



**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HAVALİMANLARI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: BATMAN
HAVALİMANI ÖRNEĞİ
Yüksek Lisans Tezi**

Turgut DURSUN

Eskişehir 2025

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HAVALİMANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ:
BATMAN HAVALİMANI ÖRNEĞİ**

Turgut DURSUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Sivil Havacılık Yönetimi Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ergün KAYA

Anadolu Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mayıs 2025

Eskişehir

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Turgut DURSUN'un “İklim Değişikliğinin Havalimanları Üzerindeki Etkileri: Batman Havalimanı Örneği” başlıklı tezi 22/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Sivil Havacılık Yönetimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Dr. Öğr. Üyesi Ergün KAYA
Üye : Prof. Dr. Nuray TOKGÖZ
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ümran ÜNDER
Üye
Üye

Prof. Dr. Nafiz Öncü CAN
Enstitü Müdürü

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HAVALİMANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: BATMAN HAVALİMANI ÖRNEĞİ

Turgut DURSUN

Sivil Havacılık Yönetimi Ana Bilim Dalı

Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mayıs 2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ergün KAYA

Bu çalışmanın amacı, iklim değişikliğinin havalimanları üzerindeki etkilerini analiz etmek ve Batman Havalimanı özelinde bu etkileri ayrıntılı incelemektir. Çalışmada iklim değişikliğinin altyapı, operasyon ve bina/tesis maliyet kalemlerine olan etkileri kapsamlı biçimde ele alınmış ve bu etkilerin yönetilebilmesi için maliyet azaltma ve uyum sağlama stratejileri belirlenmiştir. İklim değişikliğinin havalimanı altyapısı, enerji tüketimi, bakım ve onarım gereksinimi, hava koşullarına bağlı operasyonel zorluklar ve tesis yönetimi ile ilgili etkiler detaylı şekilde analiz edilmektedir. Çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Batman Havalimanı uzmanlarıyla yapılan derinlemesine görüşmelerle elde edilen verilerden, ayrıca hem küresel hem de Batman bölgesine ait iklim projeksiyonlarından yararlanılarak havalimanı maliyetlerindeki değişimin nedenleri ve olası etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. İklim değişikliğinin havalimanı operasyonlarına doğrudan ve dolaylı etkileri incelenmiştir. Sonuçlar değişen iklim koşullarıyla birlikte sıcaklık artışları ve aşırı hava olaylarının bölgesel havalimanları için önemli maliyet artışlarına yol açabileceği ve bu etkilerin önlenmesi/en aza indirilmesi için sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Havalimanlarının çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla çeşitli öneriler sunulmaktadır. Çalışma, Batman Havalimanı örneği üzerinden elde edilen bulgularla diğer havalimanları için de rehber niteliği taşımaktadır. Havalimanlarının iklim değişikliği ile ilgili alacakları önlemler ve uygulayacakları stratejiler konusunda yol gösterici öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Sözcükler: İklim değişikliği, Havalimanı maliyetleri, Sürdürülebilirlik, Batman Havalimanı.

ABSTRACT

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON AIRPORTS: THE CASE OF BATMAN AIRPORT

Turgut DURSUN

Department of Civil Aviation Management

Anadolu University Graduate School, May 2025

Supervisor: Dr. Ergün KAYA

The primary aim of this study is to analyze impacts of climate change on airports and to examine these impacts in detail with a specific focus on Batman Airport. The study comprehensively examines the effects of climate change on infrastructure, operational, and facility-related cost components, and proposes cost-reduction and adaptation strategies to mitigate these impacts. In this context, the study provides a detailed analysis of the effects of climate change on airport infrastructure, energy consumption, maintenance and repair requirements, weather-related operational challenges, and facility management. Using a qualitative research methodology, data were gathered through in-depth interviews with experts at Batman Airport and supplemented with global and region-specific climate projections. These data were utilized to identify the causes of cost changes in airport operations and their potential long-term effects. In addition to analyzing the direct impacts of climate change on airport operations, the study also explores indirect effects. The findings reveal that rising temperatures and extreme weather events associated with changing climate conditions can lead to significant cost increases for regional airports. The study underscores the necessity of developing sustainable management strategies to prevent or minimize these impacts. In this regard, various policy recommendations are proposed to ensure the environmental, operational, and economic sustainability of airports. Furthermore, the findings obtained through the case of Batman Airport serve as a guide for other regional airports, offering insights into measures and strategies to be implemented against climate change.

Keywords: Climate change, Airport costs, Sustainability, Batman Airport.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında, değerli bilgilerini benimle paylaşarak her aşamada yol gösteren, kendisine ne zaman danışsam sabırla ve büyük bir ilgiyle yardımcı olan, bana her zaman destek olmak için elinden gelenin fazlasını sunan, güler yüzünü ve samimiyetini asla esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üy. Ergün KAYA'ya en derin şükranlarımı sunarım. Kendisi, yalnızca bu çalışmanın başarısında değil, gelecekteki mesleki hayatımda da yolumu aydınlatacak bilgi ve deneyimleriyle benim için bir rehber olmuştur.

Tez savunmamda jüri üyesi olarak yer alarak değerlendirme sürecine katkı sunan, kıymetli görüş ve değerlendirmeleriyle çalışmamın gelişimine katkıda bulunan Prof. Dr. Nuray TOKGÖZ ve Dr. Öğr. Üy. Ümran ÜNDER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın saha araştırmaları kısmında verdiği bilgilerle beni destekleyen ve süreç boyunca büyük katkılar sağlayan Batman Havalimanı İşletme Şefi Sayın Selim SARKIK'A en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisi, havacılığın her alanındaki derin bilgi birikimi ve uzmanlığıyla araştırmama yön vermiş, detaylı ve değerli paylaşımlarıyla çalışmamın zenginleşmesine önemli katkılarda bulunmuştur. Saha araştırmaları sırasında gösterdiği samimi yaklaşım, desteği ve paylaştığı kapsamlı bilgiler için minnettarım.

Bu süreçte bana güç veren ve manevi destekleriyle yanımda olan sevgili aileme, dostlarıma ve isimlerini burada anmaktan mutluluk duyduğum Siyami AKSU, İlker ÜNDER, Burak AKSAKAL, Fatma AKSAKAL, Mehmet Akif BULUT, Enes KAYMAKÇI, Sertaç CİNPOLAT, Seyfettin DAMAR, Abbas YILDIZ, Hatice DENİZ, Yaprak BULUT ve Özge MERT'E teşekkür etmek bir borçtur. Sizlerin desteği, motivasyon kaynağım oldu ve bu çalışmayı başarıyla tamamlamamda büyük bir rol oynadı.

Tarih: 22/05/2025

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı” ile tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Turgut DURSUN

22/05/2025

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KULLANIM BEYANI

Bu tezi hazırlarken üretken yapay zekâ programlarından destek aldığımı beyan ederim. Tezin hazırlığı aşamasında üretken yapay zekâ programlarından çeviri desteği aldım. Üretken yapay zekâ programlarından aldığım bilgilerin doğruluğunu kontrol ettiğimi bildiririm.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Turgut DURSUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KULLANIM BEYANI	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM	
1 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE HAVALİMANLARINA ETKİLERİ	6
1.1 İklim Değişikliğinin Kavramsal Çerçevesi	6
1.1.1 İklim	7
1.1.2 İklim sistemi	7
1.1.3 Hava durumu	8
1.1.4 İklim değişikliği.....	9

1.1.5 Küresel ısınma	10
1.2 İklim Değişikliğinin Nedenleri ve Sonuçları	11
1.2.1 İklim değişikliğinin nedenleri	11
1.2.2 İklim değişikliğinin sonuçları	12
1.3 Türkiye’de İklim Değişikliği Politikaları	14
1.3.1 İklim değişikliği azaltım stratejisi ve eylem planı (2024-2030)	15
1.3.2 Türkiye’nin katıldığı küresel anlaşmalar ve protokoller	16
1.3.2.1 Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi (1992)	17
1.3.2.2 Kyoto protokolü (1997)	17
1.3.2.3 Paris anlaşması (2015)	18
1.4 Matematiksel Modelleme Yaklaşımları	21
1.4.1 Küresel ve bölgesel iklim modelleri	22
1.4.2 İklim senaryoları	23
1.5 İklim Projeksiyonları	24
1.5.1 Küresel iklim projeksiyonları	24
1.5.1.1 Sıcaklık projeksiyonları	25
1.5.1.2 Yağış projeksiyonları	26
1.5.1.3 Deniz seviyesi yükselmesi projeksiyonları	27
1.5.2 Batman Havalimanı iklim veri ve projeksiyonları	28
1.5.2.1 Batman sıcaklık veri ve projeksiyonları	29
1.5.2.1.1 Ayaz günleri, yaz günleri veya tropikal geceler verileri	29

1.5.2.1.2 Isıtma ve soğutma derece gün verileri	30
1.5.2.2 Batman yağış verileri	33
1.5.2.3 Batman rüzgâr verileri.....	34
1.6 Havacılık Sektöründe İklim Etkilerinin Araştırılması.....	35
1.6.1 Uluslararası havacılık için karbon denkleştirme ve azaltma planı	36
1.6.2 Avrupa Birliği emisyon ticareti sistemi	38
1.6.3 Sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanımı	40
1.6.4 Türkiye’de sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanımı	42
1.7 Havacılık Sektörünün İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi.....	44
1.8 İklim Değişikliğinin Havacılık Sektörü Üzerindeki Etkisi.....	49
1.9 İklim Değişikliğinin Havalimanları Üzerindeki Etkisi.....	57
1.9.1 Sıcaklık değişimi	57
1.9.2 Yağış rejiminde değişiklikler	61
1.9.3 Rüzgâr paterni değişiklikleri	65
1.9.4 Aşırı hava olayları.....	67
1.9.5 Deniz seviyesi yükselmesi (Sea Level Rise-SLR).....	71
1.9.6 Biyoçeşitlilikteki değişiklik.....	76

İKİNCİ BÖLÜM

2 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HAVALİMANI MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ..... 80

2.1 İklim Değişikliği ve Havalimanı Maliyetleri İlişkisi 80

2.2 Havalimanlarında İklim Değişikliği Kaynaklı Maliyet Etkileri.....	82
2.2.1 Altyapı maliyetleri	82
<i>2.2.1.1 Deniz seviyesinin yükselmesiyle ilişkili maliyetler.....</i>	<i>82</i>
<i>2.2.1.2 Sıcaklık artışlarıyla ilişkili maliyetler</i>	<i>83</i>
<i>2.2.1.3 Aşırı hava olaylarıyla ilişkili maliyetler</i>	<i>83</i>
<i>2.2.1.4 Yağış rejimi değişiklikleriyle ilişkili maliyetler.....</i>	<i>84</i>
2.2.2 Bina/Tesis maliyetleri	85
2.2.3 Operasyonel maliyetler.....	87
<i>2.2.3.1 Aşırı hava olaylarından kaynaklanan maliyetler</i>	<i>87</i>
<i>2.2.3.2 Sel ve su baskınlarından kaynaklanan maliyetler.....</i>	<i>88</i>
<i>2.2.3.3 Rüzgâr, yağış ve görüş koşullarından kaynaklanan maliyetler</i>	<i>89</i>
<i>2.2.3.4 Sıcaklık artışlarından kaynaklanan maliyetler.....</i>	<i>91</i>
<i>2.2.3.5 Turizm ve talep tercihi değişikliklerinden kaynaklanan maliyetler.....</i>	<i>91</i>
<i>2.2.3.6 Biyoçeşitlilikteki değişiklik ve diğer etkilere kaynaklanan maliyetler.....</i>	<i>92</i>
2.3 Maliyet Azaltma ve Uyum Stratejileri	93
 ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BATMAN HAVALİMANINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ.....	100
3.1 Batman Havalimanı.....	100
3.1.1 Batman Havalimanı tarihçesi ve teknik bilgileri	100

3.1.2 Batman Havalimanı uçuş ve yolcu bilgileri	102
3.1.3 Batman Havalimanı insan kaynakları bilgileri.....	106
3.1.4 Batman Havalimanı gelir ve giderleri.....	107
3.1.5 Batman Havalimanı'nın hizmet bölgesi.....	107
3.1.6 Batman Havalimanının sürdürülebilirlik ve yerel katkı.....	108
uygulamaları.....	108
3.2 Araştırma metodolojisi.....	109
3.3 Araştırma Bulgularının Analizi.....	114
3.3.1 Çevresel analiz.....	114
3.3.1.1 Altyapı ve dayanıklılık, fiziksel etkiler ve genel dayanıklılık.....	115
3.3.1.2 Biyoçeşitlilik etkileri.....	116
3.3.1.3 Karbon azaltımı ve SAF uygulamaları.....	117
3.3.1.4 Planlama ve tasarım stratejileri.....	119
3.3.1.5 Projelerin çevresel etki değerlendirmesi	120
3.3.1.6 Teknolojik adaptasyon ve inovasyon.....	121
3.3.2 Sosyal Analiz	122
3.3.2.1 Çalışan memnuniyeti ve İK önlemleri.....	122
3.3.2.2 Yolcu hizmetleri, müşteri memnuniyeti ve hizmet kalitesi	123
3.3.2.3 Paydaş farkındalığı, sektör dayanıklılığı ve iletişim	125
3.3.2.4 Emniyet, güvenlik, acil durum planlaması ve hava trafik	126
hizmetleri.....	126

3.3.3 Ekonomik Analiz.....	127
<i>3.3.3.1 Maliyet yönetimi ve sektör dayanıklılığı.....</i>	<i>128</i>
<i>3.3.3.2 Maliyet riski, bakım, sigorta ve finansal stratejiler</i>	<i>129</i>
<i>3.3.3.3 Risk yönetimi ve analiz süreçleri.....</i>	<i>131</i>
<i>3.3.3.4 Teknolojik yatırımlar ve stratejik getiriler</i>	<i>132</i>
<i>3.3.3.5 Yönetim ve strateji uygulamaları.....</i>	<i>133</i>
<i>3.3.3.6 Fiziksel etkilerin maliyeti.....</i>	<i>134</i>
SONUÇ	137
KAYNAKÇA.....	145
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1. 1 Batman’da 2015-2024 Yılları Arasında Isıtma (HDD) ve Soğutma (CDD) Gün Dereceleri Ortalaması	31
Tablo 1. 2 Referans (2000), 2040 ve 2090 Yıllarında (RCP4.5 ve RCP8.5) 100 Yıllık Bir Fırtına Durumunda Deniz Taşkını Riski Altındaki Havalimanlarının Sayısı	73
Tablo 1. 3 Türkiye’deki Havalimanlarının Deniz Taşkını Riski: 2000, 2040 ve 2090 Senaryoları	74
Tablo 2. 1 İklim Değişikliğinin Havalimanı Operasyonları ve Altyapısı Üzerindeki Etkileri	81
Tablo 3. 1 Batman Havalimanının Genel ve Teknik Bilgileri	101
Tablo 3. 2 Batman Havalimanı’nın Önümüzdeki 10 Yıla İlişkin Ticari Uçak, Yolcu ve Kargo Tahminleri.....	105
Tablo 3. 3 Batman Havalimanı’nda Çalışan Sayıları	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 İklim Sisteminin Bileşenleri ve Dış Etkenler	9
Şekil 1. 2 İklim Değişikliğinin Olası Sonuçları	13
Şekil 1. 3 Paris Anlaşmasına Taraf Ülkeler	19
Şekil 1. 4 Toplam Sera Gazı Emisyonları (Milyon Ton CO ₂ e)	20
Şekil 1. 5 Küresel Yıllık Ortalama Sıcaklıklar (1850-2100)	25
Şekil 1. 6 Gelecekteki İklim Değişikliğinin Yağış Yoğunluğu ve Kurak Günler Üzerindeki Etkileri	26
Şekil 1. 7 Deniz Seviyesindeki Değişimlerin SSP5-8.5 ve SSP2-4.5 Senaryoları	27
Şekil 1. 8 Batman İli Sıcaklık verileri (1959-2024)	29
Şekil 1. 9 Batman'da 1981-2010 Dönemi Ayaz Günleri, Yaz Günleri ve Tropikal Gecelerin Aylık Yüzdesi	30
Şekil 1. 10 RCP8.5'e Göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 1981'den 2100'e Kadar Olan 30 Yıllık Dönemlerde Aylık Isıtma Derece Günleri	32
Şekil 1. 11 RCP8.5'e Göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 1981'den 2100'e Kadar Olan 30 Yıllık Dönemlerde Aylık Soğutma Derece Günleri	33
Şekil 1. 12 1981-2010 Referans Döneminde Batman Ortalama Aylık Yağışları	33
Şekil 1. 13 Batman İli Yağış verileri (1959-2024)	34
Şekil 1. 14 1981-2010 Referans Döneminde Batman Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı	35
Şekil 1. 15 AB Havalimanlarında SAF Yakıt Değişim Grafiği	42
Şekil 1. 16 ICAO CO ₂ Emisyonlarına İlişkin Küresel Çevresel Eğilimler ve Uluslararası Havacılık Net CO ₂ Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Önlemlerin Katkısı	46

Şekil 1. 17 IPCC Alt Sektörlere Göre Ulaştırma Küresel Sera Gazı Emisyon Eğilimleri	48
Şekil 1. 18 2040 Yılına Ait Gelecekteki Sel Riskini Modelleme Sonuçlarına Göre Avrupa Kıyı Havalimanlarının Isı Haritası.....	74
Şekil 2. 1 Bir Havalimanının İklim Değişikliğinden Etkilenebilecek Unsurları	81
Şekil 3. 1 Batman Havalimanından Uçuş Yapılan Havalimanları	101
Şekil 3. 2 Batman Havalimanı	102
Şekil 3. 3 Batman Havalimanı Ticari Uçak Trafiği İstatistikleri.....	102
Şekil 3. 4 Batman Havalimanı Ticari Yolcu Trafiği İstatistikleri	103
Şekil 3. 5 Batman Havalimanı Kargo Trafiği İstatistikleri.....	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB ETS	: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi
ACI	: Uluslararası Havalimanları Konseyi
ATFM	: Hava Trafik Akış Yönetimi
BMİDÇS	: BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CDD	: Soğutma Derece Günleri
CMIP6	: Bağlantılı Model Karşılaştırma Projesi 6. Aşama
CO ₂	: Karbondioksit
CORSIA	: Uluslararası Havacılık İçin Karbon Dengeleme ve Azaltma Planı
ÇŞİDB	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
CID	: İklim Etki Faktörleri
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DSİ	: Devlet Su İşleri
ECAC	: Avrupa Sivil Havacılık Konferansı
EUROCONTROL	: Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Örgütü
GCMs	: Küresel İklim Modelleri
HDD	: Isıtma Derece Günleri
IATA	: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
INDC	: Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı Niyet Beyanı
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTOW	: Maksimum Kalkış Ağırlığı
NASA	: Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
RCM	: Bölgesel İklim Modelleri
RCP	: Temsili Konsantrasyon Senaryosu
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SLR	: Deniz Seviyesi Yükselmesi
THY	: Türk Hava Yolları A.O.
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
WBA	: Dünya Kuş Çarpması Derneği
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

GİRİŞ

Araştırmanın Amacı, Kapsamı ve Önemi

Küresel iklim değişikliğinin etkileri büyük ölçüde belirlenmiş olmasına rağmen bu etkilerin bölgesel ve yerel düzeyde nasıl ortaya çıkacağı konusunda belirsizlikler devam etmektedir. Bu durum havalimanları için coğrafi konuma ve operasyonların büyüklüğüne bağlı olarak değişen potansiyel riskler anlamına gelmektedir.

İklim değişikliği havalimanlarının altyapısından faaliyet süreçlerine, enerji tüketiminden bakım maliyetlerine kadar birçok kritik alanda derin etkiler yaratma potansiyeline sahiptir. Bu etkiler havalimanlarının ekonomik sürdürülebilirliğini ve operasyonel verimliliğini tehdit ederek sektörü stratejik çözümler üretmeye zorlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, iklim değişikliğinin havalimanı işletmeleri üzerindeki etkilerini analiz ederek, Batman Havalimanı özelinde bu etkileri ayrıntılı şekilde incelemektir. Çalışmada, iklim değişikliği kaynaklı altyapı, operasyon ve bina/tesis maliyet artışlarının nedenlerinin ortaya konulması ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik uyum stratejileri ile maliyet düşürme yöntemlerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Burada iklim değişikliği ve havalimanı ilişkisi kurulduktan sonra literatür incelemesi, araştırmanın önemi ve amacı, araştırma soruları, araştırmanın yapısı ve yöntemine ilişkin olarak araştırma deseni, araştırma evreni ve örneklem ile veri toplama teknikleri ve bulguların analizine ilişkin bilgiler verilmektedir.

İklim değişikliği, 21. yüzyılın en büyük çevresel ve ekonomik tehditlerinden biri olarak küresel ölçekte önem kazanmaktadır. Hızla artan sera gazı salımları gezegenin doğal sistemleri üzerinde geri döndürülemez etkiler bırakmakta ve bu etkiler havacılık sektörünü de derinden etkilemektedir.

Havacılık, iklim değişikliğinden doğrudan etkilenen bir alan olmanın yanı sıra, sera gazı salımları yoluyla bu değişikliğin sebeplerinden biri konumundadır. Hava ulaşımı günümüzde milyonlarca insanın seyahat tercihinde merkezi bir rol oynarken, iklim değişikliği bu alanda faaliyetlerin sürdürülebilirliği konusunda yeni zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Örneğin kuruluşu uzunca bir geçmişe dayanan havalimanları, iklim koşullarındaki değişime karşı oldukça savunmasızdır. Bu yüzden aşırı sıcaklar, değişen yağış rejimleri, yükselen deniz seviyeleri ve yıkıcı hava olayları operasyonel verimlilik ve maliyetler üzerinde önemli baskılar yaratmaktadır.

İklim değışikliğı sıcaklık ve yağış rejimlerinde belirgin değışimlere yol açmakta, bu da havalimanlarının bina/tesis, altyapı ve operasyon maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda çalışmanın hem literatüre hem de sektör uygulamalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Tez üç ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde literatür incelemesi yapıldıktan sonra araştırmanın önemi, amacı, kullanılan araştırma yöntemi ve tezin yapısına ilişkin bilgiler sunulmaktadır. Araştırmanın metodolojik temeli; araştırma deseni, evreni, örnekleme, veri toplama ve analiz süreçleri burada açıklanmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde iklim değışikliğinin kavramsal çerçevesi ele alınmakta olup hem küresel çapta hem de Batman bölgesine ait iklim veri ve projeksiyonları üzerinden iklim değışikliğinin mevcut ve olası etkileri incelenmektedir. İklim değışikliğinin temel nedenleri, etkileri ve gelecekteki projeksiyonlara dair genel bir bakış sunulmaktadır. Ayrıca iklim değışikliğinin havacılık sektörü ile ilişkisi incelenmekte, havacılık faaliyetlerinin iklim değışikliğine olan katkısı ve iklim değışikliğinin havacılık faaliyetlerine ve özellikle havalimanlarına olan etkileri üzerinde durulmaktadır.

İkinci bölümde havalimanlarının maliyet yapısı ve iklim değışikliğı nedeniyle karşı karşıya kaldığı ilave maliyetler ayrıntılı şekilde ele alınmaktadır. Altyapı, bina/tesis ve operasyonel maliyetler başta olmak üzere, iklim değışikliğinin maliyet artışlarına etkisi kapsamlı şekilde analiz edilmekte ve olumsuz etkilerin azaltılması amacıyla maliyet azaltma ile uyum sağlama stratejileri sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde ise öncelikle incelenen Batman Havalimanı ile ilgili genel, teknik, istatistiki ve ekonomik bilgilere yer verilmiştir. Batman Havalimanında uzmanlarla yapılan görüşmelerin analizi ve değerlendirmesi bu bölümde ayrıntılı şekilde sunulmuştur. İklim değışikliğinin Batman Havalimanı'ndaki etkilerini anlamak amacıyla gerçekleştirilen görüşmelerle elde edilen bulgular doğrultusunda, havalimanı maliyetlerinde değışim ortaya konulmuş ve alınabilecek önlemlerle, iyileştirici önerilere bu bölümde yer verilmiştir.

İklim değışikliğı, günümüzde büyük bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Bu bağlamda yapılan çalışmalar, iklim değışikliğinin sadece çevresel etkilerle sınırlı kalmayıp, havalimanlarının operasyonel ve ekonomik sürdürülebilirliğine yönelik önemli tehditler oluşturduğunu göstermektedir.

Literatür İncelemesi

Araştırma konumuzla ilişkili olduğu değerlendirilen çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Riedy (2016) iklimin yörünge değişiklikleri, güneşin enerji çıkışı ve volkanik aktivite gibi çeşitli doğal etkenlerle değişime uğradığını belirtirken, bu tür iklim değişikliklerinin havacılık sektöründe de yeni zorluklar meydana getirdiğini vurgulamıştır. Özellikle deniz seviyesinin yükselmesi, sıcaklıkların artışı ve aşırı hava olayları havalimanlarının operasyonel süreçlerinde kesintilere yol açabilmektedir.

European Environment Agency [EEA]'nin (2016) Heathrow Havalimanı ile ilgili risk değerlendirmesi raporunda, aşırı hava olaylarının operasyonel aksamalara yol açabileceği ve uyum stratejilerinin geliştirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Heathrow'un iki paralel pistinin varlığı, rüzgâr yönünde değişikliklerin olumsuz etkilerini azaltmak için kritik bir avantaj sağlasa da çapraz rüzgâr eksikliği ve alan kısıtlamaları uzun vadeli operasyonel risk oluşturmaktadır. Fransa Ulaştırma Bakanlığı tarafından yapılan bir çalışmada ise, sıcaklık, yağış ve rüzgâr değişimlerinin altyapı, binalar ve operasyonlar üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

International Civil Aviation Organization [ICAO] (2019) ise, iklim değişikliğine karşı havacılık sektöründe dayanıklılık ve uyum stratejilerinin önemine vurgu yapmaktadır. Ankete katılanların %65'i iklim değişikliğinden etkilendiklerini belirtirken, bu etkilerin başında yüksek sıcaklıklar (%91) ve aşırı yağışlar (%89) gelmektedir. Ayrıca değişen hava koşulları altyapıyı zorlarken, uçuş gecikmeleri ve iptaller gibi operasyonel aksamalara da neden olabilmektedir. İklim değişikliğine uyum için drenaj sistemlerinin güçlendirilmesi ve altyapının iyileştirilmesi gibi önlemler önerilmiştir. Katılımcıların %55'i uyum çalışmaları başlatıldığını, sektörün bazı önlemler aldığını ancak daha fazlasının yapılması gerektiğini düşünürken; %20'si henüz uyum sağlamaya yönelik herhangi bir eylem başlatmadığını belirtmiştir. Bu sonuçlar, sektörün iklim değişikliğine uyum sağlamak için harekete geçmeye başladığını, ancak daha çok çaba gerektiğini göstermektedir.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM] (2019) tarafından yapılan çalışmada ise, havalimanlarının iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını artırmak için yapılan yatırımların maliyet-fayda analizleri ele alınmıştır. Ayrıca risklerin maliyetlerini ve potansiyel yararlarını karşılaştırarak, en etkili ve ekonomik çözümleri belirlemeye yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunulmaktadır. İklim değişikliğine uyum

sağlamak için yapılan yatırımlar, projelere %3 oranında ek maliyet getirirse de bu yatırımların uzun vadede büyük fayda sağlayacağı vurgulanmaktadır. Özellikle su baskını ve aşırı hava koşullarına karşı alınan önlemler, altyapının dayanıklılığını artırarak gelecekteki maliyetleri azaltmaktadır.

Vogiatzis vd. (2021) Atina Uluslararası Havalimanı (AIA) üzerinde yapılan çalışmada, havalimanlarının iklim değişikliği etkileriyle başa çıkabilmek için geleceğe yönelik iklim senaryolarını analiz etmek gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışmada, AIA için çevre koruma önlemlerini uygulayarak, iklim değişikliğinin operasyonlarına ve altyapısına etkilerinin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur. Ayrıca, iklim değişikliğinin AIA üzerindeki 27 risk faktörünü belirleyerek, bu risklere karşı acil eylem planlarının geliştirilmesi gerektiği de önerilmektedir. AIA örneğinde olduğu gibi, havalimanlarının iklim değişikliğiyle başa çıkma stratejileri ve bu stratejilerin geliştirilmesi sürecinde kilit paydaşların görüşleri önemli rol oynamaktadır. Vogiatzis vd. (2021) Atina Uluslararası Havalimanı'nı ele aldıkları çalışmada havalimanının iklimle ilgili riskleri kapsamlı şekilde değerlendirilmiş, geçmiş iklim verileri ve geleceğe yönelik senaryolar analiz edilmiştir. Kilit personel ve üçüncü taraflarla yapılan anket ve görüşmeler aracılığıyla mevcut koruma tedbirlerinin etkinliği de incelenmiştir. Atina Uluslararası Havalimanı için en önemli riskler arasında uzun vadede sıcaklık artışları, ani su baskınları ve aşırı hava olaylarının yer aldığı belirtilmiştir. İklim değişikliğinin etkileri zeminin taşıma kapasitesini ve inşaat yöntemlerini de olumsuz etkileyebilirken, özellikle aşırı sıcaklık ve yağışların neden olduğu belirsizlikler önemli bir endişe kaynağı olarak vurgulanmıştır.

Deniz seviyesinin yükselmesi iklim değişikliğinin havalimanları üzerindeki diğer kritik etkisidir. The European Organisation for the Safety of Air Navigation [Eurocontrol] (2021b) tarafından hazırlanan bir raporda, 2040 ve 2090 senaryolarına göre, 2100 yılına kadar deniz seviyesinin 0,84 metre kadar yükselebileceği öngörülmektedir. Bu durum Avrupa'da kıyılarda yer alan 273 havalimanının üçte ikisinin denizden sel riski altında olduğunu göstermektedir. Bu senaryolar, özellikle Almanya, Hollanda ve Belçika gibi ülkelerde su baskınlarına en çok maruz kalan havalimanlarının yüksek risk altında olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle büyük havalimanlarında bir gün süren tam bir kapanmanın maliyeti yaklaşık 18 milyon dolar olarak tahmin edilmektedir.

Avrupa Havacılık Çevre Raporunda da su baskınlarının bir havalimanını bir gün kapatmasının maliyetinin büyük havalimanlarında 18 milyon avro, orta ölçekli

havalimanlarında ise 3 milyon avro olduğu belirtilmiştir (European Union Aviation Safety Agency [EASA], 2022b). Bu raporda ayrıca, yüksek sıcaklıkların uçak performansını olumsuz etkileyebileceği ve kısa pistlere sahip havalimanlarında maksimum kalkış ağırlığının azaltılmasının gerekebileceği ve kritik altyapının iklim değişikliğine dayanıklı hale getirilmesi, projelere %3 ek maliyet getirirse de dayanıklılık yatırımlarının maliyet-fayda oranı ¼ olacağı vurgulanmaktadır.

Smagghe ve Anelli (2023) tarafından geliştirilen matris, bu etkilerin havalimanı operasyonlarına ne kadar zarar verebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle Nice Havalimanı üzerinde yapılan çalışmalar, risklerin belirlenmesi ve önlemlerin geliştirilmesi için önemli bir yol haritası sunmaktadır.

Araştırma Yöntemi ve Verilerin Analizi

Araştırma verilerinin toplanmasında, ilişkilendirilmesinde ve analiz edilmesinde araştırmanın amacına ve kapsamına uygun olarak nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Nitel araştırma yöntemi, genellemelerden ziyade bilginin derinliği ve özgünlüğünün önemli olduğunu savunmakla birlikte, örneklem yerine daha küçük çalışma gruplarından elde edilen derin ve özellikli verilere odaklanmaktadır. Bir problemin çözümüne ilişkin gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama yöntemlerini kullanan araştırma yöntemi, önceden bilinen veya fark edilmemiş problemlerin algılanmasına, probleme ilişkin doğal olguların gerçekçi bir şekilde ele alınmasına yönelik öznel-yorumlayıcı bir süreci ifade etmektedir (Baltacı, 2019, s. 369).

Nitel araştırmada temel hedef, katılımcıların deneyimlerini ve bakış açılarını anlamak ve ortaya koymaktır. Bu tür araştırmalar, katılımcıların algı ve deneyimlerini ortaya çıkarmaya odaklanmaktadır. Nitel araştırmalar, nicel araştırmalardan farklı olarak neden-sonuç ilişkilerini veya test edilmek istenen bir kuramı ve hipotezi değil, toplanan verilerin tümevarımcı bir analizi ile araştırmacının verileri anlamlandırmasını ve bu verilerden hareketle kuramsal sonuçlar çıkarmasını da sağlar (Tekindal ve Arsu, 2020, s. 158).

Çalışma kapsamında elde edilen veriler uzmanlarla yapılan görüşmeler doğrultusunda analiz edilmiş ve araştırmanın vaka incelemesi niteliği taşıdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle bulgular yalnızca betimsel olarak ele alınmamış aynı zamanda vaka analizi perspektifinden değerlendirilerek derinlemesine incelenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE HAVALİMANLARINA ETKİLERİ

1.1 İklim Değişikliğinin Kavramsal Çerçevesi

İklim değişikliği, hava durumu ve küresel ısınma gibi kavramlar günümüzde sıklıkla gündeme gelen fakat çoğunlukla birbirine karıştırılan terimlerdir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM], 2015, s. 4). Hava ve iklim kavramları çoğu zaman birbirinin yerine kullanılsa da aslında farklı anlamlar taşır. Hava kısa dönemli atmosfer koşullarını ifade ederken, iklim uzun dönemli atmosferik süreçlerin ortalamalarını tanımlar (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2020, s. 2). Örneğin bir bölgede birkaç saniye süren şimşek veya birkaç haftayı bulan yüksek basınç kuşakları hava olaylarına karşılık gelirken, iklim bu olayların uzun vadeli desenlerini ifade eder (Aysen, 2022, s. 12). Özetle hava ve iklim arasındaki temel fark zaman boyutundadır. Hava kısa vadeli atmosferik olaylar iken, iklim daha uzun dönemlere yayılan süreçleri kapsar. Mark Twain'in şu sözü bu farkı iyi özetler: "New England'daki havayı beğenmiyorsan birkaç dakika bekle" (NASA, 2020, s. 2).

Hava ve iklim arasındaki bu ayrım iklim değişikliğinin toplumsal ve çevresel etkilerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur. İnsanlar genellikle anlık hava olaylarına daha duyarlıdır. Bu duyarlılık da hava durumu ile ilgili değişimlere hızlı tepki vermelerini sağlar. Ancak iklim değişikliği daha geniş bir zaman diliminde etkisini gösterdiği için toplumsal bilinç ve eylem oluşturmakta daha fazla zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu durum iklim değişikliği konusunda gerekli önlemlerin alınmasında gecikmelere neden olabilir. Ayrıca, iklim değişikliğinin uzun vadeli etkileri tarım, su kaynakları, enerji tüketimi gibi kritik alanlarda önemli sorunlar yaratırken, bu sorunların çözümü için yapılacak planların da uzun vadeli iklim verilerine dayandırılması gerekmektedir.

Sonuç olarak hava durumu ve iklim arasındaki farkları anlamak iklim değişikliği ile mücadelede etkin stratejiler geliştirmek için temel adımlardan biridir. Bu farkındalık bireylerin ve toplumların iklim değişikliği konusundaki algılarını şekillendirecek ve iklim politikalarının etkinliğini artıracaktır. Eğitim ve farkındalık artırma çalışmaları bu bağlamda son derece önemli rol oynamaktadır.

1.1.1 İklim

İklim, Dünya'nın yaklaşık 4,5 milyar yıllık tarihi boyunca sürekli olarak değişim göstermiştir. Ancak Sanayi Devrimi ile birlikte 19. yüzyılın ortalarından itibaren doğal süreçlere ek olarak, insan faaliyetlerinin de iklim üzerinde etkili olduğu yeni bir dönem başlamıştır (Kahraman ve Şenol, 2018, s. 3). Bu değişim sanayileşme, ormansızlaşma ve fosil yakıtların yoğun kullanımı gibi insan kaynaklı aktivitelerin sonucunda hızlanmıştır. İklim aşırılıkları ise, hava olaylarının gözlemlenen değerlerinin olağan aralığın üstünde ya da altında gerçekleşen durumları ifade eder (Pereira, 2016, s. 9). Örneğin olağanüstü sıcaklıklar, aşırı yağışlar veya kuraklıklar gibi iklim aşırılıkları hem ekosistemleri hem de insan yaşamını tehdit eden önemli olaylardır.

İklim, en az 30 yıllık bir süreyi kapsayan sıcaklık, yağış ve nem gibi atmosferik koşulların ortalamalarını temsil eder (Dhamala vd., 2019, s. 1; NASA, 2020, s. 2). Yeterince uzun zaman diliminde, iklim bölgesel ve küresel ortalamalar üzerinden incelenebilir ve bu analizlerde genellikle 30 yıl ve daha uzun süreli veriler kullanılır (Gratton vd., 2021, s. 210; Aysen, 2022, s. 11). Uzun dönemli veri setleri iklimin değişimini ve eğilimlerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir ve uzun vadeli atmosferik duruma göre bitki örtüsü ve ekstrem hava olayları gibi unsurlar da şekillenir (MGM, 2015, s. 4). İklim değişikliği doğal süreçlerin yanında insan kaynaklı etkilerle yıllardan yüzyıllara kadar uzanan bir zaman diliminde gerçekleşir (Yıldız ve İmanov, 2022, s. 16).

Bu bağlamda iklim değişikliği sadece çevresel bir sorun değil aynı zamanda sosyal ve ekonomik boyutları da olan bir meseledir. İklim değişikliğinin etkileri tarım, su kaynakları, sağlık ve insan yerleşimleri üzerinde tehditler oluşturmaktadır. Bu durumu anlamak ve gerekli önlemleri almak bireyler ve toplumlar için büyük bir sorumluluktur. İklim verilerinin izlenmesi, bilimsel araştırmaların desteklenmesi ve iklim politikalarının güçlendirilmesi gelecekte sürdürülebilir bir dünya için atılması gereken kritik adımlardır.

1.1.2 İklim sistemi

İklim sistemi; atmosfer, kara yüzeyleri, kar ve buz, okyanuslar, su kütleleri ve canlıları kapsayan karmaşık ve dinamik bir yapıdır. Bu sistem, zamanla hem kendi iç dinamikleri hem de dışsal etkenler olarak adlandırılan faktörler (güneş hareketleri veya volkanik patlamalar) altında değişiklik gösterir (MGM, 2024a, s. 1). Dış etkenler, doğal süreçlerin yanı sıra insan kaynaklı atmosfer değişikliklerini de içerir (MGM, 2015, s. 4). Atmosfer, iklim sisteminin en belirgin alt bileşeni olup sistemin genel yapısını ve evrimini en çok

etkileyen faktördür. Bir bölgenin iklimini anlamak için zaman faktörü büyük önem taşır. Örneğin rüzgâr hızındaki ani artışlar birkaç saniye sürebilirken, yüksek basınçlı hava devreleri haftalarca sürebilir. Daha uzun vadeli iklim süreçleri ise yüzyıllar süren değişiklikleri kapsar (Aysen, 2022, s. 11). Kısa vadeli değişiklikler duyularımız tarafından algılanabilir, ancak uzun vadeli iklim değişikliklerini anlamak için bilimsel verilerin ve modellerin kullanılması gereklidir (Riedy, 2016, s. 3).

İklim sisteminin karmaşıklığı yalnızca doğal süreçlerle değil aynı zamanda insan faaliyetlerinin etkisiyle şekillenir. Özellikle sanayileşme sonrası dönemde insan etkinlikleri atmosferde sera gazı yoğunluğunu artırarak iklim değişikliğine yol açmıştır. Bunlar küresel ısınma, deniz seviyesinin yükselmesi ve ekstrem hava olaylarının artışı gibi sonuçlara neden olmakta ve tarım, su kaynakları ve ekosistem üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Dolayısıyla iklim değişikliği ile mücadele etmek ve iklim sistemini korumak yalnızca bilim insanlarının değil tüm insanlığın öncelikli sorumluluğu olmalıdır.

1.1.3 Hava durumu

Hava durumu, belirli bir coğrafi alan içinde belirli bir zamanda meydana gelen anlık atmosfer koşullarını tanımlar. Bu koşullar yağış miktarı, sıcaklık, bulut örtüsü ve rüzgâr hızı gibi çeşitli meteorolojik parametrelerden oluşur ve günlük olarak değişiklik gösterir (Dhamala vd. 2019, s. 2). Hava durumu, kısa zaman dilimlerinde (dakika, saat veya günler) meydana gelen olayları kapsar. Örneğin yağmur, kar, rüzgâr, bulut oluşumu, sel ve fırtınalar gibi olaylar hava durumu kavramı içindedir (NASA, 2020, s. 2). Ayrıca hava durumu herhangi bir yerde ve zamanda mevsimsel, günlük ya da saatlik değişimler gösterebilir. Rüzgâr, nem, yağış, sıcaklık, basınç ve bulutluluk gibi unsurlar hava olaylarını etkileyen temel değişkenlerdir (MGM, 2015, s. 4).

Hava durumu, insanlar için günlük yaşamda önemli rol oynamaktadır. Hava koşullarının etkisi tarımdan ulaşım, turizmden sosyal aktivitelere kadar birçok alanda hissedilir. Örneğin bir tarım bölgesinde yağışların miktarı ve zamanlaması ürünlerin verimini doğrudan etkilerken, aynı zamanda çiftçilerin ekim ve hasat zamanlarını planlamalarında da kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca hava durumu, seyahat planlaması için de önemli bir faktördür. Yoğun yağışlar veya fırtınalar hava ulaşımında aksaklıklara neden olabilir. Dolayısıyla hava durumunun anlaşılması ve doğru tahmin edilmesi sadece meteoroloji uzmanları için değil aynı zamanda toplumun geniş kesimleri için de önemlidir.

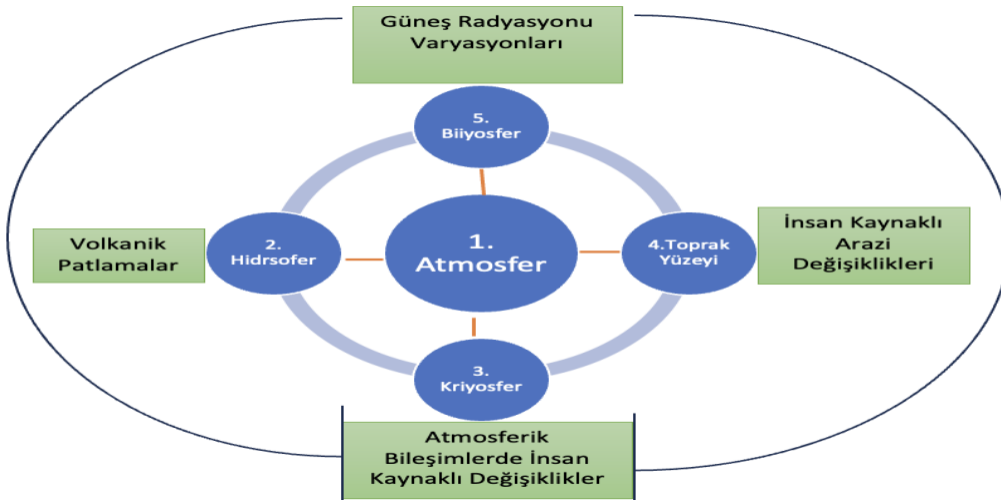
1.1.4 İklim değışikliğı

İklim değışikliğı, atmosferdeki sera gazı seviyelerinin yükselmesi ile ilişkili olarak Dünya'nın iklim sisteminde uzun süreli değışiklikleri ifade eder (Eurocontrol, 2021c, s. 1). Bu değışim hem doğal süreçler hem de insan faaliyetlerinin birleşimi ile gerçekleşmektedir. İklim değışikliğı, ortalama iklimde veya iklim değışkenliğinde uzun süre devam eden değışiklikler olarak tanımlanmaktadır (Riedy, 2016, s. 1). Günümüzde gözlemlenen ısınma hızı ve kapsamının tarihsel sıcaklık değışimlerinden belirgin şekilde farklı olduğu vurgulanmaktadır (Akın, 2021, s. 29). Bu farklılığın en büyük nedenlerinden biri, insan kaynaklı sera gazlarının fosil yakıtların yakılması ile bağlantılı olduğu kabul edilmektedir (Paraschi, 2023, s. 87).

İklim değışikliğı süreci bölgesel sıcaklık ve yağış değışiklikleri ile karakterize olup bu değışikliklerin küresel ısınma seviyesi ile birlikte artması beklenmektedir (Akın, 2021, s. 28). İklim bilimciler iklim değışikliğinin potansiyel zarar verici olaylarının doğasını, ölçeğini ve yerini tahmin etmenin karmaşık olduğunu belirtmektedir (Voskaki, Budd ve Mason, 2023, s. 652). Bu nedenle, iklim değışikliğinin çevresel faktörlerini anlamaya yönelik çalışmalar 1970'lerden beri sürdürülmekte olup, bilim insanları bu alandaki belirsizlikleri azaltmaya çalışmaktadır (Cianconi, Betrò ve Janiri, 2020, s. 2). İnsan faaliyetlerinin yanı sıra doğal süreçler de iklim değışikliğine katkıda bulunabilmektedir. Örneğin güneş radyasyonu değışimleri ve volkanik patlamalar gibi doğal dış etkenler iklim sisteminin dinamiklerini etkilemektedir (Dhamala, vd. 2019, s. 3).

Şekil 1.1

İklim Sisteminin Bileşenleri ve Dış Etkenler



Kaynak: Dhamala vd., 2019, s. 3'ten uyarlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 1.1’de atmosferi etkileyen faktörler gösterilmektedir. Atmosfer hidrosfer, kriyosfer, toprak yüzeyi ve biyosfer ile etkileşim halindedir. Ayrıca güneş radyasyonu değişimleri, volkanik patlamalar, insan kaynaklı arazi değişiklikleri ve atmosferik bileşimlerdeki insan kaynaklı değişiklikler gibi dış faktörler de atmosferin dinamiklerini ve bileşimini önemli ölçüde etkiler. Bu etkileşimler, atmosferdeki değişikliklerin karmaşıklığını ve birbirine bağlılığını ortaya koymaktadır.

Günümüzdeki iklim değişikliğinin insan sağlığı, su, enerji ve tarım ürünleri üzerindeki etkileri dikkat çekmektedir. Yükselen deniz seviyeleri kıyı topluluklarını tehdit etmekte, aşırı hava koşulları sağlık sorunlarına ve ekosistemin bozulmasına yol açmaktadır (Yıldız ve Imanov, 2022, s. 16). Bu sorunlarla başa çıkmak için uluslararası işbirliği ve yeni çözümler geliştirilmesi gerekmektedir. İklim değişikliği sadece çevresel bir sorun değil aynı zamanda sosyal ve ekonomik bir sorun olarak ele alınmalıdır. Fosil yakıtlar küresel sera gazı emisyonlarının %75’inden fazlasını oluşturarak iklim değişikliğine büyük katkıda bulunmaktadır (http-1). Daha kötüsü, iklim değişikliğinin etkilerinin önümüzdeki yüzyıl boyunca da artması beklenmektedir. Bu ve benzer nedenlerle iklim değişikliği acil ve giderek büyüyen küresel bir kriz olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.1.5 Küresel ısınma

Küresel ısınma sanayi devriminin başından itibaren dünya yüzeyinin sıcaklığının sürekli artmasıyla kendini göstermiştir (Dhamala vd. 2019, s. 34). Sanayi öncesi dönemde (1850-1900) fosil yakıtlar ve diğer insan faaliyetleri atmosferdeki sera gazı seviyelerini artırarak uzun vadeli ısınma süreçlerini başlatmıştır (NASA, 2020, s. 1). Enerji talebini karşılamak amacıyla fosil yakıtların artan tüketimi küresel ısınmanın ana nedenlerinden biridir (Omarov, Memon ve Kim, 2023, s. 1). Atmosfer yapısını değiştiren insan faaliyetleri sera etkisini artırarak küresel ısınmayı tetiklemiştir (Cianconi vd., 2020, s. 2). Küresel ısınmanın sanayi öncesi seviyenin 1,5 °C üzerine çıkması durumunda, etkilerinin daha belirgin hale geleceği ve 2 °C’lik artışın büyük sorunlara yol açacağı öngörülmektedir (ICAO, 2018, s. 5). Herhangi bir azaltım tedbiri alınmazsa, küresel sıcaklıkların yüzyılın sonuna kadar sanayi öncesi seviyenin 5 °C üzerine çıkabileceği belirtilmektedir (Eurocontrol, 2021a, s. 4; Paraschi, 2023, s. 87). Küresel ısınmanın 1,5 °C ile sınırlandırılabilmesi için sera gazı emisyonlarının 2025 yılına kadar zirveye ulaşması ve 2030 yılına kadar %43 azaltılması gerekmektedir (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2024a, s. 1).

Küresel ısınma, ekolojik sistemin bozulması ve sosyo-ekonomik sorunların ortaya çıkması ile sonuçlanmaktadır. Deniz seviyesi yükselmesi (Sea Level Rise-SLR), su kaynaklarının azalması, biyoçeşitlilik kaybı ve orman ile bitki örtüsünde değişiklikler bu durumun somut örnekleridir (Şanlı, Bayrakdar ve İncekara, 2017, s. 205). İnsan faaliyetleri, dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığını yaklaşık 1 °C artırmış ve her on yılda 0,2 °C hızla artış devam etmektedir (NASA, 2020, s. 2). Küresel yüzey sıcaklığı CO₂ dinamiklerini değiştiren sera gazlarının insan kaynaklı etkisiyle ciddi şekilde yükselme eğilimindedir (Cianconi vd., 2020, s. 8; NASA, 2023b, s.1). Sera gazı emisyonları, güneşin ısısını hapsederek küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine yol açmaktadır. Zamanla daha yüksek sıcaklıkların hava düzenini değiştirmesi ve doğanın dengesini bozması kaçınılmazdır (http-1). Küresel yüzey sıcaklığı 3 milyon yıl önce 2,5°C veya üzerinde kalmıştır (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021, s. 14).

Son araştırmalar, küresel ısınmanın enerji talebi artışı ve sera gazı salımındaki artıştan kaynaklandığını ortaya koymaktadır (Şanlı vd., 2017, s. 210). Bu durum doğal dengenin bozulmasına ve birçok canlı türünün yok olmasına neden olmaktadır (Paraschi, 2023, s. 86). Küresel ısınma sadece iklim değişikliği ile sınırlı kalmayıp sosyal, ekonomik ve ekolojik alanlarda derin etkilere yol açmaktadır. Küresel ısınma, şiddetli kuraklıklar ve aşırı yağışların ortaya çıkmasına neden olarak, insan yaşamını, ekonomiyi ve tarımsal üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle hidrolojik aşırılıkların sürekli izlenmesi, gelecekteki olaylara hazırlık yapmak, etkilerini hafifletmek ve uyum sağlamak açısından kritik önem taşımaktadır. Bu nedenle iklim değişikliği ile mücadele stratejilerinin geliştirilmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması sürdürülebilir gelecek için hayati önem taşımaktadır (NASA, 2023a, s. 1).

1.2 İklim Değişikliğinin Nedenleri ve Sonuçları

1.2.1 İklim değişikliğinin nedenleri

İklim değişikliği hem doğal süreçlerden hem de insan kaynaklı faktörlerden etkilenen karmaşık bir olgudur. Araştırmalara göre sanayi devriminin başlangıcından bu yana atmosfere salınan sera gazları, gezegenin sıcaklık dengesini bozarak iklim değişikliğine yol açmaktadır (IPCC, 2022, s. 191). Fosil yakıtların kullanımı, ormansızlaşma ve biyoçeşitliliğin azalması gibi insan faaliyetleri mevcut hızlı iklim değişikliğinin temel nedenleri arasında yer almaktadır. Bu durum, özellikle fosil yakıtların yakılmasıyla atmosfere salınan sera gazlarının (örneğin, karbondioksit, metan) artışına bağlıdır (Aysen,

2022, s. 19; Gök, 2023, s. 4-5). Küresel iklim değişikliğine yol açan süreçler yerküreye gelen kısa dalga radyasyonu ile uzun dalga radyasyonu arasındaki dengenin bozulması üzerine inşa edilmektedir. Bu denge aerosoller, ozon ve bulutlar gibi faktörlerden etkilenmektedir (Kahraman ve Şenol, 2018, s. 355). Örneğin rüzgâr ve okyanus akıntıları, yerküredeki ısı dağılımını etkileyerek iklim üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (MGM, 2024a, s. 1). Güneş radyasyonunun yansıyan kısmındaki değişiklikler bulut örtüsü ve arazi kullanımındaki değişikliklerle de bağlantılıdır (Cianconi vd., 2020, s. 2).

Dünya genelinde iklim değişikliğine yol açan insan faaliyetlerinin yanı sıra doğal süreçler de bu durumu etkilemektedir. Volkanik patlamalar ve güneşin yoğunluğundaki değişiklikler iklim sisteminin doğasına katkıda bulunan faktörler arasında bulunmaktadır (http-1). Ancak, şu anda yaşadığımız hızlı iklim değişikliği insan kaynaklı faktörlerin etkisiyle belirginleşmiştir. Özellikle sanayi devriminden sonra fosil yakıt kullanımının artışı sera etkisinin güçlenmesine ve bu durumun iklim sistemine müdahale etmesine neden olmuştur (Akgül ve Dino, 2020, s. 1667).

1980 sonrası gözlemlenen sıcaklık artışlarının yalnızca doğal zorlamalarla açıklanamayacağı, insan faaliyetlerinin küresel ısınmaya büyük ölçüde katkıda bulunduğu ileri sürülmektedir. İklim değişikliği yavaş yavaş doğal süreçlerden kaynaklanabileceği gibi aniden büyük bir göktaşı çarpması veya volkanik aktivite gibi büyük olaylardan da kaynaklanabilir. Ancak şu anda yaşadığımız hızlı iklim değişikliği üç ana insan faaliyetinden kaynaklanmaktadır: (NASA, 2023a, s.1).

- Fosil yakıtların yakılması,
- Ormanların yok edilmesi,
- Biyoçeşitliliğin azalması.

Bu durum gelecekteki iklim politikalarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Çünkü iklim değişikliğinin sonuçları hem doğal afetlerin artışı hem de insan yaşamı üzerindeki etkileriyle günümüzde daha da görünür hale gelmiştir.

1.2.2 İklim değişikliğinin sonuçları

İklim değişikliklerinin etkileri gezegenin farklı bölgelerinde farklı biçimlerde kendini göstermektedir. Sıcaklık artışları bazı bölgelerin diğerlerine kıyasla daha fazla ısınmasına neden olurken yağış düzenlerinde de önemli değişiklikler yaşanmaktadır. Bazı bölgeler

daha fazla yağış alırken diğerleri sık sık kuraklık riskiyle karşı karşıyadır (Çelik, 2023, s. 28). Hem kısa hem de uzun vadede küresel ortalama sıcaklığın artması beklenmektedir.

Genel eğilim aşırı hava koşullarının daha sık yaşanmasıdır. Kurak bölgeler daha kuru, yağışlı bölgeler daha yağışlı hale gelmektedir. Sıcaklık artışları özellikle kutuplara yakın bölgelerde daha belirgin olurken dünya genelinde aşırı sıcak günlerin sayısında artış görülecektir. Ayrıca deniz seviyesinin yükselmesi, aşırı yağışlar ve doğal afetlerin kıyı bölgelerinde büyük sorunlara yol açması beklenmektedir (ICAO, 2016, s. 211).

İklim değişikliğinin gelecekte yaygın acil durumlara neden olması muhtemeldir. Bu etkiler Şekil 1.2’de gösterilmiştir.

Şekil 1. 2

İklim Değişikliğinin Olası Sonuçları



Kaynak: Cianconi vd., 2020, s. 2’den uyarlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

İklim değişikliği aşırı sıcaklıklar ve kuraklıklarla birlikte daha sık ve şiddetli fırtınalara neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklar orman yangınları gibi iklimle bağlantılı felaketleri artırırken, kuraklık tarım ve su kaynaklarını tehdit etmektedir. Okyanuslar ısınarak ve asidik hale gelerek kıyı topluluklarını tehlikeye atmakta ve deniz yaşamını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bu durum türlerin yok olmasını hızlandırmakta ve yetersiz beslenme gibi sorunları da beraberinde getirmektedir (http-01).

Ortalama yüzey sıcaklığının aşırı yağış olaylarının sıklığında ve yoğunluğunda artışa ve küresel ortalama deniz seviyesinin yükselmesine neden olacağı öngörülmektedir. Özellikle dört ana Temsili Konsantrasyon Senaryosu (Representative Concentration Pathway-RCP) altında bu artış 21. yüzyıl boyunca devam edecektir (Eurocontrol, 2021b, s. 13). Tüm hava olaylarının iklim değişikliğinden etkilendiği gözlemlenmektedir. Önceki dönemlere kıyasla son yıllarda daha yüksek küresel sıcaklık ve nem farklılıkları

kaydedilmiştir. Araştırmalar insan kaynaklı etkinin küresel ölçekte felakete yol açan aşırı hava olayları artışında belirgin rol oynadığını göstermektedir (Cianconi vd., 2020, s. 2).

Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization-WHO) iklim değişikliğinin etkilerinin iyi bilindiğini belirterek, 2030 ile 2050 yılları arasında her yıl yaklaşık 250.000 ek ölüm yaşanabileceğini tahmin etmektedir (Hayes vd., 2018, s. 1). Bu öngörü sıcak hava dalgalarının, besin güvenliğindeki bozulmaların ve su kaynaklarındaki azalmaların sonucunda ortaya çıkacak sağlık sorunlarının bir yansımasıdır (IPCC, 2023, s. 79). İklim değişikliği hem doğrudan hem de dolaylı olarak insanların yaşamını etkilemekte, ölüm oranlarını artırmakta, ekonomik kayıplara neden olmakta ve zorunlu göçlere yol açmaktadır. Örneğin, 2020 yılında Hindistan, Nepal ve Bangladeş'te meydana gelen ölümcül seller yaklaşık 12 milyon insanı evlerinden zorla çıkarmıştır (Shivanna, 2022, s. 162). Bu tür olaylar iklim değişikliğinin insani etkilerini gözler önüne sermekte ve dünya genelinde alınacak önlemlerin aciliyetini vurgulamaktadır.

1.3 Türkiye’de İklim Değişikliği Politikaları

Türkiye’de iklim değişikliği politikaları küresel iklim krizinin etkileri ile başa çıkma amacıyla sürekli gelişen bir alan haline gelmiştir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) tarafından yayımlanan “Altıncı Değerlendirme Raporu,” sera gazı emisyonlarının artışının kaçınılmaz bir sonuç olarak küresel ısınmayı hızlandığını ortaya koymaktadır. Bu raporda, Sanayi Devrimi öncesi dönemle kıyaslandığında küresel sıcaklıkların 1,1 °C arttığı ve mevcut eğilimin devam etmesi durumunda 2100 yılı itibarıyla sıcaklık artışının 3°C’ye ulaşabileceği vurgulanmaktadır (IPCC, 2022, s. 185).

Türkiye, 11-22 Kasım 2024’te Azerbaycan Bakü’de düzenlenen COP29 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı’nda, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında çeşitli stratejiler açıklayarak bu alandaki kararlılığını vurgulamıştır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB], 2024b, s. 1).

Türkiye, Paris Anlaşması’na taraf olarak karbon salımını azaltma hedeflerini belirlemiştir. Ancak bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için gereken yeni teknolojilerin ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının benimsenmesi kritik öneme sahiptir. Türkiye’nin coğrafi yapısı iklim değişikliğinden farklı şekillerde etkilenecek bir dizi doğal kaynağa ev sahipliği yapmaktadır. Bu bağlamda, su kaynakları ve tarım alanındaki değişiklikler, Türkiye’nin gelecekteki iklim politikalarının şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Gelecekte Türkiye'nin iklim politikalarını daha da güçlendirmesi hem uluslararası yükümlülüklerle hem de iç dinamiklere uyum sağlaması için önemlidir. İklim değişikliği konusunda kamu bilincinin artırılması, toplumsal katılımın sağlanması ve sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi gereklidir. Ayrıca iklim değişikliği ile mücadelede yerel yönetimlerin, özel sektörün ve sivil toplum kuruluşlarının işbirliği yapması etkili ve bütüncül politikaların geliştirilmesinde önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

1.3.1 İklim değişikliği azaltım stratejisi ve eylem planı (2024-2030)

Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadelesi 2021 yılında Paris Anlaşması'nın onaylanması ve 2053 Net Sıfır Emisyon hedefinin açıklanmasıyla önemli bir aşamaya gelmiştir. Bu durum ulusal iklim eylemlerinin hız kazanmasını sağlamış ve Türkiye'yi küresel iklim değişikliği çabalarına daha etkin bir şekilde entegre etmiştir. Paris Anlaşması'nın kabulü Türkiye'nin iklim değişikliği ile ilgili ulusal çalışmalarına ivme kazandırmış, bu kapsamda 2022 yılında gerçekleştirilen Türkiye'nin ilk İklim Şurası, 2053 net sıfır hedefi için 217 tavsiye kararının kabul edilmesine zemin hazırlamıştır. Bu tavsiyelerden 76'sının önceliklendirilmesi, iklim politikalarının somut adımlarla desteklenmesi adına kritik bir gelişmedir (ÇŞİDB, 2023, s. 20-28).

İklim kanunu teklifi, iklim değişikliğiyle mücadeleyi Türkiye'de yeni bir boyuta taşımayı hedefleyerek, ülkenin çeşitli sektörlerini iklim krizinden koruyacak kapsamlı düzenlemeleri içermektedir. Bu düzenlemeler ekosistemlerin, ekonominin, şehirlerin, tarım ve gıda gibi hayati alanların etkilenmemesi için stratejik adımlar atılmasını öngörmektedir. Kanun kapsamında, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik ulusal strateji ve eylem planları hazırlanırken, İklim Değişikliği Başkanlığı'nın görev ve sorumlulukları netleştirilmiş, karbon ticareti ve fiyatlandırması gibi piyasaya dayalı mekanizmaların devreye alınması öngörülmektedir. Öte yandan teklif yerel düzeyde de önemli yapısal değişiklikleri beraberinde getirmektedir. Her ilde koordine edilen yerel eylem planları, il özelindeki yönetimler tarafından hazırlanarak 2027 yılına kadar uygulanması planlanmaktadır. Kanun ile sınırdaki karbon düzenleme mekanizması, Türkiye Yeşil Taksonomisi oluşturulması gibi pek çok yenilik de hayata geçirilerek, iklim kriziyle mücadelenin sistematik ve kurumsal bir yapıya kavuşmasına zemin hazırlanmaktadır (ÇŞİDB, 2025, s. 1). Türkiye İklim Kanunu, geniş kapsamlı yasal düzenlemesiyle yalnızca çevresel kazanımlar sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda

ekonomik ve toplumsal alanlarda dönüşüme zemin hazırlayarak, iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir adım olarak öne çıkacaktır.

IPCC'nin 1,5 °C Küresel Isınma Özel Raporu ise, mevcut ulusal katkı beyanlarının 2030 sonrası küresel ısınmayı 1,5 °C ile sınırlamayacak kadar yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum Türkiye'nin iklim politikalarının etkinliğinin artırılması gerektiğini vurgulamaktadır (ÇŞİDB, 2023, s. 20; http-02). Türkiye'nin bu konuda alacağı önlemler iklim değişikliğinin etkilerini azaltma ve gelecekteki olumsuz sonuçları en aza indirme adına önem taşımaktadır.

İklim Değişikliği Azaltım Eylem Planı enerji, sanayi, binalar, ulaştırma, atık, tarım vb. sektörleri kapsayan 49 strateji ve 260 eylem içermektedir. Bu stratejilerin her biri mevzuat, teknik altyapı, teknoloji, finans, kapasite geliştirme ve toplumsal farkındalık gibi çeşitli alanlarda adım atılmasını gerektirmektedir. Belirlenen izleme göstergeleri ve sorumlu kurumlar stratejilerin uygulanabilirliğini artırmayı amaçlamaktadır (ÇŞİDB, 2023, s. 32).

Özellikle ulaştırma sektörü, fosil yakıt bağımlılığı ve enerji yoğun yapısıyla sera gazı emisyonlarına önemli katkıda bulunan bir alandır. Ekonomik gelişme ile seyahat talebi arasındaki pozitif ilişki bu sektörün büyümesine ve dolayısıyla emisyon artışına neden olmaktadır (ÇŞİDB, 2023, s. 112). Eylem planında sektör için önerilen önlemler arasında deniz ve demiryolu modlarına kayma sağlanması, enerji verimliliğinin artırılması ve temiz enerji kaynaklarının kullanımı gibi stratejiler yer almaktadır (ÇŞİDB, 2023, s. 34). Türkiye'nin iklim değişikliği azaltım stratejisi ve eylem planı somut adımlar ve güçlü bir stratejik çerçeve ile desteklenmelidir. Bu, sadece çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik büyümeyi de destekleyecek bir yol haritası sunacaktır. İklim değişikliği ile mücadelede atılacak her adım gelecekteki nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakma hedefi doğrultusunda önemli bir katkı sağlayacaktır.

1.3.2 Türkiye'nin katıldığı küresel anlaşmalar ve protokoller

Türkiye Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü gibi çevre koruma ve ozon tabakasını korumaya yönelik önemli uluslararası anlaşmalara katılım sağlayarak çevre koruma konusunda küresel çabalara katkı sunmuştur. Bu tür girişimlere katılım Türkiye'nin küresel iklim değişikliğiyle mücadelede dolaylı olarak üstlendiği sorumlulukları da genişletmiştir. Türkiye'nin çevreyle ilgili uluslararası işbirliklerine verdiği önem, yalnızca kendi ekosisteminin korunmasına katkı sağlamakla kalmayıp, dünya genelindeki

çevresel sorunların çözümüne yönelik kritik bir rol üstlenmektedir (Gök, 2023, s. 38). Bu işbirlikleri, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada ulusal ve uluslararası politikaların entegre edilmesine olanak tanımaktadır. Türkiye'nin bu tür anlaşmalara katılımı çevreyi koruma politikalarını daha geniş bir perspektiften ele almasını ve diğer ülkelerle ortak çözüm geliştirmesini sağlayarak küresel çevresel hedeflere ulaşmada önemli bir aktör olmasına katkıda bulunmuştur.

1.3.2.1 Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi (1992)

İklim değişikliği ile küresel mücadele, 1992 yılında gerçekleştirilen Dünya Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (BMİDÇS) kabulüyle başlamıştır. Bu sözleşmenin temel amacı, atmosferdeki sera gazı birikimlerini sınırlandırarak insan kaynaklı iklim değişikliğinin tehlikeli etkilerini önlemek ve/veya azaltmaktır (Arı ve Aydın, 2019, s. 205). Sözleşme 1994 yılında yürürlüğe girmiş ve günümüzde 197 ülke tarafından onaylanmıştır. Türkiye BMİDÇS'ye 2003 yılında taraf olarak küresel iklim değişikliği ile mücadele sürecine katılım sağlamıştır (Gök, 2023, s. 38; ÇŞİDB, 2024a, s. 1).

Bu sözleşmenin en önemli hedeflerinden biri, sera gazı seviyelerinin tehlikeli müdahaleyi önleyecek bir düzeyde sabitlenmesidir. Ekosistemlerin doğal uyum kapasitesine zarar vermemek ve sürdürülebilir kalkınmanın devamını sağlamak amacıyla gıda üretiminin olumsuz etkilenmemesi de sözleşmede vurgulanan unsurlardandır (UNFCCC, 2024b, s. 1). Özellikle gelişmekte olan ülkelerin, iklim değişikliği etkilerini hafifletmek için teknoloji transferi ve finansman desteği alması gerektiği belirtilmiştir. Bu noktada, EK-1 ve EK-2 ülkelerinin seragazı emisyonlarını azaltma ve finansman sağlama gibi farklı sorumlulukları bulunmaktadır (Arı ve Aydın, 2019, s. 203).

Türkiye BMİDÇS'ye taraf olduktan sonra çeşitli raporlar ve strateji belgeleri hazırlayarak ulusal ve uluslararası yükümlülöklere uygun adımlar atmıştır. 1990-2004 yılları arasında sera gazı envanterini hazırlamış, Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması gibi küresel girişimlere katılmıştır (Gök, 2023, s. 40). Bu kapsamda alınan tedbirler kalkınma planlarına da yansımış ve küresel çevre fonlarından yararlanma fırsatları doğmuştur.

1.3.2.2 Kyoto protokolü (1997)

Kyoto Protokolü, 1997 yılında Japonya'nın Kyoto şehrinde yapılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on

Climate Change-UNFCCC) toplantısında kabul edilen uluslararası anlaşmadır. Bu protokol, küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedeflemektedir (ÇŞİDB, 2023, s. 23). Kyoto Protokolü, iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası iş birliğini güçlendirmek amacıyla atılan önemli bir adım olarak tarihe geçmiştir. Protokol, gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine göre belirli oranlarda azaltmalarını zorunlu kılarak, dünya genelinde emisyonların azaltılmasını hedeflemiştir (Aysen, 2022, s. 85). Protokolün etkinliğini sınırlayan en büyük zorluklardan biri ise gelişmiş ülkelerle gelişmekte olan ülkeler arasındaki emisyon azaltım yükünün nasıl paylaşılacağına dair süregelen tartışmalardır. Bu durum gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyüme süreçleri üzerinde olumsuz etki yaratmaması için daha esnek yükümlülükler talep etmesine neden olmuştur (Arı ve Aydın, 2019, s. 205).

Kyoto Protokolü 2005 yılında yürürlüğe girmiş olsa da büyük ekonomik güçlerden biri olan ABD'nin protokole katılmaması, bu anlaşmanın etkisini ciddi şekilde sınırlandırmıştır. Ayrıca protokolün 2012'de sona eren ilk taahhüt dönemi sonrası ikinci dönemi için gerekli anlaşmaların sağlanamaması, Kyoto Protokolü'nün sürdürülebilirliğine dair çeşitli eleştirileri de beraberinde getirmiştir (Aysen, 2022, s. 85). Buna rağmen protokol, uluslararası iş birliği ile iklim değişikliğiyle mücadelede atılan en önemli adımlardan biri olarak kabul edilmektedir.

Türkiye açısından bakıldığında, ülkemiz Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 2004 yılında taraf olmuş ve Kyoto Protokolü'ne ise 2009 yılında katılım sağlamıştır (ÇŞİDB, 2023, s. 23). Bu katılım, Türkiye'nin uluslararası düzeyde iklim değişikliğiyle mücadeleye verdiği önemin göstergesi olarak değerlendirilebilir. Ancak Türkiye'nin de gelişmekte olan bir ülke olması sebebiyle, emisyon azaltım yükümlülükleri konusunda daha esnek koşullardan yararlanmak istemesi ve buna yönelik müzakerelere katılımı önem arz etmektedir. Bu yaklaşım, iklim değişikliği gibi küresel bir sorunla mücadelede tüm ülkelerin eşit düzeyde katkıda bulunmasının sağlanmasının gelecekteki iklim anlaşmalarının başarısı için kritik olduğunu göstermektedir.

1.3.2.3 Paris anlaşması (2015)

Paris Anlaşması, iklim değişikliği ile mücadelede uluslararası düzeyde önemli bir adım olup, yasal olarak bağlayıcı bir çerçeve sunmaktadır. Bu anlaşma, iklim değişikliğinin kaçınılmaz sonuçlarını kabul eder ve uyum ile iklim direncinin önemini vurgulamaktadır (Ryley, Baumeister ve Coulter, 2020, s. 59). Ülkeler için iklim politikalarını

şekillendirmede önemli bir referans oluşturan Paris Anlaşması, küresel işbirliği sağlamak adına kritik bir adım olarak kabul edilmektedir (Gök, 2023, s. 42-43). 12 Aralık 2015'te Fransa'nın Paris şehrinde düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda (COP21) 196 ülke tarafından kabul edilen anlaşma, 4 Kasım 2016'da yürürlüğe girmiştir (Gök, 2023, s. 41; UNFCCC, 2024a, s. 1). Önceki iklim protokollerinden farklı olarak, Paris Anlaşması tüm ülkeleri kapsayan bir yaklaşım benimsemiştir. Buna göre, her ülkenin kendi ulusal hedeflerini belirlemesi ve bunları düzenli olarak raporlaması gerekmektedir (UNFCCC, 2024a, s. 2).

Şekil 1. 3

Paris Anlaşmasına Taraf Ülkeler



Kaynak: http-03

Şekil 1.3'te ülkelerin büyük çoğunluğunun Paris Anlaşmasını imzaladığı ve onayladığı görülmektedir. Ancak Nikaragua ve Suriye haritada özel olarak işaretlenmiştir. Nikaragua başlangıçta anlaşmayı imzalamamış olsa da sonradan katılmıştır. Suriye ise anlaşmayı imzalamayan ender ülkelerden biridir. Harita, Paris Anlaşması'na geniş çapta katılım olduğunu ve özellikle anlaşmanın onaylanma sürecinin küresel bir hareket olduğunu vurgulamaktadır.

Paris anlaşması, iklim değişikliğinin kaçınılmaz sonuçlarını kabul ederek, uyum ve iklim direnci oluşturulmasına daha çok vurgu yapmaktadır (Ryley vd., 2020, s. 59). Küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere göre 2°C'nin altında tutmayı ve mümkünse 1,5°C ile sınırlamayı hedeflemektedir. Bu hedefin aşılması kuraklık, aşırı hava olayları ve diğer olumsuz etkilerin tetiklenmesi riskini artırmaktadır (ICAO, 2016,

s. 202; Karakaya, 2016, s. 3; UNFCCC, 2024a, s. 1). Paris Anlaşması sadece emisyonları azaltmakla kalmayıp, ülkelerin iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlama yeteneklerini güçlendirmeyi de amaçlamaktadır.

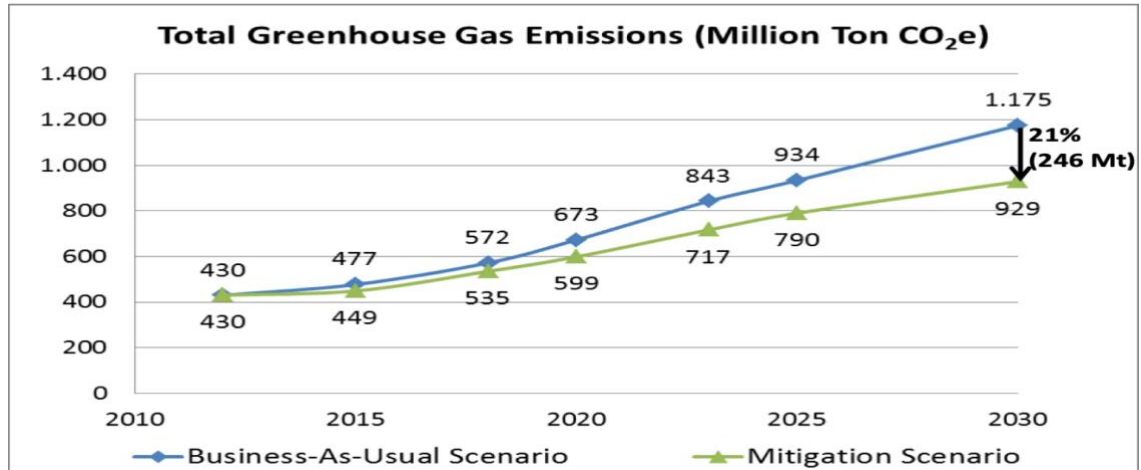
Anlaşmanın getirdiği esneklik her ülkenin kendi koşullarına göre hedefler belirlemesine olanak tanımaktadır. Türkiye 2016'da imzaladığı Paris Anlaşması'nı 2021'de onaylamış ve sera gazı emisyonlarını azaltma ve iklim değişikliğiyle mücadele konusunda Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı Niyet Beyanını (Intended Nationally Determined Contributions-INDC) sunmuştur. (ÇŞİDB, 2023, s. 23; Gök, 2023, s. 43). Türkiye 13 Nisan 2023'te Güncellenmiş Birinci Ulusal Katkı Beyan'ını BMİDÇS'ye sunmuş ve 2030'a kadar sera gazı emisyonlarını referans senaryoya kıyasla %41 oranında azaltma taahhüdünde bulunmuştur. Bu hedef, 2030 yılında yaklaşık 695 Mt CO₂ eşdeğeri emisyonunu kapsamaktadır (ÇŞİDB, 2023, s. 24).

Bu hedef doğrultusunda yenilenebilir enerji kullanımını artırma, nükleer enerjiye geçiş ve enerji verimliliğini artırma gibi çeşitli adımlar atılmaktadır (UNFCCC, 2015, s. 3). Türkiye'nin bu azaltım hedefi 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşma yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Gök, 2023, s. 42-43). Bu hedefin gerçekleştirilmesi, ülkenin iklim politikalarının yanı sıra enerji, ulaşım ve sanayi gibi sektörlerde de köklü değişiklikler yapılmasını gerektirecektir.

Şekil 1.4'te 2010-2030 yılları arasındaki toplam sera gazı emisyonlarının (Milyon Ton CO₂ eşdeğeri) iki farklı senaryoya göre projeksiyonu gösterilmektedir.

Şekil 1. 4

Toplam Sera Gazı Emisyonları (Milyon Ton CO₂e)



Kaynak: UNFCCC, 2015, s. 5.

Mavi çizgi (Mevcut Durumun Devamı Senaryosu): Herhangi bir ek önlem alınmadığında sera gazı emisyonlarının nasıl artacağını gösterir. Grafikte 2010 yılında 430 milyon ton olan emisyonların, 2030 yılında 1.175 milyon tona kadar çıkması beklenmektedir.

Yeşil çizgi (Azaltım Senaryosu): Emisyonların azaltılması için alınan tedbirlerle sera gazı emisyonlarının nasıl bir yol izleyebileceğini gösterir. Emisyonların 2010'da yine 430 milyon ton olduğu, ancak 2030 yılında 929 milyon tona kadar artacağı öngörülmektedir. Bu iki senaryo arasında yaklaşık %21'lik (246 milyon ton) fark bulunmaktadır. Mitigasyon (azaltım) senaryosu, ciddi önlemler alındığında emisyonların önemli ölçüde azaltılabileceğini vurgulamaktadır.

Paris Anlaşması hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliği ile mücadelede sorumluluklarını paylaşmasını öngören bir yapı sunarak uluslararası işbirliğini güçlendirmektedir. Anlaşmanın uygulanabilirliğinin sağlanması ve belirlenen hedeflere ulaşılması adına şeffaflık ve hesap verebilirlik mekanizmaları da büyük önem taşımaktadır. Taraf ülkeler, beş yılda bir güncellenmiş ulusal katkı beyanlarını (INDC) sunarak bu hedeflere ulaşmak için çaba göstermektedir (Aysen, 2022, s. 88-89).

Uluslararası arenadaki anlaşmalar ve işbirliği çabaları ülkelerin ortak sorumluluklarını güçlendirirken, uygulamada şeffaflık ve hesap verebilirlik mekanizmalarının önemini ortaya koymaktadır. Türkiye'nin bu çerçeveye katılması ve belirlediği hedefler uluslararası iklim politikalarındaki rolünü güçlendirmekte ve iklim değişikliği ile mücadelede aktif rol üstlenmesini sağlarken, uluslararası işbirliğini de pekiştirmektedir.

1.4 Matematiksel Modelleme Yaklaşımları

İklim değişikliği çalışmalarında, gelecekteki iklim koşullarını tahmin etmek için matematiksel modelleme yaklaşımları en önemli araçlardan biridir (MGM, 2015, s. 4). Bu modeller atmosfer, litosfer, biyosfer, hidrosfer ve kriyosfer gibi iklim bileşenleri arasındaki etkileşimleri ölçülebilir ve gözlemlenebilir metotlarla kantitatif olarak ortaya koymaya çalışır. İklim modelleri karmaşık yapıları ve uygulama zorluklarına rağmen gelecekteki iklim senaryolarını belirlemek için büyük önem taşır. Modellerde, güneşten gelen kısa dalga radyasyonu ve dünyadan yayılan uzun dalga radyasyonu dikkate alınarak enerji dengesi üzerinden iklim değişiklikleri hesaplanır (MGM, 2024a, s. 1). Bu dengenin bozulması durumunda, sıcaklıklarda önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Modellerde kullanılan matematiksel ifadeler gözlemlerle desteklenen fiziksel, biyolojik ve kimyasal yasalarla kurulan denklemlerden oluşur (Dhamala vd., 2019, s. 17).

Bu modeller sadece sıcaklık değişimlerini değil aynı zamanda ekstrem hava olayları, deniz seviyesi yükselmesi ve ekosistemlerdeki dönüşümler gibi birçok unsuru da tahmin ederek geleceğe dair kapsamlı bir öngörü sunar. İnsan faaliyetlerinin iklim üzerindeki etkilerini anlamak ve buna karşı adaptasyon stratejileri geliştirmek amacıyla kullanılan bu modeller, iklim değişikliğinin boyutlarını belirlemekte ve buna yönelik uyum, zarar azaltma gibi stratejik yaklaşımlar önermektedir (Çelik, 2023, s. 17).

1.4.1 Küresel ve bölgesel iklim modelleri

Küresel ve bölgesel iklim modelleri, iklim sisteminin dinamiklerini anlamada ve gelecekteki iklim senaryolarını öngörmekte önemli araçlardır. Küresel İklim Modelleri (Global Climate Models- GCMs), atmosferdeki akışkan hareketleri ve enerji transferlerini zaman içinde entegre ederek çalışan karmaşık sistemlerdir. Bu modeller, basit iklim modellerinden farklı olarak, atmosferi ve okyanusu yatay ve dikey eksenlerde “grid” adı verilen hesaplama birimlerine bölerler. Atmosferik modeller, atmosferi simüle ederken, deniz yüzeyi sıcaklıklarını sınır koşulu olarak kullanır. Birleştirilmiş atmosfer-okyanus modelleri (Coupled Models), atmosfer ve okyanus sistemlerini birleştirerek daha bütüncül bir analiz sağlar. Örneğin HadCM3, EdGCM ve GFDL CM2.X gibi modeller bu kategoride yer alır (MGM, 2024a, s. 1).

İklim değişikliğine karşı hazırlıklı olmak ve olumsuz etkileri en aza indirmek için, gelecekteki iklim değişikliklerini öngörmek önemlidir. Bu öngörüler, doğal ve insan sistemlerine yönelik etkilerin belirlenmesine yardımcı olur. İklim modelleri, iklim sisteminin bileşenlerini, etkileşimlerini ve geri beslemelerini matematiksel olarak temsil ederek, geçmiş ve gelecekteki iklimi anlamaya yardımcı olur (MGM, 2024c, s. 1).

Küresel iklim modelleri, özellikle küresel yüzey sıcaklıkları gibi iklim istatistiklerinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Bu modeller atmosferde, okyanuslarda, kriyosferde (Dünya üzerindeki donmuş su kütlelerini ve donmuş toprakları kapsayan unsurları içerir.) ve kara yüzeyindeki fiziksel süreçleri simüle ederek, yükselen sera gazı emisyonlarının iklim sistemine olan etkilerini anlamak için en gelişmiş araçlardır (MGM, 2015, s. 34).

Küresel ve bölgesel iklim modelleri, yalnızca bilim insanları için değil aynı zamanda politika yapıcılar ve toplum için de kritik bilgi sağlayıcılardır. Özellikle iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerini öngörebilmek hem uyum stratejilerinin geliştirilmesine hem de sera gazı azaltım hedeflerinin belirlenmesine yardımcı olur. GCM’ler karmaşıklıklarına rağmen iklim değişikliğine karşı alınacak tedbirlerin

planlanmasında vazgeçilmez araçlardır. Bu modeller daha kesin ve yerel tahminler yapma kapasitesine sahip bölgesel iklim modelleriyle de desteklenerek iklim politikalarının daha etkili şekilde şekillendirilmesine katkıda bulunur.

1.4.2 İklim senaryoları

İklim senaryoları, gelecekteki iklim değişikliklerinin etkilerini öngörmek ve bu etkilerle başa çıkmak için geliştirilen temel araçlardır. 2007 yılında Hollanda’da gerçekleştirilen IPCC 5. Değerlendirme Raporunda, senaryolara dair önemli kararlar alınmıştır. Bu süreçte SRES senaryolarındaki sıralı değerlendirme metodu yerine paralel değerlendirme metoduna geçilmiştir. Bu yeni yaklaşım, Temsili Konsantrasyon Senaryoları (Representative Concentration Pathways-RCP) adı verilen senaryoların oluşturulmasını sağlamıştır. Işınimsal zorlama seviyeleri temel alınarak dört adet RCP tipi tanımlanmıştır: RCP3-PD (RCP2.6), RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 (MGM, 2015, s. 4). Bu zorlama seviyeleri, sera gazı emisyonlarının gelecekteki artışına göre iklim üzerindeki etkileri farklı şekillerde simüle etmeyi amaçlamaktadır (MGM, 2024a, s. 1).

İklim senaryoları, gelecekteki iklim değişikliklerini tahmin etmenin yanı sıra, özellikle insan kaynaklı (antropojenik) sera gazı emisyonlarının iklim üzerindeki potansiyel etkilerini incelemek için kullanılır. IPCC, bu tür projeksiyonlar oluşturmak için iklim sisteminin bileşenlerinin matematiksel temsiline dayanan modeller geliştirmiştir (Eurocontrol, 2021b, s. 10). Gelişen teknoloji ile birlikte Küresel İklim Modelleri (GCMs) bu projeksiyonların merkezinde yer almaktadır. Bu modeller, iklim değişikliğinin yerel ve sektörel etkilerini daha detaylı şekilde öngörmek amacıyla Bölgesel İklim Modelleri (Regional Climate Model-RCM) ile desteklenir (MGM, 2024a, s. 1). Çözünürlüklerinin düşük olması bu modellerin yerel düzeyde daha hassas projeksiyonlar yapma gereksinimini artırır.

IPCC tarafından tanımlanan dört ana RCP senaryosu, sera gazı emisyonlarının yörüngesine dayalı olarak farklı ışıınimsal zorlama seviyelerine sahip senaryolardır. RCP2.6, iklim değişikliği açısından iyimser bir gelecek öngörürken, RCP8.5 en kötü durum senaryosunu temsil eder (Akgül ve Dino, 2020, s. 1670). Özellikle RCP8.5, yüksek emisyon seviyelerinin devam ettiği ve küresel ısınmanın tehlikeli boyutlara ulaştığı bir geleceği işaret ederken, RCP4.5 ve RCP6.0 daha orta düzeyde sera gazı artışlarını öngören senaryolardır (MGM, 2015, s. 34).

İklim senaryoları gelecekteki iklim projeksiyonlarının temelini oluşturarak iklim değişikliğine uyum ve zarar azaltma stratejilerinin şekillendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. İklim politikalarının başarısı, bu senaryoların sonuçlarına dayanarak alınan önlemlerin etkinliğine bağlıdır. Bu senaryolar, sadece bilim insanları için değil aynı zamanda hükümetler, sektörler ve toplumlar için önemli bir rehber niteliğindedir. İnsan kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması için atılacak adımlar RCP senaryolarının öngördüğü geleceği olumlu yönde değiştirme potansiyeline sahiptir.

1.5 İklim Projeksiyonları

İklim projeksiyonları, geleceğin farklı senaryolar üzerinden simüle edilmesiyle elde edilen iklim tahminleridir. Ancak senaryolar, tahminlerle karıştırılmamalıdır. Senaryo, geleceğin bir öngörüsü değil olası alternatif durumların sistematik olarak tasvir edilmesidir (Demir vd., 2013, s. 1). Bu senaryolar, özellikle iklim gibi belirsizlik seviyesi yüksek ve karmaşık sistemlerde gelecekteki olası gelişmeleri anlamaya ve değerlendirmeye yardımcı olur. Bu modeller sayesinde bilim insanları gelecekteki iklim koşullarına dair daha iyi öngörülerde bulunabilmektedir.

İklim projeksiyonları, sera gazları, aerosoller ve diğer atmosferik bileşenlerin gezegenin enerji dengesini nasıl etkilediğini inceleyen senaryolara dayanır ve gelecekteki iklim koşullarının simüle eder. Bu projeksiyonlar, 2100 yılına kadar olan zaman diliminde dünyanın farklı bölgelerinde iklimin nasıl değişeceğine dair bilgiler sunar (http-04).

İklim modelleri, tüm gezegen ya da belirli bir bölgeyi kapsayacak şekilde tasarlanır ve iki temel modele ayrılır: Küresel İklim Modelleri (GCM'ler) ve Bölgesel İklim Modelleri (RCM'ler). GCM dünya genelinde büyük ölçekli iklim olaylarını incelerken, RCM bölgesel ve daha yüksek çözünürlükte projeksiyonlar sağlar (http-04).

Gelecekteki iklim koşullarına dair doğru projeksiyon yapabilmek sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik stratejilerin başarısını artırabilir. İklim projeksiyonlarının hem yerel hem de küresel ölçekte daha detaylı çalışmalarla desteklenmesi daha sağlıklı ve sürdürülebilir planlama ve uygulamalar yapılabilmesi açısından büyük bir gerekliliktir.

1.5.1 Küresel iklim projeksiyonları

Küresel iklim değişikliği, özellikle bölgesel ve kentsel alanlarda kendini çeşitli göstergelerle hissettirmektedir. Bu göstergeler arasında en dikkat çekici olanları sıcaklık artışları, deniz seviyesindeki yükselmeler ve şiddetli hava olaylarının artmasıdır. Bu

değişiklikler, şehirlerde altyapı ve nüfus yoğunluğu gibi faktörler nedeniyle daha belirgin ve yıkıcı etkilere neden olabilmektedir. Özellikle kentsel bölgelerde sıcaklık artışları, “kentsel ısı adası” etkisini tetikleyerek, insan sağlığı ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu tür göstergeler, iklim değişikliğine uyum ve zarar azaltma stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Kahraman ve Şenol, 2018, s. 358).

1.5.1.1 Sıcaklık projeksiyonları

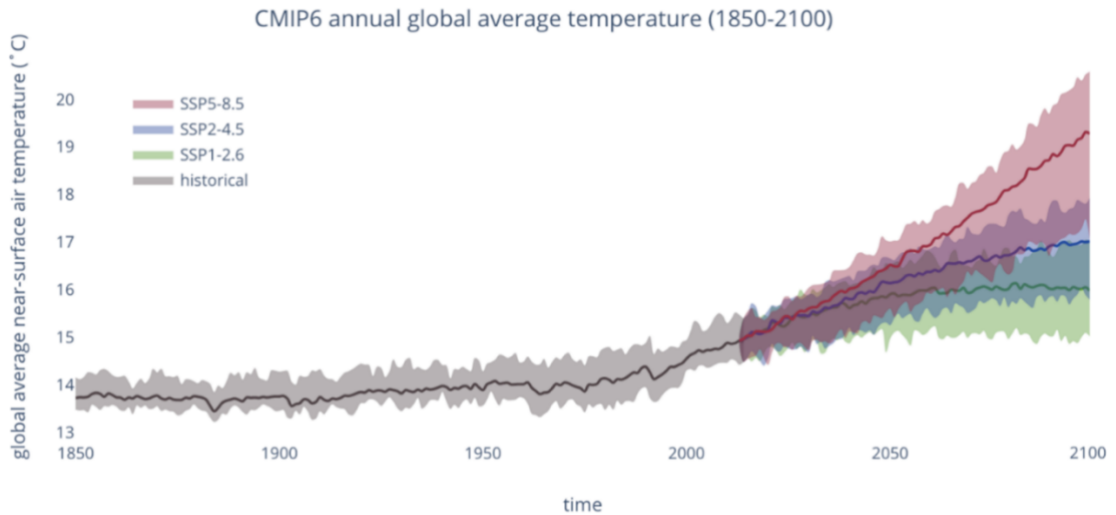
Şekil 1.5’te CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6-Bağılantılı Model Karşılaştırma Projesi 6. Aşama) kapsamında, 1850-2100 yılları arasında yıllık küresel ortalama hava sıcaklığındaki değişim gösterilmektedir. Farklı senaryolara dayalı olarak gelecekteki sıcaklık projeksiyonlarını içeren grafikte geçmişten günümüze ve olası gelecek eğilimleri yer almaktadır.

Tarihsel veriler 1850-2020 yıllarını kapsamakta olup, siyah renkle belirtilmiştir. Bu dönem, gözlemlenen sıcaklık değişimlerini temsil eder ve geçmiş iklim verilerine dayanmaktadır.

Gelecek senaryolarına bakıldığında:

Şekil 1. 5

Küresel Yıllık Ortalama Sıcaklıklar (1850-2100)



Kaynak: [http-04](http://04) (Copernicus)

- SSP5-8.5 (kırmızı çizgi): En yüksek sera gazı emisyonları senaryosu olup, fosil yakıt kullanımının yoğun bir şekilde devam etmesi halinde 2100 yılına kadar en büyük sıcaklık artışını öngörmektedir.

- SSP2-4.5 (mavi çizgi): Orta düzeyde bir emisyon senaryosudur ve sera gazı emisyonlarının zamanla stabilize olacağını, dolayısıyla daha ılımlı bir sıcaklık artışı yaşanacağını öngörmektedir.
- SSP1-2.6 (yeşil çizgi): En düşük emisyon senaryosudur ve yenilenebilir enerji kullanımının artması ve emisyonların ciddi şekilde azaltılması durumunda sıcaklık artışının sınırlı kalacağını varsayar.

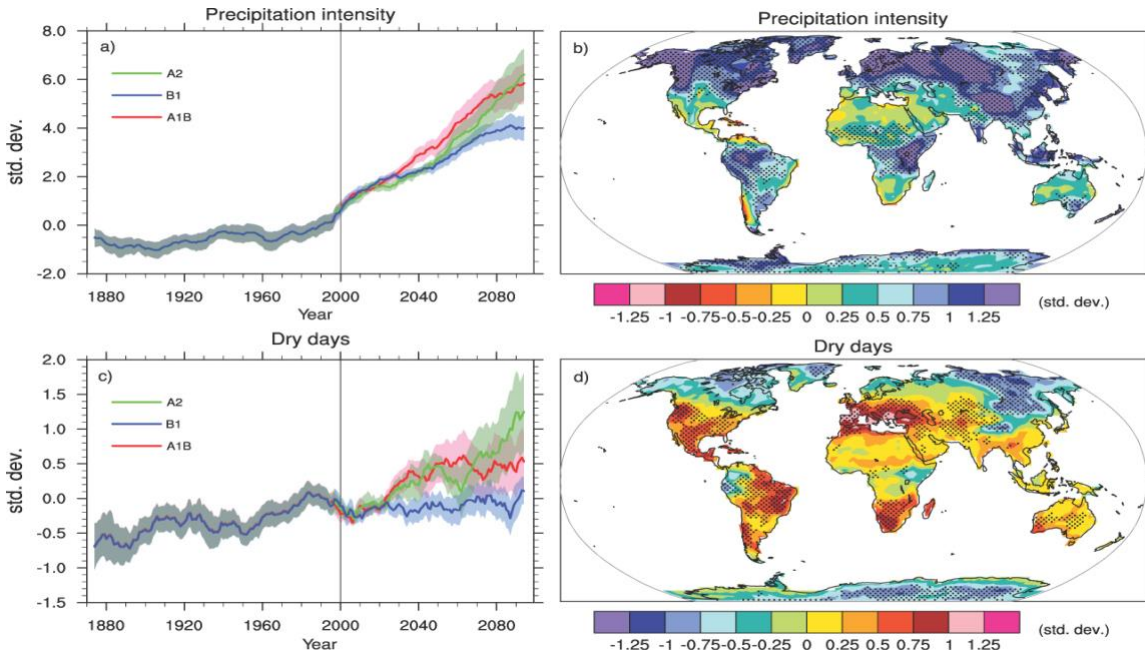
Grafik, özellikle 2000 yılından sonra senaryolar arasındaki sıcaklık artışlarının çeşitlendiğini ortaya koymaktadır. SSP5-8.5 senaryosu, yüzyılın sonuna kadar ciddi bir sıcaklık artışı öngörürken, SSP1-2.6 senaryosu bu artışı önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Bu projeksiyonlar sera gazı emisyonlarının azaltılmasının küresel ısınmayı yavaşlatmada belirleyici olduğunu açıkça göstermektedir.

1.5.1.2 Yağış projeksiyonları

Şekil 1.6'da iklim değişikliğinin gelecekteki yağış yoğunluğu ve kurak günler üzerindeki olası etkileri gösterilmektedir.

Şekil 1. 6

Gelecekteki İklim Değişikliğinin Yağış Yoğunluğu ve Kurak Günler Üzerindeki Etkileri



Kaynak: IPCC, 2024, s.1.

Şekil 1.d'da grafik A (sol üst), yıllık yağış yoğunluğundaki değişimi 1880'den 2100'e kadar üç farklı senaryoda göstermektedir. Yüksek emisyon senaryosu (A2), orta düzey

emisyon senaryosu (A1B) ve düşük emisyon senaryosu (B1). 2000'den itibaren yağış yoğunluğunda tüm senaryolarda artış öngörülmekte olup, en büyük artış A2 senaryosunda görülmektedir. Grafik B (sağ üst), dünya genelinde coğrafi olarak yağış yoğunluğundaki değişimi gösterir. Mavi tonlar yağış artışı, kırmızı ve sarı tonlar ise azalışı ifade eder.

Grafik C (sol alt), kurak gün sayısının değişimini aynı üç senaryo altında incelemektedir. 2000'den itibaren kurak günlerde artış öngörülmekte ve A2 senaryosunda en büyük artış görülmektedir. Grafik D (sağ alt) ise coğrafi olarak kurak gün sayısındaki değişimi göstermektedir. Kırmızı ve sarı tonlar kurak gün sayısındaki artışı, mavi tonlar ise azalmayı ifade eder. Özellikle Akdeniz, Orta Doğu ve Afrika'nın bazı bölgelerinde önemli artışlar öngörülmektedir. Bu grafikler yüksek emisyon senaryolarında yağış olaylarının daha sık ve şiddetli hale geleceğini ve bu durumun su yönetimi ve tarım gibi alanlarda önemli etkileri olabileceğini göstermektedir. Emisyonları azaltarak bu olumsuz etkileri önemli ölçüde hafifletmek mümkün olacaktır.

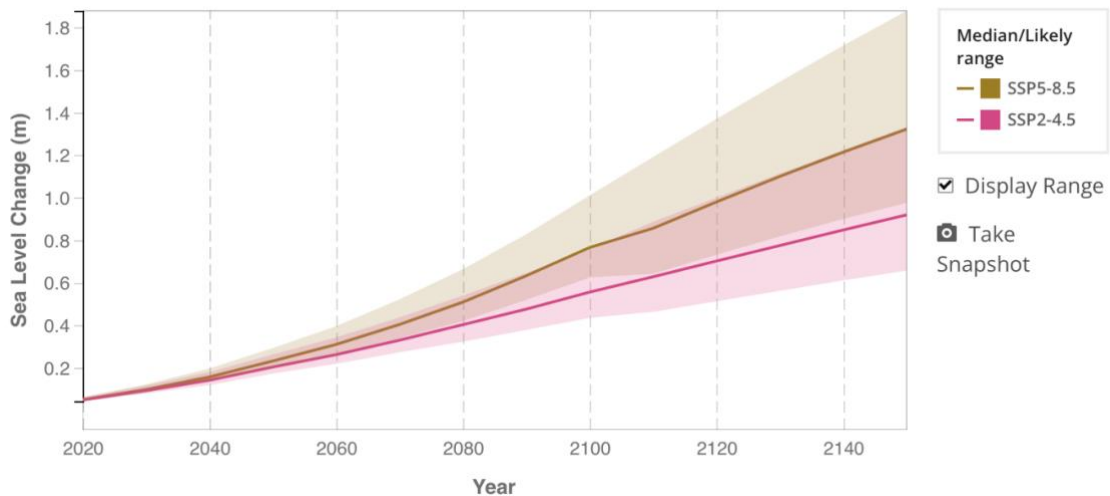
1.5.1.3 Deniz seviyesi yükselmesi projeksiyonları

1901-2010 döneminde küresel ortalama deniz seviyesi 0,19 metre yükselmiştir. Bu yükselme hızı 19. yüzyılın ortalarından bu yana hızlanmış olup, önceki iki bin yıldaki ortalama deniz seviyesi artış hızından çok daha fazladır (Dhamala vd., 2019, s. 16).

Şekil 1.7 SSP5-8.5 ve SSP2-4.5 senaryoları altında deniz seviyesindeki değişiklik projeksiyonlarını göstermektedir.

Şekil 1. 7

Deniz Seviyesindeki Değişimlerin SSP5-8.5 ve SSP2-4.5 Senaryoları



Kaynak: IPCC, 2024, s. 1.

Yatay ekseninde yıllar, dikey ekseninde ise deniz seviyesindeki artış (metre cinsinden) yer alır. SSP5-8.5 senaryosu (kahverengi çizgi) yüksek sera gazı emisyonlarının devam etmesi durumunda deniz seviyesinin 2100 yılına kadar 1 metreye, 2140'a kadar ise 1,8 metreye ulaşabileceğini öngörmektedir. SSP2-4.5 senaryosu (pembe çizgi) orta düzeyde emisyon azaltımı ile deniz seviyesinin 2100 yılına kadar 0,7 metre, 2140 yılına kadar ise 1,3 metre artacağını gösterir. Her iki senaryoda da artış 2020'den itibaren hızlanmaktadır. Ancak SSP5-8.5 senaryosunda artış daha hızlı ve belirsizlik aralığı daha geniştir. Bu, yüksek emisyonların deniz seviyesi üzerindeki etkilerinin daha öngörülemez olduğunu gösterir. Emisyonların azaltılması, deniz seviyesi artışını önemli ölçüde sınırlayarak kıyı bölgelerindeki riskleri azaltmada kritik rol oynayabilir.

1.5.2 Batman Havalimanı iklim veri ve projeksiyonları

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, genel olarak karasal iklim etkisi altında olup, yazlar aşırı sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve kısmen yağışlı geçer. Ayrıca, gece ve gündüz arasında sıcaklık farkı belirgindir. Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı, bölgedeki günlük sıcaklık dalgalanmalarını artırarak hem gündelik yaşam koşullarını hem de dış ortamlarla doğrudan etkileşim hâlinde olan faaliyetleri değişken ve hassas hâle getirmektedir.

Batman Havalimanı ise, Akdeniz iklimi ile karasal iklimin etkileri arasında bir geçiş bölgesindedir. Yaz ayları genellikle sıcak ve kurak geçerken, kış aylarında soğuk ve yağışlı bir hava hâkimdir. Ortalama yıllık sıcaklık 15-20°C arasında değişmekte, yaz aylarında sıcaklık 40°C'yi aşabilmektedir. Yağışlar genellikle kış ve ilkbahar aylarında yoğunlaşır ve yıllık yağış miktarı 500-700 mm arasında değişir. Bölge, rüzgâr hızının genelde düşük olduğu için bir yapıya sahip olsa da zaman zaman kısa süreli kuvvetli rüzgârlara maruz kalmaktadır (MGM, 2024d).

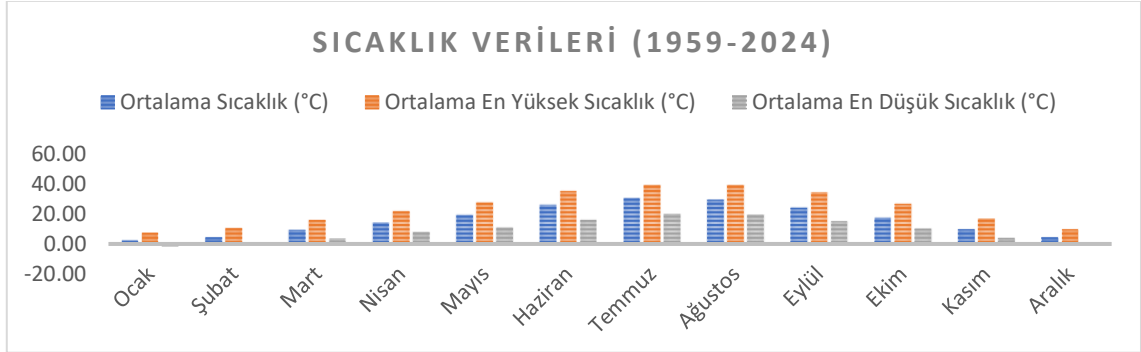
Bu veriler ışığında, Batman Havalimanı çevresindeki iklim yapısı, Akdeniz ile karasal iklim özelliklerinin bir sentezi olarak değerlendirilebilir. Güneydoğu bölgesine ait sert ve değişken iklim koşulları, bölgesel iklim dinamiklerinin incelenmesinde önemli bir örnek teşkil eder. Bu durum, bölgenin iklimsel farklılıklarını dikkate alan uzun vadeli planlama yaklaşımlarının geliştirilmesini ve özellikle hava ulaşımı altyapısında iklim değişikliğine uyum sağlayacak stratejilerin benimsenmesini gerekli kılmaktadır. Aynı zamanda, bölgesel kalkınma politikalarının da çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yeniden ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

1.5.2.1 Batman sıcaklık veri ve projeksiyonları

Şekil 1.8 Batman ilinin 1959-2024 yılları arasındaki aylık sıcaklık verilerini üç farklı ölçütle göstermektedir.

Şekil 1. 8

Batman İli Sıcaklık verileri (1959-2024)



Kaynak: MGM, 2024a, s. 1.

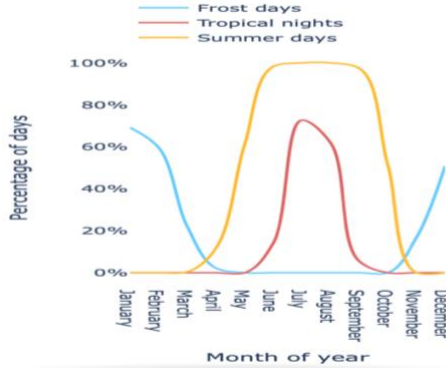
Grafiğe göre; mavi çizgi, aylık ortalama sıcaklıkları temsil eder ve yaz aylarında (haziran, temmuz, ağustos) yüksek değerlere ulaştığını, kış aylarında (aralık, ocak, şubat) ise belirgin bir düşüş yaşandığını ortaya koymaktadır. Turuncu çizgi her ayın en yüksek sıcaklık ortalamalarını gösterirken, temmuz ve ağustos aylarında sıcaklıkların 40°C'yi aştığı görülmektedir. Gri çizgi ise en düşük sıcaklık ortalamalarını temsil eder, kış aylarında (ocak, şubat) -10°C'ye kadar düşebilmektedir. Genel olarak yaz aylarında sıcaklıklar belirgin şekilde yüksek iken, kış aylarında önemli bir düşüş yaşanmakta ve sıcaklık farkları daha belirgin hale gelmektedir. Bu veriler, iklim değişikliğinin bölgedeki sıcaklık dalgalanmalarını ve mevsimsel değişiklikleri anlamak için önemli bir kaynak sunmaktadır. Ayrıca bu tür grafikler, özellikle iklimsel analizlerde ısıtma ve soğutma gereksinimlerinin tahmin edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

1.5.2.1.1 Ayaz günleri, yaz günleri veya tropikal geceler verileri

Şekil 1.9 Batman'da 1981-2010 döneminde ayaz/don hadisesinin yaşandığı günleri, yaz günlerini ve tropikal geceleri sınıflandıran tipik aylık yüzdeleri göstermektedir.

Şekil 1. 9

Batman'da 1981-2010 Dönemi Ayaz Günleri, Yaz Günleri ve Tropikal Gecelerin Aylık Yüzdesi



Kaynak: http-05 (Copernicus)

- *Ayaz/Don günü (Frost day)*: Minimum sıcaklık 0°C'nin altında olduğu bir gün.
- *Yaz günü (Summer day)*: Maksimum sıcaklık 25°C'nin üzerinde olduğu gün.
- *Tropikal gece (Tropical night)*: Minimum sıcaklık 20°C'nin üzerinde olduğu gün.

Mavi renkteki don günleri özellikle kış aylarında (aralık, ocak, şubat) sık görülür ve martta azalmaya başlar. İlkbaharda neredeyse hiç görülmez. Ancak sonbaharda (kasım, aralık) tekrar artar. Kırmızı tropikal geceler yaz aylarında (haziran, temmuz, ağustos) artarak temmuz ve ağustosta zirve yapar, diğer aylarda neredeyse hiç yaşanmaz. Sarı yaz günleri ise yaz aylarında yüksek olup, temmuz ve ağustosta %100'e kadar çıkmaktadır. Bu grafik, mevsimsel değişimlerin belirgin olduğunu ve her mevsimde belirli hava olaylarının daha yaygın hale geldiğini göstermektedir. Bu tür veriler tarım, enerji tüketimi ve turizm gibi sektörler için planlama yaparken önemli bilgiler sunmaktadır.

1.5.2.1.2 Isıtma ve soğutma derece gün verileri

Isıtma (HDD-Heating Degree Days) ve soğutma (CDD-Cooling Degree Days) derece günleri, binaların ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını belirlemek için kullanılan hava durumu tabanlı endekslerdir. İklim değişikliği ile ısıtma ve soğutma gereksinimlerinde beklenen değişimi yansıtmak amacıyla kullanılır (http-06). HDD, kış konfor sıcaklığının altındaki günlerin toplamını, CDD ise yaz konfor sıcaklığının üzerindeki günlerin toplamını ifade eder (Spinoni, 2021, s. 5449). Yüksek HDD, ısınma ihtiyacının arttığını, yüksek CDD ise soğutma gereksiniminin arttığını gösterir (Mavel, 2021, s. 7). Bu endeksler, iklimsel koşulların ve değişimlerinin anlaşılmasında önemli bir araçtır (An vd., 2018, s. 231; Omarov vd., 2023, s. 1).

HDD ve CDD hesaplamak için gerekli temel atmosferik değişkenler günlük en yüksek, ortalama ve en düşük yüzey sıcaklığıdır (Mavel, 2021, s. 9). Birleşik Krallık MetOffice tarafından önerilen bir yöntemle yapılan hesaplamalar, HDD ve CDD için belirli eşik sıcaklıkları kullanarak gerçekleştirilir. HDD ve CDD hesaplaması şu şekilde yapılır:

$$HDD = (15^{\circ}\text{C} - T_m) \times d$$

Burada, T_m günlük ortalama sıcaklığı ve d gün sayısını temsil eder. Eğer $T_m > 15^{\circ}\text{C}$ ise, $HDD = 0$ olarak kabul edilir.

$$CDD = (T_m - 22) \times d$$

Formülde T_m günlük ortalama sıcaklığı ve d gün sayısını ifade eder. Eğer $T_m \leq 22^{\circ}\text{C}$ ise, $CDD = 0$ olarak değerlendirilir (An vd., 2018, s. 229; (Harvey, 2020, s.1; Spinoni, 2021, s. 5449).

Yapılan analizlere göre iklim değişikliğinin etkisiyle Türkiye’de ısıtma gün derecelerinde bir azalma, soğutma gün derecelerinde ise bir artış beklenmektedir (An vd. 2018, s. 229). Özellikle yaz aylarında artacak olan soğutma ihtiyacı enerji tüketiminde önemli bir artışa yol açabilir. Bu durum, enerji yönetimi ve iklimlendirme sistemlerinin tasarımı açısından dikkate alınması gereken önemli bir sorundur. Dolayısıyla enerji politikalarının ve bina tasarımlarının bu değişimlere uyum sağlaması gelecekteki iklim zorluklarına karşı hazırlıklı olabilmek için kritik bir adım olacaktır.

Tablo 1.1’de Batman’da 2015-2024 yılları Isıtma (HDD) ve Soğutma (CDD) Gün Dereceleri Ortalamasının aylık değişimi gösterilmektedir.

Tablo 1. 1

Batman’da 2015-2024 Yılları Arasında Isıtma (HDD) ve Soğutma (CDD) Gün Dereceleri Ortalaması

G/D	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
HDD	417	320	229	92	9	0	0	0	0	16	211	354	1.647
T$\leq$15 °C	31	28	29	17	2	0	0	0	0	5	28	31	171
CDD	0	0	0	1	16	150	272	266	113	9	0	0	828
T$>$22 °C	0	0	0	1	8	29	31	31	27	6	0	0	132

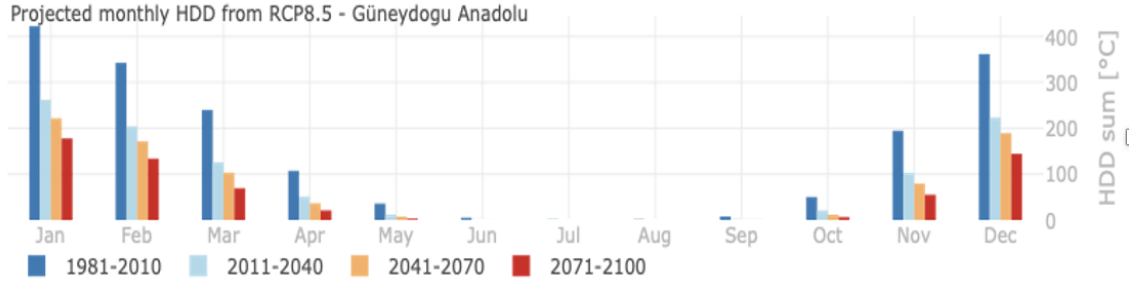
Kaynak: MGM, 2024b verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 1.1’de Batman için ocak, şubat ve aralık aylarında ısıtma gün derecelerinin yüksek olduğu, yaz aylarında ise bu ihtiyacın sıfıra yakın olduğu gözlenmektedir. Soğutma gün dereceleri ise nisandan eylüle kadar önemli bir artış göstermekte, özellikle haziran, temmuz ve ağustos aylarında en yüksek seviyelere ulaşmaktadır.

Şekil 1.10'da RCP8.5 senaryosu altında 30 yıllık dönemlerde Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ki ısıtma derece günleri (HDD) projeksiyonlarını içermektedir. Grafik, 1981-2010, 2011-2040, 2041-2070 VE 2071-2100 dönemleri için aylık HDD değerlerindeki değişimi göstermektedir.

Şekil 1. 10

RCP8.5'e Göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 1981'den 2100'e Kadar Olan 30 Yıllık Dönemlerde Aylık Isıtma Derece Günleri



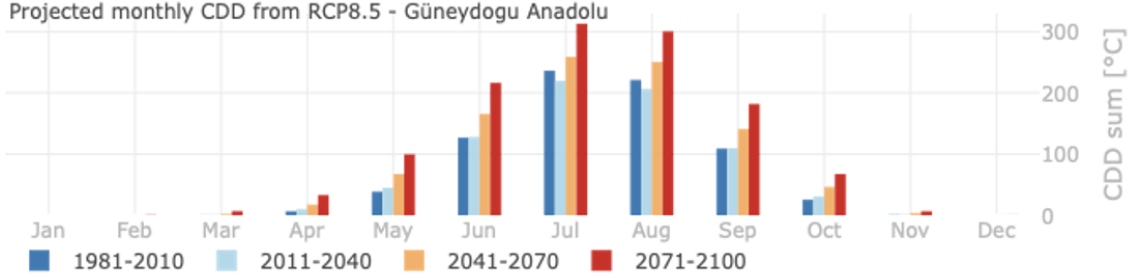
Kaynak: <http-07> (Copernicus)

Şekil 1.10'a göre, 1981-2010 döneminde ocak, şubat, mart ve aralık aylarında en yüksek HDD değerleri gözlemlenirken, sonraki dönemlerde belirgin bir azalma görülmektedir. Özellikle ocak ve aralık, geçmişte en fazla ısıtma gerektiren aylar olmuştur. Benzer şekilde, nisan ve kasım aylarında da ısıtma ihtiyacı azalacaktır. Sonuç olarak HDD değerleri tüm dönemlerde azalmakta, özellikle 2071-2100 döneminde en düşük seviyelere ulaşmaktadır. Bu durum bölgenin daha sıcak kışlar geçireceğini ve ısıtma talebinin azalacağını göstermektedir.

Şekil 1.11'de RCP8.5 senaryosu altında 30 yıllık dönemlerde Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ki soğutma derece günleri (CDD) projeksiyonlarını içermektedir. Grafik, 1981-2010, 2011-2040, 2041-2070 ve 2071-2100 dönemleri için aylık CDD değerlerindeki değişimi göstermektedir.

Şekil 1. 11

RCP8.5'e Göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 1981'den 2100'e Kadar Olan 30 Yıllık Dönemlerde Aylık Soğutma Derece Günleri



Kaynak: <http-07> (Copernicus)

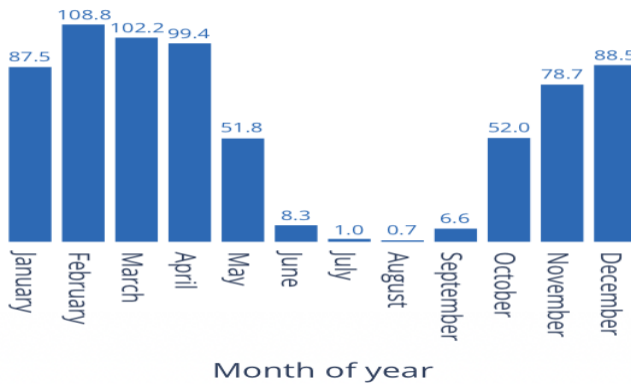
Şekil 1.11'e göre, CDD değerleri zamanla belirgin şekilde artmaktadır. 1981-2010 döneminde en düşük seviyedeysen, sonraki dönemlerde sürekli yükselmekte ve 2071-2100'de en yüksek seviyeye ulaşması beklenmektedir. Özellikle haziran, temmuz, ağustos ve eylülde CDD değerleri oldukça yüksek olup, yaz aylarının daha sıcak geçeceğini ve soğutma ihtiyacının artacağını göstermektedir. Ayrıca mayıs ve ekimdeki artış, sıcak dönemlerin uzayacağını işaret etmektedir. Kış aylarında ise CDD değerleri neredeyse sıfır seviyesinde kalacaktır. Sonuç olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı artacak, bu da enerji talebinin yükselmesine ve iklimlendirme sistemlerine bağımlılığın artmasına neden olacaktır.

1.5.2.2 Batman yağış verileri

Şekil 1.12'de 1981-2010 yılları arasındaki 30 yıllık referans döneminde Batman için ortalama aylık toplam yağış miktarları (mm) gösterilmektedir.

Şekil 1. 12

1981-2010 Referans Döneminde Batman Ortalama Aylık Yağışları



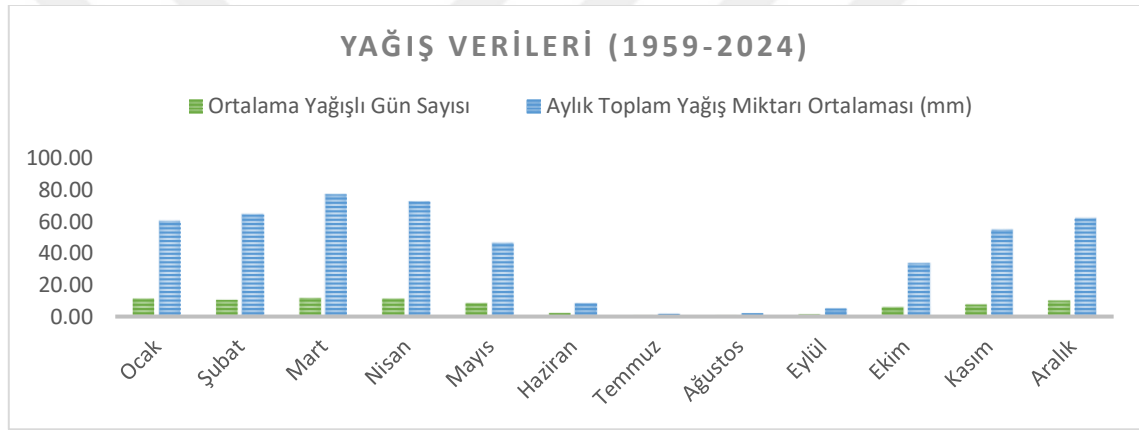
Kaynak: <http-05> (Copernicus)

Şekil 1.12'ye göre, Batman'da 1981-2010 yıllık ortalama yağış 685,4 mm'dir. En yağışlı dönem kış ayları (aralık-şubat) olup, şubat 108,8 mm ile zirvededir. Mart ve nisan yağışlı geçerken, mayısta azalma başlar. Yaz aylarında yağışlar en düşük seviyeye iner, temmuz ve ağustos en kurak aylardır. Sonbaharda yağışlar yeniden artarak kasımda 78,7 mm'ye ulaşır. Bölgenin kış ve ilkbaharda yağışlı, yaz aylarında ise kurak olduğu görülmektedir. Bu durum tarım, su yönetimi ve havacılık faaliyetleri açısından önemlidir.

Şekil 1.13, Batman'ın 1959-2024 yılları arasındaki yağış verileri ortalama yağışlı gün sayısını ve aylık toplam yağış miktarı ortalamasını (mm) göstermektedir.

Şekil 1. 13

Batman İli Yağış verileri (1959-2024)



Kaynak: MGM, 2024a, s.1.

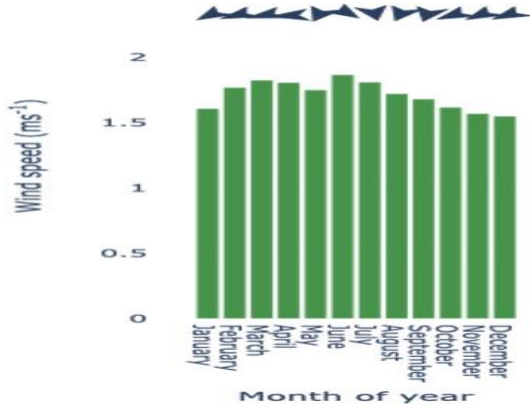
Şekil 1.13'te özellikle kış ve ilkbahar aylarında (ocak, şubat, mart, nisan) hem yağışlı gün sayısının hem de toplam yağış miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Yaz aylarında (haziran, temmuz, ağustos) yağışlı gün sayısı ve toplam yağış miktarının oldukça düşük olması mevsimsel kuraklık eğilimlerini işaret etmektedir. Sonbahar aylarında (eylül, ekim, kasım) ise yağışlı gün sayısı nispeten artmakta, ancak toplam yağış miktarı kış aylarına kıyasla daha düşük seviyede kalmaktadır. Bu veriler bölgenin iklimsel dinamiklerini anlamak ve su kaynaklarını yönetmek açısından önem arz etmektedir.

1.5.2.3 Batman rüzgâr verileri

Şekil 1.14, 1981-2010 yılları arasındaki 30 yıllık referans döneminde Batman için ortalama aylık ortalama rüzgâr hızlarını göstermektedir.

Şekil 1. 14

1981-2010 Referans Döneminde Batman Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı



Kaynak: http-05 (Copernicus)

Şekil 1.14'e göre, 1981-2010 referans döneminde Batman'da yıllık ortalama rüzgâr hızı 1,7 m/s'dir. En düşük rüzgâr hızı aralık ayında (1,5 m/s), en yüksek ise haziranda (1,9 m/s) görülmektedir. İlkbahar ve yaz aylarında rüzgâr hızları artarken, sonbahar ve kış aylarında düşüş eğilimindedir. Bu veriler rüzgâr enerjisi potansiyeli, hava kalitesi yönetimi, tarım ve havalimanı operasyonları açısından önem taşımaktadır.

1.6 Havacılık Sektöründe İklim Etkilerinin Araştırılması

İklim değişikliği, küresel ölçekte etkilerini giderek artıran ve çeşitli sektörlerde zincirleme etki yaratan bir sorun olmaktadır. İklim değişikliğinin atmosfer ve yeryüzü üzerindeki olumsuz etkileri artık bir “iklim savaşı” olarak nitelendirilebilecek kadar ciddi boyutlara ulaşmıştır. Havacılık sektörü sera gazı emisyonları nedeniyle iklim değişikliğine önemli katkı sağlarken, aynı zamanda bu değişimden de etkilenmektedir. Özellikle fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan karbondioksit (CO₂) ve azot oksitler (NO_x) gibi gazlar iklim değişikliğini hızlandıran temel faktörlerdir. 2000'li yılların başında hazırlanan gelecek öngörü raporlarında bu riskler vurgulanmış ve havacılık otoriteleri için endişe verici bir durum olarak öne çıkmıştır (Çaya, 2020, s. 1). İklim değişikliği; artan sıcaklıklar, deniz seviyesinin yükselmesi ve aşırı hava olayları gibi etkilerle kendini gösterirken, havacılık sektörü bu değişimlerden doğrudan etkilenmektedir. Özellikle gelecekte daha sık ve yoğun yaşanması beklenen aşırı hava olayları, havalimanlarının altyapısını zorlayarak uçuş iptallerine, gecikmelere ve operasyonel aksaklıklara neden olabilir. Su baskınları, fırtınalar ve sıcak hava dalgaları

gibi olaylar ise, havacılık sektörünün işleyişini olumsuz etkileyerek operasyonel verimliliği düşürebilir (Voskaki vd., 2023, s. 653).

Havacılık sektörünün iklim değişikliği üzerindeki etkilerini azaltmak için uygulanan iki önemli piyasa tabanlı politika bulunmaktadır: Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi (Emissions Trading System-ETS) ve Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından geliştirilen Uluslararası Havacılık için Karbon Dengeleme ve Azaltma Planı (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation-CORSIA). AB ETS, Avrupa Ekonomik Alanı (European Economic Area-AEA) içindeki uçuşlar için havayolu şirketlerinin emisyon tahsisatlarını teslim etmesini zorunlu kılmaktadır. CORSIA ise, 2020 yılından itibaren havayolu şirketlerinin 2020 yılı seviyelerinin üzerindeki emisyonları için ek tahsisatlar sağlamasını gerektirmektedir. Ancak her iki sistem de dış iklim etkilerinin yalnızca sınırlı bir kısmını kapsamakta ve emisyonların tamamen içselleştirilmesini sağlayamamaktadır (Faber ve Huigen, 2018, s. 26). Bu politikalar, küresel ölçekte havacılığın karbon ayak izini azaltmak için atılmış önemli adımlar olsa da yeterli değildir.

İklim değişikliğiyle mücadelede kapsamlı ve etkili stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır. ETS ve CORSIA gibi düzenlemeler havayolu şirketlerinin emisyonlarını azaltmaları için ekonomik teşvikler sunarken, aynı zamanda çevre dostu teknolojilere geçişin de önünü açmaktadır. Sektörün sürdürülebilirliğini sağlamak ve iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini hafifletmek için bu tür politikaların yaygınlaştırılması ve daha geniş kapsamlı hale getirilmesi önemlidir.

1.6.1 Uluslararası havacılık için karbon denkleştirme ve azaltma planı

Uluslararası Havacılık için Karbon Denkleştirme ve Azaltma Planı (CORSIA), 2016 yılında ICAO üyesi devletler tarafından, uluslararası havacılığın karbon emisyonlarını dengelemeye yönelik olarak kabul edilmiştir. CORSIA, uluslararası havacılıktan kaynaklanan net CO₂ emisyonlarını 2020 seviyelerinde sabitlemek amacıyla hayata geçirilmiş olup, 2021'den itibaren uluslararası uçuşlar dengeleme yükümlülüğüne tabi tutulmuştur (The International Air Transport Association [IATA], 2024b, s. 1). Bu program havacılık sektörünün mevcut karbon emisyonlarını yıllık olarak raporlamasını ve büyüme kaynaklı ek emisyonların karbon kredileri kullanılarak dengelenmesini gerektirmektedir.

Bu süreçte teknoloji ve operasyonel iyileştirmelerden yararlanmak esastır. Dolayısıyla CORSIA, bu tür gelişmelerin önüne geçmekten ziyade onları tamamlayan bir unsur olarak tasarlanmıştır (ICAO, 2024b, s. 1). CORSIA'nın benzersiz yönü uluslararası düzeyde ilk defa tüm sektörü kapsayan bir piyasa temelli tedbirin uygulanmasıdır. Böylece karmaşık yerel ve bölgesel düzenlemelerin etkilerini en aza indirerek operasyonel süreçlerin daha verimli ve uyumlu hale gelmesi sağlanacaktır (ICAO, 2019, s. 115). Bu küresel yaklaşım, özellikle uluslararası uçuşların yoğun olduğu bölgelerde havacılık endüstrisinde düzenli ve istikrarlı bir emisyon azaltımına katkıda bulunabilir.

CORSIA'nın diğer önemli yönü, Paris Anlaşması'na dahil olmayan uluslararası havacılık sektörü emisyonlarına özel olarak odaklanmasıdır. Başlangıçta gönüllü olan program, ilerleyen dönemlerde zorunlu hale gelecek ve gelişmekte olan ülkeler dışında tüm ülkeleri kapsayacaktır (Air Transport Action Group [ATAG], 2021, s. 93).

Bu durum küresel havacılıkta eşit şartlar sağlama çabası olarak da değerlendirilebilir. Bu tür bir esneklik, ülkelerin ekonomik ve kalkınma düzeylerine göre daha fazla katılım sağlayabilir. Öte yandan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (EU Emissions Trading System-AB ETS) ile kıyaslandığında, CORSIA'nın karbonun dış maliyetlerini daha düşük seviyede içselleştirdiği ve sadece CO₂ etkilerini ele aldığı gözlemlenmektedir (Faber ve Huigen, 2018, s. 26; Akdemir, 2020, s. 9). Bu durum, CORSIA'nın finansal etkisini sınırlarken, emisyon azaltım potansiyelini de azaltabilir.

Üç aşamadan oluşan CORSIA, 2021-2035 yılları arasında uygulanacak ve aşamalar arasında ilerledikçe zorunluluk artacaktır (Akdemir, 2020, s. 9; ICAO, 2024b, s. 1). Bu aşamalı geçiş süreci, katılımın gönüllü olduğu pilot aşamadan, giderek daha fazla ülkeyi kapsayacak bir zorunluluk aşamasına doğru ilerlemektedir. Bu esneklik, programın daha geniş bir kabul görmesini sağlamakla birlikte, programın etkinliği konusunda bazı endişelere de yol açabilir.

CORSIA, devletlerin özel koşullarına duyarlıdır ve piyasa bozulmalarını en aza indirirken, ülkeler arası emisyon ticaretini kolaylaştırarak karbon nötr büyüme sağlanmasını hedefler (ICAO, 2019, s. 115). Yine de havacılık sektörünün hızla artan uçuş talebi göz önüne alındığında, 2050 yılında net sıfır emisyon hedefine ulaşmak için daha kapsamlı çözümler gerekecektir (IATA, 2021, s. 1). Bu bağlamda Sürdürülebilir Havacılık Yakıtının (Sustainable Aviation Fuel-SAF) yaygınlaştırılması ve teknolojik

iyileştirmelerin teşvik edilmesi CORSIA'nın tamamlayıcı unsurları olarak önem taşımaktadır.

Günümüzde 126 ülkenin CORSIA programına katılma niyetini açıklaması bu küresel planın geniş bir kabul gördüğünü göstermektedir (ICAO, 2024b, s. 1). Ülkeler arası uçuş rotalarında çift taraflı katılımı esas alan CORSIA'nın rota bazlı yaklaşımı bu tür küresel programların daha etkin uygulanmasını sağlamaktadır. Kapsam ve hedefler bakımından oldukça iddialı olan CORSIA, 2021-2035 arasında yaklaşık 2,5 milyar ton CO₂ emisyonu dengelemeyi hedeflemekte ve bu süreçte küresel karbon piyasalarından emisyon birimlerinin satın alınmasını içermektedir (ICAO, 2019, s. 115). Bu tür piyasa temelli tedbirlerin uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından önemi yadsınamaz. Ancak diğer sera gazları üzerindeki etkilerin sınırlı olması CORSIA'nın kapsamını daraltan bir unsur olarak değerlendirilebilir.

CORSIA programına katılımın yüksek olması ise küresel olarak karbon emisyonlarını azaltma çabalarının geniş çapta benimsendiğini ve daha fazla ülkenin karbon fiyatlandırma stratejilerini değerlendirdiğini göstermektedir (ATAG, 2021, s. 93).

1.6.2 Avrupa Birliği emisyon ticareti sistemi

Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi (EU Emissions Trading System-AU ETS), özellikle havacılık sektöründe sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik önemli bir politika aracıdır. Havacılık, küresel karbon salınımının hızla artan bir kaynağı olarak AB'nin iklim politikalarında özel bir yere sahiptir. Bu nedenle AB Komisyonu'nun 2021 yılında belirlediği ve 2030'a kadar en az %55 oranında sera gazı azaltımı hedefleyen yasalar, AB ETS'yi daha da kapsamlı hale getirmiştir (European Commission, 2024a, s. 1). AB ETS, 2005'te uygulanmaya başladığından beri enerji, sanayi ve havacılık sektörlerinde maliyet etkin emisyon azaltımını hedefleyen ilk büyük ölçekli emisyon ticaret sistemi olmuştur. Kyoto Protokolü'ne dayanarak oluşturulan bu sistem, her sektöre belirli emisyon üst sınırları koyarak ticaret yoluyla emisyonların sınırlandırılmasını sağlamayı hedeflemektedir (Akdemir, 2020, s. 7). Ayrıca, sistem kapsamında şirketler emisyonlarını yıllık bazda izlemeli, raporlamalı ve yıllık emisyonlarını tam olarak karşılayacak kadar tahsisat teslim etmelidir. Bu gerekliliklerin yerine getirilmemesi halinde ağır para cezaları uygulanmaktadır (European Commission, 2024b, s. 1).

Sektörlerin serbest ticaret sayesinde karbon maliyetlerini optimize etmesine olanak tanınması sebebiyle 2012'de havacılık sektörü de AB ETS'ye dahil edilmiştir. Avrupa

Ekonomik Alanı (European Economic Area-EEA) içindeki uçuşlar bu sisteme uyum sağlamak için emisyon tahsisatlarını teslim etme zorunluluğuna tabi kılınmıştır. EEA'daki tüm hava sahasını kapsayan sistem İzlanda, Lihtenştayn ve Norveç gibi AB (Avrupa Birliği) üyesi olmayan ülkeleri de içermektedir (Akdemir, 2020, s. 8). Ücretsiz tahsisatın büyük bir kısmı bu sektörlerle dağıtılmakta olup, 2024 yılında tahsisatlar %50 oranında azaltılarak 2025'e kadar tamamen kaldırılması planlanmaktadır (Jensen, 2022, s. 1). Bu, havacılık sektörünü daha sürdürülebilir uygulamalara yönlendirme çabalarının parçasıdır.

Sistemin sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi tartışılırken, politikaların giderek sıkılaştırılması dikkat çekmektedir. 2008'de AB'nin havacılık faaliyetlerini AB ETS'ye dahil etme kararı, emisyonları 2030'a kadar 1990 seviyelerine göre en az %55 azaltma hedefiyle uyumlu olarak, EEA bölgesinde kalkan tüm uçuşları kapsayacak biçimde genişletilmiştir (EASA, 2024b, s. 1). AB ETS'nin dışında kalan üçüncü ülkelere yapılan uçuşlar, AB'nin CORSIA uygulaması ile uyum sağlayarak çifte mali yükümlülüğünden muaf tutulabilir (Jensen, 2022, s. 1). Bu durum, küresel çapta emisyon azaltma politikalarının koordine edilmesine yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

Buna ek olarak, AB'nin 2020 yılında Yeşil Mutabakat kapsamında aldığı karar havacılık sektöründeki ücretsiz tahsisatın kaldırılmasını içermektedir. ICAO tarafından geliştirilen CORSIA programı da bu çerçevede AB tarafından desteklenmiş ve sistemin güçlendirilmesi için çabalar sürdürülmüştür (Jensen, 2022, s. 1). Tüm bu girişimlerin arka planında, havacılığın Avrupa'daki emisyonların %3,7'sine katkı sağladığı ve bu payın artmaya devam ettiği gerçeği yatmaktadır. Küresel ölçekte, 2050'ye kadar havacılıktan kaynaklanan emisyonların üç katına çıkabileceği tahmin edilmektedir. Bu bağlamda operasyonel tedbirler ve teknolojik iyileştirmeler de karbon ayak izini azaltmaya yönelik ek katkılar sağlamaktadır (EASA, 2024b, s. 1).

Havacılıktan kaynaklanan emisyonlar, AB ETS sayesinde yıllık 17 milyon tondan fazla azaltma potansiyeline sahip olup, sektör emisyonlarının %99,5'inden fazlasını kapsamaktadır. Ancak bu politika ve teknolojik gelişmelere rağmen hava trafiğindeki büyüme çevresel kazanımları geride bırakmaktadır. Yolcuların seyahat alışkanlıklarının değişmesi ve hava taşımacılığına sürekli artan talebi sera gazı emisyonlarını azaltma çabalarını gölgelemektedir. Örneğin, bir kişi Lizbon'dan New York'a gidip döndüğünde, bir yıl boyunca evini ısıtmak için gerekli olan kadar emisyon üretmektedir. Bu durum, bireysel karbon ayak izini önemli ölçüde artıran bir etken olup, yolcu davranışlarının

değişmesinin iklim nötrlüğüne ulaşmada ne denli önemli olduğunu göstermektedir (European Commission, 2024a, s. 1).

1.6.3 Sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanımı

Sentezlenmiş hidrokarbon içeren havacılık türbin yakıtı olarak tanımlanan Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (Sustainable Aviation Fuel-SAF), Jet A veya Jet A-1 yakıtlarının sürdürülebilir bir alternatiftir (http-08). SAF'ın havacılıkta daha geniş çapta kullanımına yönelik önemli bir adım olarak, Air BP tarafından tedarik edilen 60 ton SAF ile dünyanın ilk %100 SAF yakıtlı transatlantik uçuşu Kasım 2023'te Boeing 787 uçağıyla Londra Heathrow'dan New York John F. Kennedy'ye gerçekleştirildi (ICAO, 2022, s. 185). SAF'ın havacılığın karbonsuzlaştırılmasında hayati bir rol oynayacağı kabul edilmekle birlikte, mevcut SAF düzenlemeleri ticari jet motorlarında sadece %50 SAF karışımına izin vermektedir (IATA, 2024a, s. 5).

2015 yılına gelindiğinde ilk düzenli SAF tedariki havalimanlarına teslim edilmeye başlanmıştır ve o tarihten bu yana bir dizi yeni üretim tesisi geliştirilmekte veya inşa edilmektedir (ATAG, 2021, s. 72). Ancak bu ilerlemeye rağmen hızlı ve önemli bir politika hamlesi olmadan 2025 yılı sonuna kadar toplam jet yakıtı kullanımının sadece yaklaşık %2'sinin sürdürülebilir havacılık yakıtlarından oluşacağı tahmin edilmektedir. Bu durum havacılıkta fosil yakıtın alternatif kaynaklarla tamamen değiştirilmesine yönelik enerji geçişinin başlatılması için kritik bir eşik oluşturuyor. Dolayısıyla SAF kullanımında %2'lik orana ulaşılması ve hızla yaygınlaştırılması için güçlü bir ivme sağlanması gerekmektedir.

Air BP'nin küresel havacılık sürdürülebilirlik direktörü Andreea Moyes, "SAF'ın şu anda sektörün net sıfır hedefine ulaşmasına yardımcı olacak en uygun seçenek olduğunu" belirtmektedir (EASA, 2022a, s. 12). Moyes, "havacılığın karbonsuzlaştırılması için kilit paydaşlarla işbirliği yapmanın ve sektörü %100 SAF kullanımına doğru yönlendirmenin önemini dile" getirmektedir (http-09).

2024 yılında SAF üretimi, üç katına çıkarak 1,87 milyar litreye ulaşmıştır. 2029'da ise 78 milyar litreyi aşması öngörülüyor (IATA, 2022, s. 2; IATA, 2024a, s. 24). SAF, havacılık yakıt ihtiyacının yalnızca yüzde 0,53'ünü karşılayacak olsa da 2050'de net sıfır karbon hedefine ulaşmak için önemli bir adımdır (IRENA, 2021, s. 3; IPCC, 2022, s. 1068).

SAF üretimi sınırlı, fiyatlar yüksek ve daha büyük ölçeklendirme için %25-30 oranında yenilenebilir yakıt kapasitesine ihtiyaç gözükmemektedir ([http-10](#); [http-11](#)). Bu bağlamda 2009 ve 2019 yılları arasında havayollarının yakıt verimliliği performansı yılda ortalama %2 artmıştır. Yakıt verimliliğindeki bu iyileşme kısa vadede karbon emisyonlarını azaltabilirken, sektörün karbonsuzlaştırılması için yeni uçak teknolojilerine (elektrik ve hidrojenle çalışan uçaklar dahil), SAF ve piyasa temelli önlemlerle desteklenen sentetik yakıtların kullanımına yönelik ek çözümler gerekmektedir (ICAO, 2022, s. 187).

Örneğin Emirates Havayolları fosil yakıtların etkisini azaltmak için 200 milyon dolarlık Ar-Ge fonu ayırmış olması havacılık sektöründe sürdürülebilirlik adına en büyük taahhütlerden biri olarak öne çıkmaktadır (ATAG, 2021, s. 72; [http-12](#)). Şirket, gelişmiş yakıt ve enerji teknolojileri üzerine çalışan kuruluşlarla işbirliği yapmasının yanı sıra, SAF kullanımı ve verimli filo operasyonları gibi çevreye duyarlı uygulamalarına da devam etmeyi planlamaktadır (IATA, 2020a, s. 1; EASA, 2022b, s. 72).

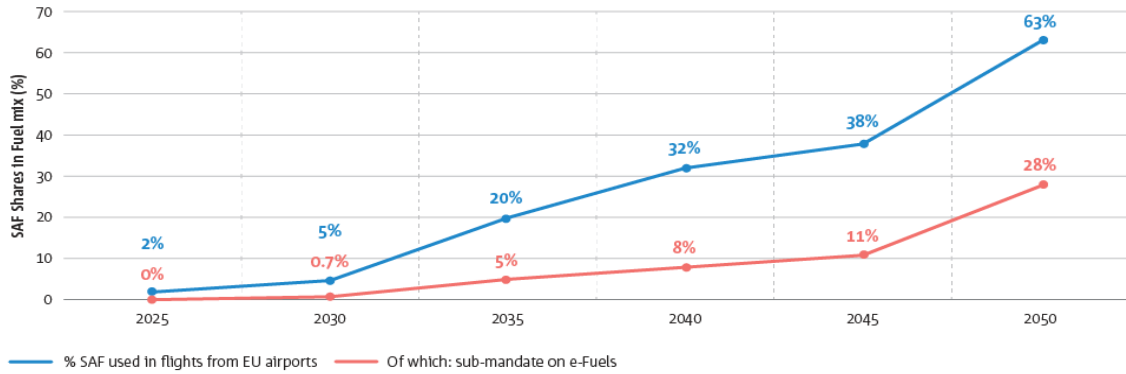
Birleşik Krallıkta insan atıklarından SAF üretmeyi amaçlayan dünyanın ilk ticari ölçekli tesisi, SAF üretiminde önemli bir adım olarak görülmektedir (ICAO, 2019, s. 113; EASA, 2022b, s. 103-104). Firefly şirketi tarafından geliştirilecek bu tesisin 2028 itibarıyla düşük karbonlu yakıt sağlaması hedeflenmektedir (ICAO, 2022, s. 188). Bu girişim, geleneksel jet yakıtına kıyasla yaklaşık %70 daha az karbon salımı ile üretilen ve uçak motorlarında herhangi bir değişiklik gerektirmeden kullanılabilen SAF sayesinde havacılık sektöründeki karbon emisyonlarını azaltmayı hedeflerken, aynı zamanda Birleşik Krallıkta SAF talebini de karşılamaya katkıda bulunmaktadır (EASA, 2022a, s. 12; ATAG, 2024, s. 1). Ayrıca Wizz Air 2030 yılına kadar uçuşlarının %10'unu SAF ile gerçekleştirmeyi planlamaktadır ([http-13](#)).

Avrupa Komisyonu'nun 2021 tarihli kararına göre, Avrupa Birliği havalimanlarında SAF kullanımının 2025 yılına kadar %2, 2050 yılına kadar ise %63 seviyesine çıkarılması hedefleniyor. Ayrıca bu yakıtın %28'inin sentetik havacılık yakıtlarından oluşması planlanmaktadır ([http-14](#)).

Şekil 1.15'te AB Havalimanlarında 2025-2050 yılları arasındaki SAF yakıt değişimleri yer almaktadır. 2025'te %2 olan SAF payının 2050'de %63'e ulaşması öngörülmüşken, e-yakıtların da toplam karışımdaki payının aynı dönemde %0'dan %28'e yükselmesi beklenmektedir. Bu eğilim, sürdürülebilir havacılık yakıtlarının benimsenmesine yönelik artan düzenleyici baskıları ve sektörün karbonsuzlaştırma çabalarını yansıtmaktadır.

Şekil 1. 15

AB Havalimanlarında SAF Yakıt Değişim Grafiği



Kaynak: EASA, 2024a, s. 1.

SAF kullanımı havacılık sektörünün karbon emisyonlarını azaltma çabalarının merkezinde yer almaktadır. SAF, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir çözüm sunarken çeşitli engellerin aşılması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır (ICAO, 2022, s. 184). Uçuş operasyonlarının karbonsuzlaştırılmasında ICAO ve diğer uluslararası kuruluşların belirlediği hedefler dahilinde SAF kullanımını teşvik edici yönde geliştirilmesi havacılık sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamak için büyük öneme sahiptir (IATA, 2022, s. 2; IPCC, 2022, s. 1088; ICAO, 2024a, s. 1). Hava yolu şirketleri ise bu hedeflere ulaşmak için sürekli yeni stratejiler geliştirmekte ve bu yönde politikalar oluşturmaktadır (IATA, 2020b, s. 1; ICAO, 2022, s. 179-184)

1.6.4 Türkiye’de sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanımı

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) hem ulusal hem de uluslararası havacılıktan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyerek, "Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı Talimatı (SHT-SAF)" taslağını hazırlamış ve bu taslağı 10 Temmuz 2024 tarihinde duyurmuştur (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM], 2024b, s. 1). Bu talimat doğrultusunda Türkiye’den uluslararası uçuşlar gerçekleştiren tüm havayolu işletmeleri belirli yıllarda jet yakıtlarına SAF eklemekle yükümlü tutulmuştur. 2025 ve 2026 yılları için %1, 2027 yılında %2, 2028’de %3, 2029’da %4 ve 2030 yılı için %5 oranları belirlenmiştir (SHGM, 2024b, s. 4). Bu düzenleme SHGM’nin sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanımındaki kararlılığını göstermektedir.

Türkiye’de sürdürülebilir yakıt üretimi için Finlandiyalı Neste’den alınan SAF, TFS’nin yakıt çiftliğinde geleneksel jet yakıtı ile karıştırılarak uçaklara sunulmaktadır. Bu süreç,

Türkiye'de entegre bir Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı üretim tesisi kurma projeleri kapsamında Japonya merkezli bir firma ile devam etmektedir. Bu gelişmeler Türk Hava Yolları'nın (THY) küresel havacılık alanındaki liderliğini pekiştirmektedir ([http-15](#)).

THY, SAF kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla Airbus ve Rolls-Royce ile iş birliği yapmaktadır. 2022 yılında İstanbul-Paris hattında başlayan SAF kullanımı, diğer Avrupa şehirlerine genişletilerek haftada bir kez uygulanmaktadır. Ayrıca THY, Boğaziçi Üniversitesi ile birlikte TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) destekli “Mikroalg Tabanlı Sürdürülebilir Biyo-Jet Yakıtı Projesi”ni yürütmektedir. Bu proje ile geliştirilen biyoyakıtın motor testlerinin tamamlanmasının ardından uçuşlarda kullanılması planlanmaktadır ([http-16](#); [http-17](#)).

Corendon Havayolları, çevre dostu uçuşlar gerçekleştirmek amacıyla Petrol Ofisi Grubu'nun sağladığı SAF'ı kullanarak ilk SAF yakıtlı uçuşunu 19 Mart 2024 tarihinde Antalya Havalimanı'ndan gerçekleştirmiştir. Şirket, gelecek yılda SAF kullanımını en az iki katına, beş yıl içinde ise on katına çıkarmayı hedeflemektedir. Corendon, bu girişiyle karbon emisyonlarını azaltarak IATA'nın 2050 yılına kadar karbonsuz uçuş hedeflerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Antalya Havalimanı'nda başlayan SAF kullanımı önümüzdeki yıl İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nda da uygulanacaktır ([http-18](#); [http-19](#)).

Pegasus Hava Yolları sürdürülebilir havacılık hedefleri doğrultusunda, 1 Mart 2022'de Türkiye'de ilk iç hat uçuşunda SAF kullanarak önemli bir adım atmıştır. Petrol Ofisi ile yapılan iş birliği sayesinde SAF kullanımının 2022'den itibaren aşamalı olarak artırılması planlanmıştır. Bu süreçte, 2023'te kullanılan yakıt miktarının üç katına, 2024'te ise on katına çıkarılması hedeflenmektedir. Petrol Ofisi tarafından üretilen SAF, tamamen yenilenebilir atık yağlar ve ham maddelerden üretilmekte olup, mevcut uçak motorları ve yakıt sistemleriyle uyumlu şekilde kullanılabilir ([http-20](#); [http-21](#); [http-22](#)).

Türkiye'de SAF kullanımına yönelik çalışmalar ise, TFS Akaryakıt Hizmetleri A.Ş. tarafından başlatılmıştır. İstanbul Havalimanı'nda THY'nin Paris uçuşlarına haftalık periyotlarla SAF ikmali yapılmaktadır. Bu süreç, ICAO CORSIA yaklaşımı çerçevesinde karbon-nötr büyüme hedefleriyle uyumludur. TFS, mevcut altyapısıyla tüm havayollarına SAF ikmali sağlayabilecek kapasiteye sahiptir. Ayrıca Türkiye'de entegre SAF üretim tesisi kurma çalışmaları devam etmekte olup, bu proje Japonya merkezli bir firma ile iş birliği içinde yürütülmektedir ([http-23](#)).

Petrol Ofisi Grubu, PO/Air markasıyla yılda 250 binin üzerinde hava aracına yakıt ikmali yapmakta ve Türkiye'deki 18 havalimanında kendi altyapısıyla hizmet vermektedir. Şirket, havacılık yakıt pazarının yaklaşık %26'sına sahip olup, 2022'den itibaren de sera gazı emisyonlarını %80'e kadar azaltan SAF'ı temin etmektedir (http-18; http-19).

Yukarıda bahsedilen gelişmeler Türkiye'nin SAF kullanımında kararlı adımlar attığını ve bu çabaların ulusal ve uluslararası havacılıkta sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik stratejik hedefler doğrultusunda ilerlediğini göstermektedir. Türk Hava Yolları, Corendon ve Pegasus Hava Taşımacılığı gibi önemli havayolu işletmelerinin SAF kullanımını artırmaya yönelik projeleri sektördeki çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini desteklerken, Türkiye'nin küresel havacılık endüstrisindeki rolünü de güçlendirmektedir. Bu çabaların devam etmesi yalnızca hava taşımacılığında değil aynı zamanda iklim değişikliğiyle mücadelede de büyük öneme sahiptir.

1.7 Havacılık Sektörünün İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliği günümüzün en büyük çevresel sorunlarından biri olup, havacılık sektörünü iki temel zorlukla karşı karşıya bırakmaktadır. İlk olarak, sektörün iklim üzerindeki olumsuz etkilerini hızla azaltması gerekmektedir. Bu bağlamda karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazı (GHG) emisyonlarının yanı sıra diğer etkilerin de dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. İkinci olarak, sektörün değişen iklim koşullarına uyum sağlama gerekliliği her geçen gün artmaktadır. Bu durum altyapı, operasyonel süreçler ve güvenlik standartlarında yeni düzenlemelerin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. IPCC, sera gazı emisyonlarının önemli ölçüde azaltıldığı senaryolar dahi olsa, dünyanın sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerine çıkma eğiliminde olduğunu bildirmektedir (IPCC, 2022, s. 1086; Burbidge, Paling ve Dunk, 2023, s. 9).

Bu durum havacılık sektörünün iklim değişikliğinin etkilerini hissetmeye başladığı anlamına gelmektedir. Yükselen deniz seviyeleri, artan sıcaklıklar ve aşırı hava olayları gibi yeni normlar havacılık faaliyetlerini ve operasyonel zorlukları yönetmeyi gerektirmektedir. IPCC, Avrupa havacılığını uyum planlamasının başlangıç aşamasında olan “hassas bir ekonomik sektör” olarak tanımlarken, bu durumun diğer bölgeler için de geçerli olduğunu gösteren sektör araştırmaları bulunmaktadır.

Uluslararası sivil havacılığın küresel iklim üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla ICAO, hava taşıtı emisyonlarına ilişkin politikalar oluşturmakta, Standartlar ve Tavsiye Edilen Uygulamalar (Standards and Recommended Practices-SARP)

geliştirmektedir (ICAO, 2019, s. 111). ICAO, bu faaliyetlerini sürdürürken Birleşmiş Milletlerin diğer organları ve uluslararası kuruluşlarla işbirliği yapmaktadır. Ayrıca ulaştırma sektörü küresel ölçekte atmosfere ve insan sağlığına ciddi zararlar veren bir etkiye sahipken, hava taşımacılığı da bu etkinin önemli bir parçasıdır. Özellikle uçakların operasyonları sırasında atmosfere salınan zararlı gazlar diğer ulaşım sektörlerine kıyasla daha dikkatli bir şekilde incelenmelidir (Ekici ve Sevinç, 2019, s. 106).

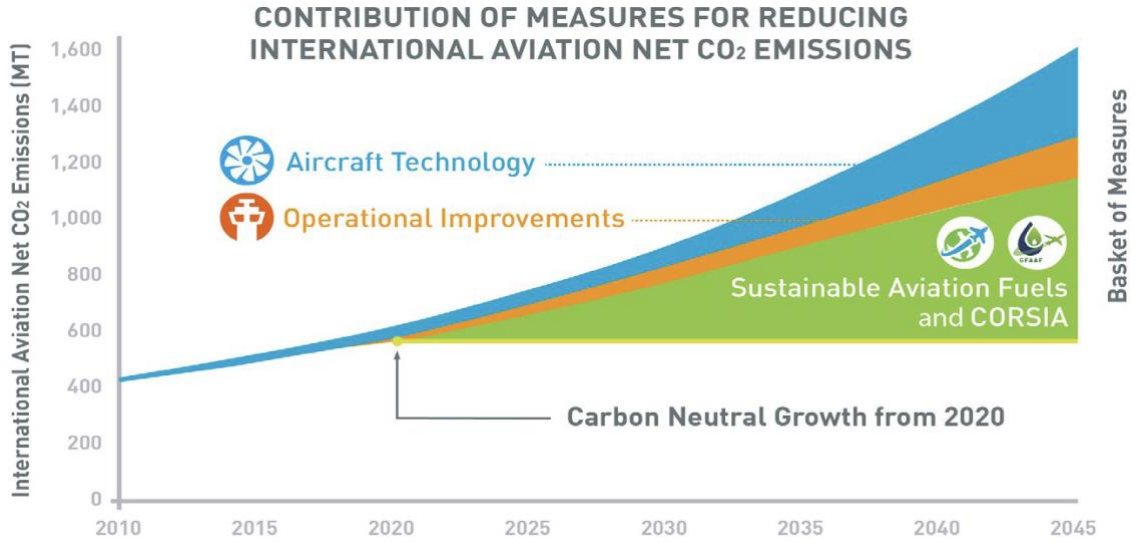
ICAO, 2010 yılında yapılan 37. Genel Kurul'da uluslararası havacılık sektörü için 2050 yılına kadar her yıl %2 oranında yakıt verimliliği artışı sağlamayı ve 2020'den itibaren karbon nötr bir büyüme hedefini yeniden belirlemiştir. ICAO küresel hedeflere ulaşmak amacıyla sürdürülebilir havacılığın büyümesini desteklemek için çeşitli stratejiler uygulamaktadır. Bunlar arasında uçak teknolojisinde yenilik, operasyonel iyileştirmeler, SAF kullanımı ve piyasa temelli önlemler yer almaktadır (ICAO, 2022, s. 83).

Uluslararası Havacılık için CORSIA havacılık sektörünün çevresel etkilerini azaltmaya yönelik önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır (ICAO, 2022, s. 83). Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi sadece havacılık sektörünün değil aynı zamanda küresel iklim hedeflerinin de başarısı için oldukça önemlidir. ICAO'nun bu girişimleri sürdürülebilir havacılığın geleceği için atılan önemli adımlar olmakla birlikte bu hedeflerin hayata geçirilmesi için tüm paydaşların iş birliği ve kararlılıkla çalışması gerekmektedir.

Şekil 1.16'da görüldüğü üzere küresel hedeflere ulaşmak ve uluslararası havacılığın sürdürülebilir büyümesini desteklemek amacıyla ICAO, uçak teknolojisindeki gelişmeler, operasyonel iyileştirmeler, sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımı ve piyasa temelli tedbirlerle havacılık sektörünün iklim değişikliğine olan etkilerini azaltmayı hedeflemektedir.

Şekil 1. 16

ICAO CO₂ Emisyonlarına İlişkin Küresel Çevresel Eğilimler ve Uluslararası Havacılık Net CO₂ Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Önlemlerin Katkısı



Kaynak: ICAO, 2019, s. 112; 2022, s. 83.

Son 50 yılda uçak teknolojisindeki ilerleme havacılık emisyonlarını azaltmada büyük rol oynamaktadır. Günümüzde yolcu kilometre başına yakıt tüketimi 1960'lı yıllara göre yaklaşık %80 oranında daha verimlidir. Ancak havacılık hâlâ önemli miktarda karbon dioksit (CO₂) salımına neden olmaktadır. Araştırmalar havacılık emisyonlarının çevresel zararının karasal kaynaklardan gelen eşdeğer emisyonların zararından daha büyük olabileceğini ortaya koymaktadır (ICAO, 2019, s. 111). Ayrıca havacılığın sülfür dioksit ve azot oksitleri gibi diğer kirleticileri de atmosfere salması küresel ısınmaya ve dolayısıyla iklim değişikliğine katkı vermektedir. Uçakların oluşturduğu yoğunlaşma izleri ise bulut oluşumunu etkileyerek küresel ısınma üzerinde bir etki yaratabilir. Ancak bu emisyonların etkileri karmaşık ve birbirini ile bağımlıdır.

Öte yandan 2019 yılında büyük bir fırtınadan kaçınmak amacıyla 1 milyon kilometreden fazla uçuş gerçekleştirilmiş, bu da yaklaşık 6.000 ton ek yakıt tüketimine veya 19.000 ton CO₂ emisyonuna yol açmıştır. Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (European Civil Aviation Conference-ECAC) bölgesinde IFR trafiğinin kapıdan kapıya toplam karbondioksit (CO₂) emisyonu 2019 yılında 202 milyon ton olmuş ve fırtınalar nedeniyle uçuş başına ek mesafe ortalama 8,6 km artmıştır (Eurocontrol, 2021a, s. 8-9). Yoğun konvektif aktivitede öngörülen değişiklikler nedeniyle yatay uçuş verimsizliğinin 2050 yılına kadar %4,0 ile %4,2 arasında yükselebileceği tahmin edilmektedir. Bu durum yatay

uçuş verimsizliğinde 2013-2019 dönemine göre %0,5'lik bir artış ve yılda yaklaşık 5.700 ton ek CO₂ emisyonu anlamına gelmektedir (Eurocontrol, 2021a, s. 8).

Hava trafiği ve filodaki büyümeyle birlikte havaya salınan net CO₂ emisyonlarının da artması beklenmektedir. IATA'nın 2017 raporuna göre, 2036 yılına kadar küresel hava yolcu sayısı 4 milyardan 7,8 milyara yükseleceği öngörülmektedir. Ayrıca Airbus, mevcut 20.500 uçaktan oluşan filonun 2050 yılında 40.500 uçağa ulaşacağını tahmin etmektedir. Bu artış özellikle Asya, Afrika ve Latin Amerika ekonomilerinde büyümenin yanı sıra bu bölgeler ile Avrupa, ABD ve Asya arasında ki hava trafiğinde büyük artışa neden olacaktır. 2036 yılına kadar Çin, ABD, Hindistan, Endonezya ve Türkiye'nin önde gelen havacılık filolarına sahip olması beklenmektedir. Bu durum hem hava taşımacılığında hem de çevresel etkilerde önemli değişikliklere yol açabilir (Yair, 2018, s. 3)

Değişen rüzgâr modellerinin bir uçuş üzerindeki ortalama etkisi ilk bakışta önemsiz gibi görünebilir ancak Eurocontrol (2021a, s.8)'ün çalışması, tüm uçuşları kapsayan trafik akışları dikkate alındığında birleşik etkinin çok daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek irtifa rüzgârlarında beklenen değişiklikler, uçuş sürelerini genel olarak azaltabilir. Bu da yıllık 55.000 tondan fazla havacılık yakıtı tasarrufu sağlayarak, yaklaşık 175.000 ton CO₂ emisyonunun azalmasına yol açabilir. En büyük tasarrufun Asya'ya giden-gelen uçuşlarda gerçekleşmesi beklenmektedir. Ayrıca 2019-2050 yılları arasında hava trafiği, yakıt tüketimi ve emisyonların önemli ölçüde artışı göz önüne alındığında, rüzgâr modellerinde değişiklikleri ve bunların sağladığı potansiyel faydaları anlamak havayollarının operasyonel verimliliğini artırmada ve çevresel etkileri azaltmada yardımcı olabilir. Dolayısıyla rüzgâr verilerinin doğru analizi ve kullanımı hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

İklim değişikliği, havalimanı operasyonları için büyük öneme sahiptir. Çünkü havacılık ve ulaşım sektöründen kaynaklanan kirleticiler, sera gazı ve partikül madde emisyonları hem mevcut iklimi etkilemekte hem de gelecekteki iklim koşullarını şekillendirmektedir (Gratton vd., 2020, s. 219). Havalimanları ise havacılık sektörünün önemli bir bileşeni olarak bu emisyonların küresel düzeyde yaklaşık %2'sinden sorumludur. Bu nedenle uzun yıllardır çevresel etkilerini azaltmak için çeşitli adımlar atmaktadırlar.

Havacılık faaliyetleri hava kirliliği, sera gazı emisyonları ve stratosferik ozon tabakasının incilmesi gibi çevresel etkilere doğrudan katkıda bulunurken, aynı zamanda iklim değişikliği ile mücadele için çeşitli stratejiler geliştirilmekte ve sürdürülebilir uçuş

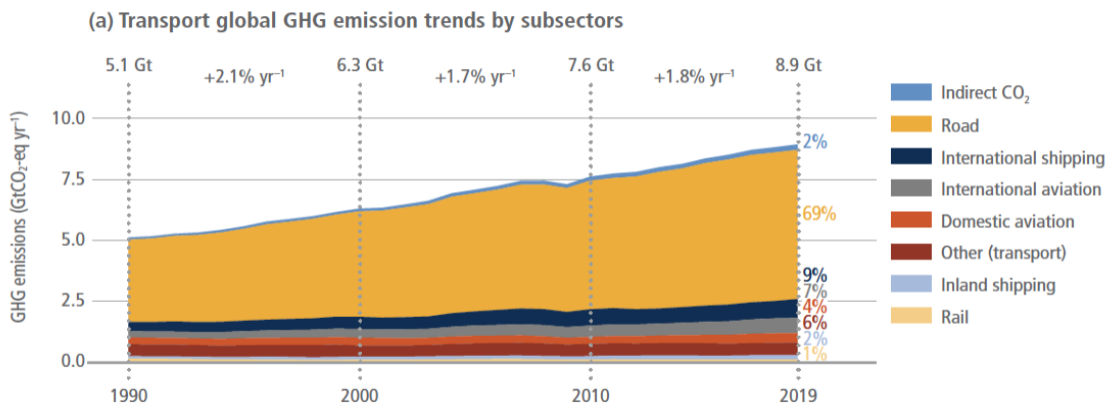
teknolojilerine yatırım yapılmaktadır. IPCC WG III AR6 raporu, havacılık sektöründe iklim değişikliğine karşı etkili şekilde mücadele edebilmek için altı ana strateji belirlemektedir. Bunlar; motor ve uçak gövdesinde yeni teknolojiler kullanmak, seyrüsefer ve operasyonel süreçlerde iyileştirmeler yapmak, biyo-bazlı ve sentetik SAF kullanımını artırmak, CO₂ ve CO₂ dışı etkiler arasında denge sağlayacak teknolojik ve operasyonel çözümler geliştirmek, pazar temelli dengeleme mekanizmalarını uygulamak ve özellikle kısa mesafeli uçuşlarda yüksek hızlı demiryoluna geçişi teşvik etmek (IPCC, 2022, s. 252). Bu stratejiler havacılık sektörünün karbon emisyonlarını azaltmak için daha geniş bir çerçevede bütünsel bir yaklaşım benimsemesini gerektirmektedir.

ICAO, havacılığın iklim üzerinde etkilerini analiz etmek ve karar alma süreçlerini bilimsel verilere dayandırmak amacıyla hem teknolojik gelişmeleri hem de sektörden kaynaklanan çevresel etkileri yakından izlemektedir. Havacılık, küresel iklimi CO₂ dışındaki etkilerle de etkilemektedir. Küresel insan kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık %2'si havacılık sektöründen gelmektedir. Bunun %1,3'ü uluslararası havacılığa aittir. 1992'den bu yana havacılık kaynaklı CO₂ emisyonlarının küresel payı sabit kalmış olsa da bu süreçte emisyon hacmi diğer sektörlerle birlikte artış göstermiştir (ICAO, 2019, s. 111; (Baumeister, 2020, s. 2007).

Şekil 1.17'de görüldüğü üzere, toplam sera gazı emisyonları içinde küçük bir paya sahip olmakla birlikte iç hat ve uluslararası havacılık 2010-2019 yılları arasında sırasıyla yıllık ortalama +%3,3 ve +%3,4 büyüme oranlarıyla karayolu taşımacılığı emisyonlarından daha hızlı büyümektedir.

Şekil 1. 17

IPCC Alt Sektörlere Göre Ulaştırma Küresel Sera Gazı Emisyon Eğilimleri



Kaynak: IPCC, 2022, s. 252.

Havacılık sektörü sıvı fosil yakıtlara bağımlılığı ve uzun "kilitlenme" zaman ölçekleri nedeniyle karbondan arındırılması zor bir sektör olarak kabul edilmektedir. Havacılık gazyağının yanmasından kaynaklanan CO₂, salınan başlıca sera gazıdır. Ancak CO₂ dışı emisyonlar da iklimi önemli ölçüde etkileyebilir. Uluslararası CO₂ emisyonları havacılıktan kaynaklanan toplam emisyonların %65'ini oluşturmakta olup, bu rakam 2018 yılında yaklaşık 1 gigaton CO₂'ye ulaşmıştır (IPCC, 2022, s. 1086). Havacılığın tarihsel ve mevcut emisyonlarının yanı sıra, havacılık sektöründeki büyümenin devam edeceği göz önüne alındığında (Eurocontrol, 2024a, s. 17), sektörde karbonsuzlaşma çabalarının hızlandırılması zorunlu hale gelmekte; aksi takdirde, iklim değişikliğiyle mücadelede geri dönüşü zor bir yol ayrımıyla karşılaşılacaktır.

Sonuç olarak havacılık sektörü, iklim değişikliği ile mücadele kapasitesine sahip olsa da daha fazla çaba göstermelidir. ICAO'nun 2050 yılına kadar yıllık %2 yakıt verimliliği artışı ve 2020'den itibaren karbon nötr büyüme hedefleri önemli adımlardır. Ayrıca, sektördeki tüm paydaşların işbirliği yaparak sürdürülebilir yakıtlar ve teknolojiler geliştirilmelidir. Özellikle SAF kullanımı, emisyonları ve fosil yakıt bağımlılığını azaltmada kritik rol oynamaktadır. Bu yakıtların üretimine ve kullanımına daha fazla yatırım yapılması çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Havalimanları, operasyonel verimliliklerini artırarak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek karbon emisyonlarını düşürebilir. Örneğin, güneş enerjisi panelleri kullanarak enerji tüketimlerini azaltabilir ve akıllı teknolojilerle enerji verimliliğini artırabilirler. Ayrıca, gelişmiş hava trafiği yönetimi sistemleri sayesinde uçuşların daha az yakıt tüketmesini sağlayarak çevresel etkilerini daha da azaltabilirler.

1.8 İklim Değişikliğinin Havacılık Sektörü Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliği küresel ölçekte çeşitli sektörleri etkileyen ciddi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu etkilerin en fazla hissedildiği sektörlerden biri de havacılıktır. Havacılık sektörü hem iklim değişikliğine önemli katkılarda bulunmakta hem de değişen iklim koşullarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Havacılık sektörünün karşılaştığı bu zorluklar iklim değişikliğinin etkileri ile birleştiğinde daha karmaşık hale gelmektedir. Örneğin havacılık sektörü karbondioksit emisyonlarıyla atmosfere önemli bir katkı sağlarken, aynı zamanda sıcaklık artışlarına bağlı olarak uçuş sürelerini ve emniyet standartlarını olumsuz etkileyen hava olaylarına maruz kalmaktadır. Bu durum

operasyonel kesintilere ve maliyet artışlarına neden olarak sektörün dayanıklılığı üzerinde önemli bir baskı yaratmaktadır.

Bu nedenle havacılık sektörü, tarih boyunca meteoroloji ile sıkı bir ilişki içinde olmuştur ve günümüzde de gök gürültülü fırtınalar, rüzgâr fırtınaları, deniz seviyesinin yükselmesi, sıcaklık artışı, aşırı yağış ve sis gibi olumsuz hava olaylarına maruz kalmaya devam etmektedir. İklim değişikliği ile artan bu tür hava koşulları günlük operasyonların verimliliğini etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Özellikle hava koşullarının ciddi şekilde bozulduğu günlerde uçuş iptalleri ve gecikmeler sıkça yaşanmakta, bu durum havacılık operasyonları üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 1; Ryley vd., 2020, s. 59; Eurocontrol, 2021d, s. 7). Havacılık sektörü, operasyonlarını planlarken hava durumunu dikkate almak zorundadır.

Bu hava koşullarının yanı sıra iklim değişikliğinin genel etkileri de sektörde önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Şu anda havacılık sektörü çeşitli iklim koşullarında emniyetli ve verimli bir şekilde faaliyet göstermekte olsa da gelecekte iklim değişikliği, dünyanın bazı bölgelerinde yıkıcı hava olaylarının sıklığını ve yoğunluğunu artırarak sektörü zorlayacak bir dizi risk oluşturacaktır. İklim değişikliğinin etkilerini azaltma çabalarına rağmen atmosferde biriken sera gazlarının uzun vadeli etkilerinin kaçınılmaz olduğunu kabul etmek gerekir (ICAO, 2019, s. 255). Bu durum, sektörün mevcut dayanıklılık kapasitesinin ötesinde risklerle karşılaşmasına da neden olabilir.

Öte yandan, iklim değişikliği etkileri belirli iklim bölgelerine göre farklılık gösterse de genel olarak bu etkiler üzerinde belirli bir öngörü bulunmaktadır. Ancak, yerel düzeyde nasıl etkilenecekleri konusunda daha az kesinlik vardır. Bu belirsizlik, havacılık sektöründe bir dizi potansiyel risk yaratmakta ve bu risklerin coğrafi dağılım ile operasyon türüne göre değişiklik göstermesi sektördeki planlama ve yönetim süreçlerini zorlaştırmaktadır (ICAO, 2016, s. 208). Dolayısıyla bu belirsizlikler, havacılık sektörünün iklim değişikliği karşısında stratejilerini sadece mevcut koşulları değil, gelecekte ortaya çıkabilecek riskleri de göz önünde bulundurarak yeniden gözden geçirmesi gerektiğini göstermektedir. İklim değişikliğinin etkilerinin iyi anlaşılması havacılık sektörünün gelecekteki risklere karşı etkili uyum stratejileri geliştirmesini sağlayacaktır (ICAO, 2018, s. 1). Bu kapsamda, sektörün dayanıklılığını artırmak için altyapıların güçlendirilmesi ve yeni teknolojilere yatırım gibi önlemler alınmalıdır (Dolman ve Vorage, 2019, s. 55; Dolman ve Sindhamani, 2022, s. 267).

Ayrıca yapılan araştırmalar, iklim değişikliğine karşı alınması gereken önlemlerin ve stratejilerin önemini vurgulamakta, aynı zamanda havacılık sektöründeki potansiyel iklim etkilerini de net bir şekilde ortaya koymaktadır. Örneğin, ICAO (2019, s. 253) bu etkileri sekiz farklı iklim etki kategorisi ile ifade etmektedir. Bunlar: deniz seviyesinin yükselmesi, fırtınaların yoğunluğunun artması, sıcaklık değişimi, yağışların değişmesi, buzlanma koşullarının değişmesi, rüzgâr yönünün değişmesi, çölleşme ve biyolojik çeşitlilikteki değişikliklerdir. Bu kategoriler iklim değişikliğinin havacılık sektörü üzerindeki etkilerini anlamak için kritik bir çerçeve sunmaktadır (Rodoplu ve Turan Erdoğan, 2022, s. 6; Yıldız ve Imanov, 2022, s. 19).

Öte yandan iklim değişikliğinin havacılık sektörü üzerindeki daha spesifik etkileri de bulunmaktadır. Eurocontrol (2018'den aktaran Gratton vd., 2021, s. 218) tarafından hazırlanan rapor uçak performans değişiklikleri, pist uzunluğu sorunları, verim ve menzil sorunları, talebin coğrafi ve mevsimsel olarak yeniden dağılımı, artan soğutma ve ısıtma gereksinimleri, havalimanı yüzeylerinde ısı hasarı ve permafrosttaki değişikliklere bağlı yapısal sorunlar gibi detaylara dikkat çekerek bu etkilerin operasyonel sonuçlarını daha açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda iklim değişikliğinin havacılık üzerindeki etkileri halihazırda çeşitli kaynaklar tarafından belgelenmiştir. Örneğin yeterli pist uzunluğuna sahip olan havalimanlarında kalkış mesafesinin arttığı, pist uzunluğunun kısıtlı olduğu yerlerde ise mevcut taşıma kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Bu durum öncelikle sıcaklık, kısmen de rüzgâr etkilerinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra kuş nüfusundaki değişiklikler uçuş operasyonlarını etkileyen diğer bir önemli unsur olarak öne çıkmaktadır.

Kuş çarpması risklerinin artması hem operasyonel verimliliği hem de uçuş emniyetini tehdit etmektedir. Ayrıca, rüzgâr ve sıcaklık değişimleri uçuş sürelerini uzatırken, jet akımlarındaki güçlü rüzgâr kesilmeleri açık hava türbülansının şiddetini artırmaktadır (Gratton vd., 2021, s. 219). Ancak bu konular üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerektiği açıktır. Yaban hayatı davranışları, gürültü ayak izlerindeki değişiklikler ve türbülans değişikliklerinin emniyet üzerindeki gerçek etkileri henüz tam olarak anlaşılamamıştır ve bu etkilerin sonuçları havacılık sektöründe dikkate alınması gereken önemli unsurları oluşturmaktadır.

Bu nedenle, iklim değişikliğine bağlı olaylar havacılık sektörü için somut ve büyüyen bir risk oluşturmaktadır. Paydaşlar; yüksek sıcaklıklar, yağmur, kar, rüzgâr ve fırtına

modellerindeki değişiklikler, daha sık ve kalıcı kuraklıklar ile orman yangınları gibi olumsuz etkileri zaten yaşamaktadırlar. Bunun yanı sıra, deniz seviyesinin yükselmesi kıyı havalimanlarını su baskını riski ile karşı karşıya bırakırken, permafrostun çözülmesi de pist yüzeylerinde bozulmalara neden olacaktır (EASA, 2022b, s. 49-50).

İklim değişikliği havacılık sektörünü doğrudan etkileyen çeşitli operasyonel sorunlara da yol açmaktadır. Artan hava sıcaklıkları, aşırı hava olayları, ortam sıcaklığı, nem, sis, rüzgâr gibi meteorolojik değişkenler uçak performansı ve uçuş emniyeti üzerinde ciddi etkiler yaratmaktadır. Örneğin, yaz sıcaklıklarının yükselmesi uçakların performansını doğrudan etkileyerek yük kısıtlamaları, seyir irtifası değişiklikleri ve uçuş gecikmeleri gibi sonuçlara neden olmaktadır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 5; IPCC, 2022, s. 1057). Aşırı hava olayları uçuş iptallerine yol açarak havayollarının ekonomik dengesini de sarsmaktadır. Bu nedenle iklim değişikliğine bağlı hava durumu değişkenlerinin belirsizliği uçuş gecikmelerinin ve iptallerin %80'inden sorumlu olup havayollarına her yıl milyonlarca dolar kaybettirmektedir (Yıldız ve Imanov, 2022, s. 17). Dolayısıyla iklim değişikliğinin etkileri sadece uçuş emniyeti ve operasyonel verimlilikle sınırlı kalmayıp sektörün ekonomik performansını da derinden etkilemektedir (IPCC, 2022, s. 1057).

Yüksek sıcaklıkların etkilerine daha yakından baktığımızda, uçak performansı üzerinde ciddi sonuçlar doğurduğunu ve bu durumun hem operasyonel hem de ekonomik zorluklara yol açtığını görmekteyiz. Daha az yoğun havada kalkış yapmanın zorluğu uçakların daha fazla itiş gücü gerektirmesine ve bu süreçte gürültü seviyelerinin artmasına yol açarken, aynı zamanda CO2 emisyonlarını da artırmaktadır (Eurocontrol, 2024b, s. 2). Bu sıcaklık koşulları uçakların maksimum kalkış ağırlığını sınırlayarak yolcu ve kargo kapasitelerinde kısıtlamalar yaratır. Ayrıca sıcaklığın artması yakıt tüketimini artırarak işletme maliyetlerini yükseltirken uçakların genel verimliliğini de düşürmektedir (ICAO, 2018, s. 20). Aşırı sıcaklıklara ek olarak sertifikalandırılmamış uçakların aşırı soğuk hava koşullarında uçuş yapamaması da iptallere ve ek maliyetlere yol açabilir (ICAO, 2018, s. 57). Bu koşullar ise havayolu şirketleri üzerinde hem operasyonel hem de ekonomik baskıları artırmaktadır.

Buna bağlı olarak kalkış ve iniş sırasında uçak performansı düşük atmosfer sıcaklığı, basıncı ve rüzgâr vektöründen doğrudan etkilenmektedir. Bu koşullar altında artan sıcaklık, azalan basınç ve azalan rüzgâr bileşenleri kalkış ve iniş mesafelerini artırmaktadır ve daha sık tırmanma açılarına yol açmaktadır. Yüksek sıcaklıklar hava

yoğunluğunu azaltarak uçakların kalkış için daha uzun piste ihtiyaç duymasına ve taşıma kapasitesinin azalmasına neden olur. Düşük basınç ise, motor performansını olumsuz etkileyerek yakıt tüketimini artırabilir. Bu faktörler özellikle kalkış ve inişlerde pilotların ve yer hizmetlerinin operasyonel kararlarını doğrudan etkileyerek uçuş emniyetini ve verimliliği sağlamak için ekstra önlemler alınmasını gerektirir (Gratton vd., 2020, s. 220). Özellikle sıcak havalarda operasyonların emniyeti ve verimliliği bu değişkenlerin doğru değerlendirilmesine bağlıdır.

İklim değişikliği sadece sıcaklıkları değil aynı zamanda atmosferdeki nem oranını da değiştirerek uçak motor performansını olumsuz etkilemektedir. Araştırmalar artan sıcaklıkla birlikte hava basıncının azaldığını ve bununla birlikte havadaki nem oranının yükseldiğini göstermektedir. Jet motorları nemli hava koşullarında daha az oksijen molekülü ile karşılaştığından itme gücünü korumak için daha fazla yakıt tüketmek zorunda kalır. Bu durum motor verimliliğini düşürmekle kalmayıp aynı zamanda Motordaki eksoz gaz sıcaklığı-EGT değerlerini ve karbon emisyonlarını artırmaktadır (Yıldız ve Imanov, 2022, s. 19). Motor sıcaklığı belirli bir eşiğin üzerine çıktığında, motorda kalıcı hasar oluşmaya başlar. Bu aşamada motorun ne kadar süre boyunca yüksek sıcaklığa maruz kaldığı kritik bir öneme sahiptir. Çünkü bu tür aşırı ısınmalar ciddi motor hasarlarına yol açarak motorun değiştirilmesine kadar gidebilecek maliyetli onarım süreçlerini gerektirebilir (http-24). Ayrıca nemli ortamlar da motor performansını azalmasına sebep olmaktadır. Nem oranının artışıyla beraber bir diğer önemli faktör olan yoğunluk irtifası (Density Altitude-DA) da iklim değişikliğinden etkilenmektedir. DA'daki artış uçakların kalkış ve iniş performanslarını doğrudan etkileyerek özellikle yüksek rakımlı havalimanlarında ciddi operasyonel sorunlara yol açabilir. Yükselen DA uçakların daha uzun kalkış ve iniş mesafelerine ihtiyaç duymasına ve motor güç çıkışının ve kanatların kaldırma kuvvetinin azalmasına neden olur (Kang vd., 2023, s. 1).

Küresel sıcaklığın artmasıyla birlikte yıldırım çarpmalarının da artacağı öngörülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan çalışmalara göre küresel ortalama sıcaklıktaki her bir derecelik artış yıldırım çarpmalarında yaklaşık %12'lik bir artışa yol açacaktır. 21. yüzyıl boyunca bu oranın %50'ye ulaşması beklenmektedir (ICAO, 2018, s. 19). Uçaklar yıldırım çarpmalarına karşı tasarlanmış olsa da yıldırım çarptığında bakım kontrolleri ve onarımları yapılması kaçınılmazdır. Artan yıldırım çarpmaları uçak bakım süreçlerini daha sık hale getirerek hem operasyonel maliyetleri artırmakta hem de bakım sürelerini

uzatmaktadır. Yıldırım hasarları özellikle dış kaplama ve elektrik sistemlerinde detaylı inceleme ve onarım gerektirdiğinden bakım masraflarını önemli ölçüde yükseltmektedir. Havayolu şirketlerinin bakım bütçeleri üzerinde büyük baskı yaratan bu durum, operasyonel aksaklıkların önlenmesi için ileri bakım planlamalarını zorunlu kılmaktadır. Öte yandan yıldırım çarpmaları gibi hava olaylarının yanı sıra fırtınaların da havacılık operasyonları üzerindeki etkisi büyüktür. Fırtına ve hava olaylarının tahmin edilmesi uçuş emniyeti ve operasyonel maliyetler açısından avantaj sağlamaktadır. Fırtına tahmin sistemlerinin geliştirilmesi bu tür hava olaylarına hazırlıklı olmayı ve önleyici tedbirlerin alınmasını mümkün kılarak hem uçak bakım süreçlerini hem de uçuş operasyonlarını optimize edebilmektedir (ICAO, 2018, s. 20; (Eurocontrol, 2021a, s. 8-10).

Rüzgâr akımlarındaki değişimler havacılık sektörünü iki temel şekilde etkilemektedir: hâkim rüzgâr yönündeki değişimler ve jet akımı kaymaları. Özellikle üst troposferdeki jet akımlarının kış aylarında güçlenerek kutba kayması ve yüksekliğinin artması beklenmektedir. Bu değişimler havayolu şirketleri için operasyonel planlamaları daha karmaşık hale getirirken uçuş sürelerini de uzatabilir. Jet akımlarının hız ve yön değişiklikleri batıdan doğuya yapılan uçuşlarda yakıt tasarrufu sağlarken doğudan batıya yapılan uçuşlarda yakıt tüketimini artırarak havayolu şirketlerinin maliyetlerini doğrudan etkilemektedir (ICAO, 2018, s. 39). Rüzgârın normal şartlarda sınırlı etkisinin aksine, yüksek irtifalardaki jet akımlarındaki değişikliklerin uçuş sürelerini uzatması, operasyonel süreçler üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Özellikle kutupsal soğuma ile ekvatorial ısınma arasındaki sıcaklık farkı yüksek irtifa hava akışlarını bozarak uçuş rotalarının zorluk seviyesini artırmaktadır. Bu durum açık hava türbülansı gibi ani rüzgâr değişimlerini tetikleyerek yolcu konforunu olumsuz etkileyebilir (Çaya, 2020, s. 5).

İklim değişikliğinin tetiklediği bu etkiler uçuş rotalarını zorlu hale getirirken pilotların yakıt yönetimini optimize etmelerini ve daha dikkatli manevralar yapmalarını gerektirmektedir. Araştırmalar artan karbondioksit emisyonlarının jet akımlarını ve sabit dalga modelli rüzgârları etkileyerek açık hava türbülanslarının hem sıklığını hem de şiddetini artırdığını ortaya koymuştur. Bu tür değişiklikler uçuş sürelerini uzatabilirken jet akımının güçlenmesi ve kutba doğru kayması da transatlantik uçuş rotalarını olumsuz etkileyebilir (Gratton vd., 2020, s. 220). Bu yüzden ki kış aylarında bu etkilerin daha belirgin hale gelmesi, yaz aylarında ise azalması beklenmektedir (Paraschi, 2023, s. 91).

Jet akımlarındaki bu değişikliklerin sadece uçuş sürelerine etkisi yoktur. Aynı zamanda uzun mesafeli uçuşlar üzerindeki rota düzenlemeleri açısından da zorluklar yaratmaktadır. Örneğin, transatlantik uçuşlar gibi uzun mesafeli rotalarda rota içi trafiği etkileyebilir ve en verimli uçuş rotalarını değiştirebilir. Bu durum havayolu şirketleri ve hava sahası hizmet sağlayıcıları için zorlu operasyonel koşullar yaratırken, hava sahası yönetiminde de yeni düzenlemeleri zorunlu kılmaktadır.

Jet akımlarındaki dalgalanma ve sapmalar, RVSM (Reduced Vertical Separation Minimum- Azaltılmış Dikey Ayırma Minimumu) (RVSM: hava araçları arasında uçuş seviyeleri 290 ile 410 arasında iken uygulanan dikey ayırma mesafesinin 2.000 feetten 1.000 feete düşürülmesini sağlayan bir prosedürdür (SHGM, 2024a, s. 1)) gibi uygulamaları etkileyebilir ve hava sahası kapasitesinde azalmaya neden olabilir (ICAO, 2018, s. 42).

Bu operasyonel zorluklar hava koşullarının havacılık sektörü üzerindeki maliyet etkilerinin sadece bir kısmını oluşturur. Havacılık operasyonlarında hava koşullarının etkilerini anlamak yalnızca gecikmelere dayalı verileri incelemekle sınırlı kalmamalıdır. Aynı zamanda farklı hava olaylarının ve coğrafi hassasiyetlerin de dikkate alınması gerekmektedir. İklim değişikliği hava olaylarının sıklığını ve yoğunluğunu etkileyerek bu süreçleri daha karmaşık hale getirmektedir. Literatürde iklim değişikliğinin dikkate alınmasının gerekliliği sıkça vurgulanmakta ve mevcut hava durumunun operasyonel hazırlık açısından nasıl yönetilmesi gerektiği önemli bir konu olarak ele alınmaktadır (Eurocontrol, 2021a, s. 6).

Hava koşullarının operasyonel etkileri Eurocontrol gibi uluslararası kuruluşların yaptığı incelemelerde de doğrulanmaktadır. Özellikle Avrupa’da hava durumu günleri üzerine yaptığı incelemeler havacılık sektöründe hava durumu kaynaklı gecikmelerin mevsimsel eğilimlerle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Kış aylarında rüzgâr fırtınaları, kar ve sis gibi olumsuz hava olayları gecikmelere neden olurken, yaz aylarında konvektif hava durumu nedeniyle gecikmeler artış göstermektedir. Mevsimsel farklılıklar planlamalarda dikkate alınması gereken önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca belirli coğrafi bölgelerde hava olaylarının farklılık göstermesi gecikmelerin öngörülmesine yönelik önemli bir veri kaynağı olmaktadır (Eurocontrol, 2021a, s. 6). Mevsimsel hava olaylarının etkisi hava trafiği yönetiminde de gecikmelere yol açmaktadır. İklim modelleri, hava olaylarının Hava Trafik Akış Yönetimi (Air Traffic Flow Management-ATFM) gecikmelerine neden olmaya devam edeceğini öngörse de

büyük ölçekli hava durumu modellerinde kısa vadede önemli değişikliklerin olacağına dair bir kanıt bulunmamaktadır (Eurocontrol, 2021e, s. 50-52). Ancak bu durum yerel hava olaylarının tamamen göz ardı edileceği anlamına gelmez. Yerel hava olaylarının doğal değişkenlikleri devam edecek ve bu belirsizlik iklim değişikliği eğilimlerinin uzun vadeli etkileriyle birleşerek daha karmaşık bir yapı oluşturacaktır.

ABD Ulusal Hava Sahası Sistemi üzerine yapılan bir çalışmada, Federal Havacılık İdaresi (Federal Aviation Administration-FAA) gecikmelerin yaklaşık %70'inin hava koşullarından kaynaklandığını tespit etmiştir. İklim değişikliğinin uçuş süreleri üzerindeki etkisi havayolu şirketlerine yılda fazladan 3 milyar ABD doları yakıt maliyeti ve 10.000 milyon kg karbondioksit emisyonu olarak yansımaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak uçuş sürelerinde yaşanan bu artışlar yalnızca ekonomik boyutuyla sınırlı kalmayıp aynı zamanda yolcular ve mürettebat için de artan açık hava türbülansı riskini beraberinde getirmektedir (ICAO, 2018, s. 58; Paraschi, 2023, s. 90).

Havacılık sektörü, iklim değişikliğine uyum sağlama zorunluluğunun farkında olarak çeşitli adımlar atmaktadır. ICAO'nun yaptığı bir ankete göre katılımcıların %30'u mevcut iklim değişikliğine uyum sağlama tedbirlerini uygularken, %25'i bu tedbirleri önümüzdeki beş-on yıl içinde hayata geçirmeyi planlamaktadır. Buna karşın %6'lık bir kesim henüz bu yönde herhangi bir önlem almadığını belirtmiştir (ICAO, 2019, s. 253). Bu sonuçlar uyum politikalarının uygulanmasının havacılık sektörünün geleceği açısından kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerdeki büyük havalimanları iklim değişikliği risklerini yönetmek adına daha fazla uyum planı geliştirme konusunda öncülük etmektedir. Ancak gelişmekte olan ülkelerde bu süreç daha yavaş ilerlemektedir. Sosyal adalet üzerindeki etkiler ve politika değişiklikleriyle birlikte bu fark daha belirgin hale gelecektir (Ryley vd., 2020, s. 64).

Uyum süreçleri yalnızca mevcut zorluklara yanıt vermekle kalmayıp, gelecekteki belirsizliklerle başa çıkma yeteneğini de artırmalıdır. Bu yüzden havacılık sektörünün sürdürülebilirliğini destekleyecek stratejiler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Örneğin, enerji verimliliğini artırıcı teknolojilerin benimsenmesi, havalimanlarının iklim değişikliği etkilerine karşı dirençli hale getirilmesi ve yenilikçi mimari çözümler bu stratejiler arasında yer almaktadır. Ayrıca sıcaklık ve nem değişimlerine karşı daha esnek hava trafik yönetim sistemlerinin oluşturulması, yenilikçi teknolojilere yatırım yapılması ve çalışanların eğitimi havacılık sektörünün iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını

artıracaktır. Bu tür stratejiler hem operasyonel etkinliği artırarak hem de toplumsal sürdürülebilirliği destekleyerek sektöre uzun vadeli katkılar sağlayacaktır.

1.9 İklim Değişikliğinin Havalimanları Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliği havalimanlarının altyapısını ve operasyonel sürekliliğini bölgesel coğrafi koşullar ve küresel ısınma senaryolarına bağlı olarak etkileyebilir. Daha sıcak yazlar, aşırı yağışlar, artan fırtınalar ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi eşzamanlı iklim koşulları, havalimanlarının operasyonlarını zorlaştırmaktadır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 5). Bilimsel çalışmalar iklim değişikliğinin yüksek sıcaklık, deniz seviyesinin yükselmesi ve aşırı hava koşulları gibi etkiler yaratacağını ortaya koymuştur. Özellikle yüksek sıcaklıklara maruz kalan havalimanlarında pist yüzeyinin bozulması, uçakların kalkış performansının azalması ve aşırı hava olayları nedeniyle operasyonel kesintilerin artması beklenmektedir (ICAO, 2018, s. 20). Bu riskler havalimanlarının operasyonel verimliliği ve altyapısı için ciddi tehditler oluşturacaktır (Burbidge, 2016, s. 14).

Araştırma ve raporlar havalimanlarının iklim değişikliğinden nasıl etkilendiğini detaylı şekilde ve başlıca riskleri de ortaya koymuştur (Burbidge, 2016, s. 15). Nitekim Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI) World 2020 anketine göre, Avrupa havalimanlarının %53'ü olumsuz hava koşullarının operasyonlarını doğrudan etkilediğini belirtmiştir (EASA, 2022b, s. 49-50). Ayrıca ACI, iklim değişikliğinin küresel bir sorun olduğunu vurgulayarak havalimanlarının uyum ve dayanıklılık stratejilerini kurtarma planlarına entegre etmesi gerektiğini belirtmiştir (http-25).

IPCC'nin belirlediği etkiler doğrultusunda iklim değişikliğinin havalimanları üzerindeki potansiyel etkileri altı başlık altında ele alınmaktadır. Bu etkiler sıcaklık değişimi, yağış rejimindeki değişiklikler, rüzgâr paternlerindeki değişiklikler, aşırı hava olayları, deniz seviyesinin yükselmesi (Sea Level Rise-SLR) ve biyoçeşitlilikteki değişikliklerdir (Burbidge, 2016, s. 15; Lopez, 2016, s. 25; Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 6; Flanagan, Kimball, Beaman and Abbott, 2018, s. 1; Gratton vd., 2021, s. 216; IPCC, 2022, s. 1043; Smagghe ve Anelli, 2023, s. 7; SLOCAT Partnership, 2023, s. 30).

1.9.1 Sıcaklık değişimi

Küresel iklim değişikliği ile birlikte ortalama küresel sıcaklıkların artması ve aşırı yüksek sıcak günlerin sayısının çoğalması beklenmektedir. Yüksek sıcaklıkların havalimanları üzerindeki etkileri kapsamlı ve karmaşık olup ve bu durum havacılık sektörünün

sürdürülebilirliği açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır (ICAO, 2019, s. 257). Sıcaklık değişimi tüm çevresel faktörlerin sıcaklıkla doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Özellikle sıcak hava dalgalarının artış göstermesi havalimanlarının işleyişinde bir dizi olumsuz etkiye yol açmaktadır. Bu etkiler arasında trafik kesintilerine yol açabilecek yangınlar, terminal ve araçlardaki soğutma gereksinimlerinde artış, asfalt altyapılara verilen zararlar, motor performansında ve kaldırma kapasitesinde bozulmalarla birlikte gecikmeler veya iptaller, daha uzun pist gereksinimi ve personelin iş performansında azalma sayılabilir (Lopez, 2016, s. 26).

Olumsuz etkilerin bir sonucu olarak, yüksek sıcaklıkların hava araçlarının kalkış performansına olan etkisi giderek daha kritik hale gelmektedir. Yüksek sıcaklıkların arttığı dönemlerde uçuşların %10-30'unun kalkış ağırlık kısıtlamalarına tabi olabileceği gözlemlenmiştir. Bu durum özellikle pist uzunlukları kısıtlı olan adalar ve yüksek sıcaklıklarla karşılaşan havalimanlarında daha belirgin hale gelmektedir.

Dolayısıyla uçakların kalkış performansı üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması için çeşitli uyarılama önlemleri almak gerekecektir. Örneğin daha ağır uçakların sıcak saatlerde kalkış yapmaktan kaçınması, kalkış zamanlarını değiştirerek gürültü dağılımını etkileyebilir (Burbidge vd., 2023, s. 15-16). Alternatif olarak bazı uçuşlar yakındaki havalimanlarına yönlendirilebilir veya yük azaltımı yapılabilir. Ancak bu yöntemler operasyonel verimliliği olumsuz etkileyecektir (Lee, Marla ve Vaishnav, 2021, s. 2). Bu bağlamda sıcaklık artışlarının havalimanlarında yük kısıtlamaları ve aksamalara neden olan, ayrıca uçak kaldırma kapasitesini etkileyen faktörler olarak ortaya çıkmaktadır (IPCC, 2022, s. 1057). Özellikle Arizona gibi yüksek sıcaklıkların yaşandığı bölgelerde aşırı sıcaklık nedeniyle birçok uçuşun iptal edilmesi havalimanı operasyonlarının sürdürülebilirliği açısından ciddi sorunlar yaratmaktadır. Dolayısıyla sıcaklık motor itme gücü ve pist uzunluğu kombinasyonu nedeniyle uçakların kalkış kabiliyeti etkilenmektedir (Lee vd., 2021, s. 1-3).

Bu etkilere bağlı olarak sıcaklık artışının sonuçlarından biri de ağırlık kısıtlaması gerektiren yaz günlerinin sayısının yüzey sıcaklığındaki artışla birlikte 1980'den bu yana sürekli bir şekilde artmasıdır (Coffel ve Horton, 2015, s. 94). Örneğin ICAO'nun 2016 çevre raporunda, sera gazı emisyonlarının neden olduğu sıcaklıkların uçakların kalkış kabiliyetini giderek daha fazla etkileyeceği uyarısında bulunmaktadır (Dolman ve Vorage, 2019, s. 55). Gelecekteki havalimanı projelerinin planlanmasında bu etkenlerin göz önünde bulundurulması elzem hale gelmektedir (Çaya, 2020, s. 3; EASA, 2022b, s.

49-50). Bu yüzden iklim değişikliğine uyum ve havalimanı performansının artırılması, sadece operasyonel verimlilik için değil aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik için de bir gereklilik haline gelmiştir (ICAO, 2018, s. 25-26; 2019, s. 257).

Ayrıca aşırı sıcaklıklar havalimanı pistleri ve taksi yolları gibi altyapılarda ciddi fiziksel hasarlara yol açarak asfalt yüzeylerde burkulma ve erime gibi deformasyona neden olabilir. Bahse konu bozulmaların önüne geçmek amacıyla pistler ve taksi yollarının tasarım standartları düzenli olarak gözden geçirilmeli ve kullanılan malzemelerin beklenen sıcaklık değişimlerine dayanacak şekilde uyarlanması gerekmektedir (Burbidge vd., 2023, s. 15-16). Sıcaklık değişimine karşı malzeme teknolojilerinin gelişmesiyle bu sorun etkili şekilde çözülebilir ve uzun vadede daha dayanıklı altyapılar inşa edilebilir.

Bunun yanı sıra iklim değişikliği özellikle soğuk hava bölgelerinde havalimanı altyapısı ve operasyonları üzerinde belirgin etkilere neden olmaktadır. Sıcaklıkların artmasıyla birlikte uçak ve pist üzerindeki buzun çözülmesi ve kar temizleme gereksinimleri değişkenlik göstermektedir. Örneğin 2013-2014 kışında ABD'nin batısındaki bazı havayolları uçakların yalnızca -30°C'ye kadar sertifikalandırılması nedeniyle tarifeli uçuşlarını iptal etmek zorunda kalmıştır. Ayrıca uzun süreli aşırı soğuk dönemler ekipmanların düşük performans göstermesine, kullanılan kimyasalların etkinliğinin azalmasına ve uçakların dönüş sürelerinde artışa neden olabilirken; bu durum ekipmanların donmasıyla birlikte yakıt ikmali gibi operasyonel süreçlerde gecikmelere yol açmaktadır (ICAO, 2018, s. 25). Kuzey bölgelerde daha yüksek sıcaklıkların permafrostun çözülmesine yol açması zemin altyapı dengesini bozmakta ve erozyonu hızlandırmaktadır. Örneğin Alaska'daki kıyı toplulukları donmuş toprağın çözülmesi nedeniyle havalimanlarının yerini değiştirmek zorunda kalmışlardır (ICAO, 2018, s. 25, 26; Federal Aviation Administration [FAA], 2022, s. 1-3). Ayrıca yüksek sıcaklıklar ve yer altı suyu akışlarının advektif ısı transferi ile birleşmesi permafrost çözülmesini hızlandırarak altyapı için ek tehditler oluşturmaktadır (ICAO, 2019, s. 257). Pist çevresinde eriyen buzlar da kaplamalarda yapısal bozulmalara yol açabilir. Örneğin Alaska'da permafrostun çözülmesi bir havalimanının taşınmasını gerektirmiş, bu durum altyapının kırılganlığını gözler önüne sermiştir (Çaya, 2020, s. 3; FAA, 2022, s. 1).

İlaveten artan sıcaklıklar, havalimanı terminallerinde soğutma ihtiyacını artırarak enerji tüketimini yükseltmekte ve yeni altyapı gereksinimlerine yol açmaktadır (Çaya, 2020, s. 3). Aşırı sıcaklıklar, soğutma sistemlerinin kapasitesinin zorlanmasına ve sistemlerin

yetersiz kalmasına neden olabileceği gibi, terminal tesislerinde yapısal sorunlara yol açarak, örneğin su borularının patlamasına neden olabilir (ICAO, 2018, s. 25; 2019, s. 257). Bu durum havalimanı yönetimlerinin enerji verimliliğini artırmaya ve operasyonel sürekliliği sağlamaya yönelik acil önlemler almasını gerektirmektedir. Bununla birlikte, yalnızca soğutma sistemlerinin güçlendirilmesi değil, aynı zamanda acil durum hazırlıklarının da kapsamlı şekilde ele alınması önem taşımaktadır (ICAO, 2018, s. 25). Yüksek sıcaklıkların özellikle öğleden sonra en yoğun operasyon saatlerinde meydana gelmesi operasyonel aksaklıkların gün içinde zincirleme etkilerle artmasına sebep olmaktadır (Lee vd., 2021, s. 1). Bu dönemde artan klima kullanımı ek enerji ihtiyacını beraberinde getirecek ve kaynakların daha yoğun kullanılmasını gerektirecektir. Bu yüzden acil durum hazırlıkları ve yatırım planlamaları sıcaklık artışlarıyla başa çıkmanın ayrılmaz bir parçası olmalıdır.

Aşırı sıcaklıklar havalimanı operasyonlarında yolcu ve altyapının yanı sıra yer personelini de olumsuz etkilemektedir. Sıcak hava koşullarında çalışan personelin sağlık riskleri artarken fiziksel dayanıklılığı ve dikkati azalabilir. Bu olumsuzluk da operasyonların aksamasına ve uçakların geri dönüş sürelerinin uzamasına yol açabilir. Ayrıca çalışma sürelerinin kısalması ve sık molalar verilmesi iş gücü ihtiyacını artırarak vardiya planlamasını zorlaştırabilir (Burbidge vd., 2023, s. 15-16). Bu olumsuzluklara karşı havalimanı yönetimleri iş sağlığı ve güvenliğini gözeterek çalışma koşullarını düzenlemeli ve ek personel planlaması yapmalıdır. Özellikle yer araçlarına klima takviyesi yapılması gibi basit çözümler personelin çalışma koşullarını iyileştirirken operasyonel sürekliliğin de sağlanmasına katkı sağlayabilir. Bu tür önlemler sıcaklık kaynaklı iş gücü kayıplarını minimize ederek ve uzun vadede operasyonel sürdürülebilirliği sağlayacaktır.

İlaveten yüksek sıcaklıklar, havalimanlarında yangın riskini artırarak operasyon emniyetini tehdit etmektedir. Uçak yakıtının 38°C’de tutuşabilmesi yangın riskini artırmaktadır. Özellikle itfaiye araçlarının hazır bulundurulması ve yakıt ikmali sırasında ek önlemler alınması, pistler ve yakıt depolama alanlarında düzenli kontroller, yangın söndürme sistemlerinin güçlendirilmesi ve yer personelinin acil durum eğitimlerinin artırılması bu riski en aza indirmek için gereklidir (ICAO, 2018, s. 25; Burbidge vd., 2023, s. 15-16). Havacılık işletmeleri bu tedbirleri önceden planlayarak hem yolcu güvenliğini hem de operasyonel sürekliliği koruyabilir (Çaya, 2020, s. 1).

1.9.2 Yağış rejiminde değişiklikler

İklim değişikliğiyle birlikte ortaya çıkan yağış rejimindeki farklılıklar, havalimanlarının operasyonel süreçlerini önemli ölçüde etkileyebilir. Özellikle 21. yüzyılda şiddetli yağış olaylarının artması bu konunun havacılık sektörü için daha kritik hale gelmesine neden olmuştur. Örneğin, 2011'de Pakistan'daki aşırı yağışlar büyük bir sel felaketine yol açmış ve uzmanları iklim değişikliğinin havacılık üzerindeki etkilerini daha yakından incelemeye yönlendirmiştir (Yıldız ve Imanov, 2022, s. 19).

Yağmur, dondurucu yağmur, kar ve dolu başlıca yağış türleridir. Ayrıca atmosferdeki su buharının yoğunlaşmasıyla oluşan sis de görüş mesafesini azaltarak çevresel koşulları etkilediğinden yağış türleri arasında kabul edilebilir (Klemm and Lin, 2015, s. 1131; Deniz ve Yavuz, 2024, s. 1). Bunların her biri havalimanlarının operasyonları üzerinde farklı etkilere sahiptir. Örneğin azalan yağışlar kuraklık koşullarını tetikleyerek su kaynaklarının azalmasına yol açarken, yoğun yağışlar havalimanı altyapısında hasarlara neden olabilir. Yetersiz yüzey drenajı yoğun yağışların pist ve taksi yollarında su birikmesine yol açarak riskleri artırmaktadır.

Dünyanın farklı bölgelerinde mevcut yağış miktarları arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Ancak iklim değişikliğinin bu koşulları etkilemesi ve potansiyel olarak daha da kötüleştirilmesi olasıdır. Örneğin birçok Karayip adası dik coğrafyaları ve nehir havzaları nedeniyle fırtına dalgaları ve nehir taşkınlarının kombinasyonundan kaynaklanan bileşik sel riski altındadır (ICAO, 2018, s. 28; Burbidge vd., 2023, s. 17). Bununla birlikte bazı bölgelerde yağışlarda azalma yaşanırken diğerlerinde artış olması muhtemeldir. Bu tür belirsiz hava olaylarına karşı alınacak önlemler yağış rejiminin hangi yönde ve ne yoğunlukta değiştiğinin tespit edilmesiyle başlar ve bu süreçte mevcut tahmin modellerinin sağladığı doğruluk ölçütleri en güvenilir kaynaklar arasında yer alır. Ancak dinamik hava koşullarının gelecekte yağış tahminlerini daha da zorlaştıracığı öngörülmektedir. Özellikle Kuzey Avrupa'nın daha sık kar yağışı alacağı ve güney bölgelerinin daha kurak olacağı yönündeki gözlemler tahmin modellerinin sunduğu detaylı raporlar kadar belirleyici değildir. Uçuşların büyük ölçüde tahmin raporlarına dayanarak planlandığı göz önüne alındığında hava koşullarındaki belirsizlik bu süreci karmaşık ve kritik hale getirmektedir (Çaya, 2020, s.1; Eurocontrol, 2021a, s.7).

Aşırı yağışlar kara ulaşımını olumsuz etkileyerek yolcuların ve çalışanların havalimanına erişimini zorlaştırırken, şiddetli yağışlar ve yüzey taşkınları görüş mesafesini azaltarak

verimliliği düşürüp gecikme veya iptale neden olabilir (Burbidge vd., 2023, s. 17). Bunun yanı sıra, bu hava olayları havalimanı altyapısının su baskınına uğramasına yol açarak, operasyonel sorunlara ve çevresel risklere sebep olur (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 5). Özellikle drenaj sistemlerinin artan su hacimlerini yönetememesi pistlerde biriken yağmur sularının pistleri kullanılamaz hale getirmesi ve erişim yollarının su baskınına uğraması gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Lopez, 2016, s. 26). Bu durum havalimanı kapasitesinde azalma, uçuş iptalleri ve ertelenmeleri gibi operasyonel aksamalara neden olurken, uçaklar arasındaki ayırma mesafelerinin artması nedeniyle operasyonel verimliliği de olumsuz etkilemektedir (ICAO, 2018, s. 30; Çaya, 2020, s. 4). Ayrıca drenaj sistemlerinin arızalanması, yeraltı sularını kirletme riski taşıyan kirlilik kontrol sistemlerini devre dışı bırakabilir ve yeraltı ulaşım bağlantılarına zarar verebilir. Bunun yanı sıra mevcut yüzey drenaj kapasitesinin yetersizliği elektrik altyapısının su baskınına maruz kalmasına ve kara taşımacılığı erişim yollarının kesintiye uğramasına neden olabilmektedir (Burbidge, 2016, s. 15; Burbidge vd., 2023, s. 18). Özellikle şehirleşmiş deltalar veya kıyı bölgelerinde yer alan havalimanlarının bu tür su kaynaklı iklim tehlikelerine karşı duyarlılığı daha yüksek olduğundan risk yönetimine öncelik verilmesi ve nitelikli personel yetiştirilmesi sorunların etkilerini en aza indirmek için etkili bir çözüm yöntemi olabilir (Dolman, 2015, s. 1-2; Çaya, 2020, s. 4). Örneğin, Dubai Havalimanı genelde sıcak ve kurak bir iklime sahip olmasına rağmen, Ocak 2020’de yaşanan aşırı yağışlar sonucunda sel felaketiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu durum, birçok uçuşun iptaline ve operasyonel aksaklıkların meydana gelmesine neden olmuştur.

Öte yandan, yağmur suyu yönetim sisteminin beklenenin üzerinde gelen yağışı karşılayamaması gerekli önlemlerin zamanında alınamamasına yol açarak felaketin etkilerini artırmıştır (Bayazitoğlu ve Güngör, 2023, s. 44). Benzer bir olay da 2011 yılında Bangkok’ta gerçekleşmiştir. Aşırı yağışlar Don Mueang Uluslararası Havalimanı dahil olmak üzere şehrin büyük bir kısmını su altında bırakmıştır. Bu sel felaketi elektrik ve iletişim altyapısının onarımının neredeyse bir yıl sürmesine yol açmış ve tüm uçuşların Suvarnabhumi Havalimanı’na yönlendirilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Her iki örnek de aşırı yağışların havalimanı operasyonları üzerindeki olumsuz etkilerini ve bu tür durumlarla başa çıkmak için acil önlemler alınması gerektiğini göstermektedir (Sindhmani ve Vorage, 2020, s. 1).

Aşırı kar yağışları geniş alanların ağır kış koşullarına hazırlanmasını zorunlu kılarken, aşırı yağmur yağışları kuraklık riski durumunda su geri dönüşümü ve yağmur suyu hasadı gibi etkin su yönetimi uygulamalarını hayati hale getirir. Artan yağışlarla başa çıkabilmek için yüzey drenaj sistemlerinin etkili bakımı önemlidir. Gelecekteki yağış projeksiyonlarına göre tasarım standartlarının güncellenmesi gerekecek, ancak eski altyapıların yeni koşullara uyarlanması zorluk yaratabilir. Yivli pistler ve su baskınına karşı güvenlik alanları gibi çözümler hem aşırı yağışların hem de diğer iklimsel risklerin yönetilmesinde dikkate alınmalıdır (Burbidge, 2016, s. 15; Burbidge vd., 2023, s. 18).

Değişen iklim koşulları, artan sıcaklık ve nem değerleriyle birlikte sis olaylarının sıklığını ve yoğunluğunu artırarak havacılık operasyonlarında ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Küresel sıcaklık artışları, gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkını azaltarak sisin daha uzun süre meydana gelmesine olanak tanımakta, artan havadaki nem ve partikül salınımlarının yoğunlaşması ise sisin daha kalıcı ve yoğun hale gelmesine zemin hazırlamaktadır. Bu durum, sisin neden olduğu yatay görüş mesafesinin azalmasıyla birlikte hava ulaşım sistemleri, karayolları ve açık su üzerindeki ulaşım sistemlerini de olumsuz yönde etkilemektedir (Klemm ve Lin, 2015, s. 1131; Deniz ve Yavuz, 2024, s. 1). Sis, havacılıkta en yaygın görüş sınırlayıcısıdır ve görüş mesafesini dakikalar içinde azaltarak uçuşların aletli kurallarla gerçekleştirilmesini zorunlu kılabilir (http-26). Bu duruma trajik örneklerden biri tarihteki en ölümcül havacılık kazalarından biri olan 1977 Tenerife faciasıdır. Bu olayda sisin görüş mesafesini düşürmesi kazaya katkıda bulunarak 583 kişinin ölümüne yol açmıştır (http-27). Günümüzde modern ekipmanlar siste kalkış ve inişi desteklese de taksii sürecinde yaşanan zorluklar uçakların hareketini yavaşlatarak operasyonel verimliliği düşürmeye devam etmektedir. Bu operasyonel yavaşlamalara ek olarak, sis nedeniyle uçuşların iptal edilmesi veya gecikmesi hem ekonomik kayıpları artırmakta hem de operasyonel aksaklıkların üstesinden gelmeyi zorlaştırmaktadır (Akbayır, 2017, s. 9; http-28).

İklim değişikliğinin tetiklediği aşırı hava olaylarının yanı sıra, diğer aşırı hava koşulları da havalimanı operasyonları üzerinde ciddi etkiler yaratmaktadır. Özellikle kar ve buz pistlerde ve taksii yollarında uçakların frenleme kabiliyetini azaltarak güvenlik endişelerini artırmakta ve yer araçları ile personel için tehlikeli koşullar yaratmaktadır. Kış aylarında yalnızca kar yağışı değil, ani soğumalar ve don olayları da havalimanı operasyonlarını aksatabilecek önemli riskler arasında yer almaktadır. Yağışların ardından

gerçekleşen ani soğumalar orta kuzey enlemlerinde donma riskini artırarak havalimanına ulaşım ve operasyon süreçlerini olumsuz etkileyebilir. Karlı günlerin azalması ve buz çözme ile kar temizleme gereksinimlerinin düşmesi avantaj gibi görünse de bu durum havalimanlarının ağır kış koşullarına daha az hazırlıklı olmasına yol açabilir. Ayrıca beklenmedik kar yağışları gerekli ekipman veya prosedürlere sahip olmayan yeni bölgelerde ciddi sorunlara neden olabilir (Çaya, 2020, s. 4; Burbidge vd., 2023, s. 17).

Havalimanlarının yalnızca mevcut koşullara değil, gelecekteki hava durumu değişikliklerine de hazırlıklı olması gerekmektedir. Örneğin, ABD'deki on büyük havalimanında yapılan analizler yoğun yağışların kalkış gecikmelerini 13-23 dakika, kar yağışının ise 11 dakika artırdığını göstermektedir (Burbidge vd., 2023, s. 17). Özellikle kuzey paralelindeki havalimanları, yağış rejimindeki değişimlerden etkilenmekte ve kar yağışındaki dalgalanmalar pistlerin bu koşullara uyum sağlamasını zorunlu kılmaktadır. Ani ve yoğun kar yağışlarına karşı yer ekiplerinin hızlı müdahalesi uçuş operasyonlarının kesintisiz devamı için önemlidir. Aksi takdirde sık sık uçuş ertelemeleri veya iptalleri yaşanabilir (Çaya, 2020, s. 4).

Bu tür riskleri minimize etmek için kış aylarına yönelik altyapı iyileştirmeleri ve stratejik planlamalar havalimanlarının operasyonel dayanıklılığını artırarak hava trafiğinin sorunsuz işlemesi için temel bir gerekliliktir. Örneğin, terminallerde kullanılan yeşil çatılar yüzey suyu akışını azaltarak enerji kullanımında tasarruf sağlarken, kar ve buz yönetimi stratejileri de kış koşullarına hazırlığı artırabilir. Bu stratejiler pistlerin temizlenmesi için optimize edilmiş süreçlerin yanı sıra hava yolları ve hava trafik kontrolüyle koordinasyonun sağlanmasını ve mevsimsel iş gücü desteğini içermektedir (Burbidge vd., 2023, s. 18).

Küresel düzeyde yağış tahminlerinde önemli farklılıklar olduğu için iklim modellerinin bu değişikliklere dair kesin tahminlerde bulunması zordur. Dolayısıyla iklim değişikliğinin etkileri hem yağış miktarlarında hem de kuraklık sürelerinde belirgin değişimlere yol açma potansiyeline sahiptir (Eurocontrol, 2021a, s. 7). ICAO (2018, s. 27; 2019, s. 111) değerlendirmeleri iklim değişikliğinin tüm bölgelerde yağış koşullarında değişiklik ve potansiyel şiddetlenmeler yaratacağı öngörüsünde bulunmaktadır. Bu nedenle havalimanlarında yeni altyapı projeleri planlanıp geliştirilirken yağış projeksiyonlarının dikkate alınması ve su girişi ile taşkın risklerini yönetmek için uygun tasarım standartlarının uygulanması önem taşımaktadır.

1.9.3 Rüzgâr paterni değişiklikleri

Rüzgâr paterni değişiklikleri havalimanı operasyonlarını ve uçuş emniyetini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. İklim değişikliği ile birlikte rüzgâr hızı ve yönünde meydana gelen düzensizlik havalimanları için çeşitli operasyonel zorluk yaratmaktadır. Özellikle büyük havalimanları rüzgâr hızındaki artışlar ve çapraz rüzgarlar nedeniyle uçuş gecikmeleri, iptaller ve hava kirliliği gibi sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır.

Rüzgâr paternlerindeki değişiklik pistlerin tarihsel ortalama hâkim rüzgârlara göre inşa edilmesi nedeniyle uçakların kalkış ve iniş performansını olumsuz etkilemektedir. Özellikle şiddetli rüzgarların iniş ve kalkış süreçlerinde tehlike yaratarak uçuş emniyetini riske attığı bir gerçektir (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 3; Gratton vd., 2021, s. 210). Rüzgâr hız ve yönünde değişiklikler baş rüzgarları kalkış ve iniş mesafesini kısaltırken, kuyruk rüzgarları bu mesafeleri uzatarak uçuş emniyetini olumsuz etkileyebilir (Gratton vd., 2020, s. 222). Çapraz rüzgarlar ise bu durumu daha karmaşık hale getirerek kalkış ve iniş sırasında artan riskler doğurabilir. Hâkim rüzgâr yönüne göre inşa edilen pistler, bu tür sapmalara karşı savunmasız kalmakta ve havalimanı kapasitesini olumsuz etkileyebilmektedir (Lopez, 2016, s. 26).

Ayrıca rüzgâr hızında düşüşler de kalkış performansını etkileyebilir. Bu nedenle rüzgâr hızındaki değişiklikler yüksek sıcaklık nedeniyle kalkış performansındaki değişikliklerin analizlerine entegre edilmelidir. Bu gürültü ve hava kirliliği üzerindeki potansiyel etkilerin dikkate alınmasına da olanak tanır. Yerel rüzgâr projeksiyonlarındaki belirsizlik, hâkim rüzgâr yönündeki sapmalar ve çapraz rüzgârların artışı operasyonel prosedürleri, uçuş emniyetini ve gürültü dağılımını etkileyerek gecikmelere yol açabilir. Kalkış ve iniş prosedürleri ile rota planlaması gibi karar verme süreçlerini desteklemek amacıyla yüzey ve rota rüzgarlarında meydana gelebilecek değişikliklerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Burbidge vd., 2023, s. 18-19).

Değişen rüzgâr paternleri, havalimanları için önemli operasyonel zorluklar yaratmakta olup, özellikle çapraz rüzgârların artışı uçakların güvenli kalkış ve inişini zorlaştırarak uçuş iptallerine veya gecikmelere yol açabilmektedir (Burbidge, 2016, s. 16). Bu durum, havalimanlarının operasyonel prosedürlerini daha karmaşık hale getirirken, pistlerin kullanılabilirliğini sınırlandırarak hava trafiği verimliliğini olumsuz etkileyebilir (Lopez, 2016, s. 26; ICAO, 2018, s. 27). Havalimanı yöneticilerinin mevcut pistlerin çapraz rüzgârlara karşı savunmasızlığını göz önünde bulundurarak yeni pist inşasında bu faktörü

dikkate almaları önemlidir. Aksi takdirde kapasite kayıpları, uçuş ertelemeleri ve güvenlik riskleriyle karşılaşılabilir (Çaya, 2020, s. 6). Ayrıca, rüzgâr paternlerindeki değişiklikler hava sahasının yeniden düzenlenmesini gerektirebilir ve pist yönü değişikliklerini zorunlu kılabilir. Çapraz rüzgâr pisti bulunmayan havalimanlarında ise iniş ve kalkış işlemleri daha karmaşık hale gelir, bu da operasyonel uyarlamalar ve altyapı iyileştirmeleri gerektirir.

Bazı bölgelerde ortalama rüzgâr hızlarının artacağı bazı bölgelerde ise azalacağı öngörüldüğünden bu tür değişikliklerin uçuşları nasıl etkileyeceği dikkatle değerlendirilmelidir. Örneğin Londra Heathrow Havalimanı'nda rüzgâr hızında sadece 1 knot'lık artış gecikme olasılığını %8 artırarak operasyonel verimliliği olumsuz etkilemektedir. Benzer bir etki ABD'deki büyük havalimanlarında gözlemlenmiş olup, rüzgâr hızında her 1 knot'lık artışın kalkış gecikmelerini 1-3 dakika uzattığı belirlenmiştir (Burbidge vd., 2023, s. 18). Bu tür gecikmeler diğer hava olaylarına göre daha küçük görünse de sık tekrarlandığında uzun vadede ciddi operasyonel sorunlara yol açabilir. Özellikle kış aylarında yüzey rüzgârlarının uçuş süreleri üzerinde daha fazla etkili olduğu ve bu etkinin yaz aylarında daha zayıfladığı tespit edilmiştir (Eurocontrol, 2021a, s. 13).

Rüzgâr paternlerindeki sapmaların jet akımında ani değişimlere yol açarak bazı havalimanlarının şiddetli kar yağışı gibi nadir hava olaylarıyla karşılaşmasına neden olabileceği öngörülmektedir (ICAO, 2018, s. 42). Hava durumundaki bu tür öngörülemeyen değişiklikler operasyonel riskleri artırarak uçakların gecikmesi, uçuş süresinin uzaması ve uçuş rotalarının değiştirilmesi gibi etkilerle sonuçlanmaktadır (Yıldız ve İmanov, 2022, s. 18).

Ayrıca havalimanı altyapısı ve tesisleri üzerinde de önemli ve uzun vadeli etkilere yol açabilmektedir. Özellikle aşırı rüzgarlar pistler, hava köprüleri gibi kritik ekipmanların kullanımını zorlaştırarak hasar riskini artırabilir (Lopez, 2016, s. 26). Rüzgâr hızlarının etkileri 13 m/s ile 18 m/s arasında değişen hızlarda daha belirgin hale gelirken, bu hızdaki rüzgarlar havalimanlarında yapısal dayanıklılık gereksinimini artırmaktadır. 2005 ASCE Tasarım Standartlarına göre bina ve diğer yapısal elemanlar 3 saniyelik temel rüzgâr şiddetine dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Özellikle hava trafik kontrol kuleleri, kontrol merkezleri ve acil durum uçak hangarları gibi yapılar rüzgâr kaynaklı basınca karşı dayanıklılık göstermelidir (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 10). Bu bağlamda malzeme ve yapı tasarım standartlarının iklim değişikliğinin getirdiği yeni koşullara göre

güncellenmesi havalimanı terminallerinin gelecekteki rüzgâr koşullarına dayanıklılığını sağlamak açısından önemlidir. Ayrıca düzenli bakım faaliyetleri de havalimanı altyapısının uzun vadede rüzgâr koşullarına uyum sağlamasında kilit rol oynamaktadır. (ICAO, 2018, s. 42; Burbidge vd., 2023, s. 19).

Christodoulou ve Demirel (2018)'in Avrupa'da ulaşım üzerindeki iklim değişikliği etkilerine dair analizinde Kuzey Denizi, Baltık Denizi ve Adriyatik Denizi bölgelerinde yüzyıl ortasında ve sonunda daha yüksek rüzgâr hızlarının öngörüldüğü belirtilmiştir. Bu değişiklikler özellikle atmosferin üst seviyelerinde rüzgâr hızı ve yönündeki değişikliklerle birlikte açık hava türbülansının artmasına yol açarak uçuş emniyetini tehdit edebilir (Yıldız ve İmanov, 2022, s. 18).

Rüzgâr paternindeki değişimlerin etkili yönetilebilmesi için havalimanı işletmecileri ve hava trafiği kontrol otoritelerinin iklim değişikliği ile ilgili gelişmeleri yakından takip etmeleri ve stratejilerini buna göre güncellemeleri gerekmektedir. Dolayısıyla altyapı geliştirmeleri dijital tasarım teknikleri ve çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik proaktif stratejiler iklim değişikliğinin etkilerine karşı havalimanlarının sürdürülebilirliğini güvence altına almak için kritik önlemler arasında yer almalıdır.

1.9.4 Aşırı hava olayları

Araştırmalar gezegen ısındıkça aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetinin artacağını öne sürmektedir. IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu, bu risklerle başa çıkabilmek için çeşitli iklim değişikliği azaltma stratejilerine, teknolojik yeniliklere ve sera gazı emisyonlarını azaltma yöntemlerine yer vermektedir (NASA, 2024, s. 1). Aşırı hava olayları iklim değişikliğinin kaçınılmaz bir sonucu olarak havalimanlarını tehdit etmektedir. Bu tehditlerin anlaşılabilmesi için fırtınaların çeşitleri ve iklim değişikliği ile olan ilişkileri üzerinde durmak gerekmektedir. “Fırtına” terimi, IPCC değerlendirmelerine göre, aşırı iklim olaylarını ifade etmekte ve bu olayların sıklığı, yoğunluğu ve yerinin iklim değişikliği ile birlikte değişeceği öngörülmektedir. Bu kapsamda iklim değişikliğinin etkileri özellikle siklonlar (kasırga ve tayfun) ile şiddetli konvektif hava olayları (fırtına) ön plana çıkmakta ve bu durum türbülans, buzlanma, rüzgâr kesmesi ve yıldırım gibi konvektif fırtınaların sıklığını artırma eğilimini de beraberinde getirmektedir (Burbidge vd., 2023, s. 13; Paraschi, 2023, s. 91). Havalimanları bu aşırı hava olaylarına karşı oldukça savunmasızdır ve operasyonel

verimlilik ile hava sahası kapasitesini olumsuz etkileyen birçok sorunla karşı karşıya kalmaktadır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 14).

Aşırı hava olayları, havalimanlarını doğrudan etkileyerek özellikle aşırı yağışların artışıyla ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu durum da sel yönetimi ve kirlilik kontrolü sorunlarına yol açmaktadır (Gratton vd., 2021, s. 219). Ayrıca gelecekte kış fırtınaları, tropikal siklonlar ve ekstra tropikal siklonlar gibi fırtına türlerinin şiddetinin artacağı ve bu fırtınaların sıklığı konusunda belirsizliklerin bulunduğu konusunda geniş bir fikir birliği mevcuttur (ICAO, 2018, s. 17). İklim değişikliği kaynaklı aşırı hava olayları, havalimanları üzerinde ciddi yıkıcı etkilere neden olabilir. Ancak, bu etkileri doğru şekilde değerlendirmek, uzun vadeli tahminlerdeki belirsizlikler ve havalimanlarına özgü detaylı analiz gerekliliği nedeniyle oldukça zordur (Christodoulou ve Demirel, 2018, s.1).

Uzmanlar, fırtınaların yıkım gücünün ve ölçeğinin zamanla artacağını öngörmektedir. Özellikle fırtınaların yönü, şiddeti ve yıkıcı etkilerini önceden tahmin etmek mevcut koşullarda bile karmaşık bir süreçken, değişen iklim koşullarıyla birlikte bu zorluk daha da artacaktır (ICAO, 2018, s. 19). Bu belirsizlikler ve artan hava riski yalnızca operasyonları değil, havalimanlarının konumlandırılması ve uçuş rotalarının belirlenmesi gibi stratejik kararları da etkilemektedir. Havalimanlarının konumu ve uçuş rotaları, aşırı hava olayları sırasında kritik bir rol oynar. Planlanan rotaların dışına çıkmamanın yaratabileceği riskler ve yerde bekleyen uçakların fırtına kaynaklı hasar görme ihtimali, göz önünde bulundurulması gereken önemli unsurlardır. Havalimanlarının aşırı hava olaylarına karşı daha dirençli hale getirilmesi zorunludur (Eurocontrol, 2021e, s. 50).

Fırtınalar, havalimanı altyapısını ciddi şekilde tehdit eden önemli faktörlerden biridir. Özellikle kıyı havalimanlarında, fırtına dalgaları ve şiddetli yağışlar drenaj sistemlerini zorlayarak pistlerin, elektrik jeneratörlerinin, iletişim ekipmanlarının ve yakıt depolarının su altında kalma riskini artırmaktadır (ICAO, 2019, s. 268; Burbidge vd., 2023, s. 13). Ayrıca fırtına suyundan kaynaklanan sel havalimanlarına yer erişimini de etkileyebilir. Bu nedenle havalimanı altyapısının tasarım standartlarının güncellenmesi ve daha güçlü fırtınalara dayanacak şekilde güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden etkili yüzey drenajı ile birlikte pompa sistemleri ve elektrik altyapısının yükseltilmesi gibi sel riski adaptasyon önlemleri stratejik bir öneme sahiptir (Burbidge vd., 2023, s. 14).

Coğrafyaya bağlı olarak fırtına dalgalarının etkisi 'kıyı' kabul edilmeyen havalimanlarını da su altında bırakabilir. Bu durum pistlerin kapanmasına veya havalimanlarının geçici

olarak kapatılmasına kadar uzanan etkiler yaratabilir. Havacılık sektörünün birbirine bağlı yapısı göz önüne alındığında bir havalimanında meydana gelen olumsuz durum geniş bir coğrafyada dalgalanma etkilerine yol açabilir (ICAO, 2018, s. 19, 20).

Bu bağlamda aşırı hava olaylarından etkilenen havalimanlarının sayısının artması bu tehditlerin ne kadar gerçek ve acil olduğunu açıkça göstermektedir (ICAO, 2019, s. 268). Değişen iklimin bir sonucu olarak, özellikle aşırı hava olaylarına karşı hassas altyapılarda daha fazla hasar ve işleyiş bozukluğu beklenmektedir (Sebastian vd., 2017, s. 53). Bu durum, birçok havalimanının kademeli genişleme döngülerine sahip eski altyapılar üzerine inşa edilmiş olmasından kaynaklanmakta ve çoğu durumda drenaj sistemlerinin mevcut ve gelecekteki aşırı yağış yoğunluklarıyla başa çıkacak şekilde tasarlanmamış olması aşırı hava olayları tehdidinin gerçek bir endişe olduğunu ortaya koymaktadır (Sindhamani ve Vorage, 2020, s. 1).

Aşırı hava olaylarının altyapıya etkilerinin yanı sıra uçuşlar üzerinde de çok boyutlu etkileri söz konusudur. Operasyonel etkiler arasında gecikmeler, sapmalar, iptaller ve yer operasyonlarında aksaklıklar önemli yer tutmaktadır. Bu olumsuzluklar da operasyonel sürdürülebilirlik için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu tür aksaklıklar hem hava trafiği verimliliğini düşürür hem de havalimanı kaynaklarının etkin kullanılmasını engeller.

Özellikle yaz fırtınaları yüksek mevsimsel trafik nedeniyle gecikmelere büyük katkıda bulunarak artan fırtına sıklığı veya yoğunluğu ile daha da riskli hale gelen küçük ada havalimanlarını tehdit etmektedir. Hatta 2018 yılında Avrupa’da olumsuz hava koşulları nedeniyle 4,8 milyon dakikalık gecikme yaşanması, bu durumun ciddiyetini ortaya koymaktadır (Burbidge vd., 2023, s. 13). Bu ciddiyet fırtına düzenleri ve şiddetindeki değişikliklerin uçuş operasyonlarına olan etkilerinin Eurocontrol tarafından yapılan çalışmada detaylı bir şekilde ele alındığı ve hava durumu ile ATFM gecikmeleri arasındaki bağlantının ortaya konduğu gerçeğiyle daha da belirginleşmektedir. Fırtınalar, ağ düzeyinde toplam en-route ATFM gecikmelerinin %7,5’ine kadar sorumlu olabilir. Bir uçuşun fırtınadan etkilenmesi durumunda, yaşanan ortalama gecikmenin 17-18 dakika olması beklenmektedir (Eurocontrol, 2021a, s. 7). Özellikle büyük fırtınaların tüm rota içi ATFM gecikmelerinin en az %50’sinden ve havalimanlarındaki gecikmelerin %70’sinde sorumlu olduğu göz önüne alındığında çoğu havalimanının iklim değişikliğinin etkilerini ele alma konusunda henüz adım atmadığı anlaşılmaktadır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 6). Somut bir örnek olarak 2017’de Harvey

kasırgasının Teksas'taki büyük havalimanlarının kapanmasına ve yaklaşık 10.000 uçuşun iptaline yol açtığı görülmektedir (Sebastian vd., 2017, s. 53). Londra Heathrow Havalimanı için yapılan iklim modellemeleri aşırı hava koşullarının gecikme olasılığını %25'ten fazla artıracığını göstermektedir (Paraschi, 2023, s. 90). Bu veriler iklim değişikliği ile birlikte aşırı hava olaylarının hava ulaşımında oluşturduğu risklerin giderek arttığını ve önlem alınmadığı takdirde bu durumun sosyoekonomik sonuçlarının ağır olabileceğini ortaya koymaktadır.

Aşırı hava olayları, havalimanı binaları ve tesisleri üzerinde de tehditler oluşturmaktadır. Fırtınalar özellikle terminaller, hava trafik kontrol (ATC) kuleleri ve iletişim kuleleri gibi yapılar üzerinde ciddi zararlara yol açabilir. Artan yıldırım sıklığı da hem uçuş rotaları üzerinde hem de havalimanlarında ATC kuleleri ve yer tabanlı navigasyon ekipmanları için yıldırım çarpması riskini artırmaktadır (Burbidge vd., 2023, s. 13). Bu durum sadece fiziki zararlarla sınırlı kalmayıp aynı zamanda havalimanlarının operasyonel sürekliliğini de tehdit etmektedir. Artan fırtına şiddetinin dolaylı etkileri arasında havalimanı tesislerine erişimin zorlaşması ve fırtına hasarının ulaşım sistemleri üzerinde potansiyel etkileri yer almaktadır (ICAO, 2018, s. 19). Bu tür olumsuz etkiler aşırı hava koşullarının havalimanı tesislerini olumsuz yönde etkileyerek hizmet kalitesinin düşmesine yol açarken aynı zamanda yolcuların güvenliğini de tehlikeye atmaktadır.

Aşırı hava olayları yolcu memnuniyetini ciddi şekilde etkileyerek, özellikle artan fırtına sıklığı yolcuların risk algılarını değiştirir ve uçuş kesintilerine karşı tutumlarını etkileyebilir. Kaohsiung Uluslararası Havalimanı'ndaki bir ankette katılımcıların %70'inden fazlası iklim değişikliğinin uçakların kalkış ve inişlerini etkileyeceğini kabul etmiştir. Bu da yolcuların hava koşulları nedeniyle uçuş kesintilerini kabullenme olasılığının arttığını gösterir (Burbidge vd., 2023, s. 13). Uzayan bekleme süreleri ve iniş kuyrukları yolcu konforunu azaltarak memnuniyetsizliğe yol açar (Çaya, 2020, s. 4,5). Bu nedenle personelin iklimle ilgili acil durumlara yönelik farkındalığı ve eğitimi, operasyonel paydaşlar ve yolcularla sağlıklı iletişim kurarak aksaklıkları en aza indirmek için hayati öneme sahiptir (Burbidge vd., 2023, s. 14, 20).

Ayrıca aşırı hava olayları, havalimanı güvenliği ve uçuş emniyeti üzerinde önemli riskler doğurarak hava tarafı araçlarını ve yer personelini tehdit etmektedir. Fırtınaların artan yoğunluğu yakıt ikmalinin askıya alınması gerekliliği gibi kritik operasyonel kesintilere yol açabilirken, yangın riskini de yükselterek havalimanındaki enerji arzında potansiyel

kesintilere neden olabilmektedir (Gratton vd., 2021, s.219; Burbidge vd., 2023, s. 13, 14). Bu bağlamda Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bazı havalimanları olası fırtınalara hazırlıklı olmak amacıyla jeneratör yakıtı temin etme, ışıklandırma sistemlerini ve seyir yardımcılarını çalışır durumda tutma gibi çeşitli önlemleri uygulamaktadır (ICAO, 2018, s. 20). Bu gibi uygulamalar kritik altyapıların sorunsuz işlemlerini sağlayarak fırtınaların getireceği potansiyel aksaklıkları azaltmayı amaçlamaktadır.

Havalimanlarının hava koşullarına dayanıklılığını artırmak için kısa vadeli tahmin ve izleme teknolojileri ile yıldırım tespiti gibi gelişmiş araçlara ihtiyaç vardır. Bu araçlar, alınan önlemlerin etkinliğini değerlendirmenin yanı sıra, düşük olasılıklı ve yüksek etkili olaylara karşı etkili hazırlık yapabilmek için risk değerlendirmeleri ve uzun vadeli tahminlerin yapılmasını sağlar (Burbidge vd., 2023, s. 14). Ayrıca, sektörel işbirliği ve entegre bir yaklaşım, ağıdaki maliyet, emisyon ve gecikmeleri azaltmaya yardımcı olur (Eurocontrol, 2021a, s. 2).

Sektörde daha sık yaşanan fırtınalar havacılık camiasını hızla değişen iklim koşullarına uyum sağlama konusunda harekete geçirmiştir (Airport Council International [ACI], 2018, s. 2; ICAO, 2019, s. 259). Çünkü iklim değişikliğinin getirdiği bu olumsuz etkiler yalnızca hali hazırda etkilenen havalimanlarını değil, şimdiye kadar risk altında olmayan diğer havalimanlarını da tehdit etmektedir (Dolman ve Sindhamani, 2022, s. 267).

1.9.5 Deniz seviyesi yükselmesi (Sea Level Rise-SLR)

Isınan gezegenin önemli sonuçlarından biri okyanusların termal genişlemesi ve kara buzlarının erimesi ile oluşan deniz seviyesi yükselmesidir (Sea Level Rise-SLR). Bu yükselme kıyı şeridindeki sel riskini artırmakta, özellikle alçak kıyı bölgelerinde fırtına dalgalarının etkilerini artırarak ciddi tehditler oluşturmaktadır (Eurocontrol, 2021b, s. 10). Üstelik 1993'ten bu yana okyanusların ısınma oranı iki katından fazla artmış, bu da SLR'nin hızlanmasına ve daha belirgin hale gelmesine neden olmuştur. Bu durum okyanus ısınması ve buzul kütle kayıpları nedeniyle meydana gelen SLR'nin kıyı arazilerinde erozyonu hızlandırabileceği ve bazı bölgelerde kalıcı su baskınlarına yol açabileceği anlamına gelmektedir (ICAO, 2018, s. 11). Özellikle Avrupa'da fırtına kabarma seviyeleri Akdeniz'de 0,5 m'den Kuzey Denizi'nde 3,5 m'nin üzerine kadar değişmekte olup, kıyıya yakın havalimanları için büyük bir risk oluşturmaktadır (Çaya, 2020, s. 5; Eurocontrol, 2021b, s.13).

SLR'nin yerel etkileri bölgelerin coğrafi özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. Bazı alanlarda kara yükselmesi (buzul izostatik ayarlama) deniz seviyesini dengelerken, diğer bölgelerde sürekli artan su seviyesi daha sık ve yoğun sel baskınlarına yol açmaktadır (ICAO, 2018, s. 11). Avrupa'daki birçok kıyı havalimanı iklim değişikliği nedeniyle artan fırtınalar ve yükselen su seviyelerinin etkilerini hissetmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre bu tür taşkınların oranının %30'un üzerinde artması beklenmektedir (Eurocontrol, 2021b, s. 13). Örneğin ABD'deki Sandy Kasırgası sırasında kıyı taşkınlarının artması birçok havalimanını olumsuz yönde etkilemiştir (Dolman ve Vorage, 2019, s. 55).

Bu tür felaketlerin yaşanma olasılığının artmasıyla halihazırda etkilenen havalimanları üzerinde ki etkinin şiddetlenmesi ve iklim değişikliğinin neden olduğu olumsuz etkileri henüz yaşamamış olanların da risk altına girmesi beklenmektedir (Eurocontrol, 2021b, s. 10). Ayrıca 2050 yılına kadar deniz seviyesindeki yükselme nedeniyle yaklaşık 300 milyon insanın kıyı şehirlerinden göç etmek zorunda kalacağı öngörülmektedir. Bu örneği daha iyi anlamak için karşılaştırma yapmak gerekirse, bu sayı yaklaşık 330 milyon olan ABD nüfusuna yakın bir büyüklüğe denk gelmektedir ([http-29](http://29)).

Son yıllarda iklim değişikliği kaynaklı olaylar kıyı havalimanlarının maruz kaldığı riskleri somut şekilde ortaya koymaktadır. 2100 yılına kadar 2 m'ye yaklaşan ve RCP8.5 senaryosu altında 2300 yılına kadar 15 m'yi aşan küresel ortalama deniz seviyesi artışı beklenmektedir (IPCC, 2023, s. 77). Bu durum Avrupa'da su altında kalma riskiyle karşı karşıya kalacak havalimanlarının sayısının 2030 ile 2080 yılları arasında %60 artması beklenmektedir. Özellikle 2080 yılına gelindiğinde toplamda 196 havalimanının su altında kalma riski taşıdığı tahmin edilmektedir (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 11).

Bu konuda somut bir örnek vermek gerekirse, son beş yılda aşırı yağışlar ve deniz seviyesi yükselmeleri nedeniyle Chennai, Kansai ve Cochin gibi önemli havalimanları su altında kalmıştır (Dolman and Vorage, 2019, s.54; Sindhamani ve Vorage, 2020, s. 1). Bunun yanı Avrupa'da 200'e yakın havalimanı deniz seviyesi yükselmesi ve taşkınlar nedeniyle su altında kalma riskiyle karşı karşıya kalacaktır. Bu havalimanlarının büyük bir kısmı yıllık hava trafiği hareketinin 10.000'den az olduğu küçük tesislerdir. Ancak bu küçük havalimanları bölgesel ulaşım ve ekonomik faaliyetler açısından kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla maruz kaldıkları riskler yalnızca hava trafiği hacmiyle değil aynı zamanda bulundukları yerlerin ekonomik dinamikleriyle de doğrudan ilişkilidir (Eurocontrol, 2021b, s. 36; EASA, 2022b, s. 49-50).

Tablo 1.2’de deniz taşkını nedeniyle su baskını senaryolarında Avrupa’daki 270’ten fazla kıyı ve alçak havalimanı (havaalanları ve heliportlu havalimanları) değerlendirilmiştir. Bu havalimanlarının üçte ikisinin (273’ün 178’i) 2090’a kadar olan dönemde fırtına dalgası durumunda deniz taşkını riski altında olması beklenmektedir. Şiddetli veya tam su baskını riski altındaki ECAC (European Civil Aviation Conference-Avrupa Sivil Havacılık Konferansı) havalimanlarının sayısının her iki durumda da 2090 yılına kadar (RCP8.5) %20’nin üzerinde artacağı öngörülmektedir. Bu durum iklim değişikliğinin havalimanları üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerini ve su baskını riskinin artışı vurgulamaktadır (Eurocontrol, 2021a, s. 10; 2021b, s. 25).

Tablo 1. 2

Referans (2000), 2040 ve 2090 Yıllarında (RCP4.5 ve RCP8.5) 100 Yıllık Bir Fırtına Durumunda Deniz Taşkını Riski Altındaki Havalimanlarının Sayısı

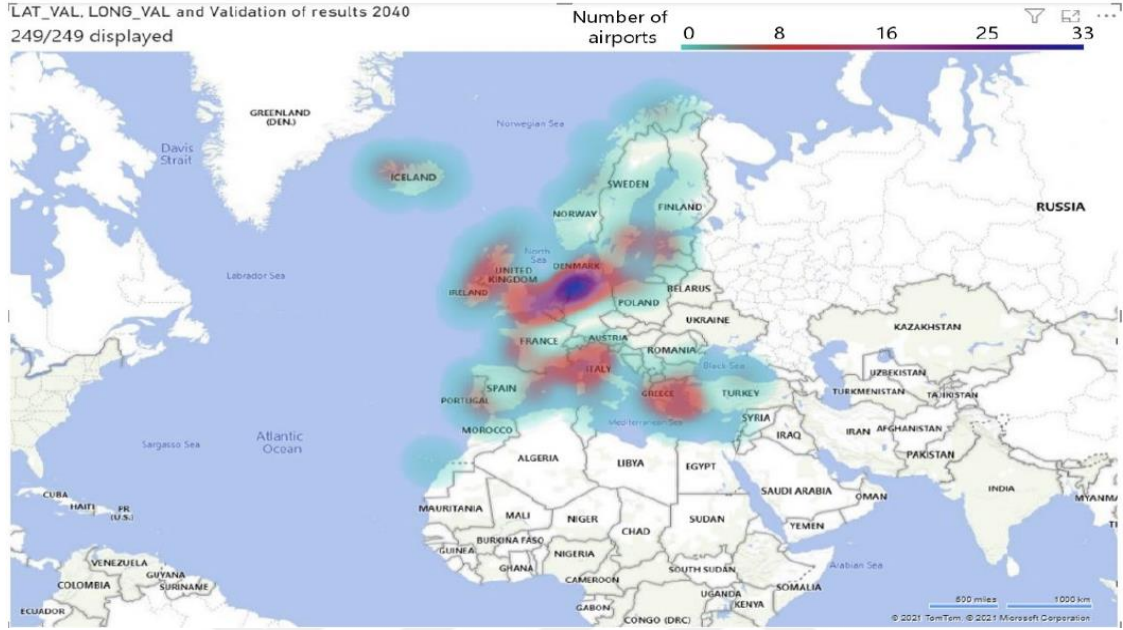
Senaryo	Su Baskını Yok	Kısmi Su Baskını	Şiddetli Su Baskını	Tam Su Baskını
2000 (Taban Çizgisi)	99	74	44	51
2040	97	71	44	56
2090 (RCP4.5)	92	67	50	59
2090 (RCP8.5)	90	63	54	61
Havalimanı sayısındaki değişim (2000'den 2090'a (RCP8.5))	 -9%	 -15%	 +23%	 +20%

Kaynak: Eurocontrol, 2021b, s. 25’ten yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 1.18’deki ısı haritası 2040 yılı için Avrupa ve çevresindeki kıyı havalimanlarının sel riski altında olma durumunu göstermektedir.

Şekil 1. 18

2040 Yılına Ait Gelecekteki Sel Riskini Modelleme Sonuçlarına Göre Avrupa Kıyı Havalimanlarının Isı Haritası



Kaynak: Eurocontrol, 2021b, s. 10.

Harita üzerinde yer alan kırmızıdan maviye değişen renk skalası havalimanlarının yoğunluğunu ve sel riski altındaki havalimanlarının sayısını ifade etmektedir. Kırmızı bölgeler en yüksek sayıda havalimanının sel riski altında olduğu yerlerdir. Özellikle Birleşik Krallık, Fransa, Belçika, Hollanda ve Almanya gibi Kuzey Denizi'ne kıyısı olan ülkelerde bu yoğunluk belirgin bir şekildedir. Mavi ve yeşil bölgeler daha az sayıda havalimanının sel riski altında olduğunu gösterir. İskandinav ülkeleri, İtalya, İspanya, Yunanistan ve Türkiye gibi ülkelerde bu durum gözlemlenmektedir. Özellikle Kuzey Denizi çevresindeki ülkeler sel riski altındaki havalimanlarının yoğunlaştığı yerlerdir. Bu havalimanlarının deniz seviyesinin yükselmesine karşı savunmasız olduğu söylenebilir.

Tablo 1.3'te Eurocontrol (2021b, s. 27) tarafından simüle edilen üç senaryoda 2090 yılına kadar Türkiye'deki 5-6 havalimanının deniz taşkını riski yaşayacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 1. 3

Türkiye'deki Havalimanlarının Deniz Taşkını Riski: 2000, 2040 ve 2090 Senaryoları

Ülke	2000 (Referans)	2040	2090 (RCP4.5)	2090 (RCP8.5)
Türkiye	5	5	6	6

Kaynak: Eurocontrol, 2021b, s. 27'den yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Yukarıda bahsedilen tehditlerin yanı sıra Eurocontrol'un '2040'ta Avrupa Havacılığı raporuna' göre, SLR'nin havalimanı operasyonları üzerinde beklenen başlıca etkileri şöyledir (Eurocontrol, 2021b, s. 10):

- Havalimanı kapasitesi ve altyapısında kalıcı veya geçici kayıplar yaşanması.
- Havalimanlarına karadan ulaşımın kalıcı veya geçici olarak sağlanamaması.
- Yer kapasitesinin yetersizliği nedeniyle rotalar üzerindeki etkiler.
- Deniz seviyesi ve fırtına dalgalarından korunmanın getirdiği maliyetler.
- Pistlerin su baskınlarına maruz kalması nedeniyle yaşanan aksaklıklar.
- Ağ kesintileri ile ilgili sorunlar.

SLR ve fırtına dalgalanmalarının etkisi özellikle alçak rakımlı ve kıyı şeridindeki havalimanı altyapıları için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu artışın etkisiyle terminaller, pistler, taksi yolları, otoparklar, yakıt depolama alanları, navigasyon ve hava trafik kontrol (ATC) ekipmanları gibi kritik altyapı unsurlarının su altında kalma olasılığı yükselmektedir (Burbidge, 2016, s. 16; Burbidge vd., 2023, s. 16).

1900'den bu yana deniz seviyesindeki 0,2 metrelik yükselme tek başına büyük bir tehdit oluşturmazken, senaryolara göre bu artışın 1 ila 5 metreye ulaşması beklenmektedir. Bu yükselme de deniz seviyesine oldukça yakın olan New York JFK (4 m), Penang Uluslararası (3 m) ve Roma Leonardo da Vinci (5 m) gibi havalimanları için kalıcı su baskınları riskini gündeme getirmektedir (Gratton vd., 2021, s. 212). Örneğin ABD'deki Des Sioux'ta bulunan Smartt Field Havalimanı 2019'da iki kez su baskınına maruz kalmış ve haziran ayındaki baskında kuzey ucu 74 inç (1,8 m) su altında kalmıştır ([http-29](#)).

Ayrıca deniz seviyesindeki yükselme ve şiddetli fırtına dalgaları havalimanı operasyonlarında büyük aksamalara yol açarak uçuş gecikmeleri, yönlendirmeler ve iptallere neden olmaktadır. Bu tür durumlar operasyonları geçici olarak askıya almak zorunda bırakabilir. Hatta aşırı koşullarda havalimanlarının kalıcı olarak kapanma riskini de doğurabilir. Böyle bir kapanma yalnızca yerel hizmetleri aksatmakla kalmaz aynı zamanda hava yolu ağının kapasitesini de etkileyerek daha geniş çaplı bir operasyonel kesintiye yol açabilir (Burbidge vd., 2023, s. 16). Özellikle Avrupa ECAC bölgesindeki orta büyüklükteki bir havalimanının yalnızca bir gün kapanması bölgedeki tüm uçuş hareketlerinin %0,5'ini etkileyebilir. Büyük havalimanlarında ise bu oran %2-3'e kadar çıkabilir (Eurocontrol, 2021a, s. 10).

Bu çerçevede, küresel sıcaklıkların 2°C artması ve deniz seviyesinde beklenen mütevazı yükselişlerle birleşmesi, 100 havalimanının deniz seviyesinin altında kalma riskini artırmaktadır. Bu durum mevcutta risk altında olan 269 havalimanı sayısının 2100 yılına kadar 572'ye ulaşabileceğini ortaya koymaktadır. Üstelik deniz seviyesindeki bu artışlarla birlikte havalimanlarına yönelik riskin 23 kat artacağı öngörülmektedir. Bu durum kıyı şeridindeki havalimanlarının küresel havayolu ağında kritik öneme sahip olmaları nedeniyle ciddi bir tehdit altında olduğunu göstermektedir (Yesudian ve Dawson, 2021, s. 10).

RCP8.5 iklim senaryosunda, deniz seviyesindeki artışın 2100 yılına kadar yıllık rota kesintilerinde 17 ila 69 kat artışa yol açacağı tahmin edilmektedir. Mevcut projeksiyonlar 1,5°C artış senaryosunda rotaların %10,1'inin risk altında olduğunu, bu riskin yüksek deniz seviyesi artışları ile %19,9'a ulaşabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla deniz seviyesindeki yükselmenin doğrudan etkilediği Amsterdam Schiphol, New York City, Miami ve San Francisco gibi önemli havalimanları milyonlarca yolcuya hizmet vererek küresel ekonomiye önemli katkıda bulunmaktadır. Bu havalimanlarının işlevselliği üzerindeki herhangi bir aksama küresel bağlantı üzerinde de büyük bir risk teşkil etmektedir (Yesudian ve Dawson, 2021, s. 10; Burbidge vd., 2023, s. 16).

Havalimanlarının sürdürülebilirliği için deniz seviyesi yükselmesi riskine karşı bilinçli ve proaktif önlemler alınması hayati önem taşımaktadır. Artan su baskını riski operasyonel aksamalara ve ekonomik kayıplara yol açarken, mühendislik çözümleri ve uyum stratejilerinin hızla uygulanması kaçınılmaz hale gelmiştir. Havalimanı işletmecilerinin yerel riskleri doğru analiz ederek gerekli önlemleri alması öncelikli olmalıdır.

1.9.6 Biyoçeşitlilikteki değişiklik

Biyoçeşitlilik değişikliklerinin havalimanları üzerindeki etkilerine dair literatürde sınırlı bilgi bulunmakla birlikte belirlenen başlıca riskler yaban hayatı göçü ve istilacı türlerin yayılmasıdır. Ayrıca ekosistemlerdeki değişimler hem yerel biyoçeşitliliği hem de yaban hayatı göç modellerini etkileyerek kuş göçü gibi yaban hayatı tehditlerinde artışa neden olabilir (ICAO, 2018, s. 51). Biyoçeşitlilik ve yaban hayatı modellerindeki bu değişiklikler kuş çarpması tehlikesini arttırmaktadır (Paraschi, 2023, s. 86). Örneğin iklim değişikliğinin bazı kuş türleri için olumsuz etkilerine rağmen bazı büyük akıncı kuşların sayılarını artırdığını ve menzillerini ve dağılımlarını değiştirdiğini göstermektedir. Genellikle havalimanlarını kullanan akıncı kuşlar (martı, sığırcık, karga, güvercin)

nüfuslarını ve dağılımlarını genişletmeye devam edecektir. Bu kuşların havalimanı çevrelerinde daha yaygın hale gelmesi operasyonel riskleri artırmaktadır. Özellikle su kuşları ve büyük kuş türleri için habitat kayıpları göç ve üreme davranışlarını değiştirecek ve bu durum ilerleyen yıllarda yaban hayatı kaynaklı tehlikelerin azalma ihtimalini de beraberinde getirecektir (ICAO, 2018, s. 52).

Biyoçeşitlilikteki değişiklikler özellikle göçmen kuşların sayısında artış ve belirli bölgelerde daha uzun süre kalmaları nedeniyle havalimanlarında kuş çarpması riskini artırabilir. Bu çarpışmalar da uçaklarda ciddi hasarlara, gecikmelere ve hatta uçuş iptallerine yol açabilir (Lopez, 2016, s. 26).

Bunun yanı sıra iklim değişikliği, havalimanı çevresindeki kuş çeşitliliği ve göç modellerinde önemli değişimlere neden olurken, yaban hayatı tehlikeleri de havacılık emniyeti üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Paraschi, 2023, s. 86). Örneğin Pasifik'te El Niño gibi iklimsel olaylar kuşların besin kaynaklarını ve göç rotalarını etkileyerek havalimanlarında istenmeyen bitki örtüsüyle birlikte bu alanlara daha fazla kuş çekilmesine neden olabilmektedir (Gratton vd., 2021, s. 212). Bu durum özellikle güvercinlerin veya diğer türlerin havalimanı sahalarını işgal etmesiyle kuş çarpışmalarını artırma potansiyeline sahiptir (ICAO, 2018, s. 53). Bu konu halen araştırılmaktadır ancak iklim değişikliği kuşların dağılımını açıkça değiştirmektedir.

İstilacı türlerin yayılması havalimanlarında yaban hayatı yönetiminin önemini daha da artırmaktadır. Örneğin Dallas/Fort Worth Uluslararası Havalimanı'nda güvercinlerin ilgisini çeken bir bezelye bitkisinin istilası havalimanına güvercin çekerek kuş çarpması riskini yükseltmiştir. Bu tür sorunlar ekosistem ve iklim değişikliği etkilerinin bölgesel farklılıklarına bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir. Örneğin Kuzey Afrika ve Orta Doğuda yağış düzenlerindeki değişiklikler çekirge sürüsü riskini artırmış ve bazı havalimanlarını çekirgelerin istila tehlikesiyle karşı karşıya bırakmıştır. Biyolojik çeşitlilikte değişiklikler yalnızca kuşları değil, aynı zamanda ekosistemin genel sağlığını da etkileyerek peyzajın zarar görmesine ve bakım gerekliliklerinin artmasına yol açabilir (ICAO, 2018, s. 53). Bu durum havalimanlarının operasyonel sürekliliğini tehdit edebilir ve maliyetlerin yanı sıra çevresel risklerin de artmasına neden olabilir. Örneğin uçuş emniyetini tehdit eden kuş çarpmalarını azaltmak için havalimanı etrafındaki doğal yaşam alanları sık sık düzenlenmeli ve yönetilmelidir. Ayrıca yükselen deniz seviyeleri, mangrovlar ve tuzlu bataklıklar gibi önemli habitatların kaybına neden olarak biyoçeşitliliğin azalmasına yol

açmaktadır (Pereira, 2016, s. 9). İklim değişikliği kaynaklı bu etkiler özellikle havalimanı çevrelerinde yer alan yaban hayatı türlerinin davranışlarını değiştirebilmektedir.

ICAO (2018, s. 53) kuş nüfusundaki herhangi bir değişikliği tespit etmek amacıyla yaban hayatı gelişiminin izlenmesini tavsiye etmiştir. Bu izleme süreci iklim değişikliğinin kuşlar ve yaban hayatı üzerindeki etkilerini anlamak, havacılığa yönelik riskleri değerlendirmek ve bu etkileri azaltmak için uyum ve esneklik önlemleri geliştirilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Öte yandan kuş çarpması riskinin azaltılması için arazi yönetimi stratejileri uygulanabilir. Örneğin biçme veya budama kısa vadeli bir çözüm olabilir. Ancak bu stratejiler bitkileri tamamen ortadan kaldırmaz ve yeniden büyümelerine izin verir. Ayrıca solucanlar ve fareler daha görünür hale geldikçe biçme ve budama işlemlerinin kuşları çekmesi de mümkündür. Herbisitler (bitki öldürücü madde) uzun vadeli bir çözüm sunabilse de yeraltı suyunun kirlenme riski nedeniyle genellikle kullanılmaz. Bunun yerine bitkilerin tamamen sökülmesi veya peyzajın bu tür bitkilerin gelişimini engelleyecek şekilde düzenlenmesi gibi daha kalıcı yöntemler tercih edilmektedir (ICAO, 2018, s. 53, 54). Ancak bu uygulamaların çevresel etkileri dikkate alınmalı ve yaban hayatı uzmanlarıyla iş birliği içinde planlanmalıdır. Kuş çarpmasından kaçınma modelleri gibi teknolojik çözümler bu süreçte önemli rol oynarken, arazi yönetimi uygulamaları da kuş kontrolü veya yaban hayatını caydırmak için kullanılabilir. Göç eden kuşlardan kaçınmak için uçuş yollarının geçici olarak değiştirilmesi de gerekebilir. Bu tür yaklaşımlar Dünya Kuş Çarpması Derneği (World Birdstrike Association-WBA) tarafından önerilen önlemler arasında yer almaktadır (ICAO, 2018, s. 53; Burbidge vd., 2023, s. 20)

Sonuç olarak iklim değişikliği, havalimanlarını birçok açıdan etkileyerek hem operasyonel hem de altyapı ile ilgili zorluklar yaratmaktadır. Örneğin sıcaklık artışları pistlerin ve apronun zarar görmesine yol açarken, aynı zamanda uçakların performansını da olumsuz etkileyebilir. Yağış ve rüzgâr paternlerindeki değişimler uçuş emniyetini tehlikeye atabilir ve operasyonel gecikmelere neden olabilir. Aşırı hava olayları uçuş iptalleri ve yolcu mağduriyetini artırırken, deniz seviyesi yükselmesi kıyı bölgelerindeki havalimanlarını doğrudan tehdit etmektedir. Biyolojik çeşitlilikteki değişiklikler ise havalimanlarının çevresel dengelerini bozabilir ve kuş çarpma risklerini artırabilir.

Söz konusu etkilerle başa çıkmak için uzun vadeli planlama ve yenilikçi yaklaşımlar gerekmektedir. Öncelikle havalimanlarında sürdürülebilir altyapı yatırımları yapılmalı,

bu yapılarda su geçirmez pist kaplamaları ve daha dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. Hava trafiği yönetimi değişen iklim koşullarına uygun şekilde düzenlenmelidir. Özellikle deniz seviyesi yükselmesi riskine karşı kıyı bölgelerindeki havalimanlarında koruyucu bariyerler ve yükseltilmiş yapı tasarımları benimsenmelidir. Çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalı ve biyolojik çeşitliliği korumak için çevresel yönetim programları uygulanmalıdır. Bu tür önlemler iklim değişikliğinin etkilerini hafifletirken havalimanlarının sürdürülebilirliğine de önemli katkılar sağlayacaktır.



İKİNCİ BÖLÜM

2 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HAVALİMANI MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

2.1 İklim Değişikliği ve Havalimanı Maliyetleri İlişkisi

İklim değişikliği havalimanlarının emniyetli, güvenli ve kesintisiz işleyişini sürdürebilmesi açısından kapsamlı uyum ve dayanıklılık stratejilerini gerekli kılmaktadır. Havalimanlarının faaliyet yapıları yalnızca yasal ve çevresel düzenlemelerden etkilenmekle kalmaz aynı zamanda bu değişikliklerin ticari ve finansal boyutlarıyla birlikte maliyetleri artırır (ACI, 2018, s. 2). Özellikle deniz seviyesindeki artış daha yüksek sıcaklıklar ve sıklaşan ekstrem hava koşulları yoğun nüfuslu kıyı kentlerinde bulunan büyük havalimanları için önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu bağlamda kritik altyapının korunması için birçok havalimanı sel baskınlarına karşı savunma mekanizmalarını geliştirirken, bazıları ise uzun vadeli iklimle dayanıklı havalimanı planlamalarına yönelmektedir (Dolman ve Vorage, 2019, s. 54).

ACI (2018) politika özetinde, havalimanlarına master planlarını oluştururken iklim değişikliğinin etkilerini dikkate almaları ve bu doğrultuda altyapı ve operasyon üzerinde potansiyel etkiler için bir uyum planı geliştirmeye yönelik risk değerlendirmesi yapmaları önerilmektedir. Özetle havalimanları küresel bağlantı ve ticaretin merkezi konumunda olmaları nedeniyle iklim değişikliğine yönelik etkili bir risk yönetimi stratejisi oluşturarak operasyon sürekliliği ve kârlılığını koruma sorumluluğu taşımaktadır.

Stratejik önlemler alınmadığı takdirde iklim değişikliği kaynaklı ekonomik etkiler önemli maliyetlere yol açabilir. İklim değişikliğinin doğurduğu maliyetler, Avrupa havalimanları için yıllık 362 milyon avro olarak tahmin edilmektedir. Özellikle aşırı hava olaylarının ekonomik yükü oldukça yüksektir. Örneğin 2010'da İzlanda'daki volkanik kül nedeniyle kapanmalar günlük yarım milyar avro maliyet yaratmıştır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 7-8). Gelecekte kutup bölgelerinde buzulların erimesiyle yeni uçuş rotalarının açılması, havacılık sektörüne çeşitli fırsatlar da sunabilir. Havalimanlarında sıcaklık, yağış, sel gibi gelecekteki iklim etkileri kadar bunların nasıl tespit edileceği ve altyapıya olan etkilerinin ölçülmesi de hayati önem taşımaktadır (NASEM, 2019, s. 34).

Tablo 2.1 iklim değişikliğinin havalimanı operasyonları ve altyapısı üzerindeki potansiyel etkilerine genel bir bakış sunmaktadır.

Tablo 2. 1

İklim Değişikliğinin Havalimanı Operasyonları ve Altyapısı Üzerindeki Etkileri

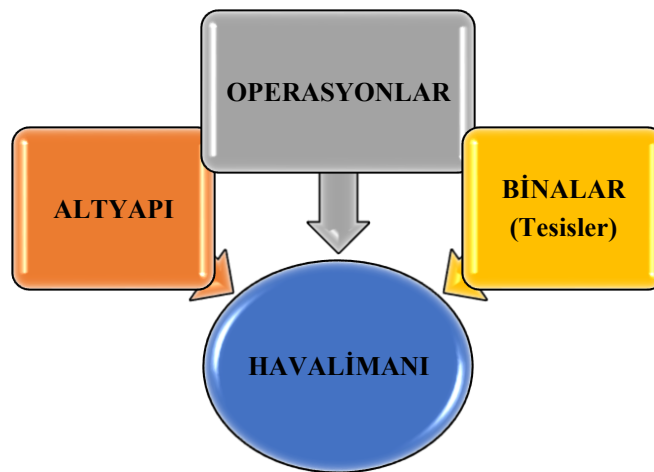
Operasyonlar	Artan talep	-İklim değişikliğinin etkilerinin artmasına
	Artan konvektif hava olayları	-Rota kapasitesi kaybına -Havalimanı / rota içi gecikmelere
	Rüzgâr hızı/yön değişiklikleri	-Pist konfigürasyonu ve hava sahası tasarımında değişikliklere -Çevresel etkiye değişikliğe (gürültü vb.)
	Yağışların artışı	-Havalimanı kapasite kaybına -Artan gecikmelere
Operasyon ve Altyapı	Artan fırtına dalgalanmaları	-Havalimanı kapasitesinde geçici kayıplara
	Artan sıcaklıklar	-Talepteki değişime -Tırmanış performansındaki değişime
Altyapı	Deniz seviyesinin yükselmesi	-Havalimanı kapasitesinde kalıcı kayıplara
		
Simdi 2030 2040 2050		

Kaynak: Burbidge, 2016, s. 16'dan yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 2.1'deki tahmin bölgesel farklılıkları, gelecekteki emisyon senaryoları ve iklim hassasiyetlerini içermemektedir. Ayrıca zaman çizelgesi Avrupa için yapılan analizlere dayandığından diğer bölgelerde farklı sonuçlar doğurabilir. Tablo 2.1'de görüldüğü üzere 2030-2050 yıllarında bu etkilerin yoğunlaşması beklenmektedir (Burbidge, 2016, s. 16).

Şekil 2. 1

Bir Havalimanının İklim Değişikliğinden Etkilenebilecek Unsurları



Kaynak: Lopez, 2016, s. 27; Smaghe ve Anelli, 2023, s. 7'den yararlanılarak yazar tarafından uyarlanmıştır.

Şekil 2.1’de ise, bir havalimanının iklim değişikliğinden etkilenebilecek unsurları üç ana başlık altında toplanmıştır: altyapı (pistler, taksiyolları, otoparklar, yakıt depoları), binalar (terminal, kontrol kulesi, vb.) ve operasyonlar (uçak kalkış/iniş, ikram hizmetleri).

2.2 Havalimanlarında İklim Değişikliği Kaynaklı Maliyet Etkileri

Bu bölümde iklim değişikliğinin havalimanı maliyetlerine etkisi altyapı, binalar ve operasyonlar olmak üzere üç ana grupta değerlendirilecek ve maliyet azaltma ile uyum stratejileri üzerinde durulacaktır.

2.2.1 Altyapı maliyetleri

Yolcu ve yük taşımacılığı aracılığıyla ulusal ekonomiye önemli katkı sağlayan havalimanları için, iklim değişikliğiyle ortaya çıkan olumsuz etkiler altyapı maliyetlerini artırarak önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır. İklim değişikliğinin yol açtığı hava olaylarının artışı bu altyapıların yapısal performansını zayıflatmakta ve işletme maliyetlerini yükseltmektedir (Flanagan vd., 2018, s. 3). Ne var ki bu etkiler genellikle altyapı tasarımında göz ardı edilmiştir. Bunun sonucu olarak da mevcut yapılar yeni iklim koşullarına karşı savunmasız hale gelmektedir. Özellikle deniz seviyesinin yükselmesi, aşırı hava olayları, sıcaklık artışları ve yağış değişimleri bu savunmasızlığı daha da artırarak iklim değişikliğinin altyapılar üzerindeki etkilerini belirginleştirmektedir.

2.2.1.1 Deniz seviyesinin yükselmesiyle ilişkili maliyetler

Mevcut iklim koşullarında deniz seviyesinin havalimanı altyapılarına etkisi düşük olsa da iklim projeksiyonları küresel ortalama deniz seviyesinin zamanla daha da yükseleceğini göstermektedir (ICAO, 2018, s. 13). Bu etkiler coğrafi faktörlere bağlı olarak bazı bölgelerin diğerlerine göre daha yüksek risk altında olmasına neden olmaktadır. Özellikle alçak kıyılardaki havalimanları fırtına dalgaları ve su baskınları gibi iklim olayları nedeniyle ciddi tehdit altındadır. Bu olaylar havalimanlarındaki havacılık seyrüsefer ve iletişim ekipmanlarına zarar verebilir ve kara ulaşımını kesintiye uğratarak havalimanına erişimi zorlaştırabilir (ICAO, 2018, s. 20).

Deniz seviyesinin yükselmesi gibi uzun vadeli süreçler havalimanlarının finansal yükünü de artırmaktadır. Örneğin 2100 yılına kadar deniz seviyesi yükselme riskini mevcut seviyelerde tutmanın maliyeti RCP8.5 senaryosunda 39 milyar dolara, en yüksek senaryoda 57 milyar dolara kadar çıkabilir. Bu yüksek maliyetler büyük havalimanlarının korunmasını daha pahalı hale getirmektedir (Yesudian ve Dawson, 2021, s. 10).

Özellikle Gelişmekte Olan Küçük Ada Devletlerinde (Small Island Developing States-SIDS) deniz seviyesindeki artış havacılık altyapısı üzerinde daha büyük ekonomik ve emniyetle ilişkili etkilere yol açabilir. Ada dışı ülkelere kıyasla bu bölgelerdeki havacılık altyapısına olan bağımlılık, sorunları daha da derinleştirebilir (Eurocontrol, 2021b, s. 15). ICAO (2018) raporunda belirtilen potansiyel etkiler kıyı havalimanlarındaki altyapının sular altında kalması, kara ulaşımının engellenmesi ve su baskınları gibi sorunların artmasına yol açan riskleri daha da büyötmektedir. Bu durum sektör çalışanlarının, yolcuların ve yüklerin havalimanına erişimini engelleyebilir ve altyapının daha fazla zarar görmesine yol açabilir. Bu riskler göz önünde bulundurulduğunda havalimanı altyapılarının yeniden tasarımı ve güçlendirilmesi hem zor hem de maliyetli olacaktır.

2.2.1.2 Sıcaklık artışlarıyla ilişkili maliyetler

Bir başka iklim değışikliğı etkisi olan aşırı sıcaklıklar asfalt yüzeylerde ısı hasarına yol açarak pist, taksiyolu ve apronların işlevselliğini zayıflatabilir. Bu da sürekli bakım gerekliliğı doğurarak bakım maliyetlerinde artışa neden olur (Dolman ve Vorage, 2019, s. 59). Sıcaklık artışının bir diğer etkisi de havalimanlarında daha uzun pist ihtiyacının ortaya çıkmasıdır. Orta ve uzun menzilli uçuşların gerçekleştirilmesi için pistlerin uzatılması gerekebilir. Ancak bu durum özellikle alan kısıtlaması olan havalimanlarında önemli maliyetler doğuracaktır (Coffel ve Horton, 2015, s. 99). Örneğın Türkiye'deki havalimanlarında yapılan bir araştırmaya göre, yaz sıcaklıklarında artış kalkış mesafesini %4-7 oranında arttırdığı, tırmanma oranlarını %3-5 azalttığı yönündedir (Yalçınkaya-Çağlayan ve Demirhan, 2024, s. 107). Bu durum mevcut pistlerin yetersiz kalmasına ve yeni pistler için kamulaştırma gibi ek maliyetlerin ortaya çıkmasına yol açacaktır.

Donmuş toprakların çözölmesi de havalimanı pistinin yapısını zayıflatabilir. Bunlar donma ve çözölme döngüleri nedeniyle zamanla yer hareketlerine yol açar. Bu da pist yüzeyinde çatlama, çöküntü ve deformasyonlara neden olabilir. Bu tür yapısal bozulmalar pistin kullanılabilirliğini tehdit ederek uçuş emniyetini sağlamak adına yenileme ve güçlendirme çalışmalarını gerekli kılar. Ayrıca yer altı koşullarını iyileştirmek ve pistin dayanıklılığını artırmak için özel teknikler ve malzemeler kullanılması gerektiğinden, bu durum yüksek maliyetlere yol açabilir (ICAO, 2018, s. 57).

2.2.1.3 Aşırı hava olaylarıyla ilişkili maliyetler

Aşırı hava olayları havalimanı altyapısında büyük zararlara yol açarak operasyonel süreçlerin aksamasına neden olabilir. Özellikle fırtınaların artan şiddeti altyapıda

hasarlara yol açarak bakım gerekliliğini artırır ve bu da gecikmelerden uçuş iptallerine kadar uzanan bir dizi aksaklığa yol açacaktır (Burbidge, 2016, s. 16; ICAO, 2018, s. 56; 2019, s. 256). Havalimanlarının sabit altyapıları yıkıcı hava koşullarına karşı savunmasız olduğu için iklim değişikliğinin potansiyel sonuçlarına karşı da özellikle risk altındadır (Burbidge, 2016, s. 14, 15). Bu bağlamda 2020 yılında büyük doğal afetlerin sigortalı kayıpları 78 milyar ABD Doları olarak tahmin edilmiştir. Bu tahmin, 2017 yılındaki 143 milyar ABD Doları'lık zirveye kıyasla daha düşük olsa da 10 yıllık ortalamanın %17 üzerinde bir ekonomik etki yaratmıştır (http-30).

Havacılık altyapısının dayanıklı olması için inşa edilen sistemler genellikle 70 yıl ömür beklentisine sahiptir. Ancak iklim değişikliğinin etkileri bu süre zarfında öngörülen stres seviyelerinin aşılmasına neden olabilir. Bu durum altyapıların dayanıklılığını hızla azaltarak bakım gereksinimlerini artıracaktır. Özellikle aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetindeki artış, altyapı üzerinde daha çok baskı oluşturarak bozulma hızını artıracaktır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 9; ICAO, 2018, s. 13). Altyapılarda bozulmalar, daha sık ve pahalı bakım gereksinimine yol açacaktır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 3).

2.2.1.4 Yağış rejimi değişiklikleriyle ilişkili maliyetler

Kış mevsiminde sıcaklık artışları ile birlikte artan yağışlar havalimanı operasyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bağlamda kar erimesi ve donmuş yağmur yüzeylerde sürtünme kaybına neden olarak operasyonel koşulları olumsuz etkileyebilir. Buna ek olarak ani yağmurlar ve artan yağış miktarı drenaj sistemlerini zorlayarak pistlerin, apronların ve diğer altyapıların su baskınına uğramasına yol açabilir (ICAO, 2016, s. 211). Bu durum, özellikle eski altyapıların tasarımında iklim değişikliği koşullarının dikkate alınmaması nedeniyle ciddi sorunlara yol açmaktadır (ICAO, 2019, s. 257). Mevcut altyapılar artan yağışlar ve deniz seviyesindeki yükselme nedeniyle giderek daha fazla stres altına girmekte, bu da su baskını riskini artırmaktadır. Ayrıca elektrik ekipmanları ve yeraltı altyapısı gibi kritik unsurlar da bu tür doğal afetlerden etkilenmekte ve ek maliyetlere yol açmaktadır (Burbidge, 2016, s. 15).

Söz konusu etkiler altyapının mevcut zorluklarının ötesine geçerek daha geniş kapsamlı operasyon ve maliyet odaklı sorunları beraberinde getirmektedir. Artan deniz seviyesi, aşırı sıcaklıklar ve şiddetli hava olayları mevcut altyapıların dayanıklılığını zayıflatarak riskleri artırmaktadır. Özellikle kıyı bölgelerindeki havalimanları su baskını ve fırtınaların etkisiyle daha büyük tehditler altındadır. Eski altyapıların iklim değişikliği

koşullarına uyum sağlamaması bakım ve onarım maliyetlerinin artmasına yol açarken, daha uzun pistler ve güçlendirilmiş yapılar gibi önlemler de ek finansal yük getirmektedir. Bu unsurlar, havalimanı işletmelerinin karşılaştığı ekonomik zorlukları derinleştirirken, altyapı eksiklikleri nedeniyle sürdürülebilirliği de zorlaştırmaktadır.

2.2.2 Bina/Tesis maliyetleri

İklim değişikliği, havalimanı altyapısı ve operasyonları üzerinde olduğu kadar, bina ve tesisler üzerinde de derin etkiler yaratmaktadır. Özellikle terminal binaları, hava trafik kontrol ve iletişim kuleleri, seyrüsefer sistemleri iklim değişikliği etkilerine karşı savunmasız yapılar olarak öne çıkmaktadırlar (Voskaki vd., 2023, s. 657).

Öncelikle, artan sıcaklıklar sadece enerji maliyetlerini yükseltmekle kalmaz, aynı zamanda yaz aylarında bina ve tesislerin daha fazla soğutulması gerekliliğini de doğurur. Serin iklimler için tasarlanan bazı binalar uzun süreli sıcak hava dalgalarına karşı direnç gösteremeyebilir. Bu durum, ekipmanların aşırı ısınması gibi teknik sorunlara yol açarken, aynı zamanda iç mekân konforunu azaltarak sağlık problemlerine neden olabilir. Sıcak hava havalimanlarında sağlık risklerine yol açabilen önemli bir faktör olup, aşırı sıcak günlerin artışıyla bu durum daha da kötüleşebilir (ICAO, 2018, s. 57). Özellikle aşırı sıcak günlerde mevcut soğutma sistemleri yetersiz kalabilir. Bu durum havalimanlarında bina ve tesislerin soğutulması için ek soğutma sistemlerinin devreye alınmasını veya mevcut soğutma sistemlerinin yenilenmesini zorunlu hale getirebilir. Bu tür düzenlemeler beraberinde önemli yatırım maliyetlerini de getirecektir. Bunun yanında kış aylarında su borularının patlaması veya iç ortam sıcaklıklarının korunamaması gibi sorunlar altyapıların güvenilirliğini tehdit edecektir (ICAO, 2018, s. 25).

Binaların soğutulması için klima kullanımında artış ve doğal havalandırmanın entegre edilmesi, daha etkili bir yaklaşım gereksinimini gerektirebilir. Bu tür uygulamalar hem yeni altyapı projelerinde hem de mevcutların yeniden tasarımı veya güçlendirilmesinde önemli maliyet artışlarına neden olabilir. Ek olarak sıcaklık artışlarının yer personeli üzerinde etkileri ve havalimanı soğutma tekniklerine yönelik eksik bilgilerin giderilmesi gerekliliği, bu alanda kapsamlı araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durum yalnızca soğutma sistemlerine yönelik harcamaların değil aynı zamanda araştırma ve geliştirme maliyetlerinin de artmasına yol açacaktır (Burbidge vd., 2023, s. 16).

Bunun yanı sıra yükselen sıcaklık değerleri ve daha yoğun yağışlar bina malzemelerinin dayanıklılığını olumsuz etkileyerek bakım ihtiyaçlarını artırabilir. Daha sık ve yoğun

yaşanan yağmur olayları drenaj sistemlerinin yetersiz kalmasına ve su baskınlarına neden olarak terminal binalarını ve diğer tesisleri etkileyebilir (Yair, 2018, s. 3-4).

Havalimanları diğer çevresel tehditlere de hazırlıklı olmalıdır. Ormanlık alanlara yakın konumlanan havalimanları artan orman yangını riskiyle karşı karşıya kalabilirken kıyı havalimanlarında su baskınları, toprak kayması ve altyapı zararları gibi tehlikelerle mücadele zorunluluğu ortaya çıkabilir. Ayrıca yıldırım çarpması gibi olaylar da tesis ve cihazlardaki bakım sıklığını artırarak ek maliyetler doğurabilir (ICAO, 2018, s. 19-20).

Aynı şekilde zemin özellikleriyle bağlantılı olarak kilin şişmesi veya büzülmesi gibi olaylar terminal ve kontrol kulesi gibi önemli yapıların güvenliğini tehlikeye atabilir (Smagghe ve Anelli, 2023, s. 8).

Bununla birlikte aşırı hava koşulları veya beklenmedik doğal afetler sonucu hasar gören terminal binaları ve yolcu köprüleri gibi hassas ekipmanların yeniden yapılandırılması sırasında operasyonel sürekliliği sağlamak zor olabilir. Bu durum sadece fiziksel hasarın giderilmesi için yapılacak harcamaları artırmakla kalmaz aynı zamanda hizmet kesintileri nedeniyle gelir kaybı riski de yaratır. Özellikle yoğun yolcu trafiği olan havalimanlarında operasyonel kesintilerin yol açtığı finansal kayıplar uzun vadede işletmecilerin mali sürdürülebilirliğini tehdit etme potansiyeline sahiptir. Bu etkiler sonucunda havalimanı bina ve tesislerinde meydana gelecek hasarlar bakım ve enerji harcamalarındaki artışlarla birlikte toplam işletme maliyetlerinde belirgin bir yükselmeye yol açacaktır. Ayrıca iklim değişikliğinin havalimanları üzerindeki etkileri mevcut bina ve tesis altyapısının zamanla yetersiz hale gelmesine ve dolayısıyla daha sık bakım gereksinimlerinin ortaya çıkmasına neden olabilir. Dahası enerji tüketimindeki artış havalimanı işletmelerinin maliyet yapısında kalıcı değişikliklere yol açabilir. Bu durum havalimanlarının finansal sürdürülebilirliği üzerinde baskı oluşturur ve uzun vadede önemli mali yükler getirebilir (Burbidge, 2016, s. 16; Burbidge vd., 2023, s. 15).

İklim değişikliğinin etkileriyle yaşanacak bu tür maliyet artışları havalimanlarının stratejik planlamalarında büyük bir belirsizlik oluşturabilir. Örneğin 2011 yılında Japonya’da yaşanan tsunami sonrasında Sendai Uluslararası Havalimanı’nın yeniden inşasında ortaya çıkan maliyetler ve süreç zorlukları, bu tür durumların ekonomik boyutunun ne kadar geniş olabileceğini göz önüne sermektedir (SLOCAT Partnership, 2023, s. 38). Özellikle doğal afetlere maruz kalan havalimanlarında yeniden yapılanma

süreçleri sırasında yaşanan finansal baskılar diğer havalimanları için de olası bir mali yük senaryosunu temsil edebilir.

İklim değişikliğinin etkileri bina ve tesislerde maliyet odaklı baskılar yaratmaktadır. Artan sıcaklık enerji tüketimi ve bakım gereksinimlerini artırırken, yoğun yağışlar ve diğer çevresel tehditler bina ve tesislerin dayanıklılığını zayıflatmaktadır. Bu durum aksamalara ve yolcu memnuniyetsizliğine yol açmakla kalmaz aynı zamanda havalimanı işletmelerine uzun vadeli mali yükler getirir. İklim koşullarına bağlı hasarlar ve artan bakım-onarım ihtiyacı toplam işletme maliyetlerini önemli ölçüde yükselterek sektörde ekonomik baskı oluşturmaktadır. Bu baskılar özellikle daha uzun kullanım ömrüne sahip tesislerde daha kısa vadede bakım ve onarım gereksinimini artırarak maliyetlerin yükselmesine yol açmaktadır.

2.2.3 Operasyonel maliyetler

İklim değişikliği havalimanı operasyonlarını ve maliyetlerini doğrudan etkileyen önemli bir faktör haline gelmiştir. Artan fırtına, yıldırım, dolu, şiddetli yağmur ve sağanak yağış gibi aşırı hava olayları sadece uçuş sırasında değil, havacılığın yer operasyonlarında da ciddi riskler yaratmaktadır. Özellikle büyük şehirlerin yakınında konumlanmış hava yolculuğu merkezleri kentsel etkilerle birleşen gök gürültülü fırtına ve yıldırım vakalarının yoğunlaşmasıyla daha fazla zorlanmaktadır. Bu durum uçuş gecikmeleri, iptaller ve rota kesintileri gibi aksaklıkların yanı sıra operasyonel maliyetlerin belirgin şekilde artmasına neden olmaktadır (Yair, 2018, s. 3). Özellikle aşırı hava olayları, sel ve su baskınları, rüzgâr, yağış ve görüş koşulları, sıcaklık artışları, turizm ve talep değişiklikleri ve biyoçeşitlilikteki değişiklik ve diğer etkiler bu savunmasızlığı artırarak iklim değişikliğinin havalimanı operasyonları üzerinde etkilerini derinleştirmektedir.

2.2.3.1 Aşırı hava olaylarından kaynaklanan maliyetler

Havalimanı operasyonları aşırı hava olaylarına bağlı risklerden ciddi şekilde etkilenmekte ve bu durum da işletme maliyetlerindeki artışı beraberinde getirmektedir. Özellikle sel, kar, fırtına ve aşırı soğuk gibi olaylar operasyonel aksamalar, uçuş iptalleri ve bakım masraflarında önemli artışlara neden olmaktadır (Christodoulou and Demirel, 2018, s. 3; Flanagan vd., 2018, s. 7). Şiddetli fırtınalar sırasında uçuşların ertelenmesi veya iptal edilmesi uçakların aktif hücrelerden kaçınarak farklı rotalara yönlendirilmesi ya da alternatif havalimanlarına inmek zorunda kalması gibi operasyonel sorunlar da sıkça yaşanmaktadır (ICAO, 2018, s. 56; Smagghe and Anelli, 2023, s. 8; http-27). Ayrıca

buzlanma gibi aşırı soğuk hava koşulları uçuş emniyeti için gerekli olan ve uzun süren buz çözme işlemleri nedeniyle ek gecikmelere sebep olmaktadır (Burbidge et al., 2023, s. 15). Bu tür gecikme ve iptallerin yalnızca Avrupa'daki maliyetleri 2019 yılında 2,2 milyar Euro olarak tahmin edilmiş olup, bu miktarın büyük kısmı rota içi Hava Trafik Akışı Yönetimi (ATFM) gecikmeleri ve yolcu zaman kaybı maliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Eurocontrol, 2021a, s. 8).

İklim değişikliğine bağlı olarak aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetinin artması bu sorunların gelecekte daha da büyüyeceğini göstermektedir. Örneğin 2050 yılına kadar uçuş gecikmeleri ve iptallerin 2014'e kıyasla %25 ila %49,3 oranında artacağı tahmin edilmektedir (Burbidge vd., 2023, s. 15). Özellikle yaz aylarında görülen yoğun trafikle birleşen konvektif hava olayları Avrupa'daki merkezi havalimanlarının birden fazlasını etkileyebilir ve havalimanlarının kapasitelerini aşmasına neden olabilir veya kapanmalara kadar gidebilir (Burbidge, 2016, s. 16). Örneğin Londra Heathrow Havalimanı'nda yapılan bir çalışma havalimanının bir saatlik kapanmasının 700.000 ila 1.250.000 Euro arasında maliyete neden olacağını göstermiştir (Paraschi, 2023, s. 88). Bu veriler aşırı hava olaylarının havalimanları üzerindeki ekonomik etkisinin milyarlarca avroya ulaşabileceğini ve bu durumun operasyonel stratejilere entegre edilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır (ICAO, 2019, s. 268).

2.2.3.2 Sel ve su baskınlarından kaynaklanan maliyetler

Aşırı hava olayları ile birlikte gelen sel ve su baskınlarının etkileri havalimanlarında operasyonel aksamalar ve yüksek maliyetler gibi ciddi sonuçlar doğurabilir. Özellikle deniz seviyesi yükselmesi (Sea Level Rise-SLR) ve sel riski gibi tehditlere karşı savunmasız olan Gelişmekte Olan Küçük Ada Devletleri (SIDS), havacılığa olan bağımlılıkları nedeniyle ekonomik etkileri daha fazla hissedebilirler (Eurocontrol, 2021b, s. 15). Son on yılda, dünya genelinde 20'den fazla büyük uluslararası havalimanının su baskını yüzünden kapanması ve uçuşların iptal edilmesi, bu tehditlerin somut örneklerinden biridir. Bu durum bir havalimanının su baskını nedeniyle kapanmasının operasyonel kesintiye bağlı olarak günlük maliyetleri 1 milyon Euro ile 27 milyon Euro arasında değişmesine yol açtığını göstermektedir (Eurocontrol, 2021b, s. 10).

Bu maliyetler sel riskinin havalimanları için ne kadar ciddi olabileceğini gösterirken, operasyonel müdahaleler bazen etkilerin uçuşların yönlendirilmesi gereken yerel veya uluslararası ağa yayılmasına neden olabilmektedir. Havalimanının tamamen veya kısmen

kapanmasıyla, orta ölçekli bir havalimanında günlük etki 2-3 milyon Euro, büyük havalimanlarında ise 15-18 milyon Euro arasında değişen maliyetlere yol açabilmektedir (Eurocontrol, 2021b, s. 30, 36; EASA, 2022b, s. 49-50; Paraschi, 2023, s. 88).

Bununla birlikte sel ve su baskınları ile gelen operasyonel kesintilerin mali etkisi sadece uçuş iptalleri veya yönlendirmelerle sınırlı kalmaz. Aynı zamanda havacılık işletme geliri kaybı (iniş ve kalkış ücretlerinin tahsil edilememesi), havacılık dışı işletme geliri kaybı ve faaliyet dışı gelir kaybı gibi değişken gelir kayıplarına da yol açmaktadır. Kısmi su baskınları durumunda ise operasyonlar hızla yeniden başlatılabilir ve böylece tam kapanmaya kıyasla maliyet etkileri daha az olabilir.

Havalimanlarının yaşadığı su baskınlarında fiziksel zararlar benzer olsa da her havalimanının özelliklerine bağlı olarak farklı mali sonuçlar ortaya çıkabilmektedir (Eurocontrol, 2021b, s. 35). Örneğin Kansai Havalimanı'nda meydana gelen sel felaketi yalnızca havalimanını yarım milyar ABD dolarından fazla ekonomik kayba uğratmakla kalmamış aynı zamanda ülkede toplam 800 uçuşun iptali ve binlerce yolcunun mahsur kalması gibi zincirleme etkilere de yol açmıştır (ICAO, 2019, s. 259; Bayazitoğlu ve Güngör, 2023, s. 43; http-31). Benzer şekilde ECAC bölgesinde tam veya kısmi su baskınlarının etkilediği büyük havalimanlarında günlük yaklaşık 800 hareketin ve 100.000 yolcunun etkilendiği tahmin edilmektedir (Eurocontrol, 2021b, s. 33). Bu riskler sadece yerel ekonomiler için değil aynı zamanda uluslararası hava trafik yönetimi sisteminin verimliliği için de ciddi tehditler oluşturabilmektedir. Bu durumun mali sonuçları havalimanlarının ölçeğine, konumuna ve altyapı özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterebilmektedir (Eurocontrol, 2021a, s. 10; Smagghe ve Anelli, 2023, s. 10).

2.2.3.3 Rüzgâr, yağış ve görüş koşullarından kaynaklanan maliyetler

Havalimanları rüzgâr, yağış ve görüş koşullarındaki değişikliklerden doğrudan etkilenmektedir. Yoğun yağmur, kar ve fırtına gibi olaylar operasyonel aksamalara yol açarak maliyetlerin artmasına neden olmaktadır (Paraschi, 2023, s. 86). Örneğin 2010-2011 kışında Avrupa'da yaşanan yoğun kar yağışı birçok havalimanında operasyonların durmasına ve binlerce uçuşun iptal edilmesine neden olarak büyük gelir kayıplarına yol açmıştır. Benzer şekilde Dallas/Fort Worth Havalimanı'nda Şubat 2011'de kar yağışı sırasında pist ve taksi yolları zamanında temizlenememiş, bu durum 300'den fazla uçuşun iptal edilmesine ve büyük ekonomik kayıplara neden olmuştur (ICAO, 2018, s. 27;

Flanagan vd., 2018, s. 7). Ayrıca, artan yağışlar altyapı ve pistlerde hasara yol açarak operasyonlarda aksamalara neden olup kapasite düşüşüne, gecikmelere ve iptallere yol açabilir. Bu durum hem kaybedilen gelirleri hem de artan işletme maliyetlerini beraberinde getirir (ICAO, 2018, s. 57).

Diğer yandan rüzgâr koşulları uçak operasyonlarını doğrudan etkileyebilir. Rüzgârın yönü ve hızı iniş-kalkış için kullanılacak pistleri belirlerken, fırtına ve şimşekler türbülans oluşturarak uçuş programlarında aksamalara neden olabilir (http-27). Özellikle rüzgâr yönündeki değişiklikler ve aşırı rüzgârlar pistlerin kullanılabilirliğini azaltarak çapraz rüzgâr nedeniyle operasyonlarının azalmasına yol açabilir (Dolman and Vorage, 2019, s. 60). Yan ve kuyruk rüzgârlarının daha sık görülmesi ise pistlerin geçici olarak kapanmasına, yabancı cisim riskinin artmasına ve kalkış-varış dakikliğinin düşmesine neden olabilir (ICAO, 2018, s. 59; Smagghe and Anelli, 2023, s. 8). Bu durum uçuş iptalleri ve gecikmelerle birlikte ek maliyetleri de doğurabilir (ICAO, 2018, s. 59). Bu örnekler rüzgâr ve yağışların havalimanı operasyonlarına getirdiği maliyetleri açıkça ortaya koyarken, değişken iklim koşullarının operasyonel aksaklıkları artırarak yönetim ve işletme maliyetlerinin yükselmesine ve kâr kayıplarına yol açtığını göstermektedir (Valente, 2023, s. 1).

Önceki rüzgâr ve yağış türlerinin aksine sisin etkileri, özellikle kış aylarında yüksek nem ve düşük sıcaklıklarla birleşip yoğunlaşarak havalimanlarında operasyonel süreçleri daha da zorlaştırabilir. Düşük görüş mesafesi aletli yaklaşma ihtiyacını artırır ve düşük görüş prosedürlerinin daha sık uygulanmasını gerektirir (ICAO, 2018, s. 27; Dolman and Vorage, 2019, s. 60). Bu tür durumlarda uçuş operasyonlarının sürdürülebilmesi için pist başlarına aletli yaklaşma sistemleri kurulması veya mevcut sistemlerin daha gelişmiş olanlarla değiştirilmesi gerekebilir. Örneğin CAT II aletli yaklaşma sistemi, CAT I'e kıyasla daha düşük görüş koşullarında uçakların iniş yapabilmesini sağlar (Civil Aviation Safety Authority [CASA], 2021, s. 1-2). Ancak aletli yaklaşma sistemlerinin kullanımı uzun taksi sürelerine yol açacak olması nedeniyle pist kullanım oranını azaltabilir. Bu sebeple bu sistemlerin kurulumu ihtiyaçlar ve verimlilik dikkate alınarak planlanmalıdır.

Sis, uçakların kalkış ve iniş için uygun alan bulmasını zorlaştırarak ve uçakların taksi süresini arttırarak uçuş trafiğini yavaşlatabilir. Örneğin 2023 kışında Delhi'nin Indira Gandhi Uluslararası Havalimanı'nda etkili olan yoğun sis uçuş gecikmelerine ve önemli mali kayıplara neden olmuştur (http-24; http-26). Özetle sis, uçuşların emniyetini ve

havalimanı kapasitesini olumsuz etkileyerek operasyonel aksamalara yol açarken, coğrafi faktörlerin sisin yoğunluğunu ve dağılmasını etkilemesi bu tür olayların etkilerini öngörmeyi zorlaştırarak beklenmeyen aksamalara da neden olabilir. Bu da uçuşların ertelenmesi veya iptal edilmesiyle kaybedilen gelirler ve operasyon maliyetleri gibi sonuçlar doğurur (ICAO, 2018, s. 27; Dolman ve Vorage, 2019, s. 60; http-27).

2.2.3.4 Sıcaklık artışlarından kaynaklanan maliyetler

Hava sıcaklığındaki artış, havalimanı operasyonlarını önemli ölçüde etkiler. Sıcaklık yükseldikçe, havanın yoğunluğu azalır ve uçakların kaldırma kuvvetinde düşüş meydana gelir. Bu durum, kalkış için gereken itiş gücünü artırarak kalkış mesafesinin uzamasına ve maksimum kalkış ağırlığının (Maximum Take-off Weight-MTOW) düşmesine neden olur. Sonuç olarak, yolcu, kargo ve/veya yakıt kapasitesi kısıtlanarak, uçakların sertifikalı sıcaklık-irtifa zarfının aşılması riski ortaya çıkar. Operasyonel sınırlamalar nedeniyle havayolu şirketleri filodaki uçakların performans kısıtları yüzünden bazı uçuşları iptal etmek zorunda kalabilir. Bu da havalimanı için önemli miktarda uçuş gelir kaybına yol açacaktır (Dolman and Vorage, 2019, s. 60; Burbidge vd., 2023, s. 15).

Ayrıca kuraklık ve sıcak hava dalgalarının orman yangınları gibi iklimsel olaylarla birleşerek görüş mesafesinin azalmasına neden olması uçuş emniyeti ve operasyonel verimlilik üzerinde ek riskler oluşturur. Bunun yanı sıra sıcak hava dalgaları sırasında apronda çalışma koşullarının zorlaşması personel devamsızlıklarını artırabilir ve operasyonel verimliliği düşebilir (Smagghe ve Anelli, 2023, s. 8). Özetle sıcaklık artışları uçuş performansındaki kısıtlamalar ve emniyet riskleriyle birlikte havalimanı operasyonlarının maliyetlerini artırabilir ve gelirlerini olumsuz yönde etkileyebilir.

2.2.3.5 Turizm ve talep tercihi değişikliklerinden kaynaklanan maliyetler

Diğer yandan turizm odaklı hava yolcu trafiğinin büyük bir kısmı iklim koşullarından doğrudan etkilenmekte ve bu değişimler havalimanı operasyonlarını önemli ölçüde şekillendirebilmektedir. Özellikle daha yüksek sıcaklıklar, aşırı hava koşulları veya kar yağışının azalması belirli turistik destinasyonların cazibesini azaltarak trafik yoğunluğunu farklı bölgelere veya mevsimlere kaydırabilir. Bu durum havalimanlarının kapasite ve ATC iş yükünü olumlu ya da olumsuz etkileyebilir ve havalimanı ile havayolu planlamasında önemli değişikliklere neden olabilir (Burbidge vd., 2023, s. 21). Örneğin artan sıcaklıkların 2050 yılına kadar Akdeniz kıyısındaki turizm potansiyelini düşürmesi ve daha elverişli iklim koşullarına sahip olacak Kuzey Batı Avrupa'ya doğru bir kaymaya

yol açması beklenmektedir. Bu değişim kuzeydeki turizm odaklı havalimanlarında potansiyel trafik ve yolcu artışına neden olacaktır (Eurocontrol, 2021a, s. 12). Sıcaklıkların artışı popüler turistik destinasyonlarda hava yolculuğu talebinde değişikliklere yol açarak havalimanları için gelir akışlarında azalma veya artışa neden olabilir (ICAO, 2018, s. 57). Örneğin kayak koşullarını olumsuz etkileyen daha yüksek sıcaklıklar kayak sezonunun kısalmasına ve dolayısıyla kış turizmi talebinde azalmaya yol açacaktır (Smagghe ve Anelli, 2023, s. 8).

Buna ek olarak yağış rejimindeki değişikliklerin bazı bölgelerde kuraklığa yol açması özellikle suyun havacılık operasyonları için kritik olduğu durumlarda ticari ve ekonomik zorluklara neden olabilir (ICAO, 2018, s. 57). Ayrıca hem yerleşik hem de gelişmekte olan pazarlarda beklenen trafik artışı operasyonel baskıyı daha da artırabilir. Özellikle Güney Doğu ve Orta Avrupa gibi bölgelerde yıllık %5-6 oranında bir büyüme öngörülürken aynı zamanda bu bölgelerin iklim değişikliğinin en şiddetli etkilerine maruz kalma riski de bulunmaktadır. Bu da artan talebi karşılamak için gereken önlemlerle birlikte yüksek sıcaklıklar ve aşırı hava koşulları gibi iklimsel zorluklarla mücadele edilmesini zorunlu kılmaktadır (Burbidge, 2016, s. 17). Sonuç olarak iklim değişikliğinin turizm ve yolcu talebi üzerindeki etkileri havalimanlarının operasyonlarını ve uzun vadeli planlamalarını doğrudan etkilemektedir. Bu etkiler operasyonel verimlilikten gelir kaybına kadar geniş bir yelpazede ekonomik zorluklara yol açacaktır.

2.2.3.6 Biyoçeşitlilikteki değişiklik ve diğer etkilerden kaynaklanan

maliyetler

Değişen iklimle birlikte biyoçeşitlilikteki değişiklikler ve çevresel faktörler de daha geniş kapsamda operasyonel aksaklıklara ve maliyet baskılarına neden olmaktadır. Özellikle kuş nüfusu ve göç düzenlerindeki değişiklikler ile doğal habitatlarda bozulmalar kuş çarpma risklerini artırırken, sınır ötesi duman pusundaki değişimler de uçuş operasyonlarında gecikmelere ve iptallere yol açabilir. Bu durum da uçuş emniyeti ve operasyonel verimlilik üzerinde önemli tehditler oluşturabilir (Dolman ve Vorage, 2019, s. 60; Smagghe ve Anelli, 2023, s. 8).

Ayrıca deprem ve yanardağ patlamaları gibi doğal afetler uçuş operasyonlarını aksatarak gecikmelere, iptallere ya da havalimanlarının geçici olarak kapanmasına neden olabilir. Bu tür kapanmaların havalimanı paydaşları üzerinde ciddi mali etkileri bulunmaktadır. Örneğin 2010 yılında İzlanda'daki Eyjafjallajökull Yanardağı'nın patlaması sonucu

yayılan volkanik küllerin uçak motorlarına zarar verme riski Avrupa hava trafiğinde II. Dünya Savaşı'ndan bu yana en büyük kapanmayı tetiklemiştir. Birçok Avrupa ülkesinin kontrollü hava sahası uçuşlara kapatılmış ve Amsterdam Schiphol Havalimanı yalnızca bir günlük kapanma nedeniyle 25 milyon Euro'luk kayıp yaşamıştır (Dolman ve Sindhamani, 2022, s. 267). Bu örnekler çevresel faktörlerin havalimanı operasyonları üzerinde yarattığı maliyet baskısını açıkça göz önüne sermektedir.

Sonuç olarak iklim değişikliğinin havalimanı operasyonları üzerindeki etkileri giderek daha belirgin hale gelmektedir. Aşırı hava olayları, sel, kar, fırtına ve sıcaklık artışları gibi faktörler uçuş gecikmelerine, iptallere, operasyonel aksamalara ve artan maliyetlere yol açmaktadır. Bu tür hava koşullarının gelecekte daha da yoğunlaşması beklenmektedir. Ayrıca turizm talebindeki değişiklikler ve çevresel faktörler de havalimanlarının işleyişini etkilemektedir. Bu durum havalimanlarının hem kısa vadede operasyonel verimliliklerini hem de uzun vadede stratejik planlamalarını önemli derece etkileyecektir.

2.3 Maliyet Azaltma ve Uyum Stratejileri

İklim değişikliği havacılık sektöründe maliyet azaltma ve uyum stratejileri için uzun vadeli ve karmaşık önlemler gerektirmektedir. Küresel ısınma, deniz seviyesi yükselmesi ve aşırı hava olayları havalimanı altyapısını tehdit ederken, operasyonel süreklilik ve ekonomik sürdürülebilirlik üzerinde de riskler yaratmaktadır. Uyum maliyetleri ve eylemsizlik maliyetleri arasında stratejik bir denge kurulması kaçınılmazdır. Bu yüzden ki iklim değişikliğine uyum sağlamaya yönelik mali zorlukları kolaylaştırmak için üst yönetimin katılımı gereklidir. Çünkü üst yönetimin katılımı iklim değişikliğine uyum için gerekli stratejik kararların alınması, finansal kaynakların yönetimi, risklerin azaltılması ve kurumsal dönüşümün sağlanması açısından vazgeçilmezdir.

Bu kapsamda yönetimin etkin liderliği, altyapı iyileştirmelerinin zamanında gerçekleştirilmesi ve kaynakların etkili kullanımı iklim değişikliğine uyum maliyetlerini etkilerin şiddetine bağlı olarak değiştirebilir. Ancak bu önlemler, uzun vadede maliyet yönetimine olumlu katkı sağlayabilir. Örneğin Alaska'daki havalimanlarında yapılan pist ve bina uyarlamaları sel gibi riskleri azaltarak zorluklarla başa çıkmada başarılı bir örnek teşkil etmektedir (Burbidge vd., 2023, s. 22).

Altyapı ve sistemleri, iklim değişikliğinin öngörülen etkilerini bütünüyle ortadan kaldıracak şekilde uyarlamak mümkün olmayabilir. Dayanıklılık, altyapının uyarlanması ve iklim değişikliğinin etkilerine hızlı ve verimli yanıt verebilmek amacıyla planlama ile

süreç yönetiminin geliştirilmesini içeren bir kombinasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süreç kritik unsurların korunmasını sağlamak adına maliyet ve fayda analizine dayalı kararların alınmasını zorunlu kılmaktadır (ICAO, 2018, s. 59). Bu nedenle havalimanlarının değişen iklime karşı hem fiziksel altyapıyı güçlendirmesi hem de süreçleri daha esnek hale getirecek planlamalar yapması gerekmektedir. Bu yaklaşım gelecek riskleri öngörerek hızlı ve etkin bir yanıt mekanizması oluşturmada temelini oluşturur. Havalimanı altyapısı genellikle dayanıklı yapılar olarak inşa edilse de iklim değişikliği karşısında esnekliğini sürdürebilmesi için daha sık güncelleme gerekebilir (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 7).

Değişen iklim koşulları havalimanı altyapısını çeşitli şekillerde etkileyebilir. Bilhassa şiddetli hava olayları, yıldırım çarpması ve artan rüzgâr hızları gibi tehlikeler altyapıya zarar verebilir ve operasyonları kesintiye uğratabilir (Yair, 2018, s. 3). Rüzgâr hızlarındaki artışla birlikte bu yapılara verilen zarar doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır ve özellikle 55 m/s'ye kadar olan rüzgârlar alt seviyelerdeki hızlardan 30 kat daha fazla kayba yol açabilmektedir. Bu tür risklere karşı 2005 ASCE Tasarım Standartlarına göre havacılık kontrol kuleleri, hava trafik kontrol merkezleri ve acil durum hangarları rüzgârdan kaynaklanan büyük basınçlara dayanacak şekilde tasarlanmalıdır (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 10).

Sıcaklık artışları ile beraber bina ve tesislerdeki klima kullanımında da önemli bir artış olmaktadır. Mevcut yapıda soğutma sistemleri ile ilgili yapılacak çalışmalar maliyetli olması sebebiyle bu tür önlemlerin tasarım aşamasında alınması daha faydalı olacaktır (Burbidge vd., 2023, s. 16). Ayrıca sıcaklık artışları pistlerin uzatılmasını veya azami kalkış ağırlığının (MTOW) düşürülmesini de gerektirebilir. Önemli sıcaklık artışlarının beklendiği bölgelerde havalimanları pistlerini uzatmak veya dayanıklı malzemelerle yeniden kaplamak zorunda kalınabilir. Ancak bu maliyetli olduğu için yönetimler mevcut pistleri uyarlamak veya performanslı uçaklarla operasyonları sürdürmeyi tercih etmektedir (Çaya, 2020, s. 3; Paraschi, 2023, s. 88). Dolayısıyla pistlerin daha geniş ve uzun yapılarak sıcaklık dalgalanmalarına dayanıklı hale getirilmesi ileriye dönük bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Yalçınkaya-Çağlayan ve Demirhan, 2024, s. 109).

Artan kış sıcaklıkları, pist ve taksi yollarında meydana gelen donma-çözülme döngülerine (örneğin, kilin şişmesi veya büzülmesi) yol açarak hasara neden olabilir. Böyle bir durum pist ve taksi yolu kaplamalarının hızla bozulmasına yol açarak hareketli alanlarda zemin

hasarlarını artırabilir (Burbidge vd., 2023, s. 15; Smagghe ve Anelli, 2023, s. 7). Bu tür altyapı sorunları havalimanı operasyonlarını ve kapasitesini doğrudan etkileyebilir. Bu sebeple havalimanı yönetiminin bu tür iklim kaynaklı risklere karşı pistlerin optimal şekilde kullanılabilmesi ve havalimanı kapasitesinin korunabilmesi için stratejik planlamalar yapması ve önlemler alması gerekecektir.

Aşırı hava olayları ve iklim değişikliğinin etkileriyle ilişkili riskler havalimanları tarafından iyi anlaşılmış ve birçoğu bu iklim faktörlerinin etkilerini hafifletmek için altyapı iyileştirmeleri gerçekleştirmenin tasarım veya değerlendirme aşamasındadır. Yağmur suyu altyapısının iyileştirilmesi, kritik elektrik varlıklarının yükseltilmesi ve yağmur suyu drenajına yardımcı olmak için geçirgen kaplama veya doğaya dayalı çözümlerin uygulanması gibi önlemler havalimanlarının varlıklarını korumak için aldıkları önlemlerden sadece birkaçıdır (Eurocontrol, 2021c, s. 1).

Bu önlemleri geciktirmek uzun vadede daha maliyetli olabileceğinden havalimanlarının zamanında harekete geçmesi önemlidir. Yolcu trafiğinde beklenen artışlar bu tür altyapı iyileştirmelerinin önemini vurgulamakta ve altyapının iklim değişikliğine karşı daha dayanıklı hale getirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Dolman ve Vorage, 2019, s. 54). Havalimanlarının zamanında harekete geçmeleri ve dayanıklılığı planlarına dahil etmeleri sürdürülebilir gelecek için elzemdir (Eurocontrol, 2021c, s. 1). Havalimanı işleticileri iklim uyum süreçlerini başlatmakta gecikirse terminaller, binalar, hangarlar, otoparklar ve diğer yapılar uzun yıllar boyunca kullanılabilir durumda olmaları beklenirken ciddi bakım ve onarım gerektirebilir veya tamamen yenilenmek zorunda kalabilirler. Bu durum iklim değişikliğinin etkilerine karşı zamanında önlem alınmaması halinde mevcut altyapının hızlı şekilde zarar görebileceği ve yüksek maliyetli yenileme veya onarıma ihtiyaç duyulacağını göstermektedir (ICAO, 2016, s. 212).

İklim değişikliği, özellikle yükselen deniz seviyeleri gibi etkileriyle havalimanlarının konumlandırılması ve altyapı planlamasında uzun vadeli stratejilerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Mevcut havalimanlarının korunması veya yeni konumlara taşınması kararı, kademeli ve farklı zaman ölçeklerinde gerçekleşecek etkiler dikkate alınarak maliyet-fayda analizlerine dayalı olarak ele alınmalıdır (Burbidge, 2016, s. 16). Yükselen deniz seviyeleri havalimanlarının kapasitesinde azalma ve hatta işlevselliğin tamamen kaybedilmesine yol açabilir. Bu da yeni tesislerin inşası ve mevcut altyapının güçlendirilmesini gerektirmektedir. IPCC (2023, s. 79) tarafından vurgulanan uyum

önlemleri arasında altyapı yükseltmeleri, tahliye kanalları ve koruyucu yapılar yer almaktadır. Avrupa, ABD ve Asya’da, sellerin yarattığı tehdidin farkına varan örneklerde Amsterdam Schiphol, New Orleans Uluslararası ve Kansai Uluslararası havalimanları benzer koruma çalışmaları başlatmıştır (Lopez, 2016, s. 26; Dolman ve Vorage, 2019, s. 55). Örneğin Singapur Changi Havalimanı’nın yeni doğu sahası ortalama deniz seviyesinden 5,5 metre yükseğe inşa edilmekte olup, yaklaşık 10 kilometrelik tahliye kanalları planlanmaktadır (ACI, 2018, s. 12). Avrupa’da ise Schiphol gibi büyük havalimanları, çoklu sel stres testleri ve altyapı dayanıklılığı değerlendirmeleriyle uyum kapasitelerini artırmayı hedeflemektedir (Dolman ve Sindhamani, 2022, s. 267).

Birçok havalimanı, yükselen deniz seviyelerinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için mühendislik temelli çözümler geliştirmektedir. ABD, Avrupa ve Asya havalimanları, örneğin New Orleans ve Kansai Uluslararası Havalimanları, deniz duvarları ve tahliye sistemleri gibi çözümler geliştirerek iklim değişikliği kaynaklı risklere karşı önlem almaktadır. Bu tür projeler başlangıçta yüksek maliyet gerektirse de uzun vadede risklerin azaltılması açısından verimli sonuçlar sunmaktadır. Yapılan yatırımların ek maliyet oranının %3 seviyesinde olması, alınan önlemlerin potansiyel zararları önemli ölçüde minimize ettiğini göstermektedir (Çaya, 2020, s. 5; EASA, 2022b, s. 49–50).

Buna rağmen bilimsel çalışmalar deniz seviyesindeki yükselmenin önümüzdeki yıllarda daha da hızlanabileceğini ortaya koymaktadır. Jevjeva vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalar, küresel ısınmanın kontrol altına alınmaması durumunda RCP8.5 senaryosunda deniz seviyesinin 2100 yılına kadar 86 cm ile 180 cm arasında yükseleceğini öngörmektedir. Bu durumun yıllık deniz taşkını maliyetlerini 14–27 trilyon ABD doları seviyesine çıkararak küresel GSYH’nin %2,7’sine denk geleceği belirtilmektedir. Bu risk, özellikle turizm açısından stratejik öneme sahip kıyı bölgelerinde yer alan havalimanlarını doğrudan etkilemektedir.

Bunun yanı sıra altyapı korunması için uygulanan önlemler arasında Oakland Havalimanı’nın pistlerini güçlendirme ve 0,6 metre yükseltme projesi (46 milyon dolar), San Francisco Uluslararası Havalimanı’nın, San Francisco Körfezi’nin sürekli yükselişinden korunmak amacıyla 13 km uzunluğunda bir deniz duvarı inşa edilmesini kapsayan projesi (587 milyon dolar), Brisbane Havalimanı’nın yeni pist inşası ve gelişmiş drenaj sistemleri (1,3 milyar Avustralya doları) ile Nice Havalimanı’ndaki 10,4 milyon Euro’luk güçlendirme çalışmaları örnek olarak verilebilir. Myrtle Beach Havalimanı’nda

gerçekleştirilen fayda-maliyet analizlerinde ise, deniz seviyesindeki artış projeksiyonları ışığında uzun vadeli koruma yatırımlarının maliyetlerinin beklenen faydaları karşılamayarak ekonomik açıdan verimsiz kalacağını ortaya koymuş ve bu nedenle koruma yatırımlarından vazgeçilmiştir (Eurocontrol, 2021b, s. 40; Smagghe ve Anelli, 2023, s. 11; NASEM, 2019, s. 103–107). Bazı bölgelerde deniz seviyesinin hızla yükselmesi, sınırlı ekonomik kaynaklar veya alan yetersizliği nedeniyle havalimanlarının sürdürülebilirliğini zorlayabilmektedir (Yesudian ve Dawson, 2021, s. 10).

Bu tür mühendislik çözümlerinin yanında, ekosistem tabanlı çözümler sulak alanların taşkın riskini azaltmada önemli rol oynasa da küresel sıcaklık artışının 1,5°C'nin üzerine çıkması bu çözümlerin etkinliğini azaltabilir (Iavarone ve Kaya, 2021, s. 54; Burbidge vd., 2023, s. 17). Bu nedenle, ICAO (2016, s. 205) kıyı bölgelerinde yapılacak yeni havalimanı planlamalarında hidrolojik ve klimatolojik değerlendirmelerin önemini vurgulamaktadır. Dolayısıyla havalimanı işletmecilerinin SLR ve iklim değişikliğinden kaynaklanan riskleri yerel düzeyde tanımlayarak uygun uyum stratejileri geliştirmeleri gerekmektedir (Eurocontrol, 2021a, s. 9; 2021b, s. 27).

İklim değişikliğinin havalimanlarına etkisi sadece mevcut altyapıyı değil operasyonel planlamaları ve stratejileri de doğrudan etkilemektedir. Özellikle artan küresel sıcaklıklar ve aşırı hava olayları havalimanı operasyonlarının sürdürülebilirliği açısından stratejik ve operasyonel yönetimi daha kritik hale getirmektedir. Konvektif hava ve şiddetli yağış gibi yıkıcı olayların etkileri havalimanındaki kapasite kısıtlandığında daha da kötüleşebilir. Bu durumun hem trafik artışı hem de iklim değişikliğinden kaynaklanan etkilerle birleşerek havalimanlarında daha büyük bir sorun oluşturması kaçınılmazdır (Burbidge, 2016, s. 14-17). Bilhassa artan rüzgâr hızı ve sıcaklık, uçakların kalkış performansını düşürerek uçuş aksaklıklarını şiddetlendirebilir ve havalimanlarındaki operasyonel zorlukları daha da büyütebilir. Tüm bu faktörler göz önüne alındığında havalimanlarının operasyon kapasitesini ve altyapı dayanıklılığını uzun vadede tehlikeye atmaktadır. Dolayısıyla iklim değişikliği kaynaklı baskıları anlamak ve bunlarla başa çıkmak havalimanlarının işlevselliğini koruyabilmesi için hayati önem taşımaktadır (Vogiatzis vd., 2021, s. 2; IPCC, 2022, s. 1057).

Bu tür aksaklıklara çözüm olarak ise, daha yüksek sıcaklıkların uçak kalkışları için sorun teşkil edebileceği bölgelerde uçuşlar gündüz en yüksek sıcaklıklarının dışındaki saatlere planlanabilir. Ancak bu çözüm havalimanının optimum kapasite ile çalışmasını

engelleyecek ve dolayısıyla elde edilecek gelirden feragat edilmesine neden olacaktır. Bu durum Amerika Birleşik Devletleri'nde 2007 yılında toplam uçuş gecikmelerinin 30 milyar doların üzerinde bir maliyete yol açtığı tahminleriyle uyumludur (Lee vd., s. 1). Bu tür maliyetlerin artmasına neden olabilecek diğer faktörler arasında rüzgâr yönündeki değişikliklerin pist düzenini ve hava trafik yönetim prosedürlerini yeniden değerlendirme gerekliliği yer almaktadır. Bu düzenlemeye örnek olarak Heathrow Havalimanı'nın rüzgâr yönü ve hızındaki değişikliklere uyum sağlamak amacıyla zaman bazlı ayırma prosedürlerini uygulamaya koyması gösterilebilir (EEA, 2016, s. 3).

Ayrıca değişen iklimin havalimanlarına etkileri bölgelere göre farklılık gösterebilir ve telafisi haftalar veya aylar sürebilir. Söz konusu etkiler ulaşım sistemlerinin planlanması, tasarımı, inşası, işletilmesi ve bakımında önemli değişiklikler gerektirecek kadar yaygın ve maliyetli olacaktır. Bu yüzden olumsuz hava koşulları nedeniyle sıklaşabilecek aksaklık ve kazaların azaltılması için ulaşım sistemlerinin daha etkin yönetilmesi gerekmektedir (Christodoulou ve Demirel, 2018, s. 3; Sindhamani ve Vorage, 2020, s. 1). Bu tür aksaklıkları görmezden gelen işletmelerin yatırımcı güvenini kaybetme gibi finansal tehditlerle karşı karşıya kalması da kaçınılmazdır (Sindhamani ve Vorage, 2020, s. 1; Paraschi, 2023, s. 88).

Bunun yanı sıra iklim değişikliğinin yalnızca mevcut altyapı ve operasyonel süreçler üzerindeki etkilerini değerlendirmek değil, aynı zamanda gelecekteki altyapı projelerini de iklim değişikliği ve dayanıklılık faktörlerini göz önünde bulundurarak planlamak önemlidir (http-32). Havalimanlarının iklim değişikliğinin öngörülen etkilerine uyum sağlamaya yönelik uzun vadeli stratejileri hayata geçirmesi giderek daha önemli hale gelmektedir (ICAO, 2019, s. 111). İklimle birlikte değişen risklerini öngörmek sektörde bütünsel bir uyum stratejisi gerektirir ve uzun vadeli karar süreçlerini yönlendirmek açısından önemlidir (EASA, 2022b, s. 49-50). Ayrıca hem mevcut hem de yeni rotalarda iklim projeksiyonlarının potansiyel sonuçlarını entegre eden orta ve uzun vadeli trafik talep analizleri gereklidir. Bu tür değerlendirmeler altyapı geliştirme planlarının oluşturulmasında önemli rol oynamanın yanı sıra, bu analizlerin yapılması da önemli kaynaklar gerektirecektir. Örneğin popüler destinasyonlarda okul tatillerinin yılın daha serin zamanlarına kaydırılması turizmi destekleyebilir ancak bunun önemli lojistik ve sosyal zorlukları da olacaktır (Burbidge vd., s. 21).

Artan iklim olayları özellikle su baskını, uçuş aksaklıkları ve iptaller gibi riskleri daha olası kılarken, havalimanlarının bu tür olaylara karşı savunmasız kalmaması için uyum önlemlerini başlatması hayati bir gerekliliktir. Ayrıca iklim değişikliğinin etkilerinin sadece havalimanı düzeyinde değil diğer havalimanları ve paydaşlar üzerinde de zincirleme etkiler yaratabileceği unutulmamalıdır. Bu sebeple havalimanlarının risk değerlendirmeleri yaparak bu sonuçları Ana Planlarına entegre etmeleri tüm sektörün uyum sürecini destekleyici bir rol oynayacaktır (ICAO, 2019, s. 111). Bunun yanı sıra uçuş planlaması süreçlerinin dinamik kapasiteye dayalı olarak yeniden şekillendirilmesi gerekebilir. Bu, havalimanlarının bilhassa iklim olaylarına bağlı olarak artan aksaklıkları yönetebilmesi için proaktif esneklik önlemlerini hayata geçirmesini zorunlu kılmaktadır (Burbidge, 2016, s. 16-17).

Sonuç olarak iklim değişikliğinin bazı sonuçlarını halihazırda yaşıyor olsak da ana etkiler bundan otuz ya da kırk yıl sonra çok daha belirgin olacak ve bugün inşa edilen havalimanı altyapısının çoğu yeni iklimde de var olacaktır. Bu noktada havalimanı yönetimlerinin gelecekteki iklim koşullarına uygun stratejik planlamalar yaparak altyapı yatırımlarını optimize etmeleri ve sürdürülebilir çözümler geliştirmeleri önemlidir. Dolayısıyla tüm havalimanları ileriye düşünmek, riskleri ve maliyetleri azaltmak ve havacılık sektöründe gelecekteki dakikliği ve düzenliliği sağlamak için mevcut ve yeni altyapının risk değerlendirme çalışmalarına bir an önce başlamalıdır (Olav, 2015, s. 1).

Ayrıca bu etkileri doğru şekilde analiz etmek için her bir havalimanı bileşeninin özellikleri (binaların sayıları, dirençleri ve konumları, vb.) dikkate alınarak konuya geniş perspektiften yaklaşılması gerekmektedir (Lopez, 2016, s. 28). Bunun yanı sıra havalimanlarının iklim değişikliği ile uyum sağlamak için altyapılarını güçlendirmeleri, operasyonel süreçlerini optimize etmeleri ve sürdürülebilir enerji kullanımı gibi stratejilerle maliyetleri azaltmaları kritik öneme sahiptir. Özetle erken müdahale ve uzun vadeli planlama hem iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olacak hem de sektörde finansal, operasyonel ve çevresel sürdürülebilirliği artıracaktır. Havalimanları bu önlemleri ve uyarlamayı hayata geçirerek gelecekteki iklim kaynaklı risklere karşı daha hazırlıklı olabilir ve sektörün sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BATMAN HAVALİMANINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

3.1 Batman Havalimanı

3.1.1 Batman Havalimanı tarihçesi ve teknik bilgileri

Batman Havalimanı pisti 1953 yılında askeri amaçla NATO tarafından yapılmış olmasına rağmen Hava Kuvvetleri Komutanlığı ile yapılan protokol ile 1991 tarihinde iç hat uçuşlarda sivil hava trafiğine hizmet vermeye başlamıştır. O zamanki terminal binası Batman İl Özel İdaresi tarafından işletilmekteydi (Gün, 2023, s. 40-41). 2003 yılındaki iç hatlarda serbestleşme adımı ile birlikte havacılık alanında altyapı yatırımlarının yoğunlaşması ve özel havayolu şirketlerinin de iç pazara girişlerinin önünün açılması ile Türk hava yolu pazarı daha rekabetçi boyut kazanmıştır (Yaşar ve Gere, 2018, s. 176). Atılan bu yeni adımların bir sonucu olarak yapımı tamamlanan yeni terminal binası 29 Ağustos 2010'da hizmete açılmış olup 29 Haziran 2011 tarihinde ise serbest kullanıma geçilerek Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) tarafından işletilmeye başlanmıştır. Havalimanı iç hat trafiğine hizmet vermekle birlikte 28.03.2012 tarihinde Bakanlık kararı ile geçici hava hudut kapısı ilan edilmiş ve dış hatlarda hac ve umre uçuşlarına da hizmet vermeye başlamıştır (http-33).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Batman Havalimanı sivil-askeri ortak kullanımda bir havalimanı olup, yıllık ortalama 3.500 uçak trafiğine ve 640 bin yolcuya hizmet vermektedir (Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ], 2025a). Havalimanı pisti Hava Kuvvetleri Komutanlığına ait olup terminal binası, apronu ve J taksi yolu DHMİ Genel Müdürlüğü envanterindedir. 02 pist başına hizmet veren CAT-I aletli iniş sistemi ve CALVERT tipi aydınlatma sistemi mevcuttur. Bu sistemin temel amacı düşük görüş şartlarında pilotların daha emniyetli şekilde iniş yapmalarını sağlamaktır (DHMİ, 2025c, s. 1-8).

Havalimanı 1 milyon iç hat ve 1 milyon dış hat olmak üzere, toplam 2 milyon yolcu kapasitesine sahiptir. Şehir merkezine 7 km mesafede bulunan Batman Havalimanından İstanbul Havalimanı (36 uçuş), Sabiha Gökçen Havalimanı (22 uçuş) ve Esenboğa Havalimanına (20 uçuş) Türk Hava Yolları, Pegasus ve AJET tarafından haftada 39 geliş ve 39 gidiş olmak üzere toplam 78 sefer düzenlenmektedir (DHMİ, 2025c, s. 1).

Şekil 3.1.'de Batman Havalimanından uçak seferlerinin düzenlendiği havalimanları yer almaktadır.

Şekil 3. 1

Batman Havalimanından Uçuş Yapılan Havalimanları



Kaynak: Şekil yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 3.1'de Batman Havalimanı ile ilgili genel ve teknik bilgiler yer almaktadır.

Tablo 3. 1

Batman Havalimanının Genel ve Teknik Bilgileri

Bulunduğu Şehir	Batman
Hizmete Giriş Yılı	2010
Havalimanı Statüsü	Sivil/ Askeri
ICAO Kodu	LTCJ
IATA Kodu	BAL
Trafik Tipi	İç Hat-Geçici Hava Hudut Kapısı
Coğrafi Koordinatları	37°55'56"N, 41°06'59"E
Terminal Binası	2 kat, 5 blok, Alan: 20.742 m ²
Pist	Uzunluk: 3.048m, Genişlik: 45m, Yön: 02-20
Apron	Boyut: 120mx166m, Uçak Park Kapasitesi: 4

Kaynak: DHMİ, 2025a ve 2025c'den yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 3.2'de Batman Havalimanının kuş bakışı görüntüsü yer almaktadır.

Şekil 3. 2

Batman Havalimanı



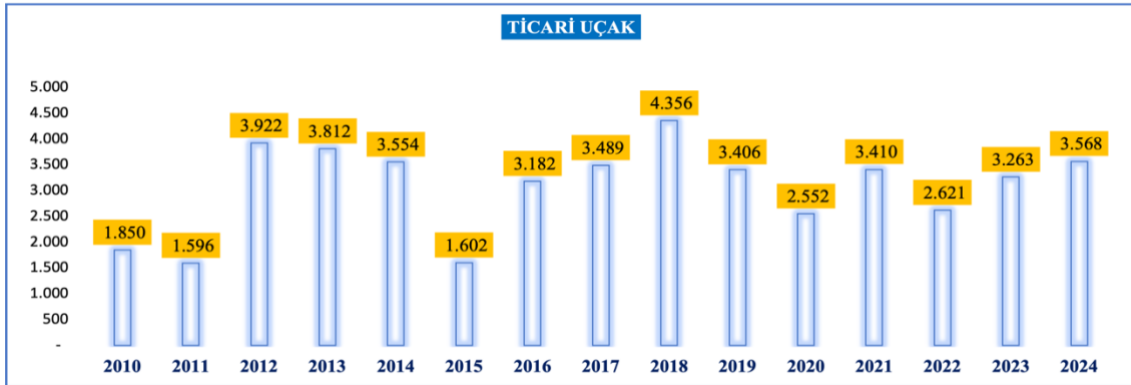
Kaynak: (http-33)

3.1.2 Batman Havalimanı uçuş ve yolcu bilgileri

Batman Havalimanı yıllık uçak, yolcu ve kargo trafiği açısından bölgedeki önemli hava ulaşım merkezlerinden biridir. Havalimanının operasyonel kapasitesi ve trafik verileri hem yerel hem de ulusal hava taşımacılığı dinamiklerini yansıtmaktadır. Aşağıda Batman Havalimanı'nın DHMİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilmeye başlandığı 2010 yılından günümüze kadar olan ticari uçak, yolcu ve kargo trafiğine ilişkin grafikler ve bu verilerin analizi sunulmaktadır.

Şekil 3. 3

Batman Havalimanı Ticari Uçak Trafiği İstatistikleri



Kaynak: DHMİ, 2025b verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

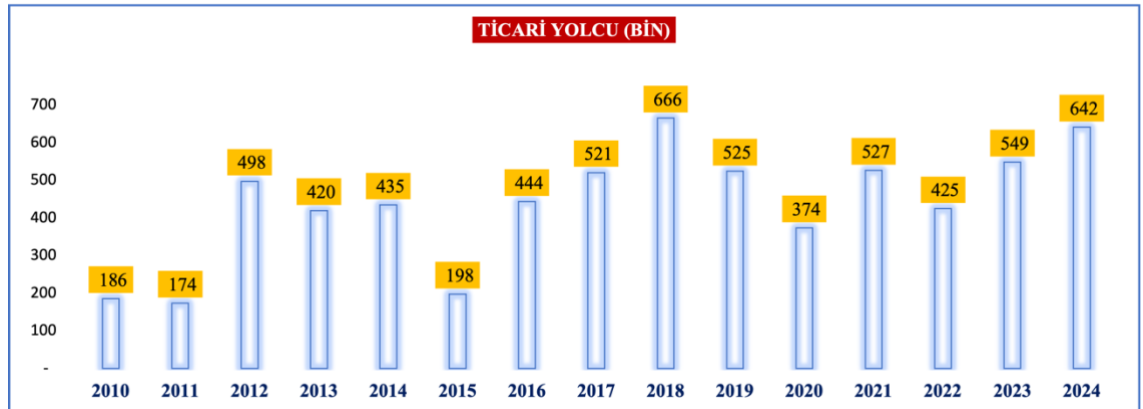
Şekil 3.3'te Batman Havalimanının 2010-2024 yılları arasındaki ticari uçak istatistikleri yer almaktadır. Şekil 3.3 incelendiğinde aşağıdaki bilgiler elde edilmektedir;

- Uçak hareketlerinde 2010'dan 2012'ye kadar istikrarlı bir artış var ve 2012'de 3.922 uçak ile zirveye ulaşılmıştır.
- 27.04.2015-30.10.2015 döneminde Havalimanı pistinin bakıma alınması nedeniyle uçuşlarda düşüş yaşanmış ve 1.602'ye kadar gerilemiştir.
- 2016 sonrası toparlanma görülmekte, 2018'de 4.356 uçak ile en yüksek seviyeye ulaşılmıştır.
- 2020'de salgın (COVID-19) nedeniyle düşüş yaşanmış ve 2.552 uçak seviyesine gerilemiştir.
- 2021 sonrası artış başlamış, 2023'te pist bakım çalışması nedeniyle bir miktar gerileme olsa da 2024'te 3.568 uçak ile yükseliş devam etmektedir.
- Ticari uçak trafiği, bakım çalışmaları ve küresel salgın gibi dışsal faktörlerden etkilenmiş, ancak 2024 itibarıyla eski seviyelerine yaklaşmış durumdadır.

Şekil 3.4'te Batman Havalimanının 2010-2024 yılları arasındaki ticari yolcu trafiği istatistikleri yer almaktadır.

Şekil 3. 4

Batman Havalimanı Ticari Yolcu Trafiği İstatistikleri



Kaynak: DHMİ, 2025b verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 3.4 incelendiğinde, aşağıdaki bilgiler elde edilmektedir;

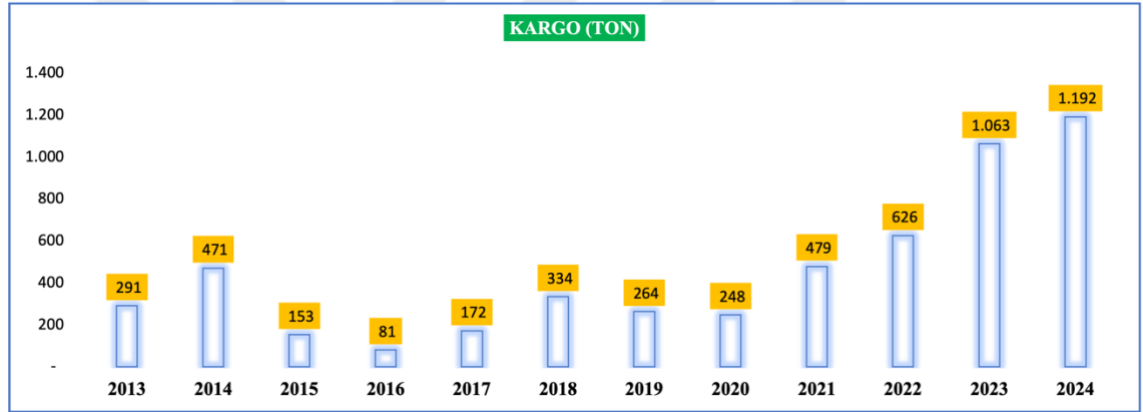
- Gelen-giden yolcu sayısında 2010'dan 2012'ye kadar düzenli bir artış var. 2012'de 498 bin yolcuya ulaşılmıştır.
- 2015'te pist bakımı nedeniyle düşüş yaşanmış ve 198 bin yolcuya kadar gerilemiştir.

- 2016 sonrası artış başlamış ve 2018’de 666 bin yolcu ile zirveye ulaşmıştır.
- 2020’de salgın (COVID-19) etkisiyle 374 bin yolcuya düşmüştür.
- Yolcu trafiğinde 2021’den itibaren toparlanma sürecine girilmiş, 2024’te 642 bin yolcu ile salgın öncesi seviyelere yaklaşılmıştır.
- 2023’te 1 aylık bakım çalışması olmasına rağmen yolcu sayısı artışı yavaşlamıştır.
- Yolcu trafiği 2015 ve 2020’de büyük düşüşlere rağmen, 2024 itibarıyla 2018’deki zirveye oldukça yaklaşmış durumdadır.

Şekil 3.5’te Batman Havalimanı’nın 2013-2024 yılları arasındaki kargo trafiği istatistikleri yer almaktadır.

Şekil 3. 5

Batman Havalimanı Kargo Trafiği İstatistikleri



Kaynak: DHMİ, 2025b verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 3.5 incelendiğinde, aşağıdaki bilgiler elde edilmektedir;

- Kargo taşımacılığında 2013-2014 yıllarında artış görülmekte ve 2014’te 471 ton ile zirveye ulaşılmaktadır.
- 2015 yılındaki pist bakımının etkisiyle büyük bir düşüş yaşanmış ve taşınan kargo 153 ton’a kadar gerilemiştir.
- 2017’den itibaren toparlanma başlamış, 2021 ve sonrasında kargo trafiği hızla artmıştır.
- 2023’te 1 aylık pist bakım çalışmasına rağmen kargo miktarı 1.063 tona çıkmış ve 2024’te 1.192 ton ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

Kargo taşımacılığı, ticari uçak ve yolcu trafiğinden daha hızlı toparlanmış, 2024 itibarıyla en yüksek seviyesine ulaşmış görünüyor. Özellikle pandemi sonrası e-ticaret ve lojistik sektöründeki büyümenin bunda etkisi olabilir. Ticari uçak ve yolcu sayısı 2015 ve

2020’de büyük düşüşler yaşamış, ancak toparlanıyor. Kargo taşımacılığı 2021’den sonra hızla artarak rekor seviyeye ulaşmış. Bakım çalışmaları ve COVID-19 gibi dışsal faktörler uçuşları büyük ölçüde etkilemiş olsa da havalimanı operasyonları 2024 yılı sonu itibariyle eski gücüne yaklaşmıştır.

Aşağıdaki Tablo 3.2, Batman Havalimanı’nın önümüzdeki 10 yıla ilişkin ticari uçak, yolcu ve kargo tahminlerini göstermektedir. Tahminler, mevcut veri trendine dayanan basit bir lineer modele göre yapılmış olup; ani politik, altyapısal veya COVID gibi olağanüstü etkiler dikkate alınmamıştır. İleriye dönük yıllık planlama ve yatırım kararları için genel bir çerçeve sunmak amacıyla hazırlanmıştır.

Tablo 3. 2

Batman Havalimanı’nın Önümüzdeki 10 Yıla İlişkin Ticari Uçak, Yolcu ve Kargo Tahminleri

	Kısa Vade (2025-2026)	Orta Vade (2027-2029)	Uzun Vade (2030-2034)
Ticari Uçak	3.911	4.489	5.648
Ticari Yolcu (Bin)	756	965	1.452
Ticari Kargo (Ton)	1.342	1.603	2.155

Kaynak: DHMİ, 2025b verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tüm üç dönemde de ticari uçak, yolcu ve kargo trafiğinin düzenli olarak artacağı öngörülmektedir.

- Kısa Vadede (2025–2026): Uçak seferleri yaklaşık 3.900’e, yolcu sayısı 756 bine, kargo hacmi ise 1.342 tona yükselmesi beklenmektedir.
- Orta Vadede (2027–2029): Uçuş sayısı 4.489’a, yolcu 965 bine ve kargo 1.603 tona yükselmesi beklenmektedir.
- Uzun Vadede (2030–2034): Uçak trafiği 5.648’e, yolcu sayısı 1.452 bine, kargo da 2.155 tona ulaşarak kısa sürede neredeyse iki kat büyüme göstermesi beklenmektedir.

Ayrıca Siirt, Kurtalan, Midyat, Bismil ve Silvan gibi çevre il ve ilçelerin yolcuları da yakınlığı sebebiyle Batman Havalimanı’nı tercih etmektedir. Bölgedeki diğer havalimanlarında (Siirt, Diyarbakır, Van, Mardin, Elâzığ, Bingöl, Şırnak) sis, yağmur, kar ve rüzgâr gibi meteorolojik olaylar oluştuğunda uçuşlar genellikle Batman Havalimanı’na yönlendirilmektedir. Özellikle kış ayları ve mevsim geçişlerinde, yoğun sis oluşumu ve Siirt Havalimanı pistinin konumu nedeniyle uçaklar Batman Havalimanı’na iniş yapmak zorunda kalmaktadır. Bu durum, havalimanının mevcut uçak ve yolcu trafiğine ilave olarak ekstra yük getirmektedir.

Bunun yanı sıra, Pegasus Hava Yolları'nın geçmişte düzenlediği İzmir seferlerinin %90'ı aşan doluluk oranı, çevre ile ve ilçelerden gelen talepler ve Batman nüfusuna kayıtlı olup İzmir ve çevre illerde yaşayan 40.000'i aşkın potansiyel yolcu göz önüne alındığında, Batman–İzmir uçak seferlerinin başlatılması şehre hem sosyal hem de ekonomik açıdan önemli katkı sağlayacaktır (Batman Havalimanında yapılan görüşmelerden derlenerek oluşturulmuştur (1 Şubat 2025)).

3.1.3 Batman Havalimanı insan kaynakları bilgileri

Tablo 3.2'de Batman Havalimanı'nda hizmet veren tüm kurum-kuruluşlarda çalışan sayıları yer almaktadır.

Tablo 3. 3

Batman Havalimanı'nda Çalışan Sayıları

Sıra	Kurum/Şirket	Personel Sayısı
1	DHMI	117
2	DHMI-Taşeron	120
3	Meteoroloji Müdürlüğü	15
4	Yer Hizmeti Şirketi	42
5	Havayolu Şirketleri	9
6	Yakıt İkmal Şirketi	4
7	Emniyet	41
8	Diyanet	1
9	Müstecirler	28
	Toplam	377

Kaynak: Batman Havalimanında yapılan görüşmelerden derlenerek oluşturulmuştur (1 Şubat 2025).

Tablo 3.2'ye göre, Batman Havalimanı'nda toplam 377 kişi farklı görevlerde hizmet vermektedir. En fazla çalışanı olan iki grup 120 kişi ile DHMI-Taşeron (Özel Güvenlik, Teknik destek ve Temizlik) ve 117 kişi ile DHMI (ARFF, teknik birimler ve idari birimler) kadrosudur. Özel sektör firmaları (Yer Hizmeti Şirketi, Havayolu Şirketi, Yakıt İkmal Şirketi) toplamda 55 çalışan ile havalimanı operasyonlarının yürütülmesinde önemli derecede katkı sağlamaktadır. Havalimanının güvenliği Mülki İdari Amirliğinin sorumluluğunda olup, Emniyet bünyesindeki 41 personel bu kapsamda güvenliğin sağlanmasında görev almaktadır. Müstecirler (28 kişi) havalimanında büfe, kafeterya, araç kiralama, otopark ve hediyelik eşya gibi alanları işleterek yolculara çeşitli hizmetler sunmaktadır. Meteoroloji Müdürlüğü bünyesinde görev yapan 15 personel ise uçuş

operasyonlarının ve havalimanı işletme faaliyetlerinin emniyetli ve güvenli bir şekilde yürütülmesi için meteorolojik veriler sağlamaktadır.

Bu kapsamda, Batman Havalimanı'nda görev yapan DHMİ personelinin bilgi ve becerilerini güncel tutmak için çeşitli eğitim programları düzenlenmektedir. Personele yönelik eğitimler yüz yüze ve çevrimiçi olarak gerçekleştirilmektedir. SHGM'nin hava tarafında çalışan personelin almasını zorunlu tuttuğu 18 eğitim (pist yüzey şartları, apron hizmetleri, görsel yardımcılar vb.) dışında, idari birimlerin işleyişini kolaylaştırıcı ek eğitimler de düzenlenmektedir. İşletme bütçesinde eğitim harcamaları için 2023 yılında 425.000 TL, 2024 yılında ise 474.000 TL ayrılmıştır. 2025, 2026 ve 2027 yılları için ise sırasıyla 750.000 TL, 865.000 TL ve 932.000 TL eğitim bütçesi planlanmaktadır (DHMİ, 2025d).

3.1.4 Batman Havalimanı gelir ve giderleri

Havalimanı gelirleri konum, büyüklük, kapasite ve yolcu yoğunluğu gibi faktörlere göre değişiklik gösterir (Alıcı, 2017, s. 4). Batman Havalimanı'nın gelirleri yolcu hizmetleri, terminal ve yer hizmetleri, konma/konaklama gibi havacılık gelirlerinin yanı sıra ticari alan kiralama, otopark ve reklam gibi havacılık dışı gelirlerden oluşmaktadır. Giderler ise altyapı maliyetleri, bakım-onarım giderleri, enerji, yakıt, su gibi operasyonel maliyetler ve personel gibi diğer giderleri kapsamaktadır.

Son beş yılda gelirler yaklaşık 15 kat artarak 5,5 milyon TL'den 84,4 milyon TL'ye yükselse de giderler aynı dönemde 30,3 milyon TL'den 274,2 milyon TL'ye çıkmış ve havalimanı mali açıdan açık vermeye devam etmiştir. Özellikle elektrik ve doğalgaz gibi enerji maliyetleri son beş yılda yaklaşık 10 katına çıkarak işletme giderleri üzerinde önemli bir baskı oluşturmuştur (DHMİ, 2025d).

3.1.5 Batman Havalimanı'nın hizmet bölgesi

Batman Havalimanı'nın iklim değişikliği uyum stratejilerini değerlendirirken, hizmet bölgesinin demografik, ekonomik ve çevresel gerçekleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

- Nüfus Artışı ve Demografi: 2024'te 654.528 kişiye ulaşan Batman'ın nüfusu, son beş yılda yıllık ortalama %1–2 düzeyinde artış göstermiştir. İl merkezi başta olmak üzere göç alan bir kent olarak 1990–2022 döneminde de yıllık ortalama %1–2 büyüme kaydedilmiş; genç iş gücü yoğunluğu öne çıkmaktadır. (http-34)

- Ticari ve Ekonomik Potansiyel: Türkiye'nin en büyük petrol sahalarından biri olan Batı Raman'da günlük yaklaşık 7.000 varil üretim yapılmaktadır. Petrolün yanı sıra hizmet, hafif sanayi ve tarım da büyüyen iş kollarıdır; GAP kapsamında planlanan 14 milyar USD'lik bölgesel kalkınma yatırımlarıyla ekonominin çeşitlendirilmesi hedeflenmektedir. (http-35)
- Komşu İllerle İlişkiler: Batman, batıda Diyarbakır, doğuda Siirt, güneyde Mardin ve Şırnak ile komşudur. Bölgesel ve uluslararası ticaret ile iş gücü dolaşımı bakımından Diyarbakır–Van–İran hattının kavşak noktasında yer alması kritik rol oynamaktadır. (Deniz ve Yavuz, 2024, s. 770)
- Yerel-Çevresel Özellikler: Ortalama 550 m yükseltide, yarı-kurak kara ikliminin hâkim olduğu Batman'da yazlar sıcak ve kurak, kışlar serin ve yağışlı geçer. Bu durum hem taşkın hem de kuraklık risklerini beraberinde getirir. Dicle ve Batman nehirleri ilin ana su kaynaklarını oluşturmakla birlikte, yoğun yağış dönemlerinde taşkın; kurak aylarda ise su kıtlığı riski yaratabilmektedir. (Deniz ve Yavuz, 2024, s. 770)

3.1.6 Batman Havalimanının sürdürülebilirlik ve yerel katkı uygulamaları

Batman Havalimanı'nın sürdürülebilirlik ve yerel katkı odaklı uygulamaları aşağıdaki başlıklar altında özetlenmiştir:

- Yerel istihdamın artırılması: 2010'dan bu yana teknik ekip kadrosunun tamamı Batman ve komşu illerden seçilmiştir. Böylece bölgedeki işsizlik oranının düşürülmesine doğrudan katkı sağlanmıştır.
- Bölgesel tedarik politikası: Havalimanı faaliyete geçtiği 2010'dan beri mal ve hizmet alımlarının %90'a yakını Batman'daki ve çevre illerdeki KOBİ'lerden gerçekleştirilmiştir. Bu, yerel ekonomiyi canlandıran güçlü bir çeşitlilik modelidir.
- Çocuk işçi ve sigortasız işçi çalıştırılmama ve denetim: Yıllık denetim raporlarıyla Havalimanındaki tüm paydaşlarda "sıfır çocuk işçi" ve "sigortasız işçi" çalıştırmama hedefine ulaşılmıştır. Yapılan denetimlerde tedarikçi firmaların tamamı bu kriteri sağladıklarına yönelik belgeler sunmaktadır.

- Eğitim ve gelecek nesillere yatırım: 2024 yılında bölgedeki ilkokul, ortaokul ve liselerden toplam 306 öğrenci havalimanında ağırlanarak, düzenlenen atölye ve turlar ile havacılık sektörünün temel dinamikleri tanıtılmıştır.

Bu somut uygulamalar, Batman Havalimanı'nın hem sosyal hem de ekonomik sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu bir toplumsal çeşitlilik modeli benimsediğini göstermektedir (Batman Havalimanında yapılan görüşmelerden derlenerek oluşturulmuştur (1 Şubat 2025)).

Ayrıca ne Batman Havalimanı'nın ne de DHMİ Genel Müdürlüğü'nün işletme bütçelerinde iklim değişikliğiyle mücadele ve uyum için ayrı bir kalem veya bölüm yer almamaktadır. Bu eksiklik, iklim risklerinin artan etkileri karşısında hem operasyonel dayanıklılığı hem de regülasyon uyumunu riske atabilir. İklim değişikliği uyum önlemleri (altyapı güçlendirme, su yönetimi, aşırı hava koşullarına hazırlık vb.) için ayrı bir bütçe kalemi oluşturulmalıdır. Bu kalem, yıllık bakım ve yatırım bütçesinden bağımsız, sürdürülebilirlik stratejileri kapsamında planlanarak takip edilmelidir (DHMİ, 2025d).

3.2 Araştırma metodolojisi

Araştırma kapsamında, önceki bölümlerde ayrıntılı biçimde ele alınan iklim değişikliği, iklim değişikliğinin havalimanı maliyetlerine etkileri ve sürdürülebilirlik literatürü ışığında oluşturulan görüşme sorularına, alanında uzman çalışanların (işletme şefi, inşaat teknikeri, emniyet yönetim uzmanı vb.) verdiği yanıtlar sınıflandırılarak aşağıda değerlendirilmiştir. Böylece havalimanının mevcut durumu, karşı karşıya kaldığı riskler ve geleceğe yönelik uyum stratejileri hakkında daha bütüncül bir değerlendirme yapma olanağı sağlanmıştır. Ayrıca iklim değişikliği ile ilişkili finansal yükler, operasyonel zorluklar, altyapı gereklilikleri ve kurumsal yönetim süreçleri gibi konular bu çerçevede ele alınmıştır.

Öncelikle veri toplama sürecinin metodolojisi aktarılacak, daha sonra elde edilen bulgular ekonomik, çevresel ve sosyal başlıkları altında yorumlanacaktır. Son bölümde ise bulguların genel bir değerlendirmesi yapılarak, küresel projeksiyonları ve bölgesel iklim veri ve projeksiyonlarının değerlendirilmesi ve Batman Havalimanı verilerinden yararlanılarak havalimanlarında iklim değişikliğine karşı alınabilecek önlemler, uyum stratejileri ve geleceğe yönelik öneriler ortaya konulacaktır.

Görüşme sürecinin metodolojisi

Bu çalışmada havalimanında iklim değişikliği ile ilişkili olduğu değerlendirilen birimlerde görev yapan uzmanlar seçilerek görüşmelere dahil edilmiştir. Görüşmeler yapılandırılmış soru formu kullanılarak yüz yüze gerçekleştirilmiştir. Veri toplama sürecinde soru formları kullanılarak görüşme sırasında uzmanların yanıtları detaylı olarak not alınmıştır. Çalışmanın güvenilirlik ve geçerliliği, görüşmelerin özenli bir şekilde yürütülmesi, verilerin titizlikle kaydedilmesi ve analiz sürecinde benzer temaların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesiyle sağlanmıştır. Ayrıca elde edilen verilerin doğruluğunu artırmak amacıyla, görüşme notları deneyimli araştırmacılara incelenilerek analiz sürecinde metodolojik tutarlılık gözetilmiştir.

İklim değişikliğinin havalimanı maliyetlerine etkisini ortaya çıkarmada hâlihazırda süregelen olaylara ilişkin, derinlemesine ve tüm boyutlarıyla araştırma olanağı sunan ve sosyal olay veya olgulara ilişkin kararların niçin ve nasıl verildiklerinin anlaşılmasına yönelik nitel araştırma yöntem ve tekniklerinin kullanılması uygundur. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde hizmet veren Batman Havalimanında nitel bir çalışma ile konu hakkında betimsel ve gerçekçi bir görünümün ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu çalışma için DHMİ Genel Müdürlüğü'nden ve Batman Havalimanı yetkililerinden gerekli izinler alınmıştır (Bkz. EK-1).

Araştırmada, literatürden yararlanılarak hazırlanan 7 bölümden oluşan toplam 48 adet soru kullanılmıştır. Burada elde edilen verilerden yararlanarak, iklim değişikliğinin havalimanı maliyetleri üzerindeki etkilerini belirlemek ve değerlendirmek için gerekli bilgiler analiz edilmektedir.

Araştırmanın problemi

İklim değişikliğinin yol açtığı altyapı, operasyon ve bina/tesis maliyetlerindeki artışların Batman Havalimanı'nda ne ölçüde ve hangi mekanizmalarla gerçekleştiğinin belirsiz olması, dolayısıyla bu artışlara karşı uygulanabilir ve etkin maliyet azaltma ile uyum stratejilerinin geliştirilememesidir. Bu kapsamda ortaya çıkan başlıca sorunlar şunlardır:

Maliyet Etkilerinin Ölçülememesi:

- İklim değişikliğine bağlı altyapı hasarları, operasyonel aksaklıklar ve tesis bakım-onarım giderlerindeki ek yükün niceliksel olarak tespit edilememesi,

Neden-Sonuç İlişkilerinin Belirsizliği:

- Aşırı hava olayları, rüzgâr ve sıcaklık anomalilerinin hangi maliyet kalemlerini nasıl etkilediğinin açık şekilde tanımlanamaması,

Uyum Stratejilerinin Yetersizliği:

- Mevcut maliyet artışlarını dengeleyecek uzun vadede sürdürülebilir ve ekonomik fayda sağlayacak önlemlerin belirlenmiş ve test edilmiş olmaması,

Araştırmanın evreni ve örneklem

Araştırmanın evreni, Batman Havalimanı ve benzer özelliklere sahip diğer bölgesel havalimanlarında görev yapan iklim değişikliğinin işletme maliyetlerine etkisi konusunda doğrudan bilgi sahibi olabilecek tüm uzman personeli kapsamaktadır.

Araştırmanın örneklemini, Batman Havalimanı'nda görev yapan ve iklim değişikliğinin havalimanına etkilerini analiz edebilecek bilgi ve deneyime sahip uzman kişilerden oluşmaktadır. Örneklem havalimanındaki operasyonel süreçler, altyapı yönetimi, bakım ve onarım, enerji kullanımı, emniyet yönetimi ve güvenlik gibi alanlarda uzmanlaşmış çalışanları kapsamaktadır.

Katılımcılar araştırmanın amacına uygun olarak seçilmiş olup aşağıda uzmanlık alanları ve deneyimleri açıklanmıştır:

- *İşletme Şefi*: Havalimanı işleyişinin genel yönetiminden ve operasyonel süreçlerden sorumlu olup, bu alanda 30 yılı aşkın deneyime sahiptir.
- *İnşaat Teknikeri*: Altyapı, bakım-onarım ve tesis projeleriyle ilgili teknik işlerden sorumlu olup, bu alanda 5 yılı aşkın deneyime sahiptir.
- *Makine Mühendisi*: Enerji sistemleri ve mekanik bakım süreçlerinden sorumlu olup, bu alanda 10 yılı aşkın deneyime sahiptir.
- *Elektrik Mühendisi*: Havalimanının enerji tüketimi ve elektrik altyapısından sorumlu olup, bu alanda 25 yılı aşkın deneyime sahiptir.
- *Emniyet Yönetim Uzmanı*: Havalimanı operasyonlarının emniyetli şekilde yürütülmesinden sorumlu olup, bu alanda 5 yılı aşkın deneyime sahiptir.
- *Güvenlik Şefi*: Havalimanı güvenlik politikalarının ve uygulamalarının yönetilmesinden sorumlu olup, bu alanda 20 yılı aşkın deneyime sahiptir.

- *Elektronik Teknikeri: Seyrüsefer operasyonlarının emniyetli bir şekilde yürütülmesinden sorumlu olup, bu alanda 10 yılı aşkın deneyime sahiptir.*

Ayrıca örnekleme yer alan tüm uzmanlar SHGM'nin hava sahasında çalışanlar için zorunlu tuttuğu 18 eğitimi (Mania kontrol, görsel yardımcılar, PAT sahalarının fiziki özellikleri vb.) almış bulunmakla birlikte kurumun uzmanların alanları ile ilgili vermiş olduğu bir çok eğitimi de almışlardır.

Uzmanların seçimi araştırmanın hedefleri doğrultusunda bilgi sağlayabilecek nitelikteki uzmanları temsil etmek üzere, amaçlı örnekleme yöntemi ile yapılmıştır. Örneklem, havalimanı maliyetlerini etkileyen çeşitli faktörler üzerine geniş bir perspektif sunarak araştırmanın derinlemesine analizine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Veri toplama teknikleri

Araştırmada ihtiyaç duyulan veriler, yukarıda belirtilen uzman kişilerle yapılandırılmış görüşme yöntemi kullanılarak toplanmıştır. Bu doğrultuda literatürden de yararlanılarak 7 bölümden oluşan toplam 48 soruluk görüşme formu hazırlanmıştır. (Bkz. EK-2)

Veri analiz süreçleri

Bu çalışmada, araştırma verilerinin toplanması, ilişkilendirilmesi ve analiz edilmesi süreçlerinde nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Veri analiz sürecinde aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

Veri Toplama:

- Çalışmada, Batman Havalimanı uzmanlarına yönelik yapılandırılmış sorular içeren görüşme formu kullanılmıştır.
- Derinlemesine görüşmeler uzman deneyimlerini ve iklim değişikliğinin maliyetler üzerindeki etkilerine dair perspektifleri anlamayı hedeflemiştir.
- Eylül 2024 Mart 2025 döneminde uzmanlarla aralıklarla görüşmeler yapılmıştır.
- Uzmanlar görüşmeler sırasında ses kaydı alınmasına izin vermemişlerdir.

Veri Düzenleme:

- Görüşmelerden elde edilen ham veriler yazıya aktararak düzenlenmiştir.
- Veriler, temalar ve alt temalar oluşturulacak şekilde içerik analizi yöntemiyle kodlanmıştır.

Tema ve Kategori Oluşturma:

- Kodlanan veriler arasındaki ilişkiler incelenerek sŭrdŭrŭlebilirliđin ũç temel boyutunda (çevresel, ekonomik ve sosyal) ana temalar belirlenmiştir.
- Belirlenen ana temalar altında alt temalar oluşturularak her bir temanın altında analizlerle ilgili mevcut durum ve gelecek önerileri incelenmiştir.

Verilerin Yorumlanması:

- Elde edilen bulgular iklim değişikliğinin havalimanı maliyetleri ũzerindeki etkilerini anlamak amacıyla derinlemesine analiz edilmiştir.
- Literatŭrle ilişkilendirilerek bulguların kapsamı genişletilmiştir.

Literatŭre ve Vaka Çalışmasına Katkı:

- Çalıřmada, Batman Havalimanı űzelinde bir analiz yapılmakla kalınmamıř aynı zamanda benzer iklim ve faaliyet kořullarına sahip bűlgesel havalimanlarına yűnelik öneri geliřtirme amacı da gŭdŭlmŭřtŭr.
- Literatŭrde genellikle ekonomik, çevresel ve sosyal boyut ayrı ayrı incelenirken; bu çalıřma her ũç boyutu bir arada deđerlendirerek bűtŭnsel bir bakıř sunmuřtur.
- Batman'a ait veri ve űrnekleri bűlgesel iklim projeksiyonları ıřıđında saha uygulamalarına dair somut veriler sunmaktadır.
- Derz yenileme maliyetleri ve çatı onarımlarına dair vaka-űzgŭ deđerler benzer çalıřmalarda nadiren bu dűzeyde ayrıntı sunuyor.
- Elektrikli araç kullanımı ve alt yapı kurulum projeleri çevresel boyut adına literatŭrde yer almayan adımlardır.
- Sis saati planlaması ve memnuniyet artışı űrneđi sosyal boyuta dair literatŭrdeki eksikliği kısmen tamamlıyor.

Sınırlılıklar ve gelecek öneriler:

- Vaka çalışması olması nedeniyle elde edilen bulgular tŭm havalimanlarına doğrudan genellenemez. Ama benzer havalimanlarında kullanılabilir.
- Farklı bűlge havalimanlarıyla karşılaştırmalı vaka analizleri yapılabilir.
- Nicel bir modelleme ile bakım maliyetlerinin iklim değişikliğine bağlı yıllık artış hızı istatistiksel olarak incelenebilir.

Batman’a ait veri ve örnekleri bölgesel iklim verileri ışığında saha uygulamalarına dair somut veriler sunmaktadır.

Sonuçların Sunumu ve Strateji Geliştirme:

- Analiz sonuçları maliyet artışlarının nedenlerini ortaya koyarak, maliyet azaltma ve uyum sağlama stratejilerinin geliştirilmesine yönelik önerilerle desteklenmiştir.
- Bulgular Batman Havalimanı özelinde olduğu kadar bölgedeki diğer havalimanları için de uygulanabilir politika önerileri oluşturacak şekilde yorumlanmıştır.

Bu süreçte nitel verilerin sistematik ve anlamlı şekilde işlenmesi sağlanarak araştırma sorularına kapsamlı ve derinlemesine cevaplar elde edilmiştir.

3.3 Araştırma Bulgularının Analizi

Batman Havalimanı özelinde uzmanlarla gerçekleştirilen görüşmeler çerçevesinde iklim değişikliğinin havalimanları üzerindeki etkileri üç temel sürdürülebilirlik boyutu (çevresel, sosyal ve ekonomik) altında bu bölümde incelenmektedir.

- **Çevresel Boyut:** Yağış, rüzgâr, sıcaklık, su yönetimi, atık yönetimi, enerji tüketimi, karbon ayak izi ve biyoçeşitliliğin korunması gibi çevresel faktörlerin Batman Havalimanı özelindeki durumu incelenmektedir.
- **Sosyal Boyut:** Çalışan memnuniyeti, müşteri (yolcu ve yük sahipleri) memnuniyeti, yerel paydaşlarla etkileşim, emniyet ve güvenlik yönetimi, kurumsal iletişim ve farkındalık çalışmaları ele alınarak havalimanının sosyal sürdürülebilirlik performansı analiz edilmektedir.
- **Ekonomik Boyut:** İklim değişikliğinin havalimanı işletmecileri ve paydaşları üzerinde oluşturduğu finansal etkiler, yatırım ve risk yönetimi stratejileri, maliyet artışları ve tasarruf olanakları değerlendirilmektedir.

3.3.1 Çevresel analiz

Batman Havalimanı’nda iklim değişikliğinin çevresel etkileri geniş bir yelpazede hissedilmektedir. Batman Havalimanı’nda yapılan görüşmeler ışığında çevresel boyuttaki bulgular “altyapı ve dayanıklılık, fiziksel etkiler ve genel dayanıklılık”, “biyoçeşitlilik etkileri”, “karbon azaltımı ve SAF uygulamaları”, “planlama ve tasarım stratejileri”,

“projelerin çevresel etki değerlendirmesi” ve “teknolojik uyum ve inovasyon” başlıkları altında incelenecek ve literatürle ilişkilendirilerek değerlendirilecektir. Ayrıca Batman Havalimanı’nın **çevresel** boyuttaki mevcut durumu ve ileriye dönük öneriler detaylı şekilde analiz edilecektir.

3.3.1.1 Altyapı ve dayanıklılık, fiziksel etkiler ve genel dayanıklılık

Mevcut durum:

Araştırmaya katılan uzmanların, “iklim değişikliğinin Batman Havalimanı’nın altyapısında sıcaklık, yağış, rüzgâr ve aşırı hava olayları yoluyla çok yönlü fiziksel etkiler yarattığı yönünde” görüşleri vardır. Örneğin, “yüksek sıcaklıklar asfaltta erimelere, çatlamalara ve apron ile taksiyolundaki beton yüzeyler arasındaki derzlerin bozulmasına neden olurken; kısa pistlerin mevcut olduğu havalimanlarında uçuş operasyonlarının sıcaklığın çok yüksek olduğu (öğle saatleri) saatler dışına planlanması gerektiği” belirtilmiştir. Bu durum Lee vd., (2021, s. 1-3)’nin çalışmasında vurgulandığı üzere “aşırı sıcakların motor itme gücü ve pist uzunluğu kombinasyonunu olumsuz etkilemesi sonucu uçakların kalkış kabiliyetinin azalmasıyla sonuçlanır ve kısa pistlerde operasyonel kısıtların olması kaçınılmazdır” ifadesiyle benzerlik göstermektedir.

Aynı zamanda “yoğun yağışların pistte su birikintileri oluşturarak uçakların iniş-kalkış emniyetini tehlikeye atabileceğini ve binalarda çatı akıntılarına sebep olabileceğini” vurgulamışlardır. Ancak “bu risklere karşı pistin tek taraflı eğim verilerek tasarlanması ve drenaj sisteminin yenilenmesiyle söz konusu tehlikelerin minimize edildiğini” ifade etmişlerdir. Ayrıca rüzgâr paternindeki değişikliklerin pist, apron ve taksiyolu gibi alanlarda yapısal hasar riski oluşturabileceğini ve uçuş prosedürlerini zorlaştırabileceğini vurgulamış; aşırı hava olaylarının ise bu alanlarda deformasyonlara yol açarak maliyetli onarım süreçlerini tetiklediğini belirtmişlerdir. EEA (2016, s. 3-5)’nin aşırı hava olaylarına ilişkin risk analizinde de “bu tür olayların operasyonel aksamalara yol açabileceği ve uyum stratejilerinin acilen geliştirilmesi gerektiğine” vurgu yapılmıştır. Ek olarak, “iklim değişikliğinin su yönetimi alanında yağış rejimindeki değişiklikler sebebiyle hem su baskınlarına hem de su kıtlığına yol açabileceği” belirtilmiştir.

Gelecek için öneriler:

Uzmanlar tarafından havalimanının iklim değişikliğine karşı dayanıklılığının artırılması için çok yönlü stratejiler geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Öncelikle altyapının iklim değişikliğine dayanıklı hale getirilmesi kapsamında, “aşırı hava olaylarına karşı daha

dayanıklı pist tasarımları, ICAO (2019, s. 253)'nın paydaşlar arasında yaptığı ankette de acil ihtiyaç olarak öne çıkan güçlendirilmiş drenaj sistemleri ve sel riskine karşı ek önlemlerin alınması” önerilmektedir.

Terminal binalarının “enerji verimliliğini artıracak yeşil bina teknolojileri ile donatılması, erken uyarı sistemleri ve meteorolojik tahmin araçlarının sürekli izlenmesi sayesinde operasyonel planlamaların iyileştirilmesi de” geleceğe yönelik öneriler arasında yer almaktadır. Bu öneriler Burbidge vd., (2023, s. 18)'nin çalışmasında ki “terminallerde kullanılan yeşil çatılar yüzey suyu akışını azaltarak enerji kullanımında tasarruf sağlarken, kar ve buz yönetimi stratejileri de kış koşullarına hazırlığı artırabilir.” ifadesi tarafından desteklenmektedir.

Ayrıca uçuşlarda yaşanan zorlukların aşılması için “yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin hızlandırılması, çalışanların iklim değişikliği konusunda eğitilmesi ve acil durum müdahale kapasitesinin artırılması, uzun vadede sürdürülebilir ve maliyet verimliliği yüksek bir sistem oluşturulmasına katkı sağlayacağını” belirtmişlerdir. Uzmanların önerilerine ek olarak, iklim senaryolarına göre havalimanı operasyonlarını dinamik olarak optimize edecek (pist kullanımı, enerji tüketimi) ve anlık meteorolojik verilerle entegre çalışan bir yapay zekâ platformu, risk yönetimini proaktif hale getirebilir.

3.3.1.2 Biyoçeşitlilik etkileri

Mevcut durum:

Araştırmaya katılan uzmanlar, “biyoçeşitlilikteki değişimlerin Batman Havalimanı’nın operasyonel işleyişi üzerinde çeşitli etkiler yarattığını” vurgulamaktadır. Örneğin “kuş çeşitliliğindeki değişiklikler nedeniyle iniş sırasında uçağın burun kısmına kuş çarpması sonucu pitot tüpünün (uçağın hızını ölçen alet) hasar alması” uçuş emniyetini doğrudan tehdit eden önemli bir risk olarak öne çıkmaktadır. Lopez (2016, s. 26) bu durumu, “biyoçeşitlilik kaynaklı artan kuş çarpma risklerinin uçaklarda hasar, gecikme ve iptallere sebep olabileceğini” ortaya koyarak desteklemektedir.

Ayrıca “istilacı bitki türlerinin hızla yayılmasının drenaj sistemlerini tıkayarak altyapı sistemlerinin işlevsizleşeceğini” belirtmektedirler ve bu durumun operasyonel risklere dönüşebileceğine dair somut bir örnek, ICAO (2018, s. 53) tarafından Dallas/Fort Worth Uluslararası Havalimanı’nda yaşanan bir olayla ortaya konmuştur: “Havalimanı çevresinde istilacı bir bezelye türünün hızla yayılması bölgeyi güvercinler için çekici bir beslenme alanı haline getirmiş ve kuş çarpma riskini yükselmiştir.” Uzmanların yaban

hayatı ile ilgili oluşabilecek bu riskleri azaltmak amacıyla aldıkları önlemler arasında: “Havalimanı çevresinin beton bariyerlerle fiziksel olarak sınırlandırılması ve yaban hayvanlarının kontrol altına alınması için kafeslerle yakalanıp havalimanı sınırlarından uzaklaştırılması” gibi uygulamalar dikkat çekmektedir.

Gelecek için öneriler:

Geleceğe yönelik olarak biyoçeşitlilikten kaynaklanabilecek olumsuz etkilerin daha etkin yönetilmesi için proaktif ve bütüncül stratejiler geliştirilmelidir. Özellikle kuş popülasyonları ve invaziv bitki türlerinin yayılımını izleyip kontrol altına alacak, düzenli çevresel etki değerlendirmeleri ve ileri izleme sistemleri entegre edilerek erken müdahale mekanizmaları kurulabilir. Bu yaklaşım ICAO (2018, s. 45) tarafından da desteklenmekte olup, söz konusu kuruluş “herhangi bir değişikliği tespit etmek amacıyla yaban hayatı popülasyonlarının izlenmesini” tavsiye etmektedir. Raporda özellikle, "kuş nüfusundaki değişimlerin izlenmesinin havacılık kaynaklı risklerin öngörülmesi ve uyum önlemleri (örneğin habitat modifikasyonu, ses tabanlı caydırıcı sistemler) geliştirilmesi açısından vazgeçilmez olduğu" vurgulanmıştır.

Ayrıca yerel ekosistemle uyumlu peyzaj düzenlemeleri, doğal habitatların korunması ve teknolojik sensörlerle ekolojik dengenin sürekli takip edilmesi hem uçuş emniyetini hem de altyapının sürdürülebilir yönetimini destekleyecektir. Bu stratejilerin çevresel sürdürülebilirliği artırırken operasyonel aksaklıkları en aza indirmeye yönelik olarak tasarlanması havalimanının uzun vadeli verimliliğine önemli katkılar sağlayacaktır.

3.3.1.3 Karbon azaltımı ve SAF uygulamaları

Mevcut durum:

Havacılık sektörünün iklim değişikliği üzerindeki etkilerini azaltmak için uygulanan iki önemli piyasa tabanlı politika bulunmaktadır: Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi (Emissions Trading System-ETS) ve Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından geliştirilen Uluslararası Havacılık için Karbon Dengeleme ve Azaltma Planı (CORSIA). AB-ETS, Avrupa Ekonomik Alanı (European Economic Area-AEA) içindeki uçuşlar için havayolu şirketlerinin emisyon tahsisatlarını teslim etmesini zorunlu kılmaktadır. CORSIA ise, 2020 yılından itibaren havayolu şirketlerinin 2020 yılı seviyelerinin üzerindeki emisyonları için ek tahsisatlar sağlamasını gerektirmektedir (Faber ve Huigen, 2018, s. 26). SAF (Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı) ise, sentezlenmiş

hidrokarbonlar içeren havacılık türbin yakıtı olarak tanımlanmakta olup Jet A veya Jet A-1 yakıtlarının sürdürülebilir bir türüdür (http-8).

Batman Havalimanı'nın karbon emisyonlarını azaltmak adına önemli ve yenilikçi projeleri devreye sokma konusunda öncü rol aldıkları gözükmemektedir. Uzmanlar, "yeşil havalimanı, sıfır atık ve karbonsuz havalimanı projeleri gibi uygulamalarla havalimanının enerji verimliliğinin artırıldığını ve karbon ayak izinin küçültüldüğünü" öne sürüyor. Ayrıca "modern aydınlatma sistemleri, enerji tasarruflu ekipman kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş çabaları kapsamında planlanan güneş enerjisi santrali projesi" bu alanda dikkat çekiyor.

Bunun yanı sıra çevre dostu taşıma seçeneklerini desteklemek amacıyla "apron hizmetlerinde elektrikli araç kullanımı ve yolcu otoparkında elektrikli araçlar için şarj istasyonu kurulması" gibi yenilikçi adımlar atıldığı belirtilmiştir. EASA (2024b, s. 1) da bu konuda, "operasyonel tedbirler ve teknolojik iyileştirmeler de karbon ayak izini azaltmaya yönelik ek katkılar sağlamaktadır" ifadesiyle benzer uygulamaların sektör genelindeki önemine dikkat çekmektedir. Bununla birlikte "SAF konusunda henüz bir faaliyetin bulunmadığını, ancak bu alanda tüm havalimanlarını kapsayacak çalışmaların Genel Müdürlüklerince yürütüldüğünü" ifade etmişlerdir.

Gelecek için öneriler:

Araştırmaya katılan uzmanlar, "sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF) ve karbon yönetimi stratejilerine yönelik olumlu yaklaşımlar sergilemekle birlikte, finansman modellerinin çeşitlendirilmesi gerektiğini" vurgulamaktadır. Örneğin, "SAF altyapısına yönelik yatırım yükünün tek başına havalimanlarına bırakılmaması, devlet teşvikleri, sübvansiyonlar ve kamu-özel sektör iş birlikleriyle maliyetlerin paylaşılması" önerilmekte ve "havayolu işletmelerinin havalimanlarıyla uzun vadeli sözleşmeler yaparak finansal riski azaltabileceği" ifade edilmektedir.

Uzmanların önerilerin yanı sıra karbon azaltım stratejilerinin güçlendirilmesi için: SAF'ın tedarik, depolama ve ikmal süreçlerine yönelik altyapı yatırımları (özel tankerler, eğitimli personel), yenilenebilir enerji projelerinin merkezi karbon yönetim sistemleriyle entegrasyonu, çevre dostu taşıma uygulamalarının kapsamının genişletilmesi gibi adımların acilen hayata geçirilmesi gerekmektedir. ICAO (2022, s. 187) bu yaklaşımı destekler nitelikte, "havacılık sektörünün karbonsuzlaşması için elektrikli ve hidrojen

yakıtlı uçak teknolojilerinin yanı sıra SAF ve sentetik yakıtların kullanımının kritik olduğunu” belirtmektedir.

Sonuç olarak Batman Havalimanı özelinde SAF altyapısı ve yenilikçi teknolojilere yatırım, ICAO'nun önerdiği piyasa temelli önlemlerle uyumlu politikalar, yerel ve/veya uluslararası iş birlikleri gibi stratejiler hem çevresel performansı artıracak hem de sektörde örnek sürdürülebilirlik modeli oluşturacaktır.

3.3.1.4 Planlama ve tasarım stratejileri

Görüşülen uzmanlar, “havalimanlarının iklim değişikliğine uyumlu ve sürdürülebilir bir yaklaşımla tasarlanması gerektiğini” vurgulamaktadır. Ayrıca “yeşil alanların karbon emisyonlarını azaltma, mikroiklimi iyileştirme ve su yönetimini optimize etme gibi avantajlarını öne çıkarırken, ancak bu alanların kuş çarpma riskini artırabileceğine” dikkat çekmektedirler. Gratton vd., (2021, s. 212)’nin çalışmasında ki “Pasifik’te El Niño gibi iklimsel olaylar kuşların besin kaynaklarını ve göç rotalarını etkileyerek havalimanlarında istenmeyen bitki örtüsüyle birlikte bu alanlara daha fazla kuş çekilmesine neden olabilmektedir.” örneği de bu tespiti destekler niteliktedir. Bu riski minimize etmek için, "kuş popülasyonunu çekmeyen bitki türlerinin seçilmesi ve yeşil alanların pistlerden stratejik uzaklıkta planlanması" gibi stratejiler önerilmektedir. Benzer şekilde “projelerin başlangıç aşamasında iklim risk analizleri ve çevresel etki değerlendirmeleri yapılmasını, dayanıklı malzemelerin kullanımını ve yeşil bina sertifikasyonlarının entegrasyonunu” savunmaktadırlar.

Uzmanların önerilerine ek olarak:

Akıllı Peyzaj Tasarımı: Yeşil alanlarda kuş çekmeyen bitkilerin yanı sıra sensör tabanlı sulama sistemleri ve yerel türlere öncelik verilerek ekosistemle uyum sağlanmalıdır. Ayrıca yeşil alanların uçuş emniyetiyle dengelenmesi için yapay zekâ destekli kuş hareketi izleme sistemleri entegre edilebilir.

İklim Dirençli Malzeme İnovasyonu: İnşaat süreçlerinde yalnızca dayanıklı malzemeler değil, geri dönüştürülmüş ve düşük karbon ayak izine sahip kompozitler (örneğin karbon fiber takviyeli beton) kullanılmalıdır. Bu malzemeler hem enerji verimliliğini artıracak hem de yaşam döngüsü maliyetlerini düşürecektir.

Uzmanların önerileri iklim odaklı havalimanı tasarımının ancak teknik, ekolojik ve sosyal bileşenlerin senkronize edilmesiyle başarılı olabileceğini göstermektedir. Yukarıda

önerilen akıllı sistemler ise bu bileşenleri bir araya getirerek hem operasyonel emniyeti hem de toplumsal kabulü artıracaktır.

3.3.1.5 Projelerin çevresel etki değerlendirmesi

Mevcut Durum:

Havalimanı uzmanları, “Batman Havalimanı’nda sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik Yeşil Havalimanı, Sıfır Atık ve Karbonsuz Havalimanı projelerinin aktif olarak uygulandığını” belirtmişlerdir. Bu kapsamda “aydınlatmaların LED teknolojisine dönüştürüldüğünü ve bu sayede enerji verimliliği sağlandığını” aktarmışlardır. Uzmanlar ayrıca “yolcu otoparkına elektrikli araç şarj istasyonları ve apron hizmetlerinde elektrikli araç kullanımına geçilmesi gibi projelerle temiz enerjiye geçişi desteklediklerini” vurgulamışlardır. Atık yönetimi konusunda ise uzmanlar, “yıllık 1.700 kg ambalaj atığı ve 1.500 kg atık motor yağının geri dönüşüme kazandırıldığını, ayrıca de-icing (buz giderme) ve anti-icing (buzlanmayı önleme) uygulamalarının yapıldığı alanın 189.280 TL maliyetle yenilendiğini ve kimyasal maddelerin doğaya karışmadan özel tesislere gönderilerek depolandığını” açıklamışlardır. “Bu uygulamaların hem çevresel fayda sağladığını hem de ekonomik getirilerle karbon ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunduğunu” özellikle vurgulamışlardır. Sonuç olarak, hayata geçirilen bu projeler ve uygulamalar Batman Havalimanı’nı çevre dostu bir model haline getirerek sürdürülebilirlik çabalarını güçlendiren önemli adımlardır.

Gelecek için öneriler:

Görüşülen uzmanlar, “havalimanlarında atık yönetimini iyileştirmek için “kaynakta ayrıştırma sistemleri, kompost tesisleri, tek kullanımlık plastiklerin azaltılması, dijital atık izleme, geri dönüşüm otomatları ve sürdürülebilir tedarik zincirleri” gibi yenilikçi adımları” önermektedirler. Bu öneriler atık oluşumunu minimize etmeyi, geri dönüşüm oranlarını artırmayı ve döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırmayı hedeflediklerini göstermektedir. Uzmanların önerilerine ek olarak, IoT tabanlı akıllı atık kutuları ve geri dönüşüm ödül sistemleri gibi dijital çözümler de operasyonel verimliliği ve yolcu katılımını artırarak sürdürülebilirliği destekleyecektir.

Eurocontrol (2021c, s. 1) tarafından vurgulandığı üzere, “enerji verimliliği projeleri, atık yönetimi iyileştirmeleri ve SAF kullanımının artırılması havalimanlarının iklim değişikliğine uyum sağlaması ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmesi için temel stratejiler arasındadır.” Bu ifade, Batman Havalimanı’nın mevcut enerji tasarruflu

ekipmanlar ve elektrikli araç altyapısı gibi enerji verimliliği odaklı projelerinin yanı sıra, atık yönetimindeki dönüşüm çabalarını da küresel bir perspektifle desteklemektedir. Hem uzman görüşleri hem de Eurocontrol'ün vurguladığı stratejiler atık yönetimi, enerji verimliliği ve alternatif yakıtların birbiriyle entegre bir şekilde ele alınması gerektiğini göstermektedir. Örneğin, SAF'ın lojistik ve depolama süreçlerinde ortaya çıkan atıkların yönetimi için kompost tesisleri veya dijital izleme sistemleri kullanılabilir. Aynı zamanda, yolcuların SAF kullanımına yönelik farkındalığını artırmak için bilinçlendirme kampanyaları geri dönüşüm otomatlarıyla birleştirilebilir. Bu bütünsel yaklaşım çevresel sürdürülebilirliği ekonomik ve operasyonel hedeflerle uyumlu hale getirecektir.

3.3.1.6 Teknolojik adaptasyon ve inovasyon

Mevcut durum:

Uzmanlar “havalimanlarında iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik politikalarının uygulanabilmesi için mevcut altyapı ve teknolojik donanımın güncel olması ve sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olması gerektiğini” vurgulamaktadır. Özellikle “enerji verimliliği sistemleri, atık yönetimi ve su tasarrufu teknolojileri gibi unsurların operasyonların çevresel etkilerini azaltmada kritik rol oynadığı” belirtilmektedir. Ancak “eski veya yetersiz altyapı nedeniyle bu politikaların etkin şekilde hayata geçirilmesinde zorluklar olacağı” ifade edilmektedir.

Gelecek için öneriler:

Uzmanlar, “havalimanlarının sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği hedeflerine ulaşması için teknolojik adaptasyon ve inovatif çözümlerin kritik önem taşıdığını” vurgulamaktadırlar. Burbidge (2016, s. 16) ve Burbidge vd., (2023, s. 15)’nin “enerji tüketimindeki artışın havalimanı işletmelerinin finansal sürdürülebilirliği üzerinde baskı oluşturduğu ve uzun vadede önemli mali yükler getirebileceği” yaklaşımı, aşağıdaki önerilerin neden gerekli olduğunu destekler niteliktedir. Uzmanların önerileri ise, “altyapı güncellemesinin düzenli yapılması, yenilenebilir enerji entegrasyonunun yaygınlaştırılması (güneş panelleri, jeotermal sistemler) ve enerji tüketiminin akıllı sistemlerle optimize edilmesi” gibi çözümlerdir. Örneğin “LED aydınlatma, güneş enerjili pist aydınlatması, enerji geri kazanımlı havalandırma sistemleri ve bina otomasyonu gibi adımların enerji tasarrufunu artırabileceğini” belirtmektedirler.

Ayrıca pasif çözümler arasında yer alan “yalıtım malzemelerinin iyileştirilmesi ve çalışan ofislerinin güneş konumuna göre tasarlanması gibi mimari adaptasyonların da enerji

tasarrufuna katkı sağlayacağı” düşünülmektedir. Bu önerilerin yanı sıra dijital ikiz teknolojileriyle enerji tüketiminin simülasyonlar üzerinden optimize edilmesi veya yeşil hidrojen gibi alternatif enerji kaynaklarının pilot projelerle test edilmesi uzmanların bahsettiği çözümleri tamamlayıcı nitelikte olabilir. Ayrıca havalimanlarının sürdürülebilirlik performansını izlemek için IOT tabanlı gerçek zamanlı izleme sistemlerinin kurulması ve bu verilerin şeffaf bir şekilde paylaşılması hem enerji verimliliği hem de paydaş güvenini artıracaktır.

3.3.2 Sosyal Analiz

İklim değişikliği, havalimanlarının yalnızca ekonomik ve çevresel değil aynı zamanda sosyal sürdürülebilirliğini de etkilemektedir. Bu bölümde, Batman Havalimanı’nda yapılan görüşmeler ışığında sosyal boyuttaki bulgular “çalışan memnuniyeti ve İK önlemleri”, “yolcu hizmetleri, müşteri memnuniyeti ve hizmet kalitesi”, “paydaş farkındalığı, sektör dayanıklılığı ve iletişim” ve “emniyet, güvenlik, acil durum planlaması ve hava trafik hizmetleri” başlıkları altında incelenecek ve literatürle ilişkilendirilerek değerlendirilecektir. Ayrıca Batman Havalimanı’nın sosyal boyuttaki mevcut durumu ve ileriye dönük öneriler detaylı şekilde analiz edilecektir (Burbidge (2016), ICAO (2019), Smagghe ve Anelli (2023)).

3.3.2.1 Çalışan memnuniyeti ve İK önlemleri

Mevcut durum:

Araştırmaya katılan uzmanlar, “iptal veya gecikme durumlarında yer personelinin stresli ve sıkışık zaman dilimlerinde yolcularla iletişim kurarken yüksek düzeyde baskı altında kaldığını, bu stres hem çalışanların hizmet kalitesini olumsuz etkileyerek bilgi akışında kopmalara neden olmakta hem de yolcuların yaşadığı belirsizlik hissini pekiştirerek yolcu memnuniyet anket sonuçlarında yolcuların uçuş hizmetine yönelik olumsuz deneyim bildirimlerini artırdığını” belirtmişlerdir. Uzmanlar ayrıca “özellikle yaz aylarında artan aşırı sıcaklıkların çalışanlar üzerinde oluşturduğu fiziksel ve mental yükün göz önünde bulundurulduğunu” vurgulamaktadır. Bu durumun operasyonel sonuçlarına dikkat çeken Smagghe ve Anelli (2023, s. 8), “sıcak hava dalgaları sırasında apronda çalışma koşullarının zorlaşmasının, personel devamsızlıklarını artırabileceğini ve operasyonel verimliliği düşürebileceğini” belirtmektedir.

Burbidge vd., (2023, s. 15-16) ise, “sıcak hava koşullarında çalışan personelin sağlık riskleri artarken fiziksel dayanıklılığı ve dikkatinin azalabileceğine” vurgu yapmaktadır.

Uzmanlar, bu kapsamda alınan önlemleri şu şekilde aktarmaktadır: "Aşırı sıcaklıklara karşı iklimlendirme sistemleri, gölgeli alanlar ve soğutma cihazları gibi altyapı iyileştirmeleri hayata geçirilmiş; personelin fiziksel ve psikolojik sağlığını korumak amacıyla esnek çalışma saatleri ile revize edilmiş nöbet sistemleri uygulanmıştır." Ayrıca "çalışanların bilinçlendirilmesi amacıyla düzenli eğitim ve farkındalık programları uygulanarak, operasyonel zorlukların yarattığı stres ve motivasyon düşüşleri de minimize edilmeye çalışıldığı" belirtilmektedir.

Sıcak hava koşullarında çalışanların sağlık riskleri artarken fiziksel dayanıklılığı ve dikkati azalabilir. Bu da operasyonların aksamasına ve uçakların geri dönüş sürelerinin uzamasına yol açabilir. Çalışma sürelerinin kısalması ve sık molalar verilmesi ise iş gücü ihtiyacını artırarak vardiya planlamasını zorlaştırabilir (Burbidge vd., 2023, s. 15-16).

Geleceğe yönelik öneriler:

Uzmanlar, "gelecekte de çalışan memnuniyetini artırmak için mevcut uygulamaların daha da geliştirilmesi ve yeniliklere de açık olunması üzerinde" durmaktadır. Örneğin, "güvenli çalışma koşulları ve dinamik İK uygulamaları kapsamında stratejilerin daha da geliştirilmesi gerektiğini" belirtmektedir. Bu bağlamda "psikolojik destek sistemleri ve sürekli güncellenen eğitim programları ile desteklenen, teknolojik yeniliklerle entegre esnek İK çözümleri ön plana çıkacağını" düşünmektedirler. Ayrıca "bu yatırımların sadece maliyet kalemleri olarak değil, aynı zamanda operasyonel etkinlik ve çalışan bağlılığı açısından uzun vadeli yatırımlar olarak değerlendirilmesi gerektiği üzerinde" durmaktadır. Uzmanların önerileri doğrultusunda mevcut uygulamaların sürekli iyileştirilmesi ve çalışan ihtiyaçlarına odaklanan esnek stratejiler havalimanı işletmelerinde sosyal sürdürülebilirlik ve çalışan memnuniyeti açısından önemli kazanımlar sağlayacaktır.

3.3.2.2 Yolcu hizmetleri, müşteri memnuniyeti ve hizmet kalitesi

Mevcut durum:

Uzmanlar "yağmur, sis, rüzgâr ve kar yağışı gibi meteorolojik hadiseler nedeniyle 2023'te 44 uçuş, 2024'te ise 15 uçuşun iptal, gecikme veya yönlendirme ile sonuçlandığını ve bu sayılarda en önemli etkenin sis olduğunu" belirtmişlerdir. "Seyahat planı çerçevesinde uçuşunu gerçekleştirmek isteyen yolcular, beklenmedik bir gecikme veya iptalle karşılaştıklarında bunu havalimanının eksikliği olarak algılamakta ve anketlerde uçuş hizmetinden olumsuz deneyim bildirdiğine" değinmişlerdir. Batman

yolcuları için Batman Havalimanına alternatif olarak en yakın ticari havalimanı Diyarbakır'dır (yaklaşık 100 km); kara yolu otobüs seferleri ise ortalama 1,5 saat sürmektedir. Bu koşullarda uçuş iptali, yolcunun ulaşım süresini en az 2–3 saat daha uzatmakta ve memnuniyetsizliği katlanarak artırmaktadır. Ayrıca “Yolcu memnuniyetinin 2023 yılında %62,13 iken, 2024 yılında %78,11'e yükseltildiğini” vurgulamışlardır. Bu oranın artırılmasında da “2024 yılı kış ayında ki uçak trafiğinin sisin yoğun olarak gerçekleştiği sabah ve akşam saatleri dışına planlanmasının etkisi olduğunu” vurgulamışlardır. Uzmanlar, müşteri memnuniyetinin şu anda yüksek tutulduğunu belirtirken, Batman Havalimanı'nın yeterli altyapısı ve etkin iklimlendirme sistemleri sayesinde artan sıcaklıkların ve diğer iklimsel etkenlerin olumsuz etkilerinin büyük oranda minimize edildiğini” ifade etmektedir. Özellikle “pist uzunluğu ve operasyonel düzenlemelerin bagaj bırakma gibi sorunları önleyerek yolcu deneyimini olumlu etkilediği vurgulanırken, hizmet kalitesi açısından da beklenmedik hava olayları sonucu oluşabilecek gecikme ve iptallere karşı düzenli bilgilendirme, ek yiyecek-içecek hizmetleri ve şeffaf iletişim uygulamalarının devreye sokulduğu yönünde” örnekler verilmektedir. Bunun yanı sıra “aşırı hava olaylarının ve yan rüzgarların uçuş operasyonları ve terminal konforu üzerindeki etkileri yolcu hizmetlerinin aksaması şeklinde kendini gösterse de mevcut önlemlerle bu aksaklıkların etkisinin sınırlı kaldığı” belirtilmektedir. Uzmanların belirttiği bu uygulamalar havalimanının iklim direnci ve yolcu odaklı hizmet anlayışını bir arada yürüttüğünü ortaya koymaktadır.

Geleceğe yönelik öneriler:

Uzmanlar, ilerleyen süreçte yolcu hizmetleri, müşteri memnuniyeti ve hizmet kalitesinin yüksek seviyede tutulmasının devam etmesi için “operasyonel esneklik ve iletişim stratejilerinin daha da güçlendirilmesi gerektiğini yönünde önerilerde” bulunmaktadır. Örneğin “gelecekte özellikle aşırı hava koşullarının yol açtığı gecikme, iptal ve uzun bekleme süreleri gibi aksaklıkların minimize edilmesi için erken uyarı sistemlerinin ve dijital iletişim kanallarının optimize edilmesi, terminal konforunu artıracak teknolojik iyileştirmelerin devreye sokulması, hizmet kalitesini destekleyen dinamik müşteri destek programlarının uygulanması büyük önem taşıdığı yönünde önerilerde” bulunmaktadır. Bu stratejiler ise “yolcu memnuniyetinin ve genel hizmet kalitesinin korunmasına ve operasyonel aksaklıkların yol açtığı olumsuz deneyimlerin giderilmesine katkı sağlayarak havalimanının sektör genelinde rekabet gücünü artıracak” düşünülmektedir. Uzmanların önerdiği bu yaklaşımlar aşırı hava koşullarından kaynaklanan aksaklıkları minimize

ederek havalimanının rekabet gücünü artıracak ve yolcuların olumsuz deneyimlerini telafi edecek bir çerçeve sunacaktır.

3.3.2.3 Paydaş farkındalığı, sektör dayanıklılığı ve iletişim

Mevcut durum:

Uzmanlar, “değişen iklim koşullarına adapte olmak için havalimanlarında iklim dirençli altyapı çalışmalarının hız kazandığını” aktarmıştır. Örneğin, “havalimanı işleticileri tarafından aşırı yağışlara dayanıklı drenaj sistemleri, sel önleyici pist tasarımları ve yeşil bina sertifikasyonlu terminaller gibi uygulamaların hayata geçirildiğini” belirtmişlerdir. Aynı zamanda, “erken uyarı sistemleri ve meteorolojik veri analiz araçlarıyla operasyonel süreçlerin optimize edildiğini, acil durum müdahale ekiplerinin ise düzenli tatbikatlar ve eğitimlerle güçlendirildiğini” eklemişlerdir. Uygulanan stratejiler havalimanlarının altyapı dayanıklılığını artırmakta ve operasyonel verimliliği optimize ederek somut ilerlemeler sağladığını kanıtlamaktadır.

İletişim stratejisi konusunda ise uzmanlar, “karbon emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerjiye geçiş gibi projelerini sosyal medya, web sitesi ve basın bültenleri aracılığıyla şeffaf bir şekilde paydaşlara iletilmesinin hem sektördeki çevresel duyarlılığı artırdığını hem de kurumsal itibarı güçlendirdiğini” dile getirmişlerdir.

Geleceğe yönelik öneriler:

Görüşülen uzmanlar, “iklim değişikliğiyle mücadelede paydaş farkındalığının kritik rolüne” vurgu yapmıştır. Sektör paydaşlarının (yer hizmet kuruluşları, havayolu şirketleri ve diğer paydaşlar) farkındalığının artırılması için “düzenli eğitim ve bilinçlendirme seminerlerinin düzenlenmesi, paydaşların iklim değişikliği ile ilgili en iyi uygulamaları öğrenmeleri için ulusal ve uluslararası başarılı projelerin, vaka çalışmaların ve bilgi ve kaynakların erişilebilir olduğu bir platformun oluşturulması ve projelere ve sürdürülebilir uygulamalara teşvik etmek için ödüller ve teşvikler verilmesi” gibi önerilerde bulunmuşlardır. Sunulan bu öneriler paydaşlar arasında farkındalığı arttırarak ortak çözümler üretmeyi kolaylaştırıp ve sektördeki iş birliğini güçlendirecektir.

Uzmanlar, “havalimanı sektöründe iklim değişikliğine karşı sosyal dayanıklılığı güçlendirmek için altyapının iyileştirilmesi, yenilenebilir enerji entegrasyonu, iklim verisi izleme sistemlerinin geliştirilmesi, erken uyarı sistemlerinin optimizasyonu, acil durum planlarının güncellenmesi ve çalışan eğitimleri gibi stratejilerin kritik olduğunu”

vurgulamıştır. Bu stratejilerin etkisi yalnızca tek bir havalimanıyla sınırlı kalmamakta, iklim değişikliğinin yarattığı risklerin diğer havalimanları ve paydaşlar üzerinde zincirleme etkiler yaratma potansiyeli bulunmaktadır.

ICAO (2019, s. 111) tarafından da belirtildiği gibi, “bu tür risklerin sektör genelinde yönetilebilmesi için kapsamlı risk değerlendirmelerinin yapılması ve sonuçların Ana Planlara entegre edilmesi gerekmektedir.” Bu adımlar paydaşlar arasında koordineli hareketi ve bilinçli karar alma süreçlerini teşvik ederek, sektörün beklenmedik iklim risklerine karşı direncini artıracak, operasyonel sürekliliği sağlayacak ve sosyal sürdürülebilirliği destekleyecektir. Eğitim, teknoloji ve iş birliği odaklı bu yaklaşımlar iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerine karşı havalimanı sektörünün dirençli bir temel oluşturmasını sağlayacaktır.

3.3.2.4 Emniyet, güvenlik, acil durum planlaması ve hava trafik hizmetleri

Mevcut durum analizi:

Uzmanlar tarafından, iklim değişikliğinin havalimanı operasyonları üzerindeki etkilerini vurgulayarak uçuş emniyeti, güvenlik, acil durum planlaması ve hava trafik hizmetleri alanlarında önemli riskler olduğunu öneri sürülmektedir. Örneğin, “artan sıcaklıklar, şiddetli fırtınalar, yoğun sis ve ani hava değişimlerinin uçak iniş-kalkışlarında riskleri artırabileceği ve uçuş emniyeti ihlallerini tetikleyebileceği” ifade edilmiş; bu bağlamda, “sisten kaynaklı olarak 2023 yılında 33 uçuş, 2024 yılında ise 8 uçuşta iptal/gecikme/yönlendirme gibi olumsuzlukların yaşandığı” belirtilmiştir. Bu etkilerin yarattığı olumsuzluklardan kaçınmak için “şiddetli fırtınalar öncesi gerekli güvenlik ve koruma önlemlerinin alındığını, yoğun sisin yaşandığı dönemlerde uçuşların sisin az olduğu saatlere planlandığını ve pist ve çevresinde aşırı yağışlardan kaynaklı su basmalarını önlemek için drenaj kanalının tamamen yenilendiğini” gibi önlemleri dile getirmişlerdir.

Burbidge (2016, s. 16-17)'in belirttiği gibi, “bu tür proaktif esneklik önlemleri, uçuş planlaması süreçlerinin dinamik kapasiteye dayalı olarak yeniden şekillendirilmesini ve iklim kaynaklı aksaklıkların yönetiminde havalimanlarının adaptasyon kabiliyetini artırmayı zorunlu kılmaktadır.” Ayrıca uzmanlar, “bu tür olumsuz durumlara hazırlıklı olmak ve personelin etkinliğini artırmak için havalimanı operasyonlarında görevli tüm

paydaşların katılımı ile yılda en az iki kez Meteorolojik Acil Durum Toplantısı (MADKOM) düzenlendiğini” aktarmıştır.

Hava trafik hizmetleri açısından, rüzgâr paterni değişikliklerinin (özellikle yan rüzgârlar ve rüzgâr makası (wind shear) gibi ani değişimlerin) havacılıkta kritik bir risk faktörü olduğu vurgulanmaktadır. Rüzgâr makası, atmosferde kısa mesafelerde (dikey veya yatay) rüzgâr hızı ve/veya yönünde ani ve keskin değişimler olarak tanımlanır. Bu durumun riskli olmasının temel nedeni uçakların kalkış, iniş ve alçalma süreçlerinde kontrol kaybına yol açabilmesidir. Ayrıca uzmanlar tarafından “rüzgâr makası ve yan rüzgârların: pist kullanımını sınırlandırabileceği, trafik akışını yeniden düzenlemeyi gerektirebileceği, insan hatası riskini artırabileceği gibi operasyonel zorluklara neden olabileceği de” belirtilmiştir.

Geleceğe yönelik öneriler:

Uzmanlar, iklim değişikliği etkilerini azaltmak için “kapsamlı risk analizleri, iklim senaryolarına uyumlu acil durum planları ve düzenli tatbikatlar” önermektedir. Ayrıca “yerel yönetimler, hava yolu şirketleri ve diğer paydaşlarla ortak tatbikatlar ve bilgi paylaşım protokolleri ile koordinasyonun kritik olduğunu” dile getirmiştir. Özellikle “MADKOM toplantılarının kapsamının genişletilmesi ve daha dinamik senaryolarla test edilmesi” önerilmektedir. “Hava trafik kontrol sisteminde yapay zekâ destekli tahmin modelleri ve gerçek zamanlı veri entegrasyonunun rüzgâr değişimlerine anlık müdahale kapasitesini artırabileceği, pist tasarımlarında ise iklim dirençli malzemelerin kullanımı ve drenaj sistemlerinin kapasite artırımının aşırı hava olaylarına karşı fiziksel altyapıyı güçlendireceği” öne çıkarılmaktadır.

Güvenlik personeli için iklim koşullarına özel eğitim modülleri ve psikolojik dayanıklılık programlarının oluşturulması ve son olarak ise bölgesel işbirliği ağları kurularak acil durum kaynaklarının ortak kullanımı teşvik edilebilir.” şeklinde önerilerde bulunmuşlardır. Uzmanların belirtmiş olduğu bu öneriler operasyonel kesintileri en aza indirerek uçuş emniyeti ve güvenlik standartlarını artırmak ve tüm paydaşların koordinasyonunu güçlendirerek sürdürülebilir bir havalimanı yönetimine katkıda bulunmaya yardımcı olacaktır.

3.3.3 Ekonomik Analiz

Batman Havalimanında gerçekleştirilen görüşmeler iklim değişikliğinin ekonomik etkilerini çok boyutlu şekilde ortaya koymaktadır. Bu bölümdeki bulgular “çalışan

memnuniyeti, maliyet yönetimi ve sektör dayanıklılığı”, “maliyet riski, bakım, sigorta ve finansal stratejiler”, “risk yönetimi ve analiz süreçleri”, “teknolojik yatırımlar ve stratejik getiriler”, “yönetim ve strateji uygulamaları”, “fiziksel etkiler ve maliyet” başlıkları altında incelenecek ve literatürle ilişkilendirilerek değerlendirilecektir. Batman Havalimanı’nın ekonomik boyutta mevcut durumu ve ileriye dönük öneriler detaylı şekilde analiz edilecektir.

3.3.3.1 Maliyet yönetimi ve sektör dayanıklılığı

Mevcut durum analizi:

Uzmanlar, “iklim değişikliğine karşı alınan önlemlerin hem çalışan memnuniyetini artırmada hem de havalimanı sektörünün genel dayanıklılığını geliştirmede kritik rol oynadığını” belirtmektedir. “Çalışan sağlığı ve güvenliğine yönelik yapılan yatırımlar, örneğin, iklimlendirme sistemleri iyileştirmeleri, gölgelik alanlar, soğutma cihazları, esnek çalışma saatleri, eğitim programları ve ekstra prim ödemeleri kısa vadede maliyetleri artırsa da uzun vadede verimliliği yükseltip operasyonel aksaklıkları azaltma potansiyeline sahip olduğu” vurgulanmaktadır. Diğer yandan, “altyapının iklim değişikliğine uyum sağlaması adına sürekli izlenen iklim verileri ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş gibi stratejik adımlar havalimanının sürdürülebilir operasyonlarına katkıda bulunarak hem çalışan bağlılığını hem de uzun vadeli ekonomik verimliliği desteklediğini” belirtmişlerdir.

Gelecek için öneriler:

Uzmanlar, havalimanı sektörünün iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını artırmak için “altyapının iklim değişikliğine dayanıklı hale getirilmesi (dayanıklı pist tasarımları, güçlendirilmiş drenaj sistemleri, sel riskine karşı önlemler ve yeşil bina teknolojileri), iklim verilerinin sürekli izlenmesi ve analiz edilmesi ve çalışanların iklim değişikliği konusunda eğitilmesi ve acil durum müdahale kapasitelerinin artırılması” gibi önerilerde bulunmuşlardır. Bu öneriler Burbidge vd., (2023, s. 14) tarafından da desteklenmekte, söz konusu araştırmacılar özellikle "havalimanı altyapısının tasarım standartlarının güncellenmesi, daha güçlü fırtınalara dayanıklı yapıların inşası, etkili yüzey drenajı, pompa sistemleri ve elektrik altyapısının yükseltilmesi" gibi sel adaptasyon önlemlerinin stratejik önemine dikkat çekmektedir.

Altyapının güçlendirilmesi ve iklim verilerinin sürekli izlenmesi sayesinde aşırı hava olaylarına karşı erken müdahale imkânı sağlanarak operasyonel kesintilerin ve yüksek

maliyetli acil durum müdahalelerinin önüne geçebilme avantajı sağlayabilir. Ayrıca çalışanların iklim değişikliği konusunda eğitilmesi ve acil durum müdahale kapasitelerinin artırılması beklenmedik olaylara hızlı ve etkili yanıt vererek havalimanının sürdürülebilirlik performansını ve itibarını artırmada yardımcı olacaktır.

Çalışan verimliliğini artırmaya yönelik ise, “aşırı sıcaklıklara karşı iklimlendirme sistemlerinin iyileştirilmesi, gölgelik alanlar oluşturulması ve soğutma cihazlarının temini, esnek çalışma saatleri, aşırı hava koşullarında çalışanlara ek ödeme veya prim verilmesi, eğitim ve farkındalık programları” gibi önerilerde bulunmuşlardır. Tüm bu önlemler kısa vadede bütçe baskısı yaratabilir ancak uzun vadede çalışan bağlılığı ve verimliliğini artırarak operasyonel aksaklıkları azaltma potansiyeline sahiptir.

3.3.3.2 Maliyet riski, bakım, sigorta ve finansal stratejiler

Mevcut durum analizi:

Görüşülen uzmanlar, iklim değişikliğinin havalimanları üzerindeki ekonomik etkilerini özellikle maliyet riski, bakım, sigorta ve finansal stratejiler bağlamında değerlendirmektedir. Uzmanlar, “iklim değişikliği nedeniyle artan aşırı hava olayları havalimanlarının sigorta maliyetlerinde önemli bir artışa yol açabileceğini ve bu yüzden altyapı hasarları, operasyonel kesintiler ve uçuş iptalleri gibi maliyetli sonuçların sigorta şirketlerinin risk değerlendirmesini yeniden şekillendirdiğini” belirtmektedir. Bu riskin temelinde havalimanlarının sabit altyapılarının yıkıcı hava koşullarına karşı savunmasız olması yatmaktadır.

Burbidge (2016, s. 14-15) de bu durumu vurgulayarak, “iklim değişikliğinin potansiyel sonuçlarına karşı havalimanı altyapılarının özellikle risk altında olduğunu” ifade etmektedir. Bu durum sigorta primlerinin yükselmesine ve kapsamların daralmasına neden olabilir. Batman Havalimanında “aşırı hava olayları ve sıcaklık artışlarının altyapıda ve bina/tesislerde ciddi hasarlara yol açabileceği, drenaj sistemlerinin yetersiz kalabileceği ve bu durumun uçuş iptallerine ve gecikmelere neden olabileceği” vurgulanmaktadır. Örneğin “pistin su basma riskini en aza indirmek için 2024 yılında pist drenaj sisteminin tamamen yenilendiği” belirtilmiştir.

Ayrıca “sıcaklık artışlarının pist, apron ve taksi yollarında deformasyon riskini artırdığı, bu da sık bakım ve yenileme maliyetlerini beraberinde getirdiği” ifade edilmektedir. Uzmanların aktardığı bulgular iklim değişikliğinin havalimanları üzerinde yarattığı finansal kırılganlığı ve sigorta maliyetlerindeki artışın operasyonel sürdürülebilirliği

tehdit ettiğini ortaya koymaktadır. Bu durum altyapıya yönelik acil uyum yatırımları (ısıya dayanıklı malzeme) yapılmazsa hem maliyet artışının kalıcı hale gelmesine hem de havalimanının uzun vadede operasyonel güvenilirliğini kaybetmesine yol açabilir.

Enerji tüketimi ve soğutma maliyetleri konusunda uzmanlar, “sıcaklık artışlarının terminal binaları ve diğer tesislerdeki soğutma sistemlerini daha yoğun çalışmaya zorladığını, bu durumun enerji talebini ve işletme maliyetlerini artırdığını” belirtmektedir. Örneğin “2024 yılında artan sıcaklıklar nedeniyle soğutma sistemlerinin yetersiz kalması ve aşırı kullanımdan kaynaklı hızlı yıpranması sonucu sistemin tamamen yenilendiği” aktarılmıştır. Uzmanların bu örneği, söz konusu sistem yenileme maliyetlerinin havalimanı işletmecileri için ciddi bir finansal yük oluşturduğunu açıkça ortaya koymaktadır. ICAO (2018), “aşırı sıcakların mevcut sistemleri zorlaması nedeniyle ek yatırımların ve altyapı yenilemelerinin kaçınılmaz olduğunu ve bunun da önemli maliyet artışlarına yol açtığını” raporlamıştır. Hem örnekteki somut vaka hem de kurumsal analizler iklim kaynaklı operasyonel zorlukların yalnızca enerji tüketimini değil altyapı yenilemesi için gereken sermaye harcamalarını da artırdığını kanıtlamaktadır.

Gelecek için öneriler:

Uzmanlar, iklim değişikliğinin havalimanı maliyetlerine etkilerini en aza indirmek için “sürdürülebilir finansal stratejiler (enerji verimliliği ve su tasarrufu sağlayan teknolojilere yatırım yapmak, sürdürülebilir altyapı projeleri geliştirmek) geliştirmenin önemine” dikkat çekmektedir. Burbidge vd. (2023, s. 16), bu stratejilerin gerekliliğini somutlaştıran bir örnek sunarak “sıcaklık artışları nedeniyle bina ve tesislerdeki klima kullanımında önemli bir artış beklendiğini” belirtmektedir. Aynı çalışmada “mevcut yapılarda soğutma sistemlerine yönelik iyileştirmelerin maliyetli olması sebebiyle bu tür önlemlerin tasarım aşamasında alınmasının daha verimli olacağı” vurgulanmaktadır.

Uzmanlar ayrıca “altyapının modernize edilmesi, drenaj sistemlerinin iyileştirilmesi ve aşırı hava olaylarına karşı dayanıklı yapılar inşa edilmesi gibi” önerilerde bulunmuşlardır. Bu tür yatırımlar başlangıçta yüksek maliyetler doğurabilir. Ancak bu stratejilerin uygulanması uzun vadede operasyonel devamlılık ve uçuş emniyetinin korunması açısından kritik önem taşır. Yapılacak projelerle özellikle uçuş gecikmeleri ve iptallerinin azaltılması havalimanlarının gelir kaybını önleyebilir ve yolcu memnuniyetini artırabilir. Sonuç olarak, iklim değişikliğinin havalimanları üzerindeki ekonomik etkilerini yönetmek için sürdürülebilir finansal stratejiler geliştirmek ve proaktif önlemler almak

hem kısa vadeli maliyetleri dengelemek hem de uzun vadede finansal ve operasyonel istikrarı sağlamak açısından önemli bir rol oynayacaktır.

3.3.3.3 Risk yönetimi ve analiz süreçleri

Mevcut durum:

Uzmanlar, iklim değişikliğinin havalimanı üzerindeki finansal etkilerini risk yönetimi ve analiz süreçleri bakımından değerlendirirken “yapılan risk analizlerinin potansiyel riskleri önceden belirleyip, altyapı zayıflıklarını ve aşırı hava olaylarını tespit ederek büyük çaplı onarımlar ile acil durum müdahalelerinin maliyetlerini azaltmada etkili olduğunu” vurgulamaktadır. Örneğin “analizlerin altyapı zayıflıkları veya aşırı hava olayları gibi risklerin belirlenmesi sayesinde maliyetleri kontrol edilebileceği belirtilirken, operasyonel kesintilerin önlenmesiyle uçuş gecikmeleri ve iptallerinden kaynaklanan ekonomik kayıpların azaltılabileceği” ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra, ani hava değişiklikleri ve fırtına gibi olayların risk analizlerine ek belirsizliklere yol açabileceği, ayrıca meteorolojik veri toplama sistemleri ve erken uyarı mekanizmalarının operasyonel kararları optimize ettiği” belirtilmektedir. Uzmanların aktardığı bulgular iklim değişikliği kaynaklı finansal risklerin proaktif risk analizleri ve veriye dayalı planlamayla kontrol altına alınabileceğini, ancak ani hava olaylarının yarattığı belirsizliklerin beklenmedik maliyet artışlarına yol açabileceğini ortaya koymaktadır.

Gelecek için öneriler:

Uzmanlar risk yönetimi ve analiz süreçleri kapsamında havalimanlarını iklim kaynaklı risklere karşı dirençli hale getirmek için “erken uyarı sistemleri, sürekli güncellenen risk senaryoları, sürdürülebilir teknolojilere yatırım ve veri tabanlı sistemlerin geliştirilmesini” önermektedir. ICAO (2018, s. 59) ise bu sürecin başarısı için “dayanıklılığın altyapıya uyarlanması için iklim değişikliğinin etkilerine hızlı yanıt verebilecek planlama ve süreç yönetiminin geliştirilmesi gibi bir kombinasyon gerektirdiğini” belirtmektedir.

Bu yaklaşım maliyet-fayda analizine dayalı kararların alınmasını zorunlu kılarak hem fiziksel altyapının güçlendirilmesini hem de süreçlerin esnek hale getirilmesini hedefler. Dolman (2015, s. 1-2) ve Çaya (2020, s. 4), bu önerilerin önemini coğrafi bağlamda somutlaştırarak “özellikle şehirleşmiş deltalar veya kıyı bölgelerinde yer alan

havalimanlarının su kaynaklı iklim tehlikelerine karşı daha yüksek duyarlılık gösterdiğini” belirtmektedir.

Çalışmalar, “bu tür bölgelerde risk yönetimine öncelik verilmesinin ve nitelikli personel yetiştirilmesinin sorunların etkilerini en aza indirmek için etkili bir çözüm olduğunu” vurgulamaktadır. Bu öneriler hem finansal kayıpların önlenmesi hem de operasyonel sürekliliğin sağlanması açısından kritik önem taşımaktadır. Uzmanların önerilerinin yanı sıra, risk analizlerinin etkinliğini artırmak amacıyla yapay zekâ destekli modelleme ve iklim senaryolarına uyarlabilir simülasyonların entegrasyonu havalimanı yönetimlerinin karar alma süreçlerini hızlandıracak ve proaktif stratejiler geliştirmelerine olanak tanıyacaktır. Bu adımlar havalimanlarını iklim değişikliğinin kaotik etkilerine karşı bir kalkan haline getirirken, sektörde sürdürülebilirlik ve teknoloji odaklı bir dönüşümün de öncüsü olacaktır.

3.3.3.4 Teknolojik yatırımlar ve stratejik getiriler

Mevcut durum:

Uzmanlar, biyoçeşitlilik kaybını önleme stratejileri kapsamında “doğal habitatların korunması, yerel bitki örtüsünün geri kazandırılması, çevre dostu peyzaj düzenlemeleri ve sürdürülebilir su yönetimi sistemlerinin entegrasyonu gibi uygulamaları hayata geçirdiklerini” belirtmişlerdir. Uzmanlara göre, “bu stratejiler erozyon kontrolü, su kaynaklarının korunması ve doğal felaketlerin etkilerinin azaltılması gibi çevresel faydalar sağlarken; uzun vadede altyapı onarım maliyetlerini düşürme, su yönetimi giderlerini optimize etme ve acil durum müdahale masraflarını azaltma gibi ekonomik avantajlar da sağlamaktadır.”

Uzmanlar, “iklim dostu teknolojilere yatırım yapmanın enerji verimliliğini artırıp karbon ayak izini azaltarak operasyonel maliyetlerde uzun vadede belirgin düşüşler sağlayacağı” görüşündedir. Örneğin, “enerji verimli sistemlere (akıllı aydınlatma, HVAC sistemleri) geçildiğini, ileriki süreçte de güneş panellerinin kurulumunu sağlayarak bu süreci bir adım daha ileri taşımayı düşündüklerini” belirtmişlerdir. Bu doğrultuda, teknolojik yatırımların (yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji verimliliğini artıran sistemlerin kurulması) kısa vadede yüksek maliyet gerektirmesine rağmen uzun vadede havalimanına ekonomik getiriler sağlayacaktır.

Bu stratejiler NASEM (2019, s. 103-107) tarafından yapılan analizle de desteklenmektedir. Söz konusu çalışmada iklim değişikliğine uyum yatırımlarının projelere ortalama %3 ek maliyet getirmesine rağmen, uzun vadede altyapı koruma, operasyonel verimlilik artışı ve acil durum maliyetlerinin azalması gibi büyük ölçekli faydalar sağladığı kanıtlanmıştır. Uzmanların önerdiği enerji verimli sistemler ve güneş paneli entegrasyonu gibi uygulamalar da bu kapsamda NASEM'in vurguladığı "yatırım-geri dönüş" dengesini somutlaştırmaktadır.

Geleceğe için öneriler:

Uzmanlar teknolojik yatırımlar ve stratejik getiriler ile ilgili “biyoçeşitlilik odaklı sürdürülebilir stratejiler geliştirilmesi ve iklim dostu teknolojilere yatırım yapılması gibi” önerilerde bulunmuşlardır. Örneğin, “doğal habitat koruma, yerel bitki örtüsü restorasyonu, sürdürülebilir peyzaj ve su yönetimi sistemleri, atık yönetim teknolojileri ve geri dönüşüm sistemleri ve enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi yeniliklere odaklanılması gerektiğini” belirtmişlerdir.

Uzman önerilerinin yanı sıra akıllı biyoçeşitlilik izleme sistemleri, yapay zekâ destekli sensörler ve uzaktan izleme teknolojilerine de yatırım yapılabilir. Bu tür projeler başlangıçta yüksek maliyetli olsa da uzun vadede erozyon kontrolü, habitat restorasyonunun etkinliğini artırma, su kaynaklarının korunması ve operasyonel risklerin azaltılması, karbon ayak izini azaltmayı ve düzenleyici uyum süreçlerini kolaylaştırması gibi çevresel-ekonomik kazanımlar sağlayacaktır.

3.3.3.5 Yönetim ve strateji uygulamaları

Mevcut durum:

Uzmanlar, “karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik stratejilerin havalimanlarının uzun vadeli operasyonel verimliliğini artırdığını” vurgulamaktadır. Örneğin, “enerji verimli aydınlatma sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve teknolojik tasarruf uygulamaların maliyetleri önemli miktarda düşürdüğü” belirtilmiştir. Ayrıca, yapılan tespitlere göre; sürdürülebilirlik standartlarına uyum sürecinde enerji verimli sistemler, atık yönetim stratejileri ve çevresel etki değerlendirmeleri sayesinde; havalimanlarının enerji tüketimi optimize edilmekte, karbon salınımı düşürülmekte ve su kaynakları daha etkili yönetilerek çevresel etkiler minimize edilmektedir.

Bu tespitler, havalimanlarını iklim dostu bir iş modeline taşıyarak hem finansal kaynak optimizasyonu hem de küresel düzenlemelere proaktif uyum imkânı sunacaktır. Özellikle

yenilenebilir enerji entegrasyonu ve atık yönetimi kaynak verimliliği artırırken sektörde de rekabet avantajı yaratacaktır. Böylece sürdürülebilirlik odaklı adımlar havalimanlarını çevresel risklere karşı dirençli kılarak uzun vadeli bir finansal istikrar sağlamasında yardımcı olacaktır.

Gelecek için öneriler:

Görüşlerine başvurulmuş uzmanlar, “yönetim ve strateji uygulamaları güçlendirmek için enerji verimliliği, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve karbon yönetimi odaklı stratejilerin benimsenmesini” önermektedir. Özellikle “LED aydınlatma sistemleri, güneş enerji ile çalışan pist, taksiyolu ve apron ışık sistemleri, yüksek verimli ısıtma ve soğutma sistemlerine yapılan yatırımların uzun vadede enerji maliyetlerini düşüreceğini” vurgulamaktadırlar. Ayrıca, uzmanların SAF konusunda olumlu yaklaşıma sahip oldukları tespit edilmiş olmakla birlikte, “yatırım maliyetinin paylaşılması yönünde görüşler” ileri sürülmektedir. Örneğin “SAF kullanımı için gereken altyapı yatırım yükünü sadece havalimanları üzerine bırakmak yerine devlet teşvikleri ve sübvansiyonlar, kamu-özel işbirlikleri gibi uygulamalarla yatırımların finansmanına katılım sağlanarak yatırım maliyetleri azaltılabilir” önerisinde bulunmuşlardır.

Ayrıca “havayolu işletmeleri, havalimanları ile sürdürülebilir yakıt ve karbon yutakları için uzun vadeli sözleşmeler yaparak finansal güvence sağlayabilir” şeklinde öneriler getirilmektedir. Bunun yanı sıra “dayanıklı altyapı tasarımlarının (su yönetim sistemleri, ısıya dirençli malzemeler) ve sürekli çevresel etki değerlendirmelerinin iklim kaynaklı operasyonel riskleri azaltarak bakım maliyetlerini optimize edeceğini” belirtmişlerdir. “Bu projelerin başlangıçtaki yüksek maliyetlerinin ise uzun vadede finansal tasarruf ve rekabet avantajına dönüşeceğini” ifade etmişlerdir. Uzmanların önerileri maliyet ve uyum odaklıyken, teknoloji ve toplum temelli yaklaşımlarla (yapay zekâ destekli enerji optimizasyon sistemleri ve yerel topluluklarla iklim okuryazarlığı programlarının düzenlenmesi) bu stratejilerin etkisi katlanabilir.

3.3.3.6 Fiziksel etkilerin maliyeti

Mevcut durum analizi:

Görüşülen uzmanlar, Batman Havalimanı’nın fiziksel etkiler ve proje maliyetleri konusunda iklim değişikliğinin ekonomik yükünü net bir şekilde ortaya koymaktadır. Sıcaklık değişimlerinin özellikle altyapı ve bina/tesis maliyetlerini artırıcı etkileriyle öne çıkmaktadır. Ayrıca “yüksek sıcaklıkların klima sistemlerinde yorgunluğa, bina ve tesis

çatılarındaki malzemelerde deformasyona, asfalt ve beton yapılarda erimelere, çatlama ve derz bozulmalarına yol açtığını” belirtmişlerdir. Örneğin, “Terminal çatısındaki saç kaplamaların su sızdırma sorununun giderilmesi için, kenet sıkma robotu ile metal birleşim noktaları yeniden sıkıştırılmakta ve mastik uygulaması ile saclar su geçirmez hâle getirildiği” ve “2023-2024 yıllarında apron ve taksi yollarındaki derz yenileme maliyetlerinin 941.500 TL’yi aştığı” vurgulanmıştır. Bu durum, ICAO (2018, s. 13)’nun “aşırı sıcaklık gibi iklimsel aşırılıkların altyapılarda bozulma hızını artırarak daha sık ve maliyetli bakım gereksinimlerine yol açacağı” yönündeki uyarısıyla doğrudan örtüşmektedir. Bunun yanı sıra “terminal çatısındaki deformasyonlar nedeniyle düzenli bakım maliyetleri oluştuğu ve klima sistemlerinin aşırı kullanımı nedeniyle sistemi tamamen yenilemek durumunda kaldıklarını” aktarılmışlardır. Yukarıda bahsi geçen veriler iklim değişikliği ile birlikte artan sıcaklıkların Batman Havalimanı üzerinde ne denli baskı yarattığını somutlaştırmaktadır.

Aşırı hava olayları yapısal risklerden kaynaklanan maliyetlerle doğrudan ilişkilidir. Uzmanlar, bu duruma örnek olarak “2024 yılında yaşanan güçlü fırtınaların ve aşırı yağışların yol açtığı hasarları” göstermektedirler. Bu hasarlar arasında; “çatı kaplamalarının sökülmesi ve güvenlik duvarlarında oluşan hasarlar nedeniyle 490.200 TL’lik sigorta maliyeti, terminal binası dış cephesi ile ARFF (Aircraft Rescue and Firefighting) binasının camlarının kırılması sonucu 342.300 TL’lik ek maliyet, ayrıca aşırı yağışlardan dolayı su sızıntılarını önlemek amacıyla terminal binasının çatı yalıtımı için 170.660 TL’lik bakım-onarım maliyeti” yer almaktadır.

ICAO, (2019, s. 268) tarafından yapılan bir araştırma, “bu tür olayların havalimanları üzerindeki ekonomik etkisinin milyarlarca dolara ulaşabileceğini ve yalnızca yerel değil küresel ölçekte operasyonel stratejilere entegre edilmesi gerektiğini” vurgulamaktadır. Bu veriler iklim kaynaklı aşırı olayların yapısal ve finansal risklerini belgelemenin yanı sıra sektörün iklim dirençli altyapı ve stratejik planlamaya acilen ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır.

Rüzgâr paterni değişikliklerinin operasyonel gelirlerle ilişkisi kaçınılmazdır. Bu duruma örnek olarak ise uzmanlar tarafından, “özellikle yan rüzgâr nedeniyle uçakların inişten vazgeçmesi veya alternatif havalimanlarına yönlendirilmesi gibi durumların yaşanabileceği” aktarılmıştır. ICAO (2018, s. 59); Smagghe ve Anelli (2023, s. 8), “yan ve kuyruk rüzgârlarının artmasının pistlerin geçici kapanmalarına, yabancı cisim riskinin artmasına ve kalkış/varış saatlerindeki aksamalara yol açabileceğini” belirtmektedir.

Örneğin, uçuşların başka havalimanlarına yönlendirilmesi operasyonel gelir kaybı gibi ek finansal yükler doğururken, pist kapanışları da yer hizmetleri ve bagaj yönetimi gibi süreçlerde zincirleme aksaklıklara neden olabilir. Valente (2023, s. 1) ise bu durumu genişleterek, “değişken iklim koşullarının operasyonel aksaklıkları artırdığını, yönetim maliyetlerini yükselttiğini ve uzun vadede kâr kayıplarına yol açtığını” vurgulamaktadır. Dolayısıyla, rüzgâr ve yağış kaynaklı kesintiler yalnızca anlık gelir kayıpları değil; aynı zamanda altyapı onarımı, sigorta primlerindeki artışlar ve müşteri memnuniyetinin azalması gibi dolaylı maliyetleri de beraberinde getirmektedir.

Gelecek için öneriler:

Görüşme yapılan uzmanlar, “Batman Havalimanı’nın sıcaklık artışları, rüzgâr paterni değişiklikleri ve aşırı hava olaylarının fiziksel etkileri ve maliyet artışlarıyla başa çıkabilmesi için proaktif planlama ve yenilikçi çözümlere odaklanılmasını” önermektedir. Özellikle “altyapı tasarımlarının güncellenmesi (yüksek sıcaklığa dayanıklı asfalt kompozitler, genleşme payı yüksek derz sistemleri), gerçek zamanlı iklim verisi izleme sistemlerinin kurulması, çalışanların iklim risk yönetimi konusunda eğitiminin zorunlu hale getirilmesi, yeşil altyapı uygulamaları (yağmur suyu hasadı, enerji verimli bina sertifikasyonları) ve sigorta politikalarının iklim risklerini kapsayacak şekilde revize edilmesi” önerilmektedir.

Uzmanların önerilerine ek olarak fiziksel risklerin ekonomik etkileri ancak teknolojik adaptasyon, malzeme inovasyonu ve stratejik planlamayla dengelenebilir. Tüm bu adımlar Batman Havalimanı’nın hem fiziksel hasarlarını önleyecek hem de uzun vadede maliyetlerini kontrol altına alacaktır.

SONUÇ

Bu çalışmada, iklim değişikliğinin havalimanlarına etkileri Batman Havalimanı örneği üzerinden analiz edilerek, bu etkilerin ortaya çıkış biçimleri ve yönetim süreçleri incelenmiştir. Bu amaçla, iklim değişikliğinin havalimanı altyapısı, bina ve tesisleri ile operasyonel maliyetleri üzerindeki olası artışlar ile bunların nedenlerinin saptanması ve azaltılması için uyum stratejilerinin belirlenmesine yönelik literatür taranmış, iklim projeksiyonları ve uzman görüşlerinin analizi ve değerlendirmesi yapılmıştır. Araştırmada elde edilen bulgular doğrultusunda, havalimanlarında iklim değişikliği ile ilişkili olarak yaşanan operasyonel ve finansal zorlukların üstesinden gelmeye yönelik öneriler geliştirilmiştir.

İklim değişikliği havalimanlarının operasyonel verimliliğini, altyapısını ve bina/tesis envanterini çok yönlü tehdit etmektedir. Artan sıcaklıklar pistlerde deformasyonlara, uçakların kalkış performansının düşmesine, yangın riskinin artmasına ve tesislerde yıpranmalara neden olurken, yoğun yağışlar bina ve tesisler ile hava sahasında su basmalarına yol açmaktadır. Rüzgâr paternlerindeki değişimler uçuş emniyetini riske atarken, aşırı hava olayları gecikme ve iptalleri, bina/tesislerde hasarları artırmaktadır. Deniz seviyesinin yükselmesi kıyı havalimanlarında altyapıyı, fiziki ve teknolojik olanakları su baskını tehlikesiyle karşı karşıya bırakırken, biyoçeşitlilikteki değişimler kuş çarpması gibi operasyonel tehlikeleri tetiklemektedir. Bu etkiler havalimanlarının dayanıklılığını artırmak için sürdürülebilir altyapı tasarımları, iklim uyum stratejileri ve önleyici risk yönetimini zorunlu kılmaktadır.

Araştırmanın uygulama alanını oluşturan Batman Havalimanı, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin özgün iklim koşulları nedeniyle çeşitli risklerle karşı karşıyadır. IPCC verileri, bölgede ortalama sıcaklıkların 2050 yılına kadar 2-3 °C artacağını, yağış rejimlerinin düzensizleşerek ani ve yoğun sağanakların sıklığının %20-30 artacağını ve rüzgâr hızlarında mevsimsel dalgalanmaların belirginleşeceğini öngörmektedir.

Bölgesel iklim veri ve projeksiyonlarına göre sıcaklık artışı, düzensiz yağış rejimleri ve değişen rüzgâr paternleri;

- Yaz aylarında aşırı sıcaklıkların ve tropikal gecelerin daha sık yaşanmasına,
- Kış aylarında ısıtma gün derecelerinin azalmasına ve enerji tüketiminde dalgalanmaya,

- Kış ve ilkbahar dönemlerinde yoğun sağanakların artışına,
- Ani kuvvetli rüzgâr ve kum fırtınası riskinin artmasına yol açacaktır.

Batman Havalimanı'nın iklim değişikliği uyum stratejileri, 2024'te 654.528'e ulaşan ve son beş yılda yıllık %1–2 artış gösteren genç nüfusu, Batı Raman başta olmak üzere petrol, hizmet, hafif sanayi ve tarım temelindeki ekonomik çeşitliliği ve GAP kapsamındaki yatırımları göz önünde bulundurmalıdır. Bölge; batıda Diyarbakır, doğuda Siirt, güneyde Mardin ve Şırnak ile komşu olup, Diyarbakır–Van–İran ticaret hattında kritik bir kavşak noktasındadır. Bu demografik ve coğrafi dinamikler havalimanının uyum politikalarını şekillendirmede belirleyici olacaktır.

Batman Havalimanı açısından çevresel, ekonomik ve sosyal etkiler ise aşağıda özetlenmiştir.

Çevresel Boyut

Araştırma bulgularında Batman Havalimanı'nda iklim değişikliğinin çevresel etkileri, özellikle atık yönetimi ve kimyasal kirlilik etkileri, enerji verimliliği etkileri ve kuş çarpmaları gibi biyoçeşitlilik etkileri şeklinde vurgulanmıştır. Literatürde benzer şekilde, iklim değişikliğinin yerel ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yarattığına dair çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca mevcut önlemler arasında yer alan enerji verimli LED aydınlatmalara geçiş, de-icing/anti-icing alanının yenilenmesi ve güneş enerjisi kurulum projesi önerilen uyum yöntemleri ile benzerlik göstermektedir (Burbidge 2016, s. 14-15; Lopez, 2016, s. 26; ICAO, 2018, s. 18, 25, 53). Bulgular bazı yönleriyle literatürdeki yaklaşımlarla örtüşmekle beraber, Batman Havalimanı özelinde daha detaylı bir vaka çalışması sunarak farklı bir bakış açısı kazandırmaktadır. Örneğin hem karbon ayak izini azaltmak hem de maliyet avantajı sağlamak amacıyla apron ve yolcu otoparkına elektrikli araç şarj altyapısının kurulması ve apron hizmetlerinde elektrikli araç kullanım projeleri bu yeni perspektifi somutlaştıran uygulamalardır.

Ekonomik Boyut

Batman Havalimanı'nda artan altyapı hasarları bakım-onarım giderlerinde, fırtına hasarları ise sigorta maliyetlerinde yükselişe neden olmaktadır. Literatürde, iklim kaynaklı altyapı ve bakım maliyetlerindeki artış altyapı yatırımları ve operasyonel giderler üzerinden ele alınmıştır (EEA 2016, s. 3-5; ICAO 2018, s. 13; ICAO 2019, s. 268; Lee vd. 2021, s. 1-3; Burbidge vd., 2023, s. 15-16). Ayrıca mevcut önlemler arasında

yer alan pist drenaj sistemlerinin tamamen yenilenmesi literatürdeki uyum yöntemleri ile benzerlik göstermektedir (Eurocontrol, 2021b, s. 40). Bu yenileme yoğun yağış sırasında pist yüzeyinde biriken suyu hızlıca uzaklaştırarak pist kayma direncini artıracak, altyapının ömrünü uzatacak ve uçuş emniyetini güçlendirecektir.

Literatürdeki genel uyum çalışmalarının aksine, bu çalışmada havalimanında yürütülen bakım-onarım uygulamaları ön plana çıkarılmıştır. Örneğin:

- Terminal çatı kaplaması onarımı: aşırı sıcaklar nedeniyle deforme olan saç kaplamalarda su sızıntıları oluşmuştur. Bu sorunu çözmek için kenet sıkma robotu ile metal birleşim noktaları yeniden sıkılaştırılmış ve mastik uygulaması yapılarak çatı su geçirmez hâle getirilmiştir.
- Derz yenileme çalışmaları: Yüksek sıcaklıklar pist, taksiyolu ve aprondaki derzlerin çabuk deformasyonuna yol açarak bakım-onarım sıklığını artırmıştır. Bu kapsamda 2023 yılında 2.000 mtül (141.500 TL), 2024 yılında ise 7.000 mtül (800.000 TL) tutarında derz yenileme çalışması gerçekleştirilmiştir.

Bu örnekler, Batman Havalimanı özelinde iklim kaynaklı bozulmalara karşı geliştirilen pratik ve maliyet-etkin müdahaleleri gözler önüne sermektedir.

Ayrıca Batman Havalimanı, DHMİ bünyesindeki diğer küçük ve orta ölçekli havalimanlarıyla benzer bütçe ve personel kısıtlarıyla çalıştığından, ekonomik baskılarla baş etmek için şu yaklaşımları benimseyebilir:

- Merkezi Kaynak Paylaşımı ve Toplu Satın alma: DHMİ düzeyinde enerji verimli LED aydınlatma, yedek parça ve bakım ekipmanı gibi kalemlerde toplu ihale ve satın alma yapılarak birim maliyetler %15–20 oranında düşürülebilir.
- Ortak Servis ve Mobil Ekipler: Bölgedeki diğer DHMİ havalimanlarıyla ortak bakım ekipleri oluşturularak personel ve ekipman kullanımı optimize edilebilir.

Bu mekanizmalar, Batman Havalimanı'nın hem bürokratik engelleri hafifletmesine hem de tasarruf odaklı bir maliyet yapısıyla iklim kaynaklı hasarlarla sürdürülebilir şekilde mücadele etmesine olanak tanıyacaktır.

Sosyal Boyut

Literatürde sosyal etkilerin hâlâ görece az ele alındığı görülmektedir (EEA 2016, s. 3–5; ICAO 2019, s. 268; Lee vd. 2021, s. 1–3). Batman Havalimanı'nda yaşanan operasyonel

kesintiler, çalışanlar ve yolcular üzerinde hem fiziksel hem de psikolojik bir yük oluşturmakta; gecikme ve belirsizlikler ise yolcu memnuniyetini olumsuz yönde etkilemektedir.

2023 yılında %62,13 olan yolcu memnuniyeti, 2024'te meteorolojik kaynaklı iptal, gecikme ve yönlendirme sayısındaki azalmaya bağlı olarak %78,11'e yükselmiştir. Bu tür olumsuz durumlar, yolcuların havalimanı hizmetlerini düşük puanlamasına ve genel memnuniyetin düşmesine neden olmaktadır.

Buna ek olarak Batman Havalimanı'na alternatif olarak yaklaşık 100 km uzaklıktaki Diyarbakır Havalimanı bulunmaktadır. Kara yoluyla yapılan otobüs yolculuğu ortalama 1,5 saat sürmekte, uçuş iptallerinde ortaya çıkan bu ekstra ulaşım yükü yolcu memnuniyetsizliğini daha da artırmaktadır. Uzman gözlemlerine göre; iptal, yönlendirme ve gecikmeler aynı zamanda havalimanı personeline yüksek düzeyde stres yaratmakta, bu da hem çalışan memnuniyetini hem de yolcu deneyimini olumsuz etkilemektedir.

Havalimanı yönetimi hem yolcu hem de çalışan memnuniyetini artırmak amacıyla “uçuş planlamasını sis riskinin düşük olduğu zaman dilimlerine kaydırma”, “esnek çalışma saatleri uygulama” ve “yolcuları gerçek zamanlı olarak bilgilendirme” gibi yerel çözümler geliştirmiştir. Bu özgün uygulamalar, literatürdeki genel uyum stratejilerinden farklı olarak doğrudan ihtiyaç odaklı yaklaşımlar sunmakta ve çalışan stresi ile yolcu deneyimi arasındaki bağı görünür kılmaktadır.

Batman Havalimanı, 2010'dan bu yana bölgeden seçilen teknik ekip, %90'a yakın bölgesel tedarik, ‘sıfır çocuk işçi ve sıfır sigortasız işçi’ politikası ve öğrencilere yönelik tanıtım programlarıyla yerel ekonomiyi canlandırıp toplumsal sürdürülebilirliği güçlendirirken hem istihdamı artırmakta hem de havacılık sektörüne yönelik geleceğe yatırım yapmaktadır.

Yukarıda tanımlanan özgün bulgular, yerel ve genel iklim verileri, literatürdeki yaklaşımlar ve gelecek yıllar uçak, yolcu ve kargo tahminleri ışığında Batman Havalimanı ve benzer havalimanlarının dayanıklılığını artırmak amacıyla aşağıda kısa, orta ve uzun vadeli uyum stratejileri önerilmektedir.

Batman Havalimanı için öneriler;

Kısa Vadeli Öneriler

Aşağıda, 1–2 yıllık dönemde öncelikle hayata geçirilmesi gereken adımlar sıralanmıştır:

- İklim değışikliğı uyumuna yönelik bir bütçe kalemi ayrılmalıdır.
- Terminal binaları ve tesislerin soğutma sistemlerinin bakım sıklığı arttırılmalıdır.
- Yağışlı dönemlerde acil bakım ekiplerinin hazır bulundurulmalı ve su tahliye ekipmanlarının test edilmelidir.
- LED aydınlatma ve akıllı bina otomasyonunun yaygınlaştırılmalıdır.
- Kapsamlı çevresel risk analizlerinin düzenli olarak gerçekleştirilmelidir.
- Dayanıklılık, altyapının uyarlanması ve iklim değışikliğinin etkilerine hızlı ve verimli yanıt verebilmek ve kritik unsurların korunmasını sağlamak adına maliyet ve fayda analizine dayalı kararları alacak komite oluşturulmalıdır.

Orta Vadeli Öneriler

Aşağıda, 3-5 yıllık dönemde öncelikle hayata geçirilmesi gereken adımlar sıralanmıştır:

- Yeşil bina teknolojileri (Enerji verimli yalıtım, pasif ısıtma/soğutma, yeşil çatı, termal kütle ve doğal havalandırma sistemlerinin entegrasyonu) uygulamalarına geçilmelidir.
- Isıtma gün değışimlerine uyum için: Terminal binalarında dış hava sıcaklığına duyarlı otomasyonlu ısıtma-soğutma sistemleri (HVAC) kurularak, talebe göre devreye giren ısı pompası ve termal enerji depolama (TES) teknolojileri uygulanmalıdır.
- Yaz sıcaklıklarına ve tropikal gecelere uyum için terminal çatılarında yüksek yansıtıcı ‘cool roof’ kaplamalar ve cephelerde otomatik olarak açılıp kapanan panjurlarla iç mekân sıcaklıkları kontrol altına alınmalı, böylece soğutma ihtiyacı ve enerji tüketimi minimize edilmelidir.
- Kum fırtınası riskine karşı dış alan koruma perde ve filtrasyon sistemleri kurulmalıdır.
- Sürdürülebilir yağmur suyu toplama sistemleri kurulmalıdır.

Uzun Vadeli Öneriler

Aşağıda, 5 + yıllık dönemde öncelikle hayata geçirilmesi gereken adımlar sıralanmıştır:

- Kuş hareketlerini izleyen akıllı sistemler geliştirilmelidir.
- Güneş enerjisi ile çalışan pist, taksiyolu ve apron ışık sistemleri tesis edilmelidir.
- Havalimanı çevresinde karbon yutakları oluşturmak amacıyla yeşil alanlar genişletilmeli ve SAF depolama altyapısı tesis edilmelidir.

- Batman Havalimanı'na yaklaşık 35 km mesafedeki Batman Barajı'nda, Devlet Su İşleri'nin (DSİ) nehir yatağını ötelenerek yeni bir kanal içine alması ve 2012'de nehir yatağı ile terminal binası arasına inşa edilen istinat duvarı, Batman Havalimanı'nı sıradan nehir taşkınlarına karşı önemli ölçüde koruma altına almıştır. Barajdan kaynaklı bir taşkın riski düşük ama sıfır değil. Yüksek bütçeli yatırımlar yerine, fayda-maliyet dengesini de gözeterek işleyişi aksatmayacak düzeyde, erken uyarı ve kriz yönetimi önlemleri alınmalıdır. Örneğin, Myrtle Beach Havalimanı'nda gerçekleştirilen fayda-maliyet analizleri, deniz seviyesindeki artış projeksiyonları ışığında uzun vadeli koruma yatırımlarının maliyetlerinin beklenen faydaları karşılamayarak ekonomik açıdan verimsiz kalacağını ortaya koymuş ve bu nedenle koruma yatırımlarından vazgeçilmiştir (Eurocontrol, 2021b, s. 40)

Benzer Havalimanları için öneriler;

Kısa Vadeli Öneriler

Aşağıda, 1–2 yıllık dönemde öncelikle hayata geçirilmesi gereken adımlar sıralanmıştır:

- Kış dönemi için ısıtma sistemlerinin verimlilik testlerinin yapılmalı ve yedek enerji planları hazırlanmalıdır.
- Rüzgâr hızı sensörlerinin sayısının artırılıp, kum fırtınası algılama sistemlerinin entegrasyonu sağlanmalıdır.
- Stres yönetimi ve psikolojik destek programlarıyla çalışanların iklim etkilerine karşı dayanıklılığı artırılmalıdır.

Orta Vadeli Öneriler

Aşağıda, 3-5 yıllık dönemde öncelikle hayata geçirilmesi gereken adımlar sıralanmıştır:

- Elektrikli yer destek ekipmanları ve düşük emisyonlu araç filo uygulaması hayata geçirilmelidir.
- Yapay zekâ destekli hava trafik sistemleri uygulamalarının entegrasyonu sağlanmalıdır.
- Uçuş planlaması süreçleri dinamik kapasiteye dayalı olarak şekillendirilmelidir.

Uzun Vadeli Öneriler

Aşağıda, 5 + yıllık dönemde öncelikle hayata geçirilmesi gereken adımlar sıralanmıştır:

- Pist-apron-taksiyolu kaplamalarında iklim dayanımlı malzeme ve teknikler kullanılarak yeni pist tasarım ve inşaat süreçlerinin yapılandırılmalıdır.
- Dijital ikiz teknolojisi ile pist ve bina otomasyon sistemleri optimize edilmelidir. (Bina otomasyonu ile, dış hava sıcaklığı ve iç alan doluluk tahminine göre soğutma/ısıtma devrelerine proaktif müdahale ederek %15–20 enerji tasarrufu elde edilecektir. Pist otomasyonu ile ise; pistlerin termal deformasyonunu, enerji tüketimini, drenaj performansını veya uçuş operasyonlarını sanal ortamda modelleyerek hem bakım-onarım planlamasını hem de iklim adaptasyon stratejilerini çok daha hızlı ve güvenli şekilde hayata geçirmesi mümkün olacaktır.)
- Bölgesel paydaşlar arası sürekli işbirliği mekanizmaları ve Entegre İklim Stratejileri hayata geçirilmelidir.
- Karbon ayak izini minimize edecek kapsamlı yol haritası ve yatırım planları geliştirilmelidir.
- Güneş enerjisi panelleri ve pilot ölçekli hidrojen üretim tesisleri entegre edilmelidir.

Orta ve uzun vadeli önerilerimizi destekleyen başlıca uluslararası örnekler şunlardır:

- Brisbane Havalimanı'nda 1,3 milyar AUD'lık yeni pist ve kapsamlı drenaj yatırımıyla kapasite genişletme ve risk azaltma sağlanmıştır (Eurocontrol, 2021b, s. 40).
- Nice Havalimanı'nda 10,4 milyon EUR'luk yeni kaplama ve zemin güçlendirme çalışmaları, bakım-onarım döngülerini seyrekleştirerek varlık kullanılabilirliğini artırmıştır (Eurocontrol, 2021b, s. 40).
- Oakland Havalimanı'nda 46 milyon USD'lik, 0,6 m pist yükseltme projesiyle deniz seviyesinden kaynaklı risklere karşı altyapı dayanıklılığı güçlendirilmiştir (Eurocontrol, 2021b, s. 40).
- San Francisco Uluslararası Havalimanı'nda Körfez'in sürekli yükselişine karşı 13 km uzunluğunda deniz duvarı inşa edilerek 587 milyon USD tutarında koruyucu yatırım yapılmıştır (Eurocontrol, 2021b, s. 40).
- Singapur Changi'nin doğu sahası, ortalama deniz seviyesinden 5,5 m yüksekte inşa edilen yeni platform ve yaklaşık 10 km tahliye kanalıyla uzun vadeli koruma önlemleri barındırmaktadır (ACI, 2018, s. 12).

- Alaska'daki havalimanlarında yapılan pist ve bina uyarlamaları sel gibi riskleri azaltarak zorluklarla başa çıkmada başarılı bir örnek teşkil etmektedir (Burbidge vd., 2023, s. 22).
- Heathrow Havalimanı'nın rüzgâr yönü ve hızındaki değişikliklere uyum sağlamak amacıyla zaman bazlı ayırma prosedürlerini uygulamaya koymuştur (EEA, 2016, s. 3).
- Avrupa'da ise Schiphol gibi büyük havalimanları çoklu sel stres testleri ve altyapı dayanıklılığı değerlendirmeleriyle uyum kapasitelerini artırmayı hedeflemektedir (Dolman ve Sindhamani, 2022, s. 267).

Bu çalışmada sunulan öneriler yalnızca Batman Havalimanı'yla sınırlı kalmayıp, benzer iklim riskleri taşıyan veya çevresel tehditlere maruz kalabilecek diğer havalimanlarına da uygulanabilir niteliktedir. Eğer bu uyum stratejileri hayata geçirilmezse altyapı dayanıklılığında zayıflama, operasyonel verimlilikte düşüş, bakım-onarım maliyetlerinde keskin artış, çalışan ve yolcu memnuniyetinde gerileme kaçınılmaz olacaktır.

Anılan yaklaşımlar hem yerel uyum kapasitesini artırmayı hem de küresel ölçekte iklim kaynaklı riskleri yönetmeyi amaçlamaktadır. Bu uyum çalışmaları, kısa-orta vadede enerji tüketim ve bakım-onarım maliyetlerini hızla düşürecek; uzun vadede ise genel maliyet optimizasyonu sağlayacaktır.

İklim değişikliğinin etkileri ve uyum süreçlerine geç başlayan işletmeler, terminallerden hangarlara kadar tüm altyapı birimlerini uzun vadede yüksek onarım veya yenileme masraflarıyla karşı karşıya bırakacaktır. Bu nedenle havalimanlarına özgü risk analizleri yapılarak, önerilen uyum stratejileri doğrultusunda önlemler geliştirmek büyük önem taşımaktadır.

Bugün hayata geçirilecek bu önlemler, yarının yüksek onarım maliyetlerini engelleyerek havalimanlarının operasyonel dayanıklılığını ve yolcu güvenini sürdürülebilir kılacaktır. Çalışma, bu yönüyle yerelden küresele katkı sunmayı hedeflemektedir. Benzer çalışmalar farklı bölgelerdeki havalimanları için yapılabileceği gibi benzer coğrafyada faaliyet gösteren birkaç havalimanını birlikte ele alan bölgesel araştırmalar şeklinde ve zaman içinde birbirini tamamlayacak tarihsel gelişimi kapsayacak şekilde de yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Airports Council International [ACI]. (2018). *Airports' resilience and adaptation to a changing climate*. ACI Policy Brief, 1-12. https://store.aci.aero/wp-content/uploads/2018/10/Policy_brief_airports_adaption_climate_change_V6_WEB.pdf
- Akbayır, İ. (2017). Türkiye'deki havalimanlarının sis karakteristiklerinin ayrıntılı analizi (Yayın Nu: 455436) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Akdemir, T. (2020). Avrupa Birliği'nde iklim değişikliği ile mücadelede havacılık vergileri. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 19(1). 1-24. <https://doi.org/10.32450/aacd.770791>
- Akgül, Ç. M. ve Dino, İ. G. (2020). Climate change impact assessment in residential buildings utilizing RCP4.5 and RCP8.5 Scenarios [RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryoları kullanılarak konutlarda iklim değişikliği etki değerlendirmesi]. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(3), 1665-1683. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1039984>
- Akın, F. N. (2021). Küresel iklim değişikliği hakkında en çok merak edilenler. TÜBİTAK: *Bilim ve Teknik*, 26-38. [iklim_d.pdf](https://www.tubitak.gov.tr/iklim_d.pdf) (tubitak.gov.tr)
- Alıcı, A. (2017). Havalimanı Gelir Türleri ve Havacılık Dışı Ticari Gelirlerin Önemi. *Hukuk ve İktisat Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 2-17. https://www.researchgate.net/publication/321529760_HAVALIMANI_GELIR_TURLERI_VE_HAVACILIK_DISI_TICARI_GELIRLERIN_ONEMI_-_TYPES_OF_INCOME_OF_AIRPORT_AND_IMPORTANCE_OF_NON_AVIATION_COMMERCIAL_REVENUES#fullTextFileContent
- An, N., Turp, M. T., Akbaş, A. ve Kurnaz, L. (2018). Türkiye'nin değişen ikliminde ısıtma ve soğutma gün derecelerinin gelecek projeksiyonları. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30(3). 227-240. <http://dx.doi.org/10.7240/marufbd.427467>
- Arı, İ. ve Aydın, L. (2019). Türkiye'de yerel iklim eylem planlarının hazırlanması ve etkin uygulanması için öneriler. (Ed. S. Erdoğan, A. Gedikli ve M. Shahbaz), 8-9-10 Kasım. Tam Metin Bildiriler Kitabı, İstanbul: *Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi*. 203-212. https://www.researchgate.net/profile/Izzet-Ari-3/publication/338793004_Possible_Carbon_Pricing_Challenges_in_Turkey_for_the_Paris_Agreement/links/5e3baf94a6fdcc9658aac3e/Possible-Carbon-Pricing-Challenges-in-Turkey-for-the-Paris-Agreement.pdf#page=116
- Air Transport Action Group [ATAG]. (2021). *Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: A vision of Net-Zero Aviation by mid-century*. 1-110. https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf
- Air Transport Action Group [ATAG]. (2024). *Sustainable Aviation Fuel: Financing the Scale-up* (London). <https://www.atag.org/events/sustainable-aviation-fuel-financing-the-scale-up-london/>

- Aysen, E. (2022). *Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda havayolu işletmelerinin iklim değişikliği ile mücadele stratejileri*. (Yayın Nu: 707905) [Doktora tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Baltacı, A. (2019). Nitel araştırma süreci: Nitel bir araştırma nasıl yapılır? *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (AEÜSBED)*, 5(2), 368-388. <https://doi.org/10.31592/aeusbed.598299>
- Baumeister, S. (2020). Mitigating the climate change impacts of aviation through behavioural change [Davranış değişikliği yoluyla havacılığın iklim değişikliği etkilerinin azaltılması]. *Transportation Research Procedia*, 48, 2006–2017. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.230>
- Bayazıtöğlu, A. A. ve Güngör, H. (2023). Havalimanlarında doğal afetler kaynaklı kriz yönetimi: Kansai ve Dubai uluslararası havalimanları örneği. *JOTERM*, (3), 37-48. https://www.researchgate.net/profile/Altug-Bayazitoglu-2/publication/370631074_Crisis_Management_at_Airports_Due_to_Natural_Disasters_Case_of_Kansai_and_Dubai_International_Airports/links/645a8da739c408339b37afd0/Crisis-Management-at-Airports-Due-to-Natural-Disasters-Case-of-Kansai-and-Dubai-International-Airports.pdf
- Burbidge, R. (2016). Adapting European airports to a changing climate [Avrupa havalimanlarının değişen iklime uyarlanması]. *Transportation Research Procedia*, 14, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.036>
- Burbidge, R., Paling, C. and Dunk, R. M. (2023). A systematic review of adaption to climate change impacts in the aviation sector [Havacılık sektöründe iklim değişikliğinin etkilerine uyum konusunda sistematik bir inceleme]. *Transport Reviews*, 44(1), 8–33. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2220917>
- Christodoulou, A. and Demirel, H. (2018). Impacts of climate change on transport [İklim değişikliğinin ulaşım üzerindeki etkileri]. *European Commission JRC Science for Policy Report*, 1-55. <https://vdocuments.mx/impacts-of-climate-change-on-transport-europa-analysis1-and-the-focus-has.html?page=1>
- Civil Aviation Safety Authority [CASA]. (2021). *Instrument landing system operational notes*. 1-22. https://www.academia.edu/34332055/Instrument_Landing_System_Operational_Notes_Contents
- Cianconi, P., Betrò, S. and Janiri, L. (2020). The impact of climate change on mental health: A systematic descriptive review [İklim değişikliğinin ruh sağlığı üzerindeki etkisi: Sistematik tanımlayıcı bir inceleme]. *Frontiers in Psychiatry*, 11(74), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00074>
- Coffel, E. and Horton, R. (2015). Climate change and the impact of extreme temperatures on aviation [İklim değişikliği ve aşırı sıcaklıkların havacılık üzerindeki etkisi]. *Research Article*. 94-102. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-14-00026.1>
- Çaya, B. (2020). Küresel iklim değişikliğinin havacılık üzerindeki etkileri. İstanbul: İTÜ–Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği, 1-6.

https://www.researchgate.net/publication/349465064_Kuresel_Iklim_Degisikli_ginin_Havacilik_Uzerindeki_Etkileri

- Çelik, K. (2023). İklim değişiklikleri sürecinde IHA ve yerküre verilerinden kuantum yapay zekâ ile hava trafik için faydalı sürdürülebilir bir model geliştirilmesi. (Yayın Nu: 813662) [Yüksek Lisans tezi, Elâzığ: Fırat Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB]. (2023). *İklim değişikliği azaltım stratejisi ve eylem planı (2024-2030)*. [https://www.iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/İklim%20Değişikliği%20Azaltım%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Planı%20\(2024-2030\).pdf](https://www.iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/İklim%20Değişikliği%20Azaltım%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Planı%20(2024-2030).pdf)
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB]. (2024a). *Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi*. <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB]. (2024b). *COP29 Baku Azerbaycan Birleşmiş Milletler iklim değişikliği konferansı. 14-22 Kasım*. <https://iklim.gov.tr/db/turkce/haberler/files/Turkce.pdf>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB]. (2025). *Türkiye'nin ilk iklim kanunu geliyor*. <https://iklim.gov.tr/turkiyenin-ilk-iklim-kanunu-geliyor-haber-4431>
- Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Tuvan, A., Demircan, M. ve Akçakaya, A. (2013). RCP4.5 senaryosuna göre Türkiye’de sıcaklık ve yağış projeksiyonları. *İstanbul: III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi. TIKDEK. 3-5 Haziran*. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/rcp-45.pdf>
- Deniz, B. Ve Yavuz, V. (2024). Batman İli için Sis ve Görüş Mesafesi Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 767-781. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3238939?utm_source=chatgpt.com
- Dhamala, M. K., Rijal, K., KC, A., Shrestha, A., Shah, D. N., Bhuju, D. R., Shrestha, M. L., Dhakal, M., Dhital, N. B., Thapa, R., Adhikari, S., Bhatta, S. and Khadka, U. R. (2019). Climate change: The science, impact and solution [İklim değişikliği: Bilim, etki ve çözüm]. *Central Department of Environmental Science*, Tribhuvan University, Kirtipur and Clean Energy Nepal, Kathmandu. 1. Edition, 1-150. https://www.academia.edu/44961222/CLIMATE_CHANGE_The_Science_Impact_and_Solution?auto=download
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ]. (2025a). *Genel Bilgiler*. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/batman/GenelBilgiler.aspx>
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ]. (2025b). *İstatistikler*. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx>
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ]. (2025c). *AIP Batman Havalimanı*. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/aipTurkey.aspx>
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ]. (2025d). *Finansal Bilgiler*. <https://www.dhmi.gov.tr/Lists/FinansalBilgiler/Attachments/480/2024%20Bütçe%20Kitap.pdf>

- Dolman, N. (2015). *Creating water sensitive airports in times of climate change - A case study at Amsterdam Airport Schiphol* [İklim değışikliği zamanlarında suya duyarlı havalimanları yaratmak - Amsterdam Schiphol Havalimanı'nda bir vaka çalışması]. IWA International Water Association, 1-2. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10190.00320>
- Dolman, N. and Vorage, P. (2019). Preparing Singapore Changi Airport for the effects of climate change [Singapur Changi Havalimanı'nın iklim değışikliğinin etkilerine karşı hazırlanması]. *Journal of Airport Management*, 14(1), 54–66. <http://dx.doi.org/10.69554/VETC9210>
- Dolman, N. and Sindhamani, V. (2022). Climate change impacts on airports and measures - case of Schiphol Airport [İklim değışikliğinin havalimanları üzerindeki etkileri ve önlemler - Schiphol Havalimanı örneği]. *ICAO Journal*. 9, 267-269. https://www.researchgate.net/publication/359788512_Climate_change_impacts_on_airports_and_measures_-_case_of_Schiphol_Airport
- European Union Aviation Safety Agency [EASA]. (2022a). *European aviation environmental report executive summary and recommendations*. EnvironmentalReport_EASA_summary_12-online.pdf (europa.eu)
- European Union Aviation Safety Agency [EASA]. (2022b). *Eureopan aviation enviromental report*. <https://www.eurocontrol.int/publication/european-aviation-environmental-report-2022>
- European Union Aviation Safety Agency [EASA]. (2024a). *SAF policy actions*. <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels/saf-policy-actions>
- European Union Aviation Safety Agency [EASA]. (2024b). *Carbon offsetting and reduction scheme for international aviation (CORSlA)*. <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/market-based-measures/eu-emissions-trading-system>
- European Environment Agency [EEA]. (2016). *Assessing adaptation challenges and increasing resilience at Heathrow Airport case study*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/assessing-adaptation-challenges-and-increasing-resilience-at-heathrow-airport>
- Ekici, S. ve Sevinç, H. (2019). Türk sivil havacılığının küresel ısınma ve iklim değışikliği üzerine etkisi. S. Erdoğan, A. Gedikli ve M. Shahbaz (Ed.), 8-10 Kasım. *Tam Metin Bildiriler Kitabı*. İstanbul: Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi. 105-110. https://www.researchgate.net/profile/Izzet-Ari-3/publication/338793004_Possible_Carbon_Pricing_Challenges_in_Turkey_for_the_Paris_Agreement/links/5e3baf94a6fdccd9658aac3e/Possible-Carbon-Pricing-Challenges-in-Turkey-for-the-Paris-Agreement.pdf#page=116

- European Commission. (2024a). *Reducing emissions from aviation*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-aviation_en
- European Commission. (2024b). *EU emissions trading system (EU ETS)*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en
- Federal Aviation Administration [FAA]. (2022). *Improving airport resilience to climate change & severe weather*. https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-09/Airport_Resilience_Factsheet_2022_09.pdf
- Faber, J. and Huigen, T. (2018). A study on aviation ticket taxes [Havacılık bilet vergileri üzerine bir çalışma]. CE Delft. 1-37. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_7L14_A_study_on_aviation_ticket_taxes_DEF.pdf
- Gök, A. (2023). *Türkiye’de iklim değişikliği politikaları ve sürdürülebilir finans uygulamalarının önemi*. (Yayın Nu: 781482) [Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Gratton, G. B., Padhra, A., Rapsomanikis, S. and Williams, P. D. (2020). The impacts of climate change on greek airports [İklim değişikliğinin Yunan havalimanları üzerindeki etkileri]. *Climatic Change*, 160, 219–231. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02634-z>
- Gratton, G. B., Williams, P. D., Padhra, A. and Rapsomanikis, S. (2021). Reviewing the impacts of climate change on air transport operations [İklim değişikliğinin hava taşımacılığı operasyonları üzerindeki etkilerinin gözden geçirilmesi]. *The Aeronautical Journal*. 126. 209–221. <https://doi.org/10.1017/aer.2021.109>
- Gün, İ. (2023). *Hava yolu taşımacılığı ve havalimanlarının makroekonomik performans ile ilişkisi: Batman ili ve Batman Havalimanı örneği* (Yayın Nu: 824604) [Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Harvey, L. D. D. (2020). Using modified multiple Heating-Degree-Day (HDD) and Cooling-Degree-Day (CDD) indices to estimate building heating and cooling loads [Bina ısıtma ve soğutma yüklerini tahmin etmek için değiştirilmiş çoklu Isıtma Derecesi-Gün (HDD) ve Soğutma Derecesi-Gün (CDD) endekslerinin kullanılması]. *Energy and Buildings*. 229, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110475>
- Hayes, K., Blashki, G., Wiseman, J., Burke, S. and Reifels, L. (2018). Climate change and mental health: risks, impacts and priority actions [İklim değişikliği ve ruh sağlığı: riskler, etkiler ve öncelikli eylemler]. *Hayes et al. Int J Ment Health Syst*, 12(28). 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13033-018-0210-6>
- http-01 <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>

- http-10 <https://www.dunya.com/ekonomi/2024-yilinda-havacilikta-saf-kullanimi-uc-kat-artacak-haberi-713468>
- http-11 <https://www.airturkhaber.com/haberler/havacilikta-saf-yakit-kullanimi-artiyor/>
- http-12 <https://www.apron24.com/emiratesten-saf-kullanimi-icin-200-milyon-dolarlik-fon/>
- http-13 <https://www.airlinehaber.com/dunyanin-ilk-fabrikasi-insan-diskisindan-saf-yakit-uretecek-tesise-onay-verildi/>
- http-14 <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230911IPR04913/70-of-jet-fuels-at-eu-airports-will-have-to-be-green-by-2050>
- http-15 <https://turkishfuel.com/tr/anasayfa/surdurulebilirlik/saf-surdurulebilir-havacilik-yakitlari/>
- http-16 <https://akademi.thy.com/coursedetail/sustainable-aviation-fuels-saf--building-a-longterm-sustainable-aviation-industry/25515>
- http-17 <https://www.airturkhaber.com/haberler/thyden-global-saf-deklarasyonu/>
- http-18 <https://aviationturkey.com/tr/icerik/corendon-airlines-antalya-da-surdurebilir-havacilik-yakiti-saf-yakit-kullanimina-basladi-412>
- http-19 <https://www.apron24.com/corendon-antalyada-saf-yakit-kullanimina-basladi/>
- http-02 <https://www.wwf.org.tr/?8100/yeni-ipcc-raporu-kuresel-isinmayi-birbucuk-derecede-tutmak-icin-acilen-harekete-gecilmeli>
- http-20 <https://www.flypgs.com/basin-bultenleri/pegasus-ic-hat-ucuslarinda-surdurulebilir-havacilik-yakiti-saf-kullanimini-artiriyor>
- http-21 <https://havasosyalmedya.com/pegasus-ic-hat-ucuslarinda-surdurulebilir-havacilik-yakiti-saf-kullanimini-artiriyor/>
- http-22 <https://www.airlinehaber.com/pegasus-hava-yollari-cevreci-yakit-saf-ile-ilk-ucusunu-yapti/>
- http-23 <https://turkishfuel.com/tr/anasayfa/surdurulebilirlik/saf-surdurulebilir-havacilik-yakitlari/>
- http-24 <https://www.uted.org/egt-nedir>
- http-25 <https://www.aviationpros.com/airports/press-release/21162739/airports-council-international-aciworld-aci-world-annual-general-assembly-urges-global-climate-change-effort>
- http-26 <https://www.universalweather.com/blog/aviation-weather-issues-fog-part-2-impact-of-fog/>
- http-27 <https://simpleflying.com/airport-weather-guide/>
- http-28 <https://simpleflying.com/fog-and-planes/>
- http-29 <https://www.aviationpros.com/airports/article/21121367/climate-change-and-airports>
- http-03 <https://www.meteoroloji.org.tr/paris-anlasmasi>

- http-30 <https://www.newcivilengineer.com/the-future-of/future-of-airports-how-is-climate-change-affecting-infrastructure-planning-26-05-2021/>
- http-31 <https://tr.euronews.com/2018/09/05/japonya-yi-son-25-yilin-en-agir-tayfunu-vurdu-9-olu-2-milyon-kisiye-tahliye-tavsiyesi>
- http-32 <https://www.internationalairportreview.com/article/77656/effects-climate-change-airports/>
- http-33 <http://www.batman.gov.tr/batman-havalimani>
- http-34 https://www.nufusu.com/il/batman-nufusu?utm_source=chatgpt.com
- http-35 https://www.reuters.com/world/middle-east/turkey-announces-14-billion-regional-development-plan-kurdish-southeast-2024-12-29/?utm_source=chatgpt.com
- http-04 <https://climate.copernicus.eu/climate-projections>
- http-05 <https://cds.climate.copernicus.eu/apps/c3s/app-era5-explorer>
- http-06 https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/search/-/search/estatsearchportlet_WAR_estatsearchportlet_INSTANCE_bHVzuvn1SZ8J?text=cdd
- http-07 [https://cds.climate.copernicus.eu/apps/c3s/app-heating-cooling-degree-days?year=2023&time_aggregation_3=season&month_3=Summer%20\(JJA\)&rcp=RCP8.5&xdd=CDD&statistic=Sum](https://cds.climate.copernicus.eu/apps/c3s/app-heating-cooling-degree-days?year=2023&time_aggregation_3=season&month_3=Summer%20(JJA)&rcp=RCP8.5&xdd=CDD&statistic=Sum)
- http-08 <https://terminal.turkishairlines.com/surdurulebilir-havacilik/>
- http-09 <https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/air-bp-news/first-100-percent-saf-transatlantic-flight-readies-for-take-off.html>

Iavarone, A. H. ve Kaya, İ. (2021). Deniz seviyesinde yükselme riskleri odağında kentlerin iklim eylem planı söylemlerinin incelenmesi. *Resilience*. 5(1), 51-66. <https://doi.org/10.32569/resilience.824576>

International Civil Aviation Organization [ICAO]. (2016). *Environmental report*. Climate change adaptation and resilience. Chapter.7. 201-216. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>

International Civil Aviation Organization [ICAO]. (2018). *Climate adaptation synthesis*. 1-93. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Climate%20Adaptation%20Synthesis%20with%20Cover_20200221.pdf

International Civil Aviation Organization [ICAO]. (2019). *Environmental report*. 1-376. <https://www.icao.int/environmental->

protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg111-115.pdf

International Civil Aviation Organization [ICAO]. (2022). *Environmental report*. 83-216. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ICAO%20ENV%20Report%202022%20F4.pdf>

International Civil Aviation Organization [ICAO]. (2024a). *Sustainable Aviation Fuel (SAF)*. <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx>

International Civil Aviation Organization [ICAO]. (2024b). *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/pages/default.aspx>

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2021). *Climate change 2021 the physical science basis summary for policymakers*. 1-31. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change*. WGIII, 1-2042. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Full_Report.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2023). *Climate change 2023 synthesis report*. 1-115. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_Longer_Report.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2024). *Global climate projections*. Figure 10.18. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/global-climate-projections/>

International Renewable Energy Agency [IRENA]. (2021). *World energy transitions outlook 1.5°C pathway*. Abu Dhabi. 1-312. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf

Jensen, L. (2022). Revision of the EU emissions trading system: Aviation [AB emisyon ticareti sisteminin gözden geçirilmesi: Havacılık]. *European Parliamentary Research Service (EPRS)*. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729452/EPRS_ATAG\(2022\)729452_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729452/EPRS_ATAG(2022)729452_EN.pdf)

Jevrejeva, S., Jackson, L. P., Grinsted, A., Lincke, D. and Marzeion, B. (2018). Flood damage costs under the sea level rise with warming of 1.5 °C and 2 °C [Deniz seviyesinin 1,5 °C ve 2 °C ısınması ile yükselmesi durumunda sel hasar maliyetleri]. *Environmental Research Letters*. 13. 1-11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aacc76>

Kahraman, S. ve Şenol, P. (2018). İklim değişikliği: küresel, bölgesel ve kentsel etkileri. *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi - Özel Sayı*. 1. 353-370. <https://dergipark.org.tr/en/pub/asj/issue/40224/479040>

- Kang, X., Meng, Z., Feng, W. and Liu, Y. (2023). Climate change impacts on the density altitude of chinese airports in summer [İklim değışikliğinin yaz aylarında Çin havalimanlarının yoğunluk irtifası üzerindeki etkileri]. *Atmosphere*. 14(1577). 1-9. <https://doi.org/10.3390/atmos14101577>
- Karakaya, E. (2016). Paris iklim anlaşması: İçeriği ve Türkiye üzerine bir değeriendirme. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 3(1). <http://dx.doi.org/10.30803/adusobed.188842>
- Klemm, O. and Lin, N. (2015). What Causes Observed Fog Trends: Air Quality or Climate Change? [Gözlemlenen sis eğilimlerine ne sebep oluyor? Hava kalitesi mi iklim değışikliği mi?]. *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 1131-1142. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.05.0353>
- Lee, J., Marla, L. and Vaishnav, P. (2021). The impact of climate change on the recoverability of airline networks [İklim değışikliğinin havayolu ağlarının geri kazanılabilirliği üzerindeki etkisi]. *Transportation Research*. Part D 95, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102801>
- Lopez, A. (2016). Vulnerability of airports on climate change: An assessment methodology [Havalimanlarının iklim değışikliğinden etkilenebilirliği: Bir değeriendirme metodolojisi]. *Transportation Research Procedia*. 14. 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.037>
- Mavel, V. (2021). Heating and cooling degree days from 1979 to 2100 application [1979'dan 2100'e kadar ısıtma ve soğutma derece günleri uygulaması]. *Copernicus Climate Change Service*, B-Open. 1-31. https://cds.climate.copernicus.eu/apps/c3s/app-heating-cooling-degree-days?year=2020&time_aggregation_3=annual&month_5=-&rcp=RCP4.5&xdd=HDD&statistic=Sum
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM]. (2015). *Yeni senaryolar ile Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değışikliği*. 1-164. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim-degisikligi-projeksiyon2015.pdf>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM]. (2024a). *Küresel iklim modelleri ve küresel iklim projeksiyonları*. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=kuresel>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM]. (2024b). *Isıtma ve soğutma gün dereceleri*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=yillik&m=06-00&y=2024&a=06#sfB>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM]. (2024c). *IPCC iklim değışikliği senaryoları ve tarihsel gelişimi*. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=senaryolar>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM]. (2024d). *Batman havalimanı için detaylı hava durumu*. <https://www.mgm.gov.tr/tahmin/il-ve-ilceler.aspx?il=Batman&ilce=Batman%20Havalimanı>
- National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2020). *What is climate change?*. <https://climate.nasa.gov/what-is-climate-change/>
- National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2023a). *Warming makes droughts, extreme wet events more frequent, intense*.

<https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/goddard/warming-makes-droughts-extreme-wet-events-more-frequent-intense/>

National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2023b). *NASA summer 2023 temperature media resources*. <https://svs.gsfc.nasa.gov/14407>

National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2024). *Extreme weather and climate change*. <https://science.nasa.gov/climate-change/extreme-weather/>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM]. (2019). *Climate resilience and benefit–cost analysis: A handbook for airports*. (ACRP research report no. 199), The National Academies Press, 1-160. <https://doi.org/10.17226/25497>

Olav, M. L. (2015). Climate change is here to stay: Reviewing the impact of climate change on airport infrastructure [İklim değişikliği kalıcıdır: İklim değişikliğinin havalimanı altyapısı üzerindeki etkisinin gözden geçirilmesi]. *Journal of Airport Management*. 9(3). 264-269. <https://www.ingentaconnect.com/content/hsp/cam/2015/00000009/00000003/art00008>

Omarov, B., Memon, S. A. and Kim, J. (2023) A novel approach to develop climate classification based on degree days and building energy performance [*Derece günlerine ve bina enerji performansına dayalı iklim sınıflandırması geliştirmek için yeni bir yaklaşım*]. *Energy*, 267, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126514>

Paraschi, E. P. (2023). Aviation and climate change: Challenges and the way forward [*Havacılık ve iklim değişikliği: Zorluklar ve ileriye giden yol*]. *Journal of Airline Operations and Aviation Management*, 2(1), 86-95. <https://doi.org/10.56801/jaoam.v2i1.5>

Pereira, J. J. (2016). Consequences of climate change [İklim değişikliğinin sonuçları]. 6-10. https://www.academia.edu/32759702/Consequences_of_climate_change

Riedy, C. (2016). Climate change [İklim değişikliği]. *Institute for Sustainable Future, University of Technology Sydney*, 1-15. <https://doi.org/10.1002/9781405165518.wbeos0737>

Rodoplu, H. ve Turan Erdoğan, P. (2022). Havalimanlarında enerji ve iklim değişikliği konulu çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarının incelenmesi. *Hava Taşımacılığında Güncel Araştırmalar*. Ankara: Detay Yayıncılık. 41-55. https://www.researchgate.net/publication/361025246_HAVALIMANLARINDA_A_ENERJI_VE_IKLIM_DEGISIKLIGI_KONULU_CEVRESEL_SURDURULEBILIRLIK_UYGULAMALARININ_INCELENMESI

Ryley, T., Baumeister, S. and Coulter, L. (2020). Climate change influences on aviation: A literature review [İklim değişikliğinin havacılık üzerindeki etkileri: Bir literatür taraması]. *Transport Policy*, 92, 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.04.010>

Sebastian, A., Kothuis, B., Lendering, K., Brand, A.D., Van Gelder, P.H.A.J.M., Kolen, B., Comes, T., Lhermitte, S., Meesters, K., Walle, B., Fard, A. E., Cunningham, S., Khakzad, N., Nespeca, V. and Jonkman, S. N. (2017). *Hurricane harvey report: A Fact-finding effort in the direct aftermath of hurricane harvey in the*

- greater houston region [Harvey Kasırgası Raporu: Harvey Kasırgası'nın hemen ardından büyük Houston bölgesinde gerçekleştirilen bir bilgi toplama çalışması]. 1-103.
https://www.researchgate.net/publication/321749153_Hurricane_Harvey_Report_A_finding_effort_in_the_direct_aftermath_of_Hurricane_Harvey_in_the_Greater_Houston_Region
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM]. (2024a). *RVSM*.
<https://web.shgm.gov.tr/tr/s/2241-rvsm>
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM]. (2024b). *Sürdürülebilir havacılık yakıtı talimatı (SHT-SAF)*.
<https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/taslaklar/2022/SHT-SAF.pdf>
- Shivanna, K. R. (2022). Climate change and its impact on biodiversity and human welfare [İklim değişikliği ve bunun biyoçeşitlilik ve insan refahı üzerindeki etkisi]. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, (88), 160-171.
<https://doi.org/10.1007/s43538-022-00073-6>
- Sindhamani, V. and Vorage, P. (2020). Flood warning [Sel uyarısı]. *Airport World The Magazine of Airports Council Intrnational*. <https://airport-world.com/flood-warning/>
- SLOCAT Partnership. (2023). Transport, climate and sustainability global status report [Ulaştırma, iklim ve sürdürülebilirlik küresel durum raporu]. *SLOCAT Partnership*, 3. Ed. <https://tcc-gsr.com>
- Smagghe, D. and Anelli C. (2023). Airport vulnerability to climate change information note [Havalimanlarının iklim değişikliğine karşı hassasiyeti bilgi notu]. *Ministère Chargé Des Transports*. 1-18. <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/en/publications/vulnerability-aerodromes-climate-change>
- Spinoni, J., Barbosa, P., Füßel, H. M., McCormick, N., Vogt, J. V. and Dosio, A. (2021). Global population-weighted degree-day projections for a combination of climate and socio-economic scenarios [İklim ve sosyo-ekonomik senaryoların bir kombinasyonu için küresel nüfus ağırlıklı derece-gün projeksiyonları]. *International Journal of Climatology*, 41(11), 5125-5464.
<https://doi.org/10.1002/joc.7328>
- Şanlı, B., Bayrakdar, S. ve İncekara, B. (2017). Küresel iklim değişikliğinin etkileri ve bu etkileri önlemeye yönelik uluslararası girişimler. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 201-212.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1001760>
- Tekindal, M. ve Arsu, Ş. U. (2020). Nitel araştırma yöntemi olarak fenomenolojik yaklaşımın kapsamı ve sürecine yönelik bir derleme. *Ufuk Ötesi Bilim Dergisi*, 20(1), 153-182.
https://www.researchgate.net/publication/348276619_NITEL_ARASTIRMA_YONTEMI_OLARAK_FENOMENOLOJIK_YAKLASIMIN_KAPSAMI_VE_SURECINE_YONELIK_BIR_DERLEME

- The European Organisation for the Safety of Air Navigation [EUROCONTROL]. (2021a). *Eurocontrol study climate change risk european aviation summary report*. 2-16. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-09/eurocontrol-study-climate-change-risk-european-aviation-summary-report-2021.pdf>
- The European Organisation for the Safety of Air Navigation [EUROCONTROL]. (2021b). *Climate change risks for European aviation 2021*. Annex 3: Impact of sea level rise on European airport operations. 1-70. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-09/eurocontrol-study-climate-change-risk-european-aviation-annex-3.pdf>
- The European Organisation for the Safety of Air Navigation [EUROCONTROL]. (2021c). *Airports are undertaking strong efforts to adapt to the impact of climate change and boost climate-resilience*. <https://www.eurocontrol.int/interview/airports-undertaking-efforts-adapt-climate-change>
- The European Organisation for the Safety of Air Navigation [EUROCONTROL]. (2021d). *Climate change risks for European aviation 2021*. Annex 1: An overview of short-term weather impacts on European aviation. 1-55. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-09/eurocontrol-study-climate-change-risk-european-aviation-annex-1.pdf>
- The European Organisation for the Safety of Air Navigation [EUROCONTROL]. (2021e). *Climate change risks for European aviation 2021*. Annex 2: Impact of changes in storm patterns and intensity on flight operations. 1-116. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-09/eurocontrol-study-climate-change-risk-european-aviation-annex-2.pdf>
- The European Organisation for the Safety of Air Navigation [EUROCONTROL]. (2024a). *Eurocontrol forecast 2024-2030*. Update-Spring 2024. 1-29. <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-forecast-2024-2030>
- The European Organisation for the Safety of Air Navigation [EUROCONTROL]. (2024b). *ATCO basic meteorology (ATC-I-BASIC-MET)*. E-learning course. <https://learningzone.eurocontrol.int/ilp/pages/course.jsf?pollingMode=on&runningLanguage=en-GB&parentCourseId=0&mediaId=6625400&courseId=20793339#!/courseroom/course>
- The International Air Transport Association [IATA]. (2020a). *Aviation Charges & Climate Change*. <https://www.iata.org/contentassets/fa95ede4dee24322939d396382f2f82d/iata-positionpaper-climatechangecharges-nov2020.pdf>
- The International Air Transport Association [IATA]. (2020b). *Climate Change Fact Sheet*. https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact_sheet_on_climate_change.pdf
- The International Air Transport Association [IATA]. (2021). *Net-Zero Carbon Emissions by 2050*. <https://www.iata.org/en/pressroom/pressroom-archive/2021-releases/2021-10-04-03/>

The International Air Transport Association [IATA]. (2022). *Airport Environmental Sustainability*.

https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact_sheet_on_climate_change.pdf

The International Air Transport Association [IATA]. (2024a). *SAF Handbook*. 1-32.

<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-handbook.pdf>

The International Air Transport Association [IATA]. (2024b). *CORSIA* 1-5.

<https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---corsia/>



EKLER

- EK-1 : Anket Çalışmasının Batman Havalimanında Yapılabilmesi için DHMİ Genel
Müdürlüğünden Alınan İzin
- EK-2 : Örnek Görüşme Formu
- EK-3 : Etik Kurul Onayı



EK-1 Anket Çalışmasının Batman Havalimanında Yapılabilmesi için DHMİ Genel Müdürlüğünden Alınan İzin

BATMAN HAVALİMANI MÜDÜRLÜĞÜNE

Adı ve Soyadı : Turgut DURSUN
Adres :
Telefon Numarası :
E-posta Adresi :

Sayın Yetkililer,

Ben Turgut DURSUN, Anadolu Üniversitesi'nde Havacılık Yönetim Programı Tezli Yüksek Lisans öğrencisiyim. Tez çalışmam kapsamında "İklim Değişikliğinin Havalimanı Maliyetlerine Etkisi: Batman Havalimanı Örneği" konulu bir araştırma gerçekleştirmekteyim. Bu çalışma kapsamında, Batman Havalimanı'nda görevli uzman kişilerle görüşme yapmak istiyorum.

Amacım, havalimanınızın iklim değişikliği ile ilgili risklerini ve maliyetlerini daha iyi anlamak ve bu konuda bilgi sahibi olan uzmanların görüşlerini alarak tez çalışmamı zenginleştirmektir. Görüşmelerim, havalimanı operasyonlarınızı ve günlük rutinleri olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde düzenlenecektir.

Bu nedenle, havalimanı yönetiminin iznini almak amacıyla bu dilekçeyi sunmaktayım. Görüşme talebim için uygun bir zaman ve yer belirlemenizi ve hangi prosedürleri takip etmem gerektiği konusunda bilgilendirilmem hususunda,

Ayrıca, ekte gönderdiğim görüşme sorularını inceleyerek, bu soruların havalimanı personeli ile görüşme amacıyla uygun olup olmadığını da belirtmeniz hususunda,

Gereğini bilgilerinize saygılarımla arz ederim.

/ 15.04.2024
Turgut DURSUN

Ekler : Görüşme soruları (3 sayfa)



TASNİF DIŞI

DEVLET HAVA MEYDANLARI İŞLETMESİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Havacılık Eğitim Dairesi Başkanlığı



Sayı : E-52718988-929-38076
Konu : Anket Çalışma İzni Hk.
(Turgut DURSUN

16.04.2024

BATMAN HAVALİMANI MÜDÜRLÜĞÜNE
Silvan Yolu Üzeri 7.Km Batman

İlgi : a) 15.04.2024 tarihli ve E-66890973-929-2061 sayılı yazı.
b) 01.03.2021 tarihli ve E-56143142-010.04-13734-21841 sayılı yazı.

İlgi (a)'da kayıtlı Anket Çalışması konulu talebiniz Başkanlığımızca incelenmiştir. Söz konusu talebe ilişkin Müdürlüğünüzce ilgi (b)'de kayıtlı Tamim doğrultusunda işlem yapılması hususunda; Gereğini rica ederim.

Osman SERDAR
Havacılık Eğitim Dairesi Başkanı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu: 1L8D2T4D2G062 Belge Doğrulama Adresi: <https://turkiye.gov.tr/dhmi-ebys>

Esenboğa Havalimanı Başmüdürlüğü Esenboğa Merkez Mah. Özal Bulvarı No:325

Çubuk/Ankara

Telefon No:

Faks No:

e-Posta:

İnternet Adresi: _____

Kep Adresi:

177

Abdullah GÖK

Memur



TASNİF DIŞI

2C9J2C2C8I4817240408



DEVLET HAVA MEYDANLARI İŞLETMESİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Havacılık Eğitim Dairesi Başkanlığı



Sayı : E-56143142-010.04-13734
Konu : Tez Çalışması Hk.

01.03.2021

DAĞITIM YERLERİNE

Bilindiği üzere, Üniversitelerde yüksek lisans veya doktora yapan öğrenciler ile Kuruluşumuz personelinin Başmüdürlük ve Havalimanı Müdürlüğünüz bünyesinde tez çalışması yapmak için başvuruda bulunarak, gerekli izinlerin verilmesi talep edilmektedir.

Bahse konu tez çalışması taleplerinin aşağıda belirtilen kriterler çerçevesinde;

- Yüksek lisans/Doktora tez çalışmasında kullanılacak içerik ve alt başlıkların (Soru, anket, proje, veri, resim, bilgi, doküman vb.) çalışma öncesinde ve sonrasında Havacılık Eğitim Dairesi Başkanlığı ile paylaşılması,
- Yüksek lisans/Doktora tez çalışması kapsamında gerek duyulması halinde yapılacak anketlerin sadece elektronik ortamda yapılması,
- Personel ile görüşme, röportaj, soru-cevap yapılması durumunda **6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu** hükümlerine riayet edilmesi,
- Yüksek lisans/Doktora tez çalışmasında kullanılmak üzere Kuruluşumuzdan istatistiki veri ve bilgi talep edilmesi durumunda bunların Kuruluşumuz web sitesinde yayımlı istatistiklerle sınırlı olması ve bunların haricinde ek bilgi ve belge talebinde bulunulmaması,
- Yüksek lisans/Doktora tez çalışması kapsamında Kuruluşumuzdan elde edilen bilgi ve belgelerin bilimsel ve akademik çalışma dışında kullanılmaması,
- Havalimanlarımız sınırları içerisinde çalışma yapacak olan kişilerin mer-i mevzuat hükümleri çerçevesinde güvenlik tedbirlerine uymalarının sağlanması,
- Havalimanlarımız sınırları içerisinde çalışma yapacak olan kişilere, ilgili Havalimanı Giriş Kartları Yönergesi kapsamında Havalimanı Giriş Kartı tanzim edilmesi,
- Yüksek lisans/Doktora tez çalışmasının yükseköğretim kurumu haricinde hiçbir kamu veya özel kurum, kuruluşla veya üçüncü şahıslarla paylaşılması kaydıyla,

Başmüdürlüğünüz/ Havalimanı Müdürlüğünüzce değerlendirilerek, gerekli tedbirlerin alınmasına müteakip işlem tesis edilmesi hususunda, bilgilerinizi ve gereğini önemle rica ederim.

Mehmet KARAKAN
Genel Müdür Yardımcısı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu: 1S3Z6E5P6Z581 Belge Doğrulama Adresi: <https://ebys.dhmi.gov.tr/?E=1S3Z6E5P6Z581>

Esenboğa Merkez Mah.Özal Bulvarı No:325 Çubuk/ANKARA
Telefon No: Faks No
e-Posta: İnternet Adresi:
Kep Adresi:

Burhan BEYDİLİ
ARFF Memuru
Telefon No:



EK-2 Örnek Görüşme Formu

ARAŞTIRMA SORULARI

Sayın Katılımcı,

Bu sorulara vereceğiniz cevaplar "*iklim değişikliğinin havalimanı maliyetlerine etkisi*" konulu yüksek lisans tez çalışmamın uygulama kısmı için gerekli olup araştırmanın amacına uygun şekilde tamamlanması ve elde edilen sonuçların ulusal havacılık faaliyetlerine yararlı olması bakımından önemlidir. Verdiğiniz bilgiler isim belirtilmeden yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacak ve üçüncü kişilerle paylaşılmayacaktır. Gönüllü katılım esasına dayalı bu çalışma yaklaşık 40 dakikanızı alacaktır. Çalışmamıza çok değerli katkılarınız için teşekkür ederim. **Turgut Dursun**

Anadolu Üniversitesi – Havacılık Yönetimi Programı

A. İklim Değişikliğinin Genel Etkileri

1. İklim değişikliğinin havalimanı altyapı, tesis ve faaliyetleri ile ilgili belirtileri nelerdir?
2. Aşırı hava olaylarının (sıcaklık, rüzgâr, yağış vb.) havalimanınızın altyapısı, tesis/bina ve uçuş faaliyetleri üzerindeki olası etkilerini değerlendirebilir misiniz?
3. İklim değişikliğinin havalimanınızın su ve atık yönetimine etkilerini değerlendirebilir misiniz?
4. Biyo-çeşitlilikte değişikliklerin havalimanınıza etkilerini nasıl değerlendirirsiniz?
5. Havalimanı sektör paydaşlarının iklim değişikliği konusunda farkındalığını arttırmak için önerileriniz nelerdir?

B. Havalimanı Emniyeti, Güvenliği ve Risk Analizi

1. İklim değişikliğinin havalimanı emniyeti ve güvenliği üzerinde potansiyel etkileri nelerdir?
2. İklim değişikliğinin havalimanına etkilerini belirlemek için risk analizi yapmak nasıl bir maliyet avantajı sağlayabilir?
3. İklim değişikliği ve hava koşullarındaki ani değişiklikler havalimanı risk analizini nasıl etkiliyor?
4. Rüzgâr paterni değişikliklerinin hava trafik kontrol sistemi ve uçuş emniyeti üzerinde potansiyel etkileri hakkında ne düşünüyorsunuz?
5. Havalimanlarında meteoroloji hizmetinin etkinliğini artırmak için neler yapılabilir? Meteoroloji hizmetleri ile ilgili sorunlar havalimanı işletme maliyetlerini nasıl etkilemektedir?
6. Havalimanı kuruluş yeri seçiminin iklim değişikliği ile ilgili gelişmeler bakımından maliyetler üzerinde etkisi var mıdır? Varsa nasıl?
7. İklim değişikliği etkilerini en aza indirmek için havalimanlarının acil durum planlaması ve müdahalesi nasıl geliştirilebilir? Bu süreçte paydaşlarla işbirliği nasıl sağlanabilir?

C. Finans ve Maliyet Yönetimi

1. İklim değişikliğinin havalimanı işleticileri üzerindeki finansal etkilerini nasıl değerlendirirsiniz?
2. İklim değişikliğinin havalimanı maliyetlerine potansiyel etkilerini en aza indirmek için sürdürülebilir finansal stratejiler geliştirmenin yararları hakkında ne düşünüyorsunuz?
3. İklim değişikliğiyle mücadele stratejileri kapsamında havalimanları karbon emisyonlarını azaltma çabalarının maliyet etkinliğini nasıl değerlendiriyorsunuz?
4. İklim değişikliğine uyum sürecinde havalimanları için gerekli altyapı iyileştirmelerinin maliyetinin karşılanması bakımından "karbon piyasası" ve "yeşil tahvil" gibi çevreci finansman uygulamalarını nasıl değerlendiriyorsunuz?
5. Havalimanı işleticilerinin iklim değişikliği nedeniyle artan bakım ve onarım maliyetleriyle başa çıkma stratejilerini nasıl değerlendirirsiniz?
6. Uçaklarda sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF) kullanımının yaygınlaşması için gerekli altyapı yatırımları ve havalimanlarında karbon yutaklarının oluşturulması gibi büyük çaplı teknolojik yatırımların finansmanı hakkında görüş ve önerileriniz nasıldır?



7. Havalimanları için iklim değişikliğine uyum stratejilerinin kısa ve uzun vadeli maliyet ve getirileri neler olabilir?
8. Havalimanları operasyonlarında iklim değişikliğinin neden olduğu uçuş gecikme ve iptallerinin finansal etkilerini nasıl değerlendiriyorsunuz?
9. İklim değişikliği nedeniyle havalimanı operasyonlarında artan aşırı hava olaylarına karşı sigorta maliyetlerindeki potansiyel artışları nasıl değerlendirirsiniz?
10. Havalimanında biyo-çeşitlilik kaybını önlemek için uygulanan/uygulanacak programların maliyet etkinliğini değerlendirebilir misiniz?
11. Sıcaklık artışlarına bağlı olarak ortaya çıkacak enerji tüketimi ve soğutma maliyetlerindeki artışları nasıl değerlendirirsiniz?
12. Hangi iklim değişikliği senaryosu havalimanınız için daha büyük maliyet riski oluşturabilir?

D. Sürdürülebilirlik ve Yeşil Alanlar

1. Sürdürülebilirlik standartlarına uyum sağlamak havalimanı işletmecileri için neden önemlidir? Bu süreçte yapılması gerekenler ve karşılaşılan zorluklar nelerdir?
2. Havalimanı tasarım ve yapımında iklim değişikliğiyle uyumlu yeşil alanlar oluşturma avantajları nelerdir?
3. Sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişin maliyetini düşürmek için havalimanlarında uygulanabilir stratejiler hakkında ne düşünüyorsunuz?
4. Havalimanlarında sürdürülebilirlik uygulamaları ile ilgili teşvik ve desteklerin yeterliliğini nasıl değerlendirirsiniz?
5. Sürdürülebilirlik programlarının hayata geçirilmesi bakımından özellikle yeni teknoloji uçaklar ve yakıt teknolojilerinin kullanımı ile ilgili havaalanlarında ne tür sorunlar bulunmaktadır?
6. Havalimanınız karbon emisyonlarını azaltmak için hangi projeleri hayata geçirmektedir? Bu projelerin hem çevresel hem de mali açıdan etkilerini değerlendir misiniz?
7. Havalimanlarında sürdürülebilirlik uygulamaları hakkında kullanıcıların tutum ve beklentilerini nasıl değerlendiriyorsunuz?

E. Teknoloji, Veri Analizi, Bilgi Sistemleri ve İletişim

1. İklim değişikliğiyle ilgili veri toplama ve analiz süreçleri, havalimanı planlaması ve yönetimi için ne gibi avantajlar sağlayabilir?
2. Havaalanlarında yapay zekâ kullanımının maliyetler üzerinde etkisini nasıl değerlendirirsiniz?
3. Batman Havalimanı yönetiminin iklim dostu teknolojilere yatırım yapma konusunda düşüncesi ve olanakları nasıldır?
4. Teknolojik yatırımların çevresel ve ekonomik getirileri hakkında ne düşünüyorsunuz?
5. İklim değişikliğine karşı hazırlıklı olmak adına ne tür veri toplama ve analiz sistemlerini kullanıyorsunuz?
6. Havalimanınızın kamuoyu ile iklim değişikliği iletişim stratejisi ve uygulaması nasıldır?

F. Altyapı, Bakım ve Onarım

1. Havalimanlarında mevcut altyapı ve teknolojik donanım ile iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik politikalarının uygulanması mümkün mü? Nasıl değerlendirirsiniz?
2. Havalimanı inşaat projelerinde iklim değişikliğini dikkate almak için ne gibi planlama stratejileri önerirsiniz?
3. İklim değişikliği ile mücadele kapsamında havalimanlarında yaşam alanlarının iyileştirilmesi (ısıtma, aydınlatma, taze hava sirkülasyonu) ile ilgili ne tür yeniliklerin yapılması gerekmektedir?

4. SAF yakıt tedariki, depolama ve ikmali ile ilgili yapılması gerekenler ve yapılanlar ne durumdadır? SAF kullanımında havalimanlarının rolünü nasıl değerlendiriyorsunuz?

5. Havalimanlarında atık yönetimi ile ilgili ne gibi yeniliklerin yapılması gerekmektedir?

6. Havalimanı sektörünün İklim değişikliğine dayanıklılığını artırmak için önerileriniz nelerdir?

G. Hizmet Kalitesi, Müşteri ve Çalışan Memnuniyeti

1. İklim değişikliği havalimanındaki hizmet kalitesini nasıl etkiliyor?

2. İklim değişikliği müşteri/kullanıcı memnuniyetini nasıl etkiliyor? Bu konuda çalışmanız var mı?

3. İklim değişikliği kaynaklı operasyonel zorluklar çalışan memnuniyetini nasıl etkiliyor? Çalışan memnuniyetini arttırmak amacıyla alınan önlemler nelerdir?

4. Artan sıcaklık, aşırı yağış gibi iklim faktörlerinin yolcu hizmetleri ve uçuş operasyonları üzerinde nasıl bir etkisi var?

*Konu ile ilgili eklemek istediğiniz başka bir husus var mı?

Teşekkürler.

EK-3 Etik Kurul Onayı

Evrak Kayıt Tarihi: 16.05.2024

Protokol No: 733697

Tarih: 28.05.2024



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL VE BEŞERÎ BİLİMLER BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ KURULU
KARAR BELGESİ

ÇALIŞMANIN TÜRÜ:	Yüksek Lisans Tez Çalışması
KONU:	Sosyal Bilimler
BAŞLIK:	İklim Değişikliğinin Havalimanı Maliyetlerine Etkisi
PROJE/TEZ YÜRÜTÜCÜSÜ:	Dr. Öğr. Üyesi Ergün KAYA
TEZ YAZARI:	Turgut DURSUN
ALT KOMİSYON GÖRÜŞÜ:	-
KARAR:	Olumlu

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Turgut DURSUN
Yabancı Dil : İngilizce (C düzeyi)

Eğitim Bilgileri

2011, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu, Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği

Mesleki Deneyimi

2016 - Günümüz, Memur, Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI), İşletme Şefliği - Mali İşler Şefliği - Pazarlama ve Ticaret Şefliği

2011 - 2016, Maliyet Kontrolörü, Corendon Havayolları, Bütçe Planlama Departmanı

Sanatsal Faaliyetleri (Sergi, Konser, Gösteri vb.)

2024, Türk Sanat Müziği Koro Gösterisi, Batman, Türkiye

2019, Türk Halk Müziği Koro Gösterisi, Batman, Türkiye

2019, Türk Halk Oyunları Gösterisi, Batman, Türkiye