüntü ve haberleşmesi için bulunan benzeri sistemler insansız hava aracının görev sistemleri olarak tanımlanabildiği gibi, görev sistemleri, taarruz amaçlı tasarlanmış bir insansız hava aracında kullanılan silahlar ve işaretleme araçları da olabilmektedir.

Bu sistemler aynı hava aracının üzerinde değişik konfigürasyonlar ile yüklenebilir. Bir insansız hava aracı farklı görevleri icra etmek için tasarlanmış olabilir. Görevin içeriğine göre uçak üzerine gerekli sistemler yüklenebilir. Bu görev sistemleri aynı zamanda faydalı yük olarak adlandırılmakta olup, bu çalışmada yer alan insansız kargo uçağının taşıdığı kargo faydalı yük olarak tanımlanmıştır.

1.1.3. Hava Yer Tümleşik Sistemler

İnsansız hava araçları tasarlandıkları amaçlara hizmet edebilmeleri için, yerde konuşlanmış sistemler ile iletişim halinde olmaları gerekmektedir. Bu iletişimin sağlanması için karşılıklı olarak hem yerden havaya hem de havadan yere bilgi transferi yapmak için kullanılan sistemlere ihtiyaç duymaktadır. Söz konusu transfer yapılan bilgilerin içeriği farklı alt sistemlere ait olabilir.

Otomatik iniş kalkış sistemi, hava yer tümleşik sistemlerinden biri olarak yerde konuşlanmış bir şekilde hava aracından bilgi alıp vererek, iniş esnasında piste göre pozisyon almasını sağlayarak, uygun şekilde emniyetle İHA'nın inişini gerçekleştirmesini, kalkış esnasında ise pistin ve İHA'nın dünya üzerindeki konumunu eşleştirerek kalkış ve tırmanış için uygun paterni uçuşmasını sağlamaktadır. İnsansız hava araçlarının iniş ve kalkışı iyi eğitilmiş operatörler tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Ancak operatörün uçak içerisinde olmadığı için hissiyat ile elde edilecek bilgilere sahip olmayacağından otomatik iniş kalkış sistemleriyle çok daha emniyetli bir operasyon gerçekleştirilmektedir. Her ne kadar iyi eğitim almış operatörler tarafından manuel iniş mümkün olsa dahi kötü hava şartlarında bu durum mümkün olmayabilir. İHA'larda bu sistem sayesinde görüşün olmadığı bir hava şartında bile iniş ve kalkış yapılması mümkün hale gelmektedir. Sistemin genel çalışma prensibinde, İHA'nın ineceği pist üzerinde teker koyacağı nokta belirlenir ve bu noktaya uygun yaklaşma açısı ve istikametini muhafaza edecek şekilde tutması

yaklaşma süratiyle uçabilmesi için dış etkenleri verilerini sensörleri vasıtasıyla aldığı bilgileri, yerden aldığı bilgiler ile karşılaştırarak otomatik pilot algoritmasını çalıştırmaktadır.

Bu sistemlerden bir diğeri olan uydu yer terminali ile yer kontrol odasında bulunan operatörün verdiği komutların İHA'na iletilmesi ile istenen manevra veya girdi sağlanabilmektedir. Bu sistemin yaptığı haberleşme, Görüş Hattı Ötesi (Beyond The Line Of Sight) veri haberleşmesi olarak sınıflandırılmaktadır. Aynı zamanda İHA tarafından ihtiyaç duyulan gerçek zamanlı bilgilerin yer istasyonlarına aktarımı sağlanır. Ayrıca bu sistem, İHA'nın uçtuğu mevcut koşullar, dış hava sıcaklığı, konum bilgisi, motor verileri gibi bilgileri operatör ile paylaşmasını sağlar. Aynı zamanda keşif ve gözetleme gibi bir görevi var ise elde ettiği görüntüleri gerçek zamanlı olarak aktarımı bu sistemler sayesinde sağlanmaktadır. Veri haberleşme sistemleri birçok farklı veri linki ile yapılabilir. Bu veri linklerinin frekans yönetimi ve haberleşme güvenliği uçuş emniyeti açısından büyük önem taşımaktadır.

Uydu haberleşmesinin kesilmesi durumunda kullanılacak röle sistemi ile uçuşun emniyeti sağlanabilmektedir. Yer kontrol merkezi ile İHA arasında uydu bağlantısının kesilmesi durumunda, anten anteni görme prensibi ile operasyonlara devam edilebilir. Ancak bu durum için haberleşme yapılmak istenen İHA ile yer istasyonu arasında antenler birbirini görmüyor ise başka bir İHA'nın hem yer istasyonunu hem de haberleşme sağlanamayan İHA'nı göreceği bir pozisyon alması ile sağlanabilmektedir. İletişimi sağlayan İHA'nın yaptığı görev röle olarak adlandırılmaktadır.

1.1.4 Yer Sistemleri

İHA'ların operasyonlarının devamlılığını sağlamak, etkin, ekonomik ve emniyetli olması için yer sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yer sistemleri, kullanılan İHA'nın görevi kapsamında değişiklik gösterebilir. Günümüzde görüş ötesi haberleşme yeteneğine sahip birçok İHA yer kontrol merkezinden yönetilmektedir.

Yer kontrol merkezinde bulunan operatör tarafından, Hava yer tümleşik sistemler vasıtasıyla gelen verileri alabilir, yer hatlarından veya telsiz vasıtasıyla diğer hava trafikleri ile haberleşilebilir. Yer kontrol merkezi, görev yapılan insansız hava aracı sistemine bağlı olarak komuta ve kontrol merkezi adını alabilir. Aslında bu isim değişikliği İHA'nın sahip olduğu donanımlar, görev farklılığı ve operasyonel konseptinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yer kontrol merkezlerinin sahip olduğu donanımlar, insansız hava aracı sistemlerine göre farklılık gösterir. Bu alan hava savunma sistemine sahip İHA ise cihazların devamlı çalışması için gerekli alt yapı ve kesintisiz bir şekilde enerjiye sahip iklimlendirilmiş bir konteyner da olabilir, bir binada bulunan gerekli operatör konsollarının olduğu uzun saatler süren görevlerin belli bir konfor ve ergonomi içinde icra edilebileceği bir oda da olabilir.

Yer sistemleri içerisinde görev planlama ve takip kısmı bulunmaktadır. Görev planlama, havacılık işletmeleri için zaten mutlaka olması gereken birimdir. Bu birimin görev kapsamı, elinde bulunan hava araçlarının faaliyet ve operatör durumunu göz önüne alarak, görev ihtiyaçlarını karşılamak için planlama yapmasıdır. İcra edilecek görev için varsa gerekli faydalı yükün belirlenmesini ve uygun beceriye sahip ile operatörü eşleştirmesini sağlar. Yapılan planlamanın gerekli operasyonel ünite ile paylaşması, uçulacak rotanın belirlenmesi ve gerekli koordinelerin kurulması (uçuş kleransı, NOTAM takibi vb.), görev ile ilgili veri aktarımını olumsuz olarak etkileyecek herhangi bir husus olmadığının kontrolü, yakıt ve zaman planlaması, uçağa ihtiyacı olan verilerin yüklenmesi (rota, 3 boyutlu yer yüzü verileri, küresel konumlandırma sistemi için almanac verisi vb.) ve görev doğrultusunda gerekli bütün planlama ve koordinasyon işlerini kapsamaktadır.

Görevi doğrultusunda hava aracının elde ettiği verilerin incelenmesi ve saklanması gerekiyor ise bu bilgilerin işleneceği bir veri analiz birimi ihtiyacı da olacaktır.

Bu çalışmada ele alacağımız İKU için faydalı yükün yükleme hesaplamalarının yapılacağı, ağırlık merkezinin belirlenmesi ve uçağa yüklendiğinde uçağı aerodinamik merkezinin yerini değiştirmeyeceğini planlayan ve yükleme, boşaltma, elleçleme işlemlerinin yerine getirileceği terminal birimi bir yer sistemidir.

1.2. İnsansız Hava Araçlarının Tarihçesi

Günümüzden geçmişe doğru bakıldığında tarih sahnesinde, İHA'ların ilk kullanımı tarihi konusunda tutarlı bir bilgi olmamakla birlikte Amerikan İç Savaşı sırasında askeri keşif amaçlı insansız balonların kullanıldığı belirtilmektedir. Daha sonrasında, Avrupa'da 22 Ağustos 1849 tarihinde Avusturyalıların içlerinde 11 ila 14 kg arasında zaman ayarlı bombaların bulunduğu 200 pilotsuz balonu İtalya'nın Venedik şehrine gönderilmesi ile kullanıldığı görülmüştür. Bombaların bir kısmı hedeflerin üzerinde patlarken, bir kısmının rüzgârın etkisi ile Avusturya hatlarında patladığı belirtilmektedir (Kahveci ve Can, 2017). Ancak bu kullanımda balonların hedef yerine kendi hatlarını vurması nedeniyle bazı otoriteler tarafından kumanda edilemediği veya otonom uçmadığı kanaatine varılmıştır. Bu nedenle geçmişteki bu kullanımda görülen “kumanda edilememe ve otonom uçamama özelliği” nedeniyle geçmişteki İHA olarak düşünülen bu araçların, İHA tanımı içerisinde yer alan, “uzaktan kumanda edilebilen veya otonom olarak uçabilen” ifadesi nedeniyle günümüzün insansız hava aracı tanımı ile eşleşmemektedir.

Tarihsel gelişime bakıldığında, ilk insansız hava araçlarının tartışmalı olsa da balonlar olduğunu görülmektedir.

İtali sistemlerinin gelişmesi ile 1903 yılında Orville ve Wilbur Wright kardeşlerin Kaliforniya, Kitty Hawk şehrinde gerçekleştirdikleri motorlu ilk uçuş günümüzde modern havacılığın ilk adımları olmuştur. Bu dönüm noktası insansız hava araçlarının tasarımlarına da çok ciddi anlamda bir yön vermiştir.

İnsansız hava araçlarının ilkleri tarihsel sıra ile incelendiğinde; 1905 yılında Louis Breguet ve kardeşi Jacques, Charles Richet'in rehberliğinde günümüzde helikopterin atası olan cayrokopter üzerinde çalışmaya başlamışlar ve 1907 yılında dört rotorlu konfigürasyona sahip günümüzde birçok farklı boyutta sıkça görmeye alışkın olduğumuz hava platformunu kontrollü veya otonom uçacak şekilde tasarlamışlardır.

28 Temmuz 1914 yılında başlayan Birinci Dünya Savaşı ile artık insansız hava araçlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştu. Savaşın bitmesine iki yıl kala arka arkaya devrim niteliğinde buluşlar gelmeye başlamıştı. 1916 yılında İngiliz mühendis Archibald Low tarafından radyo kontrollü sistem geliştirildi. Bu sayede anten anteni göreme prensibinin mucidi olan Low, bu sistemi Ruston Proctor Aerial Target isimli uçakta kullanmıştır.

Elmer Ambrose Sperry, 1898 yılında yaptığı Atlantik seyahatinde geçirdiği deniz tutması sebebi ile gemilerin dalgalı denizde daha dengeli yol alabilmesi için cayroskop üzerinde çalışmaya başlamış, 1911 yılında Amerikan Deniz Kuvvetlerinde kullandığı cayroskop stabilizatörler gemilerinde yuvarlanma ekseninde büyük oranda başarı göstermiştir. 1913 yılında Sperry, oğlu Lawrance Burst ile çalışmaya başlaması ile artık havacılık sektörüne girmiş bulundular. 1914 Haziran ayında Fransız Havacılık Kulübünün daha emniyetli bir uçak yapmak için düzenlediği yarışmayı günümüzde ataletsel seyrüsefer sistemlerinin ilk kullanımı olan cayroskop teknolojisi ile ellerini kullanmadan gerçekleştirdiği uçuş jüriden tam not aldı. Aynı sene Franklin Enstitüsü madalyasını aldılar.

1917 yılında Archibald Low'un radyo kontrollü kumanda teknolojisi ile ilk kablosuz roket geliştirildi. Aynı sene Amerika Birleşik Devletleri tarafından “Ketterin Bug” isimli Sperry'nin buluşu olan cayroskop kontrollü hava torpidosu envantere girmişti. Diğer bir adıyla “otomatik uçan uçak” olarak anılan bu uçak, 1918 yılında biten Birinci Dünya Savaşında kullanılmamıştır.

Bu böylece günümüzde dahi gelişimi devam eden İHA'ların genel olarak tasarımları oluşmuş ve orduların envanterlerine girmeye başlamıştır. 1944 yılında, 2. Dünya Savaşında Alman ordusu tarafından kullanılan V-1 uçan bomba için füze olarak kullanılan ilk uçak diye adlandırılmıştır. Ancak bir hava aracı prensibi ile tasarlanmadığı için bir insansız hava aracı değil ilk seyir füzesiydi. O zamana kadar görüş içerisinde kumanda edilen İHA'ların aksine V-1 görüş ötesinde cayroskop ve manyetik pusula sayesinde görüş ötesinde uçuşunu gerçekleştirebiliyordu. Füzenin kat ettiği mesafe, bombanın burnuna yerleştirilen bir pervanenin dönüş sayısında hesaplanıyordu. Menzili yaklaşık 250 kilometreydi. Hedefe vardığında jet motoru kapanıyor ve sürati azalmaya başlayan bomba alçalarak düşüyordu.

İHA teknolojisinde bir sonraki büyük sıçrama Vietnam savaşında İHA'ların yaygın kullanımı olmuştur. Ancak görüş içerisinde radyo kontrollü olarak kullanılmaktan öteye geçememiştir.

İHA'ların uydu üzerinden ve röle ile görüş ötesinde kumanda edilebilmesi ve havada kalış sürelerinin uzamasıyla birlikte gelişen teknoloji bilgi transferinin hızlanması, yüksek riskli keşif gözetleme görevleri için orduların tercihi haline gelmeye başlamıştı. Orduların bu araçları silahlı keşif görevlerinde kullanmak istemesi üzerine bu yönde gelişmeler gerçekleşmiştir.

2000’li yıllar ile Afganistan, Irak gibi farklı operasyonlarda kullanılan görüş ötesi kumanda edilen İHA’lar dünyada günümüzde içlerinde Türkiye’nin de bulunduğu yaklaşık 40 ülke tarafından üretilmektedir.

1.3. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları

Tarihi geçmişini incelediğimiz İHA’ların aslında gelişmesine ve ortaya çıkmasına sebep olan olayların savaşlar olduğu görülmektedir. Her ne kadar Amerikan İç Savaşında kullanılan keşif amaçlı uçurtmalar veya Avusturyalılar tarafın kullanılan insansız bomba yüklü balonlar günümüzde tanımını yaptığımız İHA tanımına uymasa bile İHA’ların icadı için bir temel oluşturmuşlardır. Daha sonra 2. Dünya savaşında kullanılan V-1 uçan bombası ise, aslında bir seyir füzesi sınıfında olsa dahi günümüz İHA konsepti için bir vizyon açmıştır.

Savaşlardan doğan ihtiyaçları ele alan mühendislerin yaptığı radyo kontrol ve cayroskopik sistemler sayesinde uçuş kumanda sistemler gelişmiştir. Geçmişten gelen bu akış değerlendirildiğinde İHA’ların kullanım alanları Askeri ve Sivil olarak iki başlık altında incelenebilir.

1.3.1 Askeri Kullanım Alanları

İHA’ların askeri alanda ilk ve en yaygın kullanımı istihbarat keşif ve gözetleme alanında olmuştur. Sınır ötesinde yüksek tehdit ortamında gerçekleşen bu görev içinde insan bulunmayan araçlar ile yapılması hem ekonomik ve etkin olduğu görülmüştür. Bilginin ve istihbaratın savaş sahasında en büyük güç olmasından ötürü İHA’lar büyük bir talep görmüştür.

Zamanla gelişen teknoloji ve talepler doğrultusunda silah yükü taşıyan İHA’ların üretilmesi ile İHA’lar artık muhabere sahasında da görülmeye başlamıştır. Böylece İnsansız Savaş Uçağı (İSU) kavramı ortaya çıkmıştır. İnsanlı savaş uçakları için yüksek derece nitelikli personel eğitimi ve temini, uzun süren eğitimlere ve büyük maliyetlere yol açmaktadır. Aynı zamanda insanlı savaş uçaklarının tasarımını kısıtlayan mekanik veya avyonik sistemlerin yanı sıra insan fizyolojisinin büyük bir faktör olduğu düşünüldüğünde, İnsansız Savaş Uçaklarının insan fizyolojisinin kaldıramayacağı “G” kuvvetlerinde, irtifa ve süratlerde görev yapabilecek olması hava muharebe sahasında kuralların tekrar yazılmasına neden olmuştur. İnsanlı savaş uçağı

üretimlerinde son neslin, İnsansız Savaş uçakları ile entegre olacağı değerlendirilmektedir.

İnsansız savaş uçakları hava-yer bombardıman ve hava-hava angajmanı olmak üzere iki farklı görev tipinde sınıflandırılabilir. Günümüz teknolojisinde Hava-Yer bombardıman kabiliyetine sahip çok sayıda İSU bulunmaktadır. Hava-Hava angajman veya Hava Sahası Savunma konsepti üzerinde test çalışmaları halen devam etmektedir. Çok görev yapabilen tasarım aşamasında İSU çalışmaları bulunmaktadır. Çok yakın zamanda yaygın bir kullanım olmayacağı değerlendirilmektedir.

İHA teknolojisinin kullanıldığı diğer bir alan, gelişen teknoloji ile muhabere esnasında büyük önem taşıyan elektronik harp alanıdır. Elektronik harp başlığı savunma ve taarruz olarak iki ayrı başlıkta incelenebilir. Düşmanın araçlarının iletişimini sağlamak için kullandığı sinyali belirlemek (sinyal istihbaratı), bu sinyalin kesilmesi için yayın yapmak (karıştırma veya gürültü baskılaması) taarruz kısmı ve düşmanın benzer karıştırma sistemlerini kullanarak kendi sistemlerimizi karıştırmasını engellemek için kullanılan sistemler savunma kısmını oluşturur. Özellikle uydu veya röle ile iletişim kurması hayati öneme sahip olan İHA'lar için sistem güvenliği açısından önleyici elektronik harp sistemleri önem taşımaktadır.

Dekoy İHA, sinyal istihbaratı ile elde edilen verileri (uçakların yaydığı radar sinyalleri, dost radarın hedefi tespit etmek için gönderdiği radar sinyallerinin geri dönüş ekolarını) sahte sinyaller ile taklit ederek hedef yanılmak için kullanılmaktadır. Bu amaçla üretilen bir İHA düşman hava sahasında yüksek teknolojiye sahip bir savaş uçağının sinyallerini taklit ederek ve düşmana yayın yaparak, böylece düşmanın radar ekranında sahte ekoların oluşmasını sağlayabilmektedir. Üstelik onlarca uçak gibi sinyal gönderebilmektedir. Tek bir Dekoy İHA ile onlarca yüksek teknolojiye sahip savaş uçaklarının yayını düşman uçaklarına yayın yapılarak caydırıcılık sağlanmaktadır.

Deniz Karakol Uçağı olarak görev yapan İHA ise, denizin altında giden denizaltı ve deniz mayını vb. tehditleri tespit etmek için kullanıma yönelik özel donanımlar ile yüklenmiştir. Bu özel donanımlar sayesinde kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer saldırının tespiti, havada savaş uçaklarının ihtiyaç duyabileceği yakıt ikmali için bile özel donanımlı İHA'lar askeri kullanım alanlarında görev yapmaktadır.

1.3.2. Sivil Kullanım Alanları

İHA'ların yaygın olarak kullanımı askeri operasyonlar olup, sivil operasyonlarının sınırlı sayıda olmasının en önemli nedeni hava trafik yönetiminde bir yerinin olmamasıdır. Uluslararası havacılık otoriteleri İHA'ların insanlı diğer trafiklerle beraber uçuğu bir hava sahasına müsaade etmemektedir. Bu konu-hava trafik yönetimi bölümünde incelenecektir.

Günümüzde sivil amaçlı kullanılan İHA'ların genellikle güvenlik ve bilimsel araştırmalar için veri toplamak amaçlı kullanımları bulunmaktadır. Bilimsel araştırmalar kapsamına, meteoroloji verileri, deniz ve okyanus gözlemleri (akıntı, dalga yüksekliği, deniz seviyesi ölçümleri, balıkçılık faaliyetleri vb.), jeolojik araştırmalar (yer altı kaynakları, zemin yapısının tespit edilmesi, haritalama faaliyetleri vb.), zirai ilaçlama ve tarımsal faaliyetlerin izlenmesi girmektedir. Güvenlik amaçlı kullanılan İHA'lar başlıca, orman yangınları ile mücadele, deprem, sel gibi doğal afetler esnasında röle görevi ile iletişim sağlaması, hasar tespiti ve afet yönetimi, arama kurtarma, yüksek voltaj hattı, doğalgaz boru hattı vb. enerji hatlarının korunması için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, zaman içerisinde yeni bir kullanım alanı olacak İnsansız Hava Kargo Uçağı konseptini ele alınacaktır. İnsansız Hava Kargo Uçaklarının kullanıma girmesi ile ekonomik, etkin, sürekli ve güvenli bir şekilde mevcut hava trafik sistemine entegre edilmesi ile hava kargo sektöründe taşınan kargo miktarının artacağı değerlendirilmektedir.

1.4. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

İnsansız Hava Araçlarının yoğunlukla kullanıldıkları alan askeri amaçla savunma sanayisidir. Sivil amaçla kullanılan İHA'ların çoğunun asıl kullanım alanı olan istihbarat, gözetleme ve keşif görevi yapan askeri İHA'lar olduğu bilinmektedir. Doğal afet yaşanan zamanlarda yapılan modernizasyonlarla (baz istasyonu entegrasyonu vb.) sivil amaçla kullanımları görülmüştür.

İnsansız Hava Araçlarının sınıflandırması için sivil otoriteler tarafından sadece ağırlıkları baz alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır.

Ülkemiz sivil havacılık otoritesi olan SHGM tarafından yapılan İHA sınıflandırılması Tablo 1.1'de sunulmuştur

Tablo 1.1: SHGM Tarafından Yapılan İHA Sınıflandırması

İHA Sınıfı	Azami Kalkış Ağırlığı
İHA0	500 gram (dahil) – 4 kilogram
İHA1	4 kilogram (dahil) – 25 kilogram
İHA2	25 kilogram – 150 kilogram
İHA3	150 kilogram ve daha fazla

Kaynak: SGHM

SHGM kayıtlarında İHA3 sınıfı bir İHA kaydının olmadığı bilinmektedir. Diğer bir ifadeyle, Türkiye’de 150 kg üzerinde sivil bir İHA bulunmamaktadır. Ancak yakın gelecekte İKU gibi kullanımı olacak İHA’lar üretilip kullanıma sokuldukça bu sınıflandırmanın yetersiz olabileceği değerlendirilmektedir.

Uluslararası İnsansız Araç Sistemleri (UVS international) 1995 yılında kurulan, Avrupa ve uluslararası yapacağı düzenlemeler ile insansız araç sistemlerinin emniyetle kullanılması, ihtiyaçlar doğrultusunda hava trafik norm ve standartlarını ortaya koymak, sosyal yararları tespit ederek İnsansız Araç Sistemlerini geliştirerek kullanıma sokmayı amaçlamıştır. 31 Mart 2021 tarihinde yaşadığı nakit problemlerinden dolayı operasyonlarını kesmeden önce yayımladığı İnsansız Hava Aracı Sınıflandırılması Tablo 1.2’te sunulmuştur.

Askeri kullanımının yoğunlukta olduğu İHA sistemlerinin sınıflandırılmasını daha detaylı olarak yapan en büyük otorite Kuzey Atlantik Paktı Teşkilatı (NATO) olmuştur. 150 kilogram üzeri İHA’ları sınıflandırmayan sivil havacılık otoritelerinin bu açığı, NATO tarafından yapılan maksimum kalkış ağırlığı 20.000 kilografa kadar İHA’ları kapsamıştır.

Tablo 1.2: Uluslararası İnsansız Araç Sistemleri İHA sınıflandırması

SINIF	KATEGORİ	MENZİL	OPERASYON İRTİFASI	AĞIRLIK
TAKTİK	Nano	<1 km	300 ft	<0.025 kg
	Mikro	<10 km	800 ft	<5 kg
	Mini	<10 km	1000 ft	<30 kg
	Yakın Menzil (Close Range)	10 km - 30 km	10000 ft	150 kg
	Kısa Menzil (Short Range)	30 km - 70 km	10000 ft	200 kg
	Orta Menzil (Medium Range)	70 km 200 km	16000 ft	1250 kg
	Orta Menzil Havada Kalış (Medium Range Endurance)	>500 km	26000 ft	1250 kg
	Alçak İrtifa Nüfuz Edici (Low Altitude Deep Penetration)	>250 km	150 – 30000ft	350 kg
	Alçak İrtifa Uzun Sürede Havada Kalışlı (Low Altitude Long Endurance)	>500 km	10000 ft	<30 kg
	Orta İrtifa Uzun Süre Havada Kalışlı (MALE)	>500 km	46000 ft	1500 kg
STRATEJİK	Yüksek İrtifa Uzun Süre Havada Kalışlı (High Altitude Long Endurance)	>2000 km	65000 ft	4500 /12000 kg
ÖZEL AMAÇLI	İnsansız Muharebe Hava Aracı	~ 1500 km	33000 ft	10000 kg
	Öldürücü	300 km	13000 ft	250 kg
	Dekoy (Sahte Hedef)	>500 km	16000 ft	250 kg
	Stratosferik	>2000 km	65000-100000ft	
	Stratosfer Ötesi Uzay		>100000 ft	

Kaynak: (Darwin ve Ahmad, 2014)

Bu çalışmada, çalışma sınırlarını belirlemek amacı ile bu sınıflandırma kullanılmıştır. Bu sınıflandırma NATO bünyesinde bulunan Müşterek Hava Gücü Yetkinlik Merkezi (Joint Air Power Competence Centre – JAPCC) tarafından 2010

yılında yayımlanan “NATO’da İHA için JAPCC Stratejik İstihdam Konsepti” dokümanında belirtilmiştir. JAPCC tarafından yapılan İHA sınıflandırması askeri terimler çıkarılarak, ağırlık, operasyon irtifası ve görev yarıçapları bilgisi ile Tablo 1.3’te sunulmuştur.

Tablo 1.3: NATO JAPCC Tarafından Yapılan İHA Sınıflandırması

SINIF	KATEGORİ	NORMAL OPERASYON İRTİFASI	NORMAL GÖREV YARIÇAPI
Sınıf I (150 Kg’dan Az)	Küçük	5K FT AGL’YE KADAR (GÖRÜŞ İÇİ)	50 km
	Mini	3K FT AGL’YE KADAR (GÖRÜŞ İÇİ)	25 km
	Mikro	200 FT AGL’YE KADAR (GÖRÜŞ İÇİ)	5 km
Sınıf II (150 Kg – 600 Kg)	Taktik	10K FT AGL’YE KADAR (GÖRÜŞ İÇİ)	200 km
Sınıf III (600 Kg Üzeri)	Avcı	65000 FEET’E KADAR (GÖRÜŞ ÖTESİ)	Limitsiz
	Bombardıman	65000 FEET’E KADAR (GÖRÜŞ ÖTESİ)	Limitsiz
	Yüksek İrtifa Havada uzun Kalışlı (HALE)	65000 FEET’E KADAR (GÖRÜŞ ÖTESİ)	Limitsiz
	Orta İrtifa Havada uzun Kalışlı (MALE)	45000 FT MSL’E KADAR (GÖRÜŞ ÖTESİ)	Limitsiz

Kaynak: NATO JAPCC

Günümüzde İHA’ların sınıflandırılması ile birçok akademik çalışma yapılmış olsa dahi, uluslararası sivil havacılık otoriteleri tarafından kabul edilen kapsamlı bir sınıflandırma mevcut değildir. Bu nedenle, İHA geleceğine yatırım yapan, gelecek için stratejik planlara sahip olan NATO tarafından yapılan sınıflandırma bu çalışmada esas alınmıştır.

1.4.1 Sınıf I İHA Kısıtlamaları ve Kabiliyetleri

Sınıf I İHA’larının kabiliyetleri genellikle elden atılmalı veya döner kanatlı kendi kalkış yapabilen, anten anteni görme prensibi ile çalışan, yerde operatörü

tarafından kumanda edilirken, verileri aktaran taşınabilir, küçük birimlerin ve üslerin güvenliği için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler tepelerin veya engel teşkil eden köşelerin arkasını gözetleme yapmak için kullanılmaktadır. Günlük hayatta anı için video veya sinema, klip vb. prodüksiyon amaçlı kullanılabilir. Genellikle üzerlerinde elektro optik, kızıl ötesi gibi özelliklere sahip sabit bir kamera bulunmaktadır. Ayrıca idamesi için çok ciddi lojistik ihtiyaçları bulunmamaktadır.

Sınıf I İHA'larını kısıtlayan en önemli faktör operatörünün görüş alanında çalışmasını sağlıyor olmasıdır. Genellikle yer seviyesinden 5000 feet AGL (Above Ground Level) irtifaya ve maksimum 50 kilometre bir menzil içerisinde limitli bir havada kalış süresi ile görev yapabilmektedir.

1.4.2 Sınıf II İHA Kısıtlamaları ve Kabiliyetleri

Sınıf II İHA'lar orta büyüklükte olarak tanımlanır. Bazı modellerin havalanması için katapult mekanizması kullanılır. Bu sayede mobil olma özelliği ile pist ihtiyacı duymadan farklı konumlardan havalandırılabilirler.

Sınıf II tanımı ile sivil kullanımı olan bir İHA sistemi bulunmadığı için genellikle istihbarat, gözetleme ve keşif görevinde tugay seviyesi birlikler tarafından kullanılmaktadır. Ancak yaşanan doğal afet vb. durumlarda bu görevi icra eden İHA'ların toplumsal olayların izlenmesi, kontrolü ve hasar tespiti gibi görevlerde kullanıldığı bilinmektedir.

Bölgesel olarak, operatör ve aracın görüş hattının korunması ile görev yapabilen bu İHA'lar genellikle yerden 10000 feet AGL irtifaya kadar, 200 km gibi orta bir menzilde görev yapmaktadır. En önemli kabiliyetlerinden biri kalkış yapmak için hazırlanmış yüzeylere (pist vb.) ihtiyaç duymamalarıdır. Faydalı yük olarak elektro optik, kızıl ötesi kamera ve lazerli mesafe ölçme ve işaretleme sistemleri barındırır. Bu sınıf hava araçlarının idamesi için orta derecede lojistik desteğe ihtiyaç duyulmaktadır.

1.4.3 Sınıf III İHA Kısıtlamaları ve Kabiliyetleri

Sınıf III İHA'lar genellikle beraberinde çalıştığı diğer sistemleri (Yer Kontrol Sistemleri, Hava-Yer Tümeşik Sistemleri vb.) bünyesinde barındırır. İniş ve kalkışları için hazırlanmış yüzeylere ihtiyaç duymaktadır. Operasyonel olarak en yüksek irtifa,

sürat ve menzilde, uzun süre havada kalacak şekilde tasarlanmıştır. Özel ihtiyaçları karşılamak amaçla özelleştirilmiş görevlerini yerine getirecek şekilde tasarlanan Sınıf III İHA'lar geniş alan gözetlemeleri, yıkıcı taarruzlar gerçekleştirebilirler.

Faydalı yük olarak, elektro optik, kızıl ötesi kamera, radar, lazer, iletişim rölesi, sinyal istihbaratı sağlayan sistemler ve silahlar taşıyabilir.

Sınıf III İHA'ların hazırlanmış pist yüzeylerinden kalkış ihtiyacı onları kısıtlayan en önemli husus olmaktadır. Bunun yanı sıra sistemlerin idamesi için insanlı uçak sistemlerinin lojistik ihtiyaçlarına yakın bir destek sağlanması gerekmektedir. Hemen hemen her irtifa ve süratte görev yapan Sınıf III İHA'ları en çok sınırlayan husus hava sahasının kullanımıdır. Hava sahasında insanlı uçak trafiklerinden ayrı bir şekilde, ayrılmış hava sahaları tanımlanması gerekmektedir. Çünkü mevcut sivil havacılık otoriteleri tarafında bu sınıf İHA'lar için herhangi bir düzenleme yapılmamıştır. Bu sınıf İHA'ların harici bağlantı noktalarından İHA'ya monte edilen, birçok donanım ve silah gibi faydalı yük ağırlıkları veya aldıkları yakıt miktarının ağırlığından kaynaklı havada kalış süreleri azalabilir. Başlıca Sınıf III İHA'lar Avcı Bombardıman, HALE ve MALE sınıfı İHA'lardır.

1.4.3.1 Avcı Bombardıman İHA'ları

İnsansız Savaş Uçağı (İSU) olarak da adlandırılan avcı ve bombardıman İHA'ları silah donanımına sahip ve kullandığı silahları destekleyen sistemleri içerisinde bulunan, uydu haberleşmesi (Satellite Communications-SATCOM) kabiliyeti sayesinde görüş ötesi irtifa ve mesafelerde görev yapabilen hava araçlarıdır. Günümüzde daha yaygın olan olarak bombardıman özelliğine sahip hava araçları kullanımda olsa bile gelecekte avcı rolünde hava sahası savunma ve taarruz görevlerini icra edecek İHA'lar bu sınıfta yer alacaklardır

1.4.3.2 Yüksek İrtifa Havada Uzun Kalışlı (HALE) İHA'ları

HALE, yüksek irtifa havada uzun kalışlı sınıf İHA'lar genellikle FL600 irtifa üzerinde görev yapan hava araçlarıdır. Söz konusu irtifada uçuş için oksijenin az olduğu ve dolayısı turbo prop motorlu uçakların yakıt-oksijen karışımının etkin olmadığı bir bölgedir. Ayrıca bu bölge hava yoğunluğunun az olmasından yüksek takat ve sürat ihtiyacı bulunmaktadır. Bu durumun üstesinden gelmek için ancak jet motorlu ve

hatta süpersonik İHA'ların görev yapması gerekebilir. Bu sınıf içinde NATO dokümanları için tanımlanmış tek hava aracı Global Hawk uçağıdır. Bu İHA ile bu sınıfa başlangıç yapılmıştır. Söz konusu İHA'nın yapımı ve kullanımda Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Savunma Bakanlığı ile Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA) ve ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından çalışmalar beraber yürütülmektedir. Bu birimlerin beraber çalışarak HALE platformları kullanmalarının amacı, ulusal ve küresel ölçekte iklim değişikliği ve etkileri hakkında bilgi edinmek, uydular tarafından mekânsal ve zamansal değişkenlerden dolayı bilgi edinme problemlerini aşmak için kullanılmaktadır.

1.4.3.3 Orta İrtifa Havada Uzun Kalışlı (MALE) İHA'ları

Sınıf III içerisinde en çok farklı model İHA Orta İrtifa Havada Uzun Kalışlı (MALE) kategorisidir. Bu kategori içerisinde sabit kanatlı, Predator A ve B, Heron, Heron TP, Hermes 900 ve yerli olarak Akıncı, Bayraktar modelleri bulunmaktadır. Bu kategori içerisinde bu denli fazla modelin olmasının sebebi görev yaptığı irtifa ve süratler için ekonomik ve etkin itki sistemlerinin kullanılabildiği ve bu sayede düşük yakıt tüketimi ile uzun süre havada kalabildiği için söz konusu İHA modelleri tasarlanmış ve hizmete sunulmuştur.

Orta irtifa için ulusal havacılık otoriteleri tarafından net bir tanım yapılmamakla birlikte genellikle günümüzde MALE sınıfı İHA'lar incelendiğinde 10000 feet üzeri ve 50000 feet irtifaya kadar olan bölgede görev yapabilmektedirler. NATO tarafından yapılan sınıflandırma için en üst normal operasyon limiti olarak 45000 ft MSL (Mean Sea Level – Deniz Seviyesi) irtifa olarak belirlenmiştir. MALE kategorisine sahip Sınıf III olmasından ötürü 600 Kg üzeri bir azami kalkış ağırlığına sahip olması gerekmektedir. Ağırlık olarak bir üst limit belirtilmemiştir. Ticari havayolu trafiklerinin günümüzde seyir irtifasını göz önünde bulundurduğumuzda MALE sınıfı İHA'nın operasyonel irtifası bu alanı kapsamaktadır.

Havada uzun kalışlı tanımının nedeni mevcut MALE sınıfı İHA'ların diğer İHA'lardan ayrılmasında görev süresinin 10 saatten fazla olmasıdır. Ancak bu sürenin faydalı yük ve yakıt yükü ağırlığı ile değişkenlik göstereceği belirtilmiştir. Operasyonel süratleri genellikle 100 knot ile 300 knot arasında farklılık göstermektedir. (Weibel, 2005)

1.5. Türkiye’de İnsansız Hava Aracı Yönelimi

SHGM kayıtları incelendiğinde 150 kg üzeri İHA sınıfı olan İHA3 sınıfı kayıtlı bir sivil İHA bulunmadığı için, bu konuda en iyi referansı verecek Savunma Sanayi Müsteşarlığı (SSM) verilerini dikkate alınmıştır.

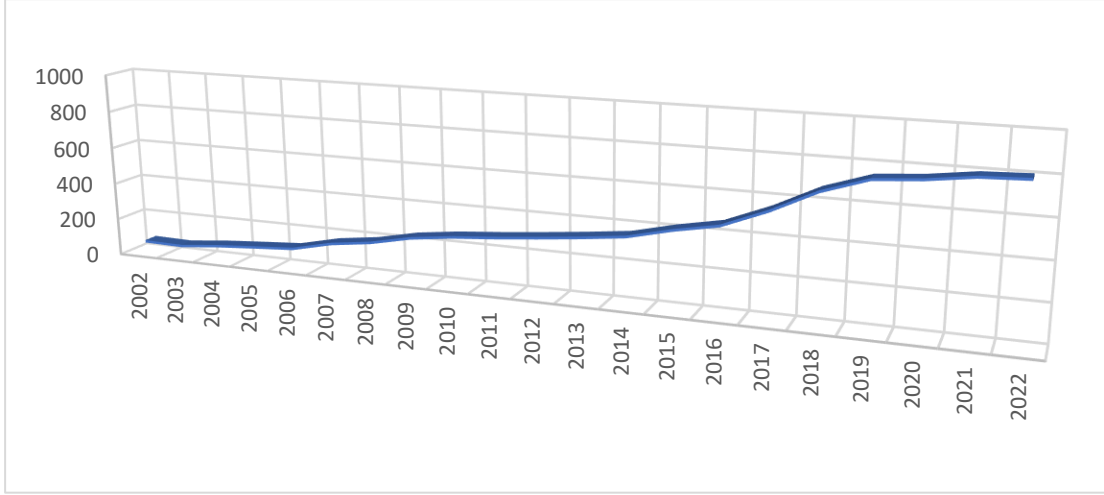
SSM’nin “Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası 2011-2030” dökümanında paylaştığı verileri incelendiğinde yıllara bağlı olarak insansız hava aracında kullanılan teknolojilerin millileşmesinde ve proje sayılarında artış görülmektedir.

SSM’ı bu projeleri Türk Silahlı Kuvvetlerinin operasyonel ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak, bu ihtiyaçlara cevap verecek milli savunma sanayi kuruluşlarıyla birlikte çalışarak hayata geçirmektedir.

Türk Silahlı Kuvvetlerinin İnsansız Hava Aracı Sistemleri ihtiyaçları 2000’li yıllarda yurt dışı tedarik çözümleri ile giderilirken, günümüzde yurt içinden temin oranını arttırmak amaçlı çalışmaları zaman içerisinde sonuç vermiştir. SSB’nin yıllara bağlı yürüttüğü proje sayıları Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

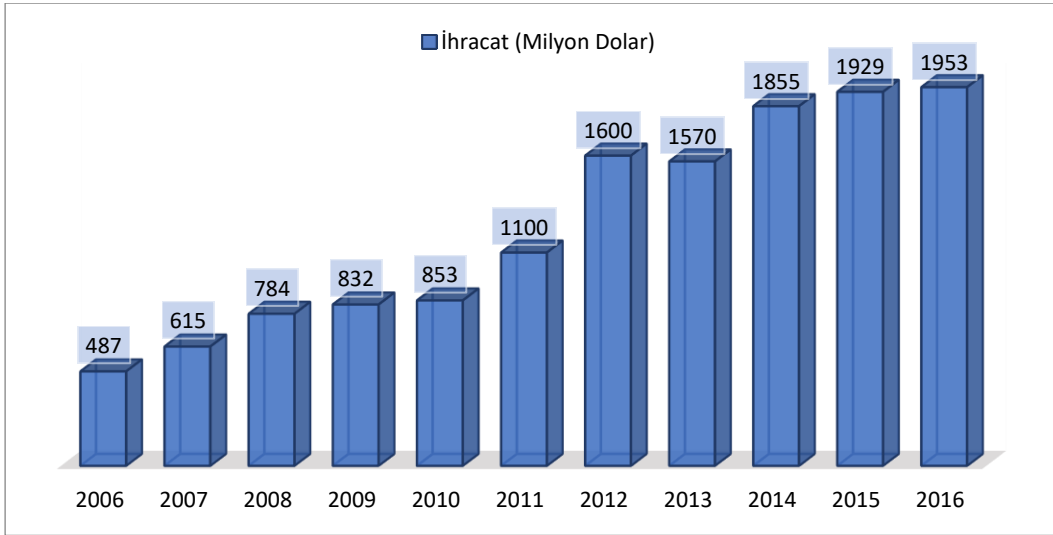
SSB’nin projeleri yurt içinden temin oranını arttırmak maksatlı yürüttüğü özgün ürün geliştirme modelinin uygulanması ile savunma sanayinde ürün çeşitliliğin artması hedeflenmiştir.

Özgün ürün geliştirmenin milli imkanlar ile yapılmasının maliyeti etkin olmadığı durumlarda ise ortak geliştirme ve konsorsiyum modeli uygulanmaktadır. Söz konusu ihtiyaçların karşılanması için her iki modelin uygulanması için uygun şartlar sağlanamaz ise hazır alım ve ortak imalat modeli ile çözüm bulunmaktadır.



Şekil 1.1: SSB'nın Yıllara Bağlı Yürüttüğü Proje Sayısı
Kaynak: (SSM, 2023)

Yurt içi kaynaklı edinen projeler ve yurt dışı malzeme temininde yaşanan sıkıntılar, savunma sanayinde ürün çeşitliliği arttırmıştır. Ürün çeşitliliğiyle savunma sanayinin sahip olduğu imkân ve kabiliyetler gelişmiş ve bu durum ihracat rakamlarına yansımıştır. Şekil 1.2 ile Savunma sanayisinin yıllara bağlı olarak gerçekleştirdiği ihracat tutarları sunulmuştur.



Şekil 1.2: Savunma Sanayisinin Yıllara Bağlı İhracat Tutarları
Kaynak: (SSB, 2023)

SSB tarafından yürütülen İHA sistemleri taktik, operatif ve stratejik olmak üzere üç ana kategoride toplanmaktadır. Taktik seviyede İHA sistemleri oluşturan bütün bileşenlerin yerli üretim ile yapılıyor olması hedeflenmektedir. Operatif İHA

sistemlerinden ise hava aracının üretimi ve görev bilgisayarları ile alt sistemlerin yurt içinde milli olarak üretilmesi hedeflenmektedir. Stratejik seviyede İnsansız Savaş Uçağı sistemleri için uluslararası dost ve müttefik ülkeler ile oluşturulacak konsorsiyum programına katılım sağlanması hedeflenmektedir.

Savunma sanayinde yapılan yatırımlar ve hedefler gösteriyor ki; mevcut sanayimiz ihtiyaç duyulan İnsansız Hava Aracının geliştirilmesi, gerekli yazılım ve donanımlarının yerli imkanlar ile üretilebilecek ve dünya pazarına ihraç edebilecek kapasitedir.

1.6. MALE Sınıfı İnsansız Kargo Uçağı

Hava kargo operasyonlarının gelişen insansız hava aracı teknolojileri ve artan talepler doğrultusunda aksaksız, ekonomik ve etkin bir şekilde yürütülmesi için İnsansız Kargo Uçağı (İKU) ihtiyacını ortaya koymuştur. Buradan hareketle geliştirme ve üretim çalışmaları başlamıştır. İnsansız hava aracı sınıflandırması yapan kurum ve kuruluşların görüşleri doğrultusunda, yapılan prototip ve konsept tasarımlar incelendiğinde operasyonel irtifası, seyir sürati, havada kalış süresi, menzili gibi parametreler değerlendirildiğinde İKU için en uygun sınıfın MALE olduğu görülmektedir. Şekil 1.3'te MALE sınıfı İKU için yapılan çalışmalardan biri AT-200 uçağının görsellerine yer verilmiştir.



Şekil 1.3: AT-200 İnsansız Kargo Uçağı

Kaynak: (Aerospace-tecnology.com,19.05.2023)

AT-200, Çin Bilim akademisi, Termofizik Mühendisliği Enstitüsü tarafından yapılan Çin'de yapılmış en büyük insansız kargo uçağıdır. AT-200 boş ağırlığı 1630 kg ve azami kalkış ağırlığı ise 3400 kg'dır. 10 metreküp kargo hacmi ve 1500 kg

faydalı yük taşıma kapasitesi bulunmaktadır. Havada kalış süresi 8 saat ve menzili 2183 kilometredir. Uçak kalkış için 77 metre, iniş için 100 metre pist yeterli olmaktadır. Maksimum kalkış ağırlığı ile, 1500 kg faydalı yüklü olarak iniş ve kalkış için 200 metre pist yeterli olmaktadır. Ayrıca AT-200 hazırlanmamış pistlere, çim ve toprak gibi yüzeylere iniş kalkış yapabilmektedir. Bu sayede ulaşılması zor bölgelere ulaşım imkânı sağlamaktadır.

AT-200 geliştirilmiş bir otopilot sistemi ile donatılmış, navigasyon ve yedek uçuş kontrol sistemiyle uçuş emniyetini arttırarak güvenilirlik sağlamaktadır. AT-200 otonom olarak veya uzaktan kumanda edilebilme özelliğine sahiptir. Otonom modu sayesinde otomatik iniş kalkış ve rotada belirlenmiş yol noktalarını takip ederek uçuşunu gerçekleştirebilmektedir. Operatör tarafından uçak gerçek zamanlı olarak izlenip, görev ile ilgili değişiklikler yapılabilmektedir. Elektronik karıştırma önleyici sistem sayesinde dijital olarak uçak ve yer kontrol istasyonu ile güvenli bir bağlantı kurulmaktadır.

AT-200ların diğer uçaklar ile çarpışma önleyici sistemi ile uçuş emniyeti artırılmıştır. Ayrıca yer ile bağlantısının kesilmesi durumunda kalkış yaptığı meydana dönüş yaparak emniyetle iniş yapabilmektedir. AT200 burun kısmına monte edilmiş, 3 palli, 750 beygir gücüne sahip, iki şaftlı, Pratt and Whitney firmasına ait turboprop motor ile takat sağlanmaktadır.

Performans kabiliyeti olarak seyir sürati 313 km/sa, olup, servis tavanı olarak 6098 metre (20000 feet) irtifada hizmet verebilmekte ve gece ve gündüz zorlu hava koşullarında kargo taşıyabilmektedir.

UPS kargonun taşıyıcı firmalarından olan Ameriflight ise halen teorik bir uçak olan Natilus Kona kargo dronundan 6.8 milyon dolar fiyata 20 adet sipariş vermiştir. Natilus firması, geleneksel uçakların aksine geniş ve delta şekline sahip bir İnsansız Kargo Uçağı (İKU) olan Kona modeli aynı boyutlardaki dairesel kesitli, tüp şeklinde geleneksel gövdelere sahip bir hava aracından daha fazla kargo taşımak üzere tasarlandığını söylemektedir.

Tasarımcı bu insansız kargo uçağının sahip olduğu iki adet Pratt & Whitney PT6 turbo prop motorları ile 900 deniz mili üzerinde 4,3 ton kargo taşıyabileceğini ve uçağın benzersiz aerodinamik şeklinin, insanlı bir kargo uçağına kıyasla %50'ye varan

önemli karbon emisyonu tasarrufu sağlayabileceğini iddia etmektedir. Şekil 1.4'te Natilus Kona İKU görseli sunulmuştur.



Şekil 1.4: Natilus Kona İnsansız Kargo Uçağı
Kaynak: (Bartlett, 2022)

Bu arada, diğer kargo uçağı geliştirmeleri arasında, Natilus'a rakip olan, ancak çalışan prototipleri ve daha mütevazı performans hedefleri olan, 2.500 km'de taşınan 350 kg'lık bir yük taşıyan Black Swan uçağı ile Dronamics yer almaktadır. Black Swan İKU görseli Şekil 1.5'te sunulmuştur. Dronamics aynı gün içinde kargonun ulaşım maliyetinin kg için 5 Euro gibi bir fiyata emsallerine göre % 50 daha ucuza olacağını belirtmektedir. Dronamics firmasının stratejik partnerleri arasında DHL, Hellmann, Rotax, Cotesa, ve Quickstep gibi dünya devi lojistik firmaları bulunmaktadır.



Şekil 1.5: The Black Swan Cargo Drone
Kaynak: (<http://Dronamics.com>, 20.03.2023)

Dronamics CEO'su Svilen Rangelov, tarafından test programlarının devam ettiğini ve İKU'nun daha da geliştirilmesi üzerine çalıştıklarını da ifade etmiştir.

Dronamics firması prototipleri ile 2023 yılında başarılı bir deneme uçuşu gerçekleştirmişlerdir.

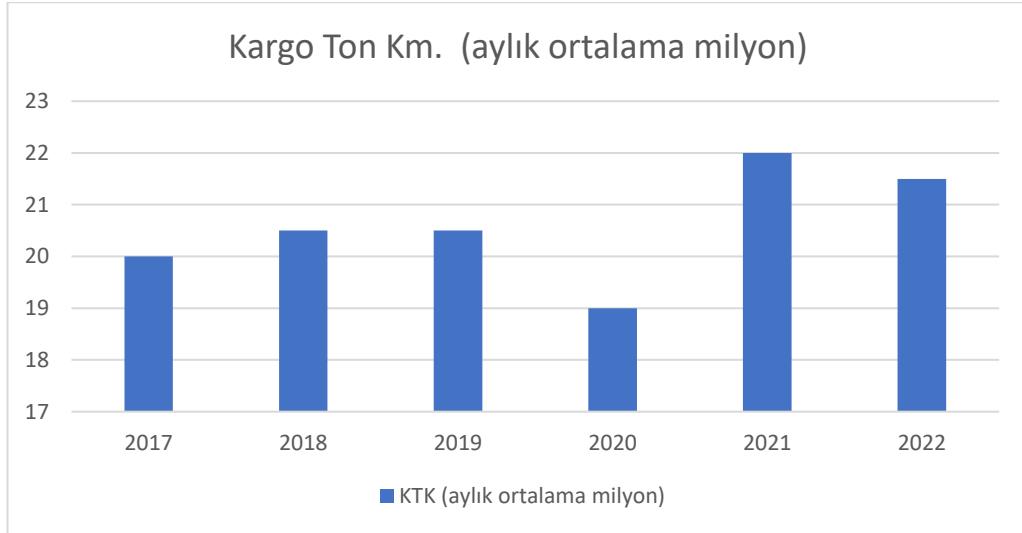


İKİNCİ BÖLÜM

2.HAVA KARGO TAŞIMACILIĞI SEKTÖRÜ

2.1. Sektöre Genel Bakış

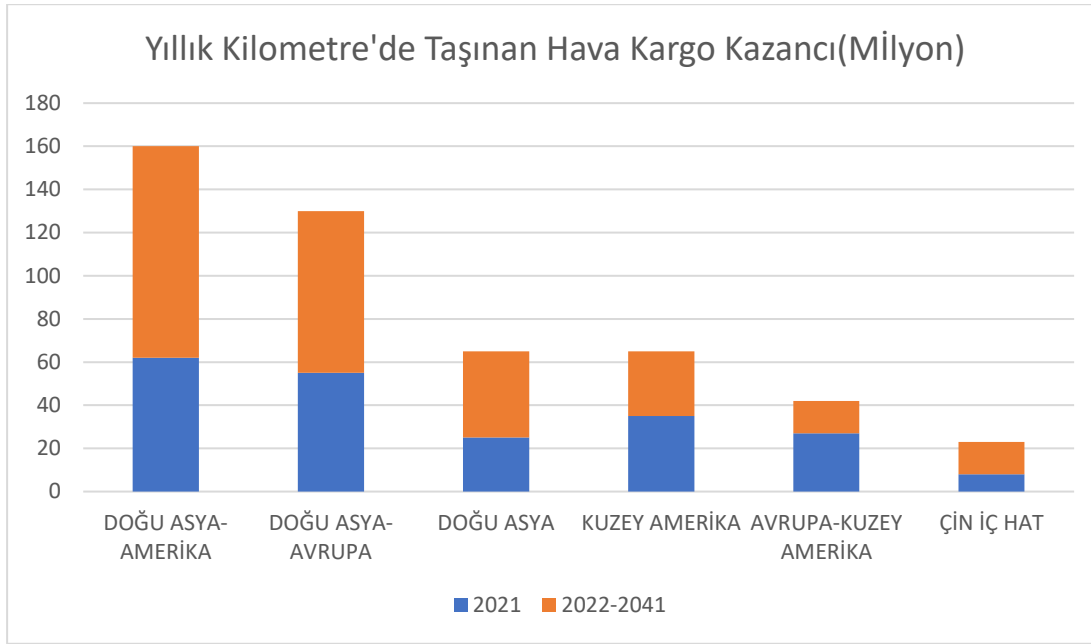
Hava kargo taşımacılığı 2008 ve 2009 yıllarında yaşanan küresel ekonomik krizin ardından 2010 yılında güçlü bir kalkınma yaşamış ve 2014 yılına kadar düşük oranlı ancak devamlı bir gelişme göstermiştir. 2020 yılında yaşanan pandemi dönemi birçok sektör gibi hava kargo sektörünün olumsuz etkilemiştir. Şekil 2.1’de taşınan hava kargonun ton başına taşınan kilometre verisi yıl bazında aylık ortalama olarak verilmiştir. Pandemi dönemi aylık ortalama KTK verisinin diğer yıllara göre düşüklüğü pandemi etkisini göstermektedir. 2021 yılında pandeminin durgunluğunu artarak, pandemi öncesi 2019 yılının taşınan KTK’sinin üzerine çıkmıştır. 2022 yılında ise 2021 yılına göre belli bir oranda düşüş görünse bile 2019 yılında taşınan aylık ortalama KTK yaklaşık 1 milyon üzerinde artış ile devam etmiştir.



Şekil 2.1: Küresel Hava Kargo Ton Başına Taşınan Kilometre (KTK)

Kaynak: (IATA,2023)

Hava kargo sektöründe elde edilen geliri gene ton başına yapılan kilometreden yapılan kazanç olarak değerlendiren Boeing firmasının, hava kargo trafiklerinin uçuş bazında yıllık artış tahminleri Şekil 2.2’de sunulmuştur. Boeing, uzun vade de taşınan hava kargonun %50’sinin yük taşıyıcılar tarafından taşındığı, ticari havayolu uçaklarının %8’inin hava kargo uçaklarının oluşturduğunu, 2041 yılına kadar 940 adet kargo uçağının üretileceği, 1855 uçağın ise kargo uçağına dönüştürüleceğı ve yıllık hava kargo trafiğinin %4,1 artış ile büyümesine devam edeceği ön görölmektedir (Boeing, 2022).



Şekil 2.2: Hava Kargo Trafik Tahmini
Kaynak: (Boeing, 2022)

Hava taşımacılığı ile taşınan ürünler hacimsel anlamda dünya ticaretinin %1'inden az bir kısmını oluştursa dahi maddi değeri olarak %35'ini oluşturmaktadır (Boeing, 2022).

Hava kargo modern yaşamın birçok yönünü birleştiren bir yapısı bulunmaktadır. Bozulabilir gıdaları geliştirmekte olan ölkelerden endüstrileşmiş uluslarda bulunan pazarlara ulaştırmak hava taşıması olmasaydı mümkün olmazdı. İlaç endüstrisi zaman, sıcaklık hassasiyetli bazı aşilar, hız ve yüksek değerli malzemelerin ulaştırılmasının etkinliği açısından hava taşımacılığına bağımlıdır. Bugün modern dünya canlı hayvanların uzun mesafelere taşınması için havayolu en insancıl ve uygun metottur.

Birçok insan şahsi elektronik cihazları sayesinde havayolu ile bağlanan küresel tedarik zincirini kullanmaktadır. Amazon, Alibaba, eBay ve diğer e-ticaret sitelerinin asıl amacı müşterilerine çok daha hızlı teslimatı sağlamak olduğu için mümkün olduğunca havayolu tercih edilmektedir. Hava kargo pazarının birleşerek bir araya gelmesi paylaşılan iş hacmini arttırmaktadır.

Kentselleşmenin ivmelenmesi mega şehirlerin sayısının artmasına ve içinde bir ila üç mega şehir bulunduran ve 10 milyon fazlası bir nüfus barındıran mega bölgelerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Mega bölgeler başlıca Asya'da bulunmakta ve gayri safi milli hasılanın ve nüfusun yığılmasını, dünya ticaretine yön vereceği düşünülmektedir.

Jeopolitik endişeler, petrol fiyatlarındaki dalgalanma ve son ekonomik trendler denizden karaya doğru ve yerli üretime daha yakın olması hava kargoya olan talebi arttırmaktadır.

Bunlara ek olarak, malzemelerin havayolu ile sevk edilirken gönderi süresinin rotalarla uzaması ve kesin olarak yasaklanan malzemelerin taşınması hususunda emniyete ve güvenliğe olan ihtiyaç daha fazla artmıştır. (IATA, 2015)

Ticari havacılık binlerce şirketin ve organizasyonun bir araya geldiği küresel bir ağıdır. Bu ağ güvenilirliğe, etkinliğe, güvenlik sistemlerinin raporlamasına, bilgileri toplamasına ve ödeneklerin değer zincirlerinin değişik üyeleri arasında havale edilmesine dayanır. IATA'nın yerleşim sistemleri küresel hava taşımacılığı sisteminin omurgasıdır. Para transferinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi önem taşımaktadır.

Ortaklıkların güçlendirilmesi hava kargonun güçlendirilmesi için odaklanılması gereken hususlardan biridir. Çünkü endüstri açısında dönüşüm, başarı ve sürdürülebilirlik ancak iş birliği içerisinde hareket edilirse yakalanabilmektedir. Günümüzden geleceğe etkili çözümler yaratarak sürdürülebilirliği üç ana başlıkta uygulanması gerekmektedir. Bunlar; insan, evren ve karlılıktır (IATA, 2015).

2.1.1 Dünyada Deregülasyon ve Liberalleşme

Geçtiğimiz 35 senede hava taşımacılığını tercih eden yolcu sayısı hızla arttı. Dünya Bankasının verilerine göre 1980'li yıllarda sadece Dünya'da hava yolu ile

taşınan yükün KTK'si 26.850 milyondur. Bu rakam 2019 yılında 221.496 milyon KTK oldu (Worldbank, 2023).

Deregülasyon, hava taşımacılığı sektöründe hükümetin müdahale girişimini ortadan kaldırma ve fiyatların kısıtlanmasıydı. Bilhassa, bazı taşıyıcılara spesifik rotalarda uçmak için izin verildi. Ancak, deregülasyon eylemi hala ekonomistler ve akademisyenler arasında tartışma konusudur.

Yolcu ve kargo taşımayı içeren hava taşımacılığı havayolu şirketleri tarafından yerine getirilmektedir. Yolcular farklı havayollarından, rotalardan ve servislerden tercih yapabilirler. Ancak, deregülasyondan önce havayolu şirketleri de yolcularda kendi istedikleri rotayı seçmiyorlardı. (Bailey, 2010).

1938 yılında ABD Federal Sivil Havacılık Kurulu (CAB) kamu hizmeti olarak hava taşımacılığında, uçuş programlarında, ücretlerinde ve rotalarında düzenlemeler yapmıştır. Bu dönemde ABD Federal Sivil Havacılık Kurulu verimsiz olan bir noktadan noktaya bir uçuş sistemi kurmuştu. Havayolları sadece ABD Federal Sivil Havacılık Kurulu tarafından düzenlenmeyen eyalet içi uçuşları gerçekleştirebiliyordu.

ABD Federal Sivil Havacılık Kurulu ekonomik olarak genellikle kısa mesafeli uçuşların bilet fiyatlarını düşürüyordu. Öte yandan uzun mesafeli uçuşların ücretleri arttırarak hava taşıyıcılarının daha fazla yararına olacağı ön gördü. (Baik vd. , 2011)

1960'ların başlarında, havacılık sektöründe önemli teknolojik yenilikler yapıldı. Örneğin yeni servise verilen jetler artık öncekilere göre daha hızlı seyahat etme imkânı tanıyordu. Bunun sonucu olarak uçuş sayıları ve taşıyan yolcu sayıları hızla arttı (Belobaba vd., 2015). Ancak, hükümet düzenlemeleri kapsamında bulunan ABD havayolu endüstrisinin gelişimi çok cansızdı. ABD Federal Sivil Havacılık Kurulu sektöre yeni hava yollarının girmesini ve şirketlerin birbirlerinin rotalarında uçmalarını reddetti. Düzenlemeler, bu endüstriyi coğrafi tekeller haline dönüştürdü. Yanında ise düşük ekonomik büyüme, yüksek enflasyon ve düşen verimliliği getirdi. 1970 yıllarının başında ise çoğu havayolları düşük kar oranı ve yüksek bakım maliyetlerinden ötürü kendi operasyon bakımlarını yerine getiremiyorlardı (Thierer, 1998). 1975 yılından önceki on yıl iki haneli enflasyon ve yüksek oranda işsizlik ile anılıyordu. Ücret ve fiyat kontrolleri denenmiş ve başarısız olmuştu. Piyasanın refahı için ekonomik düzenleyici reformlar hazırlandı.

ABD hükümeti, havayolu hizmet ölçeğini genişletmek ve hava taşımacılık endüstrisinin kurtarılması için 1970'li yılların sonuna doğru deregülasyonları uygulamaya koydu. 1977 yılının yazında ABD Federal Sivil Havacılık Kurulu başkanı Alfred Kahn kongre yapma kararını açıkladı. Etkinliği herkes tarafınca kabul görünce 28 Ekim 1978 yılında ABD başkanı Jim Carter tarafından imzalanan havayolu deregülasyonları kanunu yürürlüğe girdi (Goetz and Vowles, 2009). Kanunun amacı ABD Federal Sivil Havacılık Kurulunun uygulamalarını kademeli olarak azaltmaktır. Deregülasyonlar 31 Aralık 1981 yılında tamamlanmıştı (Bailey, 2010) Fiyat düzenlemesi iki yıl sonra yasaklanmıştı. ABD Federal Sivil Havacılık Kurulunun sorumluluklarını aşan uluslararası müzakereler ve küçük toplumların hava servisleri gibi konular Ulaştırma Bakanlığı tarafından takip edildi. Güvenli olmayan yetkiler Adalet Bakanlığınca ve emniyet düzenlemeleri ise Federal Havacılık Dairesi tarafından yapıldı.

Deregülasyonlar geliştirildikçe havayolu endüstrisine topla ve dağıt sistemi, açık semalar ve ücretsiz giriş-çıkış gibi önemli başarılar katmıştır. Ancak ABD hükümetinin deregülasyonları bazı olumsuz etkileri olduğu tecrübe edilmiştir. Maliyetleri düşürme baskısı karlılıkta dalgalanmaya sebep olmuştur. Bazı Havayollarının şirket birleşmesine gitmesi ve iflas etmesi iş kaybına ve maaşların azalmasına sebep olmuştur (Shaw vd., 2009). Üstelik, topla ve dağıt sistemi bazı büyük ulaştırma merkezlerini tekel haline gelmesine sebep olmuştur. Her ilacın bir yan etkisi vardır. Önemli olan faydanın zarardan çok olmasıdır. ABD'de başlayan deregülasyonlar ve liberalleşme hareketi tüm dünyayı ve birçok endüstriyi etkisi altına aldı. Faydaları görüldükçe uygulama alanı genişlemektedir.

2.1.2 Hava Kargo Hacmini Etkileyen Faktörler

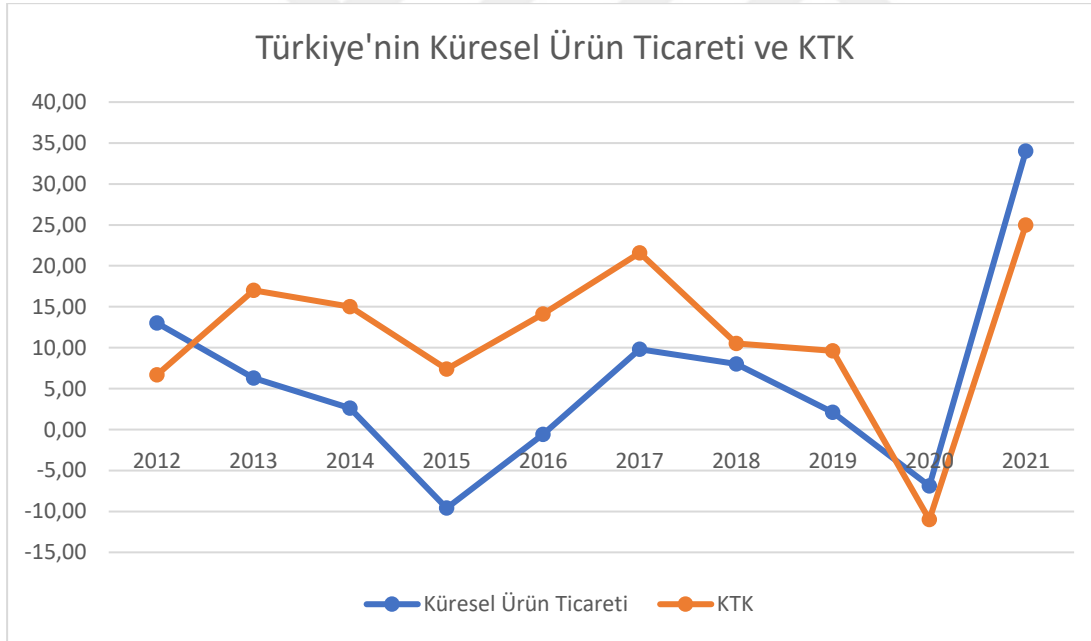
Hava kargo hacminin küresel anlamda değerlendirmeleri sektörün önde gelen kurum ve kuruluşları yaparken baz alınan en önemli ölçüt birim, taşınan yükün ton başına kaç kilometre (Kargo Ton-Km, KTK) baz alınmaktadır. Hava Kargo Hacmini etkileyen faktörler incelenirken KTK'nin uyumlu hareket ettiği diğer parametreler ile kıyaslanarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu parametreler; küresel ürün ticareti, Satın alma Yöneticileri Endeksi (Purchasing Managers Index – PMI), İhracat

rakamları, G7 ülkelerinin üretici ve tüketici fiyat endeksleri, uçak yakıt ve ham petrol fiyatları ve e-ticaret hacmindeki değişim ile alakalı olduğu görülmektedir.

2.1.2.1 Küresel Ürün Ticareti

Küresel Ürün Ticareti, bir ülkenin ekonomik topraklarına giren (ithalat) veya yurt dışına yapılan (ihracat) maddi kaynak stoğuna katkıda bulunan veya azaltan tüm ürünleri içerir. Bu gösterge milyon ABD Doları olarak ölçülmektedir. Bir ülke üzerinden taşınan veya geçici olarak kabul edilen veya geri çekilen ürünler (içerde veya dışarda işlem gören ürünler hariç) dahil değildir. Tüm OECD ülkeleri verilerini 2008 Ulusal Hesaplar Sistemine (SNA) göre belirtirler.

Türkiye’de gerçekleşen DHMİ’nin verilerini kullanarak edinilen hava kargo miktarlarında bir önceki sene ile sonraki sene arasında gerçekleşen yüzdelik değişim ile Küresel Ürün Ticaretinde gerçekleşen yıllar içinde gerçekleşen yüzdelik değişimin grafik hali Şekil 2.3’te sunulmuştur.



Şekil 2.3: Türkiye’nin Yıllık Küresel Ürün Ticareti ve KTK Değişim Oranları
Kaynak: (OECD ve DHMİ,2023)

2.1.2.2 Satın alma yöneticileri endeksi

Küresel ekonominin sağlığı hakkında doğru ve zamanında öngörü için Satın Alma Yöneticileri Endeksini (PMI) kullanılmaktadır.

Özel sektör şirketlerindeki üst düzey yöneticilerin anketlerinden elde edilen aylık veriler, yalnızca abonelik yoluyla kullanılabileceği için büyük şirketler ekonomideki büyük resmi görmek amacıyla kendi verilerini paylaşır. PMI veri kümesi, bir ekonominin genel sağlığını gösteren bir başlık numarasına ve GSYİH, enflasyon, ihracat, kapasite kullanımı, istihdam ve envanterler gibi diğer önemli ekonomik faktörler hakkında öngörü sağlayan alt endekslere sahiptir. PMI verileri, ekonomilerin ve piyasaların nereye gittiğini daha iyi anlamak ve fırsatları ortaya çıkarmak için finans ve kurumsal profesyoneller tarafından kullanılır.

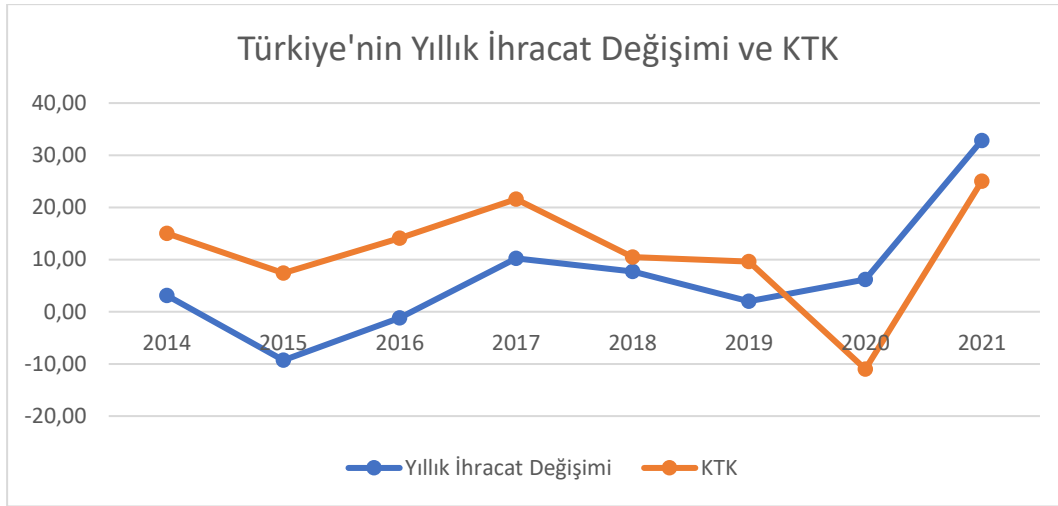
Satın Alma Yöneticileri Endeksi için 50 değeri bir önceki ay ile değişim olmadığını üzerindeki değerler ise artış olduğunu göstermektedir. 50'in altındaki değerler ise düşüşü göstermektedir. Şekil 2.4'te sunulan grafikte 2020 yılında pandemi döneminin etkilerini endeks rakamının 35'in altına kadar düşmesinden görebiliriz.



Şekil 2.4: Türkiye'nin İmalat Sanayi PMI Endeksi
Kaynak: (OECD, 2023)

2.1.2.3 İhracat rakamları

Ülkemizde, Türkiye İhracatçılar Meclisinin öncelikli görevi sürdürebilir bir dış ticaret ortamı sağlamaktır. İhracat rakamlarının yıllık bazda yüzdelik değişimi ve KTK'nin yüzdelik değişimi kıyaslandığında Şekil 2.5'te 2020 yılında dışında genel bir uyum gözlenmektedir.



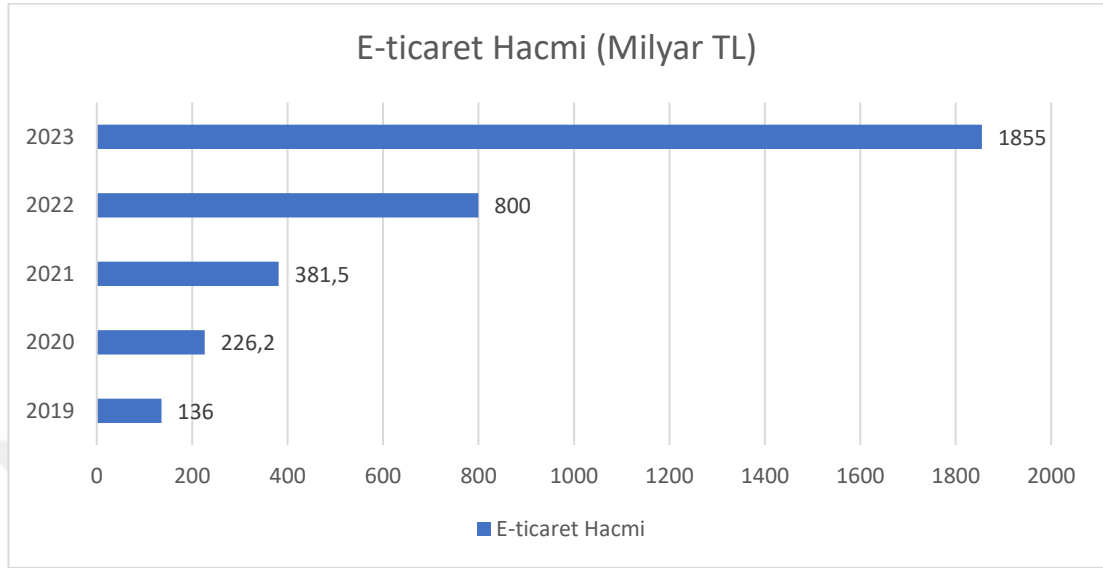
Şekil 2.5: Türkiye'nin Yıllık İhracat ve KTK Rakamlarının Yüzdelik Değişimi
Kaynak: (Türkiye İhracatçılar Meclisi ve DHMİ, 2022)

2020 yılın pandeminin etkisi ile KTK değeri bir önceki seneye göre %-11 gerçekleşirken, aynı yıl ihracat rakamının bir önceki yıla göre % 6,19 oranında artış gösterdiğini görüyoruz. Bu durum ihracatın, hava taşımacılığının haricinde bir taşıma modu ile gerçekleştiğini göstermektedir.

2.1.2.4 E-Ticaret

E-ticaretteki hızlı genişlemenin hava kargo büyümesini artırması bekleniyor. E-ticaretin karmaşık lojistiği, büyük ölçüde yerel posta sistemlerine, ekspres ağlara ve bazı durumlarda perakendeciler tarafından yönetilen kapsamlı tedarikli dağıtım ağlarına dayanır. Hava kargo paketleri genellikle nakliyeciler tarafından özel olarak e-ticaret olarak tanımlanmaz ve hava posta gönderileri tipik olarak çeşitli belgeler ve kolilerle birlikte torbalara konur. Ancak şurası açıktır ki, e-ticaret müşteri beklentileri ve hava kargo lojistiğinde devrim yaratıyor. Küresel e-ticaret gelirlerinin 2019 yılında gerçekleşen 3,4 trilyon dolar olan gelir, 2020 yılında pandemi etkisi ile 4,3 trilyon dolar olmuş ve 2026 yılına kadar iki katından fazla artarak 8,1 trilyon dolara ulaşması bekleniyor (TUBİSAD, 2020). Bu rakam 2015'te elde edilen 1,5 trilyon dolar gelirin yaklaşık beş katıdır. E-ticaretteki büyüme büyük karayolu taşımacılık ağları beslenen havalimanları, iyi kurulmuş posta ve kara ağları olmayan gelişmekte olan pazarlar hava kargosunun artan rolünü teşvik edecektir (Boeing, 2022).

Türkiye’de e-ticaret rakamlarını incelendiğinde, e-ticaret bilgi platformunun 2019 yılından itibaren sunduğu istatistikler doğrultusunda Şekil 2.6 hazırlanmıştır.



Şekil 2.6: Türkiye E-ticaret Verileri
Kaynak: (E-ticaret Bilgi Platformu,2024)

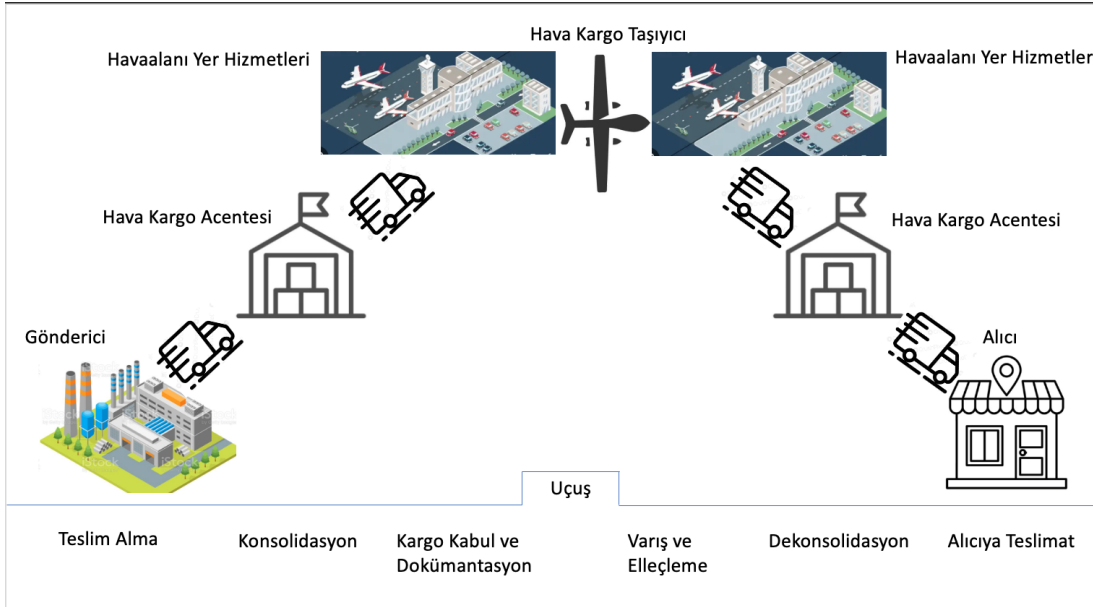
2020 yılına gelindiğinde bir önceki yıla göre e-ticarete %66 oranında bir artış yaşanmış ve 2019 GSYİH’den e-ticaretin aldığı pay %2,7’den, 2020 yılında %4,1’e artış göstermiştir. Bu artış ivmesi 2021 yılında devam etmiş ve bir önceki seneye göre e-ticaret hacmi %68 oranında artışı göstererek, 2020 yılında yaşanan artışın pandemi etkisi olmadığını göstermiştir. 2021 yılında e-ticaret hacminin GSYİH’den aldığı pay gene artış ile %5,1 olmuştur. 2021 yılında gerçekleşen e-ticaret hacminin %92’sinin yurt içi alışverişler olduğu belirtilmiştir (eticaret.gov.tr, 29.03.2023).

Türkiye’nin önceki senelerin verileri incelendiğinde, iç pazar ağırlıklı gerçekleşen e-ticaret hacminin yıllara bağlı olarak artış göstereceği görülmektedir.

2.2. Hava Kargo Taşımacılığı Tedarik Zinciri

Hava kargo tedarik zinciri, kargonun kaynağından teslim edileceği yer havayolu ile ulaşımı için birbirine bağlı taraflardan, bölgelerden, prosedürlerden ve bilgi transferinden oluşan bir kombinasyondur. Zincir içerisindeki tüm taraflar kargonun güvenli ve emniyetli sevk edilmesi sorumluluğunu paylaşmaktadırlar.

Hava kargo tedarik zinciri satıcı/gönderici tarafından başlatılır ve alıcı/ithalatçı arasında bulunan tarafları kapsar. Şekil 2.7’de genel olarak hava kargo işleyişi gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Hava Kargo Hareketine Genel Bakış

Kaynak: Araştırmacı

Gönderici, malzemenin üretilmesi ve/veya satılması konusunda sorumludur. İhracatçı veya tüccarı referans gösterebilir. Gönderici çoğu zaman bir aracı veya acente aracılığı ile malzemenin ulaşımı ve gümrük işlemleri için hizmet alır.

Gönderici, tedarik zincirinin bitiminde bulunan alıcı ile ticari olarak anlaşma sağlar. Gönderici olan şahıs malzemelerin üreticisi de olabilir veya satmak için almış olabilir. Gönderici/ithalatçı alım ve satım ile ilgili gerekli tüm prosedür ve bilgileri eksiksiz doldurur. Göndericinin işlerini düzlenmek için çalıştığı aracı veya acente kuruluşları bu hizmeti vermektedir. Ancak bazı lisanslar, izinler ve sertifikalar sınır güvenliğini düzenleyen kuruluşlar tarafından talep edilmektedir.

2.2.1 Roller ve Sorumluluklar

Kargonun havayolu ile ulaşımı boyunca hizmet veren tarafların ortak çalışması ile mümkün olmaktadır. Bu taraflar; gönderici, alıcı, yük göndericileri (hava kargo acentesi), yer hizmet sağlayıcılar, anlaşmalı posta operatörleri, uçak işletmecileri ve acil taşıyıcılarıdır.

2.2.1.1 Gönderici

Terim olarak tanımı; kargonu hareketi veya ulaşımını talep eden kimsedir. Lojistik terimi ise ticari malzemelerin gönderilmesini talep eden kimsedir. Bu terimler gönderilen malzemenin ve nakliyenin türüne göre rolleri ayırmaktadır. Ayrıca bazen bu terim bazı durumlarda aynı kişi olabilir. Nakliye genellikle fonksiyonların bir araya geldiği bir birleşimdir. Hatta depolama fonksiyonu dahil tek bir işletmede vücut bulabilir. Her şeye rağmen bu işin fonksiyonlarının ayrıt edilmesi faydalı olacaktır. Her biri acente, gümrük gibi ayrı yasal zemini ve yönetim ilişkileri bulunan fonksiyonlardır.

2.2.1.2 Alıcı

Alıcı, paketli veya faturalı ürünlerin anlaşma dahilinde ulaştırılması gereken kişi ve tedarik zincirinin son halkasıdır. Alıcı ve müşteri arasında rol farklılığı vardır. Müşteri ticari terimdir. Uluslararası ticaret bağlamında müşteri, ithalatçı olarak bilinir. Müşteri veya ithalatçı çoğu zaman aracı veya acente tarafında işlerini düzenlemek adına hizmet alımı yapar. Rollerin ayrımı önemlidir. Çünkü ifade ettikleri bilgi farklı zamanlarda ve kullanıldığı amaca göre değişiklik gösterir.

2.2.1.3 Yük göndericileri

Yük göndericileri tedarik zincirinde lojistik faaliyetinin bir parçası oluşturur. Görevleri ulaşım hazır olan uçak operatörleri ile görüşerek hava taşımacılığı için anlaşma yapmaktır. Bazı anlaşmalar uygun ise kargoların birleştirilmesini içerebilir. Konsolidasyon acentenin rekabet gücü artabilir. Özellikle tek bir hat üzerinde çalışır ve büyük bir hacim yaratabilir ise hava kargo taşıyıcı firmalardan daha fazla indirim alabilir. Yük göndericisi ve lojistik hizmet sağlayıcısı malzemenin hazırlanması, depolanması, taşınması ve son teslimatın yapılması hizmetlerinin de yapılmasını teklif edebilir. Bir yük göndericisi nadiren ulaşım zincirinde taşıyıcı olarak da hareket eder. Genellikle çoklu taşımalar ile farklı taşıma modları ile olacak şekilde ulaşımı organize eder. Diğer hizmetler tedarik zincirinin oluşumuna katkıda bulunur. Böyle bir taşımanın tek veya çoklu taşıma yöntemi ile gerçekleştirilebileceği anlamına gelmektedir. Hava kargo hizmetini denizyolu, demiryolu veya karayolu taşımacılığı

ile göndericiden veya üreticiden teslim alınarak havaalanına getirilerek bir diğer havaalanına transfer edildikten sonra alıcıya teslim edilmesine çoklu taşımacılık denir. Hizmetlerin kapsamı yük göndericinin teklifleri ile genişletilerek birleştirilmesi, depolanması, elleçlenmesi, paketlenmesi veya dağıtılmasını kapsayabilir. Ek olarak, yük göndericisi, genellikle gümrük ve mali konuları, malzemelerin resmi makamlara deklere edilmesi, malzemelere sigorta yaptırılması, malzeme ile ilgili dokümanların sunulması veya gerekli ödemelerin yapılmasını kapsar.

Hava kargo gönderisi için yük göndericisi normal olarak bulunduğu havaalanından varacağı havaalanı arasında hava taşıma hizmet anlaşması yaptığı uçak operatöründen rezervasyon alır ve kontrat yapar. Daha sonra yük taşıyıcısı gönderiyi depodan veya bir başka yerden doğrudan uçak operatörüne veya onun temsilcisine teslim eder. Bu işlem normalde gümrük ve ihracat formaliteleri çözüldükten sonra gerçekleşir.

Göndericinin öncelikli sorumluluğu müşterisinin/ithalatçısının veya nakliyecisinin güvenliğini sağlamaktır. Yük göndericileri uçak operatörleri ile koordineli çalışarak uçak üzerinde taşıma için müsait boş alanı belirler ve rezerve ederek hava ulaştırma kontratını yapar ve havayolu konşimentosunu düzenler. Yük göndericileri genellikle havalimanlarının kara tarafında yer alırlar. Ancak bazen hava tarafında çalışırlar hatta depo sahibi bile olabilirler. Havaalanı sınırları dışında da çalışabilirler. Zamanın nakit olduğu bu sektörde bu durum bir dezavantaj yaratabilir.

2.2.1.4 Yer hizmet sağlayıcıları

Yer hizmet sağlayıcıları, yük göndericilerine ve/veya uçak operatörlerine yardımcı olması amacıyla bir alt sözleşme ile hizmet verir. Bu hizmet yük göndericisi veya uçak operatörünün ihtiyacı duyduğu imkanları olmadığı zaman yer hizmet sağlayıcısı tarafından verilir. Yer hizmet sağlayıcıları antrepodan malzemenin teslim alınması, elleçlenmesi, hazırlanması, etiketlenmesi, yükleme/boşaltma, transit geçiş ve kargo veya postaların depolanmasını işlerini talebe göre yerine getirebilir. Yer hizmet sağlayıcıları yük göndericilerinin ve uçak operatörlerinin talimatları doğrultusunda operasyonları gerçekleştirmek sorumluluğundadır. Gönderilecek malzemeler sevkiyat için hazır olduğunda, yük göndericisi kargoyu yer hizmet

sağlayıcısına teslim eder ve ilgili uçak operatörüne teslim edilmesi için gerekli talimatları verir.

Yer hizmet sağlayıcıları genellikle havaalanlarının servis binalarında yer alırlar. Servis binaları hava tarafında veya kara tarafı ile hava tarafında arasında yer alır. Ancak kara tarafında bulunan örnekleri de vardır.

2.2.1.5 Anlaşmalı posta operatörü

Anlaşmalı posta operatörü resmi kurum veya özel bir işletme olabilir. Önemli olan Evrensel Posta Birliğine (UPU) üye olarak gerekli talimatlara uyarak posta hizmetlerini yerine getiriyor olması gerekmektedir. Gönderinin posta ögesi olduğu tanımlanarak anlaşmalı posta operatörü tarafından Evrensel Posta Birliği sözleşmesi kapsamında teslimatı sağlanır. Sözleşmede düzenlemeler, teknik bilgiler, mesajlaşma ve güvenlik standartları yer almaktadır.

Anlaşmalı posta operatörü, uçak operatörü ile çalışarak gönderinin ulaştırılması ve güvenlik kontrollerinin uygulanması, gerekli ise uygun otorite tarafından içeriğinin görüntülenmesi işlemlerinin Evrensel Posta Birliği sözleşmesine göre yerine getirir.

Yazışmanın doğasında bulunan gizlilik genellikle devlet mevzuatı ile korunmaktadır. Mevzuat ambalajlarının açılmasını yasaklamakta veya bazı görüntüleme metotlarını kısıtlamaktadır. Ayrıca posta gönderilerinin kargolardan farklı olarak değerlendirilmelidir.

2.2.1.6 Uçak operatörü

Uçak operatörleri malzemelerin havayolu ile taşınmasını sağlayan diğer bir deyişle havayolları ve hava taşıyıcıları olarak da bilinir. Uçak operatörü taşıma kontratı (havayolu konşimentosu) ile kargo ve postaları güvenli ve emniyetli bir şekilde bir havalimanından diğerine taşır.

Hava kargo, yolcu veya kargo uçağı ile ulaştırılabilir. Bazı istisna durumlarda uçak operatörleri özellikle kısa mesafelerde kargoyu karayolu ile ulaştırabilir. Ulaştırma kontratı bir havayolu konşimentosunda oluşur. Ancak taşımanın yol bölümünde belirlenen uçuş numarası ile bir uçuş olarak kabul edilir. Bu tip operasyonlar

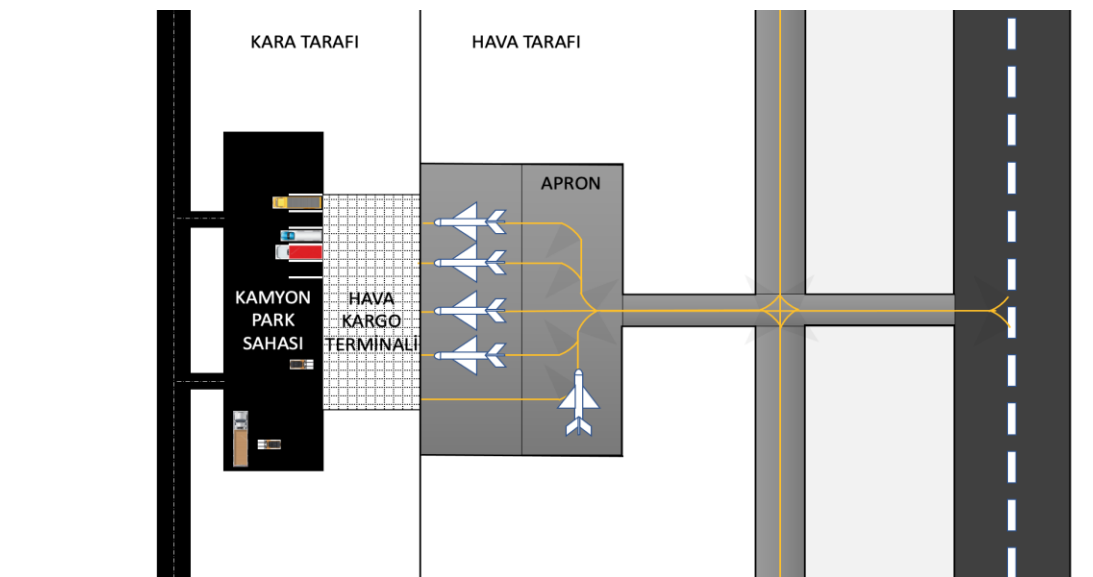
"karayolu ile beslenen hizmetler" olarak bilinir. Bu nedenle bazen acil taşıyıcıları tamamlayıcı olarak adlandırırılar.

2.2.1.7 Acil taşıyıcılar

Acil taşıyıcılar aracı, nakliye şirketi, yük gönderici, yer hizmet sağlayıcı ve uçak operatörleri gibi tek bir şirket çatısı altında veya grup olarak kombine çalışırlar. Böylece acil teslimat hava kargo endüstrisinde spesifik bir iş modeline haline gelmiştir. Acil taşıyıcılar kapıdan kapıya çoklu taşıma tedarik zincirini yöneterek ile birçok şehir ve bölgede hizmet vermektedir. İzleme ve görüntülemeye sofistike teknolojik bilgi sistemleri kullanarak operasyonun teslim alınmasında teslim edilmesine kadar her işlem basamağını takip edilmesini mümkün kılmaktadır. Acil Taşıyıcılar tipik olarak kıymetli eşyaları, organ nakli, zaman hassasiyetine sahip kargoları kesin zamanlı teslimat dayalı olarak ulaşım hizmeti sunmaktadır.

2.3.Hava Kargo Operasyonları

Hava kargo operasyonları yapıldığı havalimanının hizmet verdiği endüstriler, müşteri profili ve işlem hacmi doğrultusunda değişiklikler gösterebilir. Havaalanları kolaylıkları birçok yerde farklılık göstermektedir. Bunun nedeni tamamen ihtiyaçlar doğrultusunda şekillenmesinden kaynaklanmaktadır. Havaalanlarında bulunan geleneksel bir kargo terminali yerleşkesi Şekil 2.8’de sunulmuştur.



Şekil 2.8: Basit Bir Kargo Terminali Yerleşkesi

Kaynak: Araştırmacı

Kargo işlemleri bir havaalanında üç ana alanda gerçekleşir. Havalimanlarında terminal ve kargo kolaylıklarının bir tarafı kara tarafı diğer tarafı ise hava tarafı olarak tanımlanır. Kara tarafında, depoların yükleme dokunda ve park sahalarında kamyon operasyonları yürütülür. Depo veya kargo binalarında ise elleçleme ve depolama işlemleri gerçekleştirilerek birleştiren malzemeler taşıyıcılara sevk edilir. Kargo operasyonlarının icra edildiği son bölüm hava tarafında uçağın park pozisyonunda bulunduğu rampa veya apron alanında yapılır.

2.3.1. Havaalanları

Yolcu uçaklarına hizmet veren tüm havaalanları hem kargo hem de yolcu hizmeti vermektedir. Sadece bazı havalimanları daha kargo uçaklarına hizmet vererek lojistik anlamda üs konumundadır. Kargo operasyonları için havaalanları merkez veya besleyici havaalanı olarak kategori edilebilir. Özellikle topla ve dağıt sistemi kullanılan uluslararası operasyonlarda tarifeli uçuşlarda kullanılan baskın model yolcu ve kargonun birlikte taşınmasıdır.

Büyük uçaklar uzun mesafeli uluslararası rotaları kullanmakta iken, küçük uçaklar iç hatlarda kalkış ve varış noktaları arasında uçuşlar gerçekleştirmektedir. Bu sistem merkez havaalanlarından birçok uluslararası değişik varış ve kalkış havaalanlarına daha sık hizmet verilmesini sağlamaktadır.

Merkez havaalanları genellikle yoğun nüfus olan, gelen ve giden önemli miktarda baz yüke sahip şehir merkezlerine yakın bir yer konumlanmıştır. Böylece sadece yerli ve uluslararası havayolu arasında değil, aynı zamanda bir havayolunun yurtiçi ve yurtdışı hizmetleri arasında bağlantıları için bir aktarma noktası sağlar.

Aynı zamanda büyük merkez havaalanları bölgesel geçitler olarak çalışır. Örneğin; Hong Kong, Avrupa ve Kuzey Amerika taşıyıcıların diğer Asya rotalarında olduğu gibi Çin'e havadan ve karadan giriş kapısıdır. Dubai, Avrupalı ve Asyalı hizmetlerin bulunduğu bir nokta olması yanı sıra Orta Doğu ve Afrika için bölgesel bir dağıtım merkezi konumundadır.

Geçtiğimiz yıllarda, kargo hacminin çok yüksek olduğu havaalanları sayısı gittikçe artmaktadır. Kargo havaalanı için yatırım yapılması için belli ölçekte kargo

aktivite olması gerekmektedir. Genellikle kargo havaalanları ise Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Avrupa'da konumlandığı gözlenmektedir.

Hava kargo operasyonlarını arttırmak için kullanılan diğer bir etken ise "Teknik Durak" olarak inşa edilen havaalanlarıdır. Başlangıçta uçaklar teknik durak olan havaalanlarına yakıt ikmali, mürettebat değişikliği ve muhtemel ikram hizmetleri için inerler, kargo transfer etmek için değil. Havayolları pozisyonlarına göre uçtukları en yoğun rotalarda kendilerine bir teknik durak merkez alırlar. Havaalanları bu iş için havayollarına yakıt ikmali, ikramlık malzemeler, mürettebat konaklaması veya uçak bakım kolaylıkları konularında çekici çeşitli teklifler sunarlar.

Hava kargo operasyonları için bir havaalanının cazibesini etkileyen diğer faktörler, uluslararası uçuşlar için yeterliliğe sahip olmak, havalimanı işletmecileri ve ulusal sivil havacılık otoriteleri tarafından alınan ücretler, yük elleçleme hizmetleri maliyetleri, üçüncü taraf hizmetleri sözleşme kapsamı ve havaalanı kaynaklarıdır.

2.3.2. Kara Tarafı Yükleme/Boşaltma Operasyonları

Yük taşıyıcılar genellikle havaalanı dışında konumlanmaktadır. Bu durum firmaları bilgi toplama konusunda son derece zorlar. Direkt uçağa ulaşmak bir avantaj yaratıyorsa yük taşıyıcılar havaalanında konumlanır. Havaalanı dışında depo kiralari daha düşük olmasından dolayı, yük taşıyıcılar genellikle havaalanı çevresinde bu tarz yerler tercih etmektedir.

Havaalanının kara tarafından gerçekleşen kamyon trafiği için havaalanının girişinden itibaren kamyon yolları ve hava kargo alanında bulunan kamyon park yerleri bulunmaktadır. Bu park alanları kargo binaları bitişik ve ayrı olarak tasarlanmış olabilir. Bu karar havaalanı planlayıcıları tarafından toplanan bilgiler ışığında kamyon trafiği göz önünde bulundurularak karar verilir. Bu konuda yapılan araştırmalarda sorulması gereken sorular; varış zamanı, ayrılış zamanı, bekleme süresi, kamyon tipi ve büyüklüğü, taşınan malzemeler ve kaynağı/varış yerleridir. Diğer bilgiler havaalanının kargo bölgesinden gelen haftalık, aylık raporlarla toparlanabilir.

Kamyonlar ile havaalanlarına çoğunlukla taşınan malzemeler kargo paketleri, yükleme cihazlı (ULD) kargolar, paletli kargolar, dökme kargolardır. Kargo paketleri

genellikle yük taşıyıcısı tarafından kargo kolaylıklarına teslim edilir. Burada elleçlenen kargolar gideceği yerlere göre ayrılır ve birleştirilir.

ULD yükleme cihazları malzemeleri emniyetli ve güvenli bir şekilde bir arada tutan bir konteynırdır. Bu konteynırlar uçakta tipine göre ve yüklenecekleri kargo bölmesi göre ebatlarında değişiklik gösterirler. Ayrıca kullanım amacına göre soğutuculu, donduruculu veya su sızdırmaz özelliklerine sahip ULD yükleme cihazları kullanılmaktadır. ULD yükleme cihazları kamyon operasyonları açısından da büyük kolaylık sağlar.

Bazı havaalanlarında ULD ile hava kargo taşıyan kamyonlar güvenlik kapısından apronda bulunan uçaklara direk malzeme alışverişi yapabilirler. Şekil 2.9'da Austin Bergstrom Uluslararası Havaalanı kargo deposunun kara tarafı resmi sunulmuştur. Kamyon, deponun rampasına yanaşarak taşıdığı malzemeleri uçağa verilmeye hazır olduğu için direk aprona sevk edilebilir. Bu durum genellikle büyük kargolarda, yükleme cihazı (ULD) ile yüklenen kargolarda, dökme veya gevşek kargoların yükleme/boşaltma işleminde uygulanır. Elleçleme süresini kısaltır. Bu operasyonda kamyonun rampada kaldığı süre, kamyonun büyüklüğü ve direk olarak sevk edilen malzemenin ağırlığı önem taşımaktadır.



Şekil 2.9: Austin Bergstrom Uluslararası Havaalanı

Kaynak: (Heaslet, 2015)

Kargo kolaylıklarının kara tarafından kamyon operasyonlar için yeterli alana bulundurulmalıdır. Eski kargo kolaylıkları tasarlanırken 40 feet uzunluğundaki

kamyonlara göre tasarlanmıştır. Ancak günümüzde büyük kamyonlar 75 feet uzunluğuna sahiptirler.

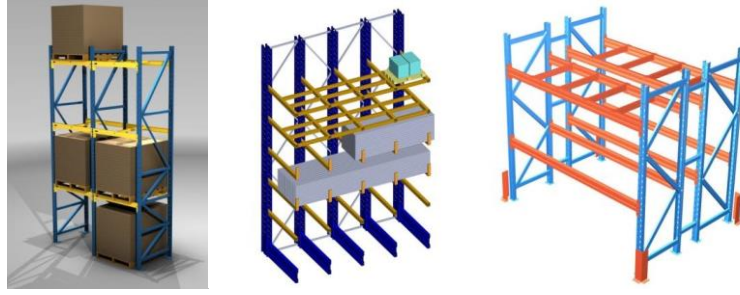
Kara tarafı ile ilgili diğer kritik bir konuda çalışanların ve müşterilerin otomobillerini park edeceği alan ihtiyacıdır. Bu park alanı ile kamyon operasyonlarının yapılacağı alan birbirinden fiziksel olarak ayrılmalıdır. Yükleme bölmeleri malzemelerin araçlara yükleme boşaltma işleminin yapılacağı yerlerdir. Dolayısı ile şirket, hususi araçlarından, bakım alanlarından ve yaya trafiğinden yükleme yerlerini fiziksel olarak ayırmak emniyetli ve güvenli olacaktır.

Havaalanı içindeki kamyon trafiği düzenlenerek ayrı giriş kapılarından kargo kolaylıklarına ulaşması, yolcu trafiği ile çakışması önler. Kamyon trafiğinin otoyollardan veya ana arter olan karayolların diğer bağlantı yapılması arzu edilen bir yöntemdir.

Bazı durumlarda bir havaalanına gelen bir kargo bir diğer havaalanına karayolu ile götürülebilir. Bu işleme çapraz yükleme denir. Bu durumun gerekçesi bir havayolu geniş bir pazar payına sahip olduğu havaalanına kargosunu iletir. Ancak varış noktasında bulunan havaalanında yükleme hizmeti alamıyor ve varış meydanındaki malzeme kapasitesi yeteri kadar fazla değilse bu yöntemi tercih eder. Bu kargo genellikle havaalanına bir havayolu tarafından uçakla getirildiği şeklinde rapor edilmez.

2.3.3. Depolama ve Elleçleme Operasyonları

Hava kargo genellikle kargo terminaline kara tarafından bütünleştirilmiş halde yükleme cihazları (ULD, palet vb.) ile ve kargo bölümünde bütünleştirilecek şekilde paketler halinde gelir. Paketler elleçleme işlemi ile bir palet veya ULD vasıtasıyla birleştirilerek uçağa verilmek üzere hazır hale getirilir. Ek olarak bazı gönderiler tahta paletler ile kargo binasına gelir. Tahta paletler forklift marifetiyle uçağa yüklenecekleri palet ve ULD'lere transfer edilir. Genellikle kullanılan depolama metotları Şekil 2.10'da geleneksel tek gözlü raflar, çift gözlü raflar (tek bir bölmeye iki palet koyulabilen), forklift sürüşüne uygun raflar, konsol raflar, istifleme çerçeveli palet ve yerçekimi ile kayan raflar kullanılmaktadır.



Şekil 2.10: Tek Gözlü Raf, Çift Gözlü Raf ve Konsol Raf
Kaynak: (Heaslet, 2015)

Benzer olarak genellikle kargo binalarında forkliftler, dar koridor taşıyıcıları, transfer cihazları, otomatik depolama ve çekme sistemlerini içinde barındırır.

Kargo terminalleri işlem hacimlerine ve yoğunlukla yürüttükleri operasyonlara göre gerekli teçhizatlar ile donatılır. Kargo terminalinin donanımına göre gelen kargo birkaç yöntem ile elleçlenir. Ancak genel olarak dört ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlar; manuel yük tesisleri, manuel yük tesisleri, orta mekanize sınıflandırma ve yük tesisleri, otomatik terminaller, bölgesel toplanma sınıflandırma ve yük tesisleridir. Şekil 2.11’de Manuel yükleme ve orta mekanize yükleme ve ayırma tesislerinin resimleri sırasıyla sunulmuştur.



Şekil 2.11: Manuel Yükleme ve Mekanize Sınıflandırma Tesisleri
Kaynak: (Heaslet, 2015)

Şekil 2.12’de ise otomatik terminal ve bölgesel toplanma ve sınıflandırma yük tesislerine ait görseller sunulmuştur.



Şekil 2.12: Otomatik Terminal ve Bölgesel Toplanma Yük Tesisleri
Kaynak: (Heaslet, 2015)

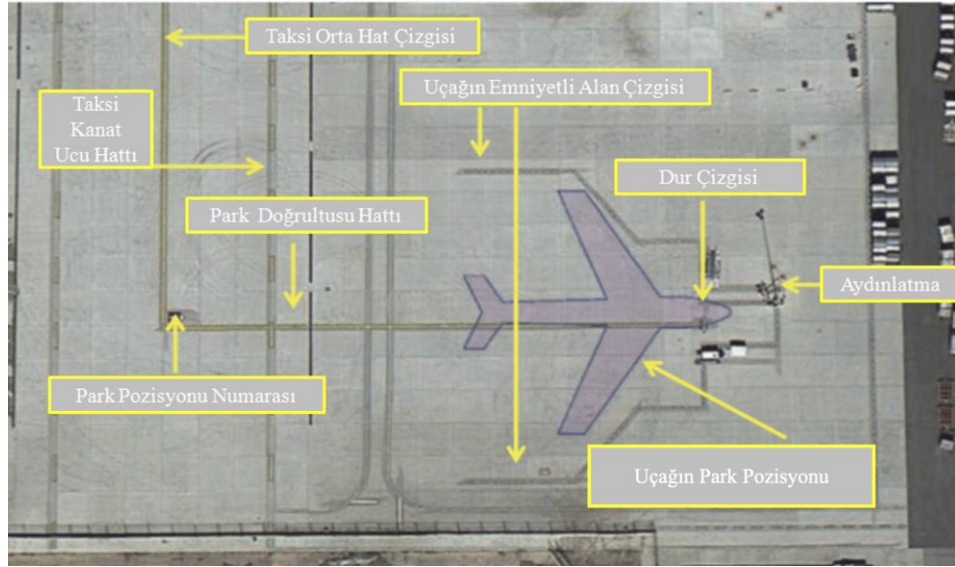
Teknolojik çözümler, genellikle kargo hacminin yüksek olduğu havaalanlarında işlemlerin sorunsuz devam etmesi için başvurulan bir çözüm yoludur.

2.3.4. Uçak Yükleme/Boşaltma Operasyonları

Kargonun uçağa yükleme/boşaltma operasyonlarının gerçekleştirildiği alan kargo terminalinin hava tarafı olarak adlandırılan apron bölgesidir. Bu bölgede Uluslararası Hava Taşımacılığı Derneği ve Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu gibi otoriteler tarafından koyulan kurallara uyulmaktadır.

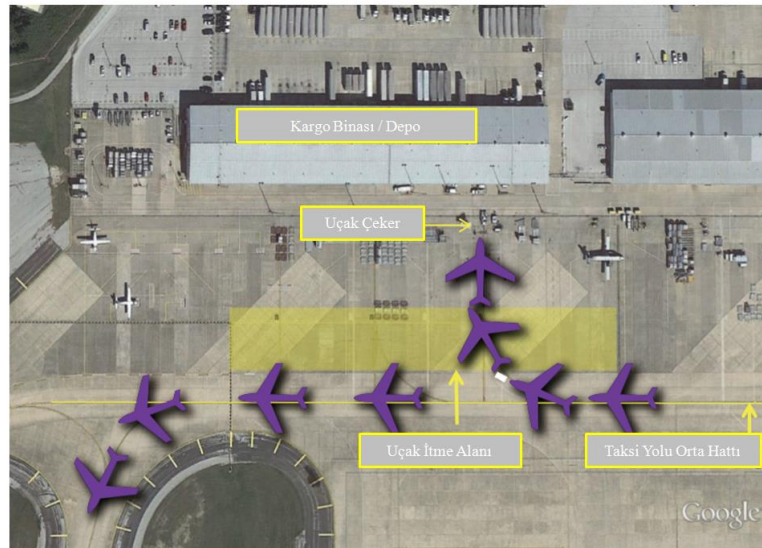
Kargo terminalinin hava tarafında yürütülen operasyonlar kara tarafına göre emniyet ve güvenlik hususunda çok daha fazla hassasiyet taşımaktadır. Uluslararası ve ulusal otoritelerin koyduğu kurallar bu alanda işletilir ve birkaç farklı organ tarafından da sürekli kontrol edilir. Çünkü bu bölgede yapılacak hataların sonucunda ölümcül tehlikeler meydana gelebilir.

Apronda kargo uçaklarının park etmeleri için park pozisyonları önceden belirlenmiştir. Şekil 2.13'te kargo apronunda bulunan işaretler sunulmuştur. Uçağın yükleme boşaltma işlemine başlanmadan önce bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Uçak park pozisyonuna taksi yaparak gelir ve ona tahsis edilen rampa veya park yerine yanaşır. Apronda uçağa ve yer hizmetlilerine referans olacak bazı işaretlemeler vardır. Bunlar; uçağın burun tekerleğinin durması gereken dur çizgisi, uçağın tehlikeli sahalarından uzak olan emniyetli alan çizgisi, uçağın park halinde duracağı haldeki silueti, taksi çizgisi, taksi hattında kanat ucu çizgisi, Rampa veya park pozisyonu doğrultu çizgisi, rampa veya park pozisyonu numarasıdır.



Şekil 2.13: Kargo Apronunda Bulunan İşaretler
Kaynak: Araştırmacı

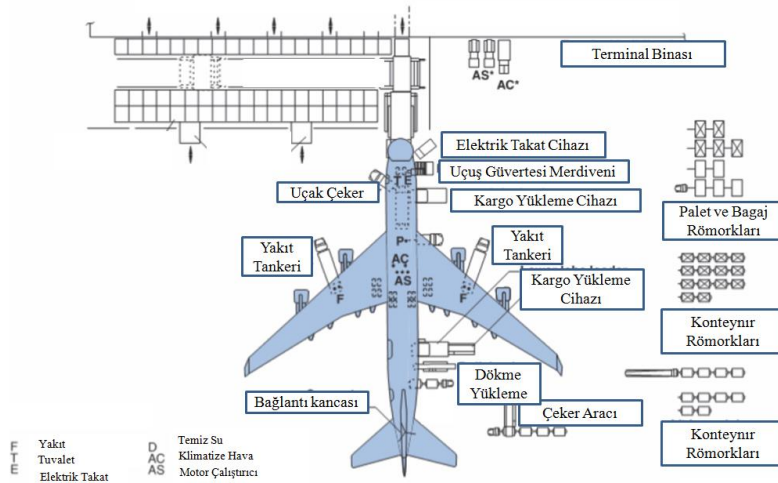
Bir kargo uçağı, kargo terminaline burnu binayı gösterecek şekilde dik veya çapraz yaklaşırsa, yer hizmetlerinin tamamlanmasına müteakip tekrar taksi yoluna dönmesi için uçak çeker (pushback aracı) tarafından itme işlemi yapılması gerekir. Şekil 2.14’de uçak itme alanı ve işlemi gösterilmektedir. Uçaklar taksi yoluna çıktıkları andan itibaren uçuş kulesinin kontrolünde, rampa park pozisyonunda oldukları hareketsiz bölgede rampa kulesinin kontrolündedirler.



Şekil 2.14: Uçak Park Alanı ve İşlemi
Kaynak: Araştırmacı

Havaalanı tasarlanırken eğer geniş bir alan varsa uçağın park pozisyonunda taksi yoluna itme işlemi yapıldığı alan boş bırakarak uçak itme alanı olarak adlandırılır. Böyle uçak itme işlemi esnasında taksi trafiği etkilenmez. Uçak itme alanının sayesinde uçakların motor çalıştırma işlemi esnasında jet motorlarının etkisinden diğer personelin ve araçların etkilenmemesi adına emniyetli bir saha oluşur.

Uçaklar park pozisyonunu aldıktan sonra yükleme ve boşaltma işlemleri başlar. Uçak emniyete alındıktan sonra yer destek cihazları görevlerini yerine getirmek üzere uçak başında yerlerini alırlar. Şekil 2.15'te uçak park pozisyonunda iken yer destek cihazlarının çeşitleri ve uçak etrafında çalışma alanları gösterilmiştir. Uçak park pozisyonunu aldıktan sonra uçağı emniyete almak amaçlı iniş takımlarında bulunan lastiklere takozlar konularak uçağın istemsiz hareketi engellenir.



Şekil 2.15: Uçak Yükleme/Boşaltma Esnasında Yer Destek Cihazları

Kaynak: Araştırmacı

Uçağın motorları susturulduktan sonra elektrik ve klimatize hava ihtiyacı varsa elektrik takat cihazı ve klimatize hava aracı ile sağlanır. Uçuş güvertesi merdiveni ile uçuş ekibi ve bakım ekibi için uçağı erişim sağlanır. Kargoların yükleme/boşaltma işlemi için özel asansörlü sistemler kullanılır.

Bu cihazlar genellikle paletli malzemeler ve ULD konteynırlar için kullanılır. Uçağı yakıt ikmal işlemi için uçak akaryakıt tankeri sayesinde yapılır. Bazı meydanlarda hidrant (yer altı boru hattı) sistemi ile yakıt ikmali işlemleri

gerçekleştirilebilir. Yükleme için kayar bantlı sistemlerde kullanılmakta olup motorize bir araçtır. Tuvaletlerde biriken pis suyu tahliye eden ve uçağın ihtiyacı olan temiz suyu pompalayan bir araçta uçak başında yerini alır. Uçağın tekrar motor çalıştıracağı zaman motor çalıştırıcısına ve soğuk havalarda buzlanmaya mâni sıvı ile yıkanma ihtiyacı olabilir. Uçak tüm işlemleri tamamlandıktan sonra tekrar taksi yoluna dönmek için itme işlemi uçak çeker aracı ile sağlanır.

2.4. Niteliklerine Göre Kargo Türleri

Havayolu ile taşınan kargoları genel ve özel kargolar olmak üzere iki ana başlık altında toplayabiliriz. Genel kargolar içeriği ile herhangi bir tedbiri gerektirmeyen eşyalar olarak tanımlayabiliriz. Genel kargolara örnek olarak kıyafet, ayakkabı, plastik, kâğıt vb. eşyaları verebiliriz. Özel kargolar niteliğinden ötürü ek tedbir gerektiren farklı ambalaj ve etiketlemelerin yapılması gereken kargolardır.

Niteliklerine göre havayolları ile en çok taşınan kargo türleri; tehlikeli maddeler, canlı hayvan, bozulabilir maddeler ve ilaçlar olarak dört ana başlık altında inceleyebiliriz.

2.4.1. Tehlikeli Maddeler

Tehlikeli maddeler düzenlemelere uygun bir şekilde hazırlanmamış halde taşınıyorsa uçağın, yolcuların, mürettebatın ve yerde bulunan insanların güvenliğini tehlikeye sokabilir veya çevreye, mülklere hasar vermesine sebebiyet verir.

Sınıflandırılması, ambalajlanması, işaretlenmesi, etiketlenmesi, belgelendirme, kullanım ve eğitim, yanı sıra tanıtım ve kullanım standartlarının tanımı, çok yüksek bir emniyet derecesi elde ederek tehlikeli maddelerin havayolu ile taşınması sağlanır. Tehlikeli maddelerin havayolu ile taşınması için gerekli düzenlemeler Uluslararası Hava Taşımacıları Derneği tarafından Devletler, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü ve üye havayolları firmaları ile yakından çalışarak yüksek emniyet anlayışı, kolaylıkları hızlı sağlamak ve verimli ulaşım prensipleri ile yapılmıştır.

Böylece, tehlikeli maddelerin havayolu ile ulaşımı düzenlemeleri sayesinde etkili, verimli ve küresel anlamda ortak bir standarda anlayışı yaratmıştır. Bu düzenlemeler Uluslararası Hava Taşımacıları Derneği tarafından tehlikeli maddelerin hazırlanması, kargolanması ve ulaştırılması konularında dünya havayollarının standart olarak

uyguladığı "Tehlikeli Madde Düzenlemeleri" yayımlanarak küresel bir referans olmuştur.

Uluslararası Hava Taşımacılığı Derneği, Tehlikeli Madde Düzenlemeleri ile etkili bir eğitim programı ve akredite eğitim okullar ağı sayesinde tehlikeli maddelerin kargolanması ve ulaşımı uygun araç ve kaynaklara sahip uzman kişilerce yapıldığından emin olur. Tehlikeli maddeler, Uluslararası Hava Taşımacıları Derneği (IATA) tarafından dokuz ayrı sınıfta sınıflandırılmıştır. Her sınıf için uyarı ve elleçleme işaretleri Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16: Tehlikeli Maddeler Uyarı ve Elleçleme İşaretleri
Kaynak: (IATA,2015)

Bu sayede herhangi bir malzemenin, tehlikeli madde olup/olmadığı, tehlikeli madde ise hangi sınıfa girdiği, yolcu uçağında veya kargo uçağında taşınıp/taşınamayacağı, diğer tehlikeli maddeler veya diğer malzemeler ile taşınıp/taşınamayacağı hususunda standartlar belirlenmiş ve küresel olarak kabul gören işaretler ile belirtilmesi sağlanmıştır.

Tehlikeli maddelerin havayolu ile taşınması için bazı gereklilikler olduğunu belirtilmiştir. Ancak unutulmamalıdır ki tehlikeli maddelerden sadece uygun nitelikte olanları havayolu ile taşınır.

2.4.2. Canlı Hayvan

Uluslararası Hava Taşımacılığı Derneği, "Canlı Hayvan Düzenlemeleri" ile küresel standartları ve canlı hayvanların havayolu ile emniyetli bir şekilde ulaşmaları için ihtiyaç duyulan bilgileri ortaya koymuştur. Bu standartlar, gönderici, yük taşıyıcısı, havayolları veya profesyonel hayvan bakımı ile ilgilenen herkesin canlı hayvan ulaşımında havayolu düzenlemeleri ve hayvanların refah standardı için mutlaka uyması gereken kurallardır.

Canlı Hayvan Düzenlemeleri size canlı hayvan kargo operasyonları için en güncel ve etkili uygulamaları ve maliyet tasarrufu sağlamak, uluslararası ya da yerel yönetmeliklere uyumlu bir şekilde gecikmeleri önleyerek sorunsuz bir sevkiyatı garanti eden tamamlayıcı bir araçtır. Canlı havyan kargosu ve etiketi Şekil 2.17’de sunulmuştur.



Şekil 2.17: Canlı Havyan Kargosu ve Etiketi
Kaynak: (IATA,2015)

Uluslararası Hava Taşımacılığı Derneği tarafından havayolları ve hükümetlerin gereksinimleri takip ederek canlı hayvan kargolarının uygun şekilde taşınması için güncellemeler yapmaktadır. Canlı havyan kargoların elleçlenmesi, işaretlenmesi ve etiketlenmesi için gereksinimleri belirlemektedir. Canlı hayvanların taşınmasında ihtiyaç duyulan bilgileri belge haline getirir. Bu dokümanlarda çok kapsamlı bir şekilde binlerce hayvan türüne ait ulaşımı için ihtiyaç duyulan konteynir

özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca havayolu ile taşınamayacak canlı hayvan ve bitkileri belirler.

2.4.3. İlaç

İlaç sektörü her yıl bir trilyon doların hareket ettiği kritik bir endüstridir. Son derece hassas bu ürünlerin ulaşımı esnasında ısı değişikliği çok ciddi bir tehdit haline gelmektedir.

Havayoluyla sağlık ürünlerinin taşınması gönderi içeriğinin korunması için karmaşık lojistik yöntemlerin kullanılmasını gerektirir. Özel ekipmanlar, depolama kolaylıkları, uyumlaştırılmış elleçleme prosedürleri ve bunların ötesinde soğuk zincir partnerleri arasında güçlü bir iş birliği gereksinimi duyulur.

Uluslararası Hava Taşımacıları Derneği, "Sıcaklık Kontrol Düzenlemesi" ile endüstrinin ihtiyacı olan sıcaklık yönetimi konuları tanımlanmıştır. Bu el kitabı zaman ve sıcaklık hassasiyetli etiketlerin kullanımı zorunlu kılan uygulamaları içeren sağlık bakım ve ilaç ürünlerinin ulaşımı ve elleçlenmesi için gereklilikleri ve standartlarını ortaya koymaktadır.

1 Haziran 2012 tarihinden itibaren zorunlu olan Şekil 2.18’de görseli sunulan zaman ve sıcaklık hassasiyet etiketleri özellikle sağlık bakım endüstrisi gönderileri için kullanılmaktadır. Zaman ve sıcaklığa duyarlı kargo olarak rezerve edilmiş tüm gönderilere yapıştırılmış ve gönderinin dış ulaşım sıcaklık aralığı belirlenmiş olması gerekir.



Şekil 2.18: Sıcaklık ve Zaman Hassasiyeti Etiketi

Kaynak: (IATA,2015)

Sağlık bakım gönderisi olarak rezervasyonlu kargoların zaman ve sıcaklığa duyarlı etiketlerinin kurallara uygun olarak yapıştırılmasını sağlamak nakliyecisi (veya hizmet sözleşmesi ile belirlenen gönderen acentenin) sorumluluğundadır.

Uluslararası Hava Taşımacıları Derneği tarafından ortaya koyulan standart kabul kontrol listesi sayesinde havayolları ve yer hizmetleri acenteleri bilgilendirilir. Böylece kontrol işlemlerinde sıcaklık hassasiyetli sağlık bakım ürünlerinin kontrol işlemleri minimum sürede ve "Sıcaklık Kontrol Düzenlemelerine" uygun şekilde yapılır. Küresel ilaç ürünlerinin hava kargo payı 2000 yılında %17 iken, 2013 yılında %11 seviyelerine gerilemiştir. Pazar payındaki bu azalmanın sebebi hava taşıma tedarik zincirine karşı uyum, standardizasyon, sorumluluk ve şeffaflık eksikliğinden kaynaklanmaktaydı. Uluslararası Hava Taşımacıları Derneği tarafından İlaç Lojistiği kuruluşu altında Bağımsız Değerlendirici Mükemmeliyet Merkezi (CEIV) kurulmuştur. Şekil 2.19’da logosu gösterilen kuruluşların amacı ilaç endüstrisine yardımcı olarak ürünlerin taşınması ve elleçlenmesini iyileştirmek için göndericilerin ve üreticilerin ihtiyaçlarını karşılamaktır.



Şekil 2.19: İlaç Lojistiği Kuruluşu Amblemi
Kaynak: (IATA,2015)

2.4.4. Bozulabilir Maddeler

Bozulabilir maddeler (meyve, çiçek ve sebze gibi) havayolu ile taşınan ilk ürünlerdendir. Bu tür maddeler zamanla veya olumsuz sıcaklık ve nem koşullarına maruz kalmasından dolayı bozulur.

Yıllar boyunca edinilen operasyon tecrübesi sonucunda dondurulmuş ve soğutulmuş ürünler için havayolları çeşitli etkili elleçleme teknikleri geliştirmiştir. Göndericinin maliyet etkinliği optimum seviyede tutacak ambalaj yöntemleriyle yapabileceği şekilde düzenlenmiştir.

Uluslararası Hava Taşımacıları Derneği, bu konu ile ilgili küresel standartları belirlemek adına "Bozulabilir Kargo Düzenlemeleri" dokümanını ortaya koymuştur. Bu el kitabı sıcaklık hassasiyetli tüm çeşit ürünlerin paketlenmesi ve elleçlenmesi hususlarını içermektedir. Önemli havayolu şirketlerinden ve araştırma kurumları tarafından sağlanan bilimsel verilerin uzmanlığında IATA Canlı Hayvanlar ve Bozulabilir Maddeler Kurulu (LAPB) tarafından onaylanan bu kılavuzu zorunluluk üzerine geliştirildi. Kargo üzerinde kullanılması gereken etiket Şekil 2.20'de sunulmuştur.



Şekil 2.20: Bozulabilir Madde Etiketleri

Kaynak: (IATA,2015)

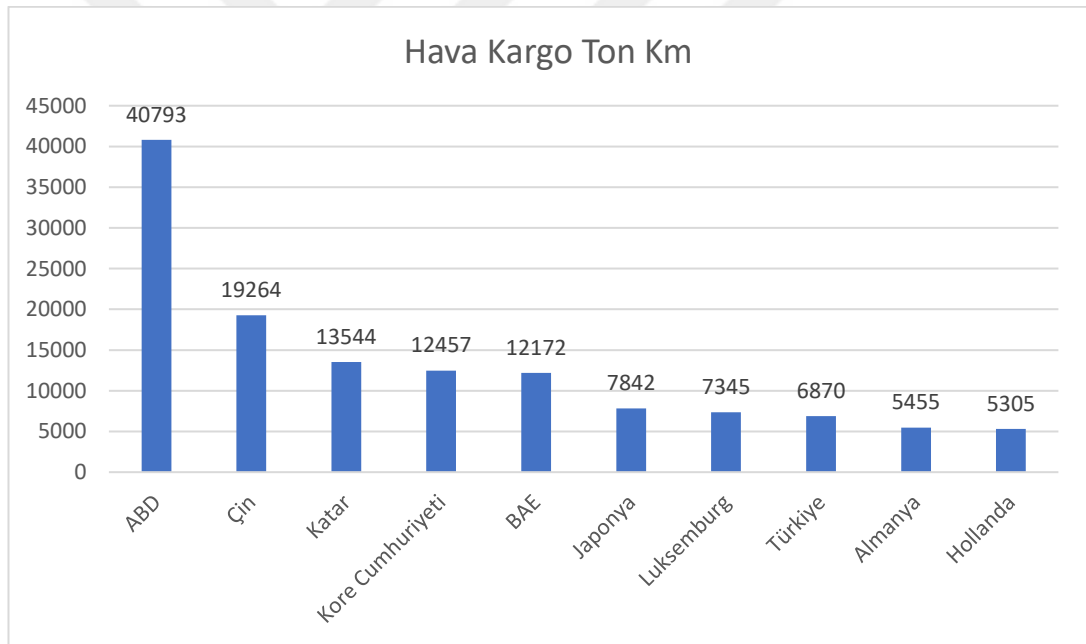
"Bozulabilir Kargo Düzenlemeleri" sağlık bakım ürünlerinde ve yiyecek malzemelerine kadar sıcaklık kontrolü ve soğuk zincir yönetiminde liderdir. Sağlık ürünleri ve tehlikeli olmayana biyolojik materyaller dahil hepsi için nasıl uygun bir şekilde hazırlanacağı, paketlenmesi ve elleçleme zamanlarını belirtir. Sıcaklık hassasiyetli malzemelerin hızlı ve etkili ulaşımı için kullanılır.

El kitabının içeriğinde yüzlerce bozulabilir madde ile ilgili sınıflandırma yapılmış ve ihtiyaç duyulan bilgileri içerir. Gerekli olan paketleme ve işaretleme/etiket ihtiyaçlarını belirtir. Özellikle ticari göndericiler, taze meyve ve

çiçek göndericileri, ilaç şirketleri "Bozulabilir Kargo Düzenlemeleri" el kitabına uygun hareket etmek zorundadırlar.

2.5. Türkiye'nin Küresel Hava Kargo Sektöründe Yeri

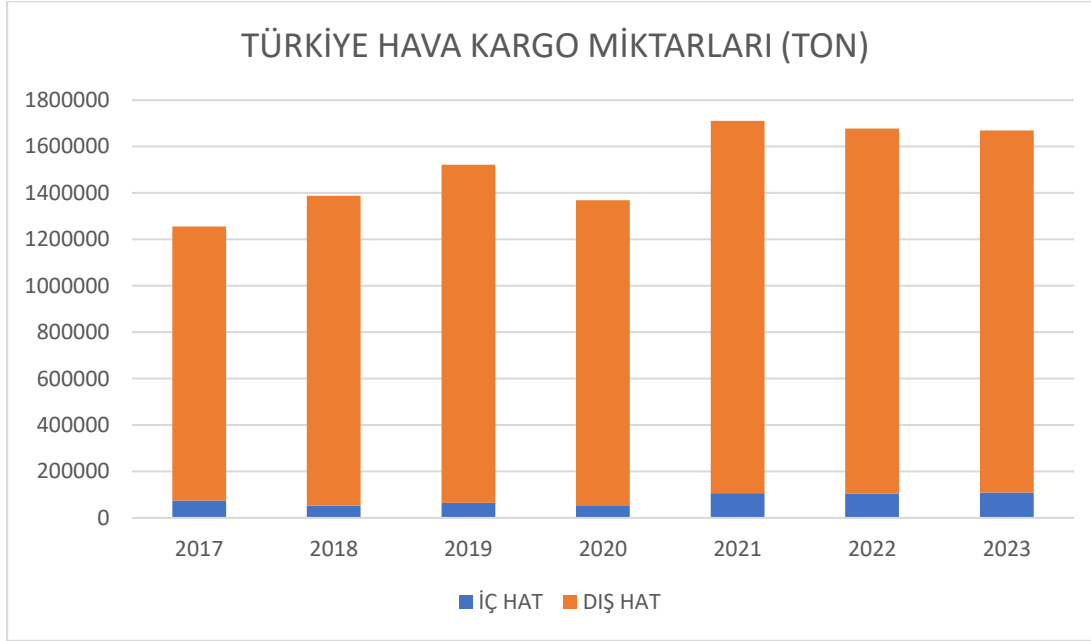
Hava kargo veya hava yük taşımacılığında dünya genelinde Kargo Ton Kilometre değeri baz alındığında Türkiye ilk on ülke arasına girmektedir. 2020 yılında dünyada en çok KTK üretilen ilk on ülke Şekil 2.21'de sunulmuştur. Hava kargonun diğer taşıma yöntemlerine göre pahalı olması bir dezavantaj yaratırken, hızlı olması en büyük avantajı haline gelmektedir. Dünya sıralamasında bir numarada yer alan ABD'e 2020 yılında 40.793 milyon KTK gerçekleşmiştir. Türkiye ise büyük bir sanayi ülkesi olan Almanya ve modern tarımın en iyi öncülerinden biri olan Hollanda'dan daha fazla KTK üreterek, Dünyada 8'inci olarak 2020 yılında 6870 milyon KTK gerçekleşmiştir.



Şekil 2.21: 2020 yılında Dünyada Hava Yük Taşımacılığında İlk 10 Ülke
Kaynak: (ICAO,2020)

Türkiye, yolcu, yük ve posta toplamının ton kilometresi bazında elde ettiği gelir ile dünyada 8'inci sırada yer almıştır. Yük taşımacılığındaki veriler, elde edilen gelir veri ile uyumlu gerçekleşmiştir. Türkiye'de taşınan yük miktarları incelendiğinde iç hatlarda taşınan miktarın yaklaşık üç katı kadar yük dış hatlarda taşınmaktadır. Özellikle pandemi döneminden önce düzenli artışını sürdüren hava yük taşımacılığı, 2021 yılında bir önceki seneye kıyas ile %25'lik bir artış gerçekleştirirse de 2019 yılında

elde ettiği rakamlara ulaşamamıştır. Ancak 2019 yılında Türkiye dünyada yük taşımacılığında 10’uncu sırada yer almıştı. 2020 yılında pandemi etkisi ile bu rakamlar düşüş gösterse de dünya sıralamasında 2 sıra yükselmiştir. Türkiye’de 2017 ile 2020 yılları arasında taşınan yük miktarları iç ve dış hat olarak Tablo 2.22’de sunulmuştur.



Şekil 2.22: 2017-2020 Yılları Türkiye Hava Kargo Yük Miktarları
Kaynak: (DHMİ, 2024)

Hava yük taşımacılığı sektör verileri gösteriyor ki; Türkiye pandemi öncesi yük miktarlarına ulaşarak, pandemi önce gerçekleştirdiği düzenli artışları yıllara sâri olarak gerçekleştirmeye devam etmesi için gerekli altı yapı ve imkanlara sahiptir. Tablo 2.8’de görülen hava yük trafiğinin büyük kısmının yurt dışı taşımacılık ile gerçekleştiği ve yurt içi taşımacılık verilerinin, dış hat yük miktarları ile aynı oranda artış göstermemektedir. Örnek olarak 2017 ile 2018 yılında gerçekleşen değışimi göz önüne alırsak iç hatlarda taşınan kargo miktarı % 0,13’lük bir artış gösterirken, dış hatta gerçekleşen değışim %14 olmuştur. Yıllık taşınan kargo artışı ise %10 olarak gerçekleşmiştir. Bu %10’luk artış pandemi yılına kadar yaklaşık olarak düzenli artış sürmüştür. İç hatlarda kargo miktarının arttırılması, hava kargonun maliyetlerinin, karayolu taşımacılığı ile rekabet etmesi ile mümkün olabilecektir. Hava kargonun sürat avantajı ile maliyetlerinin karayolu ile rekabet edebileceği bir ortamda iç hat taşınan yük miktarının büyük bir artış oranı yakalayacağı değerlendirilmektedir.

2.6. Türkiye'nin Hava Kargo Sektöründe Gelecek Hedefleri

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) 2021 yılı havacılık sektör raporunda belirtilen gelecek hedefleri incelendiğinde kısa, orta ve uzun vadeli hedefler belirlenmiştir.

Kısa vadeli hedef olarak, havalimanı şehri (airport city) kavram göz önünde bulundurularak, bu konseptte en yakın havalimanlarının gerekli düzenlemeler yapılarak dönüştürülmesi ele alınmıştır. Bu dönüşüm sayesinde ortaya kargo köyü ve e-ihracat üssü kavramlarının oluşumunun gerçekleşmesi ön görülmüştür. Topla-dağıt sisteminin uygulanabileceği bu yöntem ile yüksek kargo hacmine sahip havalimanlarından, daha az kargo hacmine sahip havaalanlarına uçuş hatlarının oluşturulması ile ekonomiklik, sürat ve ulaşılabilirlik arttırılacaktır.

Orta vadeli hedef olarak, üniversite-sanayi iş birliği ile yenilikçi ürün, Ar-Ge ve test faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ve çeşitli teşvik programlarıyla desteklenmesi ön görülmüştür. Üniversitelerin sektör ile iç içe çalışmasının, en yeni teknolojilerin ve bilimsel bakış açısının sunduğu akılcı çözümlerin en kısa zamanda problemleri çözmek için kullanılması hava kargo sektör işlemlerinin aksaklıklarını minimuma indirecek ve sistemlerin sağlıklı çalışması sağlanabilecektir.

Uzun vadeli hedef olarak, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın ortaya koyduğu günümüzde ve gelecekte toplumların refahı için kilit kavramlar olan dijitalleşme, karbonsuzlaşma, otonom ulaşım ve evrensel iletişim terimlerini ortaya koymuştur. Bu kilit kavramlar üzerine gelecek planlarının yapılması amaçlandığı belirtilmiştir. (TOBB, 2021)

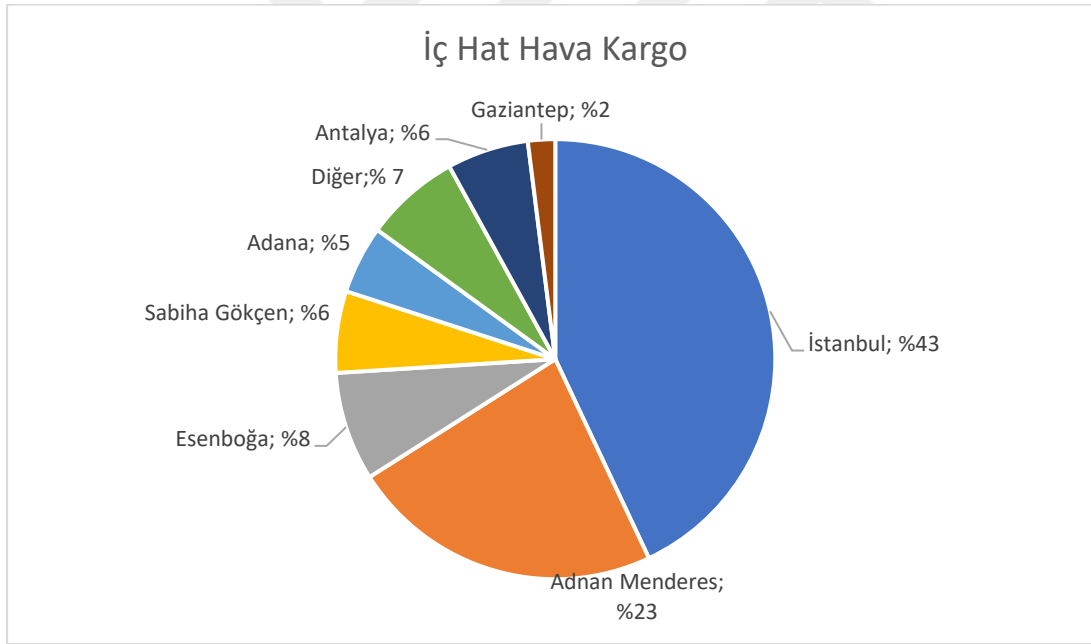
SHGM İstanbul ve Sabiha Gökçen Havaalanlarının uluslararası bakım onarım, kargo ve aktarma merkezi olmasının ve söz konusu iki havalimanı arasında yapılacak demir yolu bağlantısı ile uluslararası demiryolu ağına bağlanması hedeflenmektedir. Bu sayede demir ve karayolu ile beslenen büyük bir kargo merkezi oluşturulması düşünülmüştü. TOBB tarafından ortaya konulan kısa vadeli hedef olan havalimanı şehri düşüncesi bu hedef ile desteklenmiştir. Havalimanı şehri projesini desteklemek amacı ile Türkiye'nin e-ticarete bölgesel bir merkez olması için gerekli tüm ihtiyaçları karşılayacak bir lojistik üs kurulması hedeflenmiştir. (SHGM, 2023)

SHGM'nün İHA için en çok kullanım alanlarının; sınır-hattı ve keşif taarruz, tarımsal kullanım, orman yangınlarının izlenmesi, arama kurtarma, film ve video

yapımı, haberleşme gibi hizmetlerin yanı sıra hava kargo taşımacılığı olduğu belirtilmiştir.

2.7. Türkiye'nin En Yüksek Hacimli Hava Kargo Havalimanları

Devlet Hava Meydanı İşletmesi'nin (DHMİ) verileri incelenerek Türkiye'nin en yüksek hacimli havalimanları incelenmiştir. 2021 ve 2023 yıllılarında gerçekleşen kargo trafiği ton olarak yüzdelik dağılıma bakıldığında en çok kargo hacmi olan havalimanları sırası ile İstanbul, Adnan Menderes, Esenboğa, Sabiha Gökçen ve Adana havaalanları olmuştur. Bu çalışma yapılırken Atatürk Havaalanının hava trafiği ile ilgili alınan kararlar, verilerin yıllar arasında bir uyum olmamasından dolayı dikkate alınmamıştır. Şekil 2.23'te Havaalanlarının 2023 yılında gerçekleşen iç hat hava kargo hacminden aldığı pay olarak değerlendirildiğinde İstanbul ve Sabiha Gökçen havaalanlarının yaklaşık yarısını %49'unun İstanbul'da gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 2.23: 2023 Yılı İç Hat Taşınan Hava Kargolarının Havalimanı Dağılımı
Kaynak: (DHMİ, 2024)

İstanbul Havalimanı dış hat kargoda %92'lik büyük bir pay sahibiyken, iç hatta bu rakamın %43 olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Tabloda diğer kısmında belirtilen ancak yaklaşık %1'lik hacim ile dikkat çeken Diyarbakır ve Batman illeri dikkat çekmektedir.

2.8 İnsansız Kargo Uçağı Operasyonları

İKU hava kargo operasyonları, geleneksel yöntemlere göre farklılık göstereceğı öngörülmektedir. Geleneksel hava kargo operasyonlarının insanlı uçaklarla gerçekleştirildiğı göz önünde bulundurulduğunda en büyük farkın uçak üzerinde bir sorumlu personelin bulunmadığı anlaşılmaktadır. İKU hava kargo operasyonlarında uygulama farklılığı bu sebepten kaynaklanacaktır.

Uzaktan komuta edilen bu insansız hava araçlarının operasyon gereklilikleri çerçevesinde hava kargo işlem basamaklarının uyarlanması gerekmektedir.

İKU için hava kargo operasyonlarının emniyetli ve etkin bir şekilde icra edilmesi için gerekli altyapı ihtiyaçlarının karşılanması gerekmektedir. Bu altyapı ihtiyaçları temel olarak; uçağın çekilmesi/itilmesi, takoz konulması, yükleme/boşaltma için gerekli ekipmanların bulunması, yakıt ve harici elektrik ve ihtiyaç duyulursa buzlanmaya mâni sıvı ile uçağın yıkanması gibi hizmetlerdir. Söz konusu hizmetlerin benzer bir şekilde insanlı uçakların ihtiyacı vardır. İnsansız kargo uçağının alacağı yer hizmetleri için uygun eğitimi almış personel ihtiyacı duyulacaktır. Söz konusu personel gelen kargonun teslim alınması ve tedarik zincirinde izlediğı yolu takip etmesini sağlayacaktır. Ayrıca İKU'nun bir sonraki uçuşa hazırlanmasını sağlaması gerekmektedir.

Havaalanlarının İKU operasyonları için özel ekipmanlara sahip olmayacağından hareketle yapılan çalışmalarda İKU'nun tasarımın gittiğı havaalanında ek ekipmana ihtiyacı olmayacak şekilde tasarlanması hava kargo tedarik zinciri için maksimum verimlilik sağlayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle İKU tasarımında otomatik yükleme ve boşaltma sistemleri bulundurması operasyonları hızlandıracak ve yerde geçirdiğı bir sonraki uçuşa hazır olma zamanını kısaltacaktır.

İKU hava kargo yer operasyonlarının, hava kargo acenteleri ve yer hizmetleri açısından hava ve yer tarafında gerçekleştirilen işlem basamakları arasında ciddi anlamda bir farklılık göstermeyeceğı ön görülmektedir. Ancak yaratacağı büyük farklılığın hava kargo tedarik zincirinin büyük resmi içerisinde bulunacağı yer ile yaratacağı ön görülmektedir. Geleneksel hava kargo tedarik zinciri göndericiden alıcıya ulaşmaya kadar olan bölümde aldığı yeri İKU'ya devretmesi söz konusu olduğu gibi, hava kargoyu besleyen kara, deniz ve demiryolu yerine geçecek ve büyük kargo uçakları için kargo taşımacılığında da kullanılabilir. Hava kargo merkezlerine

gelen yüksek hacimli hava kargoların alıcıya ulaştırılması için kullanılacak karayolu taşımacılığının yerine geçebilir. Şekil 2.24'te geleneksel hava kargo tedarik zinciri gösterilmektedir. Günümüzde havayolu ile taşınan kargoların hava kargo acentelerinin ulaşana kadar en az bir kara yolu vasıtası kullanması gerekmektedir. Birçok kargo şirketi ise kargolarını şekilde gösterildiği gibi bir veya iki aktarım merkezinden geçerek hava kargo terminaline ulaşmaktadır.



Şekil 2.24: Geleneksel Hava Kargo Tedarik Zinciri Gösteri
Kaynak: (Meincke vd., 2022)

Hava kargo taşıyıcıları gönderici ve alıcı arasındaki tedarik zincirinin bir parçası olmuştur. Hiçbir zaman tek başına gönderici ve alıcı arasında bir köprü kurulmamıştır. İKU operasyonlarının başlamasıyla geleneksel hava kargo tedarik zincirinde il etapta yer alabileceği potansiyel yer Şekil 2.25 ile gösterilmiştir. (Meincke, 2022)



Şekil 2.25: İKU Operasyonlarının Hava Kargo Tedarik Zincirine Girişi
Kaynak: (Meincke vd., 2022)

İKU teknolojisi ve operasyonlardaki etkinliği kullanıcılar arasında güven kazanarak tedarik zinciri akışında havayollarının yerini alarak güncellenmesi beklenmektedir. Halihazırda mevcut tasarımlar AT-200 ve Black Swan modelleri göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 350 ile 1500 kg arasında yük taşıdıkları için hava kargo terminali besleyen karayolu taşımacılıklarının yerini alacağı ancak yeni tasarımlar doğrultusunda mevcut kullanılan kargo uçaklarının İKU olarak dönüşümü yapılacağı öngörülmektedir. Böylece Şekil 2.25'te gösterilen Havayolu taşımacılarının yerini günümüz kargo uçaklarından dönüştürülen İKU'lar alacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3.HAVA TRAFİK YÖNETİMİ

3.1. Hava Trafik Yönetimi Fonksiyonları

Hava Trafik Yönetimi (Air Traffic Management, ATM), iç içe geçmiş ve dinamik olan; hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi ve hava trafik akış yönetimi fonksiyonları ile tüm uçakların emniyetli, ekonomik ve etkili bir biçimde hava ve yer operasyonlarının yönetilmesidir.

3.1.1. Hava Trafik Hizmetleri

Hava Trafik Hizmetleri (Air Traffic Service, ATS), birden çok hizmeti bünyesinde barındıran ve çeşitli anlamlara gelen tanıtıcı bir terimdir. Hava Trafik Hizmetleri, uçuş bilgi servisi, uyarı servisi, hava trafik danışmanlık servisi, hava trafik kontrol servisi (saha kontrol servisi, yaklaşma kontrol servisi veya havaalanı kontrol servisi) hizmetlerinin hepsini kapsar. Hava Trafik Hizmetleri ICAO Ek-11 içeriğinde belirtildiği üzere 3 (üç) başlık altında toplanmıştır.

3.1.1.1 Hava Trafik Kontrol Hizmeti

Sorumlu bulunulan hava sahası içerisinde Saha Kontrol Hizmeti, Yaklaşma Kontrol Hizmeti ve Meydan Kontrol Hizmeti şeklinde 3 (üç) alt başlık altında toplanmıştır. Ülkemizde Saha Kontrol Hizmet sağlayıcısı Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) bünyesinde görevli hava trafik kontrolörleri tarafından Ankara Saha Kontrol ve İstanbul Saha Kontrol olmak üzere iki ünite tarafından sağlanmaktadır. Yaklaşma Kontrol Hizmetleri, radarlı ve radarsız olmak üzere ikiye ayrılmakla birlikte Türkiye Havacılık Bilgi Yayınları (Turkey Aeronautical Information Publication-TUR AIP) dokümanının içerisinde de tanımlı olan meydanların sorumluluğuna verilen hava sahaları içerisinde meydana yaklaşan, meydan uzaklaşan ve meydana ait hava sahası kateden hava trafiklerine verilen hizmetlerdir (Örneğin; Diyarbakır Yaklaşma

Kontrol Ünitesi). Meydan Kontrol Hizmeti ise sorumluluğuna verilen meydanın yine TUR AIP içerisinde yayımlanmış olan hava sahası içerisindeki meydan manevra sahası içerisindeki push-back, motor çalıştırma, rule, kalkış, iniş, geri rule, park yeri operasyonları ile manevra sahası içerisindeki yer operasyonlarını yürüten kara vasıtalarının yönetimini içeren hizmetlerdir (Örneğin; Esenboğa Uçuş Kontrol Kulesi).

3.1.1.2 Uçuş Bilgi Hizmeti

Uçuş Bilgi Hizmeti genel olarak uçuşun daha emniyetli ve etkin yapılabilmesi amacıyla verilen tavsiye ve bilgileri topluğu olarak tanımlanır. Uçuş Bilgi Hizmeti; Kontrollü hava sahalarında uçuş faaliyeti sürdüren uçaklara çarpışma risklerinin bildirilmesini, Uçuşların planlanması sırasında gerekli olan bilgilerin temini, dağıtımı ve kayıt altında tutulmasını (meydan bilgileri, meteorolojik durum...gibi), Havacılara Uyarı kapsamında NOTAM (Notice to Airmen) ve uçuş neşriyatlarının alınmasını, teşhirini, yayımlanmasını ve ilgililere duyurulmasını, uçuş plan bilgilerinin alınmasını, gönderilmesini ve kapatılmasını, önemli meteorolojik olayların (oraj, buzlanma, sis, türbülans, fırtına...gibi) uçuşu olumsuz yönde etkileyebilecek kolaylıkların, meydan faaliyetleri veya uçuşta tehlike yaratabilecek her türlü bilgilerin aktarılmasını, gerektiğinde NOTAM'lanmasını, Kalkış sürecinde değişkenlik arz edebilecek rapor veya rasat edilmiş gidilecek meydan ve yedek meydan meteoroloji bilgilerinin aktarılmasını, Saha Kontrol Merkez ve hava savunma radarları ile bilgi akışının ve koordinasyonun sağlanmasını, İnsansız Hava aracı ve balonların bilgisinin ilgililere aktarılmasını, burada bahsedilmeyen ancak uçuş emniyetini direk etkileyen diğer bilgilerin aktarılmasını ve edinilen yukarıda açıklanan tüm bilgilerin ilgili formlara yazılarak kayıt altına alınması ile bu kayıtların önceden belirlenmiş saklama sürelerinde muhafaza edilmesi gibi hizmetleri kapsar.

3.1.1.3 Alarm İkaz Hizmeti

Gerek duyulduğunda kırım-kurtarma, yangın söndürme ve arama-kurtarma birimlerinin ikazı, harekete geçirilmesi ve bu birimlerin faaliyetleri süresince verilen hizmettir.

Alarm ikaz hizmetinin verilebilmesi için önceden sunulmuş hava aracına ait uçuş planının bulunması alarm ikaz hizmetini verecek üniteler için hayati önem arz eden arama-kurtarma operasyonlarındaki olası gecikmelerin önüne geçilebilmesini sağlayacaktır. Bir hava aracının uçuş planında belirttiği havada kalış süresi hava trafik hizmetleri açısından ilgili trafiğin takibi açısından önemlidir. Alarm safhaları incelendiğinde bu safhalar Şüpheli, Tehlike ve Alarm olmak üzere 3'e (üç) ayrılmaktadır. Şüpheli safhası için uçuş planında belirtilen havada kalış süresi pervaneli hava araçları için 30 dakika, jet motorlu hava araçları için 15 dakikayı geçtiğinde ilgili hava trafik üniteleri şüpheli safhasını (ilgili hava trafiğinin herhangi bir muhabere vasıtası ile teması olmaması veya radar ekranları üzerinde ilgili trafiğin birincil (ASR-Airport Surveillance Radar) ya da İkincil (SSR-Secondary Surveillance Radar) radar sistemleri üzerinden gözlemlenememesi şartıyla) başlatır. En son temasta bulunan ünite ile koordine edilir, diğer hava-yer telsiz frekansları ve UHF/VHF Guard Frekansları (243.0/121.5) üzerinden temas kurulmaya çalışılır, başarısız olunması durumunda Alarm Safhasına geçiş yapılır. Uçuş plan bilgilerine göre tahmini temasın kesildiği bölge üzerinden geçen diğer hava araçlarının tahsis edilen frekanslar üzerinden ilgili trafiğe çağrı yapılması sağlanır, başarısız olduğunda Tehlike safhasına geçiş yapılır ve alarm ikaz hizmetlerini başlatıcı tedbirler alınarak arama-kurtarma çalışmaları başlatılır.

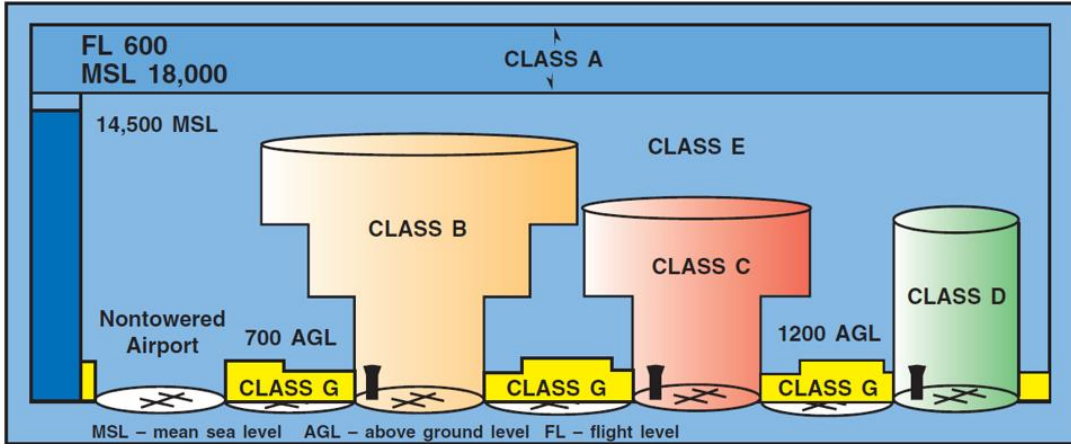
3.1.2 Hava Sahası Yönetimi

Hava Sahası, içerisinde belirli tip uçuşların yapılabileceği, hava trafik hizmetlerinin ve işletme kurallarının belirlendiği, boyutları alfabetik sırayla belirlenmiş alanlardır.

3.1.2.1 Hava Sahasının Sınıflandırılması

ICAO Ek-11 içeriğinde de belirtildiği üzere, A'dan G'ye kadar 7 (yedi) adet hava sahası sınıflandırması mevcuttur.

A Sınıfı; Sadece IFR (Instrument Flight Rules-Aletli Uçuş Kuralları) uçuşlara müsaade edilir, ilgili hava sahasında uçuş yapan tüm hava araçlarına hava trafik hizmeti verilir ve birisinin diğerinden ayrımı sağlanır. Şekil 3.1'de hava sahalarının sınıflandırılması sunulmuştur.



Şekil 3.1: Hava Sahasının Sınıflandırılması

Kaynak: (FAA, 2021)

B Sınıfı; IFR ve VFR (Visual Flight Rules-Görerek Uçuş Kuralları) uçuşlara müsaade edilir, ilgili hava sahasında uçuş yapan tüm hava araçlarına hava trafik hizmeti verilir ve birisinin diğerinden ayrımı sağlanır.

C Sınıfı; IFR/VFR uçuşlara müsaade edilir, ilgili hava sahasında tüm hava araçlarına hava trafik hizmeti sağlanır ve IFR trafikler VFR ve IFR diğer hava araçlarından ayrımı sağlanırken, VFR trafikler IFR uçuşlardan ve trafik bilgisi alınmış diğer VFR trafiklerden ayrımı sağlanır.

D Sınıfı; IFR/VFR uçuşlara müsaade edilir ilgili hava sahasında IFR uçuşlar diğer IFR uçuş ve bilgisi alınmış VFR uçuşlardan ayrımı sağlanırken, VFR uçuşlara bilgisi alınmış diğer IFR/VFR trafik bilgileri verilir.

E Sınıfı; IFR/VFR uçuşlara müsaade edilir, ilgili hava sahasında IFR trafiklere hava trafik hizmeti sağlanır ve diğer IFR uçuşlardan ayrımı yapılırken, tüm uçuşlar trafik bilgisini mümkün olan en uygun zamanda alırlar. E sınıfı hava sahası meydan kontrol hava sahasında kullanılmamalıdır.

F Sınıfı; IFR/VFR uçuşlara müsaade edilir, ilgili hava sahasına katılan tüm IFR uçuşlar hava trafik tavsiye hizmeti alır ve tüm uçuşlar talep edilmesi halinde uçuş bilgi hizmetini alırlar.

G Sınıfı; IFR/VFR uçuşlara müsaade edilir, ilgili hava sahasında talep edilmesi halinde uçuş bilgi hizmeti alınır. Ancak TUR AIP incelendiğinde ülkemizde yukarıda açıklandığı şekliyle bir hava sahası sınıflandırması mevcut olmamakla birlikte, kontrollü (CTR, TMA/MTMA, Havayolu) ve kontrolsüz hava sahası (kontrollü hava sahası dışında kalan alan) olarak bir ayrıma gidilmiştir.

F ve G sınıfı hava sahasında talep edilmesi halinde uçuş bilgi hizmeti verilmesinde ötürü, A,B,C,D ve E sınıfının aksine, kontrolsüz hava sahası olarak da tanımlanır.

3.1.2.2 Hava Sahası Çeşitleri

Mevcut yürürlükte olan ulusal ve uluslararası mevzuatlar doğrultusunda kullanılan en büyük hava saha birimi Uçuş Bilgi Bölgesi (Flight Information Region, FIR) olarak tanımlanmaktadır. Bu hava sahası içerisinde bir önceki bölümde sınıflandırılan kontrollü, kontrolsüz hava sahalarının yanı sıra özel kullanımlı sahalar bulunmaktadır.

Özel kullanımlı sahalar; tehlikeli sahalar (dangerous), yasak sahalar (prohibited), sınırlı kullanım (restricted) sahalarını içerisinde barındırır. Ulusal hava sahası içerisinde bu sahalar ulusal sivil havacılık otoriteleri tarafından belirlenir ve uluslararası olarak havacılık bilgi yayınları (AIP) ile yayımlanır.

Kontrollü hava sahalarının içerisinde ise Kontrol Bölgesi, Kontrol Sahası, Terminal Kontrol Alanı ve Hava Yolları bulunmaktadır. Ayrıca belirli bir süre ile belirli bir bölgede, diğer trafiklerin kullanamayacağı şekilde çalışma yapma amacı ile Havacılara Bildiri (NOTAM, Notice to Airman) ulusal sivil havacılık otoritesinin onayı ile yayımlanabilir. NOTAM için hava sahasına ihtiyaç duyan kurum veya kişiler tarafından ulusal havacılık otoritesine başvuruda bulunabileceği gibi havaalanları tarafından da başvurulabilir. ICAO Ek-15'e göre ulusal havacılık otoriteleri tarafından yayımlanan NOTAM'lara, bölgede uçan tüm trafikler tarafından bilinmesi ve uyulması gerekmektedir. NOTAM ile belirlenmiş hava sahaları ayrılmış hava sahaları olarak adlandırılırlar. Bu sahaların dışında kalan kontrollü ve kontrolsüz hava sahaları ayrılmamış hava sahaları olarak adlandırılır.

3.1.2.3. Hava Sahasının Esnek Kullanım Konsepti

Ülkeler yer sathındaki egemenlik hakkı olan (kara sınırı, deniz sınırı, münhasır ekonomik bölge sınırı...gibi) sahanın üzerindeki üst limiti olmayan hava sahasını kullanma, yönetme, başka ülke/organizasyonlara kullandırma, kısıtlama gibi haklara sahiptirler. Ancak teknolojik gelişmeler doğrultusunda havacılık tarihi incelendiğinde yukarıda bahsedilen hava sahası kaynağının sabit olmasıyla birlikte, ilgili sahayı

kullanan hava araç sayısında (genel ve operasyonel hava trafiği ile insanlı/insansız hava aracı) her geçen gün parabolik olarak artış gözlemlenmektedir.

Aynı zamanda küresel manada teknolojinin gelişimiyle birlikte özellikle 2000’li yılların başlarından itibaren küreselleşen dünyada zaman, insanlar ve organizasyonlar için her alanda hiç olmadığı kadar önem arz etmeye başlamış ve maliyet-etkin bir biçimde kullanılması ve iyi yönetilmesi gereken bir kaynak olarak kabul görmüştür. Özellikle hava taşımacılığı (yük, yolcu, kargo...gibi dahil) kara ve deniz taşımacılığı alanlarıyla kıyaslandığında en hızlı ulaşım yöntemi olarak önem arz etmektedir.

Yukarıda açıklananlar doğrultusunda hava sahası kaynağı sabitken kullanıcı hava araçlarının sayısının artması bu taşıma yöntemini daha emniyetli hale getirecek önlemlerin küresel boyutta uluslararası mevzuatlara ithal edilmesi gerekliliğini zorunlu kılmıştır. Bu kapsamda öncelikli olarak dünyanın belli kıtalarında hava sahası yönetim organizasyonları kurulmuş (Eurocontrol, FAA...gibi) ve ülkeler uluslararası hukuka uygun bir şekilde ilgili organizasyonların kuruluş anlaşmalarını kabul ettiklerinde bahse konu organizasyonlar tarafından belirlenmiş olan hava sahası yöntem ve usullerini kendi ülke AIP’lerine dahil ederek hava sahası kullanıcılarına yayımlar ve uygularlar.

Uçuş seviyesi FL (Flight Level) 290 üzerinde, eski nesil altimetre cihazlarındaki hassasiyetin az olması sebebiyle FL 410’a kadar 2000 feet dikey ayırma minimumu kullanırken, gelişen teknolojiyle RVSM-Reduced Vertical Separation Minima (Azaltılmış Dikey Ayırma Minimumu) sistemine geçilmiş ve hava araçlarında RVSM onaylı altimetre cihazı kullanılması durumunda FL 290 ile FL 410 arasında seyir eden hava araçları için 2000 feet olan dikey ayırım minimumu 1000 feet yüksekliğe düşürülerek ilgili irtifa aralığında ilave 8 yol seviyesi kazanımı sağlanmış ve bant aralığı arttırılarak kısıtlı bir kaynak olan hava sahasının kapasitesi arttırılmıştır. Bunun yanı sıra hava sahası içerisinde Genel Hava Trafiklerinin kontrollü hava sahalarını kullandığı varsayıldığında, operasyonel hava trafiği ya da eğitim uçuşları gibi başka ihtiyaçlara istinaden oluşturulmuş hava sahalarının sabit kalması ve hava yollarının bahse konu hava sahalarının limitlerini (dikey/yatay) ihlal etmeyecek şekilde çizimleri gerçekleştirilerek işletimi sağlanmıştır. Ancak bu durumun da RVSM hususunda açıklandığı gibi hava sahası kullanıcılarının artması sebebiyle zaman, yakıt ve maliyet-etkinlik hususlarına olumsuz etkileri olduğu tespit edilmiş ve hava sahasının kapasitesinin arttırılması kapsamında esnek hava sahası konsepti ortaya

konulmuştur. Birçok ülke esnek hava sahası konseptine esas ulusal mevzuatlarını yenilemiş ve işletmeye almıştır. Ülkemizde de Hava Sahası Esnek Kullanım Yönetmeliği yayımlanmasına karşın kısmi esnek kullanım olarak hayata geçirilmiş olup, hava sahası kullanıcıları (hizmet alan) ve hizmet veren statüsündeki hava trafik yönetim unsurlarının sıkı iş birliği halinde alt yapılarını konsept dahilinde güncellemeleri ve işletime vermeleri hava sahasını kullanan hava araç sayısındaki parabolik artış göz önünde bulundurulduğunda maliyet-etkinlik açısından büyük önem arz etmektedir.

3.1.3.Hava Trafik Akış Yönetimi

ATC kapasitesinin mümkün olan en üst düzeyde kullanılmasını ve trafik hacminin ilgili hava trafik kontrol otoritesi tarafından beyan edilen kapasitelerle uyumlu olmasını sağlayarak, hava trafiğinin emniyetli, düzenli ve süratli bir şekilde akışına katkıda bulunmak amacıyla kurulan hizmettir.

Hava trafik akış yönetiminin amacı; talebin hava trafik kontrol sisteminin mevcut kapasitesini aşması beklendiğinde optimum trafik akışını sağlamaktır. Hava trafik kontrol kapasitesi, sistemin hizmet sağlama yeteneğini yansıtır ve belirli bir süre içinde hava sahasının belirli bir bölümüne giren uçak sayısı olarak ifade edilir.

Çakışan kullanıcı gereksinimleri, hava seyrüsefer sistemi sınırlamaları ve beklenmedik hava koşulları gibi çeşitli kısıtlamalar nedeniyle optimum bir hava trafiği akışı her zaman mümkün değildir. Bu durumda, özellikle hava trafik kontrol sistemi artık hava trafiği hacmiyle tam olarak başa çıkamadığında, hava trafik akışının kontrolü gibi hafifletici önlemlerin dikkate alınması gerekecektir. Bu tür önlemler sıklıkla kalkıştan önce uçuşların gecikmesine, uçuş sırasında bekletmelere, ekonomik olmayan uçuş seviyelerinin kullanılmasına, yeniden rotalama ve sapmalara, uçuş programının aksamasına, uçak operatörleri için ekonomik ve yakıt cezalarına, havaalanlarında veya terminal binalarında tıkanıklığa ve yolcu memnuniyetsizliğine sebebiyet vermektedir.

Trafik sıkışıklığının temel sebepleri; tatil paternleri ve seyahat alışkanlıkları nedeniyle yılın belirli dönemlerinde (hafta veya gün) trafik birikmesi, çeşitli ATC sistemlerinin kapasitelerindeki farklılıklar, belirli noktalarda veya belirli zamanlarda aşırı yüklenmeye neden olabilecek olası trafik taleplerinin eksik ya da gecikmeli önceden bildirilmesi olarak sayılabilir.(<https://skybrary.aero/articles/air-traffic-flow-management-atfm> , erişim tarihi 09.09.2023)

3.2. Uzaktan Pilotlu Uçak Sistemleri İçin Tanımlanmış Operasyon Tipleri

İHA'lar her geçen gün sayıları artarak hava sahasında yerini almaya devam etmektedir. İHA için her geçen gün yeni bir kavram uluslararası literatüre girmekte ve bu kapsamda havacılık otoriteleri tarafından gelecekte hayata geçirilmek üzere konsept çalışmalar yapılmaya devam etmektedir.

1944 yılında Chicago'da imzalanan Uluslararası Sivil Havacılık Sözleşmesi içerisinde pilot olmadan uçuşu amaçlanan herhangi bir uçak için “pilotlu hava aracı” olarak tanımlanmıştı. Günümüzde bu kavram “pilotlu” yerine “insansız” ifadesi ile anılmaktadır. Ancak İnsansız Hava Aracı karşılığı meteorolojik rasatla amacıyla kullanılan ve havada kumanda edilemeden uçan balonlardan, çok karmaşık sistemlere ve birçok kabiliyetlere sahip hava araçlarına kadar çok geniş bir kapsama alanına sahiptir.

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (International Civil Aviation Organization, ICAO) söz konusu İnsansız Hava Araçlarına dair bir düzenleme yaparken bu geniş yelpazeyi daraltmak için Uzaktan Pilotlu Uçak Sistemleri (Remotely Piloted Aircraft System, RPAS) kavramını ortaya koymuştur. Bu kavramın ortaya çıkma ihtiyacı mikro dronlardan, yüksek irtifa yüksek havada kalışlı insansız hava araçları yelpazesinden, insanlı uçaklarla aynı hava sahasında operasyon gerçekleştirecek insansız hava araçlarını ayırmak için ortaya çıkmıştır.

Bu kapsamda en büyük havacılık otoritesi olan ICAO ve EUROCONTROL tarafından RPAS manueli ve RPAS ATM Konsept Operasyonu yayınlanmıştır. RPAS ATM kapsamından belirlenen operasyon tipleri sırasıyla; Çok Yüksek İrtifa Operasyonları, Aletli ve Görerek Uçuş Kuralları Operasyonları, Çok Alçak İrtifa Operasyonlarıdır.

3.2.1. Çok Yüksek İrtifa Operasyonları

FL 600'ün üzerindeki irtifalarda yürütülen yörünge altı insansız uçuşların sayıca hızla artması beklenmektedir. Askeri amaçla kullanılan Yüksek İrtifa Yüksek Havada Kalışlı (HALE) RPAS'ların yanı sıra, diğer bazı araçlar (uzay roketleri, Virgin Galactic vb.) bu hava sahası bloğunda veya içinde çalışır. Şu anda dünyanın çoğu bölgesinde bu trafiğin yönetilmesi öngörülememektedir. Bu seviyede uçacak hava

araçlarının, alt seviyelerde bulunan hava sahaları ile etkileşime girmeleri gerektiğinden, bu yüksek irtifa bloğuna giriş ve çıkışlarına özel dikkat gösterilmelidir.

3.2.2. Aletli ve Görerek Uçuş Kuralları Operasyonları

RPAS, Aletli Uçuş Kuralları veya Görerek Uçuş Kuralları (IFR veya VFR) kapsamında uçabilmesi için insanlı olarak icra edilen havacılık faaliyetleri için belirlenen hava sahası gerekliliklerini karşılaması gerekir.

Bu operasyonlar şunları içerir: havaalanları, Terminal Kontrol Sahaları (TCA) ve belirlenmiş havayolları. IFR yetenekli RPAS için, normal nakliye hava araçlarının çicra ettiği operasyonel hava sahası bölümlerinde uçmak için ilave gereksinimler belirlenebilir. Bu şekilde hava sürati, tırmanma/alçalış oran hızı, dönüş performansı ve gecikme gibi unsurlar için minimum performans standartlarına sahip olunması gerekliliği öngörülmektedir.

3.2.3. Çok Alçak İrtifa Operasyonlar

500ft'in altındaki irtifalarda gerçekleştirilen operasyonlar, insanlı havacılık tarihinde yeni değildir çünkü birçok operatörün- polis, silahlı kuvvetler, balonlar, planörler, eğitimler, itfaiye, ultra hafif uçaklar vb. - bu ortamda çeşitli gereksinimlerden dolayı çalışmasına izin verilir. Kural, VFR trafiğinin ulusal mevzuat tarafından öngörülen belirli koşullar altında çalışmasına izin verir.

Bununla birlikte, bu hava sahası bloğunda RPAS, ICAO Ek-2 Genel Uçuş Kaideleri (Rules Of The Air) dokümanında belirlenen IFR veya VFR gereksinimlere sahip olmadan çalışabilir. Bu hava sahasında operasyon gerçekleştirecek RPAS'lar görüş içi (Visual Line of Sight, VLOS) ve görüş ötesi (Beyond Visual Line of Sight, B-VLOS) olmak üzere ikiye ayrılır.

VLOS kapsamında çalışan RPAS, pilot ile 500 metre menzil içerisinde maksimum 500 feet irtifaya kadar olan alanda operasyonunu gerçekleştirir. Bu bölge içerisinde icra edilecek operasyonu gerçekleştiren pilotun en büyük sorumluluğu görerek hava aracının emniyetli ayrımını sağlamaktır. Pilot ile hava aracının menzili, bir veya daha fazla gözlemci kullanarak Genişletilmiş VLOS (Extended VLOS, E-VLOS) olarak adlandırılır.

B-VLOS kapsamında çalışan RPAS'lar, pilot ile 500 metreden uzakta ancak 500 feet altında operasyonlarını gerçekleştirir. Pilotun uçuş emniyetini ve emniyetli

ayrımı görerek yapması gerekli değildir. Ancak uçuş emniyetinin sağlanması için Algıla ve Kaçın (Detect and Avoid, D&A) ve uydu veri bağlantısı gibi teknik çözümlmelere ihtiyaç bulunmaktadır.

3.3. İKU İçin Hava Trafik Yönetim Sahası ve Gereksinimleri

İHA kavramının zaman içerisinde havacılık otoritelerinin yaptığı düzenlemeler esnasında değişim göstererek RPAS olduğu görülmektedir. RPAS sınıflandırılması henüz bir konsept seviyesinde kaldığı için halihazırda bir sınıflandırma yapılmamıştır. İHA için yapılan sınıflandırmalar göz önünde bulundurularak bu çalışmada incelenen İKU'nun MALE sınıfı olması gerekliliği birinci bölümde belirtilmiştir. MALE RPAS olan İKU için konsept operasyon tipleri göz önünde bulundurulduğunda Aletli ve Görerek Uçuş Kuralları Operasyonlarına dahil olması kaçınılmaz bir hal almaktadır. RPAS kavramının insanlı uçuşlarla birlikte uçuşması için gerekli çalışmalar birçok sivil havacılık otoritesi (ICAO, NASA, EASA, SHGM vb.), kurum ve kuruluşları (Tek Avrupa Hava Sahası Hava Trafik Yönetimi Araştırmaları-SESAR, Havacılık için Radyo Teknik Komisyonu-RTCA vb.) tarafından yapılırken ortak amaç olarak bu entegrasyondan dolayı, halihazırda işleyen havacılık hizmetlerine ilave bir yük ve gereklilik gelmeden gerçekleşmesidir. Ancak insansız hava araç trafikleri ile insanlı trafiklerin entegrasyonu sağlanırken uçuş emniyetinin yerine gelmesi için bazı gereklilikler ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanması için aktif kullanıma girecek İKU gibi hava araçlarının ve yer sistemlerinin gereksinimleri yerine getirilmesi gerekmektedir. Yani kullanıma sunulacak İHA, mevcut havacılık kurallarına uyacak şekilde tasarlanmalı, ayrıca sistem içinde bulunan ATM ve diğer insanlı uçaklar için bir tehdit yaratmamalı ve ilave iş yükü getirmemesi gerekliliği öngörülmektedir.

ICAO tarafından yayımlanan RPAS konsept operasyon dokümanı sadece Aletli Uçuş Kuralları (IFR) başlığı altında yayımlanmıştır. Ticari Havayolları trafiklerinin genellikle bu kapsamda uçuş gerçekleştirdiği bilindiğinden hareketle İHA için mevcut havayolu rotaları içerisinde, ATC kontrolünde, kontrollü hava sahasında uçuşlarını gerçekleştirebilecek donanıma sahip olması gerekmektedir.

Kontrollü hava sahasında uçuşması için İHA'ları işleten kurum/organizasyon/tüzel ve gerçek kişilerin uçuş planı doldurması yukarıda açıklanan hava trafik hizmet sağlayıcıları tarafından sorumluluğunda bulunan hava sahasının emniyetli, etkin ve

sürekli yönetimi açısından önem arz etmekle birlikte, alarm ikaz hizmetinin olası beklenmedik durumlarla karşılaşılması halinde gecikmelere mahal verilmeden icra edilmesi açısından önem arz etmektedir. İHA, Haberleşme, Seyrüsefer ve Gözetim (Communication, Navigation and Surveillance, CNS) donanımına sahip olmalıdır. İHA acil ve beklenmedik durumlarda (link kaybı, genel emergencies, meteorolojik oluşumlardan kaçınma...gibi) kontrollü hava sahasından rotasını saptırarak kontrolsüz hava sahasına geçiş yaptıktan ve ilgili beklenmedik olayı yaratan olumsuzlukların ortadan kalkmasından sonra sorumlu ATC birimini kontrollü hava sahasına yeniden giriş veya prosedürler konusunda bilgilendirmelidir. İHA operasyonlarını bölgesel olarak takip eden merkezlerin oluşturulması ve performans tabanlı seyrüsefer sisteminin kullanımından ziyade uydu tabanlı yönetim sisteminin hayata geçirilmesinin muhtemel karşılaşılabilecek uçuş emniyeti risklerini azaltacağı değerlendirilmektedir.

Birçok otorite tarafından sahip olması zorunlu görülen İHA sistemlerinin Algıla ve Kaçın (D&A) sistemi, Görerek Uçuş Kuralları kapsamında en önemli kurallardan biri olan Gör ve Kaçın (See and Avoid) kuralının uygulanabilmesi için geliştirilmekle birlikte halihazırda hava taşımacılığında kullanılan insanlı hava araçları üzerine konuşlandırılmış “transponder” ve mode-S tabanlı çarpışmayı önleyici sistemlere benzer maksatla da IFR şartlarda kullanılarak uçuş emniyetini arttırıcı tedbirler olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

RPAS İKU için kontrollü uçuş bölgesinde uçuşması beklense de, kontrolsüz hava sahalarında uçuşması gereken durumlarda (acil ve beklenmedik durumlar vb.) D&A sistemi uçuş emniyetini sağlayacak en önemli faktör olduğu belirtilmiştir. D&A sistemleri günümüzde kullanılmakta ve her geçen gün geliştirilerek kullanıma sunulmaktadır. Havayollarında Trafik alarm ve çarpışma önleyici sistem (Traffic Alert and Collision Avoidance System, TCAS) kullanıldığı gibi İHA için geliştirilen D&A sistemleri çok daha karmaşık ve kabiliyetli olması gerekmele birlikte RPAS’ı yöneten kontrol ünitesinin ilgili insansız hava aracı ile link kaybı yalması durumunda otonom karar verme mekanizmasına sahip olması uçuş emniyetini arttıracaktır.

ICAO, EUROCONTROL vb. otoriteler tarafından yapılan bu konsept çalışmaların başlıca amacı gelişen teknoloji karşısında, işleyen havacılık sisteminin olumsuz etkilenmeden teknolojiden faydalanılması ve ulusal otoritelerin de bu çalışmalar kapsamında kendi mevzuatlarını güncellenme ve gerekli altyapı çalışmalarının yapılması içindir.

3.4. İKU Operasyonlarının Mevcut İnsanlı Uçuş Operasyonlarına Etkisi

İnsansız Hava Aracı teknolojilerinin gelişmesindeki en büyük etkenlerin başında ekonomik ve insanların hava aracının içinde uçmuyor olmasından dolayı elde ettiği avantaj ön plana çıkmaktadır. Bu avantajı birkaç alt başlık altında toplamak gerekirse insan fizyolojisinin limitlerinden etkilenmemesi, otonom uçuş ile İHA operatörleri üzerindeki iş yükünün azaltılması, İHA operatörlerinin çalışma süreleri dolduğunda dahi vardiya değişimlerinin İHA havada iken yapılabilmesi, geliştirilen otonom ve kaçınma sistemleri sayesinde bir operatörün özellikle seyrüsefer görevi yapan İKU'ları gibi İHA'larını yönetebilmesi mümkün olabilmektedir.

İKU özelinde bir kıyaslama yaparsak, insanlı bir kargo uçağında çalışması gereken mürettebat sayısı, her ne kadar uçak tipine göre değişkenlik gösterse bile genellikle asgari seviyede iki pilot, bir uçuş mühendisi, bir yükleme teknisyeni olmalıdır. Bu durumda değişkenleri minimize etmek adına pilot kıyaslamasında bulduğumuzda İKU için bir operatör birden fazla uçağın operasyonunu takip edebilir.

Günümüzde Avrupa Birliğinde yıllık 7 milyardan fazla olan kargo sayısının %10'nunun İnsansız Hava Araçları kabiliyetleri ile dağıtım yapılabileceği öngörülmektedir. Söz konusu kargo miktarının %84'ü 2 kg'dan daha hafif olduğu bilinmektedir (IATA, 2019). Bu da kargo kapasitesi yaklaşık 1000 kg olan bir İKU'nun 2,5 kg ağırlığa sahip olan 400 paketi tek seferde taşıyabileceği anlamına gelmektedir. Özellikle bölgesel/küresel olarak kutlanan özel günlerde kargo talebinin artacağı ve ilgili sektöre yoğun talep olacağı değerlendirildiğinde talebin karşılanması için hızlı taşımacılık olan hava kargo taşımacılığında İKU'lara büyük ihtiyaç duyulacağı öngörülmektedir. Yapılan çalışmalar ve simülasyonlar çerçevesinde 2035 yılında 200 milyon koli teslim etmek için 70 bin insansız hava aracına ihtiyaç duyulacağı öngörülmektedir.

2023 yılı baz alındığında gelecek 10 yıl içerisinde otomatikleşen sistemlerin gelişmesi ile ilk İKU'ların uçuşu beklenmektedir. 2030'lu yıllarda yazılımsal gelişmeler doğrultusunda otonom uçan İKU'ların yaygınlaşması ile günümüzde kullanılan kargo uçaklarının İKU haline dönüştürülmesi öngörülmektedir.

SESAR (Single European Sky ATM Research) tarafından 2016 yılında yayımlanan Avrupa Dronları için Geleceğe Bakış çalışması içindeki raporda, 2050 yılında İKU'nun görev yapmasının öngörüldüğü kontrollü hava sahasında insanlı uçuşların 33 milyon saat uçuş gösterirken, İnsansız Havacılık operasyonunun 7 Milyon

saate ulaşabileceği değerlendirilmektedir. Bu rakamlardan yola çıkarak kontrollü hava sahasında uçan her 100 uçaktan yaklaşık 82'si insanlı, 18'i insansız olarak kontrol edileceği ön görülmektedir. (SESAR, 2016)

İnsanlı uçuşların etkilenmeden Hava Trafik Yönetim (ATM) sistemine entegre olması ön görülen İKU'ların yaratacağı en büyük problemin hava trafiğinde artan uçak sayısından ötürü hava trafik yönetiminde oluşacak yoğunluğun olması beklenmektedir. Bu yoğunluğun etkileri havaalanlarında iniş-kalkış için slot dağıtımının ve uygulanmasının zaman hassasiyeti ile yapılması ihtiyacını ortaya çıkaracaktır. Aksi takdirde geçmişte yapılan çalışmalar ve simülasyonlar çerçevesinde, slot zamanına uymayan hava aracının kendisinden sonraki hava trafiklerini etkisinin kümülatif şekilde artarak olacağı öngörülmektedir.

Havayolu şirketlerinin prestijleri açısından insanlı uçuş trafiklerinin zamana riyeti, taşıdığı yolcuların zaman hassasiyeti ve gecikmelerin önüne geçilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu durum uçuşun, yolcuların/kargoların hava aracına alınması/yüklenmesi, gerekli uçuş kervanlarının uygun ATC otoritesinden alınması, push back, motor çalıştırma, rule, kalkış, rotada seyrüsefer, yaklaşma, alçalış, iniş, park yerine geri rule, motor durdurma, yük/yolcuların boşaltılması arasındaki bütün operasyonları kapsamaktadır. Bu evrede gerçekleştirilecek bütün operasyonların insanlı trafikleri engellemeyecek ve geciktirmeyecek şekilde planlanması gerekmektedir.

İnsanlı uçuş trafiği ile insansız uçuş trafiklerinin birbirine olası gecikme yaratabilecek etkilerinin minimize edilebilmesi için ortaya konulabilecek çözüm önerileri;

İnsanlı/insansız hava araç operasyonlarının farklı havalimanlarından yürütülmesi, ancak havalimanı kara ve hava tarafı tasarımının maliyet-etkin bir şekilde planlamalarının yapılması ve hava tarafından kara tarafına geçişlerin ve kara tarafından da lojistik açıdan taşımacılığının ve dağıtımının emniyetli ve süratli yapılabilmesine olanak sağlayacak gerekli demiryolu, denizyolu ve karayolu bağlantılarının olması gibi bir takım altyapı ihtiyaçlarının karşılanması, aynı havalimanı içerisinde eş zamanlı operasyon icra edilmesi gerekliliği ortaya konduğunda, insanlı ve insansız hava araçlarının ICAO Doc 4444 içeriğindeki eş zamanlı paralel pist operasyonu için gerekliliklerin sağlanarak (iki pist arası minimum 2500 feet mesafe olmalıdır) çift pist sistemine geçilmesi ve alt ve üst yapı ile park sahasının yolcu ve yük ya da her ikisine yönelik havalimanı hava tarafı, kara tarafı ve

ikisi arasındaki geçiş bölgesinin uygun şekilde dizayn edilmesi, insansız kargo taşımacılığı çerçevesinde, hava platformunun kargo ünitesinin boşaltılmasının sağlanabilmesine yarayacak yazılımla desteklenmiş, akıllı otonom kargo boşaltım sistemlerinin geliştirilmesi, buna uygun insansız hava aracının park yerine yanaştırıcı hava aracı ile yer ünitesinin birbiriyle yazılımsal konuşabileceği alt ve üst yapının oluşturulması, kargo boşaltımının tamamlanmasını takiben, geçiş bölümünden uygun karasollerle otonom olarak kara/deniz/demiryolu tarafındaki kargonun lojistik dağıtımını yapacak vasıtaya yüklenmesinin ve aynı zamanda tam tersi (hava aracına yüklenmesi) işlemlerin gerçekleştirilebileceği alt ve üst yapının kurulması, dispe işlemlerinden birisinin ve hava aracının emniyetli seyrüseferinin gerçekleştirilmesinde önemli rol oynayan yük ve denge (mass&balance) hesaplamalarının da otonom olarak hesaplanıp, hava platformunun kargo bölümüne ağırlık/hacim dengesi gözetilerek yapay zeka ya da akıllı yazılım algoritmalarıyla (Örneğin, yazılımda kullanılan genetic algorithm...gibi) hava platformunun Yer Çekimi Kuvvet Merkezinin (Centre of Gravity-Cg) doğru belirlenmesi hususları gerekmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. İKU'LARIN HAVA TAŞIMACILIĞINA ENTEGRASYONU VE ETKİLERİ

4.1. İKU'ların Hava Taşımacılığına Entegrasyonu

Gelişen teknoloji ile havacılık alanında sivil ve askeri muhtelif ihtiyaçlara (hava savunma, orman yangın gözetleme, tespit, teşhis, konumlandırma, hava fotoğrafı, istihbarat, yer altı maden arama, kargo...gibi) yönelik insansız hava aracı platformlarında küresel boyutta artışlar gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra konu kapsamında kargo sektörü incelenmiş, 21.yüzyılda zaman yerine koyulamayan kaynaklar kapsamında önemi daha da arttırmış ve üretici-tüketici arasındaki tedarik zincirinde talep ile arz arasındaki dengenin sağlanabilmesi için süratli bir lojistik sistemine ihtiyaç her geçen gün parabolik olarak artmış ve artmaya devam etmektedir. Zamanın küresel rekabetçi üretim-tüketim dengesi içerisinde önem kazanmasından dolayı hava kargo taşımacılığı muhtelif yüklerin (ilaç, hava platformları için yedek parça tedariki, e-ticaret uygulama içeriğindeki satışa sunulan ürünlerin tüketici tarafından daha fazla tercih edilmesi, pandemi gibi faktörlerden dolayı tecrit edilen toplumlarda devletler tarafından alınan önlemler doğrultusunda yüz-yüze alım-satımın sınırlı sektörlerde müsaade edilmesi, en az temasla ürün alım-satım-lojistik dengesinin sağlanmaya çalışılması...gibi) lojistiğinde sürat, en kısa süre, ekonomiklik ve emniyet çerçevesinde kara ve deniz taşımacılığının önüne geçmiştir.

İnsanlı hava taşımacılığının yanı sıra insansız hava araçlarının üretiminin artması ve hava sahalarında kargo taşıyıcılığı kullanımına verilmeye başlaması nedeniyle hava sahası içerisindeki insanlı hava platform kullanıcıları ile aynı rota-irtifa blok aralıklarını kullanmaktadırlar. Ancak küresel ve mahalli boyutta uygulanması gereken kurallar konsept olarak yayımlanmakta, halihazırda düzenleyici makamlar tarafından uçuş emniyetinin sürekliliğini sağlayıcı düzenlemelerin ilgili ülke AIP içeriklerine yeterince ithal edilememesi gibi aksaklıklarla karşılaşılmaktadır. Aynı

zamanda ülkemizde kullanılan insansız hava araçları havalimanı statüsündeki sivil-askeri insanlı hava araçlarının hizmet aldığı hava tarafında kaplamalı sahalar (apron bölgesi, taksi ve bağlantı yolları, servis yolları, pist...gibi), yer destek faaliyetleri (yakıt, bakım, körük, kargo karasolleri, de-icing...gibi) ile kara tarafında da kapılar, güvenlik kontrol noktaları, gümrük, pasaport, biletleme, kargo yükleme-boşaltma bölgeleri...gibi) olan meydanları kullanmaktadır. Bu durum eş zamanlı insanlı ve insansız hava araçlarının operasyonlarında birbirlerine birtakım limitler getirebilmekte, havacılık sektöründeki kısa gecikmeleri mahalli boyutta getirirken hava araçlarının kullanacağı diğer uçuş bacaklarında kümülatif olarak gecikmeler yaratabilmektedir. Bunun yanı sıra kalkış meydanından iniş meydanına gidecek hava araçları için hem ülke hava sahası içerisindeki kontrollü hava sahası sınıfına giren hava yolu kapasite yönetimiyle iniş meydanındaki park yeri, yer hizmetleri, hava trafik akış yönetimi kapsamında önceden deklere edilmiş kapasite yönetiminin delinmesinin engellenmesine yönelik uygulanan SLOT (sıra/zaman tahsis) uygulamaları gibi birtakım kısıtlara maruz kalılabilmekte bu durum uzun bekleme ve kalkış meydanındaki park yeri kapasitelerinin meşgul edilmesine sebebiyet verebilmektedir.

Hava sahası yönetimi ve iniş-kalkış şeritlerinin (pist) insanlı ve insansız hava araçları ile eş zamanlı operasyonların gerçekleştirilebilmesi için uçuş emniyetinin sürekliliğini teminen uluslararası mevzuat çerçevesinde ayırma minimumları uygulanması bir tercih değil, zorunluluk olmaktadır. İnsansız hava araç platformlarının kalkış ve iniş operasyonlarında yer kontrol ünitesi ile hava platformu arasındaki radyo-link bağlantılarının kopma ihtimaline karşın iniş paternleri ve alçalma bölgeleri meydan üzeri 10 NM yarı çapında olacak şekilde dizayn edilmektedir (uydu tabanlı değilse). Bu durum insanlı-insansız hava operasyonlarının aynı meydan içerisinde uygulanması durumunda maliyet-etkinlik ve emniyetli-süratli hava trafik akışı prensiplerine aykırı olarak problem sahası oluşturmaktadır.

İnsanlı hava kargo taşımacılığı kapsamında ilgili platform uçuş ekibi içerisinde pilot, mühendis, yükleme teknisyen personeli bulunduğundan iniş meydanındaki yer hizmet sağlayıcı birimlerle yüz-yüze temas sağlanabilmekte, beklenmedik durumlarla karşılaşılması durumunda problemleri giderici tedbirler diyalog yöntemiyle çözülebilmekte iken, insansız hava araç taşımacılığı kapsamında ilgili hava araç platform işletmecisinin operasyonları muhtelif ya da tek bir merkezde oluşturulmuş yer kontrol istasyonlarından yürüteceği öngörüldüğünde, hem hava araç platform isteklerinin ne olması gerektiği hem de insansız hava taşımacılığı maksadıyla

kullanılabilecek hava alanı ideal yapısının nasıl olması gerekliliği soruları ortaya konulması gereken en önemli faktör olacağı değerlendirilmektedir.

4.2. Ekonomik Etkileri

İnsansız kargo uçaklarının hava taşımacılığında yer alması ile birlikte olumlu ekonomik etkilerini görebileceğimiz başlıca alanlar; düşük hava trafik hacmine sahip havaalanlarının insansız hava kargo taşımacılığı ile hava trafik hacimlerinin arttırılması, istihdam sağlaması, ton başı kargo maliyetlerinde önemli olan personel ve yakıt maliyetlerinin azaltılması, kargo sürelerinin kısaltılması ile birçok üretici için tedarik zincirinin hızlanmasından üretimi iyileştirmesini ve operasyonların aksaksız bir şekilde devam etmesini sağlanması ön görülmektedir. Karayolu, demiryolu ve denizyolu taşımacılığı ile bütünleşmiş bir hava kargo taşımacılığı sayesinde uluslararası ticaretin hızlanması ve firmaların tüm dünya pazarına ulaşılabilirliği artacaktır.

Düşük hava trafiğine sahip havaalanları, havayolu şirketlerinin söz konusu havaalanındaki yolcu miktarı ile doğru orantılı planlama yapılmaktadır. Genellikle yolcu bazlı arz ve talep dengesi havayolu şirketleri tarafından dikkate alınmakta ve ona göre sefer sayısı planlaması yapılmaktadır. Bu noktada havayolu şirketleri açısından en önemli performans kriterlerinden biri uçağın yolcu doluluk oranı olmaktadır. Bu durumu en yoğun hava kargo taşımacılığının olduğu havaalanlarının en yoğun yolcu taşınan havalimanları aynı zamanda Türkiye'nin en yüksek hacimli hava kargo havalimanları olduğu ikinci bölümde gözlemlenmişti. Buradan hareketle yolcu trafiğinin yoğun olmadığı havaalanlarının hava kargo trafiğine açılması için insansız kargo uçaklarının hizmete girmesi ile mümkün olabileceği değerlendirilmektedir. Bu sayede yolcu trafiğinin az olmasından dolayı hava trafik hacminin düşük olan havalimanlarının trafik sayılarının artması ve bölgede tedarik zincirinin hızlanmasına, bölgede istihdamın artması ve üretim yapan firmalara büyük avantaj sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Mevcut hava kargo taşımacılığının IATA 2019-2022 yıllarına ait veriler incelendiğinde hava kargo taşımacılığının ortalama yüzde 60'ının kargo uçağı ile taşınırken, yüzde 40'lık kısmı yolcu uçakları ile taşındığı gözlemlenmektedir (IATA,2023).

Ancak yolcu uçakları ile taşınan yüzde 40'lık kargonun yolcu trafiğinin yoğun olduğu havaalanlarına olduğu bilinmektedir. Havayolu maliyetlerinin en büyük kısmını oluşturan uçak operasyonları maliyetlerinin en büyük payı jet yakıtına aittir. İKU tasarımlarının daha az yakıt tüketimine sahip turboprop motorlar ile yakıt tüketiminde tasarruf sağlanacağı değerlendirilmektedir. Aynı zaman personel maliyetlerini, daha az personel ile operasyonel faaliyetlerinin gerçekleştirileceğinden azalacağı değerlendirilmektedir.

4.3. Hava Sahası Yönetimine Etkileri

İKU'larının hizmete girmesiyle insanlı hava trafikleri ve insansız hava trafiklerinin aynı hava sahasında uçuşması artık uluslararası otoriteler tarafından kabul görmüş olması gerekmektedir. Bu durumda ortaya çıkacak problemler zaten birçok havacılık otoriteler tarafından ele alınmış ve önlemler ortaya koyulmuştur. Bu konu hakkında ilk ve temel kural insansız hava araçlarının hava trafik yönetim sistemine girmesinden dolayı insanlı trafiklere herhangi bir ek donanım ve sorumluluk yüklemeyen, mevcut hava trafik kurallarına uyan ve gerekli prosedürleri uygulayabilen sistemlere sahip insansız hava araçları ile hava sahası yönetimine entegre edilmesi öngörülmüştür.

Bu şartlar altında mevcut Aletli Uçuş Kurallarını (IFR) uygulayabilen insansız hava araçlarının sisteme girmesi sonucunda ortaya olumlu bir sonuçtan ziyade halihazırda işleyen hava sahası yönetiminin aksaklık yaşanmadan devam etmesi büyük bir başarı olacaktır.

Hava sahasına giren İKU'larının hava trafik yönetiminde bir yük oluşturacağı ise trafik hacminin artmasıyla beklenmektedir. Ancak sadece trafik hacminin artmasının yanı sıra farklı tasarımlara sahip insansız hava araçları insanlı havayolu uçakları ile farklı motor performansına ve bu durumdan kaynaklı farklı seyir ve yaklaşma süratlerine sahip olması hava trafik yönetimi açısından olumsuz bir durum ortaya koyacaktır. Yoğun hava trafiğine sahip havalimanlarında yaklaşma hizmeti verilirken sıraya alınan uçakların aralarındaki hız farkları dikkate alınır. Örneğin İnsansız Kargo Uçağını takiben sırada bekleyen sekiz insanlı hava trafiği olduğu bir havaalanında, İKU'nun inişini takiben yedinci ve sekizinci hava trafiğinin iniş süresi, İKU'nun sıraya girmediği duruma göre %52 ile %72 oranında uçuş süresinin arttığı tespit edilmiştir (Savaş, 2019). Uçuş süresinin %52 oranının artışın bir sonucu olarak

yakıt tüketiminden ötürü maliyetlerin ve karbon emisyonun artışına sebebiyet verecektir. Aynı zamanda hava sahası yönetiminin daha etkin kullanımı ihtiyacı ortaya çıkacaktır.

4.4. Havaalanı İşletme Yönetimine Etkileri

Havaalanı işletmesini hava tarafı ve kara tarafı olarak ele alındığında, İKU'nın kullandığı havaalanlarında tasarımlarına bağlı olarak mevcut havaalanlarında havayolları için sağlanan kolaylıklardan farklı ihtiyaçlar ortaya çıkacaktır.

Öncelikle hava tarafından havaalanına inişini gerçekleştiren İKU yükleme ve boşaltma işleminin gerçekleştirileceği terminal alanına rule yapabilmesi için gerekli donanımına sahip olacak ancak rule süratinin diğer uçaklardan farklı olabileceği ön görülerek sadece İKU için tahsis edilmiş bir yol tahsis edilebilir. Yerde hareket eden İKU'nın yaşayabileceği aksaklıkları değerlendirerek, yardım ekiplerinin müdahale edene kadar belli bir süre gerekeceğinden, diğer insanlı trafikleri etkilememesi için ayrı bir yol tahsis edilmesi havaalanı operasyonlarının İKU'larından dolayı herhangi bir aksaklığa yaşamadan devam etmesini sağlayacaktır.

İnişi tamamladıktan sonra terminal alanına kendine tahsis edilmiş yol ile park pozisyonuna alınan İKU'nun yükleme ve boşaltma işleminin yapılması için gerek emniyetler alındıktan sonra operasyona devam etmek mümkün olacaktır. Emniyete alınma işlemleri için bir teknisyen tarafından uçağa takoz konulması, motor ve hava alığı gibi bölgelerde gerekli müdahalelerin yapılması, fren ve lastik kontrolü gibi işlemlerin yapılması için uygun bir park pozisyonu ihtiyacı olacaktır.

Hava tarafında gerçekleştirilecek en önemli işlem yükleme ve boşaltma işlemi İKU'nın tasarımına göre uygulama usulleri farklılık gösterecektir. Mevcut tasarımlarımdan bazıları sabit bir yük bölmesinin uçak üzerine monte ve demonte edilmesi ile yükleme ve boşaltma işlemi gerçekleşirken, bazı İKU'larının geleneksel kargo uçaklarına benzer bir yükleme hacmi olduğu görülmektedir. Ancak bu konuda yükleme ve boşaltma metotları her ne kadar farklılık gösterse de ortak noktaları uçak üzerinde herhangi bir insan bulunmaması ve bu işlemleri yerde gerçekleştirecek kişilerin yükün ağırlık merkezinin hesaplı, dengeli ve İKU'nun limitleri dahilinde yapılıyor olmasıdır. Gelecekte birçok farklı model İKU için hizmet sağlanması ve gerekli yeterliliğe sahip ekipman ve personel bulundurmak gerekecektir.

İKU terminal alanında diğer insanlı kargo uçaklarını olumsuz etkilemeyecek şekilde pozisyon alabilir. Kara tarafı operasyonları hava kargo taşımacılığı için

kaçınılmaz bir gerekliliktir. Hava tarafında gerçekleştirilen yükleme ve boşaltma işlemine takiben depo kısmında uygulanan elleçleme sürecini takiben aynı adrese karayolu veya havayolu ile sevk edilecek ürünler bir araya getirilerek uygun ekipman ile taşımaya uygun hale getirilecek bir alana ihtiyaç duyulur. Kara tarafında ise karayolu ile sevk edilecek malzemelerin ilgili araçlara yüklenmesi için gerekli ekipmanların ve kolaylıkların olması gerekmektedir. Depo ve kara tarafı uygulamaları hava kargo taşımacılığı uygulamalarına göre herhangi bir farklılık göstermeyeceği değerlendirilmektedir.

4.5. E-Ticaret Zincirine Etkileri

Ticaret, paranın bulunuşundan önce zamanlarda takas ile başlamış ve halen günümüzün vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Değerli metaller takiben paranın bulunuşu ile devam eden bir değişim süreci yaşamıştır. Hızla gelişen teknoloji ile sanal bir ortama taşınan ticaret kredi kartları ve banka havaleleri ile devam etmektedir. İnsanlar yaşadıkları bölgedeki satıcıların elinde olan ürünlerden ihtiyaçlarını karşılamak zorunda kaldıkları zaman, ihtiyaçlarını karşılayacak ürünü satan satıcı ile diyalog kurmak zorundaydı. Bunun için telefon koordinesi yeterli olmayıp yer değiştirmek gerektiğinde yol bir maliyet ve zaman kaybı olarak müşterinin önüne çıkmaktadır.

Elektronik ticaret sayesinde söz konusu problemler çözülerek, tüm dünya üzerindeki üretici ve satıcıların, tedarikçi ve hatta son tüketiciye kadar herkesin ulaşılabilir olduğu bir platform yaratılmıştır. Ancak elektronik ticaretin aksaksız işlemesi için çok güçlü bir lojistik ağa ihtiyacı olduğunu göstermiştir. Çünkü alıcı ve satıcıyı ortak alanda buluşturmak yeterli olmayacak, alıcının en kısa sürede ürününü teslim alması alışveriş memnuiyetini arttıracak ve ihtiyaçların karşılanma hızı satıcının daha çok talep almasını sağlayacaktır.

Günümüzde ülke içerisinde en çok tercih edilen taşıma sistemi karayolu taşımacılığıdır. Aktarma merkezleri kurularak gönderici ile alıcı arasında kurulan istasyonlar sayesinde kargolar taşınmaktadır. Türkiye’de önde gelen kargo taşıma şirketlerinden olan Yurtiçi (YK) ve MNG kargoya ait hedeflenen kargo teslimat süreleri aynı olup, Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Yurtiçi ve MNG Kargo Şirketlerinin Gönderi Teslimat Süreleri

	Mesafe	Hedeflenen Teslim Süresi	
		Minimum	Maksimum
Kapıdan Kapıya Teslimat Süresi	600 km'e kadar	1 iş günü	4 iş günü
	600-1200 km (YK)	2 iş günü	5 iş günü
	600-1000 km (MNG)	2 iş günü	5 iş günü
	1200 km üzeri	3 iş günü	6 iş günü

Kaynak: Yurtiçi ve MNG kargo, 2023

Türkiye içerisinde kargo dağıtımını için verilen söz konusu teslimat süreleri iş günleri dışında ve mücbir sebeplerin gerçekleşmemesi halinde beyan edilen süreler olup iş günü olarak hesaplanmıştır. Tabloda belirtilen mesafe ise şehirlerarası en kısa mesafe olarak değil, kargo şirketinin taşıma ağına göre belirtilmiş mesafelerdir. En yüksek barem olan 1200 km şehirler arası en kısa yol olarak göz önüne alındığında ve hava kargo hacminin yaklaşık %49'una sahip İstanbul şehri gönderici noktası baz alındığında kargonun teslimatının üç iş günü sürecektir bölge; Şanlıurfa, Diyarbakır, Bingöl, Erzurum ve Artvin şehirlerinin oluşturduğu hattın doğu kısmıdır. Yaklaşık ülke yüz ölçümünün 3'te 1'lik kısmını kapsayan bu alan E-ticaret ile satın aldıkları ürünlere erişimi ancak 3 iş günü içinde olacaktır. Karayolu taşımacılığı ile aktarma istasyonlarına dayalı bir sistem ile bu sürenin kısaltılması mümkün olmayacaktır. Ayrıca her aktarma istasyonunda yer değiştiren kargoların hasar görme ihtimali artmaktadır. E-ticaret ile satın alınmış özellikle yüksek değerliye sahip ürünlerin emniyetli ve hızlı taşıma hava kargo taşımacılığı ile teslimat sürelerinin kısaltılması mümkün olacaktır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür çalışmasında insansız kargo uçağı kavramına sıklıkla karşılaşılmamakta ancak yapılan çalışmaların büyük bir kısmı dikey iniş kalkış yapan, çoğunlukla anten anteni görme prensibi ile görüş içerisinde veya görüş dışı uçabilen modellerde ise kısıtlı menzile sahip insansız hava araçları ile genellikle son kullanıcıya yapılan teslimat ile alakalı olduğu gözlemlenmektedir.

İnsansız Hava Aracı teknolojisinin hızla gelişmesi sonucu savunma sanayinde kullanımı yaygınlaşmasıyla birlikte farklı amaçlar ile kullanımı yakın geçmişte gözlenmiştir. Bu gelişmeler sonucunda yakın gelecekte hava kargo taşımacılığı sektöründe kullanımı birçok sektör raporlarında belirtilmektedir.

Araştırmada orta irtifa havada uzun kalışlı (MALE) sınıfı İnsansız Kargo Uçakları (UKA) ile Türkiye içerisinde operasyonlarını gerçekleştirmeleri için uygun havaalanı yapısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Literatür taramasında hava kargo taşımacılığı için MALE sınıfı İKU için proje bazında, prototip üretimi yapılan çalışmalar mevcut olup, ancak bu konsept çalışmanın ülkemiz için uygulanabilir olması ve etkileri, mevcut havaalanlarının gerekli operasyonları gerçekleştirmeleri için ihtiyaç duyacakları düzenlemelerin neler olduğu, havaalanlarının mevcut insanlı ve insansız trafik şartlarını göz önünde bulundurarak uygun havaalanı kriterlerinin belirlenmesi ile ilgili yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır.

Literatür çalışmasının daha anlaşılır olması için uluslararası alanda yapılan çalışmalar ve Türkiye’de yapılan çalışmalar olarak iki başlık altında incelenmiştir.

5.1 Uluslararası Alanda yapılan Literatürdeki Çalışmalar

“Concepts for Cargo Ground Handling of Unmanned Cargo Aircrafts and Their Influence on the Supply Chain” isimli Meincke P., Asmer L., Geike L., & Wiarda, H. tarafından 2018 yılında yayımlanan makalede hava taşımacılığının lojistik

sektörünün tamamındaki payının istikrarlı bir şekilde artması, temel olarak hız, güvenlik ve güvenilirlik gibi üç önemli avantajdan kaynaklandığı belirtilmiştir. Artan talepleri karşılamak için otomatik taşıma ve teslimat süreçleri giderek daha fazla kullanıldığı değerlendirilmiştir. DLR (Alman Havacılık ve Uzay Merkezi) araştırma projesi Otomatik Alçak İrtifa Teslimatı (ALAADy) kapsamında, Minimum Risk Konfigürasyonu ön koşulu altında, bir ton taşıma kapasitesine sahip, tam otomatik bir İnsansız Kargo Uçağı (İKU) geliştirildiği, bu konunun teorik ve pratik kavramları, gelecekteki lojistik için mümkün olan en otomatik süreci elde etmek amacıyla ele alınmıştır. Ayrıca, İnsansız Hava Araçlarının (İHA) temel yer hizmetleri süreçlerini temsil eden bir model tasarlamak amacıyla yer hizmetleri kavramları ve insansız sistemlerin mevcut kabiliyetleri de dahil olmak üzere geliştirilmesi teorik olarak çalışılmıştır. Verilen konseptlerde İKU'ların yer hizmetleri süreçlerine yönelik temel gereklilikleri hedefleyerek bu konuda daha fazla araştırma yapılmasına bir temel oluşturmak amaçlanmıştır. Elde ettiğimiz bulguların, bir İHA'nın otomatik geri dönüşüne yönelik yaklaşımlarının, İKU yer hizmetleri ve son kullanıcı teslimat lojistiğinde gelecekteki analizler için temel oluşturabileceğini anlatılmıştır.

“Unmanned Freight Operations” isimli Dr. Temme ve Helm tarafından 2016 yılında Alman Havacılık ve Uzay Merkezi Uçuş Rehberliği Enstitüsü tarafından yayımlanan makalede, havacılıkta insansız uçakların sivil uygulamalarının önemi artıyor. Mikro drone sistemlerinin kullanımının yanı sıra, daha büyük yük hacimlerinin taşınması giderek daha fazla ilgi görüldüğü belirtilmiştir.

“Preliminary Characterization of Unmanned Air Cargo Routes Using Current Cargo Operations Survey.” isimli Sakakeeny J., Dimitrova N., & Idris, H. R. tarafından 2022 yılında AIAA AVIATION 2022 Forum (p. 3701)'da yayımlanan makale mevcut kargo operasyonları araştırması kullanılarak insansız hava kargo rotalarının ön karakterizasyonun yapılması amaçlanmıştır. Önümüzdeki yıllarda bölgesel kargo insansız hava aracı sistemlerinin Ulusal Hava Sahası Sistemine dahil edilmesi öngörüldüğü, uzaktan kumanda edildikleri için, bu uçakların giderek artan otomasyon ve özerklikten faydalanması, navigasyon, iletişim, komuta ve kontrol için özel altyapı düzenlemeleri gerektirmesi ve potansiyel olarak hava trafik kontrolünden özel muameleye ihtiyaç duyması beklendiği belirtilmiştir. Ulusal hava sahası genelinde bu operasyonların erişilebilirliğini ve etkilerini değerlendirmek amacıyla, bu ön çalışma, Amerika Birleşik Devletleri kıtasındaki hava kargo operasyonlarına yönelik mevcut ve tahmini gelecekteki talebi araştırmaktadır. Hava kargo talebi, ülke çapında kaba bir

kargo operasyonları sınıflandırması oluşturmak için uçak tipine ve havaalanı kategorilerine göre ayrıştırılmaktadır. Daha sonra, bölgesel kargo insansız hava aracı sistemlerinin hava sahası üzerindeki etkilerinin daha detaylı incelendiği Teksas eyaleti odak bölge olarak inceleniyor. Bölgesel kargo insansız hava aracı sisteminin erişilebilirliğine yardımcı olabilecek potansiyel teknolojiler, odak bölgedeki havalimanlarında tanımlanıyor. Havaalanı düzeyindeki istatistikleri tartışmak için tek bir havaalanı olan Fort Worth Alliance vurgulanmıştır. Son olarak, kargo operasyonlarının türüne göre havalimanlarının niteliksel bir sınıflandırması önerilmektedir.

“Multi-Rotor Platform Based UAV Systems” isimli G.T. Black, K. Cohen ve C. Ronflé-Nadaud tarafından 2020 yılında yazılan kitabın ilk bölümünde “Integration in the National Airspace (Europe and USA) – UAV Classification and Associated Missions, Regulation and Safety, Certification and Air Traffic Management” konusu ele alınmıştır. Sivil İHA sistemlerinin kullanımının giderek yaygınlaştığı ve birçok sektörde kullanıldığı belirtilmektedir. Yüksek düzeyde otomasyon olan İHA sistemlerinin hava kargo taşımacılığı gibi sektörlerde farklı boyut ve şekillerde kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Gelecek 10 yıl içerisinde İHA sistemlerinin havacılık pazarında payının yaklaşık %10 olması beklenmesi, yılda 15 milyar euroluk bir hacime tekabül ettiği belirtilmektedir. Çözülmesi gereken en büyük zorluk olan diğer insanlı uçuşlar ile birlikte entegrasyonu üzerinde durulmuştur.

Transforming Joint Air Power The Journal of The Joint Air Power Competence Center (JAPCC) dergisinde E. Ven tarafından 2014 yılında yayımlanan “Unmanned Cargo Aircraft! A Paradigm Shift for Theatre and Tactical Level Logistics in Asymmetric Conflicts?” adlı makalede The Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe (ACARE) tarafından 2011 yılında yayımlanan stratejik planında 2050 yılından önce ilk tam otonom kargo uçaklarının uçuşlarını gerçekleştireceğinden hareketle çalışmasının amacını sivil alandaki gelişmeleri göz önünde bulundurarak özellikle lojistik sektöründe sivil ve asker sinerjisinden doğan imkan ve çözümler olarak tanımlamıştır.

Molecular Diversity Preservation International (MDPI) dergisinde, V. Alarcón, M. García, F. Alarcón, A. Viguria, Á. Martínez, D. Janisch, J. J. Acevedo, I. Maza, ve A. Ollero tarafından yazılan, 2020 yılında yayımlanan “Procedures for the Integration of Drones into the Airspace Based on U-Space Services” konulu makalede İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin artan hızla büyümesini sağlayabilmesi için önünde beliren

engelleri aşması gerektiğini vurgulamaktadır. Bunun için U-space projesi ile Avrupa için özellikle çok düşük seviyede (VLL) çok sayıda İnsansız Hava Aracını idare etmeyi amaçlayan bir drone trafik yönetim çözümü olduğu belirtilmiştir.

Progress in Aerospace Sciences dergisinde A. Bauranov, J. Rakas tarafından yazılan 2021 yılında yayımlanan “Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches” konulu makalede kentsel hava sahasının tasarımı ve yönetimine ilişkin akademik ve endüstri literatürünü bir araya getiriyor. Önerilen hava sahası kavramlarını analiz ederek, güçlü ve zayıf yönlerini belirliyor ve araştırmadaki boşluklara dikkat çekiyor. Bu araştırmayı yaparken hava sahasının boyutu, kapasitesi ve geometrini tanımlan yapısal faktörler tanımlanmaktadır. Bu faktörler ise; Emniyet ile ilgili faktörler, sosyal faktörler, sistem faktörler ve uçak faktörleridir.

Remote sensing dergisinde, A.C. Watts, V.G. Ambrosia ve E.A. Hinkley tarafından yazılan ve 2012 yılında yayımlanan “Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use” konulu makalede son on yılda askeri alanda kullanımı yaygınlaşan İnsansız Hava Araçlarının artık yer algılamalı keşif ve bilimsel veri toplama amaçları için sivil kullanıcılar tarafından da kullanılmaya başlandığı belirtilmektedir. Bu çalışmada İnsansız Hava Platformlarının sensör yeteneklerini göz önünde bulundurarak bilimsel araştırmalarda kullanılmak üzere kullanıcı talepleri açısından avantajları değerlendirilmiştir. Ayrıca mevcut yasal düzenlemeler kapsamında bu bilimsel amaçlar ile kullanım durumunu kısaca tartışmaya açmıştır.

Range Commanders Council tarafından 2008 yılında yazılan “Flight Safety System (FSS) For Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Operation” konulu özel raporda, İnsansız Hava Araçlarının ufuk ötesi güvenli bir şekilde kurtarılması için bir standart geliştirmek olduğu belirtilmektedir. İnsansız Hava Araçlarının güvenlik bilgilerinin küresel olarak izlenmesi, uçuş kontrol bilgisayarının sıfırlanması, yeni rota oluşturulması, irtifasının değiştirilmesi ile güvenli kurtarma işleminin gerçekleştirilmesi için görüş ve öneriler sunmaktadır.

Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR)’nin düzenlediği, Alman Havacılık ve Uzay Kongresinde, Uçuş Rehberliği Enstitüsünden M. Tema, C. Trempler tarafından 2017 yılında yayımlanan “Introduction of Unmanned Aerial Vehicles into Airport Ground Operations” adlı makale havaalanı yönetimini desteklemek amacıyla İnsansız Hava Araçlarının kullanımı için üç ana kullanım alanı önerir; pist denetimi, kuşlar ile mücadele ve Satih Yönetim Sistemleri için taktik bir bileşen. Satih

Yönetim Sistemlerinde, iniş yapan yabancı trafiklerin park pozisyonuna götürmesi için düşünülmüştür.

IEEE Access dergisinde, R. Shrestha, R. Bajracharya, ve S. Kim tarafından 2021 yılında yayımlanan “6G Enabled Unmanned Aerial Vehicle Traffic Management: A Perspective” adlı makalede İnsansız Hava Araçları ve trafik yönetimi üzerine gelişen teknolojiye bağlı olarak hava haritalama, tarım ve gözetim gibi çeşitli sektörlerde görüş hattı içinde ve ötesinde uçan İnsansız Hava Aracı Trafiklerinin güvenli bir şekilde yönetiminin esas olduğundan bahsetmektedir. Gelecekte, kentsel hava sahası, çeşitli türdeki otonom hava araçlarıyla tıkanacak ve bu nedenle, sağlıklı emniyetli bir hava trafik yönetimine ihtiyaç duyulacağı belirtilmektedir.

Molecular Diversity Preservation International (MDPI) dergisinde, M. Hatfield, C. Cahill, P. Webley, J. Garron ve R. Beltran tarafından yazılan ve 2020 yılında yayımlanan “Integration of Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System-Efforts by the University of Alaska to Support the FAA/NASA UAS Traffic Management Program” konulu makalede son on yılda artan İnsansız Hava Aracı Sistemleri yaşamlarımızı iyileştirmek ve ekonomik anlamda kazanç sağlamaları için harika bir fırsat sunarken, aynı zamanda bunlar insanlı uçuş operasyonlarını önemli ölçüde aksatabilir ve hayatlarımızı tehlikeye atabileceği konusuna dikkat çekmek istenmiştir. İHA’ların Amerika Birleşik Devletleri’nin Ulusal Hava Sahası Sistemine güvenli bir şekilde entegre etmenin zorlu ve rekabetçi gereklilikleri dengelemek, birkaç yıldır Federal Havacılık İdaresinin en önemli önceliği olduğu belirtilmiştir. Bu makale Federal Havacılık İdaresi’nin ve Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA) tarafından bu açığı gidermek için İHA Trafik Yönetim sistemini oluşturmak için gerçekleştirilen çabaları özetlemektedir.

“Analysis of airport design for introducing infrastructure for autonomous drones.” İsimli Edelman, H., Stenroos, J., Peña Queralta, J., Hästbacka, D., Oksanen, J., Westerlund, T., & Röning, J. tarafından 2023 yılında yayımlanan makalede otonom dronların yer operasyonlarına ve hizmetleri için ölçeklenebilir ve sürdürülebilir olması için gerekli altyapı ihtiyacını karşılayan havaalanı tasarımı analiz edilmektedir. Otonom dronlar alanındaki hızlı ilerlemeye rağmen, altyapı ihtiyaçlarının geliştirilmesine daha az ilgi gösterildi. Çağdaş havalimanı tasarımı, otonom drone hizmetlerini sağlayacak altyapı için potansiyel çözümler sunuyor. Bu amaçla, bu makale otonom drone hizmetleri için hava ve kara operasyonlarını birbirine bağlamaya yönelik bir çerçeve oluşturmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, otonom lojistik ve hava

verilerinin toplanması amacıyla insansız hava araçlarını desteklemek için gereken minimum tesisleri tanımlıyor.

Journal of Air Transport Management dergisinde, M. Grote, A. Pilko, J. Scanlan ,T. Cherrett, J. Dickinson, A. Smith, A. Oakey ve G. Marsden tarafından yazılan, 2022 yılında yayımlanan “Sharing airspace with Uncrewed Aerial Vehicles (UAVs): Views of the General Aviation (GA) community” konulu makalede genişleyen İnsansız Hava Araçları Operasyonlarından dolayı genel havacılık topluluğu içinde yer alan spor ve eğlence amaçlı hava sahası kullanıcıları için özellikle kontrolsüz hava sahasında gerçekten zor durumların yaşanmasına sebebiyet verdiğinden bahsedilmektedir. İnsansız Hava Araçlarının, mürettebatlı uçaklar ile entegre bir şekilde operasyonların yürütülebilecek bir ortak havası için gerekli düzenlemelerin acilen yapılması gerektiğine vurgulanmıştır. Çalışmanın amacı genel havacılık topluluğundan bir grup ile bağlantı kurularak ortak hava sahası konseptine dair duyulacak endişe ve sorunları ortaya çıkarmak olduğu belirtilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin, Federal Havacılık İdaresi tarafından yayımlanan “Integration of Unmanned Aircraft Systems Into The National Airspace System, Concept of Operation” adlı döküman 2012 yılında İnsansız hava araçları sistemlerini, Ulusal hava sahalarına entegre edilmesi için bir operasyon konsepti dökümanı hazırlanmıştır. Bu döküman öncelikle bir hava trafik yönetimi perspektifinden yaklaşır ve NextGen insansız hava araç sistemlerinin ulusal hava sahalarına entegrasyonunun etkilerinden bahsetmektedir. Federal Havacılık İdaresi tarafından söz konusu hava araçları için gerekli pilot lisanslandırma hakkında gereklilikler ortaya koymuştur.

5.2 Türkiye’de Yapılan Literatürdeki Çalışmalar

“Dronelar ve Hava Kargo Faaliyetleri” konulu Kanat tarafından 2023 yılında yayımlanan kitabında havayolu taşımacılığının, küresel ekonomi ve sosyo-kültürel faaliyetler içinde önemli bir role sahip olduğu, insanların ve kargoların uzun mesafelerde verimli bir şekilde taşınmasını sağladığı belirtilmiştir. Geleneksel havayolu taşımacılığı, temel olarak ticari havayolları, kargo taşıyıcıları ve özel uçaklarla yürütülen faaliyetleri içerdiği, günümüzde halen bu faaliyetlerin büyük çoğunluğu havayolları tarafından işletilen insanlı uçaklar aracılığıyla gerçekleştirildiğine değinilmiştir. Son çeyrek yüzyılda teknolojiye gelişmeler, insansız hava araçları (İHA) ya da drone teknolojisinde de hızlı bir ilerleme

kaydedilmesine sebep olduğu, bu söz konusu ilerlemeler neticesinde dronelerin güncel kullanım alanları yaygınlaşmaya başladığı belirtilmiştir. Böylelikle dronelarla hava kargo ve lojistik faaliyetlerinin yürütülmesi en güncel havayolu taşımacılığı yöntemlerinden biri olarak literatürde yerini almaya başlamış ve bu faaliyetlerde dronelerin kullanımı hızla artmaya devam ettiği ve bu konuda hava sahası düzenlenmelerine ihtiyaç duyulduğundan bahsedilmiştir. Kitabında dronelar hakkında kısa bilgi verilmiş ve dronelerin hava kargo faaliyetlerinde kullanımının dünyamıza olan etkilerinden bahsedilmiştir.

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalında Tamer Savaş'ın “İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmamış Hava Sahasına Entegrasyonunun Pilotaj ve Hava Trafik Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi” konulu yayımlanmış Doktora Tezinde insansız hava araçlarına yapılan büyük yatırımlar ve artan sayıları karşısında, mevcut Hava Trafik Yönetimi tarafından emniyetli bir şekilde insanlı uçuşlar için tasarlanan yapı içerisinde yani Ayrılmamış Hava Sahalarında insansız hava araçlarının dahil edilmesi için yeni bir hava trafik yönetimi modelini çalışmasında ortaya koymaktadır.

Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesinin bünyesinde Uluslararası Mühendislik ve Araştırma ve Geliştirme Dergisinde, Özlem Şenvar ve Seçkin Ünver tarafından yazılan ve 2022 yılında yayımlanan, “An Overview to Unmanned Aerial Vehicles from Perspectives of Quality and Safety Management in Aviation” adlı makale İnsansız Hava Araçlarının yıllardır askeri alanda kendini gösterdiğini ancak sivil sektörde izleme, gözetleme, uzaktan algılama ve dağıtım gibi birçok amaçla kullanılmasından hareket ile henüz sektörde vücut bulmayan kalite ve emniyet yönetimi kavramlarına genel bir bakış sağlamak amacıyla yazılmıştır.

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisinde, A.Yılmaz ve H. Ulvi tarafından 2022 yılında yayımlanan, “Kentsel Hava Sahasında İnsansız Hava Aracı Sistemleri Trafik Yönetimi için Verilmesi Gereken Hizmetler ve Kullanılabilecek Bazı Teknolojiler” konulu makalede, dronlar, uzaktan pilotlu hava aracı sistemleri (UPHAS), otonom hava araçları, henüz konsept teknolojiler olarak karşımıza çıkan sürücülü ve sürücüsüz kişisel hava araçları (KHA) gelecekte günlük yaşantımızın bir parçası olarak insanların yaşadığı yerleşim yerleri ve civarında ciddi bir kentsel hava hareketliliği (KHH) oluşturacağı ön görülmektedir. Kentsel hava sahasında gerçekleşecek olan bu hareketliliğin, mevcut hava trafik yönetimi (HTY) ile uyumlu bir şekilde yönetilmesi büyük önem arz etmektedir. İnsansız hava aracı sistemleri

trafik yönetiminin (İTY) ihtiyaçları mevcut hava trafik yönetiminden farklıdır. Ancak mevcut teknolojilerle beraber yeni teknolojiler kullanılarak insansız hava araçları trafik yönetimi için çözümler sunulabileceği anlatılmaktadır.



ALTINCI BÖLÜM

6. YÖNTEM: ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (MCDM)

6.1 Çok Kriterli Karar Verme (MCDM)

Karar Verme, iki veya daha fazla seçenek arasında seçim yapma eylemidir. Ancak mevcut seçenekler arasında her zaman “doğru” veya “yanlış bir kararın olamayabileceği de unutulmamalıdır. Dikkate alınmamış daha iyi bir seçenek olabilir veya araştırma esnada doğru bilgi mevcut olmayabilir. Çok kriterli değerlendirme problemleri, çözüm sürecinin başlangıcında açıkça bilinen sonlu sayıda alternatiften oluşur. Çok kriterli tasarım problemlerinde (çok amaçlı matematiksel programlama problemleri) alternatifler açıkça bilinmemektedir. Matematiksel bir model çözülerek bir alternatif (çözüm) bulunabilir. Alternatiflerin sayısı ya sonsuzdur ya da sayılabilir değildir (bazı değişkenler sürekli olduğunda) ya da sayılabilirse (tüm değişkenler ayrık olduğunda) tipik olarak çok büyüktür. Ancak her iki tür problem de Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) problemlerinin bir alt sınıfı olarak kabul edilmektedir. MCDM problemleri, alternatiflerin ağırlıklarının belirlenme şekline göre de iki ana sınıfa ayrılabilir: Telafi Edici ve Üstün Sıralamalı Karar Verme. Birincisinin örneği Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), ikincisi ise Eliminasyon ve Seçimi İfade Eden Gerçekliktir (ELECTRE). Herhangi bir MCDM yönteminin temel çalışma prensibi aynıdır: Kriterlerin Seçimi, Alternatiflerin Seçimi, Birleştirme Yöntemlerinin Seçimi ve son olarak ağırlıklara veya üstünlüklere dayalı olarak alternatiflerin Seçimidir.

Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) veya Çok Kriterli Karar Analizi (MCDA), birden fazla kriter içeren karar ve planlama problemlerinin yapılandırılması ve çözülmesiyle ilgilenmektedir. Amaç bu tür sorunlarla karşı karşıya kalan karar vericilere destek olmaktır. Tipik olarak, bu tür problemler için Çok Kriterli Karar Verme benzersiz bir optimal çözüm bulmak mümkün değildir. Bu yöntem ile çözümle arasında ayırım yapmak için karar vericinin tercihlerini kullanmak gerekir. Karar vericilerin konuya hakimiyeti elde edilecek çözümün geçerliliğini ortaya koyacaktır.

6.1.1 ÇKKV Yöntemi Adımları ve Prensipleri

ÇKKV çalışmasının yapılması için işlem basamaklarının sırası ile uygulanması gerekmektedir. ÇKKV çalışması için izlenmesi gereken işlem basamakları Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: ÇKKV Çalışması İşlem Basamakları

Sıra Nu.	İşlem Basamağı
1	Karar verme sürecinin amacını/hedefini belirlemek
2	Kriterlerin/Parametrelerin/Faktörlerin/Karar Vericinin Seçimi
3	Alternatiflerin Seçimi
4	Değerlendirme yöntemlerinin seçimi
5	Farklı değerlendirme yöntemlerinin sonuçların değerlendirilmesi
6	Sonuçlara dayalı karar verme

Kaynak: Majumder, 2015

İşlem basamakları sırası ile alındığında, ilk olarak çalışmanın amacının belirmek gerekir. Çalışmanın amacı ve sınırlarını belirlemek sonucun geçerliliği için önem taşımaktadır.

Kriterlerin belirlenmesi için kararlar tutarlı, birbirinden bağımsız, aynı ölçekte temsil edilen, ölçülebilir ve çözüm alternatiflerle ilgisiz olmaması gerekmektedir.

Alternatifler belirlenirken karşılaştırma yapılabilir, uygun, gerçekçi, uygulanabilir ve etkin olması gerekmektedir.

Değerlendirme yönteminin seçimi için en sık kullanılan; Analitik Hiyeraşi Süreci, (Analytical Hierarchy Process -AHP), Bulanık Mantık ÇKKV (Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Process-FDM), ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality) ve PROMETHUS (Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations) yöntemlerinden bazılarıdır. ÇKKV sürecine göre değerlendirme yönteminin seçimi önem kazanmaktadır. (M. Majumder, 2015)

ÇKKV sürecinden geçerli bir sonuç elde etmek için seçilen kriter ve alternatiflerin uygun karar vericiler ile değerlendirmesi yapıldıktan sonra farklı değerlendir metotlarının kullanması uygun olacaktır.

Farklı yöntemler uygulanması ile aynı alternatifin uygun görülmesi karar verme sürecinin güvenilirliğini arttıracaktır.

6.2 Araştırmada Kullanılacak ÇKKV Yöntemleri

Çok kriterli karar verme çalışmasından elde edilen veri setinin incelenmesi için kullanılacak yöntemler; kriter ağırlıklarının belirlenmesi için entropi yöntemi, takiben en iyi alternatifin seçilmesi için ARAS (Additive Ratio Asseement) yöntemi ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemidir. Çalışmanın son bölümünde ARAS ve TOPSIS yöntemi ile ortaya çıkan alternatifler değerlendirilecektir. ARAS yönteminde kriterlerin ağırlıklandırması için Entropi yöntemi kullanılırken, TOPSIS yönteminde ise ortalama ağırlık yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

6.2.1 ENTROPİ Yöntemi

ÇKKV çalışmasında entropi yöntemi kriter ağırlıklarını hesaplamak için kullanılmıştır. Olasılık teorisinde Sherman ve Waever (1948) bilginin içerisinde bulunan belirsizliği ölçmek için entropi yöntemini geliştirmiştir.

ÇKKV çalışmasında, karar vericilerin görüşleri doğrultusunda ortaya konulan alternatiflerin arasından en uygununu seçmek için rasyonel bir bakış açısı ortaya konulur. Entropi yöntemi ile amaçlanan farklı karar vericiler tarafından kriter ağırlıklarının objektif bir biçimde bilgilerin içinde bulunan belirsizlik ölçülerek, farklılaşmaları hesaplanmaktadır. (N. Geçer, 2023)

Entropi yönteminin için ilk olarak karar matrisinin belirlenmesi gerekmektedir.

Denklem (6.1), potansiyel çalışan seçim verilerine dayanarak karar matrisini belirlemek için kullanılır. D bir karar matrisi olduğunda, m alternatif veri sayısı, n kriter sayısı ve x_{ij} her kriterin alternatif değeridir.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{i1} & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (i=1, m; j=1, n) \quad (6.1)$$

Karar matrisinin normalizasyonu; denklem (6.2) kullanılarak yapılmıştır. Burada p_{ij} ij, kritere göre her alternatifin normalleştirilmiş değeridir.

$$p_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n \quad (6.2)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij}$$

Her bir kriterin entropi değerin hesaplanması için denklem (6.3) kullanılır. Burada E_j , entropi kriterlerinin değeri ve k sabit bir değerdir.

$$E_j = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, k = (\ln m)^{-1} \quad (6.3)$$

Her bir kriter için sapma değerinin belirlenmesi için denklem (6.4) kullanılır. Burada d_j sapma değerini gösterir.

$$d_j = 1 - E_j \quad (6.4)$$

Denklem (6.5), her bir entropi kriterinin ağırlığını belirlemek için kullanılır. Burada w_j kriter ağırlığı, d_s ise her sütun için hesaplanan d_j değeridir.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{s=1}^n d_s} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (6.5)$$

6.2.2 ARAS Yöntemi

ARAS (Additive Ratio Assesment) kelime anlamı olarak katkı oranı değerlendirmesi anlamına gelmektedir. Aras yöntemi Zavadskas ve Turskis tarafından 2010 yılında çelişkili niteliklere sahip karmaşık alanlar olgusunun kolayca göreceli karşılaştırmalar yapabileceğini gösteren bir felsefe ile yenilikçi bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır.

Aras yöntemi optimallik üzerine bir sıralama oluşturmak için kullanılır. Yöntemin başlıca avantajları son derece karmaşık sorunları ele alma potansiyeli (Büyükoçkan ve Güler, 2020), geçmiş literatür taraması sonucunda çeşitli alternatiflerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesinde tatmin edici olması, gerçekçi ve makul derecede doğru sonuçlar veren doğrudan ve kolay bir süreç sunmasıdır (Chenai et al, 2019).

Aras yöntemini, entropi yöntemi ile kriter ağırlıklarını belirlediğimiz ÇKKV matrisinde yer alan alternatiflerin sıralandırması için kullanılacaktır.

Denklem (6.6), İKU için uygun havaalanı alternatiflerinin karar matrisini belirlemek için kullanılır ve ilk satırda her kritere alternatif kod X0 olan ideal değeri temsil eden bir satır eklenir. X bir karar matrisi, m alternatif veri sayısı, n kriter sayısı ve X_{ij} her kriterin alternatif değeridir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ x_{i1} & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (i=1, m; j=1, n) \quad (6.6)$$

Kriterin optimum değeri bilinmiyorsa (6.7) ve (6.8) denklemleri kullanılır, burada X_{ij} = kriter alternatifin performans değeri ve X_{0j} = kriterin optimum değeridir.

$$X_{0j} = \frac{\max}{1} \cdot X_{ij} \text{ if } \frac{\max}{1} \cdot X_{ij} \quad (6.7)$$

$$X_{0j} = \frac{\min}{1} \cdot X_{ij} \text{ if } \frac{\min}{1} \cdot X_{ij} \quad (6.8)$$

Karar matrisinin normalizasyonu, kriterler faydalı ise denklem (6.9) kullanılır, burada X_{ij}^* faydalının normalleştirilmiş değeridir, ardından aşağıdaki normalleştirme gerçekleştirilir:

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=0}^m X_{ij}} \quad (6.9)$$

Denklemler (6.10) ve (6.11), burada R_{ij} , faydalı olmayanın normalleştirilmiş değeridir, ardından aşağıdaki normalleştirme gerçekleştirilir:

$$X_{ij}^* = \frac{1}{X_{ij}} \quad (6.10)$$

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}^*}{\sum_{i=0}^m X_{ij}^*} \quad (6.11)$$

Denklem (5.12), normalize edilmiş kriterlere karşı alternatif ağırlıkları belirlemek için kullanılır. Burada D normalize edilmiş ağırlık değeri ve w_j kriter ağırlığıdır.

$$D = [d_{ij}]_{m \times n} = R_{ij} \cdot w_j \quad (6.12)$$

Denklem (5.13), kriter her alternatifin optimizasyon fonksiyonunun değerini belirlemek için kullanılır. Burada S_i , alternatif optimizasyon fonksiyonu i 'nin değeridir.

$$S = \sum_j^n = 1 \text{ di}j, (i=1,2,...,m : j= 1, 2, n) \quad (6.13)$$

ARAS yönteminde alternatif sıralamaları belirlemek için denklem (6.14) kullanılır. Burada K_i alternatif bir sıralama değeridir ve S_0 alternatif optimizasyon fonksiyonunun 0 değeridir .

$$K_j = \frac{S_i}{S_0} \quad (6.14)$$

Entropi yöntemi ile karar vericilerin alternatifleri kriter bazında yaptığı değerlendirmelerden yola çıkarak kriter ağırlıkları belirlenmektedir. Entropi yönteminin işlem basamakları üçgen bulanık sayılar kullanılarak, kriter ağırlıkları üçgen bulanık sayı olarak bulunmuştur. Karar vericilerin kriter ağırlıklarını değerlendirmesi ile karşılaştırıldığında ise bulanık entropi yöntemi ile benzer sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

ARAS yönteminin uygulanmasında karar vericilerin yaptığı sözel değerlendirmeleri Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerin ortalama matrisinde, alternatifleri kriter bazında inceleyerek en iyi değerler ile ideal alternatif satırı oluşturulur ve matrise eklenerek, karar matrisi normalize edilir. Normalize edilen karar matrisi bulanık entropi yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılır. Son olarak elde edilen normalize edilmiş ve ağırlıklandırılmış üçgen bulanık sayılı karar matrisi Denklem 6.15 karekök metodu kullanılarak reel sayılara dönüştürülerek alternatif bazında S_i değeri bulunur (Göksü ve Güngör, 2008).

$F=(a_1,b_1,c_1)$ bulanık sayı olmak üzere;

$$K(F) = \sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)/3} \quad (6.15)$$

Bulunan bu değer S_0 olan S_i değerlerinin toplamına bölünerek normalize edilerek sıralandırması için K_i değeri elde edilir. K_i değerine göre alternatifler büyükten küçüğe doğru sıralandırılır.

6.2.3 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS, ilk olarak 1981 yılında Yoon ve Hwang tarafından tanıtılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. TOPSIS, Öklid mesafesi kullanılarak geometrik açıdan pozitif ideal çözümler ve negatif ideal çözümler ilkesini kullanır. Pozitif ideal çözümler, her bir nitelik için elde edilebilecek tüm en iyi değerlerin toplamı olarak tanımlanırken, ideal negatif çözüm, her bir özellik için elde edilen en kötü değerlerden oluşur. Göreceli mesafelerle yapılan karşılaştırmalara dayanarak, alternatif öncelik düzenlemeleri sağlanabilir. Bu yöntem, pratik kararları çözmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. TOPSIS yönteminin tercih edilme sebepleri; kavram basit ve anlaşılması kolaydır. Basit bir matematiksel biçimde de karar alternatiflerinin göreceli performansını ölçme becerisine sahip olmaktır. TOPSIS yöntemi, en iyi seçilen alternatifin sadece pozitif ideal çözümden en kısa uzaklığa sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda negatif ideal çözümden en uzun uzaklığa sahip olduğu kavramına dayanmaktadır.

TOPSIS yönteminin aşamaları;

- a. Normalleştirilmiş bir karar matrisi yapılması
- b. Normalleştirilmiş bir karar matrisinin ağırlıklandırılması,
- c. Pozitif ve negatif ideal çözüm matrisinin belirlenmesi,

d. Pozitif ve negatif ideal çözüm matrisi ile her alternatifin değerleri arasındaki uzaklığı belirlenmesi ile alternatiflerin sıralandırılmasıdır. (Rahim, R., Siahaan, A. P. U., Wijaya, R. F., Hantono, H., Aswan, N., Thamrin, S., ... & Sujarwo, S.,2018)

Bulanık TOPSİS yönteminde ise ağırlıklandırma için ortalama yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Karar vericilerin kriterler bazında alternatiflere ilişkin ve kriterlerin ağırlıklarına göre sözel olarak ifade ettiği değerlendirmelerin üçgen bulanık sayı olarak karşılıkları sırasıyla $\tilde{x} = (a_1, b_1, c_1)$ ifade edilir. K sayısında bulunan karar verici tarafından yapılan kriter değerlendirmeleri ortak bir üçgen bulanık sayıya çevrilmesi için Denklem 6.16 kullanılır (Ecer, 2007, 161-180).

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ijk}, c_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\} \quad (6.16)$$

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için ise Denklem 6.17 kullanılır.

$$w_{j1} = \min_k \{w_{jk1}\}, w_{j2} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk2}, w_{j3} = \max_k \{w_{jk3}\} \quad (6.17)$$

Karar Matrisi oluşturulduktan sonra matrisi normalize etmek için kriterlerin fayda yani maksimum olması istediğimiz ve maliyet yani minimum olması istediğimiz kriterler olarak ikiye ayrılır. Burada üçgen bulanık sayılar için B fayda, C ise maliyet kriteri olmak üzere karar matrisinin normalizasyon formülleri Denklem 6.18 ve 6.19'da sunulmuştur.

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), j \in B, c_j^* = \max_i c_{ij} \quad (6.18)$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), j \in B, a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (6.19)$$

Normalize edilen karar matrisi, ortak ağırlıklandırma yöntemi ile belirlenen kriter ağırlığı ile çarpılarak normalize edilmiş ve ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir. Takiben Bulanık Pozitif İdeal Çözüm (BPİÇ, A^*) ve Bulanık Negatif İdeal Çözüm (BNİÇ, A^-) değerlerini belirlemek için denklem 6.20 ve 6.21 kullanılır.

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*), v_j^* = \max_i \{v_{ij3}\} \quad (6.20)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-), v_j^- = \min_i \{v_{ij1}\} \quad (6.21)$$

Elde edilen BPİÇ ve BNİÇ ile $A^* = (v_j^*, v_j^*, v_j^*)$ ve $A^- = (v_j^-, v_j^-, v_j^-)$ üçgen bulanık sayısı her bir kriter için belirlenir. Bulanık TOPSIS algoritmasında kullanılan Vertex metodu denklem 6.22 ile gösterilmiştir. Vertex metodu üçgen bulanık sayılar ile ifade edilen alternatiflerin bulanık pozitif ideal çözümü için denklem 6.23 ve bulanık negatif ideal çözümden uzaklıklarının hesaplanması için denklem 6.24 kullanılmaktadır. (Güntut, 2019)

$m=(m_1,m_2,m_3)$ ve $n=(n_1,n_2,n_3)$ gibi iki üçgen bulanık sayıların arasındaki uzaklık Vertex metodu ile:

$$d(m, n) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \quad (6.22)$$

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(v_{ij}, v_j^*), \quad i=1,2,\dots,m \quad (6.23)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(v_{ij}, v_j^-), \quad i=1,2,\dots,m \quad (6.24)$$

Son olarak uzaklıkların belirlenmesinden sonra alternatiflerin sıralamasını belirlemek için yakınlık katsayısı denklem 6.25 hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i=1,2,\dots,m \quad (6.25)$$

Yakınlık katsayısının elde edilmesi ile alternatiflerin büyükten küçüğe doğru sıralandırması yapılır.

YEDİNCİ BÖLÜM

7. BULANIK KÜME TEORİSİ

7.1 Bulanık Mantık

Bilim ve matematik alanındaki çeşitli paradigmatik değişikliklerden biri de belirsizlik kavramıyla ilgilidir. Bilimde, bu değişiklik, bilimde belirsizliğin arzu edilmediği ve mümkün olan her yolla kaçınılması gerektiği konusunda ısrar eden geleneksel görüşten, belirsizliğe hoşgörülü olan ve bilimin kaçınmayacağı konusunda ısrar eden alternatif bir görüşe kademeli bir geçişle ortaya çıkmıştır. Geleneksel görüşe göre bilim, tezahürlerinin kesinliğini (kesinlik, özgüllük, keskinlik, tutarlılık vb.) sağlamaya çalışmalıdır; dolayısıyla belirsizlik (kesin olmayan, spesifik olmayan, tutarsızlık vb.) modern görüşe göre, belirsizlik bilimin vazgeçilmezi olarak kabul edilir; geleneksel görüşe göre tanımlandığı gibi yalnızca kaçınılmaz bir veba değil, aynı zamanda gerçek ve çok büyük bir fayda sağlayıcıdır. (Klir ve Bo Yuan, 1995)

Günlük yaşantının içinde bulunan belirsizlikler aslında kullandığımız sıfatların veya zarflar için herhangi bir kısıt koyulmamasından kaynaklanır. Bir emlakçı tarafından ev tanımı esansında kullanılan “aydınlık oda” tanımı için hangi miktarda güneş alması durumunda veya kaç lüks gücünde bir ısımanın olduğu oda aydınlık sayılacağına dair bir kabul olmadan söylenmiştir. Bu noktadan hareketle bulanık mantık bu belirsizliklerin sayısal analize dökülmesine imkân sağlamaktadır. Aydınlık oda örneğinde ölçülebilir bir birim olan lüks ile aydınlık şiddetini belirlemektedir. Ancak bazı örnekler de ölçülebilir bir birim bulmak imkansızdır. Örneğin bir yemeğin baharatlı olması hususunda, hangi ölçüde baharatı olup olmadığına dair elimizde birim ölçü bulunmamaktadır. Bu durumu değerlendirmek için ancak bu yemeği yiyen insanların görüşlerini dikkate alabiliriz. Bu değerlendirmeyi sağlıklı kılmak adına ise bu bilgiyi sunacağım hedef kitleyi temsil edecek bir karar verici grubu oluşturmalıyız. Eğer baharatlı yemeklerin çok tüketildiği Hindistan gibi bir coğrafyada yaşayan hedef kitemiz onlar olmalıdır. Avrupa’da yaşayan bir insanlar hedef kitemiz ise,

Hindistan’da yaşayan karar verici grubun normal baharatlı olarak tanımladığı yemek yanlış çok yakın bir sonuç vereceği aşıkardır.

Bulanık mantıkta net olmayan verileri kullanarak doğruya yakın karar verme durumu söz konusudur. Bulanık mantıkta kullanılan bilgi; sözel ifadelerin sayıya dönüştürülmesidir. Matematiksel olarak ölçülemeyen kavramlar için uygun bir yaklaşımdır. Bulanık mantığın sağlıklı sonuç vermesi karar vericilerin deneyimli olması ile alakalıdır. Çünkü yoruma dayalı, kesin olmayan, ön görüşe dayalı bilgiler ile yapılır.

Bulanık mantık, gündelik hayat içerisinde her şeyi 0 veya 1 olarak niteleyemeyeceğimizden ötürü ortaya çıkmıştır. Çünkü 0 ile 1 arasında sonsuz sayı olduğu gibi, beyaz ve siyah arasında sonsuz renk bulunmaktadır.

7.2 Bulanık Küme Teorisi

Kümeler, eğitim hayatının başlangıcında temelleri atılan bir konudur. Basit (Crisp) kümeler olarak adlandırılan kümelerin elemanları ve sınırları net bir şekilde belirlidir. Bulanık Kümede (Fuzzy Set) ise sınırlar belirlenir ancak daha esnektir.

Basit kümeler, klasik mantığı kullanır ve durumu nitelemek için 0 veya 1’i kullanır. Bulanık küme de ise üyelik değeri kavramı kullanılır. Üyelik değeri 0 ile 1 arasında değişim gösterir. Üyelik değeri yüzdelik gösterilebileceği gibi bindelik veya on bindelik halde gösterilebilir.

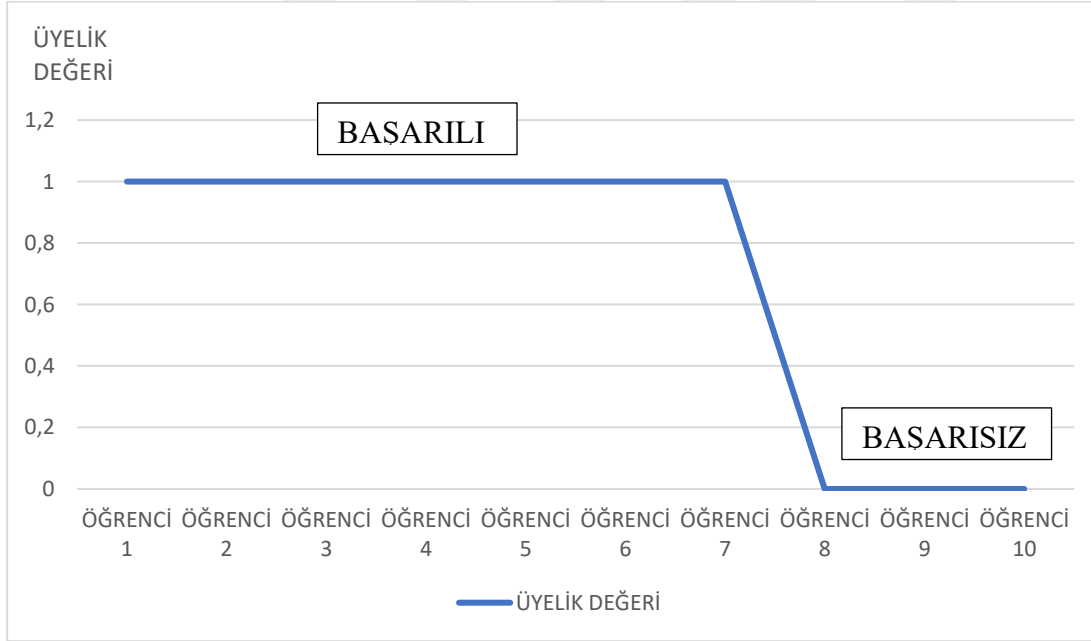
Örnek olarak 10 öğrencinin bulunduğu bir sınıfta vize ve final not ortalamaları Tablo 7.1’de sunulmuştur. Öğrencilerden 50 üzeri not alanların başarı olduğu değerlendirilen bir düzende klasik mantığa göre göre başarılı olan 1 ile başarısız olan 0 ile değerlendirilir. Bulanık küme teorisinde ise en yüksek not olan öğrenci 1 olarak kabul eder, en düşük not olan, en başarısız öğrenciye kadar kıyaslama imkânı sunar.

Tablo 7.1’de gösterilen 10 adet öğrenciden 7 adet öğrenci başarı, 3 öğrenci başarısız olarak değerlendirilmiştir. Klasik mantığı grafiksel gösterimi Şekil 7.1’de sunulmuştur. Klasik mantık ile 50 altında not alan öğrenci başarısız, üzerinde not alan ise başarı olarak nitelendirildi. Buna göre üyelik fonksiyonları hesaplandığında;

$\mu_{\text{başarılı}}(44)= 0$, $\mu_{\text{başarılı}}(53)= 1$ olarak bulunur.

Tablo 7.1: Klasik ve Bulanık Mantık ile gösterimi

ÖĞRENCİ NUMARASI	DERS NOTU	KLASİK MANTIK	BULANIK MANTIK
1	88	1	1
2	76	1	0,86
3	72	1	0,81
4	64	1	0,73
5	62	1	0,70
6	58	1	0,66
7	53	1	0,6
8	44	0	0,5
9	40	0	0,45
10	32	0	0,36

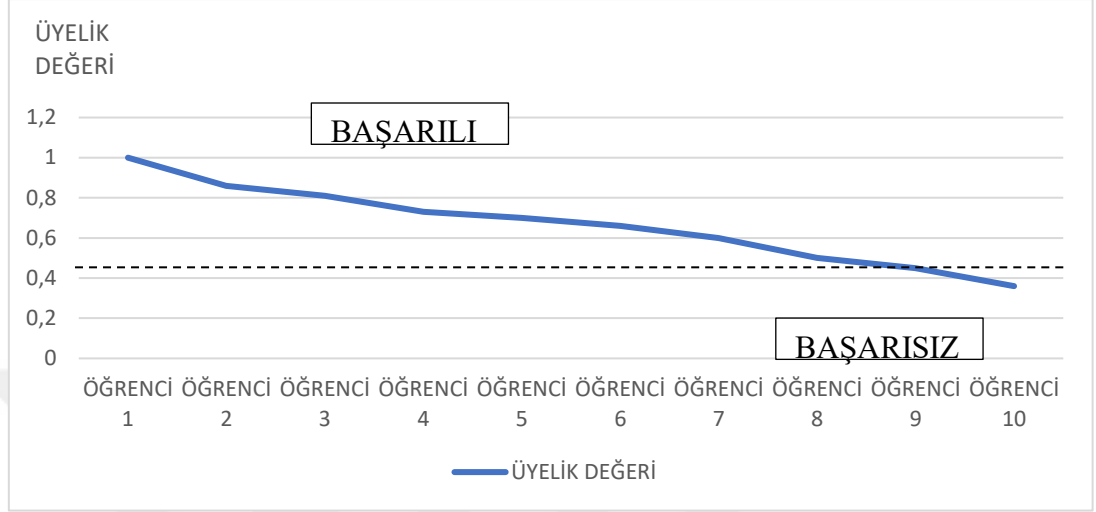


Şekil 7.1: Klasik Mantıkta Önerilen Başarı Durumu

Klasik mantığın bize önerdiği başarı durumunda sınırların kesin bir hat ile çizildiğini görüyoruz. Ancak klasik mantık yerine, en başarılı öğrencinin başarılı olarak kabul edilen 1 ile gösterilen ve diğer öğrencilerin en yüksek not alan öğrenciye göre kıyaslanarak üyelik fonksiyonu oluşturulduğunda denklem (7.1) ile tanımlanır.

$$\mu_{\text{başarılı}}(x) = \frac{x}{x_{\text{max}}} \quad (7.1)$$

Her öğrenci için bulanık mantık ile hesaplanan üyelik değerleri Tablo 7.1’de gösterilmiştir. Bulanık mantığın önerdiği başarı durumunun grafiksel gösterimi Şekil 7.2’de sunulmuştur.



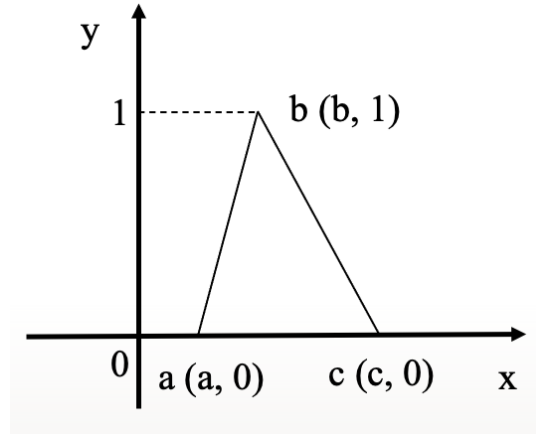
Şekil 7.2: Bulanık Mantıkta Önerilen Başarı Durumu

Bulanık mantık ile kullandığımız üyelik fonksiyonuna göre 0,5 ve altında değere sahip olan öğrencilerin başarısız olduğu görülmüştür. Klasik mantık grafiğinde sınırların keskin olarak belirlendiği, bulanık mantık önermesinde ise daha hassas bir şekilde ve bir öğrencinin diğerine göre ne kadar başarılı veya başarısız olduğunu ortaya koyacak şekilde bir gösterim mevcuttur.

7.3 Üçgen Bulanık Sayılar

Üçgen bulanık sayı, (F) sıklıkla bir üçlü olarak ifade edilir: (a, b, c) . Burada, (a, c) sayının alt ucu, (b) tepe ve üst uç değerleridir. Üçgen bulanık sayıların aralarındaki ilişki (a < b < c) olmak üzere sahip oldukları üyelik fonksiyonu Şekil 6.3’te gösterilmiştir.

Grafiğin y ekseninde üyelik fonksiyonu y=F(x) olarak gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonunun y=F(x)'in, eğer x (a, c) aralığının dışında ise sürekli olarak 0 değerini aldığı, (a , c) aralığındaki aldığı değerler de ise iki doğrunun birleşimi olduğunu gözlemliyoruz.



Şekil 7.3: Üçgen Üyelik Fonksiyonu
Kaynak: Araştırmacı

Üyelik fonksiyonunun (a, b, c) değerleri ile üçgen oluşturulduğu görülmektedir. Bu fonksiyon, (a) ve (c) arasında doğrusal bir artış ve azalmayı tanımlayarak üçgen şekilli bir grafik oluşturur (Voskoglou, 2015). F değerinin, (a) en alt sınırını, (b) orta değeri ve (c) değeri en üst sınırını ifade etmektedir.

Üçgen bulanık sayılar ile toplama işlemi;

$$F_1 + F_2 = (a_1+a_2 , b_1+b_2 , c_1+c_2) \quad (7.2)$$

şeklinde yapılmaktadır.

Üçgen bulanık sayılar ile çarpma işlemi;

$$F_1 \times F_2 = (a_1 \times a_2 , b_1 \times b_2 , c_1 \times c_2) \quad (7.3)$$

şeklinde yapılmaktadır.

Üçgen bulanık sayılar ile bölme işlemi;

$$F_1 / F_2 = (a_1/c_2 , b_1/b_2 , c_1/a_2) \quad (7.4)$$

şeklinde yapılmaktadır.

Üçgen bulanık sayıların sabit bir k sayısı ile çarpılması;

$$F_1 \times k = (a_1 \times k , b_1 \times k , c_1 \times k) \quad (7.5)$$

Üçgen bulanık sayıların bazı uygulama alanları; karar destek sistemleri, veri madenciliği, mühendislik ve optimizasyondur. Özellikle karar verme çalışmalarında ağırlıklı kullanımı yapılan literatür araştırmasında görülmektedir. Üçgen bulanık sayılar, belirsizliklerin ve insan düşüncelerinin matematiksel olarak ifade edilerek, daha esnek ve gerçekçi karar destek sistemleri oluşturulmasını sağlar.

Çalışma esnasında karar vericiler ile yapılan sözel değerlendirmeler için kriter ağırlığının belirlenmesi için Tablo 7.2 ve Tablo 7.3'te sunulan üçgen bulanık sayılar kullanılacaktır.

Tablo 7.2: Kriterlerin Önem Ağırlığının Belirlenmesinde Kullanılan Sözel İfadeler

Likert Ölçeği	Sözel İfade	Üyelik Fonksiyonu
5	Çok Önemli	(0,7 , 0.9 , 1)
4	Önemli	(0.5 , 0.7 , 0.9)
3	Orta Derecede Önemli	(0.3 , 0.5 , 0.7)
2	Az Önemli	(0.1 , 0.3 , 0.5)
1	Önemsiz	(0 , 0.1, 0.3)

Kaynak: (Wang ve Elhag, 2006:314)

Alternatiflerin kriter bazında değerlendirilmesi için Tablo 6.5'te sunulan üçgen bulanık sayılar kullanılacaktır.

Tablo 7.3: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel İfadeler

Likert Ölçeği	Sözel İfade	Üyelik Fonksiyonu
5	Çok İyi	(7 , 9 , 10)
4	İyi	(5 , 7 , 9)
3	Orta Derecede İyi	(3 , 5 , 7)
2	Az İyi	(1 , 3 , 5)
1	İyi Değil	(0 , 1, 3)

Kaynak: (Wang ve Elhag, 2006:314)

SEKİZİNCİ BÖLÜM

8. ORTA İRTİFA İNSANSIZ HAVA KARGO ARACI İÇİN HAVAALANI ALTYAPISI KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı

Literatürde yapılan araştırmalarda insansız hava araçları üzerine yapılan çalışmaların çok büyük çoğunluğunun dikey iniş kalkış hareketiyle son kullanıcıya teslimat yapan drone tipi insansız hava araçlarının farklı amaçlarla kullanımları ön plana çıkarılmış olduğu, bu çalışmada henüz üzerinde fazla bir çalışma yapılmamış olan, herhangi bir teknolojik engelle takılmamasına rağmen uygulama alanlarının oldukça düşük olduğu orta irtifa ve orta teslimatta görev alabilecek insansız hava kargo araçlarının yakın gelecekte sivil hava taşımacılığında operasyonlarına başlayabilecekleri öngörülmüş ve uçak niteliğinde olan bu hava araçlarının uçuş faaliyetleri için ihtiyaç duyacağı havaalanı altyapısının nerede ve nasıl olabileceğine ilişkin kriterlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, uçak niteliğindeki bu insansız hava kargo araçlarının operasyona geçmesi ile bu araçların işletilmesi için gerekli altyapının oluşturulabilmesinde, bu araçların hava sahalarında insanlı hava araçları ile bir arada faaliyet gösterebileceğinden hava trafik yönetimi ve de lojistik faaliyetlerinin gerektirdiği birtakım ihtiyaçlar ve düzenleme gereksinimleri de ortaya çıkabilecektir. Bu çalışmada farklı bir bakış açısından bu gereksinimleri de ortaya koyması açısından önem kazanmaktadır.

İnsansız hava araçları ile birçok kazanımlar ve kolaylıklar elde edilirken, sağladığı avantajların farklılığından dolayı kullanıldığı alanlar çeşitlilik göstermektedir. Savunma sanayinde başlayan yolculuğu ilk etapta aynı sektör içerisinde farklı alanlarda kullanımı ile devam etmiştir. Öncelik keşif/gözetleme amacıyla kullanılan İHA sistemlerinin zaman içerisinde geliştirilerek silahlı bir platform haline gelerek görev tanımı geliştirilmiş, takiben devlet kurumları içerisinde farklı birimlerde birçok farklı görevlerde kullanıma geçmiştir. Orman yangınlarında gözetleme uçuşu, deprem gibi doğal afetler döneminde gezici baz istasyonu olarak

kullanılmıştır. Böylece görev yelpazesi her geçen gün genişlemiş ve bu genişleyen görev yelpazesi ile İHA platformlarının sayısının artışı da beraberinde gerçekleşmiştir. Gelecekte İHA sistemlerinin kullanım alanının ve kullanıldığı sektörlerin de gelişmesiyle birlikte sadece devlet kurumlarının kullandığı MALE sınıfı İHA sistemlerinin ticari kullanıma geçirilmesi mevcut havacılık uygulamalarına ait ciddi bir düzenleme yapılmasını gerektirecektir. Çünkü mevcut kayıtlı MALE sınıfı tüm İHA sistemleri Türkiye’de henüz yalnızca devlet kurumları tarafından kullanımında olduğu Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından teyit edilmiştir. Devlet kurumları tarafından ve genellikle savunma sanayinde kullanılan İHA sistemleri için ayrılmış hava sahalarında ve genellikle belli havaalanlarını kullanarak ulusal hava sahasında diğer ticari uçuşları engellemeyecek şekilde faaliyetleri yürütülmektedir. Ancak söz konusu sistemlerin ticari kullanıma başlanması ile savunma sanayinde yapılan düzenlemelerin bir benzeri yapılarak hava kargo sektöründe maliyetlerin düşmesine, teslimat sürelerinin kısılmasına, yolcu ve uçak sayısının düşük olduğu havaalanlarının İnsansız Kargo Uçakları ile gelir ve istihdamın artırılması sağlanabilir.

Hava trafik yönetimi, havaalanı yönetimi gibi havacılığın parçası olan tüm sektörlerde zaman en önemli unsurdur. Bundan dolayı havaalanlarında bütün operasyonların koordineli bir şekilde devam etmesi ancak zamana riayet etmek ile mümkün olacaktır. Bu çalışma sayesinde İnsansız Kargo Uçaklarının kullanıma girmesi ile en uygun havaalanı altyapısının belirlenerek mevcut sivil hava trafik yönetiminin içerisinde kalkışından inişine ve park pozisyonuna gidene kadar olan operasyonun zaman, maliyet ve uçuş emniyeti açısından bir farkındalık sağlanacak ve söz konusu kayıplar minimize edilmesi için önerilerde bulunulacaktır.

8.2 Modelin Analizinde Kullanılan Yöntem

Çalışmada insansız kargo uçaklarının sivil hava taşımacılığı için faaliyete geçmesi durumunda altyapı ihtiyacı olacağı ve üs olarak konuşlanabileceği en iyi altyapı seçeneğinin seçimi için iki farklı analiz yöntemi kullanılmıştır. İlk yöntem, bulanık ENTROPİ temelli ARAS yöntemidir. ENTROPİ yöntemi ile kriterlerin ağırlığı hesaplanmakta ve Entropi yöntemi sayesinde karar vericilerin değerlendirme verileri işlenerek içlerinde bulunan belirsizlik karşılaştırılmaktadır. Böylece değerlendirmelerden yola çıkılarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmektedir.

Additive Ratio Assesment (ARAS) yöntemi, karar alternatiflerini değerlendirme kriterleri altında fayda fonksiyonu değerine göre sıralayan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntemde, bir fayda fonksiyon değeri bir karar alternatifinin diğer karar alternatifine göre göreceli etkinliği belirlenir. Yöntemde, karar alternatiflerinin fayda fonksiyonu değer oranları optimum karar alternatifinin fayda fonksiyonu değeri ile karşılaştırılır. Yöntem, karar alternatiflerinin performansını değerlendirirken, her karar alternatifinin ideal karar alternatifine göre oransal benzerliğini ortaya koyar (Özbek, 2017: 59).

Çalışmada Entropi yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlendikten sonra karar alternatifleri ARAS yöntemi kullanılarak önceliklendirilir. Bulanık ENTROPİ temelli ARAS yönteminde bulanık sayıların reel sayılara çevrilmesi için karekök metodu kullanılmıştır. İkinci yöntem ise TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemidir. TOPSIS yönteminde ağırlıkların belirlenmesi için karar vericilerin yaptığı kriter ağırlıklandırma anketinde belirtilen sözel değerlendirmeler üçgen bulanık sayılara çevrilerek TOPSIS yöntemi işlem basamakları uygulanarak alternatiflerin sıralandırması gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem içerisinde üçgen bulanık sayıları reel sayıya dönüştürülürken Vertex metodu kullanılacaktır. Sonuç olarak söz konusu iki yöntemden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

8.3 Araştırmanın Kısıtları ve Varsayımları

Araştırma konusu gereği günümüz şartlarında ülkemizde hizmet vermeye henüz başlamamış olan İKU için kısıtlamaların ve varsayımların net bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Karar vericilerin ÇKKV çalışması kapsamında sağlıklı değerlendirme yapmaları için araştırmanın sınırları belirlenmelidir.

Araştırmanın başlığında da bulunan ilk kısıt ülkemiz sınırları içerisinde hizmet verecek İKU platformunu baz almaktadır. İKU için orta irtifa uzun havada kalışlı olması söz konusu platformu diğer drone, dikey iniş/kalkış yapan (VTOL) ve helikopter gibi İHA'lerden ayırarak sağlayacak bir kısıt oluşturacaktır.

Karar vericilerin daha somut veriler ışığında değerlendirme yapmaları için İKU modeli olarak Avrupa Birliği'nde gerekli uçuş lisansları alan Dronamics firmasının ürettiği ve birinci bölümde detayları verilen "Black Swan" uçağı için uygun havaalanının belirlenmesi varsayımı yapılacaktır. Böylece uygun havaalanı

belirlenirken “Black Swan” uçağına ait teknik veriler göz önünde bulundurularak gerekli değerlendirmeler yapılacaktır.

Havaalanı yoğunlukları ölçölürken kullanılan uçak hareketi sayısı için askeri trafik bilgileri gizliliğı sebebi ile alınamadığından, askeri trafiklerin üs olarak kullandığı havaalanları çalışmamızda dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmada Türkiye’de işlem gören hava kargo miktarının yaklaşık % 49 oranında İstanbul kentinde gerçekleşmesi göz önüne alınarak hava kargo taşımacılığı için İKU filosuna sahip bir şirketin İstanbul’da faaliyet göstereceğı varsayımı yapılmış ve bu şirketin faaliyet gösterebileceğı İstanbul’da uygun olabilecek havaalanı altyapıları alternatifler olarak belirlenmiştir.

8.4 Araştırma Modelinin Yapısı

Orta irtifa insansız hava kargo aracı için havaalanı altyapısının belirlenmesine yönelik bu çalışmada çok kriterli karar verme yaklaşımı ile bir model oluşturulmuş ve bu model kapsamında konsept üzerinde kriterler, değerlendirmeye esas altyapı alternatifleri, değerlendirmede yer alacak karar vericiler ve modele uygulanacak yöntemler olmak üzere dört ayrı araştırma adımı yer almıştır. Bu çalışmada yöntem olarak Bulanık Entropi temelli ARAS yöntemi ve Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmış olup bu yöntemlerin açıklamaları 6. Bölümde verilmiştir. Kriterler, karar vericiler ve altyapı alternatiflerine ilişkin açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

8.4.1 Alternatifler

Henüz konsept bir platform olan İKU’nun kullanımına başlaması ile operasyonlarını emniyet ve süreklilik içerisinde icra edeceğı bir altyapı (havaalanı) ihtiyacı bulunmaktadır. İKU’nun operasyonu için ihtiyacı olan yer destek sistemleri (Görev sistemleri, Hava Yer Tümleşik Sistemler ve Yer Sistemleri) söz konusu havaalanına iniş-kalkış yapabilmesi için söz konusu havaalanında konuşlu olması gerekmektedir. Bu koşulların sağlanması ile işletilecek İKU’ların bir tehdit oluşturmadan hava trafik sistemine entegrasyonu ile bir hava koridorunu kullanarak iki havaalanı arasında görev yapması mümkün olacaktır. Hava Kargo taşıyıcı firmasının faaliyetlerinden oluşacak hava kargo ağı, bu firmanın isterlerine göre belirlenecek ve bir tür lojistik üs olan havaalanı altyapısı üzerinden şekil alacaktır. Bu

nedenle İKU sistemlerinin konuşlanacağı ve lojistik bir üs olacak meydanlar için dört alternatif belirlenmiştir. Bu alternatifler sırasıyla;

Mevcut düşük trafik yoğunluklu havaalanları (A1), Atatürk Havaalanı kapalı iki adet pisti ile İstanbul'da bulunan diğer uluslararası havaalanlarına nazaran sahip olduğu en düşük trafik sayısından ötürü çalışma kapsamında mevcut düşük yoğunluklu havaalanı alternatifi olarak kabul edilmiştir.

Mevcut iniş şeritleri (A2), İKU işletmecileri için ana üs olarak iniş şeritleri alternatifi için İstanbul Avrupa yakasında bulunan Hezarfen havaalanı alternatif olarak kabul edilmiştir.

İKU (İHA) havaalanı (Droneport) düzenlemesi (A3), çalışmada İstanbul civarında karayolu ile yaklaşık 1 saatlik araç yolculuğu mesafesinde bulunan en yakın havaalanı ve en düşük hava trafiğine sahip Çorlu Havaalanı örnek olarak alınmıştır.

İKU firmalarının iniş şeridi inşası (A4), bu seçenekte firmaların kendine ait iniş şeridi inşa etmesi ve İKU ile kargo taşımacılığı için tüm altyapı gereksinimlerini ve donanımlarının kendisi için inşa etmesi düşünülmüş ve İstanbul'da özellikle Avrupa yakasında ticari faaliyet gösteren firmanın kendi faaliyeti için bölgedeki en uygun konumunda bu altyapıyı inşa etmiş olduğu düşünülmüştür. Alternatif havaalanlarının İstanbul'daki konumları Şekil 8.1'de gösterilmektedir.



Şekil 8.1: Havaalanı Alternatifleri

Kaynak: Apple Haritalar

8.4.1.1 Mevcut düşük trafik yoğunluklu havaalanları

SHGM'nün yayınladığı Havaalanı Emniyet Standartları Talimatına (SHT-HES) göre orta trafik yoğunluğu tanımı; trafiğin en yoğun olduğu ortalama saatte

hareket sayısının pist başına göre 16 ile 25 arasında uçak hareketi olduğu durumlardaki trafik yoğunluğudur. Bu tanımdan yola çıkarak bu çalışmada düşük trafik yoğunluğunu tespit etmek için kullanıldığında Türkiye’de birkaç havaalanı haricinde diğerlerinin tamamı düşük yoğunluklu havaalanı sınıfına girmektedir. Bu nedenle düşük havaalanı yoğunluğu için saatte bir uçak hareketi altında olan havalimanları gözönüne alınmıştır.

Sivil hava ulaşımına açık olan havaalanları DHMİ’nin 2022 yılı faaliyet raporunda Şekil 8.2 gösterimi ile sunulmuştur. Türkiye’de halen kullanılan 59 havaalanı hizmet vermekte ve 1 adet yapımı devam eden havaalanı bulunmaktadır. Orta ve Yüksek trafik yoğunluğuna sahip havaalanlarında İKU’ların hizmet vermesi diğer insanlı trafikleri önemli ölçüde olumsuz etkileyeceği için mevcut 59 havaalanının içerisinde düşük trafiğe sahip havaalanlarını uçak trafik sayıları üzerinden tespit edilmiştir.



Şekil 8.2: Sivil Hava Ulaşımına Açık Havalimanları

Kaynak: (SHGM,2024)

Tespit edilen havalimanlarının kurulum ve inşaat maliyetleri aktif kullanılan havalimanları olmaları nedeniyle diğer alternatiflere göre çok daha düşük olduğu için ön plana çıkacaktır. Bu çalışmada İstanbul başlangıçlı hava kargo ağı için bu havalimanları son varış noktaları olabilecektir. İstanbul dışında faaliyet gösterecek İKU uçakları işleten firmalar için de başlangıç üs konumları faaliyet gösterilen bölgelere göre bu düşük yoğunluklu havalimanları olabilir. Bu kapsamda 2019, 2022, 2023 yılı hava trafikleri sayısından yıllık ortalama sayısı hesaplanmış ve yıllık ortalama 365 gün ve 24 saate bölünerek saatlik ortalama bulunmuştur. Tablo 8.1’de saatlik havalimanı hareketi bir ve altında olan 36 havalimanı bulunmaktadır. Covid-19 salgınına denk gelen 2020 ve 2021 yıllarına ait veriler dikkate alınmamıştır.

Tablo 8.1: Türkiye Havalimanları Saatlik Hareket Ortalamaları

HAVALİMANLARI	2019	2022	2023	YILLIK ORT.	SAATLİK ORT.
İstanbul Atatürk		28.272	25.205	28.272,0	3,23
İstanbul	247.467	425.852	505.920	336.659,5	38,43
İstanbul Sabiha Gökçen	235.717	200.233	228.201	221.383,7	25,27
Ankara Esenboğa	99.242	71.355	93.074	87.890,3	10,03
İzmir Adnan Menderes	83.585	69.463	73.000	75.349,3	8,60
Antalya	161.003	198.069	225.568	194880,0	22,25
Gazipaşa Alanya	7.933	5.909	7.158	7.000,0	0,80
Muğla Dalaman	42.713	43.221	46.094	44.009,3	5,02
Milas-Bodrum	34.984	3.5622	38.785	36.463,7	4,16
Adana	40.658	44.247	46.809	43.904,7	5,01
Trabzon	25.926	23.495	26.755	25.392,0	2,90
Erzurum	6.950	6.902	7.603	7.151,7	0,82
Gaziantep	19.553	18.769	22.884	20.402,0	2,33
Adıyaman	1.880	1.498	4.110	2.496,0	0,28
Ağrı Ahmed-i Hani	2.320	1.561	2.134	2.005,0	0,23
Amasya Merzifon	1.277	958	1.166	1.133,7	0,13
Aydın Çıldır	20.154	34.298	41.796	32.082,7	3,66
Balıkesir Koca Seyit	22.169	25.501	22.768	23.479,3	2,68
Balıkesir Merkez	96	236	132	154,7	0,02
Batman	3.410	2.827	3.458	3.231,7	0,37
Bingöl	1.490	1.065	1.396	1.317,0	0,15
Bursa Yenişehir	6.299	18.373	17.004	13.892,0	1,59
Çanakkale	5.905	6.329	6.034	6.089,3	0,70
Gökçeada	26	89	142	85,7	0,01
Denizli Çardak	6.012	5.328	5.201	5.513,7	0,63
Diyarbakır	11.224	10.699	13.117	11.680,0	1,33
Elâzığ	6.118	6.517	7.819	6.818,0	0,78
Erzincan Y.A	2.988	2.421	2.991	2.800,0	0,32
Eskişehir Hasan Polatkan	6.148	5.112	5.744	5.668,0	0,65
Hakkâri Yüksekova	1.822	1.969	1.852	1.881,0	0,21
Hatay	5.573	8.461	4.491	6.175,0	0,70
Iğdır Şehit Bülent Aydın	1.757	2.320	3.171	2.416,0	0,28
Isparta Süleyman Demirel	23.071	32.568	25.276	26.971,7	3,08
Kahramanmaraş	1.867	2.106	4.096	2.689,7	0,31
Kapadokya	11.350	15.201	12.782	13.111,0	1,50

Kaynak: DHMİ (2024)

Tablo 8.2 (Devam): Türkiye Havalimanları Saatlik Hareket Ortalamaları

HAVALİMANLARI	2019	2022	2023	YILLIK ORT.	SAATLİK ORT.
Kars Harakani	2.854	3.156	3.616	3.208,7	0,37
Kastamonu	695	723	895	771,0	0,09
Kayseri	15.060	16.479	16.482	16.007,0	1,83
Kocaeli Cengiz Topel	1.352	1.734	956	1.347,3	0,15
Konya	7.426	7.626	7.151	7.401,0	0,84
Malatya	5.389	5.225	6.001	5.538,3	0,63
Mardin	3.804	3.989	5.078	4.290,3	0,49
Muş, Sultan Alparslan	2.523	2.423	3.233	2.726,3	0,31
Ordu-Giresun	7.979	6.369	7.310	7.219,3	0,82
Rize-Artvin		3.760	7.464	5.612,0	0,64
Samsun Çarşamba	15.238	14.152	14.726	14.705,3	1,68
Siirt	424	526	588	512,7	0,06
Sinop	1.735	925	1.088	1.249,3	0,14
Sivas Nuri Demirağ	4.225	3.079	3.392	3.565,3	0,41
Şanlıurfa GAP	5.695	5.850	8.256	6.600,3	0,75
Şırnak Şerafettin Elçi	2.873	5.487	6.421	4.927,0	0,56
Tekirdağ Çorlu Atatürk	29.106	24.897	27.616	27.206,3	3,11
Tokat	400	1.184	1.314	966,0	0,11
Uşak	6.704	6.036	5.771	6.170,3	0,70
Van Ferit Melen	14.829	15.572	17.805	16.068,7	1,83
Zafer	664	1.473	5.582	2.573,0	0,29
Zonguldak Çaycuma	637	1.115	1.396	1.049,3	0,12

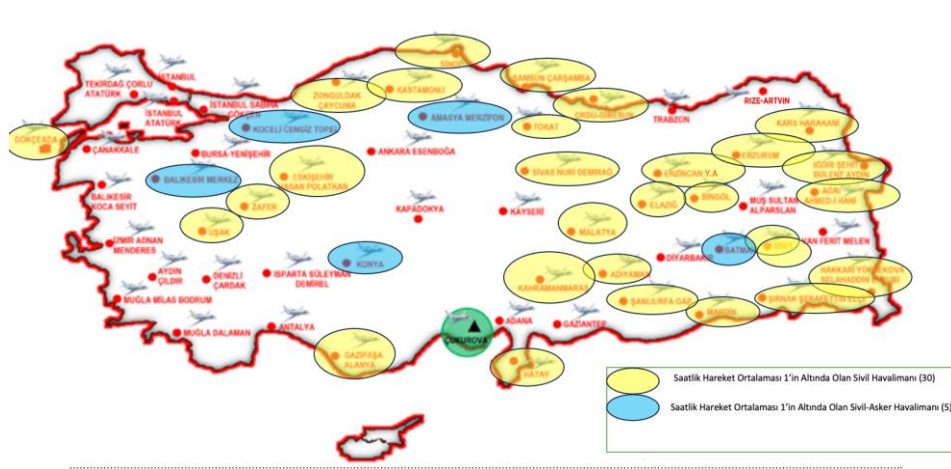
Kaynak: DHMİ (2024)

Ülkemizde faaliyet gösteren 57 havalimanının (Hezarfen ve İzmir Selçuk Efes havaalanları küçük havaalanları sınıfına girdiği için dahil edilmemiştir.) geçtiğimiz üç yıllık ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda, saatlik ortalama bir ve altında iniş veya kalkış yapılan havaalanı sayısı 36 olmuştur.

Bu 36 havaalanlarının saatlik ortalamasının bir olması gün içinde 24 uçak hareketi olduğu anlamına gelmektedir. Bu da 12 adet uçağın havaalanına iniş veya kalkışı olarak değerlendirilmektedir. SHGM'nün ortaya koyduğu pist başına en yoğun olduğu saatte 16-25 uçak hareketi tanımının dışında kalmak amaçlı günde 24 uçak hareketi bulunan havaalanları listelenmiştir.

Saatlik ortalama bir ve altında olan 36 havalimanının harita üzerinde gösterimi Şekil 8.3'te sunulmuş olup, söz konusu 36 havaalanından 5 tanesi sivil-asker ortak kullanılan havaalanıdır. Sivil uçak trafikleri sayıları baz alınarak bu çalışma

yapıldığından ve askeri trafik sayıları bilinmediği için Şekil 8.3'te mavi renk ile gösterilen havalimanları potansiyel havalimanları kapsamında değerlendirilmemiştir.



Şekil 8.3: Saatlik Hareket Ortalaması 1'in Altında Olan Havalimanları
Kaynak: (DHMİ,2022)

Sonuç olarak İKU operasyonlarının sivil trafikleri olumsuz etkilemeyeceği ve yer destek sistemlerinin kurulması halinde görev yapabilecekleri saatlik hareket ortalaması birin altında olan 31 sivil havalimanı bulunmaktadır.

Hava kargo hacminin yaklaşık yüzde 49'lük hacminin bulunduğu İstanbul şehrinde yer alan havalimanlarından 2019-2022-2023 yıllarına ait veriler incelendiğinde düşük yoğunluklu kriterini sağlamamaktadır. Ancak Atatürk havaalanı en düşük trafiğe sahip havaalanı olma özelliği göstermektedir.

Özellikle Atatürk Havaalanının 2019 yılına ait yüksek uçak hareketi verisi dikkate alınmadığında uçak hareket sayısı 9,51'den 3,23'e düşmektedir. Atatürk Havaalanı kapalı iki adet pisti ile İstanbul'da bulunan diğer uluslararası havaalanlarına nazaran sahip olduğu en düşük trafik sayısından ötürü çalışmada mevcut düşük yoğunluklu havaalanı alternatifi olarak kabul edilmiştir.

Hezarfen Havaalanı, genel havacılık havaalanı statüsünde yer almaktadır. Uluslararası havalimanları ile aynı kategoride bulunmadığı için iniş şeritleri ile değerlendirmeye alınmıştır.

8.4.1.2 Mevcut iniş şeritleri

Türkiye'de halihazırda uçakların kullanımına açık iniş şeridi bilgisi SHGM web sitesi üzerinden sunulmaktadır. Mevcut iniş şeritleri kullanımı hususunda bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu düzenlemeler, İniş Şeritleri İnşa Edilmesi ve

Kullanılması Talimatı (SHT-İNİŞ ŞERİDİ) ile belirlenmiştir. Öncelikle iniş şeritlerinin inşasında yapılacak iniş şeridinin en az uzunluğu pisti kullanacak hava aracının azami kalkış ağırlığı ile pilot el kitabında belirtilen ihtiyaç duyduğu kalkış mesafesinin 1,25 katı olmalıdır. Ayrıca kullanılacak hava aracının azami kalkış ağırlığı için kalkış mesafesi veya hava aracı el kitabında belirlenen azami iniş mesafesi, hangisi büyük ise 1,43 katı olarak belirlenmiş ve en az pist genişliği 18 metre olmalıdır.

Azami kalkış ağırlığının önemli olduğu diğer bir kıstas ise iniş şeritlerinin 5700 kg üzeri ağırlığa sahip hava araçları tarafından kullanılamamasıdır. İKU tasarımları ilerleyen zamanlarda, günümüzde kullanılan insanlı kargo uçaklarının gerekli teknolojik dönüşümlerinin yapılması ile İKU olarak hizmet vereceği gelecekte ön görülmekte ve deneysel olarak insansız uçuşlar gerçekleştirilmektedir. Yolcu uçaklarından, kargo uçağına dönüştürülmüş ve takiben İKU'ya dönüştürülmüş ticari uçaklar 5700 kg limitinden ötürü iniş şeridini kullanamayacaklardır.

İnsansız Hava Araçları bölümünde bahsedilen halihazırda üretilip, kullanılan AT-200 İKU ve Black Swan benzeri bir hava platformu (aracı) tarafından iniş şeridi kullanımı, uzunluğu ve MTOW açısından olumsuz bir faktör oluşturmamaktadır.

Çin'de kullanılan AT-200 Uçağı 1500 kg faydalı yük taşırken 200 metrelik bir iniş şeridinin yeterli olduğu belirtilmektedir. Black Swan uçağı için ise ihtiyaç duyduğu pist uzunluğu 400 metre olup, hazırlanmış veya hazırlanmamış yüzeylere iniş kalkış yapabilmektedir. AT-200 ve Black Swan uçağı kapsamında Türkiye'de bulunan iniş şeritleri değerlendirildiğinde pist ölçüleri bazında kullanıma uygun olduğu, ancak İKU'nun kullanıma başlaması ile yasal mevzuat içerisinde gerekli düzenlemelerin yapılarak sadece VFR uçuş değil hem gece hem de gündüz olacak şekilde faaliyet göstermeleri için alt yapı olarak herhangi bir engel olmadığı değerlendirilmektedir.

SHGM Talimatı doğrultusundan iniş şeridinden sadece görerek uçuş kuralları (VFR) ile uçuş yapılabilmektedir. Eurocontrol tarafından uzaktan pilotlu uçak sistemlerinin mevcut havacılık kurallarına entegre edilme planı içerisinde “gör ve kaçın” kuralını uygulayabileceği “algıla ve kaçın” teknolojisine sahip hava araçları ile VFR uçuşunun gerçekleştirilebileceği ön görülmektedir (Eurocontrol, 2017). SHGM tarafından iniş şeridinin İKU tarafından kullanılması hususunda henüz bir düzenleme bulunmamaktadır. Türkiye'de hizmet veren iniş şeridi ve pist ölçüleri Tablo 8.3'te , Türkiye'deki konumları ise Şekil 8.4'te gösterilmektedir.

Tablo 8.3: Türkiye’de Bulunan İniş Şeridi Bilgileri

	İNİŞ ŞERİDİ ADI	BULUNDUĞU İL	PİST	
			UZUNLUĞU	GENİŞLİĞİ
1	Bursa Yunuseli	Osmangazi/Bursa	934 m	32 m
2	Antalya Karain	Döşemealtı/Antalya	1058 m	36 m
3	Multi Enerji Ltd. Şti.	Süleymanpaşa/Tekirdağ	350 m	20 m
4	THK İnönü Havacılık Eğitim Merkezi	İnönü/Eskişehir	1200 m	50 m
5	Sivrihisar Havacılık Merkezi (SHM) Necati Artan Tesisleri	Sivrihisar/Eskişehir	1810 m	32 m
6	Samsun Üniversitesi	19 Mayıs/Samsun	960 m	30 m
7	KTO Karatay Üniversitesi	Selçuklu/Konya	1500 m	30 m
8	Pamukova İniş Şeridi	Pamukova/Sakarya	1065 m	25 m
9	Bozcaada İniş Şeridi	Bozcaada/Çanakkale	670 m	25 m

Kaynak: SHGM,2023



Şekil 8.4: Türkiye’de Uçak Kullanımına Açık İniş şeridi

Kaynak: Apple Haritalar

İniş şeritlerinin özellikle yüksek yoğunluklu havaalanı olan batı bölgelerinde yer alması gözlemlenmektedir. Ayrıca küçük havaalanı sınıfına giren Hezarfen ve İzmir Selçuk Efes Havaalanları bu sınıfta değerlendirilmiştir. Çalışmasının kısıtları gereği İKU işletmecileri için ana üs olarak iniş şeritleri alternatifi için İstanbul Avrupa yakasında bulunan Hezarfen havaalanı alternatif olarak kabul edilmiştir.

8.4.1.3 İHA havaalanı (droneport) düzenlemesi

Havaalanlarında insanlı ve insansız uçak trafiklerinin beraber gerçekleştirildiği ancak daha önce yapılan hava trafik yönetimi çalışmaları gösteriyor ki belli bir trafik yoğunluğunun üzerinde insanlı uçuş trafiklerinin yaklaşma ve iniş esnasında geçirdikleri sürelerde yüzde elli oranında bir artış göstermektedir. (Savaş, 2019)

Havada geçirilecek sürenin uzaması havayollarında en büyük maliyet kalemi olan yakıt giderinin önemli ölçüde artmasına sebep olmaktadır. Hem trafik yoğunluğu hem de yakıt tüketiminden kaynaklı maliyetlerin artışının önüne geçmek için insanlı ve insansız uçuşları birbirinden ayrılması bir çözüm olabileceği değerlendirilmektedir.

Tamamen insanlı uçuşlardan oluşan trafik kompozisyonuna sahip mevcut havaalanları/ havalimanları gözönüne alındığında, bu havalimanları içinde insansız hava araçlarının operasyonlarının dahil edilmesi yerine insanlı uçak trafiklerinin minimumda tutulduğu, asıl trafik yoğunluğunun İnsansız Hava Araçlarından oluşan gerekli yer destek teçhizatları ve uygun ekipman ile donatılmış bir havaalanının (droneport) oluşturulması bir çözüm olarak da değerlendirilmiştir.

Tablo 8.1'e bakıldığında günde 1veya daha düşük sayıda tarifeli uçağa hizmet veren ve kargo taşımacılığına uygun ekonomik altyapıya sahip bölgelerde yer alan havaalanlarının uygun ekipman ve yer destek cihazları ile donatılması ile hem bölge ekonomisine, istihdama hem de yeni operasyonel hayata geçecek İKU teknolojisinin teşvik edilmesine katkı sağlanacağı değerlendirilmektedir. Özellikle iniş şeridinde ortaya konulan bazı kısıtlar; ağırlık, pist, uzunluğu ve görerek uçuş kuralları gibi hususlar bu havalimanlarında söz konusu olmaması bir avantaj bu atıl havaalanları/ havalimanları için bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

Çalışma kapsamında hedeflenen İstanbul bölgesi için, İstanbul civarında karayolu ile yaklaşık 1 saatlik araç yolculuğu mesafesinde bulunan en yakın havaalanı ve en düşük hava trafiğine sahip Çorlu Havaalanı bu kapsamda örnek olarak alınmıştır.

8.4.1.4 İKU firmalarının iniş şeridi inşası

İKU konseptinin hayata geçmesi ile özellikle kargo firmaları tarafından artan e-ticaret siparişlerinin, şehirlerde artan trafik ve artan kamyon şoförü sıkıntılarından dolayı talep görüleceği değerlendirilmektedir.

Yarı ve son nokta teslimatlarda sabit kanatlı İKU'ların kullanımı için birçok havacılık otoritesinin ihtiyatlı olarak izin vermesi ile Bulgar firması olan Dronamics

350 kg yük taşıyabilen ve 2500 km menzile sahip aynı gün teslimat yapabilen uçağını geliştirmiş ve ticari olarak operasyon yapmak için, görüş ötesi operasyonlar (BVLOS) dahil olmak üzere uçuşlarını kendi yetkilendirilebileceği Avrupa Birliği lisansını almıştır. Kara tabanlı tedarik zincirinde yaşanan aksaklıklar göz önünde bulundurularak DHL kargo firması tarafından 10 yıl içerisinde bir teslimat modu olarak İKU'ların kullanımını artıracak şirket tarafından öngörülmüştür. (DHL Insight ve Innovations, Mid & Last Mile Delivery, 2023)

İKULARın ticari faaliyetlerde yer alması ile kargo firmalarının İKU operasyonlarını halihazırda kullandıkları kara tabanlı tedarik zinciri ile entegre olacak şekilde planlama yapma ihtiyaçları olabilecektir. Bu bölümde bahsedilen İKU operasyon alternatifleri için ortaya konulan mevcut havaalanı veya iniş şeridi kullanımı ve düzenlemesi ekonomik ve etkin olmaması durumunda, firmaların İKU operasyonları için gerekli altyapı ihtiyacı kendi iniş şeridini inşa ederek SHGM'den gerekli sertifika ve yetkileri alması ile mümkün olacaktır.

Firmaların kendi iniş şeridini inşa etmesi ve tasarlaması operasyonel anlamda diğer taşıma modları ile kolaylıkla entegrasyonunu sağlayacaktır. İyi bir iniş şeridi tasarımı ve uygun ekipmanlar ile donatılması tedarik zincirinde devamlılığı destekleyecektir.

SHGM ile firmaların talepleri ve kullanacakları İKU modelinin gerekliliklerine göre gerekli düzenlemeler insanlı uçuş trafiklerini riske atmadan ve olumsuz etkilemeden uygulanması mümkün olacaktır.

Bu çalışmada İstanbul kenti örnek çalışmasında, İKU için üs olarak düşünülen firmanın kendi inşa edeceği iniş şeridi için İstanbul Avrupa yakasında ticari faaliyetlere yakın olduğu bir bölgede inşa edileceği varsayılmıştır.

8.4.2 Kriterler

Bu çalışmada İKU operasyonları için belirlenen altyapı seçenekleri olarak en uygun havaalanı altyapısının seçilebilmesi için kriterlerin belirlenmesi oldukça önemli bir aşamadır. Kriterler için literatür çalışmalarından yararlanılmalı ve uzmanlardan görüş alınması çalışmanın en zorlu sürecidir. Çünkü aynı zamanda bundan sonra yapılacak çalışmalara da ışık tutabilecek ve daha farklı gelişmelere yol açabilecektir. Bu çalışma için kriterlerin belirlenmesinde, literatürde benzer çalışmalar olmadığından ve karar verici konumunda olan uzmanlar, akademisyenler ve de Dronamics şirketi üst

düzyetkilisinin görüşlerinden yararlanılmıştır. Belirlenen kriterler ve açıklamaları Tablo 8.3’te yer almaktadır.

Tablo 8.3: Değerlendirme Kriterleri ve Açıklamaları

Değerlendirme Kriterleri	
Kriter	Açıklama
Maliyet	İlk Kurulum Maliyeti: İKU sistemlerinin ilk kurulum maliyeti, inşa edilecek yapı maliyetleri (Altyapının ilk kurulumu ve Kargo tesisleri ve gerekli cihazların edinilme maliyeti),
	Operasyonel Maliyet: Havalimanı/ havaalanı Ücret Tarifesi (Konma ve konaklama vb.) ile belirlenen ücretler, SHGM tarafından belirlenen Hizmet Tarifesi (Trafik hizmeti, İnşa ve Kullanım izinleri vb.) ile belirlenen ücretler, personel ve ekipman bakım/idame maliyetleri,
Kargo Tesislerinin Mevcudiyeti ve Gelişmişliği	Kullanılacak havaalanı alternatifine göre kargo tesislerinin mevcudiyeti, mevcut ise kapasite açısından kara, depo ve hava tarafı olmak üzere kapasite, uluslararası düzeyde elleçleme, tesislerin kuruluş amacına hizmet ederken İKU operasyonlarının entegre olabilmesi, bilgi iletişim ağının bulunması ve bilgi akışı altyapısının varlığının değerlendirilmesi, Kargo tesisi mevcut olmayan alternatifler için arzu edilen kapasitede bir kargo terminalinin inşası için uygun koşulların mevcut olup olmadığının değerlendirilmesi

Tablo 8.3 (Devam): Değerlendirme Kriterleri ve Açıklamaları

Erişilebilirlik	Talep Alanına Yakınlık: Taşımacılık faaliyeti için yoğun talebi olan gönderici ve alıcıların bulunduğu alanlara ve ticari bölgelere yakınlığın değerlendirilmesi,
	Ulaşım Sistemlerinin Erişilebilirliği: Diğer taşıma modları ile entegrasyonun mümkün olması, Kara, Deniz ve Demiryolu taşımacılığına erişimi, operasyonun yürütüleceği alana havaalanına/iniş şeridinde erişim ve çalışan personelin işyerine ulaşımı, müşterilerin firmaya ulaşımının değerlendirilmesi,
ATS 'ne entegrasyon kolaylığı ve prosedürleri	Operasyon yapılacak havalimanı/iniş şeridinin işletilmesi, ticari yetki belgelerinin alınması, tarifeli veya tarifesiz uçuşlar için hava trafik yönetimi ile kurulacak koordine ihtiyacı, İKU sistemi için havacılık otoriteleri ile koordine kurularak yapılması gereken düzenlemelerin değerlendirilmesi,
İnsan Kaynakları	İş gücü temini için personel alımı veya hizmet alımı şeklinde diğer firmalar ile koordineli çalışma, çalışacak personelin ihtiyaçlarının karşılanması (ulaşım, konaklama, dinlenme vs.)
Güvenlik	Operasyon alanının yabancı maddelerden, canlı havyan gibi operasyonu olumsuz etkileyecek faktörlerden arındırılmış olması, operasyon alanının yetkisiz kişilerinin erişimine kısıtlanabilmesi, operasyon bölgesinde dışarıdan olumsuz etkileyecek çevresel güvenliğin alınması,

Bu çalışmada insansız hava kargo uçağı için üs konumunda havaalanı altyapısının belirlenebilmesinde değerlendirme kriterleri çok önemli bir aşama olarak yerini almıştır. Hava kargo faaliyeti gösterecek firmalar için havaalanı altyapısının firma için en doğru olabilecek seçiminde kriterler ve onların önem dereceleri olarak ifade edilen ağırlıkları son derece etkili olacaktır.

8.4.3 Karar Vericiler

Bu çalışmada karar vericiler içerisinde hava kargo sektöründe hizmet veren havayolu baş yöneticisi ve uçuş harekât merkezi müdürü, İHA'ların bulunduğu havaalanında hizmet veren kule ve hava sahası yönetiminde görev alan hava trafik kontrolörleri ve akademisyenlerden oluşmaktadır. Karar vericilerin İstanbul bölgesinin ticari ve sanayi gelişimi üzerine bilgisi olmasına dikkat edilmiştir. Çalışmanın günümüzde ticari bir örneği olmadığı, halen geliştirme aşamasında olduğu için gelecek perspektifini bilimsel temellere dayandırmak adına üç akademisyen karar verici olarak çalışmaya katkıda bulunmuşlardır. Akademisyenlerin başlıca çalışma alanları sırasıyla İHA teknolojileri, lojistik, ulaştırma mühendisliği, hava trafik yönetimi ve havaalanıdır. Toplamda 7 adet karar verici çalışmada yer almıştır. Mesleklerinde uzun yıllar tecrübeye sahip, nitelikli insanlardan oluşan karar verici grubu çalışmanın amacına ulaşabilmesi için gerekli değerlendirmeyi elde etmek için yeterli görülmüştür.

8.5 Çalışma Süreci ve Analizler

Analiz sürecinde karar vericilere yapılan anket için Kriterlerin ağırlıklandırılmasında ve altyapı seçenecekleri olan alternatiflerin bu kriterlere göre değerlendirmelerinde 5'li liker ölçeği üzerinden cevapları alınmış ve analizlerde bulanık sayı eşdeğerleri alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Karar vericilerin kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan ölçek Tablo 8.4'te ve altyapı seçeneklerinin (alternatiflerin) bu kriterlere göre değerlendirmesinde kullanılan ölçek Tablo 8.5'te gösterilmektedir.

Tablo 8.4 : Kriter Ağırlığı Ölçeği

	5	4	3	2	1
Değerlendirme Ölçeği	Çok Önemli	Önemli	Orta derecede önemli	Az önemli	Önemsiz

Tablo 8.5: Kriter Değerlendirme Ölçeği

	5	4	3	2	1
Değerlendirme Ölçeği	Çok İyi	İyi	Orta derecede İyi	Az İyi	İyi değil

Analizin ilk aşaması olan kriterlerin ağırlıklandırılmasında karar vericilerin kriterlerin ağırlıklandırılmasında verdikleri değerler ağırlıklandırma matrisi olarak Tablo 8.6’da gösterilmiştir.

Tablo 8.6: Kriterlerin Ağırlıklandırılması Matrisi

KRİTERLERİN AĞIRLIKLANDIRILMASI								
Ana Kriterler	Alt Kriterler	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	KV7
Maliyet		5	5	5	4	4	4	5
	İlk Kurulum Maliyeti	5	5	5	3	3	4	4
	Operasyonel Maliyet	4	5	5	5	4	3	4
Kargo Tesislerin Mevcudiyeti ve Gelişmişliği		5	3	3	5	3	4	4
Erişilebilirlik		5	3	4	4	4	4	5
	Talep Alanlarına Yakınlık	5	2	3	4	4	5	5
	Ulaşım Sistemlerinin Erişilebilirliği	4	4	5	3	4	3	5
ATS’Ne Entegrasyon Kolaylığı Ve Prosedürleri		4	5	5	5	5	5	4
İnsan Kaynakları		3	3	4	3	5	3	3
Güvenlik		4	4	4	5	5	3	4

8.5.1 Entropi Temelli ARAS Yöntemi ile Analiz

Entropi yöntemi, karar vericiler tarafından kriter bazında değerlendirilen alternatiflerden yola çıkarak kriter ağırlığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem ile karar vericilerin yaptığı değerlendirmeler ile yaptıkları kriter ağırlıklandırma değerlendirmelerinin sayısal olarak aynı sonucu verip vermediği TOPSIS yönteminde kullanılacak ağırlık belirleme yöntemi olan ortak üçgen sayıya çevirme yöntemi ile kıyaslanabilecektir.

Karar vericiler tarafından her alternatif için değerlendirilen kriterlerin karşılığı aritmetik ortalaması alınarak tek bir üçgen sayıya çevrilmiştir. Öncelikli olarak Tablo 8.7’de karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerin ortalama üçgen bulanık sayıya dönüştürülmüş hali sunulmuştur.

Elde edilen Tablo 8.7’deki matris üzerinden üçgen bulanık sayılar için toplam değer sütununda bulunan üçgen bulanık sayı ile her alternatifin kriter bazında değerlendirmesinden bulunan ortalama üçgen sayının bölünmesi ile Tablo 8.8’de gösterilen Normalize edilmiş karar matrisi elde edilmiştir.

Entropi yönteminde belirtildiği gibi normalize edilen karar matrisinin logaritması (In) alınarak Tablo 8.9’da gösterilmiştir.

Logaritması alınmış karar matrisi ile normalize edilmiş karar matrisinde elde edilen üçgen bulanık sayıların çarpımı ile Tablo 8.10’da kendi değeri ile çarpılmış, Logaritması alınmış karar matrisi gösterilmiştir. Sabit bir değer olan k entropi sayısının hesaplanmasında denklem 6.3 kullanarak dört alternatif bulunan karar matrisinde – 0,721 değeri elde edilir. Elde edilen bu Entropi değeri ile Tablo 8.10’da gösterilen toplam üçgen bulanık sayıların çarpımı ile Tablo 8.11’de gösterilen e_j ve kriter ağırlığı olan w_j değerleri denklem 6.4 ve 6.5 kullanarak hesaplanmıştır.



Tablo 8.7: Aritmetik Ortalaması Alınmış Kriter Değerlendirmeleri

KV ORT	K1			K2			K3			K4		
A1	0,6714	0,8714	0,9857	0,2857	0,4714	0,6571	0,6714	0,8714	0,9857	0,7	0,9	1
A2	0,2	0,3857	0,5857	0,4143	0,6143	0,8143	0,1571	0,3286	0,5286	0,4714	0,6714	0,8714
A3	0,5857	0,7857	0,9429	0,4714	0,6714	0,8429	0,5	0,7	0,8571	0,3286	0,5286	0,7286
A4	0,1143	0,2429	0,4429	0,4857	0,6714	0,8143	0,2857	0,4429	0,6143	0,4429	0,6429	0,8143
TOPLAM	1,5714	2,2857	2,9571	1,6571	2,4286	3,1286	1,6143	2,3429	2,9857	1,9429	2,7429	3,4143
KV ORT	K5			K6			K7			K8		
A1	0,6714	0,8714	0,9857	0,6143	0,8143	0,9286	0,6143	0,8143	0,9571	0,6714	0,8714	0,9857
A2	0,4714	0,6714	0,8714	0,3571	0,5571	0,7429	0,4143	0,6143	0,8	0,3857	0,5857	0,7714
A3	0,4714	0,6714	0,8571	0,6143	0,8143	0,9571	0,4714	0,6714	0,8429	0,5571	0,7571	0,9143
A4	0,4714	0,6714	0,8429	0,4429	0,5429	0,7	0,4429	0,6143	0,7714	0,3286	0,4429	0,6429
TOPLAM	2,0857	2,8857	3,5571	2,0286	2,7286	3,3286	1,9429	2,7143	3,3714	1,9429	2,6571	3,3143

Tablo 8.8: Normalize Edilmiş Karar Matrisi

NORMALİZE EDİLMİŞ KARAR MATRİSİ												
KV ORT	K1			K2			K3			K4		
A1	0,2271	0,3813	0,6273	0,0913	0,1941	0,3966	0,2249	0,372	0,6106	0,205	0,3281	0,5147
A2	0,0676	0,1688	0,3727	0,1324	0,2529	0,4914	0,0526	0,1402	0,3274	0,1381	0,2448	0,4485
A3	0,1981	0,3438	0,6	0,1507	0,2765	0,5086	0,1675	0,2988	0,531	0,0962	0,1927	0,375
A4	0,0386	0,1063	0,2818	0,1553	0,2765	0,4914	0,0957	0,189	0,3805	0,1297	0,2344	0,4191

Tablo 8.9 (Devamı): Normalize Edilmiş Karar Matrisi

NORMALİZE EDİLMİŞ KARAR MATRİSİ												
KV ORT	K5			K6			K7			K8		
A1	0,1888	0,302	0,4726	0,1845	0,2984	0,4577	0,1822	0,3	0,4926	0,2026	0,328	0,5074
A2	0,1325	0,2327	0,4178	0,1073	0,2042	0,3662	0,1229	0,2263	0,4118	0,1164	0,2204	0,3971
A3	0,1325	0,2327	0,411	0,1845	0,2984	0,4718	0,1398	0,2474	0,4338	0,1681	0,2849	0,4706
A4	0,1325	0,2327	0,4041	0,133	0,199	0,3451	0,1314	0,2263	0,3971	0,0991	0,1667	0,3309

Tablo 8.10: Logaritması alınmış Karar Matrisi

In NORMALİZE EDİLMİŞ KARAR MATRİSİ												
KV ORT	K1			K2			K3			K4		
A1	-1,4825712	-0,964	-0,466	-2,393	-1,639	-0,925	-1,492	-0,989	-0,493	-1,585	-1,114	-0,664
A2	-2,6936615	-1,779	-0,987	-2,022	-1,375	-0,711	-2,944	-1,964	-1,116	-1,98	-1,407	-0,802
A3	-1,6191467	-1,068	-0,511	-1,893	-1,286	-0,676	-1,787	-1,208	-0,633	-2,341	-1,647	-0,981
A4	-3,2532773	-2,242	-1,266	-1,863	-1,286	-0,711	-2,347	-1,666	-0,966	-2,042	-1,451	-0,87
KV ORT	K5			K6			K7			K8		
A1	-1,6673053	-1,197	-0,75	-1,69	-1,209	-0,781	-1,703	-1,204	-0,708	-1,597	-1,115	-0,679
A2	-2,0209453	-1,458	-0,873	-2,232	-1,589	-1,005	-2,097	-1,486	-0,887	-2,151	-1,512	-0,924
A3	-2,0209453	-1,458	-0,889	-1,69	-1,209	-0,751	-1,967	-1,397	-0,835	-1,783	-1,255	-0,754
A4	-2,0209453	-1,458	-0,906	-2,017	-1,615	-1,064	-2,03	-1,486	-0,924	-2,311	-1,792	-1,106

Tablo 8.11: Logaritma Değeri ile Normalize Edilmiş Değerler Çarpımı Matrisi

KV ORT	K1			K2			K3			K4		
A1	-0,336	-0,368	-0,293	-0,219	-0,318	-0,367	-0,336	-0,368	-0,301	-0,325	-0,366	-0,342
A2	-0,182	-0,3	-0,368	-0,268	-0,348	-0,349	-0,155	-0,275	-0,366	-0,273	-0,345	-0,36
A3	-0,320	-0,367	-0,306	-0,285	-0,355	-0,344	-0,299	-0,361	-0,336	-0,225	-0,317	-0,368
A4	-0,125	-0,238	-0,357	-0,289	-0,355	-0,349	-0,225	-0,315	-0,368	-0,265	-0,34	-0,364
TOPLAM	-0,965	-1,273	-1,324	-1,061	-1,377	-1,409	-1,014	-1,319	-1,371	-1,088	-1,368	-1,434
KV ORT	K5			K6			K7			K8		
A1	-0,314	-0,362	-0,354	-0,312	-0,361	-0,358	-0,31	-0,361	-0,349	-0,323	-0,366	-0,344
A2	-0,267	-0,339	-0,365	-0,24	-0,324	-0,368	-0,258	-0,336	-0,365	-0,25	-0,333	-0,367
A3	-0,267	-0,339	-0,365	-0,312	-0,361	-0,354	-0,275	-0,346	-0,362	-0,3	-0,358	-0,355
A4	-0,267	-0,339	-0,366	-0,268	-0,321	-0,367	-0,267	-0,336	-0,367	-0,229	-0,299	-0,366
TOPLAM	-1,118	-1,379	-1,45	-1,132	-1,367	-1,447	-1,11	-1,379	-1,443	-1,103	-1,355	-1,432

Tablo 8.12: Entropi Yöntemi ile Belirlenen Üçgen Bulanık Kriter Ağırlıkları

ENTROPİ	K1			K2			K3			K4		
e_j	0,6962	0,9184	0,9549	0,7651	0,9931	1,0163	0,7317	0,9516	0,9887	0,7852	0,9864	1,0342
$1-e_j$	0,3037	0,0816	0,0451	0,2349	0,0069	-0,016	0,2683	0,0484	0,0113	0,2148	0,0136	-0,034
w_j	0,1684	0,4153	-0,285	0,1303	0,0349	0,1033	0,1488	0,2464	-0,072	0,1191	0,069	0,2165
ENTROPİ	K5			K6			K7			K8		
e_j	0,8066	0,995	1,0463	0,8163	0,9864	1,0439	0,8004	0,9949	1,041	0,7954	0,9777	1,0327
$1-e_j$	0,1933	0,005	-0,046	0,1837	0,0136	-0,044	0,1996	0,0051	-0,041	0,2046	0,0223	-0,033
w_j	0,1072	0,0254	0,2927	0,1019	0,0695	0,2776	0,1107	0,0258	0,2596	0,1135	0,1137	0,2071

Entropi yöntemi ile yapılan kriter ağırlıklandırmasında kullanılan karar vericilerin kriter bazında alternatif değerlendirmesi sonucu en önemli kriterin K6 yani ATS 'ne entegrasyon kolaylığı ve prosedürleri kriterinin olduğu gözlemlenmektedir.

Kriter ağırlıkları entropi yöntemi ile belirlendikten sonra ARAS yönteminin uygulanmasına karar vericilerin kriter bazında alternatifleri değerlendirmesini denklem 6.7 ile ortak üçgen sayıya çevrilmesi ve denklem 6.9 ile kriterlerimizin hepsi fayda kriteri olduğu için normalize edilmiş hali Tablo 8.12 ile gösterilmiştir.

Kriterler fayda ve maliyet olarak ikiye ayrılır. Bazı kriterlerin düşük değerlendirmeler alması avantajlı olarak yorumlanır. Örneğin maliyet kriteri eğer bir ürün kıyaslaması yapıyorsak, ürünün fiyatı ne kadar düşük olursa diğer alternatiflere göre daha avantajlı olacağından ötürü maliyet farklı hesaplama yapılması gerekir. Ancak mevcut çalışmada maliyet kriteri, ilk kurulum maliyeti ve operasyonel maliyeti olarak iki alt kriterden oluşmakta ve karar vericiler tarafından maliyetlerin düşük olması iyi olarak değerlendirilmiştir. Dolayısı çalışma içerisinde bulunan maliyet kriteri aslında fayda kriteri kapsamında değerlendirilmiştir.

Normalize edilmiş karar matrisine kriter bazında alınan en iyi değerlendirmelerden oluşan ideal değer satırı eklenmiş ve tekrar normalize edilerek Tablo 8.13'te gösterilmiştir.

Entropi yöntem ile belirlenen üçgen bulanık sayılı kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılan karar matrisi Tablo 8.14'te gösterilmiştir. Karar vericilerin değerlendirmelerinden derlenen kriter ağırlıkları yeni bir matris elde edilmiştir. İdeal değer satırının eklenerek tekrar normalize edilen karar matrisi son halini almaktadır. Son halini alan karar matrisinde bulunan üçgen sayıların reel sayıya dönüştürülmesi için karekök metodu kullanılmıştır.

Elde edilen üçgen bulanık sayılardan oluşan ağırlıklı ve normalize edilmiş karar matrisinin reel sayıya dönüştürülmesi için denklem 6.6'da belirtilen karekök metodu kullanılarak Tablo 8.15'te gösterilen karar matrisi elde edilmiştir.

Alternatif optimizasyon fonksiyonu (S_i) değeri reel sayıya dönüştürülen her bir kriter değeri toplanarak bulunur. S_0 değeri ise optimizasyon fonksiyon toplamını verir. Kriter sıralandırması için bulunan her alternatif için S_i değeri S_0 değerine bölünerek K_i değeri bulunmuş ve alternatiflerin sıralandırması Tablo 8.16 ile gösterilmiştir

Tablo 8.13: Normalize Edilmiş Ortak Karar Matrisi

KARAR VERİCİLERİN DEĞERLENDİRMELERİNİN ORTAK MATRİSİ																
MALİYET		ALTERNATİF 1			ALTERNATİF 2			ALTERNATİF 3			ALTERNATİF 4					
		İlk Kurulum Maliyeti			0,5	0,8714	1	0	0,3857	0,7	0,5	0,7857	1	0	0,2429	0,9
		Operasyonel Maliyet			0	0,4714	1	0,3	0,6143	0,9	0,1	0,6714	1	0	0,6714	1
KARGO TESİSLERİN MEVCUDİYETİ VE GELİŞMİŞLİĞİ		0,5	0,8714	1	0	0,3286	0,9	0,1	0,7	1	0	0,4429	1			
ERİŞİLEBİLİRLİK		Talep Alanlarına Yakınlık			0,7	0,9	1	0,3	0,6714	0,9	0,3	0,5286	0,9	0,1	0,6429	1
		Ulaşım Sistemlerinin Erişilebilirliği			0,5	0,8714	1	0,3	0,6714	0,9	0,3	0,6714	1	0,1	0,6714	1
ATS'NE ENTEGRASYON KOLAYLIĞI VE PROSEDÜRLERİ		0,1	0,8143	1	0,1	0,5571	1	0,5	0,8143	1	0,1	0,5429	1			
İNSAN KAYNAKLARI		0,5	0,8143	1	0,1	0,6143	1	0,1	0,6714	1	0,1	0,6143	1			
GÜVENLİK		0,5	0,8714	1	0,1	0,5857	1	0,3	0,7571	1	0,1	0,4429	0,9			

Tablo 8.14: İdeal Değer ile Toplanarak Normalize Edilen Karar Matrisi

KV ORT	K1			K2			K3			K4		
A1	0,5	0,8714	1	0	0,4714	1	0,5	0,8714	1	0,7	0,9	1
A2	0	0,3857	0,7	0,3	0,6143	0,9	0	0,3286	0,9	0,3	0,6714	0,9
A3	0,5	0,7857	1	0,1	0,6714	1	0,1	0,7	1	0,3	0,5286	0,9
A4	0	0,2429	0,9	0	0,6714	1	0	0,4429	1	0,1	0,6429	1
TOPLAM	1	2,2857	3,6	0,4	2,4286	3,9	0,6	2,3429	3,9	1,4	2,7429	3,8
İDEAL Değ.	0,5	0,8714	1	0,3	0,6714	1	0,5	0,8714	1	0,7	0,9	1
KV ORT	K5			K6			K7			K8		
A1	0,5	0,8714	1	0,1	0,8143	1	0,5	0,8143	1	0,5	0,8714	1
A2	0,3	0,6714	0,9	0,1	0,5571	1	0,1	0,6143	1	0,1	0,5857	1
A3	0,3	0,6714	1	0,5	0,8143	1	0,1	0,6714	1	0,3	0,7571	1
A4	0,1	0,6714	1	0,1	0,5429	1	0,1	0,6143	1	0,1	0,4429	0,9
TOPLAM	1,2	2,8857	3,9	0,8	2,7286	4	0,8	2,7143	4	1	2,6571	3,9
İDEAL Değ.	0,5	0,8714	1	0,5	0,8143	1	0,5	0,8143	1	0,5	0,8714	1

Tablo 8.15: Entropi ile Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisi

NORMALİZE EDİLMİŞ KARAR MATRİSİ												
KV ORT	K1			K2			K3			K4		
A1	0,1087	0,276	0,6667	0	0,1521	1,4286	0,102	0,2711	0,9091	0,1458	0,2471	0,4762
A2	0	0,1222	0,4667	0,0612	0,1982	1,2857	0	0,1022	0,8182	0,0625	0,1843	0,4286
A3	0,1087	0,2489	0,6667	0,0204	0,2166	1,4286	0,0204	0,2178	0,9091	0,0625	0,1451	0,4286
A4	0	0,0769	0,6	0	0,2166	1,4286	0	0,1378	0,9091	0,0208	0,1765	0,4762
KV ORT	K5			K6			K7			K8		
A1	0,102	0,2319	0,5882	0,02	0,2298	0,7692	0,1	0,2308	0,7692	0,102	0,247	0,6667
A2	0,0612	0,1787	0,5294	0,02	0,1573	0,7692	0,02	0,1741	0,7692	0,0204	0,166	0,6667
A3	0,0612	0,1787	0,5882	0,1	0,2298	0,7692	0,02	0,1903	0,7692	0,0612	0,2146	0,6667
A4	0,0204	0,1787	0,5882	0,02	0,1532	0,7692	0,02	0,1741	0,7692	0,0204	0,1255	0,6

Tablo 8.16: Karar Matrisinin Reel Sayıya Dönüştürülmesi

ENTROPİ İLE AĞIRLIKLI NORMALİZE EDİLMİŞ KARAR MATRİSİNİN REEL SAYIYA ÇEVİRİLMESİ								
KV ORT	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	0,0082	0,0036	0,0014	0,0018	0,0049	0,0076	0,0066	0,0033
A2	0,0033	0,0029	0,0006	0,0014	0,0040	0,0076	0,0066	0,0032
A3	0,0078	0,0036	0,0011	0,0014	0,0049	0,0076	0,0066	0,0032
A4	0,0050	0,0036	0,0009	0,0017	0,0049	0,0076	0,0066	0,0026

Tablo 8.17: Alternatiflerin Entropi Temelli ARAS Yöntemi ile Sıralandırması

	S_i	K_i	SIRALAMA
A1	0,0378	0,2748	1
A2	0,0300	0,2177	4
A3	0,0366	0,2663	2
A4	0,0332	0,2410	3
S_0	0,1377		

Entropi Temeli ARAS yönteminin alternatifleri sıralandırması sırasıyla, mevcut düşük trafik yoğunluklu havaalanı kapsamında değerlendirmeye alınan Atatürk Havalimanı, İHA havaalanı düzenlemesi kapsamında değerlendirmeye alınan Çorlu Atatürk Havaalanı, İKU firmalarının iniş şeridi inşası ve son olarak mevcut iniş şeritleri kategorisinde değerlendirilen Hezarfen Havalimanı yer almıştır.

8.5.2 Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Analiz

Bulanık TOPSIS yönteminde kriter ağırlıklarını belirlemek için karar vericiler tarafından yapılan kriter ağırlığı değerlendirmeleri baz alınmıştır. Karar vericiler tarafından yapılan kriter ağırlıklandırma sözel değerlendirmesi, öncelikle üçgen bulanık üyelik fonksiyonuna takiben denklem 6.18 kullanılarak ortak bulanık sayıya çevrilerek ana kriter ağırlıkları ile alt kriter ağırlıklarının çarpımı ile birleştirilmiş kriter ağırlıkları üçgen bulanık sayı olarak Tablo 8.17’de gösterilmiştir.

Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra karar vericilerin kriter bazında alternatif değerlendirmeleri ortak bulanık sayıya çevrilerek ve normalize edilerek Tablo 8.18 ile gösterilmiştir.

Normalize edilen karar matrisi kullanılarak, ideal ve negatif çözüm değerlerin bulunarak, bulanık pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri elde edilerek aralarındaki uzaklık denklem 6.25 kullanılarak yakınlık katsayısı elde edilmiştir. Elde edilen bulanık pozitif ideal çözüm değeri, negatif ideal çözüm değeri, yakınlık katsayısı ve alternatiflerin sıralandırması Tablo 8.19 ile gösterilmiştir.

Bulanık TOPSİS yöntemi ile Entropi Temeli ARAS yönteminin alternatifleri sıralandırması birbiriyle uyumlu bir şekilde gerçekleşmiştir. Ağırlıklandırma ve değerlendirme için iki farklı yöntem kullanılmasına rağmen aynı sıralandırma elde edilmiştir. Sıralama, mevcut düşük trafik yoğunluklu havaalanı kapsamında değerlendirmeye alınan Atatürk Havalimanı, İHA havaalanı düzenlemesi kapsamında

değerlendirmeye alınan Çorlu Atatürk Havaalanı, İKU firmalarının iniş şeridi inşası ve son olarak mevcut iniş şeritleri kategorisinde değerlendirilen Hazerfan Havalimanı yer almıştır.

Tablo 8.18: Birleştirilmiş Kriter Ağırlıkları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	KV1	KV2	KV3
Maliyet				
	İlk Kurulum Maliyeti	0,15	0,5933	1
	Operasyonel Maliyet	0,15	0,6165	1
Kargo Tesislerin Mevcudiyeti ve Gelişmişliği		0,3	0,6429	1
Erişilebilirlik				
	Talep Alanlarına Yakınlık	0,03	0,4700	1
	Ulaşım Sistemlerinin Erişilebilirliği	0,09	0,4900	1
ATS'Ne Entegrasyon Kolaylığı Ve Prosedürleri		0,50	0,8429	1
İnsan Kaynakları		0,30	0,5857	1
Güvenlik		0,30	0,7286	

Tablo 8.19: Normalize Edilmiş Karar Matrisi

KARAR VERİCİLERİN DEĞERLENDİRMELERİNİN ORTAK MATRİSİ													
MALİYET	ALTERNATİF 1			ALTERNATİF 2			ALTERNATİF 3			ALTERNATİF 4			
	İlk Kurulum Maliyeti	0,5	0,8714	1	0	0,3857	0,7	0,5	0,7857	1	0	0,2429	0,9
	Operasyonel Maliyet	0	0,4714	1	0,3	0,6143	0,9	0,1	0,6714	1	0	0,6714	1
KARGO TESİSLERİN MEVCUDİYETİ VE GELİŞMİŞLİĞİ		0,5	0,8714	1	0	0,3286	0,9	0,1	0,7	1	0	0,4429	1
ERİŞİLEBİLİRLİK	Talep Alanlarına Yakınlık	0,7	0,9	1	0,3	0,6714	0,9	0,3	0,5286	0,9	0,1	0,6429	1
	Ulaşım Sistemlerinin Erişilebilirliği	0,5	0,8714	1	0,3	0,6714	0,9	0,3	0,6714	1	0,1	0,6714	1
ATS'NE ENTEGRASYON KOLAYLIĞI VE PROSEDÜRLERİ		0,1	0,8143	1	0,1	0,5571	1	0,5	0,8143	1	0,1	0,5429	1
İNSAN KAYNAKLARI		0,5	0,8143	1	0,1	0,6143	1	0,1	0,6714	1	0,1	0,6143	1
GÜVENLİK		0,5	0,8714	1	0,1	0,5857	1	0,3	0,7571	1	0,1	0,4429	0,9

Tablo 8.20: Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralandırması

	D_i^*	D_i^-	CC	SIRALAMA
A1	1,4821	1,7011	0,5344	1
A2	1,8827	1,2297	0,3951	4
A3	1,6084	1,5307	0,4876	2
A4	1,9114	1,3687	0,4173	3

Türkiye'de orta irtifa havada uzun kalışlı insansız kargo uçağı için ideal altyapısının (havaalanı) belirlenmesi çalışmasında Sektöründe 15 yıl üzeri çalışmada bulunmuş uzman karar vericiler ile iki farklı ağırlık belirleme ve iki farklı sıralandırma yöntemi kullanılarak İstanbul'da Avrupa yakası bölgesi özelinde analiz yapılmıştır.

Karar vericiler ile yapılan yüz yüze görüşmelerde çalışmanın kısıtları, havaalanı alternatiflerinin tercih edilme sebebi ve detaylı bilgiler verilmiş, henüz dünyada bir ilk olarak bir havacılık otoritesinden ticari havayolu lisansı alan drone havayolu olarak kendisini tanımlayan Dronamics firmasına ait Black Swan uçağı hakkında limit ve operasyonel kabiliyetleri hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

Çalışmada bir drone havayolu şirketinin ana üssü olarak iç hat kargo hacminin %49'unu bulunduran İstanbul kentinden faaliyet göstereceğı varsayımı üzerine altyapı seçenekleri belirlenmiştir. Bu veriyi destekleyen 2024 yılından yayımlanan E-Ticaret Görünüm Raporu, İstanbul'un E-ticarete uyumu en yüksek il olarak belirlemiştir. İstanbul % 55 kargo gönderen ve %29 kargo alan en yüksek il olarak birinci sırada yer almıştır. Modelde alternatifler olarak belirlenen altyapı seçenekleri modelin uygulamasının yapılacağı bölgeye göre farklılık gösterebilecektir.

Bir İKU havayolu şirketi için üs olarak kullanabileceğı en uygun havaalanı altyapısı için alternatiflerin şirket için en uygun olabilecek bir altyapının seçiminde ÇKKV yöntemleri uygulanmıştır.

Entropi Temelli ARAS yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanılan entropi yönteminde karar vericilerin kriter bazında yaptığı değerlendirmeleri baz alarak ulaştığı kriter ağırlığı, bulanık TOPSIS yönteminde karar vericilerin yaptığı değerlendirmelerin ortak üçgen sayıya çevrilmesi ile elde edilen kriter ağırlığı ile genel olarak uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

İki farklı kriter ağırlığı belirleme yöntemi sonucu tamamen aynı kriter ağırlıklarını vermese bile iki farklı sıralama yöntemi kullanılmasının sonucunda aynı sıralama sonucuna ulaşılması güvenilirlik açısından önem taşımaktadır. Türkiye'de orta irtifa havada uzun kalışlı insansız kargo uçağı için ideal havaalanı altyapısının belirlenmesi için entropi temelli ARAS ve bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılan analizler sonucunda en uygun havaalanı yapısının mevcut düşük yoğunluklu havaalanı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın kısıtlarında belirtildiğı üzere İstanbul merkezli bir İKU işletmesinin kullanabileceğı en düşük yoğunluklu havaalanı olarak Atatürk Havalimanı örnek olarak değerlendirilmiştir.

Atatürk Havalimanı günümüzde aktif olarak kullanılan tek pist ile tarifeli yolcu seferlerine hizmet vermemektedir. Atatürk Havalimanı uçak trafiklerini devlet uçakları, genel havacılık uçakları ve bakım nedeni ile nakil olan yolcu uçakları oluşturmaktadır. Bu nedenler ile İstanbul ve Sabiha Gökçen Havalimanlarına nazaran en düşük hava trafiğine sahip havaalanı olma niteliği taşımaktadır. Atatürk Havalimanı'nda kullanımına kapatılan 2 adet pist bulunmaktadır. Gerekli ulusal ve uluslararası gereklilikleri sağlaması halinde kullanıma açılabilceği değerlendirilmektedir. Atatürk havalimanının hali hazırda uluslararası uçuş gerekliliklerini sağlaması, ilk kurulum maliyetinin oldukça düşük olması, hava trafik kontrol birimlerinin bulunması, kargo tesislerinin mevcudiyeti, uçuşu ve yer operasyonlarını destekleyen gerekli personel ve teçhizatın bulunması, acil durum, yangın ve ilk yardım gibi hizmetlerin veriliyor olması, konumu gereği diğer havaalanlarına, diğer taşıma modlarına ve talep alanlarına yakın olması, hava tarafı, kara tarafı ve çevre güvenliği sağlanması açısından, mevcut pist uzunluğunun kısa pistlere göre emniyetli olması başlıca diğer alternatiflere nazaran avantaj sağladığı hususlardır. Atatürk Havaalanı'nın diğer alternatiflere göre ilk kurulum maliyetinin düşük ancak işletme maliyetleri açısından daha yüksek olacağı karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir. Her ne kadar hava sahası yönetimi açısından yoğun hava trafiğinde yer alması diğer alternatiflere nazaran daha zorlayıcı olabileceği değerlendirilse de Hava Trafik sistemi içinde faaliyet gösterebilecek MALE İKU'lar için hava Trafik sistemine entegrasyonu açısından İstanbul Atatürk havalimanını diğer seçenekler arasında ön plana çıkaracak etken oluşmuştur.

Alternatifler arasında ikinci sırada bulunan İHA havaalanı düzenlenmesi alternatifi yer almıştır. Bu alternatifi değerlendirirken düşük yoğunluklu havaalanlarından daha düşük hava trafik yoğunluğuna sahip havaalanları değerlendirilmiştir. Uçak hareketi sayıları incelendiğinde yaklaşık olarak Atatürk havalimanının trafik sayısı, Çorlu Atatürk havalimanına kıyasla yaklaşık birbirine yakın olmakla birlikte tarifeli uçuşların çok az olduğu havalimanları konumundadırlar. Çalışmada İstanbul'a karayolu ile yaklaşık 1 saatlik araç yolculuğu mesafesinde olması ve İstanbul Atatürk havalimanı ile karşılaştırıldığında birbirine yakın uçak trafikleri olsa da İKU operasyonlarını etkileyebilecek tarifeli ticari uçaklar açısından İstanbul Atatürk havalimanından daha fazla trafiği olması Çorlu Atatürk Havaalanı'nını İHA havaalanı düzenlemesine uygun olsa da İstanbul Atatürk havalimanının arkasından ikinci sırada değerlendirilmesinde etken olmuştur. İHA

havaalanı yapısı düzenlemesi kapsamında önceliklerin İHA'ların ihtiyaçlarının belirlendiği, insanlı tarifeli uçuşların minimize edildiği bir düzenleme kastedilmektedir. Çorlu Atatürk Havaalanı'nın sivil-asker ortak kullanılan bir havaalanı olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Hava Kuvvetleri Komutanlığı bünyesinde bulunan İnsansız Uçak Sistemleri Üs Komutanlıkları modeli örnek alınmıştır. Bu havaalanı yapısında sivil ve askeri insanlı uçak trafikleri halihazırda kullanılmaktadır.

Çorlu Atatürk Havaalanı hem ilk kurulum maliyetlerinin düşük hem de Atatürk Havaalanı'na nazaran işletme maliyetlerinin daha uygun olması ve kurulu bir havaalanı düzenine sahip olması açısından Atatürk Havaalanı ile benzer avantajları sağladığı ancak erişilebilirlik konusunda diğer alternatiflere karşı büyük bir dezavantaja sahip olduğu karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir.

Firmaların kendi iniş şeridini inşa etme alternatifi ise üçüncü en iyi alternatif olarak yer almıştır. Bu alternatif ilk kurulum maliyetinin en yüksek olmasından ötürü tüm karar vericiler tarafından en düşük değerlendirmeye sahip olmuştur. Diğer alternatiflere nazaran en olumlu özelliği ise işletme maliyetlerinin daha düşük olacağı değerlendirilmiştir.

Son olarak mevcut iniş şeritleri kategorisinde değerlendirilen Hezarfen Havaalanı yer almaktadır. Genel olarak mevcut havalimanları, mevcut iniş şeridi kullanımı alternatifine nazaran kriter bazında birçok kriterde üstünlük sağlamıştır. Mevcut havaalanlarına göre her ne kadar kullanılabilecek pist olsa da diğer ihtiyaç duyulan tesisler açısından ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, güvenlik seviyesi, kargo tesislerinin mevcut olmaması, hava trafik yönetimi ve insan kaynakları açısından daha olumsuz değerlendirilmiştir. Erişilebilirlik konusunda Çorlu Atatürk Havalimanından avantajlı olsa dahi diğer alternatiflere göre daha dezavantajlı olduğu değerlendirilmiştir.

İKU işleten havayolu için faaliyetlerinde kullanmak üzere kendi iniş şeridini inşa etmesi ise sıralamada en son sırada yer bulmuştur. Bu sonucun çıkmasında ilk önce ilk kurulum maliyetinin, gerekli kargo tesislerinin mevcut olmayışı , tüm bu sistemlerini oluşturulmasının maliyetleri çok yükseltmesi, ayrıca konum olarak İstanbul kenti içinde kalabileceği gözönüne alındığında hava trafik sistemine entegrasyonunda yoğun insanlı trafik ile sorun yaşanabileceği hususu bu seçeneği en alt sırada konumlandırmıştır.

DOKUZUNCU BÖLÜM

9. SONUÇ

İnsansız hava kargo araçlarının yakın zamanda öncelikle ulusal hava sahalarında, takiben uluslararası hava sahalarında hizmet vereceği ön görülmektedir. Mevcut kavramsal tasarımlar ve prototiplerin genellikle fosil yakıtlar ile tasarlandığı ve üretildiği gözlemlenmektedir. Ancak günümüzde küresel ısınmanın önlenmesi ve karbon ayak izinin sıfıra düşürülmesi gibi hedefler ışığında bu tasarımların temiz enerji ile elektrik motorlu hava araçlarının tasarlanacağı ön görülmektedir. Böylelikle insanlı uçaklar ile taşınan kargolara çok daha düşük bir karbon emisyonu ile çevre dostu bir taşıma aracı oluşturacağı değerlendirilmektedir.

Türkiye’de uygulanabilirlik imkanının çok yüksek olan orta irtifa insansız hava kargo araçlarının operasyonları karayolu veya denizyolu erişimi zor olan bölgelerde minimum alt yapı ihtiyacı ile görev yapabilecektir.

İnsansız hava kargo araçlarının yakın zamanda ayrılmamış hava sahalarından görev yapmaları için hava trafik yönetimi hususunda gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Uluslararası sivil havacılık otoriteler tarafından İHA’ların ayrılmamış hava sahalarında görev yapabilmesi için gerekli düzenlenmelere çalışma içinde yer verilmiştir. Ulusal sivil havacılık otoritesi tarafından gerekli düzenlemelerin en kısa zamanda kolaylıkla yapılabileceği değerlendirilmektedir.

İnsansız hava kargo araçlarının tasarlandığı kargo hizmeti sadece bir ticaret aracı olarak kullanımı ile kalmayacaktır. Çünkü maliyetlerin bir önemi olmayan insani yardımları ihtiyaç sahiplerine ulaştırmak gibi kutsal görevlerde kullanılabilecektir. İnsan sağlığı gibi konularda, organ ve ilaç nakli için en kısa sürede ihtiyaçlara çözüm olabilecek platformlardır.

Özellikle İstanbul gibi büyük şehirlerde karayolu trafiği gün geçtikçe büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Trafik, sadece yakıt gibi maliyet arttıran bir problem yaratmamakta, para ile satın alınamayacak bir zaman problemini de yaratmaktadır. İstanbul şehrinde işlem gören hava kargoların karayolu ile son

kullanıcıya teslim edilmesi 600-1200 km arasındaki mesafelere 3 ile 6 gün arasında teslim edilebildiği kargo firmaları tarafından ifade edildiği gözönüne alındığında, İstanbul'un sahip olduğu bu yoğunluğun içinden en kısa zamanda, düşük karbon salınımı ile son kullanıcıya teslimat için insansız hava kargo araçlarının kullanılmasının bu ihtiyaca nasıl karşılık verdiği ve ne kadar önemli olduğu öngörülebilmektedir.

İstanbul hava kargo ve e-ticaret açısından en fazla gönderinin yapıldığı şehir olarak anılması sadece ticareti bir yaklaşım yaratabilir. Ancak söz konusu platformlar ile minimum alt yapı gereksinimleri çok kısa sürede acil durum ihtiyaçlarının karşılanabileceği bir ulaşım kurulmasında büyük rol oynayabilir. İstanbul, dar sokakların ve yüksek nüfusun bulunduğu yerleşim yerlerine sahip bir şehirdir. Yaşanacak bir doğal afet durumunda, karayolu ile ulaşımın mümkün olmayacağı bölgeler oluşabilir. İstanbul Atatürk Havalimanı, Afet lojistiği açısından talep alanlarına yakınlığı ile yardım uçuşları için bir dağıtım üssü olma niteliği taşımaktadır.

Düşük yoğunluklu havaalanlarının, insansız hava kargo araçları için kullanılması sayesinde havaalanların hizmet verdiği uçak hareketlerinin artmasına bağlı olarak gelirlerinin artacağı değerlendirilmektedir. Aynı zamanda teslimat süresini kısaltan insansız hava kargo araçları sayesinde e-ticaret hacminin artmasına katkıda bulunacağı değerlendirilmektedir. Türkiye açısından çok önemli milli servet olan havaalanlarımızın etkin ve ekonomik kullanılmasının ülke ekonomisine olan katkılarının olumlu olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Aguirregabiria, V. ve Ho, C., (2010) A Dynamic Game of Airline Network Competition: Hub-and-Spoke Networks and Entry Deterrence, *International Journal of Industrial Organization*, 28(4), 377-382.
- Airbus (2015). Global Market Forecast: Flying By Numbers 2015-2034. Fransa.
- Airport Cooperative Research Program (2015). Guidebook for Air Cargo Facility Planning and Development (Report No:143). Federal Aviation Administration. Washington, ABD.
- Alarcón, V., García, M., Alarcón, F., Viguria, A., Martínez, Á., Janisch, D., ... & Ollero, A. (2020). Procedures for the integration of drones into the airspace based on U-space services. *Aerospace*, 7(9), 128.
- ATAG (2014). Aviation Benefits Beyond Borders. Geneva, İsviçre.
- Baik, Y. S., Kwak, B., & Lee, J. (2011). Deregulation and earnings management: The case of the US airline industry. *Journal of Accounting and Public Policy*, 30(6), 589-606.
- Bailey, E. E. (2010). Air transportation deregulation. *Better living through economics*, 188-202.
- Black, G. T., Cohen, K., & Ronflé-Nadaud, C. (2020). Integration in the national airspace (europe and USA)–UAV classification and associated missions, regulation and safety, certification and air traffic management. In *Multi-Rotor Platform-Based UAV Systems* (pp. 1-25). ISTE.
- Bauranov, A., & Rakas, J. (2021). Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches. *Progress in Aerospace Sciences*, 125, 100726.
- Bartlett, C., (10 Şubat 2022). Flexport places advanced purchase commitment for 100-tonne cargo drone. <https://theloadstar.com/flexport-places-advanced-purchase-commitment-for-100-tonne-cargo-drone/>

- Belobaba, P., Odoni, A., & Barnhart, C. (Eds.). (2015). The global airline industry. John Wiley & Sons.
- Bissessur, A., & Alamdari, F. (1998). Factors affecting the operational success of strategic airline alliances. *Transportation*, 25(4), 331-355.
- Boeing, (2014). Current Market Outlook. ABD.
- Boeing, (2022). World Air Cargo Forecast 2022-2041. ABD.
- Can, N. (2011, Haziran). Chicago Konvansiyonu'na Kadar Devletlerarası Hava Hukuku Alanındaki Bazı Düzenlemeler, TALPA - Kokpitten Bakış Dergisi.
- Darwin, N., Ahmad, A., & Akib, W. A. A. W. M. (2014). The potential of low altitude aerial data for large scale mapping. *Jurnal Teknologi*, 70(5).
- De FSM Russo, R., & Camanho, R. (2015) Criteria in AHP: A systematic review of literature. *Procedia Computer Science*, 55, 1123-1132.
- DHMI. (2022). 2021 Faaliyet Raporu. Ankara, Türkiye.
- DHMI, (2023). İstatistikler. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx>
- E. Ven. (2014). Unmanned Cargo Aircraft! A Paradigim Shift for Theatre and Tactical Level Logictics in Asymmetric Conflicts?. Transforming Joint Air Power The Jornoul of The Joint Air Power Competence Center (JAPCC). 19.
- Ecommerce Foundation, (2015). Global B2C E-commerce Report 2015. Amsterdam, Hollanda.
- Edelman, H., Stenroos, J., Peña Queralta, J., Hästbacka, D., Oksanen, J., Westerlund, T., & Röning, J. (2023). Analysis of airport design for introducing infrastructure for autonomous drones. *Facilities*, 41(15/16), 85-100.
- Ehredt, D. (2010). NATO-Joint Air Power Competence Centre. UAS Yearbook-UAS: The Global Perspective, 8, p61.
- European Aviation Safety Agency (EASA). (2015). Concept of Operations for Drones A Risk Based Approach To Regulation of Unmanned Aircraft. Köln.
- Eurocontrol, (2017). RPAS ATM CONOPS Edition 4.0.
- E-ticaret Bilgi Platformu, (2023), 2021 yılı İstatistikleri (Ocak-Aralık). <https://www.eticaret.gov.tr/istatistikler> (Erişim tarihi: 29.03.2023)
- FAA, (2021). Airspace 101 – Rules OF The Sky. ABD.
- Federal Aviation Administration. (2012). Integration of Unmanned Aircraft Systems In to The National Airspace System, Concept of Operation. Washington.

- Federal Aviation Administration. (2005). Advisory Circular: Air Cargo Operations, Flight Standards Service. Washington, ABD.
- Federal Aviation Administration (FAA). (2013). Integration of Unmanned Aircraft Systems (UAS) into the National Airspace System (NAS) Roadmap. Washington
- Goetz, A. R., & Vowles, T. M. (2009). The good, the bad, and the ugly: 30 years of US airline deregulation. *Journal of Transport Geography*, 17(4), 251-263.
- Göksu, D. A., & Güngör, P. D. I. (2008). Bulanık analitik hiyerarşik proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(3), 1-26.
- Grote, M., Pilko, A., Scanlan, J., Cherrett, T., Dickinson, J., Smith, A., ... & Marsden, G. (2022). Sharing airspace with uncrewed aerial vehicles (UAVs): Views of the general aviation (GA) community. *Journal of Air Transport Management*, 102, 102218.
- Guntut, C. (2019). Bulanık TOPSİS yöntemiyle düşük maliyetli bir havayolu için filo planlama optimizasyonu (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Türk Hava Kurumu Üniversitesi SBE).
- Hatfield, M., Cahill, C., Webley, P., Garron, J., & Beltran, R. (2020). Integration of unmanned aircraft systems into the national airspace system-efforts by the university of alaska to support the FAA/NASA UAS traffic management program. *Remote Sensing*, 12(19), 3112.
- Hasdemir, E. (2012). Türkiye’de Hava Kargo Taşımacılığının Gelişimi, yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Ekonomik Kalkınma ve Büyüme Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Heaslet W. C., (2015). Airport Cooperative Research Program. Report 143.
- IATA, (2023) Economics Briefing No10: Profitability And The Air Transport Value Chain. İsviçre. <https://www.iata.org/en/publications/economics/>
- IATA, (2014-2023). Air Cargo Market Analysis. In IATA Economics. <https://www.iata.org/en/publications/economics/>
- IATA, (2015). IATA Cargo Strategy. İsviçre.
- IATA, (2019). IATA Air Cargo and E-commerce Enabling Global Trade.

- ICAO, (2007). Doc 4444 Air Traffic Management. Montreal.
- ICAO, (2010). EUR/NAT Regional Report. Montreal, Kanada.
- ICAO, (2013). Moving Air Cargo Globally. Montreal, Kanada.
- ICAO, (2014). First ICAO Meeting on Air Cargo Development in Africa. Lomé, Togo.
- ICAO, (2015). Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). Montreal, Kanada.
- ICAO, (2015). Appendix 1. Tables Relating To The World Of Air Transport In 2014. Montreal, Kanada.
- ICAO, (2018). Doc. 9859 Safety Management Manual, 4th Edition, Montreal, Kanada.
- ICAO, (2020). Presentation of 2020 Air Transport Statistical Results. Montreal, Kanada.
- John G.W., (2015). Air Transportation A Manangment Perspective. İngiltere: Ashgate Publishing Limited
- Kahveci, M. ve Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye’de Yasal Durumu, Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Teknik Dergisi, 5(4), 511-535.
- Kanat, Ö. Ö. (2023). Dronelar ve Hava Kargo Faaliyetleri. Detay Yayıncılık.
- Karagöz, Y. (2019). SPSS-AMOS-META uygulamalı istatistiksel analizler. Ankara: Nobel Yayıncılık, 1043-1044.
- Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic* (Vol. 4, pp. 1-12). New Jersey: Prentice hall.
- Kıral, B. (2020). Nitel bir veri analizi yöntemi olarak doküman analizi. *Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 170-189.
- Kök, T. (2012). İnsansız hava araçlarının güvenli kullanımı için spektrum ihtiyaçlarının belirlenmesi ile ilgili öneriler. *Teknik Uzmanlık Tezi*, İstanbul, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- Leleu, C., & Marsh, D. (2009). Dependent on the dark: cargo and other night flights in European airspace. *Trends in air traffic*, 5
- Leung, L. C., Cheung, W., & Van Hai, Y. (2000). A framework for a logistics e-commerce community network: The Hong Kong air cargo industry. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30(4), 446-455

- Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738.
- Mark S., Brian P., (2007). IATA Economics Briefing No 7: Airline Liberalisation. İsviçre.
- Majumder, M., & Majumder, M. (2015). Multi criteria decision making. *Impact of urbanization on water shortage in face of climatic aberrations*, 35-
- Meincke, P., Asmer, L., Geike, L., & Wiarda, H. (2018). Concepts for cargo ground handling of unmanned cargo aircrafts and their influence on the supply chain. In 2018 8th International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS) (pp. 1-10). IEEE.
- MNG Kargo, (2023), Kargo Teslim Süresi. (Erişim tarihi: 12.09.2023) <https://www.mngkargo.com.tr/gonderi-teslim-suresi>
- OECD, (2023). OECD Economic Outlook, Volume 2023, Issue 2.
- OECD, (2023). OECD Data Explorer Annual Transport Trends. [https://data-explorer.oecd.org/vis?df\[ds\]=DisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_TRENDS%40DF_TRENDS&df\[ag\]=OECD.ITF&dq=.A.....&lom=LASTNPERIODS&lo=5&to\[TIME_PERIOD\]=false&ly\[cl\]=TIME_PERIOD&ly\[rs\]=COMBINED_MEASURE%2CUNIT_MEASURE&ly\[rw\]=REF_AREA&vw=tb](https://data-explorer.oecd.org/vis?df[ds]=DisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_TRENDS%40DF_TRENDS&df[ag]=OECD.ITF&dq=.A.....&lom=LASTNPERIODS&lo=5&to[TIME_PERIOD]=false&ly[cl]=TIME_PERIOD&ly[rs]=COMBINED_MEASURE%2CUNIT_MEASURE&ly[rw]=REF_AREA&vw=tb) (Erişim tarihi: 10.09.2023)
- Özbek A. (2017), “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü”, Seçkin Yayınevi, Ankara, s. 59.
- Özbek, E. (2015). *Hava Trafik Yönetiminde Koordinasyon: Türkiye Hava Sahasının Esnek Kullanımı Konseptinin Koordinasyon Süreçlerinin Betimlenmesi* (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi (Türkiye)).
- Pearce, B. (2015). Economic performance of the airline industry. *Retrieved March, 1, 2016*.
- Rahim, R., Siahaan, A. P. U., Wijaya, R. F., Hantono, H., Aswan, N., Thamrin, S., ... & Sujarwo, S. (2018). Technique for Order of Preference by Similarity to

- Ideal Solution (TOPSIS) method for decision support system in top management. *Pro Mark*, 8(2).
- Range Commanders Council. (2008). Flight Safety System (FSS) For Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Operation. Operation; Special Report. *US Army: Washington, DC, USA*.
- Sak, R., Sak, İ. T. Ş., Şendil, Ç. Ö., & Nas, E. (2021). Bir araştırma yöntemi olarak doküman analizi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 4(1), 227-256.
- Sakakeeny, J., Dimitrova, N., & Idris, H. R. (2022). Preliminary Characterization of Unmanned Air Cargo Routes Using Current Cargo Operations Survey. In *AIAA AVIATION 2022 Forum* (p. 3701).
- Savaş, T., Karaderili, M., & Usanmaz, Ö. (2018). İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmamış Hava Sahasına Entegrasyonu ile İlgili Mevzuatların Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(691), 1-14.
- Savaş, T. (2019). İnsansız hava aracı sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunun pilotaj ve hava trafik yönetimi açısından değerlendirilmesi.
- Savunma Sanayi Başkanlığı (2011). Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030). Ankara.
- Senvar, O., & Ünver, S. (2022). An Overview to Unmanned Aerial Vehicles from Perspectives of Quality and Safety Management in Aviation. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(2), 917-940.
- SESAR, (2016). European Drones Outlook Study.
- Shaw, S. L., Lu, F., Chen, J., & Zhou, C. (2009). China's airline consolidation and its effects on domestic airline networks and competition. *Journal of Transport Geography*, 17(4), 293-305.
- SHGM, (2016). Havalanı Emniyet Standartları Talimatı (SHT-HES).Ankara
- SHGM, (2016). İniş Şeritleri İnşa Edilmesi ve Kullanılması Talimatı (SHT-İNİŞ ŞERİDİ). Ankara
- SHGM, (2019). İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA). Ankara.
- SHGM, (2023). Sivil Genel Müdürlüğü 2022 Yılı Faaliyet Raporu. Ankara.
- SSB, (2023). 2023-2027 Savunma Sanayi Sektörel Strateji Dokümanı. Ankara.

- SSB, (2023). 2018-2022 Savunma Sanayii Sektörel Strateji Dokümanı. Ankara.
- Shrestha, R., Bajracharya, R., & Kim, S. (2021). 6G enabled unmanned aerial vehicle traffic management: A perspective. *IEEE Access*, 9, 91119-91136.
- Skybary, (2023), Air Traffic Flow Management (ATFM). <https://skybrary.aero/articles/air-traffic-flow-management-atfm> (Erişim tarihi: 09.09.2023)
- Subaşı, M., & Okumuş, K. (2017). Bir araştırma yöntemi olarak durum çalışması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 419-426.
- Xiangyu J., (2014). Deregulation of the Airline Industry, yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Ekonomi Bölümü, Ottawa Üniversitesi, Kanada
- Thierer, A. D. (1998). 20th anniversary of airline deregulation: Cause for celebration, not re-regulation. The Heritage Foundation Backgrounder, (1173).
- Temme, A., & Helm, S. (2016). *Unmanned freight operations*. Deutsche Gesellschaft für Luft-und Raumfahrt-Lilienthal-Oberth eV.
- Temme, M. M., & Trempler, C. (2017). Introduction of unmanned aerial vehicles into airport ground operations.
- TOBB, (2022), Türkiye Sivil Havacılık Meclisi 2021 Yılı Sektör Raporu.
- TUBİSAD, (2020). Ekonominin Dönüştürücü Gücü: E-ticaret etki Analizi. Deloitte Digital.
- Türkiye İhracatçılar Meclisi, (2022). Türkiye'nin İlk 1000 İhracatçısı. Viya Medya Yayıncılık Organizasyon A.Ş.. İstanbul
- T.C. Ticaret Bakanlığı, (2024). Türkiye'de E-Ticaretin Görünümü. Ankara.
- Voskoglou, M. G. (2015). An application of triangular fuzzy numbers to learning assessment.
- Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote sensing*, 4(6), 1671-1692.
- Weibel, R. E. (2005). Safety considerations for operation of different classes of unmanned aerial vehicles in the national airspace system (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

WorldBank, (2023). Data- Air transport, Freight. (Erişim tarihi: 05.06.2023)
<https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.GOOD.MT.K1>

Yakut, F. (2012). Hava Kargo Taşımacılığının Türkiye’deki Mevcut Durumu Ve Geliştirilmesi İçin Yapılması Gerekenler, Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Yılmaz, A., & Ulvi, H. (2022). Kentsel hava sahasında insansız hava aracı sistemleri trafik yönetimi için verilmesi gereken hizmetler ve kullanılabilecek bazı teknolojiler.

Yurtiçi Kargo, (2023), Gönderi Teslimat Süresi. (Erişim tarihi: 12.09.2023)
<https://www.yurticikargo.com/tr/urun-ve-hizmetler/gonderi-teslimat-surelerimiz>