



**COVID-19 PANDEMİSİNİN TÜRKİYE’DEKİ HAVALİMANLARININ
HAVA TRAFİĞİNE VE UÇAK EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Erdem ÖZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMASI ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2023

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Erdem ÖZ

06/07/2023

COVID-19 PANDEMİSİNİN TÜRKİYE’DEKİ HAVALİMANLARININ HAVA TRAFİĞİNE VE UÇAK EMİSYONLARINA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Erdem ÖZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2023

ÖZET

Hava yolu ulaşımını kullanan insan sayısı her geçen yıl artmasına rağmen savaşlar, ekonomik krizler ve salgın hastalık vb. olaylar havacılık sektörünü olumsuz etkilemektedir. Covid 19 pandemisi havacılığın gelişmesine darbe vuran son gelişme olmuştur. Havacılık sosyal ve ekonomik kazanımlar sağlarken çevre üzerinde zararlı etkiler de oluşturmaktadır. Uçak motoru kaynaklı CO₂, HC, CO, NO_x gibi zararlı gazlar sera etkisi yaratarak iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Tezin amacı, Türkiye’deki hava trafiğinin yaklaşık %70’ini oluşturan dokuz uluslararası havalimanının uçuş sayılarının ve iniş kalkış döngüsündeki (LTO) uçak emisyonlarının Covid 19 pandemisi etkisinde nasıl değiştiğini belirlemektir. Tezin, havacılık ve uçak emisyonlarının araştırma konusu olduğu literatüre Türkiye özelinde güncel istatistiklerle katkı sağlaması amaçlanmıştır. Tezde Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ)’nden alınan kapsamlı bir veri seti kullanılmıştır. Dokuz havalimanı için 2020 yılındaki toplam hava trafik sayıları 2019 yılına göre %48,72 azalmıştır. 2021 yılındaki toplam hava trafik sayıları 2019 yılına göre %23,94 azalış göstermiştir. 2019 yılı, üç yıl arasında Türkiye’deki hava trafiğinin en fazla olduğu yıl olmuştur. İstanbul Havalimanı üç yıllık süreçte en yoğun havalimanı olmuştur. B738-B739 tipi uçakların havalimanlarına en çok iniş kalkış gerçekleştiren ve en çok emisyonu neden olan uçaklar olduğu tespit edilmiştir. 2020 yılında 2019 yılına göre CO₂ emisyonu % 49,91 oranında, HC emisyonu % 47,78 oranında, NO_x emisyonu %50,72 oranında azalmıştır. 2021 yılında ise 2020 yılına göre CO₂ emisyonu % 32,55 oranında, HC emisyonu % 21,38 oranında, NO_x emisyonu %32,78 oranında artmıştır. En çok emisyon ve yakıt tüketimi 2019 yılında, en az ise 2020 yılında meydana gelmiştir. 2021 yılında hava trafik sayısı 2019 seviyesinin %80’ine yaklaşmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak havacılık sektörünün krizlere rağmen kısa sürede toparlanarak büyüme gücünü sürdürdüğü anlaşılmaktadır. Çalışmanın sonuç bölümünde sektörün çevreye verdiği zararı en aza indirmek üzere öneri ve görüşler sunulurken küresel sürdürülebilir havacılık hedefine katkı verilmiştir.

Bilim Kodu : 80211

Anahtar Kelimeler : Türkiye’deki uluslararası havalimanları, uçak emisyonları, havacılık emisyonları, bibliyometrik analiz, sera gazları, sürdürülebilir havacılık

Sayfa Adedi : 104

Danışman : Prof. Dr. Özge YALÇINER ERCOŞKUN

THE EFFECT OF COVID-19 PANDEMIC ON AIR TRAFFIC AND AIRCRAFT
EMISSIONS OF AIRPORTS IN TURKEY

(M. Sc. Thesis)

Erdem ÖZ

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2023

ABSTRACT

Although the number of people using air transportation increases every year, wars, economic crises and epidemics, etc. events adversely affect the aviation industry. The Covid 19 pandemic has been the latest event that has hit the development of aviation. While aviation provides social and economic gains, it also creates harmful effects on the environment. Harmful gases such as CO₂, HC, CO, NO_x originating from aircraft engines cause climate change by creating a greenhouse effect. The aim of the thesis is to determine how the flight numbers and aircraft emissions in the landing and take-off cycle (LTO) of nine international airports, which constitute approximately 70% of the air traffic in Turkey, have changed under the influence of the Covid 19 pandemic. It is aimed that the thesis will contribute to the literature on aviation and aircraft emissions with current statistics specific to Turkey. A comprehensive data set from the State Airports Authority (DHMI) was used in the thesis. Total air traffic numbers for nine airports in 2020 decreased by 48,72% compared to 2019. Total air traffic numbers in 2021 decreased by 23,94% compared to 2019 year. 2019 has been the year with the highest air traffic in Turkey among the three years. Istanbul Airport has been the busiest airport in three years. It has been determined that B738-B739 type aircraft are the ones that land and take off the most at airports and cause the most emissions. CO₂ emissions decreased by 49,91%, HC emissions by 47,78%, and NO_x emissions by 50,72% in 2020 compared to 2019. In 2021, CO₂ emissions increased by 32,55%, HC emissions by 21,38%, and NO_x emissions by 32,78% compared to 2020. The highest emissions and fuel consumption occurred in 2019 and the least in 2020. In 2021, air traffic numbers approached 80% of 2019 levels. Based on these results, it is understood that the aviation industry has recovered in a short time and maintained its growth power despite the crises. In the conclusion part of the study, suggestions and opinions were presented in order to minimize the damage caused by the sector to the environment, contributing to the global sustainable aviation target.

Science Code : 80211

Key Words : International Airports in Turkey, aircraft emission, aviation emissions, bibliometric analysis, greenhouse gases, sustainable aviation

Page Number : 104

Supervisor : Prof. Dr. Özge YALÇINER ERCOŞKUN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen, değerli fikirleri ile tezin tamamlanması için destek olan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Özge YALÇINER ERCOŞKUN'a, tezde kullanılan verilerin teminini sağlayan başta DHMİ olmak üzere Türk Hava Yolları ve Pegasus Hava Yolları'na, bu günlere gelmemde büyük emeği olan annem ve babama, aldığım kararlarda her zaman yanımda olan ve tecrübesini paylaşan abime, hayatın her döneminde olduğu gibi yüksek lisans eğitimi boyunca mutluluğuma ve yorgunluğuma ortak olan sevgili eşim Nevin ÖZ'e, enerjimi hep yüksek tutan tatlı kızlarım Elif ve Neşe'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. HAVACILIK VE ÇEVRE KİRLETİCİLERİ ÜZERİNE KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	7
2.1. İklim Değişikliğine Sebep Olan Havacılık Kaynaklı Emisyonlar	10
2.2. Havacılık Kaynaklı Emisyonlar Hakkında Bibliyometrik Analiz.....	13
3. ULUSAL VE ULUSLARARASI HAVACILIK KURULUŞLARI İLE ÇEVRECİ PROJELER	23
3.1. Ulusal Havacılık Kuruluşları ve Hava Yolu Şirketlerinin Çevreci Uygulamaları.....	23
3.1.1. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) çevreci projeleri.....	23
3.1.2. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) çevreci projeleri	25
3.2. Ulusal Hava Yolu Şirketleri ve Emisyon Azaltıcı Uygulamaları	27
3.2.1. Türk Hava Yolları'nın emisyon azaltıcı uygulamaları.....	28
3.2.2. Pegasus Hava Yolları'nın emisyon azaltıcı uygulamaları	30
3.3. Uluslararası Havacılık Kuruluşları ve Çevreci Uygulamaları	31
3.3.1. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ve CORSIA programı	31
3.3.2. EUROCONTROL teşkilatı ve Tek Avrupa Hava Sahası projesi.....	32
3.4. Saf, Slot Esnekliği ve Devletlerin Havacılıkta Emisyon Azaltıcı Adımları	33

	Sayfa
3.4.1. Sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF).....	34
3.4.2. Esnek slot uygulaması.....	34
3.4.3. Devletlerin hava yolu ulaşımındaki emisyon azaltıcı uygulamaları	35
4. TÜRKİYE’DEKİ DOKUZ ULUSLARARASI HAVALİMANININ UÇAK EMİSYONLARININ HESAPLANMASI.....	37
4.1. Çalışma Alanını Oluşturan Havalimanlarına Ait Bilgiler	37
4.2. İniş Kalkış Döngüsünde (LTO) Uçak Emisyonlarının Hesaplanması	41
4.2.1. ICAO havalimanı hava kalitesi kılavuzu (ICAO 9889).....	41
4.2.2. ICAO, LTO döngüsü tanımı	42
4.2.3. LTO döngüsü emisyon hesaplama yöntemi	43
5. HESAPLAMALAR SONUCUNDA ELDE EDİLEN BULGULAR.....	49
5.1. 2019, 2020 ve 2021 Yılı Hava Trafik ve LTO Sayıları	49
5.2. 2019, 2020 ve 2021 Yılı Hava Kirleticileri ve Yakıt Tüketimi	51
5.3. Havalimanlarında Gerçekleşen Emisyon ve Yakıt Tüketim Değerleri.....	54
5.3.1. Havalimanları CO ₂ emisyonu hesaplamaları	55
5.3.2. Havalimanları HC emisyonu hesaplamaları.....	56
5.3.3. Havalimanları NO _x emisyonu hesaplamaları	57
5.3.4. Havalimanları yakıt tüketim hesaplamaları	58
5.4. Uçak Tiplerine Göre Gerçekleşen Emisyon ve Yakıt Tüketim Değerleri	59
5.4.1. Uçak tipleri CO ₂ emisyon hesaplamaları	60
5.4.2. Uçak tipleri HC emisyon hesaplamaları	60
5.4.3. Uçak tipleri NO _x emisyon hesaplamaları	61
5.4.4. Uçak tipleri yakıt tüketim hesaplamaları	62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	73
EKLER.....	81

	Sayfa
EK-1. Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler	82
EK-2. SAF bilgi mailleri.....	98
EK-3. ICAO 9889 dökümanı LTO’da uçak umisyon faktörleri	101
EK-4. DHMİ 2019, 2020, 2021 Havalimanlarına Ait İniş Kalkış İstatistikleri Bilgi Mailleri	103
ÖZGEÇMİŞ	104

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Havalimanları genel ve teknik bilgileri	39
Çizelge 4.2. LTO safha süreleri	43
Çizelge 4.3. Tezde çalışılan uçak tiplerinin LTO emisyon faktörleri ve yakıt tüketim değerleri	45
Çizelge 4.4. 2019 yılında havalimanlarındaki LTO sayıları.....	45
Çizelge 4.5. 2020 yılında havalimanlarındaki LTO sayıları.....	46
Çizelge 4.6. 2021 yılında havalimanlarındaki LTO sayıları.....	47
Çizelge 5.1. Havalimanlarının üç yıllık bütün uçak tiplerine ait toplam iniş kalkış sayısı.	49
Çizelge 5.2. Emisyon hesaplaması yapılan uçakların üç yıla ait toplam iniş kalkış sayısı	51
Çizelge 5.3. Yıllara göre hava kirleticileri ve yakıt tüketim değerleri.....	51
Çizelge 5.4. Havalimanlarının üç yıl toplam hava kirleticileri ve yakıt tüketim miktarları.	55
Çizelge 5.5. Uçak tiplerine ait üç yıllık toplam kirletici ve yakıt tüketim miktarları	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tezin akış şeması.....	6
Şekil 2.1. VOSviewer programında uçak emisyonları alanında yazar analizi.....	14
Şekil 2.2. Uçak emisyonları alanında anahtar kelime analizi	15
Şekil 2.3. Uçak emisyonları alanında çalışma yapılan ülke analizi	16
Şekil 2.4. Havacılık kirleticileri alanında yazar analizi	17
Şekil 2.5. Havacılık kirleticileri alanında anahtar kelime analizi	18
Şekil 2.6. Havacılık kirleticileri alanında çalışma yapılan ülke analizi	18
Şekil 2.7. İniş kalkış döngüsü için yazar analizi	19
Şekil 2.8. İniş kalkış döngüsü için anahtar kelime analizi	20
Şekil 2.9. İniş kalkış döngüsü için ülke analizi.....	21
Şekil 3.1. Türkiye’deki sivil hava ulaşımına açık havalimanları.....	26
Şekil 3.2. Antalya Havalimanı gündüz gürültü haritası.....	27
Şekil 3.3. Boeing 737-9 Max yeni nesil düşük yakıt tüketimi ve daha az CO ₂ emisyonu üreten uçak modeli	33
Şekil 3.4. Boeing’in yakıt tasarrufu ve düşük emisyon sağlayan kanat ucu kıvrım tasarımı(winglet).....	33
Şekil 3.5. Airbus 321Neo düşük yakıt tüketimi ve daha az CO ₂ emisyonu üreten uçak modeli.....	29
Şekil 3.6. EUROCONTROL Avrupa ülkeleri 2019-2020 yılları CO ₂ emisyon değişimi.....	29
Şekil 3.7. EUROCONTROL Avrupa ülkeleri 2019-2021 yılları CO ₂ emisyon değişimi.....	30
Şekil 4.1. Tezin çalışma alanını oluşturan havalimanları	37
Şekil 4.2. ICAO referans LTO döngüsü	42
Şekil 5.1. 2019, 2020, 2021 yılları havalimanlarındaki LTO sayıları	50
Şekil 5.2. Üç yıla ait iniş kalkış sayılarının değişim yüzdeleri.....	50
Şekil 5.3. Yıllara göre CO ₂ emisyon miktarları.....	52

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Yıllara göre HC emisyon miktarları	52
Şekil 5.5. Yıllara göre NO _x emisyon miktarları	53
Şekil 5.6. Yıllara göre yakıt tüketim miktarları	53
Şekil 5.7. Hava kirleticileri ve yakıt tüketim miktarları yıllık değişim oranları.....	54
Şekil 5.8. Havalimanları CO ₂ emisyon yüzdeleri	56
Şekil 5.9. Havalimanları HC emisyon yüzdeleri	57
Şekil 5.10. Havalimanları NO _x emisyon yüzdeleri	58
Şekil 5.11. Havalimanları yakıt tüketim yüzdeleri	59
Şekil 5.12. Uçak tipleri CO ₂ emisyon yüzdeleri	60
Şekil 5.13. Uçak tipleri HC emisyon yüzdeleri	61
Şekil 5.14. Uçak tipleri NO _x emisyon yüzdeleri	62
Şekil 5.15. Uçak tipleri yakıt tüketim yüzdeleri	62
Şekil 5.16. Tez çalışmasında elde edilen bulgular	64
Şekil 6.1. Havacılık için emisyonları azaltacak öneriler.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

C	Karbon
CH₄	Metan
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
H	Hidrojen
H₂O	Su buharı
HC	Hidrokarbon
Kg	Kilogram
m²	Metrekare
N₂O	Azot dioksit
NO	Azot oksit
NO_x	Nitrit oksitler
SO_x	Kükürt oksitler

Kısaltmalar

Açıklamalar

ACA	Havalimanı Karbon Akreditasyonu
ACI	Uluslararası Havalimanları Konseyi
ATAG	Hava Taşımacılığı Eylem Grubu
CORSIA	Uluslararası Havacılık Karbon Ofset ve Azaltma
DHMI	Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
IATA	Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
ICAO	Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISO 4001	Çevre Yönetim Sistemi

Kısaltmalar**Açıklamalar****LEED**

Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik

LTO

İniş Kalkış Döngüsü

PM

Partikül Madde

SAF

Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı

SES

Tek Avrupa Hava Sahası

SHGM

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü

SHT-CORSIA

CORSIA Uygulama Talimatı

SHY-FUA

Hava Sahası Esnek Kullanım Yönetmeliği Şeması

THY

Türk Hava Yolları

TSE

Türk Standartları Enstitüsü

TÜBİTAK

Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu

USGBC

Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi

WOS

Web of Science

1. GİRİŞ

Hava yolu ulaşımı, emniyet, konfor ve daha kısa sürede gerçekleştirilebilen seyahat özellikleriyle diğer ulaşım türlerinden olumlu yönde ayrılmaktadır. 1900'lerin ilk yıllarında başlayan sivil havacılık faaliyetleri, İkinci Dünya Savaşı sonrası hız kazanmış, sivil hava taşımacılığında önemli ilerlemeler olmuştur. Son yıllarda yaşanan teknoloji ve altyapı alanındaki gelişmeler ile havalimanı, hava yolu şirketleri ve havacılığa hizmet veren personellerin artışı sayesinde insanlar, hava yolu ulaşımına daha kolay ve daha sık erişme imkanı bulmuştur [1].

Hava yolu şirketleri, 1955 yılında 51 milyon yolcu ve 900 bin ton kargo taşımıştır. 2004 yılında ise 1,8 milyar yolcu ve 40 milyon ton kargo taşınması gerçekleştirilmiştir [2]. 2017 yılı istatistiklerine bakıldığında 4,1 milyar yolcu ve 53,9 milyon metrik ton kargo taşındığı görülmektedir [3]. Havacılık sektörü, yolcu sayısı ve kargo miktarını ortaya koyan Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) raporlarından anlaşıldığı üzere hızlı bir büyüme gerçekleştirmiştir. IATA 2050 vizyon raporuna göre, 2050 yılında hava yolu seyahati gerçekleştirecek yolcu sayısının 16 milyar, taşınacak kargonun ise 400 milyon ton olması öngörülmüştür. Bu öngörü havacılık sektörünün gerçekleştirdiği büyüme ve gelişmenin 2050 yılına kadar devam edeceğini ortaya göstermektedir [4].

Havacılık sektörü büyürken dünya genelinde meydana gelen savaş, terör saldırıları, salgın hastalık ve ekonomik kriz vb. olaylar nedeniyle olumsuz etkilenmiştir. Örneğin; 1990 yılında başlayan Körfez Savaşı, 1997 yılı Asya Mali Krizi, 2003 yılı SARS Salgını küresel havacılık sektörünün taşıdığı yolcu sayılarında düşüşlere neden olmuştur [5]. Havacılık sektörü, son olarak 2019 yılında başlayan Covid 19 salgınından ciddi şekilde etkilenmiştir [6]. İlk olarak Çin'in Wuhan şehrinde ortaya çıkan ve zatürre sonucu ölümlere sebep olan hastalık, daha sonrasında Covid 19 olarak tanımlanmıştır. Solunum yoluyla bulaşan hastalık 11 Mart 2020'de DSÖ (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından pandemi olarak ilan edilmiştir [7].

Covid 19 pandemisi nedeniyle ülkeler arası uçuşlar kısıtlanmış ya da tamamen durdurulmuştur. Hava yolu şirketleri aldıkları kararlar doğrultusunda filosundaki uçaklarının bir bölümünü uçuşlardan çekmek zorunda kalmıştır. Büyük hava yolu

şirketlerinden Türk Hava Yolları (THY) geniş gövdeli uçaklarının büyük bölümünü uçuşlarda kullanmama kararı almıştır. Lufthansa 150'den fazla uçağını yere indirmiş ve tüm seferlerinin yarısını iptal etmiştir. İskandinav Hava Yolları ve Avusturya Hava Yolları tüm uçuşlarını iptal etmiştir [8].

Dünya genelinde hava yolunu kullanan yolcu sayılarında Covid 19 pandemisi nedeniyle ciddi düşüşler yaşanmıştır. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ekonomik etki analizi raporu, 2019 yılına göre küresel hava yolu yolcu sayılarının 2020 yılında % 60, 2021 yılında % 49, 2022 yılında ise yaklaşık % 29 oranında azaldığını göstermektedir [5]. Türk Sivil Havacılığı da Covid 19 salgınından olumsuz etkilenmiştir. Salgının Türkiye'de yayılmasını engellemek amacıyla 21 Mart 2020 tarihinde Türkiye ile 68 ülke arasında yapılan uluslararası uçuşlar iptal edilmiştir [9]. Bu iptal kararından kısa bir süre sonra 27 Mart 2020 tarihinde ise Türkiye'den yurt dışına yapılan tüm uçuşlar durdurulmuştur [10]. İç hat seferlerinde ise gerekli izinlerin alınması koşuluyla THY yalnızca 14 şehre uçuş gerçekleştirebilmiştir [11].

Türkiye'de hava yolu trafik sayısı 2020 yılında 2019 yılına göre % 45,15 ve 2021 yılında 2019 yılına göre % 22,6 oranında düşmüştür. Yolcu sayısı ise 2020 yılında 2019 yılına göre % 60,83 ve 2021 yılında 2019 yılına göre % 38,5 oranında azalmıştır. Yolcu sayılarında düşüş oranı uçak seferlerinin düşüş oranından fazla olmuştur [12]. Bu sonuç yapılan seferlerin daha az sayıda yolcu tarafından talep edildiğini göstermektedir.

Havacılık sektörü paydaşları salgının olumsuz etkilerini azaltmak ve uçuşları devam ettirebilmek için çeşitli düzenlemeler ve önlemler almışlardır. THY, kabin içinin, yolcu bekleme alanlarının ve yolcu taşıma için kullanılan araçların dezenfeksiyonunu sağlayarak bulaş riskini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Ayrıca uluslararası uçuşlarda yolculardan Covid 19 virüsü taşımadıklarını gösteren test sonuçlarının uçuş öncesi kontrolünü yapmıştır [13]. Pegasus Hava Yolları da benzer şekilde uçaklarda dezenfeksiyon işlemleri yapmıştır. Uçuş personellerinin düzenli ateş ölçümlerini gerçekleştirirken, yüksek verimli hava filtreleri ile uçak içindeki havanın zararlı toz ve organizmalardan temizlenmesini sağlamıştır [14].

DHMI, yetki alanındaki 53 havalimanına Covid 19 salgınına karşı önlemleri içeren sertifikaları kazandırmıştır [15]. Havalimanlarında hasta yolcuları tespit etmek için ateş

ölçüm sistemleri, hasta yolcu tespit edilmesi durumunda kullanılacak karantina odaları hizmete alınmıştır. Ortak kullanım alanlarında belirli aralıklarla temizlik işlemlerinin yapılması sağlanmıştır. Havalimanı çalışanlarına salgın hakkında bilgilendirici eğitimler verilmiştir. Böylece havalimanlarında yolcu sağlığı ve güvenliği sağlanarak hava ulaşımının aksamaması amaçlanmıştır [16].

Havacılık, insanlığa sosyal ve ekonomik katkı sağlarken çeşitli faaliyetleri sonucu çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Havalimanları ölçeğinde atık, gürültü, su ve hava kirliliği olumsuz etkiler olarak öne çıkmaktadır. Hava araçlarının özellikle uçakların yanma aktivitesi sonucu motorlarından çevreye yayılan gazlar ve partiküller hava kirliliğine sebep olmaktadır [17]. ICAO tarafından uçuşun iki safhasından biri olarak tanımlanan iniş kalkış döngüsünde (LTO) havalimanı ve çevresini etkileyen uçak motorları kaynaklı CO₂, NO_x, HC, CO gibi gaz emisyonları hesaplanabilmektedir [18]. Dünya genelinde LTO aşamasındaki uçak emisyonlarını ve havalimanlarının çevreye olumsuz etkilerini araştıran çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalara literatür bölümünde yer verilmiştir.

Tezin önemi

Artan nüfusla beraber ulaşım olan ihtiyaç ve talep artmaktadır. Ulaşım sistemlerinin önemli enerji kaynağı fosil yakıtların kullanımı sera gazı etkisine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Havacılık sektörünün küresel ısınma içindeki payı %4,9'dur. Ayrıca sektör küresel ısınmaya neden olan en önemli etken CO₂ emisyonunun %2,1'ini meydana getirmiştir [19]. Bu yüzden havacılık sektörünün, özellikle uçakların havalimanı bölgesinde meydana getirdikleri emisyonların miktarının belirlenmesi sorunun çözümü için atılacak adımlara katkı sağlayacaktır.

Tezin araştırma soruları

- Uçaklardan kaynaklı emisyonlar havalimanı bölgesinde nasıl hesaplanabilir? Hesaplama için gerekli veri tabanı nasıl kurulabilir?
- Covid-19 pandemisinin Türkiye'deki uluslararası havalimanlarının hava trafiğine ve uçak emisyonlarına etkisi nasıl gerçekleşmiştir?
- Havacılık emisyonlarını azaltmak için yapılması gerekenler nelerdir?

Tezin amacı

Tez çalışmasının amaçları şunlardır:

- Covid 19 pandemisinin Türkiye'deki dokuz büyük havalimanının uçuş trafiğini nasıl etkilediğini tespit etmek, pandeminin yoğun olarak hava ulaşımını etkilediği 2019, 2020 ve 2021 yıllarında hava trafik istatistiklerinin havalimanı ve uçak tipleri açısından değişimini ortaya koymak, Havalimanlarına en çok uçuş gerçekleştiren uçak tiplerini belirlemek,
- Uçakların, küresel ısınmaya en çok etki eden CO₂ olmak üzere HC, NO_x emisyonlarını üç yıllık periyotta hangi miktarda ürettiğini ve uçak tipine göre yakıt tüketim değerlerini hesaplamak, uçak tiplerine göre emisyon değerleri ve yakıt tüketimi en çok ve en az olan uçakları belirlemektir.

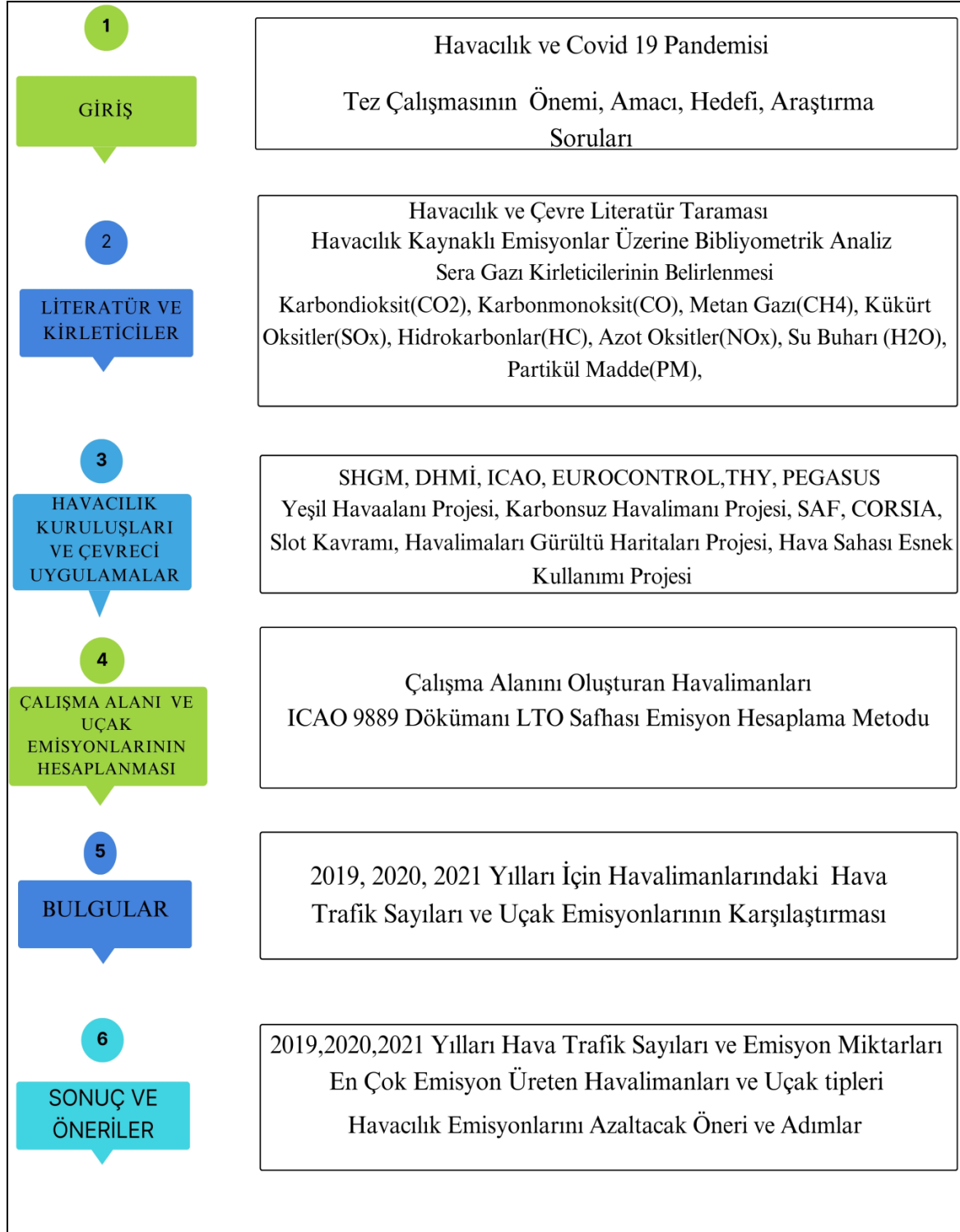
Tezin özgün değeri

Türkiye'deki havalimanları için LTO safhasında emisyonların hesaplandığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar bir havalimanı ya da birkaç havalimanı için genellikle bir yıllık süreçte emisyonların araştırılması şeklinde yapılmıştır. Bu tez çalışması, Türkiye'deki hava trafiğinin yaklaşık %70'ini oluşturan dokuz havalimanının hava trafik verilerini uçak tiplerine göre sınıflandırmış ve uçak emisyonlarını üç yıllık dönemde kapsamlı bir şekilde hesaplamıştır. Tez ek olarak 2018 yılında faaliyete geçen İstanbul Havalimanı'nın hava trafik verileri ve emisyon değerleri hakkında bilgi vermektedir. Covid 19 pandemisinin hava ulaşımına etkileri Dünya genelinde araştırma konusu olmuştur. Bu tez çalışmasının da yapılan çalışmalara Türkiye kaynaklı fayda sağlaması amaçlanmıştır. Ayrıca elde edilen bulgulardan hareketle havacılık emisyonlarını azaltacak güncel düzenlemeler, projeler, uygulamalar sunularak sürdürülebilir havacılık için katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Tezin akışı

Tez çalışmasında Türkiye'deki hava trafiğinin yaklaşık %70'ini oluşturan dokuz havalimanı kullanılmıştır [20]. Covid 19 pandemi sürecini kapsayan 2019, 2020, 2021 yılları boyunca bu dokuz havalimanının uçuş sayılarındaki ve uçak emisyonlarındaki

değişim araştırılmıştır. Tezin akış şeması Şekil 1.1.'de görülmektedir. Çalışmada kullanılan iniş kalkış istatistikleri DHMİ'den e-mail aracılığıyla alınmıştır. Tezin ikinci bölümünde havacılık kaynaklı emisyonlara dair bir bibliyometrik analiz içeren literatür araştırması ile uçakların sebep olduğu kirleticilerin özellikleriyle beraber çevre ve insan sağlığına etkileri bulunmaktadır. Üçüncü bölümde havacılık alanında hizmet veren kuruluşlar tanıtılarak yaptıkları çevreci uygulama ve projeler belirtilmiştir. Dördüncü bölümde hesaplama yapılan havalimanlarının fiziki şartları, uçuş ve yolcu sayıları ile tezde kullanılan emisyon hesaplama metodu üzerinde durulmuştur. Beşinci bölümde araştırma kapsamında yapılan emisyon hesaplamaları ile havalimanları, kirletici türleri, uçak tiplerini içeren bulgular üç yıl için karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde araştırma soruları için verilen yanıtlar ve elde edilen bulgular doğrultusunda havacılığın neden olduğu çevre kirliliğini azaltacak adımlar ve öneriler sunulmuştur.



Şekil 1.1. Tezin akış şeması

2. HAVACILIK VE ÇEVRE KİRLETİCİLERİ ÜZERİNE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Literatür araştırması havacılık kaynaklı kirleticilerin etkilerinin Dünya genelinde sıklıkla araştırıldığı sonucunu göstermektedir. Çalışmalar, uçaklar kaynaklı emisyonlar ve havalimanı kaynaklı kirliliğin insan sağlığı ve çevre üzerindeki zararlarını belirlemeye ve bu zararlardan korunmaya dair çözümlere yönelik olmuştur. Bu amaçla kirleticilerin türlerinin ne olduğu ve havacılık faaliyetleri sonucu ne kadarlık bir kirletici miktarının meydana geldiği soruları, geliştirilen kirletici hesaplama ve ölçme yöntemleri ile yanıt bulmuştur.

Havacılıkta taksi, hava araçlarının havalimanı yer yüzeyinde yaptığı hareketlerdir. İniş yapan bir uçağın park pozisyonuna ilerlemesi ya da kalkış yapacak bir uçağın pist başına ilerlemesi bir taksi işlemidir [76]. Amerika’da Dallas Fort Worth Havalimanı için yapılan bir araştırma gerçek veriler kullanılarak taksi operasyonları esnasında tüketilen yakıt ve meydana gelen emisyonlar hakkında detaylı bilgiler sunmaktadır. Araştırma için 2008 yılı ekim ve kasım ayının hafta içindeki birer günü seçilerek iniş ve kalkış yapan trafiklerin emisyon değerleri incelenmiştir. Kalkış trafiklerinin iniş trafiklerinden daha fazla emisyon ürettiğini ve bunun sebebinin uçakların kalkış için sıralarını beklerken durmak zorunda kalmalarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Havalimanı uçak taksi sistemindeki trafik tıkanıklığının yakıt tüketiminin yaklaşık %18’ini oluşturduğu ortaya konmuştur [21].

Kayseri Havalimanı için yapılan bir çalışmada yolcu uçaklarının 2010 yılında meydana getirdiği HC, NO_x, CO kirletici miktarları hesaplanmıştır. LTO safhası için yapılan hesaplamada DHMİ hava trafik verileri ve ICAO emisyon veri tabanı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda taksi süresindeki 2 dakikalık bir azalmanın LTO döngüsündeki emisyonlarda %4’lük bir düşüş sağladığı belirtilmiştir [22].

Brezilya için yapılan bir emisyon araştırmasında Covid 19 pandemisinin Brezilya’da hava yolu yolcu talebi ve CO₂ emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Oluşturulan bir model ile Covid 19 pandemisinin gerçekleşmeme durumu ile mevcut durum karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada yolcu sayısının %68, CO₂ emisyonunun ise %63 azaldığı belirtilmiştir. Azalan hava trafiğiyle beraber 4 milyon metrik ton daha az CO₂ emisyonu gerçekleşmiştir [23].

LTO aşamasında uçak kaynaklı emisyonlar İzmir Adnan Menderes Havalimanı için 2004 yılı uçak verileriyle hesaplanmıştır. Hesaplama için diğer çalışmalara benzer şekilde DHMİ iniş kalkış istatistikleri ve ICAO uçak emisyon veri tabanı kullanılmıştır. LTO döngüsünün safhaları olan taksi, tırmanış, alçalış, kalkış aşamalarındaki uçak motoru emisyonlarından HC, NO_x ve CO miktarları belirlenmiştir. B738 uçak tipinin toplam emisyonunun en büyük kısmını oluşturduğu tespit edilmiştir [24].

İngiltere’de yapılan bir çalışmada, havalimanı merkezi ve havalimanı çevresindeki hava kalitesini etkileyen tek faktörün uçak motor emisyonları olmadığı, bunun yanı sıra yer hizmetlerinde görevli araçların, havalimanı ısıtma sistemlerinin, havalimanına ulaşım araçlarının, yolculara hizmet veren havalimanı tesislerinin de hava kalitesi üzerinde olumsuz etkililerinin bulunduğu vurgulanmıştır. Çalışmada uçak motorunda yanma olayı sonucu oluşan maddelerin insan ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri belirtilmiştir. LTO döngüsünde meydana gelen emisyonların hava kalitesi üzerindeki etkileri ortaya konmuştur [25].

Havalimanlarının yapımında yer seçiminin ve yapım yönteminin çevre üzerinde çeşitli etkileri bulunmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalardan birinde dolgu zemin kullanılarak yapılan Ordu-Giresun Havalimanı ile Hong Kong Havalimanı hava kirliliği, su kirliliği ve deniz ekolojisine etkileri bakımından karşılaştırılmıştır [26]. Diğer bir çalışmada ise Artvin-Rize Havalimanı’nın yapım aşamasında ve faaliyete başladıktan sonra çevre üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dolgu havalimanı yapımının çevreye vereceği zararı önlemek için öneriler sunulmuştur [27].

Hafif yapıda kompozit materyaller kullanılarak üretilen uçaklar yakıt tüketimini ve sera gazı emisyonlarını düşürmektedir. Hafif yapılu uçakların emisyonlara etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, havacılık sektörünün CO₂ emisyonunları azaltma hedefi doğrultusunda kompozit malzemelerle üretilen uçak filolarına geçişle beraber emisyonların %20-%25 oranında düşürebileceği hesaplanmıştır. Yine bu tip uçakların daha düşük operasyonel maliyetlerinin olması hava yolu şirketleri için avantaj olacağı belirtilmiştir [28].

Amsterdam Schiphol Havalimanı’nda yapılan bir çalışmada havalimanının insan sağlığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Uçakların meydana getirdiği kirliliğinin yüksek tansiyon, uyku rahatsızlığı, kalp hastalığı ve koku rahatsızlıklarına sebep olduğu belirlenmiştir.

Yapılan anket araştırmalarında Schiphol Havalimanı bölgesinde ortaya çıkan hastalık şikayetleri ile Hollanda toplumu genelindeki hastalık şikayetleri karşılaştırılmıştır [29].

İstanbul Atatürk Havalimanı'nda yapılan bir çalışmada LTO dsndeki emisyonların miktarları hesaplanmış ve bu emisyonların rüzgar etkisiyle havalimanı bölgesinde ne şekilde dağıldığı gösterilmiştir. Ayrıca Atatürk Havalimanı'nda bir yılda meydana gelen emisyonların çevreye verdiğı zararın parasal olarak karşılığının 9 milyon euro üzerinde olduğı belirlenmiştir [30].

Uçak emisyonu üzerine yapılan bir çalışmada B738 uçak tipinin Türkiye'deki iki iç hat uçuş rotasındaki (Antalya-Sabiha Gökçen, Adnan Menderes-Sabiha Gökçen) 10 uçuşunda meydana getirdiğı NO_x emisyonu hesaplanmıştır. Hesaplamada gerçek uçuş verileri kullanılmıştır. Kalkış ve tırmanışta gerçekleşen ortalama NO_x miktarları Antalya-Sabiha Gökçen hattı için 27 kg ve Adnan Menderes-Sabiha Gökçen hattı için 24,8 kg olarak bulunmuştur [31].

Havacılığın evreye olan etkisi Türkiye'nin en büyük hava yolu şirketi THY özelinde 2018 yılı hava trafik verileri kullanarak araştırılmıştır. Uçak emisyonlarının çevreye salınan miktarının ve çevreye verdiğı zararın maliyetinin hesaplanması araştırmanın iki yaklaşım şekli olmuştur. Bulgular doğırtusunda THY filosundaki yeni uçakların daha az emisyonu sebep olduğı vurgulanmıştır [32].

Uçak motor emisyonlarını en uygun seviyede tutacak uçak motoru seçimi için metodoloji geliştiren bir çalışmada ticari uçaklarda yaygın olarak kullanılan 5 farklı motor tipine odaklanılmıştır. Çalışma sonunda her bir emisyon türünü en düşük seviyede gerçekleştirebilecek bir uçak motoruna ulaşılmasının imkansız olduğı kanısına varılmıştır. Bu sebeple motor emisyonları mümkün olabilecek en iyi seviyelere getirmenin daha iyi olacağı belirtilmiştir [33].

Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmada ticari uçak modeli olan Boeing 757'nin yer operasyonları sırasında motor emisyonları incelenmiştir. Rolls Royce uçak motorunun on metre arkasında havadaki kirleticilerden örnekler toplanmıştır. Sonuç olarak hidrokarbon kirleticilerin motorun rölanti çalışma durumunda daha fazla, motorun yüksek çalışma gücünde daha az meydana geldiğı belirtilmiştir [34].

Sürdürülebilir havacılık yakıtlarının meydana getirdiği emisyonların incelendiği bir araştırmada Airbus 320 tipi uçak motorunda üç farklı SAF karışımı yakıt kullanılmıştır. SAF yakıtında bulunan hidrojen miktarı arttıkça partikül madde emisyonlarının düştüğü gözlemlenmiştir. Motorun düşük güç çalışma durumunda SAF'ın, referans alınan kerosen yakıta göre %70 oranında daha az uçucu olmayan parçacık meydana getirdiği tespit edilmiştir. Hava kalitesinin en iyi olabilmesi için SAF'ın seçimi sırasında içeriğindeki karışımın olabildiğince az yapıda kompleks olması gerektiği belirtilmiştir [35].

2000 ve 2018 yılları arasında havacılık ve iklim değişikliği ilişkisinin incelendiği bir çalışmada havacılık kaynaklı emisyonlardan CO₂, NO_x, su buharı, iz bulutları ve diğer kirleticilerin küresel ısınmaya ne ölçüde etki ettiği belirlenmiştir. Havacılığın hem CO₂ hem de CO₂ olmayan kirleticilerle yeryüzünün ısınmasına neden olduğu vurgulanmıştır. [36]. Öz ve Ercoşkun Covid 19 pandemisinin Esenboğa Havalimanı hava trafik sayılarına ve uçak emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Esenboğa Havalimanı'nda gerçekleşen toplam uçuş sayısının 2020 yılında 2019 yılına göre %49,2 azaldığını ortaya koymuşlardır. Pandemi süresince genel olarak düşüş görülen hava trafik sayılarına rağmen helikopter ve iş jetlerinin gerçekleştirdikleri hava trafiğinde artış olduğunu tespit etmişlerdir [37].

2.1. İklim Değişikliğine Sebep Olan Havacılık Kaynaklı Emisyonlar

Ulaşım sektörü iklim değişikliğine neden olan en önemli etkenlerden biri olarak görülmektedir. Sektör, Dünya genelinde ihtiyaç duyduğu enerjinin %95'ini motorlu araçlardaki fosil yakıt kullanımı ile karşılamaktadır [38]. Motorlu taşıtlarda fosil yakıtların yanması sonucu çevreye zarar veren CO₂, HC, NO_x gibi gaz ve partiküller oluşur. Meydana gelen bu emisyonlar, yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının atmosferde tutulumuna sebep olarak sıcaklık artışıyla beraber iklim değişikliğine yol açmaktadır [39].

Havacılık sektöründe uçaklar ve havalimanı operasyon sahasında kullanılan motorlu araçlar da çevre ve insan sağlığı için çeşitli zararlı emisyonlar üretmektedirler. Uçak motorlarında yanma olayının gerçekleşmesi için enerji kaynağı olarak büyük oranda jet yakıtı ve piston motorlu küçük uçakların kullandığı avgas yakıtı(havacılıkta kullanılan yakıtın %1'nden azı) kullanılmaktadır [40]. Uçak motorunda yanma olayı kaynaklı emisyonlar; karbondioksit (CO₂), hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), su buharı (H₂O), karbonmonoksit (CO), metan olmayan hidrokarbonlar ile diğer

gaz ve partiküllerden meydana gelmektedir [41]. Uçaklar kaynaklı emisyonların neler olduğu, çevreye ve insan sağlığına ne kadar zarar verdiğinin belirlenmesi büyük öneme sahiptir.

İnsan kaynaklı aktivitelerden fosil yakıt tüketimi, orman alanlarının azalması, çimento üretimi benzeri süreçler başlıca CO₂ oluşturan kaynaklardır. CO₂ hem uçak motoru kaynaklı emisyonlarda hem de toplam sera gazları içinde en büyük paya sahiptir. Uçak motoru kaynaklı emisyonların %70'in üzerindeki kısmı CO₂'den oluşmaktadır. CO₂'nin emisyonlar içindeki rolünü bir örnekle açıklamak gerekirse; Amerika Birleşik Devletleri'nde 2015 yılı toplam sera gazı emisyonları içindeki CO₂ payı %88,2'dir. Ulaşımın CO₂ emisyonu içindeki payı %34,5 iken, uçaklar, ulaşımdaki CO₂ emisyonunun %9,1'ini meydana getirmiştir [40-42]. Uçakların meydana getirdiği CO₂ emisyonu, 1992 yılında tüm ulaşım türleri içinde %13 ve insan kaynaklı tüm CO₂ emisyonu içinde %2'lik payı oluşturmuştur. Uçakların 2050 yılında insan kaynaklı tüm CO₂ emisyonunun %3'ünü oluşturacağı öngörülmüştür. CO₂ gazı atmosferde 100 yıllık bir süre boyunca kalabilmektedir. Diğer sera gazlarına göre miktarı ciddi şekilde artan CO₂'nin Atmosferdeki yoğunluğu 1992 yılı seviyesine göre %30 artış göstermiştir. Bu artışta fosil yakıt kullanımının, insan aktivitelerinin ve tarım faaliyetlerinin artışının rolü büyüktür [43].

Karbonmonoksit (CO) karbon yapılı yakıtların tam yanmaması sonucunda ortaya çıkan rengi, kokusu ve tadı olmayan bir gazdır. CO'nun atmosferdeki varlığı kısa süreli olup çeşitli süreçler sonucunda CO₂'ye dönüşmektedir [42]. CO gazının kapalı mekanlardaki varlığı süratli bir şekilde artabilir. CO gazı kanın oksijen taşımamasını engelleyici özellik göstermektedir. Zehirli etkisi olan gaza maruz kalanlarda baş dönmesi, bulantı ve kusma belirtileri görülmektedir. CO zehirlenmesi yaşayanlarda sinir sistemi, solunum sistemi, kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları ortaya çıkmaktadır. Havacılık kaynaklı meydana gelen CO, uçuş personelleri, havalimanı çalışanları ve havalimanı çevresindeki insanların sağlığı için tehdit oluşturmaktadır [44].

Su buharı (H₂O), uçak motoru emisyonlarında CO₂'den sonra yaklaşık %30'luk bir payla ikinci sıradadır [40]. Su buharı doğal yollarla sera etkisine neden olan en önemli kaynaktır. Çoğu uçağın ürettiği su buharı emisyonu troposfere salınır ve bir ya da iki hafta içinde yağışa dönüşür. Yüksek irtifalarda uçaklar arkalarında motorlar kaynaklı su buharının

oluşturduğu izler (contrails) bırakırlar. Artan hava trafik sayılarının troposferdeki izlerin hızlı artışına neden olacağı beklenmektedir. İzlerin 2050 yılında yeryüzünün %0,5'ini kaplayacağı varsayılmıştır. Bu izler kalıcı oldukları halde cirrus bulutları şeklinde de görülebilirler. Cirrus bulutları yeryüzünün %30'unu kaplamaktadır [43]. Bu iz bulutlarının özellikleri, ne kadar süre atmosferdeki kaldıkları ve artışlarına neden olan süreç net olmasa yeryüzünün ısı artışına etki ederek iklim değişikliğine sebep oldukları bilinmektedir [45].

Azot oksitler (NO_x), fosil yakıtların yanması, yıldırımlar, topraktaki bakterilerin üretimi sonucu meydana gelmektedir. Azot oksit (NO) ve azotdioksit (NO_2) gibi türevleri olan iklim değişikliğine etkileri dolaylı şekilde gerçekleşen bir emisyon türüdür. NO_x troposferde ozon oluşumunu gerçekleştirerek ısı artışına neden olurken, stratosfer katmanında ozonu parçalayarak soğuma etkisi göstermektedir. Ayrıca metan (CH_4) gazının azalması yönünde etki göstererek ısı artışının önüne geçebilmektedir. NO_x solunum sistemini olumsuz etkileyerek bronşite ve diğer solunum sistemi hastalıklarına yatkınlığı artırmaktadır [42-43].

Kükürtoksitler (SO_x), atmosferde genellikle kükürtdioksit (SO_2) şeklinde bulunmaktadır. Yakıtların yanması sonucu meydana gelirler. Elektrik enerjisi üretimi için kömür kullanımı başlıca SO_2 oluşturan kaynaktır. Havacılık nedeniyle atmosfere yayılan kükürt yapıları bileşikler sıcaklığı düşürücü etki göstermektedir [46]. SO_x 'ler zehirli gazlar olup suyla tepkimeye girdiklerinde sülfirik asit meydana gelerek asit yağmurlarına neden olmaktadır. Solunması halinde baş ağrısı yapan bu gazı yüksek miktarda maruz kalınması sonucu akciğerlerde hasar meydana gelmektedir [50]. Uçakların meydana getirdiği SO_x ve NO_x emisyonları erken ölüme neden olmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre bu iki emisyon türü nedeniyle yılda 26 bin erken ölüm yaşanmaktadır [47].

Hidrokarbonlar (HC), yapısında sadece karbon (C) ve hidrojen (H) bulunan maddelerdir. Hidrokarbonlar kompleks gazlar ve aerosollerle etkileşime girerek ozon, metan gibi gazların oluşum süreçlerinde rol oynayarak sera etkisine neden olurlar [48]. HC emisyonları en yüksek seviyelere uçak motoruna havanın düşük sıcaklık ve basınçta girdiği rölanti çalışma durumunda çıkmaktadır [49]. Metan (CH_4), en önemli hidrokarbonlardan biridir. CH_4 , hayvanların fermentasyon yapması, kentsel atıkların çürümesi, petrol ve gaz üretimi ve taşınması, fosil yakıtların tam yanmaması ile meydana gelmektedir. Metanın atmosferdeki reaksiyonları sonucu iklim değişikliğine neden olan su buharı ve ozon

meydana gelmektedir [42]. Hidrokarbonların kanserojen özellikleri insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır [50].

Partikül madde (PM), katı ya da sıvı formdaki bir süre havada asılı kalan küçük parçacıklardır. Parçacıkların boyutları ve kimyasal yapıları bu parçacıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerini tanımlar. Uçak motoru kaynaklı oluşan partikül maddeler yanma olayı sonucu direkt olarak atmosfere yayılır. Atmosferin üst katmanlarında asılı kalan partikül maddeler iz bulutlarının (cirrus cloud) oluşumunu ilerleterek doğal iklim dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Havalimanı bölgesinde oluşan partikül maddeler insan vücuduna solunum yoluyla girerek astım, kalp damar hastalıkları ve kansere neden olmaktadır [50].

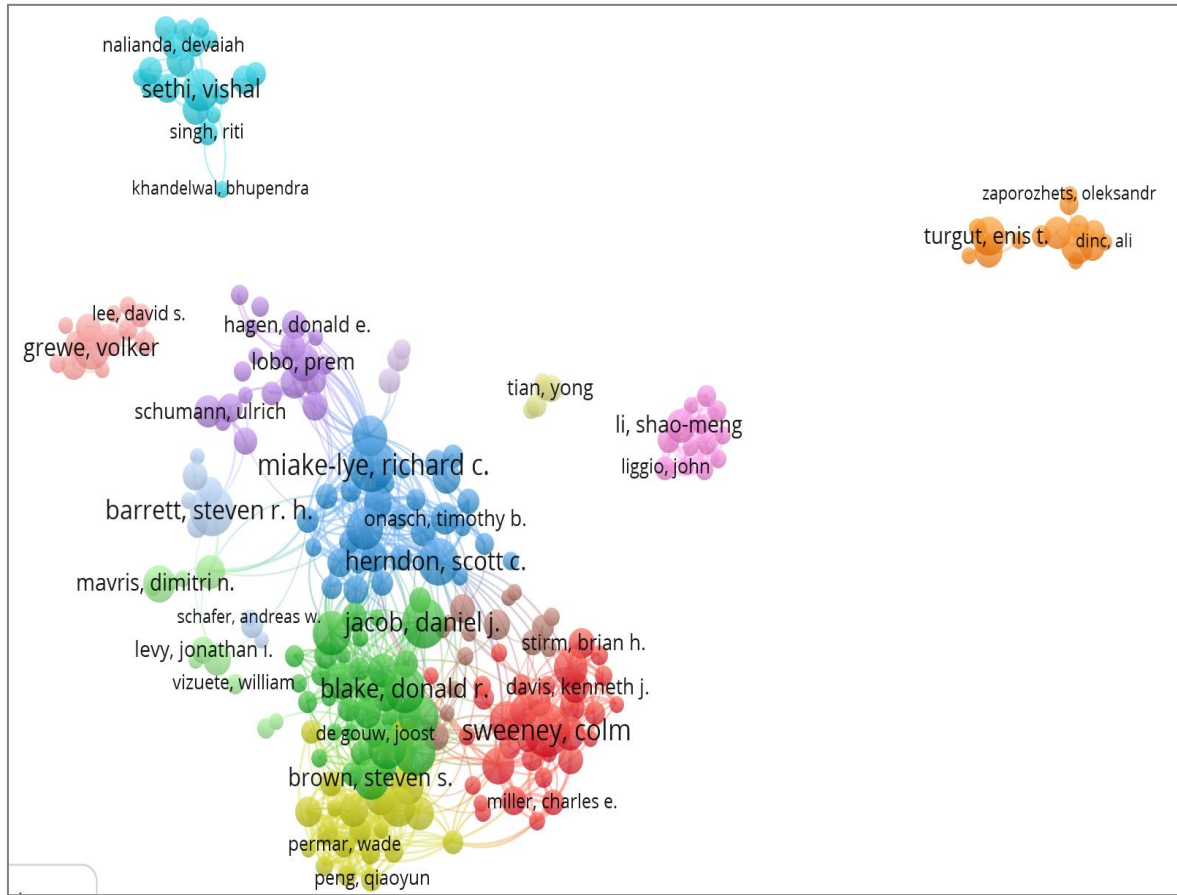
2.2. Havacılık Kaynaklı Emisyonlar Hakkında Bibliyometrik Analiz

Bibliyometrik analiz, bir konu hakkında yapılan yayınların sahibi kişi ve kurumların kimler olduğu, bu çalışmaları nerede gerçekleştirdikleri hakkında bilgi veren ve üretilen yayınların birbirleriyle olan bağlantılarını sayısal şekilde ortaya koyan analiz yöntemidir. Web of Science (WOS) ise çeşitli branşlarda yayın yapan dergiler, makaleler ile yapılan çalışmaların yazarlarını, aldıkları atıfları, kaynakçalarını barındıran bir veri tabanıdır [96]. Tez çalışması için havacılık kaynaklı emisyonlarla ilişkili verilere, WOS veri tabanında 26.02.2023 tarihinde yapılan çeşitli aramalarla ulaşılmış daha sonrasında VOSviewer programı üzerinde elde edilen veriler görselleştirilmiştir.

Uçaklar kaynaklı emisyonları konu alan araştırmalar WOS veri tabanında ‘‘aircraft emission’’ uçak emisyonu olarak aratılmış 7305 adet çalışma görüntülenmiştir. Uçak emisyonları alanındaki ilk çalışma 1980 yılına ait olup 2000 yılına kadar 881 adet çalışma yapılmıştır. 2000 yılından günümüze kadar yapılan 6424 çalışmanın 2000’den fazlası son beş yılda gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda çalışmalarda görülen artış uçak emisyonları alanına ilginin arttığını göstermektedir. WOS üzerinden elde edilen veriler VOSviewer programına yüklenerek uçak emisyonları alanında çalışma yapan yazarlar, alıntılarla ilişkili anahtar kelimeler ve çalışma yapılan ülkeler hakkında görsel analizler yapılmıştır.

VOSviewer programında eş yazarlık analizi ve analiz birimi yazarlık seçimi sonrasında en az beş araştırma dökümanı ve en az beş atıf alan 243 çalışma 14 kümede görüntülenmiştir.

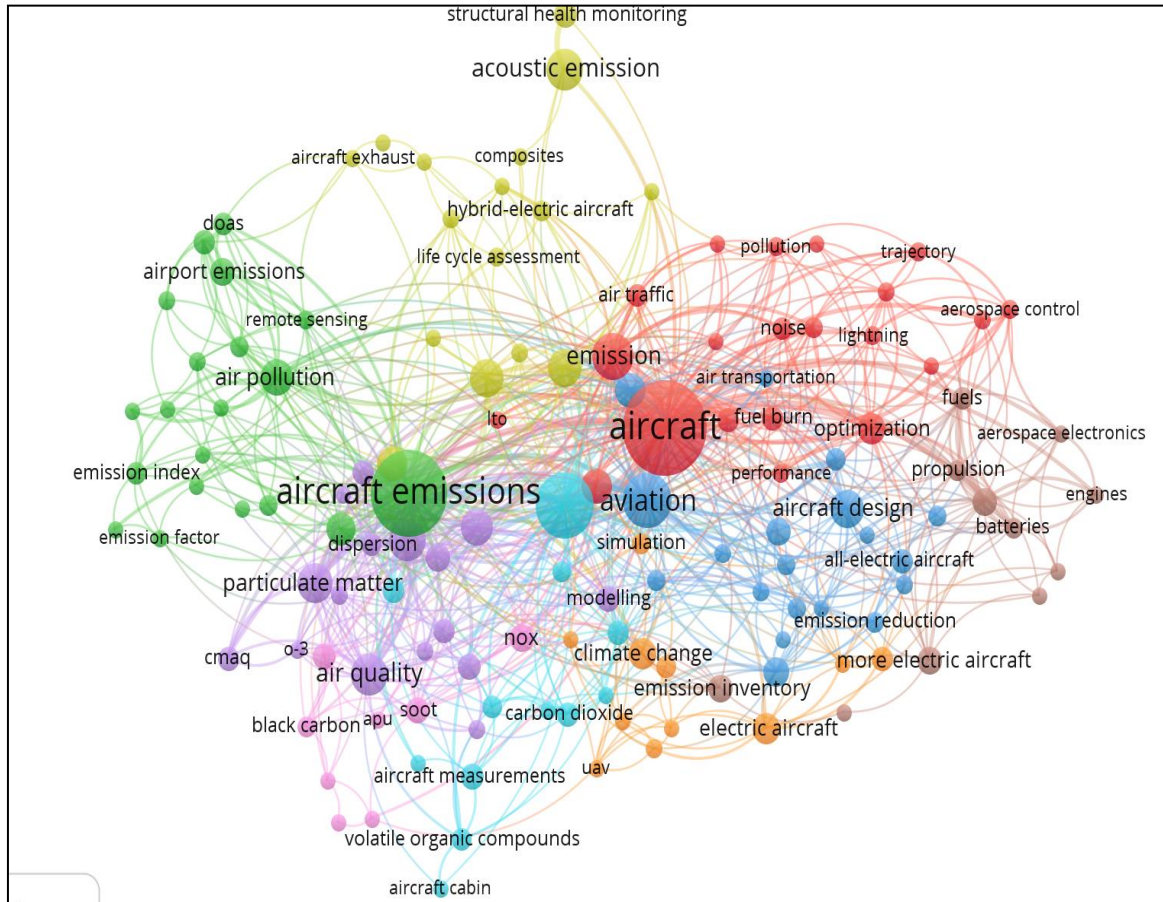
Bu analiz Şekil 2.1.'de gösterilmiştir. En çok makale üreten yazarlar Donald R. Blake 55, Glen W. Sachse 51, Colm Sweeney 47 olarak sıralanmıştır. Kırmızı kümede Sweeney Colm'un kümenin odak noktasında olduğu ve diğer yazarlarla 39 bağlantısı olduğu görülmüştür. Bu kümede Sweeney ile beraber Shepson, Wofsy ve Kort diğer yazarlarla yüksek bağlantı sayısına sahiptir. Yeşil kümede Blake, Jacob, Peischl adlı yazarların bulunduğu ve kümedeki diğer yazarlar ile sırasıyla 47, 43, 56 bağlantı sayısına sahip oldukları anlaşılmaktadır. En yoğun kümelerden biri olan mavi küme Miake-Lye, Herndon ve Anderson, Timko adlı yazarlardan oluşmaktadır.



Şekil 2.1. VOSviewer programında uçak emisyonları alanında yazar analizi

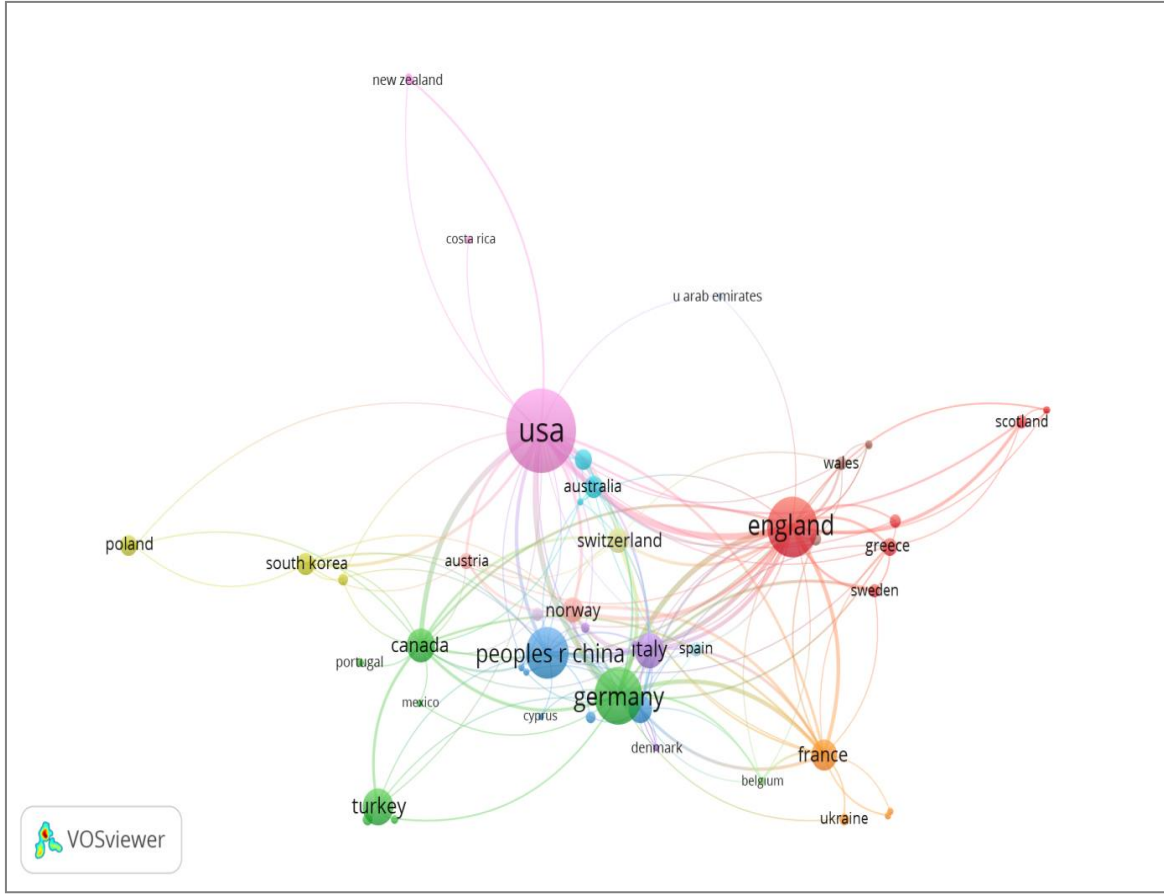
VOSviewer programında uçak emisyonları alanı için yapılan anahtar kelime analizinde elde edilen görsel Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Programda analiz türü olarak ortak bulunma seçimi ile analiz birimi olarak anahtar kelime seçilmiştir. Yapılan analizde 9 farklı kümede 134 kavramın olduğu anlaşılmıştır. Çalışmalarda en çok kullanılan anahtar kelimelerden uçak, "aircraft" kelimesi 111, uçak emisyonları "aircraft emissions" 92, emisyonlar "emissions" 53, havacılık "aviation" 39 kez kullanılmıştır. Oluşan en yoğun dört kümeye

bakıldığında kırmızı kümenin uçak ve emisyon kavramları odağında kirlilik, hava trafiği, hava taşımacılığı, LTO, atmosfer gibi kavramları içerdiği görülmektedir. Yeşil kümenin uçak emisyonları, hava kirliliği, uçak motoru, havalimanı hava kalitesi, havalimanı emisyonları, emisyon faktörü kavramlarından oluşmuştur. Koyu mavi küme, hava taşımacılığı, uçak tasarımı, CO₂ emisyonları, sürdürülebilirlik, enerji ve çevre kavramlarından oluşmuştur. Sarı küme ise yakıt tüketimi, biyo yakıtlar, küresel ısınma, jet motoru ve kirleticiler kavramlarından oluşmuştur.



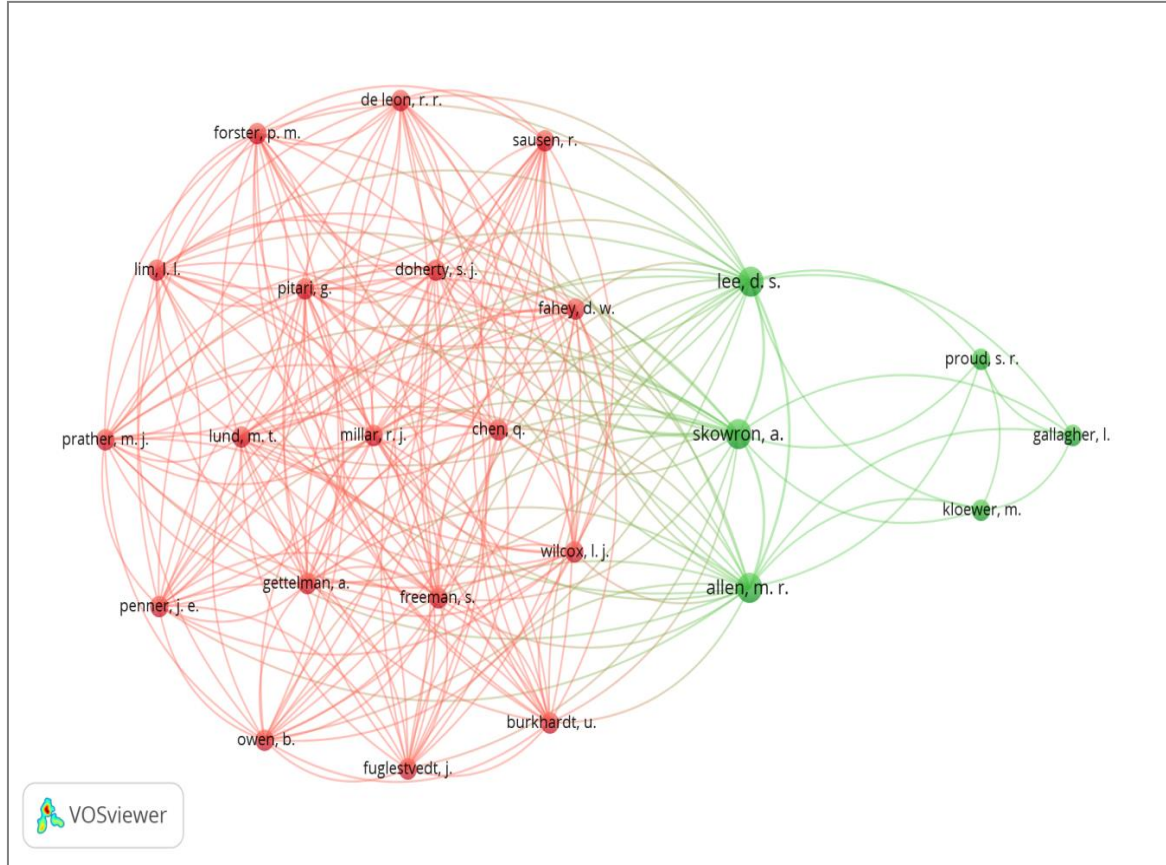
Şekil 2.2. Uçak emisyonları alanında anahtar kelime analizi

VOSviewer programında uçak emisyonları çalışmalarının gerçekleştirildiği ülke analizi sonuçları Şekil 2.3.'te gösterilmiştir. Çalışmaların 67 farklı ülkede gerçekleştirildiği anlaşılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde yapılan 301 çalışmayı, İngiltere 160, Almanya 142 çalışmayla takip etmiştir. Türkiye'de ise 57 çalışmanın yapıldığı görülmüştür. Türkiye'de yapılan çalışmaların ABD, Çin, Hollanda ve Kanada ile altı adet bağlantısı bulunmaktadır.



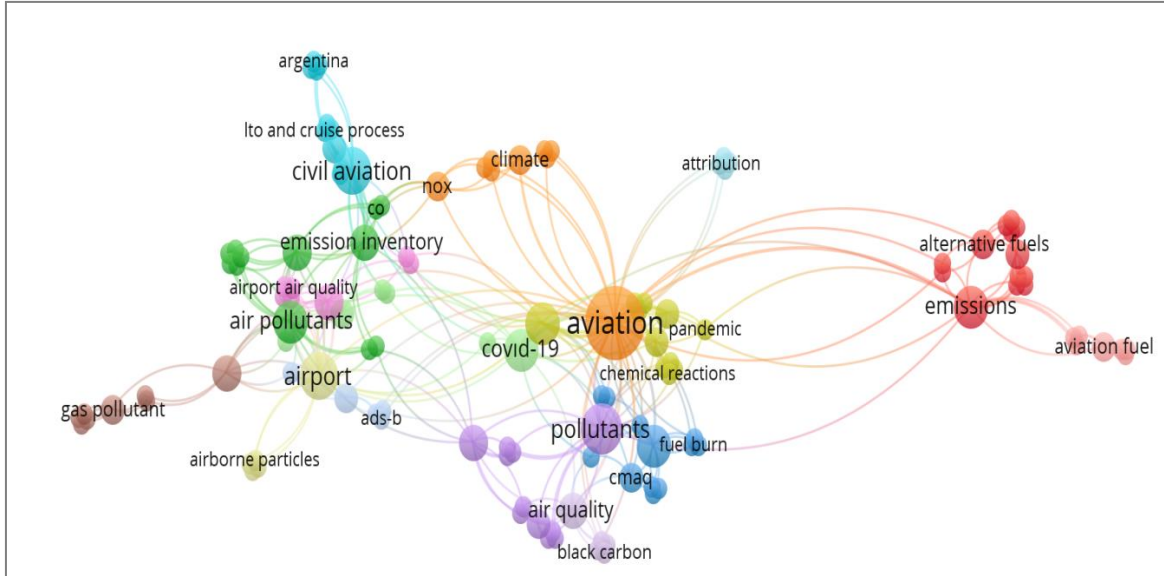
Şekil 2.3. Uçak emisyonları alanında çalışma yapılan ülke analizi

Havacılığın sebep olduğu çevre kirliliğiyle ilişkili çalışmaların bibliyometrik analizi WOS veri tabanında “aviation pollutants” havacılık kirleticileri araması ile yapılmıştır. 445 adet çalışma bulunmuştur. Çalışmaların 2012 yılından sonra hız kazandığı ve büyük bölümünün bu tarihten sonra yapıldığı görülmektedir. VOSviewer programında eş yazarlık analizi ve analiz birimi yazarlık seçimi sonrasında en az bir araştırma dökümanı ve en az bir atıf alan 198 çalışma görüntülenmiştir. En çok atıf alan çalışmalar M. R. Allen, D. S. Lee ve A. Skowron tarafından yapılmıştır. Kırmızı kümede bağlantı sayıları birbirine eşit Millar, Wilcox, Lund adlı yazarların içinde olduğu 18 yazarın ve 222 bağlantının varlığı görülmektedir. Yeşil kümede ise Lee, Allen ve Skowron adlı yazarların diğer yazarlarla 23 bağlantısı bulunmaktadır (Şekil 2.4).



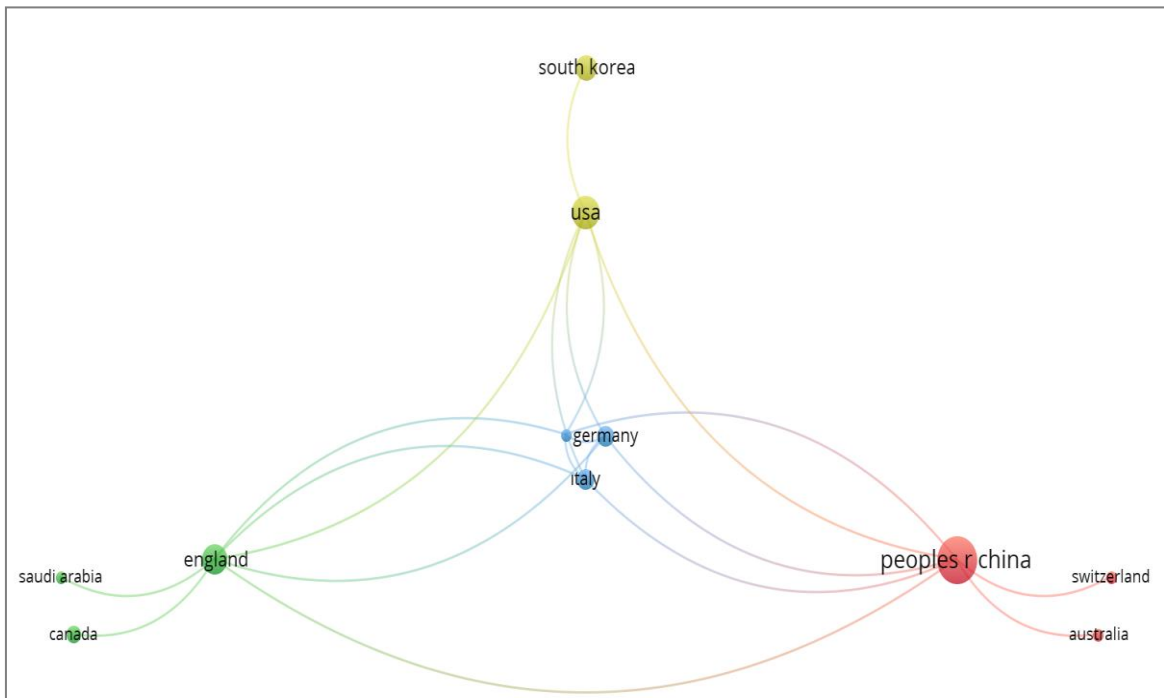
Şekil 2.4. Havacılık kirleticileri alanında yazar analizi

VOSviewer programında havacılık kirleticileri alanı için yapılan anahtar kelime analizinde ortak 1 adet ortak anahtar kelime seçimi yapılarak elde edilen sonuç Şekil 2.5.'te gösterilmiştir. 125 kavram 15 kümede konumlanmıştır. Çalışmalarda en çok kullanılan anahtar kelimelerden havacılık "aviation" kelimesi 12, kirleticiler "pollutants" 6, havalimanı "airport" 5, sivil havacılık "civil aviation" 5 kez kullanılmıştır. Turuncu renkteki kümenin 43 bağlantısı ve havacılık kavramı öncülüğünde CO₂, kirlilik, iz bulutları, iklim gibi kavramları bulunmaktadır. Kırmızı kümede emisyonlar kavramı 17 bağlantı ile enerji tüketimi, alternatif yakıtlar, havacılık yakıtları kavramları ile ilişkilendirilmiştir. Yeşil kümede LTO döngüsü, hava kirleticileri ve CO gibi kavramlar vardır.



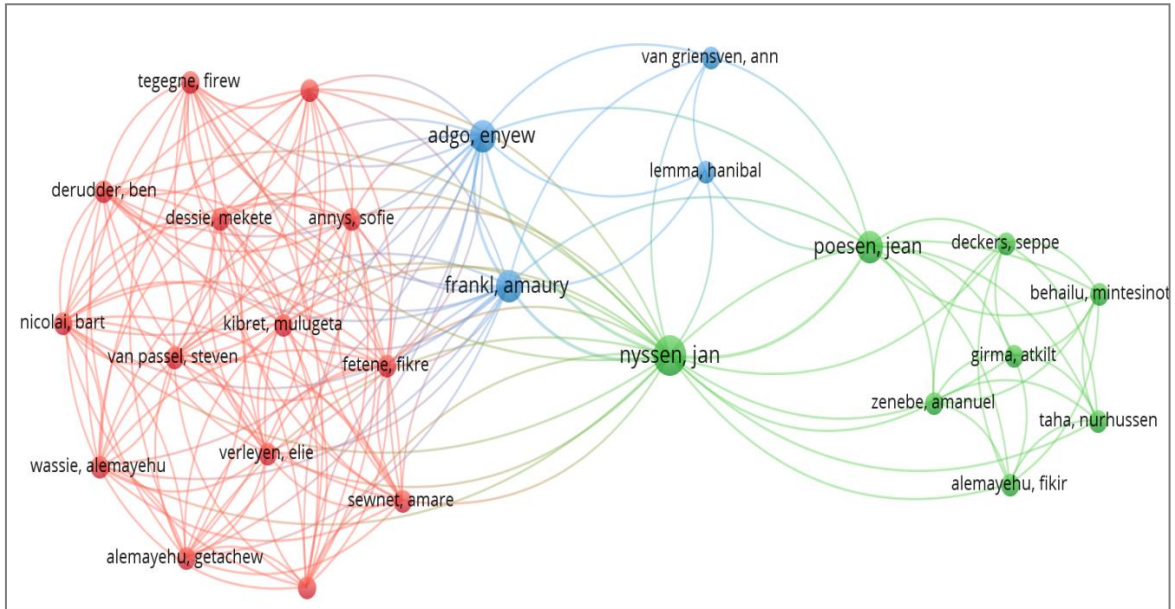
Şekil 2.5. Havacılık kirleticileri alanında anahtar kelime analizi

VOSviewer programında havacılık kirleticileri çalışmalarının gerçekleştirildiği ülke analizi sonuçları Şekil 2.6.'da gösterilmiştir. Çalışmaların 11 farklı ülkede 4 kümede toplandığı anlaşılmıştır. Çin'de yapılan 15 çalışmayı, Amerika Birleşik Devletleri 7, İngiltere 6, Türkiye ve Rusya 4 çalışmayla takip etmiştir. Kırmızı kümede Çin'in 15 çalışması 7 bağlantı ile İsviçre, Avusturya gibi ülkelerle ilişkilidir. Yeşil kümede İngiltere'nin 6 çalışması 7 bağlantı ile diğer ülkelerle ilişkilidir (Şekil 2.6).



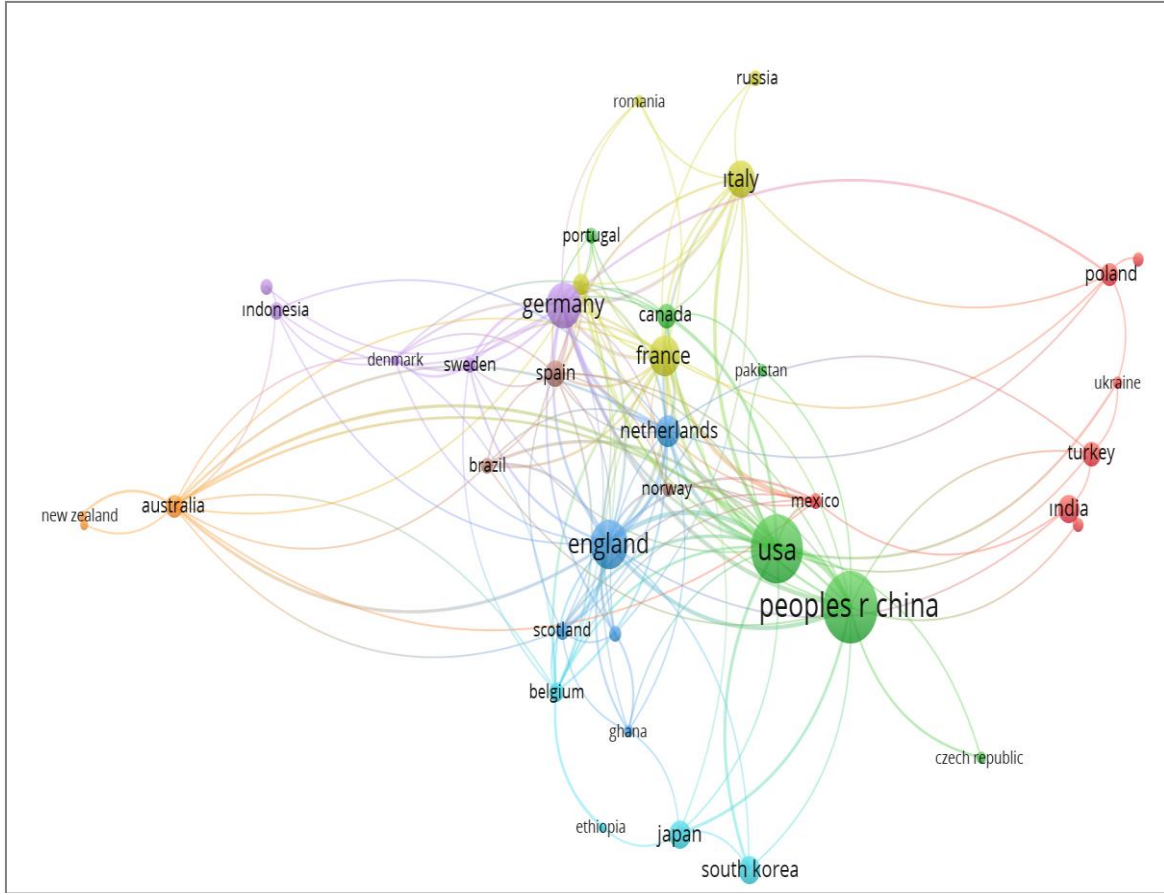
Şekil 2.6. Havacılık kirleticileri alanında çalışma yapılan ülke analizi

Tez çalışmasında araştırılan iniş kalkış döngüsü emisyonları hakkında yapılan araştırmaların analizi için WOS tabanında “ landing and take off” iniş kalkış araması sonucu 5913 çalışma görüntülenmiştir. Bu çalışmalar havacılık mühendisliği ve çevre bilimleri kriterleri ile sınırlandırılarak 1348 çalışma elde edilmiştir. VOSviewer programında eş yazarlık analizi ve analiz birimi yazarlık seçimi sonrasında en az bir araştırma dökümanı ve en az bir atıf alan seçimleriyle 26 yazar 3 farklı kümede toplanmıştır. En çok makale üreten yazarlar yaptıkları 5 çalışmayla Roberto Furfaro ve Daniel R. Wibben olmuştur. Kırmızı kümede Deesie, Kibret, Fetene adlı yazarların aralarında olduğu 14 yazar bulunmaktadır. Yeşil kümedeki 8 yazardan biri olan Nyssen 3 döküman ve 25 bağlantıya sahiptir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. İniş kalkış döngüsü için yazar analizi

VOSviewer programında iniş kalkış araması için yapılan anahtar kelime analizinde en az dört ortak anahtar kelime seçimi ile 10 kümede yerleşen 77 kavram Şekil 2.8.’de gösterilmiştir. Çalışmalarda kullanılan anahtar kelimelerden ekosistem servisleri “ecosystem services” 29, uçak “aircraft” 16, “climate change” 13 kez kullanılmıştır. Kırmızı kümede çevre, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik kavramları bulunmaktadır. Mavi kümede hava kirliliği, hava kalitesi, havacılık emisyonları, LTO döngüsü kavramları biraradadır. Turuncu kümede hava taşımacılığı kavramı altı bağlantı ile hava aracı tasarımı, iniş, kalkış, yakıt tüketimi kavramları ile ilişkilidir.



Şekil 2.9. İniş kalkış döngüsü için ülke analizi

Bibliyometrik analiz sonucu havacılığın temel bileşenleri havalimanı ve uçak kavramlarının, çevre etkisi, iklim değişikliği, kirleticiler gibi kavramlarla ilişkisinin yoğun olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan WOS veri tabanı sonuçlarına dayanarak araştırmacıların bu kavramları içeren on binlerce çalışmayı gerçekleştirdiği görülmüştür. Araştırmalar çoğunlukla atmosferik bilimler, çevre mühendisliği, ulaştırma alanlarında yapılmıştır. Havacılık, emisyonlar ve çevre kavramları bağlantılı çalışmaların en çok yapıldığı ülkelere bakıldığında ABD ve Çin'in ilk sıralarda oldukları görülmüştür. Bu tez de Türkiye'deki trafik planlaması ve uygulaması ana bilim dalında uçaklar kaynaklı emisyonların araştırıldığı öncü bir çalışmadır.

3. ULUSAL VE ULUSLARARASI HAVACILIK KURULUŞLARI İLE ÇEVRECİ PROJELER

Türkiye ve dünyada havacılık sektöründe faaliyet gösteren birçok kuruluş bulunmaktadır. Hava yolu şirketleri, uçak üreticileri, sivil havacılığa yön veren ulusal ve uluslararası organizasyonlar havacılık sektörünün gelişmesi için hizmet ve teknoloji üretmektedirler. Bu bölümde havacılığa hizmet veren kuruluşlar hakkında genel bilgi verilmiştir. Ayrıca havacılığın çevreye olan zararlı etkilerini azaltmak için hayata geçirilen devlet düzenlemeleri, teknolojik gelişmeler ve organizasyonel iyileştirmeler belirtilmiştir.

3.1. Ulusal Havacılık Kuruluşları ve Hava Yolu Şirketlerinin Çevreci Uygulamaları

Havacılık kaynaklı kirliliğin önüne geçebilmek için Türkiye’de sivil havacılığa hizmet veren kuruluşlar çeşitli projeler geliştirmekte ve uygulamaya koymaktadır. Başta SHGM ve DHMİ olmak üzere, hava yolu şirketleri sürdürülebilir bir hava taşımacılığı için hem uçak emisyonlarının azaltılması hem de havalimanı kaynaklı adımlar atmaktadır.

3.1.1. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) çevreci projeleri

SHGM, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’na bağlı Türk Sivil Havacılık otoritesidir. Kurumun tarihine bakıldığında 1954 yılı Ulaştırma Bakanlığı bünyesindeki Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı görülmektedir. 1987 yılında ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü olarak hizmete devam etmiştir. SHGM, 2005 yılında yürürlüğe giren Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun ile günümüzdeki yönetim şeklini oluşturmuştur [51].

SHGM, misyonunu Türk Sivil Havacılığı’nın güvenlik ve emniyetini standartlar gereğince tahsis etmek olarak belirlerken, sivil havacılığın sürdürülebilir şekilde ilerlemesi ve büyümesi için etkili çalışmalar yürütmeyi vizyonu olarak belirlemiştir. SHGM, Türk Sivil Havacılığı’nın paydaşlarının faaliyetlerini denetler ve düzenler. Pilot, hava trafik kontrolörü, hava aracı bakım personelleri vb. havacılığa hizmet veren çalışanların lisans ve ehliyetlerini tahsis ve takip eder. Havalimanları ve seyrüsefer hizmetlerinin teknik ve işletme faaliyetlerini denetler. Uluslararası havacılık kuruluşları ile işbirliği içinde çalışırken aynı zamanda uluslararası sivil havacılıkta gerçekleşen yenilik ve gelişmeleri

ulusal alanda uygulamak için gerekli adımları atmaktadır [52]. SHGM, Yeşil Havalimanı projesi ve Hava Sahası Esnek Kullanımı projesi gibi havacılık sektörünün çevreye verebileceği zararlı etkileri azaltmayı hedefleyen proje ve düzenlemeleri hayata geçirmiştir.

SHGM'nin Yeşil Havaalanı Projesi, havaalanlarında hizmet veren kuruluşların çevreye yaptıkları olumsuz etkileri ortadan kaldırmak bu mümkün değilse bu etkileri en aza indirmek için uygulamaya koyduğu bir projedir. Havalimanlarında faaliyet gösteren kuruluşlar, TSE tarafından standartları oluşturulmuş çevre yönetim sistemi çerçevesinde gerekli şartları sağlayarak yeşil kuruluş sertifikası almaya hak kazanırlar [53].

Havaalanındaki hizmet veren tüm kuruluşların yeşil kuruluş sertifikası kriterlerini sağlaması durumunda ilgili havaalanı, yeşil havaalanı sertifikası almaktadır. Yeşil kuruluş sertifikası olan kuruluşlar bu ünvanlarını sürdürebilmek için her yıl atık yönetimi, gürültü yönetimi, hava kirliliği yönetimi, yakıt yönetimi, tehlikeli madde ve karışımlar yönetimi, buzlanma önleme ve giderme yönetimi ve genel hususlar gibi konularda denetimden geçerek yeşil kuruluş sertifikalarının devamlılığını sağlamaktadırlar [54].

SHGM 2018 faaliyet raporuna göre Türkiye'de 153 adet yeşil kuruluş sertifikasına sahip kuruluş ve Uşak, Tokat, Adana, Erzincan, Balıkesir Merkez ve Siirt Havalimanları olmak üzere 6 adet Yeşil Havaalanı sertifikasına sahip havaalanı bulunmaktadır. Yeşil kuruluş ve yeşil havalimanı sertifikasına sahip işletmeler, SHGM tarafından verilen yetki belgesi, ruhsat gibi belge işlemlerinde çeşitli ücret indirimlerinden yararlanmaktadırlar [55].

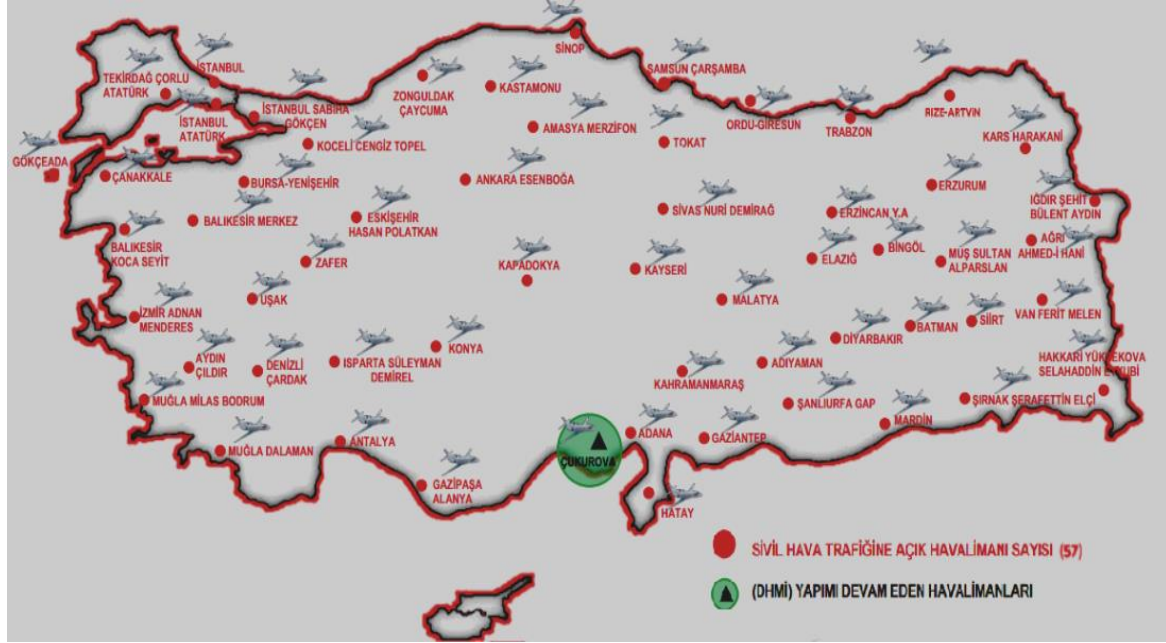
Hava Sahasının Esnek Kullanımı Projesi, hava sahasının ilgili bölümünün sivil ve askeri uçuşlar için gerçek zamanlı ihtiyaçlara göre, belirlenen sürede geçici olarak kullanılmasını sağlayan bir projedir. 2014 yılı itibarıyla yürürlüğe giren projenin kriterleri Hava Sahasının Esnek Kullanımı Yönetmeliği (SHY-FUA) kapsamında belirlenmiş olup, SHGM, DHMİ, Genelkurmay Başkanlığı ve Hava Kuvvetleri Komutanlığı projenin işleyişi için gerekli koordinasyonu sağlamaktadırlar. Proje yardımıyla askeri faaliyetlerin olmadığı zamanlarda sivil uçuşların daha kısa rotalarla gerçekleşmesine olanak sağlanarak, uçuş maliyetlerinin ve zararlı emisyonların azalması mümkün olacaktır [56].

3.1.2. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) çevreci projeleri

Devlet Hava Meydanları İşletmesi, 1933 yılında Türk Sivil Havacılığı'na hizmet vermeye başlamıştır. 1984 yılından itibaren ise kamu iktisadi teşebbüsü olarak faaliyetlerine devam etmektedir. DHMİ, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı bir kuruluştur. DHMİ'nin ana görevi Türkiye'deki havalimanlarının işletilmesi ve Türkiye hava sahasındaki hava trafiğinin emniyetli, hızlı, düzenli bir şekilde yürütülmesini sağlamaktır.

Havalimanlarının işletilmesi, hava trafik kontrol hizmetlerinin gerçekleştirilmesi, haberleşme, gözetim, seyrüsefer sistemlerinin kurulumu ve işletilmesi, meydan yer hizmetlerinin ifası, bu faaliyetlere ilişkin tesislerin kurulması DHMİ'nin amaçlarını ve görevlerini oluşturmaktadır. DHMİ, üstlenmiş olduğu sivil havacılık faaliyetlerini, ICAO, Avrupa Hava Seyrüsefer Teşkilatı (EUROCONTROL) ve Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI) gibi uluslararası kuruluşların üyesi olarak gerçekleştirmektedir [57]. DHMİ 2021 faaliyet raporuna göre Türkiye'de 57 tane sivil hava trafiğine açık havalimanı bulunmaktadır. Ayrıca Çukurova Havalimanı'nın yapımı devam etmektedir (Şekil 3.1).

DHMİ, havacılık faaliyetleri kapsamında iklim değişikliğini ve küresel ısınmayı önlemek amacıyla çalışmalarını sürdürmektedir. Havalimanlarından kaynaklanan çevreye zarar vermesi muhtemel kirleticileri kontrol etmek ve havalimanlarının çevreye olan duyarlılığını artırmak için yenilikçi projeler geliştirmektedir. DHMİ ve TÜBİTAK işbirliği ile tasarlanan ve üretilen FODRAD sistemi, pist üzerindeki yabancı maddelerin tespitini sağlayarak hava trafik operasyonlarının kesintisiz devam etmesine yardımcı olmaktadır. Diğer bir radar sistemi kuş radarı ile havalimanı bölgesindeki kuş varlığının anlık takibinin yapılarak hava trafik operasyonlarının kuşlardan olumsuz etkilenmesinin önüne geçilmektedir [58]. İstanbul Havalimanı'nda kasım 2022 yılında uygulamaya geçen Gelişmiş Yer Hareketleri ve Kontrol Sistemi, çeşitli yer radarları ve antenler vasıtasıyla iniş yapan uçakların mümkün olan en kısa yoldan park pozisyonuna ulaşmasını sağlayan bir teknolojidir. Sistemin tam performans ile çalışması sonucu taksi sürelerinde %15'e varan düşüşler mümkün olacaktır [59].



Şekil 3.1. Türkiye'deki sivil hava ulaşımına açık havalimanları [20]

DHMI, küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı Karbonsuz Havalimanı projesini 2020 yılında başlatmıştır. Proje ile DHMI tarafından işletilen tüm havalimanlarındaki karbon salınımlarının uluslararası standartlara uygun olarak hesaplanması ve doğrulaması yapılarak sera gazı envanter raporları oluşturulacaktır. Projenin uluslararası tanınırlık kazanması amacıyla DHMI'nin seçtiği pilot havalimanlarının, Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI)'nin yürüttüğü Havalimanı Karbon Akreditasyonu Programı (ACA) kapsamında CO₂ emisyonlarını azalttığına dair akreditasyonun gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir [60]. Bu amaçla seçilen 12 havalimanı (Çanakkale, Şırnak Şerafettin Elçi, Sivas Nuri Demirağ, Erzurum, Erzincan Yıldırım Akbulut, Sinop, Balıkesir Kocaseyit, Kahramanmaraş, Adıyaman, Bursa Yenişehir, Gaziantep, Kapadokya), Havalimanı Karbon Akreditasyonu Programı gereğince 2021 yılında 1. Seviye Sertifika alma başarısını göstermiştir [61].

DHMI ile TÜBİTAK arasında yapılan Havalimanlarının Stratejik Gürültü Haritalarının Oluşturulması Projesi ile havalimanlarının gürültü haritaları çıkarılmıştır. Havalimanı gürültü haritaları, havalimanı referans noktasını merkez kabul ederek oluşturulan 25 kilometre yarıçaplı dairesel alandaki gündüz ve gece yapılan gürültü hesaplamalarını göstermektedir. Bu haritalar yardımıyla havalimanı kaynaklı gürültü kirliliğinin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 3.2.'de Antalya Havalimanı için hazırlanan gündüz gürültü haritası görülmektedir.

3.2.1. Türk Hava Yolları'nın emisyon azaltıcı uygulamaları

THY, 1933 yılında faaliyete başlamış olup yurt içi, yurt dışı yolcu ve kargo taşımacılığı ile posta hizmeti veren hava yolu şirketidir. 2021 yılı THY faaliyet raporuna göre, THY filosunda geniş gövdeli, dar gövdeli ve kargo uçağı olmak üzere toplam 370 adet uçak bulunmaktadır. Uçak filosu yaş ortalaması 8,5 olarak gerçekleşmiştir [63]. THY, 2021 yılında 333 farklı varış noktasına 44,8 milyon yolcu taşımıştır [64].

Bünyesindeki birçok havacılık şirketi ve bağlı ortaklıkları ile faaliyetlerini devam ettiren THY, büyüme hedeflerini gerçekleştirirken çevreyi korumak ve iklim değişikliğini engelleme bilinciyle sürdürülebilirlik çalışmaları yapmaktadır. Bu çalışmalar uçuşlar kaynaklı emisyonları azaltıcı faaliyetler ve bunların dışında çevreyi koruyan faaliyetler olarak sınıflandırılabilir.

THY, uçuşlar kaynaklı emisyonları azaltmak için öncelikle filosundaki uçakları yeni nesil A321 NEO, B738 MAX 8 , B738 MAX 9 gibi uçaklarla değiştirmektedir [64-65]. Filo gençleştirme faaliyetleri dışında uçakta ağırlık azaltıcı malzeme ve yöntemlerin kullanılması, tek motorla taksi yapılması vb. operasyonel iyileştirmeler gerçekleştirilmektedir. Uçak emisyonlarını azaltıcı önemli bir gelişme de SAF kullanımlı uçuşların yapılmasıdır [64].

Tez çalışmasında kullanılmak amacıyla Türk Hava Yolları'na mail aracılığı ile ulaşılarak hangi hatlarda ve hangi sıklıkta sürdürülebilir yakıtlı uçuş yapıldığı bilgisi elde edilmiştir. Ek 2'deki bilgilere göre THY yolları 2022 yılı itibariyle İstanbul kalkışlı Paris De Gaulle, Stockholm Arlanda, Oslo, Göteborg, Kopenhag, Londra varışlı seferlerde haftada bir kez SAF kullanımına başlamıştır. Bu seferlere ek olarak İstanbul Havalimanı'na Lyon, Marsilya, Toulouse, Strazburg'dan gerçekleştirilen dönüş uçuşlarında sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanılmaktadır. THY'den elde edilen verilere göre şirket, 2022 yıl sonuna kadar yaklaşık olarak 300'ün üzerinde uçuşta bu yakıtı kullanmış olacaktır [Ek-2].

Şekil 3.3.'te Boeing 737-9 Max uçak tipi görülmektedir. Bu uçaklar yeni teknoloji motorları sayesinde daha az yakıt tüketimi yanısıra düşük emisyon ve gürültü üretmektedirler. Boeing kanat ucu kıvrım tasarımlarıyla (winglet) aerodinamik açıdan daha

gelişmiş uçak modellerini havacılık sektörüne kazandırmaktadır. Kanat ucu kıvrımları yeni nesil motorlar gibi düşük yakıt tüketimi sağlamaktadır [65] (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Boeing 737-9 Max yeni nesil düşük yakıt tüketimli ve daha az CO₂ emisyonu üreten uçak modeli [65]



Şekil 3.4. Boeing'in yakıt tasarrufu ve düşük emisyon sağlayan kanat ucu kıvrım tasarımı (winglet) [65]

Airbus uçak üreticisi de yeni nesil motorlar ve kanat ucu tasarımları (sharklet) ile düşük yakıt tüketimi ve uzun menzilde uçuşlar gerçekleştiren uçak tipleri üretmektedir. A320Neo tipi uçaklar önceki nesil Airbus uçak modellerine göre %20 yakıt tasarrufu ve CO₂ azaltımı sağlamaktadır [66] (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Airbus 321Neo düşük yakıt tüketimi ve daha az CO₂ emisyonu üreten uçak modeli [66]

3.2.2. Pegasus Hava Yolları'nın emisyon azaltıcı uygulamaları

Pegasus Hava Yolları, 1990 yılında faaliyete başlayan düşük maliyetli hava yolu şirketidir. Çoğunlukla Sabiha Gökçen Havalimanı merkezli uçuşlar gerçekleştiren hava yolu şirketi 44 farklı ülkede toplam 120 varış noktasına ulaşım sağlamaktadır. Pegasus Hava Yolları filosu toplamada 90 adet, yaş ortalaması 5,07 olan B738, A320, A320NEO ve A321NEO uçaklarından oluşmaktadır [67].

Pegasus Hava Yolları, 2050 yılında karbon emisyonunun sıfırlanması hedefiyle, yeni nesil uçaklarla filonun gençleştirilmesi, uçaklarda ağırlığın azaltılması için teknolojik gelişmelerin takibi ve uygulanması, sürdürülebilir havacılık yakıtının kullanılması vb. adımları atmaktadır.

Tez çalışması için Pegasus şirketine mail yoluyla ulaşılarak SAF kullanımının hangi seferlerde ve hangi sıklıkta gerçekleştiği bilgisi talep edilmiştir. Şirketin Başhukuk Müşaviri, sürdürülebilirlik lideri ve genel sekreteri A.U tarafından Ek-2'deki bilgiler gönderilmiştir. Pegasus, sürdürülebilirlik adımları çerçevesinde 2019 yılından itibaren bazı yurt dışı uçuşlarda SAF kullanmaya başlamıştır. 2022 mart ayı itibariyle yurt içinde Esenboğa Havalimanı kalkışlı Adnan Menderes Havalimanı varışlı ve Adnan Menderes

Havalimanı kalkışlı Esenboğa Havalimanı varışlı uçuşlarında SAF kullanımı yapılmaktadır. Pegasus tarafından yıl sonuna kadar devam etmesi planlanan SAF katkılı uçuşların, mart 2022 ile ağustos 2022 arası dönemde 387 sefere ulaşması beklenmektedir. Şirket uzun vadeli SAF kullanımı için çalışmalarını sürdürdüğünü belirtmiştir [Ek-2].

3.3. Uluslararası Havacılık Kuruluşları ve Çevreci Uygulamaları

Küresel havacılık kuruluşları da emisyonların azaltılması için hedefler belirlemekte ve sektör için çözümler sunmaktadırlar. ICAO, uçak emisyonlarının sıfırlanması doğrultusunda CORSIA programını uygulamaya koymuştur. Avrupa bölgesinde sivil havacılığın çevreye olan olumsuz etkilerinin önlenmesi için EUROCONTROL çeşitli faaliyetler sürdürmektedir.

3.3.1. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ve CORSIA programı

ICAO' nun Türkçe açılımı, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'dür. ICAO, 1947 yılında Birleşmiş Milletler'e bağlı olarak kurulmuştur. Uluslararası sivil havacılıkta teknik, ekonomik, organizasyonel ve hukuki alanlarda karar verici bir kuruluştur. Ülkeler arasında sivil havacılığa ait standartların belirlenmesi, uluslararası sivil havacılığın büyümesi, uçuş güvenliğinin sağlanması, havayolları, havalimanları ve teknik altyapının gelişmesi için politika ve tavsiyeler oluştururken belirlenen standartlarla ilgili denetleme görevi de yapmaktadır [68]. Genel kurul ve konsey olmak üzere iki bölüm ICAO'nun kurumsal yapısını oluşturmaktadır. Genel kurul 193 üye devletten oluşmaktadır. ICAO genel kurulu 36 konsey üyesini seçmektedir. Genel kurul ayrıca sivil havacılık faaliyetlerini gerçekleştiren konseyin sorumluluklarını belirler [68].

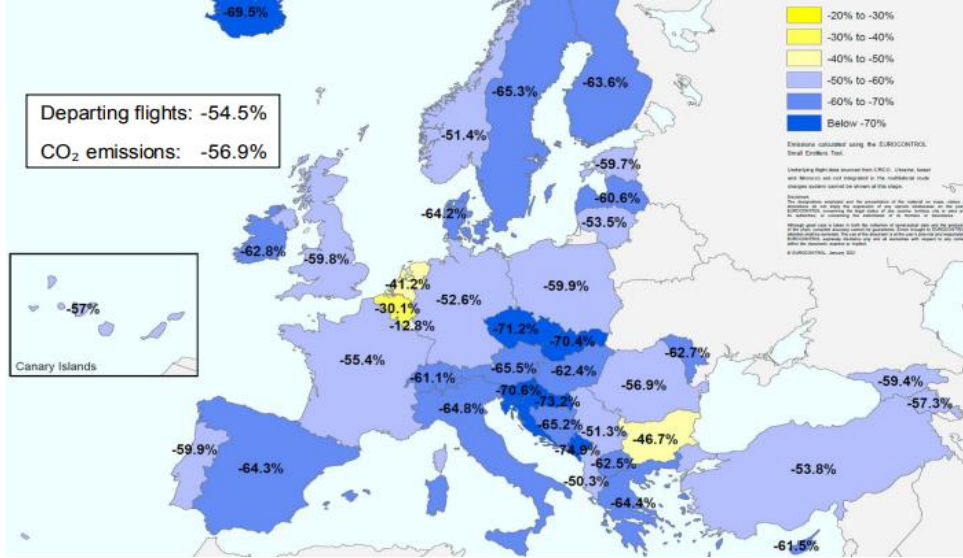
ICAO tarafından hazırlanan CORSIA, Uluslararası Havacılıkta Karbon Dengeleme ve Azaltma (Carbon Offsetting and Reduction Scheme For International Aviation) programı, uluslararası uçuşlar kaynaklı CO₂ emisyonlarının 2020 yılından itibaren azaltılmasını amaçlayan bir programdır. CORSIA programı çerçevesinde uçuşlar kaynaklı meydana gelen CO₂ emisyonlarının izlenmesi, doğrulanması ve raporlanması gerçekleştirilecektir. CORSIA programı 3 aşamada uygulanacaktır. 2021 ile 2023 arası pilot aşama, 2024 ile 2026 arası ilk aşama, 2027 ile 2035 arası ikinci aşama olarak belirlenmiştir. Programın 2021 ile 2026 arası dönemi gönüllü katılım ile uygulanacaktır [69].

Türkiye’de, SHGM tarafından Uluslararası Havacılığa Yönelik Karbon Denkleştirme ve Azaltma Şeması Uygulama Talimatı (SHT-CORSIA) dökümanı 2020 yılında yayımlanmıştır. Bu talimatla CO₂ emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması için gerekli usul ve esaslar belirlenmiştir. Bu esaslardan bazıları: hava yolu şirketlerinin CORSIA uyumlu yakıtlarının tüketiminin takip edilmesi, dış hat seferlerinde iniş kalkış havalimanlarının ve uçuş rotasının raporlanması, hava yolu şirketlerinin emisyonlarının doğrulamasını yapan kuruluşların, ICAO tarafından belirlenen yetkili doğrulama kuruluşu kriterlerine haiz olması gerekmektedir [70].

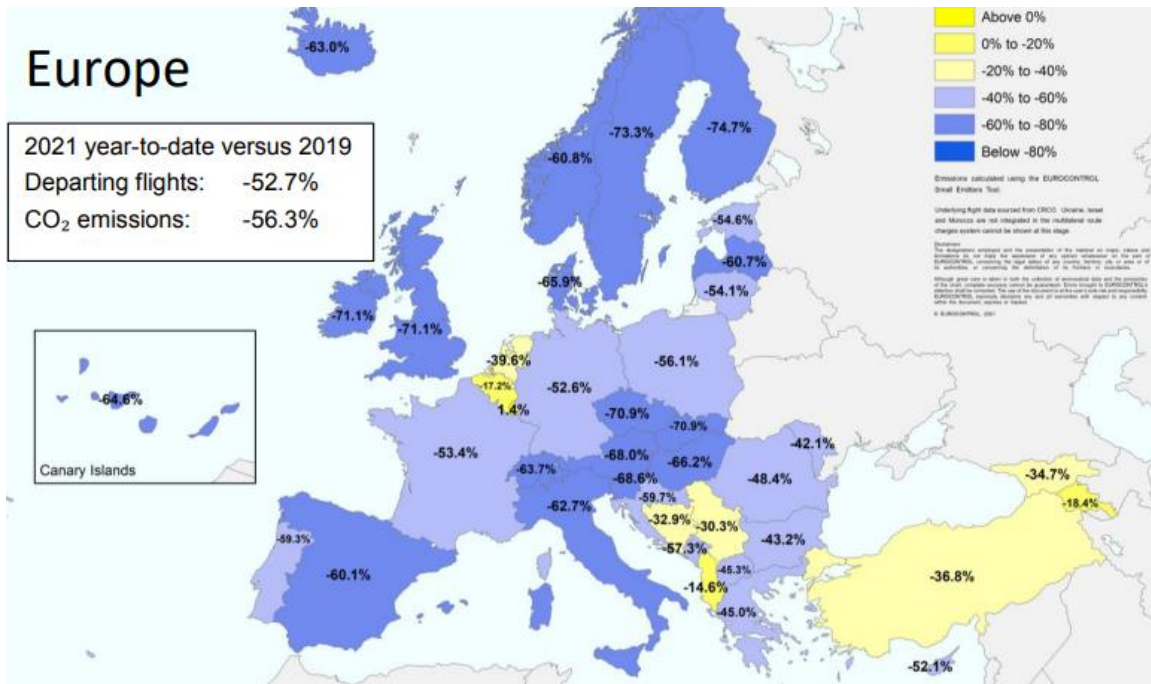
3.3.2. EUROCONTROL teşkilatı ve Tek Avrupa Hava Sahası projesi

Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Teşkilatı, 41 devletin üye olduğu 1963 yılında kurulan bir havacılık kuruluşudur. Kuruluş, Avrupa’yı kapsayan sivil havacılık faaliyetlerinin düzenlenmesi ve geliştirilmesi için çalışmalar yapmaktadır. Çalışmalarını Hollanda, Fransa, Belçika ve Lüksemburg olarak dört ülke merkezli gerçekleştirmektedir. Hava sahası tasarımı, seyrüsefer ve haberleşme sistemlerinin standartlarının belirlenmesi, geleceğe dönük hava trafik akışının tahminlerinin yapılması, sürdürülebilir havacılık çalışmaları vb. birçok konu EUROCONTROL’ün görevlerini oluşturmaktadır [71]. EUROCONTROL teşkilatının en önemli projelerinden birisi Tek Avrupa Hava Sahası (SES) ile Avrupa Hava Sahası güncellenerek hava trafik kapasitesinin artışı sağlanacaktır. Verimi artan hava trafik yönetimi sayesinde uçuş süreleri kısılacak, tüketilen yakıt miktarları düşecek böylece daha Avrupa Hava Sahası daha çevreci bir yapı kazanacaktır [71].

EUROCONTROL’ün Avrupa hava sahasındaki CO₂ emisyonlarının değişimine ait yayımladığı iki bültenden alınan görseller Şekil 3.6. ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bu bültenlere göre Türkiye’deki uçuşların neden olduğu CO₂ emisyonu 2020 yılında 2019 yılına göre %53,8 ve 2021 yılında 2019 yılına göre %36,8 azalmıştır [72-73].



Şekil 3.6. EUROCONTROL Avrupa ülkeleri 2019-2020 yılları CO₂ emisyon değişimi [72]



Şekil 3.7. EUROCONTROL Avrupa ülkeleri 2019-2021 yılları CO₂ emisyon değişimi [73]

3.4. Saf, Slot Esnekliği ve Devletlerin Havacılıkta Emisyon Azaltıcı Adımları

Havacılık kuruluşları ve şirketleri yanı sıra devletler de havacılık emisyonlarının azaltılması amacıyla çeşitli yasalar yürürlüğe koymaktadırlar. Uçak emisyonlarının düşürülmesi amacıyla vergi uygulamaları, uçuş saatleri için düzenlemeler bunlardan bazılarıdır. Son yıllarda önem kazanan sürdürülebilir havacılık yakıtı ve slot

uygulamalarında uçuş operasyonlarını olumsuz yönde etkilemeyecek esnekliklerin çevreci havacılık yolunda nasıl bir katkı sağlayacağı aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir.

3.4.1. Sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF)

SAF, basit anlamda geleneksel fosil kaynaklı havacılık jet yakıtlarının yerini alması beklenen çevreci alternatif yakıt olarak tanımlanabilir. ICAO'nun gerçekleştirdiği teknik analizlere göre SAF, uluslararası havacılıkta CO₂ emisyonunu azaltmada en büyük potansiyele sahip adım olarak gösterilmiştir. Havacılık 2050 yılı net sıfır emisyon hedefinde CO₂ emisyonunun azaltılmasında %65'lik bir paya sahip olması beklenmektedir [74-75].

ICAO, havacılıkta kullanılan bir yakıtın sürdürülebilir havacılık yakıtı olarak kabul görmesi için bazı kriterleri karşılaması gerektiğini belirtmiştir. ICAO, bu kriterleri belirlerken CORSIA programı çerçevesinde hareket etmektedir. İlk alternatif havacılık yakıtları biyokütle kaynaklarından üretilirken gıda ile rekabet, su ve arazi kullanımı gibi karbon emisyonu azaltımı konusundaki bazı endişeleri ortadan kaldıramıyordu. Güncel teknolojiler yardımıyla SAF, yiyecek kaynaklı olmayan, su kullanımı gerektirmeyen kentsel atıklardan, atık yemeklik yağlardan ve tarımsal kalıntılardan üretilabilmektedir. SAF üretiminin Dünya genelinde artmasıyla bu yakıtın 2030 itibarıyla geleneksel havacılık yakıtı ile rekabet edebilir hale gelmesi beklenmektedir [74-75].

3.4.2. Esnek slot uygulaması

Slot, bir havalimanında belirlenen zaman dilimi için hava araçlarının iniş kalkış yapması ve havalimanı olanaklarından yararlanması amacıyla yetkili havacılık otoritesi tarafından verilen izin olarak tanımlanmıştır [76]. Slot uygulamasının olumlu yönlerinden biri havalimanı kapasitesinin sürdürülebilir düzeyde tutulmasına yardımcı olması, olumsuz yönlerinden biri ise hava yolu şirketlerine slot dağıtımının verimli bir şekilde yapılamamasıdır [77]. Hava yolu şirketleri slot haklarına kullan ya da kaybet prensibine göre sahip olur. Gerçekleştirilmeyen uçuşlar slot haklarının kaybomasına sebep olmaktadır [78]. Bu yüzden hava yolu şirketleri bazen az sayıda yolcu ile uçuşlarını gerçekleştirmek zorunda kalmaktadır. Slot kullanma zorunluluğundaki yapılabilecek esneklikler gereksiz uçuşların yapılmasının önüne geçecektir.

3.4.3. Devletlerin hava yolu ulaşımındaki emisyon azaltıcı uygulamaları

İngiltere’de tren yolu ve hava yolu ulaşımının çevreye olan etkilerinin karşılaştırıldığı bir raporda, tren yolu ulaşımının hava yolu ulaşımına göre daha az emisyonu sebep olduğu bu yüzden kısa mesafeli iç hat uçuşlarında tren yolu ulaşımın tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Yolcu sayısının % 88’ini oluşturan 10 iç hat uçuşunun yapıldığı şehirler arasında iyi bir tren yolu hizmeti sağlandığı ve ulaşım tercihinin havacılık yerine tren yolu ulaşımında kullanılmasının CO₂ salınımını düşüreceği öngörülmüştür [79]. Benzer şekilde Fransa tren yolu ulaşımı ile 2,5 saatin altında yolculuk süresi olan hatlarda uçuşların yasaklanması kararı almıştır. Yapılan düzenleme ile uçuş yasağının getirildiği seyahatlerde CO₂ emisyonunun yaklaşık %80 oranında düşmesi beklenmektedir. Yolcu uçaklarına kıyasla yüksek emisyonu sahip özel jetlerden daha fazla vergi alınması için çalışmaların yapıldığı ve bu uçakların uçuşlarına çeşitli sınırlandırmaların getirilerek emisyonların azaltılabileceği belirtilmiştir [80].

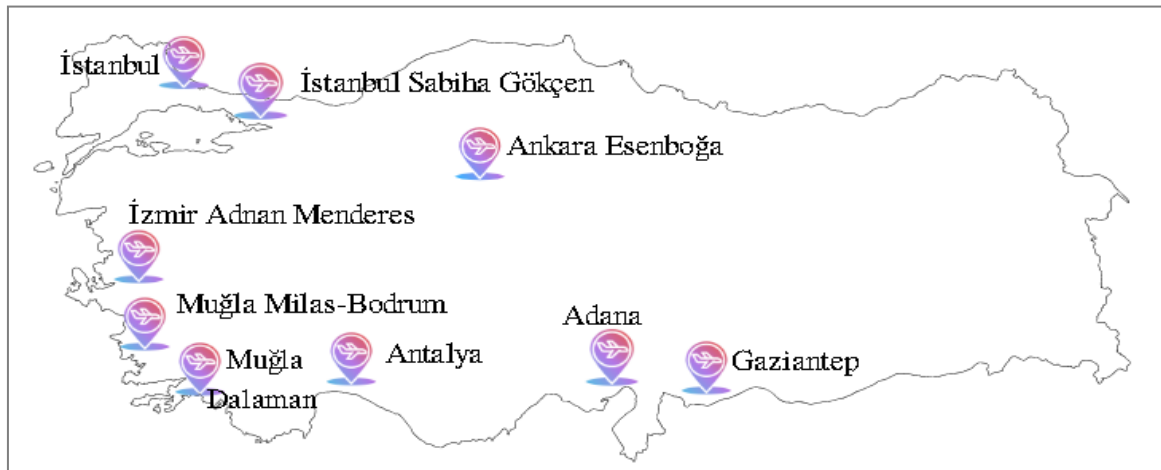
Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi, iklim değişikliğine sebep olan sera gazlarının azaltılması için Avrupa Birliği ülkelerinin katıldığı bir sistemdir. Ülkeler bu kapsamda meydana getirecekleri karbon emisyonlarını belli bir sınırın altında tutmak zorundadır. 2008 yılında sisteme dahil olan havacılık sektörü, ilk aşamada Avrupa’daki havalimanları arasında yapılan uçuşların neden olduğu emisyonları azaltmayı hedeflemiştir. Bu amaçla yapılan uçuşlarda SAF kullanımının artırılması önerilmiştir [93]. Hollanda 2025 yılında bazı emisyon ve gürültü azaltıcı uygulamaları yürürlüğe koyacağını açıklamıştır. Schiphol havalimanı’nda gece saatlerinde yapılacak uçuşlar ile özel jet uçaklarının yapacağı uçuşlara izin verilmeyeceği bildirilmiştir [97]. Danimarka ve İsveç hükümetleri 2030 yılına kadar iç hat uçuşlarında sıfır karbon emisyonu hedefleri olduğunu açıklamışlardır [98]. Belçika uçuşlardan kaynaklanan gürültü kirliliğini önlemek için hava yolu şirketlerinden vergi alınması kararı almıştır. Emisyon ve gürültü değerleri yüksek eski uçaklarla gerçekleştirilen uçuşlara yeni vergi uygulamaları planlanmaktadır. Ayrıca 500 kilometre mesafenin altında yapılan uçuşların ek vergi kapsamına alınması kararlaştırılmıştır [99].

4. TÜRKİYE’DEKİ DOKUZ ULUSLARARASI HAVALİMANININ UÇAK EMİSYONLARININ HESAPLANMASI

Tezde çalışma konusu olan havalimanları hakkında genel ve teknik bilgiler yanında hava trafik performans verilerinin bulunduğu dördüncü bölümde uçak emisyonlarının ICAO tarafından tanımlanan iniş kalkış döngüsünde nasıl hesaplanacağı, hesaplama için gerekli veri tabanının nasıl kurulacağı açıklanmıştır.

4.1. Çalışma Alanını Oluşturan Havalimanlarına Ait Bilgiler

Tez çalışması, Türkiye’deki hava trafiğinin ve uçaklar kaynaklı emisyonların 2019, 2020 ve 2021 yıllarında pandemi etkisiyle ne şekilde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu amaçla uçuş ve yolcu trafiği açısından Türkiye’deki en yoğun uluslararası havalimanları belirlenerek tezin çalışma alanı oluşturulmuştur. Seçilen dokuz havalimanı şunlardır: İstanbul Havalimanı, İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı, Antalya Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı, İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Muğla Bodrum Havalimanı, Muğla Dalaman Havalimanı, Adana Havalimanı, Gaziantep Havalimanı. Bu dokuz havalimanı hem iç hat hem de dış hat uçuş trafiğine hizmet veren havalimanları olup DHMİ 2021 yılı Hava yolu Sektör Raporu’na göre dokuz havalimanı 2021 yılı iç hat toplam yolcu trafiğinin %84’ünü, dış hat toplam yolcu trafiğinin ise %97’sini oluşturmaktadır [12, 16, 81]. Dokuz havalimanına ait genel ve teknik bilgiler Çizelge 4.1.’de görülmektedir. Tezde çalışılan havalimanları Türkiye haritası üzerinde Şekil 4.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Tezin çalışma alanını oluşturan havalimanları

Gaziantep Havalimanı 1976 yılında hizmete girmiştir. Sivil statüdeki bir havalimanı olup iç ve dış hat uçuşları gerçekleştirilmektedir. 72 593 m² toplam terminal binası bulunmaktadır. 25 Aralık 2021 yılında hizmete giren terminal binası yılda 6 milyon yolcuya hizmet verme kapasitesine sahiptir. Adana Havalimanı 1937 yılında hizmete başlamış sivil bir havalimanıdır. 11 760 m² toplam terminal binası yıllık 3 milyon kapasiteyle iç ve dış hat yolcularına hizmet vermektedir. Gaziantep ve Adana Havalimanları, yeşil havalimanı ve engelsiz havalimanı sertifikalarına sahip olup işletmeleri DHMİ tarafından yapılmaktadır [81].

Türkiye başkenti Ankara’da bulunan Esenboğa Havalimanı sivil statüde olup iç ve dış hat terminalleri 2006 yılında hizmete girmiştir. 182 000 m² terminal alanı yıllık 20 milyon yolcu kapasitelidir. Adnan Menderes Havalimanı 1987 yılında hizmete girmiştir. 310 978 m² toplam terminal alanında yıllık 30 milyon yolcuya hizmet verme kapasitesine sahiptir. Muğla Milas-Bodrum Havalimanı 112 183 m² iç ve dış terminal alanıyla yıllık 5 milyon yolcuya hizmet verebilmektedir. Antalya Havalimanı 1960 yılında hizmete girmiştir. Bir adet iç hat terminali ve iki adet dış hatlar terminali yıllık 35 milyon yolcu kapasitelidir. Bu dört havalimanı TAV Havalimanları işletmesi tarafından işletilmektedirler. Sivil statüdeki dört havalimanı yeşil havalimanı ve engelsiz havalimanı sertifikalarına sahiptirler [82].

Çizelge 4.1. Havalimanları genel ve teknik bilgileri [16]

Havalimanı	ICAO kodu	IATA kodu	Havalimanı konum	İç ve dış hat toplam yıllık yolcu kapasitesi	Pist	Statü
İstanbul Havalimanı	LTFM	IST	41°16'31"N 28°45'07"E	200 milyon yolcu	16R/34L, 16L/34R, 17L/35R, 17R/35L, 18/36	Sivil
Sabiha Gökçen Havalimanı	LTFJ	SAW	40°53'54"N 29°18'33"E	41 milyon yolcu	06/24	Sivil
Antalya Havalimanı	LTAI	AYT	36°54'01"N 30°47'34"E	35 milyon yolcu	18R/36L, 18C/36C, 18L/36R	Sivil
Esenboğa Havalimanı	LTAC	ESB	40°07'41"N 32°59'42"E	20 milyon yolcu	03R/21L, 03L/21R	Sivil
Adnan Menderes Havalimanı	LTBJ	ADB	38°17'21"N 27°09'18"E	30 milyon yolcu	16L/34R, 16R/34L	Sivil
Dalaman Havalimanı	LTBS	DLM	36°42'45"N 28°47'29"E	10 milyon yolcu	01/19	Sivil-Askeri
Milas-Bodrum Havalimanı	LTFE	BJV	37°14'58"N 27°39'53"E	5 milyon yolcu	10R/28L, 10L/28R	Sivil
Adana Havalimanı	LTAF	ADA	36°58'56"N, 35°16'49"E	3 milyon yolcu	23 / 05	Sivil
Gaziantep Havalimanı	LTAJ	GZT	36°56'52"N 37°28'44"E	6 milyon yolcu	10/28	Sivil

Muğla ili sınırları içinde bulunan Dalaman Havalimanı yıllık 10 milyon yolcu kapasitesine sahiptir. Dalaman Havalimanı işletmesi YDA grup tarafından yapılmaktadır. İç ve dış hat uçak seferleri gerçekleştirilen havalimanında yaz dönemi turizm hareketliliğiyle beraber yurt dışı uçuş trafiği artış göstermektedir [83].

İstanbul'da yer alan iki büyük havalimanından biri olan Sabiha Gökçen Havalimanı, 2009 ve 2015 yılları arasındaki her yıl hizmet verilen yolcu sayısı ile Avrupa'nın büyüme hızı en yüksek havalimanı olma başarısını göstermiştir. Sabiha Gökçen Havalimanı 2021 yılında iç ve dış hat olmak üzere toplamda yaklaşık 25 milyon yolcuya hizmet vermiştir. Havalimanı yeşil havalimanı ve engelsiz havalimanı unvanlarına sahiptir [84].

İstanbul Havalimanı 29 Ekim 2018 yılında hizmete girmiştir. Dört safha halinde yapım aşaması tasarlanmıştır. Proje tamamlandığında toplamda altı pist ile uçuş operasyonları gerçekleştirilecektir. Yıllık 200 milyon yolcuya hizmet verebilme özelliğiyle Türkiye'nin en büyük havalimanı olarak faaliyet göstermektedir. Aralık 2022 itibariyle 262 varış noktasına uçuş düzenlenmektedir [89]. İstanbul Havalimanı'nda uçak yakıtları uçak park pozisyonlarına yer altı boru hatları ile ulaştırılmaktadır. Böylece tankerler ile uçaklara yakıt taşınmasının önüne geçilmektedir. Ayrıca park pozisyonuna ulaşan yakıtın uçaklara dolumunu sağlayan dizel araçlara göre düşük emisyonlu 50 adet elektrikli araç görev yapmaktadır [85].

Tez çalışma alanını oluşturan havalimanlarından İstanbul Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya Havalimanı Avrupa ve Dünya havalimanları arasında hava trafik yoğunluğu bakımından önemli hava yolu ulaşım merkezleri olarak faaliyet göstermektedir.

EUROCONTROL, yıl içerisinde hava trafiğine ilişkin belirli periyotlarda kapsamlı değerlendirme raporları yayımlamaktadır. İstanbul Havalimanı EUROCONTROL yıl sonu değerlendirme raporuna göre, 1 Ocak 2022 ile 6 Aralık 2022 tarihleri arasındaki periyotta günlük ortalama 1206 iniş kalkış sayısı ile Avrupa'daki en yoğun havalimanı olmuştur. İstanbul Havalimanı'nı günlük 1147 uçuşla Amsterdam Schiphol Havalimanı (Hollanda), 1120 uçuşla Paris Charles De Gaulle Havalimanı (Fransa) takip etmiştir. Ayrıca İstanbul Havalimanı Dünya genelindeki 40 en yoğun havalimanı içerisinde 10. sırada yer almıştır [86]. Özellikle yaz döneminde ciddi trafik artışı yaşayan Antalya Havalimanı gösterdiği performansla EUROCONTROL raporuna göre, 6-12 Ekim tarihleri arasında günlük 775 trafiğe hizmet vererek Avrupa'nın en yoğun 10. Havalimanı olmuştur [87].

Amerika Birleşik Devletleri'ne ait bir kuruluş olan Yeşil Bina Konseyi (USGBC), yapılara LEED sertifikası vermektedir. LEED sertifikalı binalar enerji tasarruflu, verimli, düşük karbon emisyonuna sahip ve insan yaşamı için daha sağlıklı ortamlar sağlayan binalardır [88]. Havalimanları da bu kapsamda çeşitli derecelerde LEED sertifikasına sahip olmaktadır. Türkiye'de İstanbul Havalimanı ve Sabiha Gökçen Havalimanı LEED Altın sertifikasına, Adnan Menderes Havalimanı LEED Gümüş sertifikasına sahiptir [84, 89-90]. Leed Altın sertifikasına sahip İstanbul Havalimanı'nda su tasarrufu sağlayan su bataryaları ve verimli aydınlatma ürünleri kullanılmaktadır. Yeşil alanlarda su ihtiyacı az olan bitkiler

seçilmektedir. Atık suların ve katı atıkların geri dönüşümünü sağlayan tesisler havalimanı bünyesinde faaliyet göstermektedir [91].

4.2. İniş Kalkış Döngüsünde (LTO) Uçak Emisyonlarının Hesaplanması

Tez çalışmasında nicel araştırma yöntemlerinden nedensel karşılaştırma araştırması kullanılmıştır. Nedensel karşılaştırma araştırması ile gerçekleşmiş bir olay ya da durumun nedenleri ve bu nedenleri etkileyen değişkenler veya bir etkinin sonuçları belirlenmektedir [92]. Tez çalışmasında 2019, 2020, 2021 yıllarına ait DHMİ hava trafik istatistiklerinin Covid 19 pandemisi etkisi altında nasıl bir değişim gösterdiği araştırma yöntemi doğrultusunda ortaya konulmuştur. Ayrıca seçilen dokuz havalimanındaki uçak emisyonlarının pandemi etkisiyle hangi miktarlarda ve yüzdelerde değiştiği, farklı uçak tiplerinin bu emisyonların oluşumuna etkileri ICAO 9889 Havalimanı Hava Kalitesi dökümanında sunulan LTO döngüsünde emisyon hesaplama metoduyla belirlenmiştir.

4.2.1. ICAO havalimanı hava kalitesi kılavuzu (ICAO 9889)

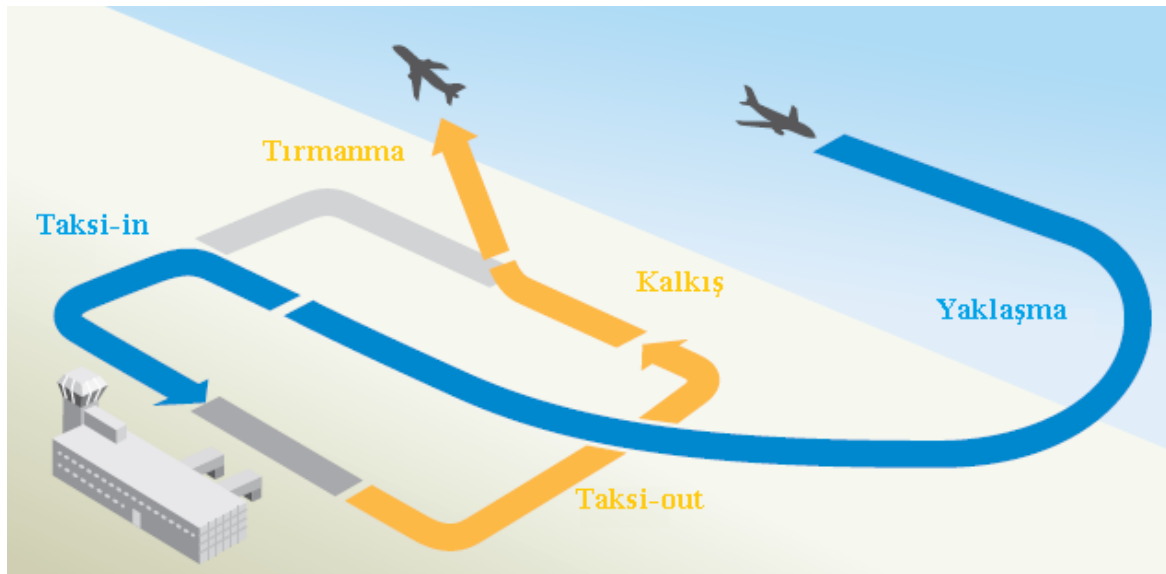
ICAO, uluslararası sivil havacılıkta teknik, ekonomik, organizasyonel ve hukuki alanlarda karar verici bir kuruluştur. Havacılığın çevreye etkileri konusunda çeşitli düzenlemeler ve geliştirmeler yapmaktadır. Havalimanları ile ilgili olarak 2020 yılında ICAO 9889 numaralı Havalimanı Hava Kalitesi Kılavuzu oluşturulmuştur. Bu kılavuz üye devletlerin havalimanları hava kalitesi ile ilgili en iyi uygulamaları gerçekleştirmeleri için gerekli öneri ve pratik bilgileri içermektedir. Emisyon envanteri ve kirletici konsantrasyonlarının dağılımının modellenmesi, hava kalitesinin değerlendirilmesi için iki ana konuyu oluşturmaktadır. Emisyon envanteri çevreye yayılan kirleticilerin miktarının belirler. Ayrıca raporlama, uyumluluk, kirliliği azaltmayı planlamada bir temel sağlar. Emisyon envanteri ve kirleticilerin yayılımının modellenmesi birlikte kullanılarak havalimanı çevresinde geçmişteki, mevcut ve gelecekteki kirlilik konsantrasyonlarının değerlendirilmesini mümkün kılar [18].

ICAO 9889 dökümanı üçüncü bölümde emisyon envanteri başlığı içerisinde aşağıdaki alt başlıklar incelenmiştir. Üçüncü bölüm 1 numaralı ekte ise uçak motoru emisyonlarının hesaplanması için metodolojiler bulunmaktadır.

- Giriş
- Emisyon envanteri parametreleri
- Emisyon türleri
- Havalimanı ile ilgili emisyon kaynakları
- Yerel ve bölgesel emisyonlar
- Kalite güvencesi
- Tahmin

4.2.2. ICAO, LTO döngüsü tanımı

LTO iniş kalkış döngüsü 914 metre (3 000 feet) altındaki gerçekleşen uçak aktivitelerinin toplamını ifade etmektedir. Bunlar: uçak motorunun rölanti çalışması, kalkış için pist başına yapılan taksi, iniş sonrası park pozisyonuna taksi, kalkış, tırmanış, alçalış ve iniş aşamalarıdır (Şekil 4.2). ICAO 2020 havalimanı hava kalitesi dökümanında bu safhalar için belirlenen standart değerler Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir. LTO döngüsünde meydana gelen kirleticiler atmosferik karışma yüksekliği altında ele alınmaktadır. Gerçek karışma yüksekliği konuma göre değişiklik göstermesine rağmen yaklaşık olarak 914 metre (3 000 feet) ortalama değeri belirlenmiştir. Karışma yüksekliği altında kalan kirleticiler yerel hava kalitesi üzerinde etkili olmaktadır [18].



Şekil 4.2. ICAO referans LTO döngüsü [93]

Havalimanlarında taksi, yaklaşma süreleri değişiklik göstermektedir. Örneğin; EUROCONTROL, 2023 mart ayında Avrupa'daki en yoğun beş havalimanının gerçek taksi sürelerine ait bir bülten yayımlamıştır. İlk sıradaki İstanbul Havalimanı minimum taksi-out süresi 16,4 dakika ve minimum taksi-in süresi 13,8 dakika olarak gerçekleşmiştir. Londra Heathrow Havalimanı için taksi-in 10,5 ve taksi-out 18,6 dakika olmuştur. Taksi trafiğinin tıkanıklık olmadığı zamanlarda ortalama taksi süresini aşan kısmı ek taksi-out süresi olarak tanımlanmıştır. Ek taksi-out süresi, trafik yoğunluğunun artışı ile İstanbul Havalimanı'nda için 2021 yılında 3,1 dakika olarak gerçekleşirken 2022 yılında 4 dakikaya yükselmiştir [94]. ICAO, LTO safha sürelerini sertifikasyon amacıyla tüm havalimanları için standart hale getirmiştir. ICAO 9889 dökümanına göre bir LTO için toplam taksi süresi 26, kalkış ve tırmanış 2,9, yaklaşma 4 dakikadır. Bu safhalardaki motor güç oranları takside %7, yaklaşımda %30, kalkışta %100 ve tırmanışta %85 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. LTO safha süreleri [18]

LTO aşaması	LTO süresi	İtke Ayarı
Yaklaşma	4 dakika	% 30
Kalkış	0,7 dakika	% 100
Tırmanma	2,2 dakika	% 85
Taksi	26 dakika	% 7

4.2.3. LTO döngüsü emisyon hesaplama yöntemi

ICAO 9889 dökümanı bir LTO döngüsünün bir iniş ve bir kalkıştan meydana geldiğini belirtmektedir. İniş ve kalkış sayıları eşit olmalıdır. Ancak bazen seyrüsefer hizmet sağlayıcılarının kayıtlarında hatalar olabileceği belirtilmiştir. Bu durumda LTO sayıları elde edilirken havalimanında gerçekleşen iniş kalkış sayısından büyük olanın kullanılmasını önerilmiştir [18]. Tezde kullanılan LTO sayıları DHMİ'nin yıllık olarak hazırladığı iniş kalkış trafiği istatistiklerine mail yoluyla ulaşılması ile elde edilmiştir. DHMİ'den elde edilen iniş kalkış sayılarındaki her ay incelenmiş faklılıkların olduğu iniş kalkış sayılarından büyük olan sayı alınarak Türkiye'deki en yoğun dokuz havalimanı için yıllık LTO sayıları toplamı elde edilmiştir. Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 bu kriter

dikkate alınarak oluşturulmuştur. Üç çizelgede 2019, 2020 ve 2021 yılları için gerçekleştirilen LTO sayıları bulunmaktadır.

ICAO uçak motoru emisyonlarının hesaplanması için döküman 9889'da üç metot belirlemiştir. Tezde LTO döngüsünde yaklaşık emisyon hesaplaması için ICAO 9889 dökümanı sayfa 35'de bulunan Eş. 4.1 ve Eşitlik 4.2 kullanılmıştır. Bu metot ile gerçek emisyon değerleri birebir hesaplanamasa da özellikle günlük, aylık, yıllık gibi belirli periyotlardaki emisyon miktarı değişiminin belirlenmesi için uygundur. Hesaplama için havalimanına iniş kalkış yapan uçakların sayısı ve uçak tiplerinin bilinmesi gereklidir. Bu veriler için Ek tablo 1'deki DHMİ istatistikleri kullanılmıştır. Diğer gerekli veri, uçakların emisyon indisleridir. Bu veri tablo halinde Ek 3'te verilmiştir [18]. Emisyon hesaplamasında ICAO'nun önerdiği Eş. 4.1 yardımıyla, belirli bir periyotta havalimanını kullanan her uçak tipi için LTO döngüsünde hesaplanmak istenen kirletici maddenin emisyon faktörü ile uçak tipinin gerçekleştirdiği LTO sayısı çarpılır. Bütün uçak tipleri için aynı hesaplama yapıldıktan sonuçlar toplanır ve havalimanı için hesaplanmak istenen kirletici madde miktarı kilogram cinsinden elde edilir. Uçak tipine göre tüketilen yaklaşık yakıt miktarı ise Eş. 4.2 ile hesaplanır. Uçak tipine ait toplam harcanan yakıt miktarı bir LTO'da tüketilen yakıt tüketim miktarı ile gerçekleştirilen LTO sayısı çarpımı ile elde edilir. İşlem tüm uçak tipleri için yapıldıktan sonra sonuçlar toplanarak yaklaşık toplam yakıt tüketim değeri elde edilir [18]. ICAO 9889 dökümanındaki emisyon ve yakıt tüketimi için kullanılan bu eşitlikler, IPCC'nin Tier 2 metodu ile matematiksel olarak temelde aynıdır [40]. Ancak tezde kullanılan ICAO yöntemi uçak emisyon tablosunda bulundurduğu A20N gibi yeni nesil uçaklara ait emisyon faktörleri ile avantaj sağlamaktadır. Ayrıca bütün uçak tiplerine ait güncel LTO emisyon faktörleri daha doğru emisyon sonuçları elde etmek için önem taşımaktadır.

$$A \text{ kirleticisi Emisyonu} = \sum (A \text{ uçak tipi LTO sayısı}) \times (A \text{ kirleticisi Emisyon Faktörü}) [18] \quad (4.1)$$

$$\text{Yakıt Tüketimi} = \sum (\text{uçak tipi LTO sayısı}) \times (\text{uçak tipi Yakıt Tüketim Faktörü}) [18] \quad (4.2)$$

DHMİ'den alınan yıllık hava trafik istatistikleri içerisinde havalimanlarına en çok iniş kalkış gerçekleştiren dokuz uçak tipi seçilmiştir. Bu uçak tipleri A20Neo, A21Neo, A320, A321, A330, A332, A333, B738 ve B739'dur. A20Neo ve A21Neo uçak tipleri Airbus üretimi olan yeni nesil uçak tiplerini ifade etmektedir. Bu uçaklarda yakıt tasarrufu sağlayan motor tipleri bulunmaktadır. Dokuz ayrı uçak tipi için ICAO 9889 dökümanı

emisyon faktörleri baz alınarak emisyon hesaplaması yapılmıştır. Bazı uçak tipleri aynı emisyon faktörüne sahiptir. Airbus üretimi A330, A332, A333'ün ICAO emisyon faktörleri aynıdır. Benzer şekilde Boeing üretimi B738 ve B739'un ICAO emisyon faktörleri aynıdır.

ICAO, LTO emisyonları için Eş. 4.1 ile yakıt yanma aktivitesi sonucu oluşan ve sera gazı etkisine neden olan HC, NO_x, CO, ve CO₂ maddeleri için 63 uçak tipine ait emisyon faktörlerini belirlemiştir [Ek-3]. Tez çalışmasında CO₂, NO_x, HC maddelerinin emisyon değerleri ve uçakların yakıt tüketim miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan uçak tiplerinin ICAO döküman 9889'daki kirletici türlerine ait emisyon faktörleri ve uçaklara ait bir LTO'da tüketilen yakıt miktarı, kilogram cinsinden Çizelge 4.3.'te gösterilmiştir. Bir LTO için en çok emisyonu sebep olan uçak türü A330-A332-A333, 7052 kg CO₂, 1,28 kg HC, 35,57 NO_x oluşturmaktadır. Bu uçaklar 2232 kg yakıt tüketimi yapmaktadırlar. Bir LTO için en az emisyonu sebep olan uçak türü A320Neo 1981 kg CO₂, 0,10 kg HC, 5,95 kg NO_x oluşturmaktadır. A320Neo LTO başına 627 kg yakıt tüketmektedir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Tezde çalışılan uçak tiplerinin LTO emisyon faktörleri ve yakıt tüketim değerleri [Ek-3]

UÇAK TİPİ	CO ₂	HC	NO _x	YAKIT TÜKETİMİ
A320	2665	0,34	9,90	843
A20Neo	1981	0,10	5,95	627
A321	3195	0,17	16,23	1011
A21Neo	2373	0,09	10,76	751
A330-332-333	7052	1,28	35,57	2232
B738-B739	2784	0,72	12,30	881

LTO döngüsünde emisyon hesaplaması yapılabilmesi için uçak tiplerine ait LTO sayıları gerekmektedir. Çizelge 4.4'te havalimanlarında gerçekleşen 2019 yılına ait LTO sayıları bulunmaktadır. 2019 yılının toplam LTO sayılarının üç yıl içinde en fazla olduğu görülmüştür. İstanbul Havalimanı'nın LTO sayısı 135 874 olmuştur. İkinci sıradaki Sabiha Gökçen Havalima'nın LTO sayısı 112 949 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. 2019 yılında havalimanlarındaki LTO sayıları

Havalimanı Uçak Tipi	İstanbul Havalimanı	Sabiha Gökçen Havalimanı	Antalya Havalimanı	Esenboğa Havalimanı	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	Dalaman Havalimanı	Milas-Bodrum Havalimanı	Adana Şakirpaşa Havalimanı	Gaziantep Havalimanı
A20N	470	25 284	6317	1490	1349	1146	1154	1127	582
A21N	4667	342	301	128	140	124	92	189	58
A320	13 442	21 654	16 434	3663	3445	2104	2953	1118	447
A321	47 195	822	18 301	2449	2147	2863	1636	2064	1255
A330-A332-A333	25 336	632	2643	853	842	224	26	298	110
B738-B739	44 764	64 215	40 257	34 784	28 771	6333	7184	10 998	5532
Toplam	135 874	112 949	84 253	43 367	36 694	12 794	13 045	15 794	7984

Çizelge 4.5.'te havalimanlarında gerçekleşen 2020 yılına ait LTO sayıları bulunmaktadır. 2020 yılının toplam LTO sayılarının üç yıl içinde en az olduğu görülmüştür. İstanbul Havalimanı'nın LTO sayısı 72 516 olmuştur. İkinci sıradaki Sabiha Gökçen Havalima'nın LTO sayısı 61 045 olarak hesaplanmıştır. En az LTO sayısı Milas-Bodrum Havalimanı'nda 4942 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. 2020 yılında havalimanlarındaki LTO sayıları

Havalimanı Uçak Tipi	İstanbul Havalimanı	Sabiha Gökçen Havalimanı	Antalya Havalimanı	Esenboğa Havalimanı	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	Dalaman Havalimanı	Milas-Bodrum Havalimanı	Adana Şakirpaşa Havalimanı	Gaziantep Havalimanı
A20N	1041	16 204	2902	1225	4238	785	664	900	593
A21N	6179	952	455	60	54	208	102	85	25
A320	8542	8407	2887	1443	2282	854	718	534	280
A321	19 138	962	3950	825	651	665	707	641	414
A330-A332-A333	10 628	180	437	286	209	11	5	218	12
B738-B739	26 988	34 340	34 784	15 549	12 023	2860	2746	6363	3769
Toplam	72 516	61 045	45 415	19 388	19 457	5383	4942	8741	5093

Çizelge 4.6'te havalimanlarında gerçekleşen 2021 yılına ait LTO sayıları bulunmaktadır. 2021 yılının toplam LTO sayısı, 2020 yılından fazla ancak 2019 yılından az olmuştur. İstanbul Havalimanı'nın LTO sayısı 96 198 olmuştur. İkinci sıradaki Sabiha Gökçen

Havalima'nın LTO sayısı 86 663 olarak hesaplanmıştır. En az LTO sayısı Gaziantep Havalimanı'nda 6172 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. 2021 yılında havalimanlarındaki LTO sayıları

Havalimanı Uçak Tipi	İstanbul Havalimanı	Sabiha Gökçen Havalimanı	Antalya Havalimanı	Esenboğa Havalimanı	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	Dalaman Havalimanı	Milas-Bodrum Havalimanı	Adana Şakirpaşa Havalimanı	Gaziantep Havalimanı
A20N	1518	26 402	4680	1297	5694	1098	1306	1303	537
A21N	15 534	3598	747	153	245	73	147	256	103
A320	8390	10 871	7014	5100	2678	1082	1249	870	501
A321	27 902	2190	8040	995	785	955	1109	715	700
A330-A332-A333	16 788	110	1365	211	75	95	196	274	0
B738-B739	26 066	43 492	31 859	16 241	14 509	3947	5054	7767	4331
Toplam	96 198	86 663	53 705	23 997	23 986	7250	9061	11 185	6172

5. HESAPLAMALAR SONUCUNDA ELDE EDİLEN BULGULAR

Tezdeki bulgular, DHMİ veri seti ve ICAO emisyon veri tabanı verilerinin emisyon hesaplama eşitliklerinde kullanılması sonucunda elde edilerek yıllar, havalimanları, hava kirleticileri ve uçak tiplerine göre çizelge ve grafiklerle ortaya konulmuştur. Böylece hava trafik sayılarının ve emisyon değerlerinin farklı açılardan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bulgular hava trafik sayılarının ve hava kirleticilerinin yıllara bağlı değişim yüzdelelerini ve miktarlarını göstermektedir. Ayrıca havalimanlarının, uçak tiplerinin, emisyon miktarlarının karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır.

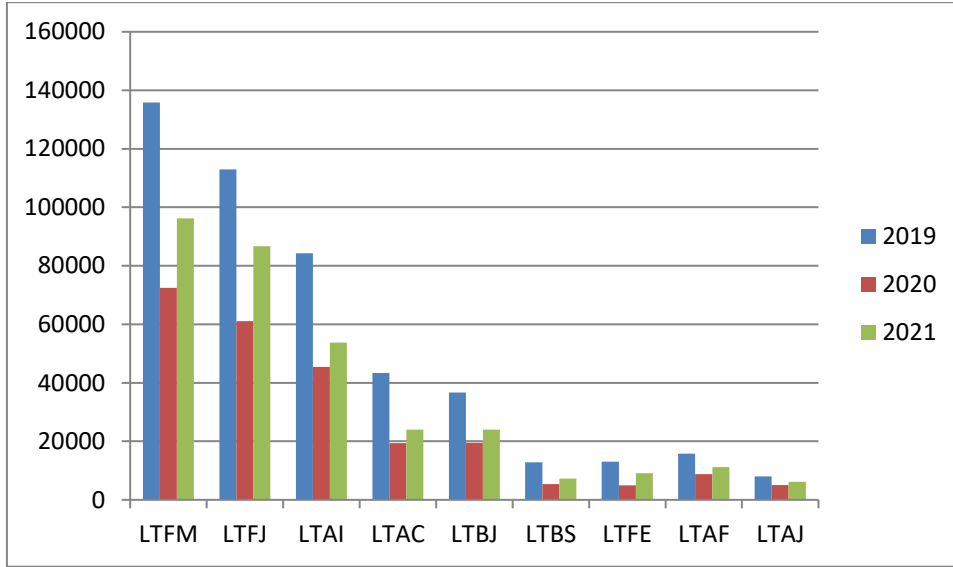
5.1. 2019, 2020 ve 2021 Yılı Hava Trafik ve LTO Sayıları

Havalimanlarındaki iniş kalkış ve LTO sayıları ayrı grafikler ve çizelgelerde gösterilmiştir. Çizelge 5.1.' de tezde çalışılan dokuz havalimanının 2019, 2020, 2021 yılları toplam iniş kalkış sayıları görülmektedir. Çizelge 5.2.'de ise üç yıl için emisyon hesaplaması yapılan dokuz uçak tipinin havalimanlarına gerçekleştirmiş olduğu iniş kalkış sayıları görülmektedir. Emisyon hesaplaması yapılan uçak tiplerinin iniş kalkış sayısı, havalimanlarındaki toplam iniş kalkış trafiğinin yaklaşık %81'ini oluşturmaktadır. Çizelge 5.1.'deki İniş kalkış sayılarına bakıldığında üç yıllık periyotta en yoğun havalimanının toplam 794 833 iniş kalkış ile İstanbul Havalimanı olduğu görülmektedir. Yıllara göre havalimanları iniş kalkış sayılarının toplamı ise 2019 yılı için 925 631, 2020 yılı için 445 112, 2021 yılı için 643 783 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.1. Havalimanlarının üç yıllık bütün uçak tiplerine ait toplam iniş kalkış sayıları

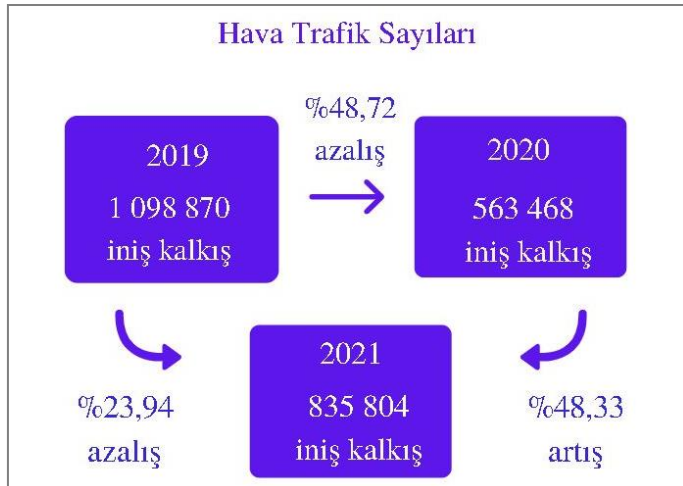
Yıl	İstanbul Havalimanı	Sabiha Gökçen Havalimanı	Antalya Havalimanı	Esenboğa Havalimanı	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	Dalaman Havalimanı	Milas-Bodrum Havalimanı	Adana Şakirpaşa Havalimanı	Gaziantep Havalimanı	Toplam
2019	329 900	235 717	212 518	99 242	83 585	42 713	34 984	40 658	19 553	1 098 870
2020	185 424	126 310	71 180	50 394	46 001	23 900	18 137	27 539	14 583	563 468
2021	279 509	181 311	140 592	61 189	58 296	31 722	29 755	36 961	16 469	835 804
Toplam	794 833	543 338	424 290	210 825	187 882	98 335	82 876	105 158	50 605	2 498 142

Havalimanlarının LTO sayıları grafik olarak Şekil 5.1.'de görülmektedir. Tüm havalimanlarının 2020 yılında LTO sayılarında düşüş olmuştur. 2021 yılında ise LTO sayılarında artış yaşanmıştır. LTO sayılarında en yoğun havalimanları sırasıyla İstanbul Yeni Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya havalimanı olmuştur. Dokuz havalimanı içinde en az LTO Gaziantep Havalimanında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.1. 2019, 2020, 2021 yılları havalimanlarındaki LTO sayıları

İniş kalkış trafiğinin üç yıl içindeki yüzdesel değişimi Şekil 5.2.'de görülmektedir. Covid 19 pandemisinin etkisiyle dokuz havalimanındaki 2020 yılı uçuş trafiği 2019 yılına göre % 48,72 oranında azalmıştır. 2021 yılında uçuş trafiği bir önceki yıla göre %48,33 oranında artmasına rağmen 2019 yılı uçuş sayısı yakalanamamıştır.



Şekil 5.2. Üç yıla ait iniş kalkış sayılarının değişim yüzdeleri

Çizelge 5.2.'de ise üç yıl için emisyon hesaplaması yapılan dokuz uçak tipinin havalimanlarına gerçekleştirmiş olduğu iniş kalkış sayıları görülmektedir. İniş kalkış sayılarında İstanbul Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı, Antalya havalimanı en yoğun havalimanları olmuştur. 2020 yılı iniş kalkış sayıları 2019 ve 2021 yılının gerisinde kalmıştır.

Çizelge 5.2. Emisyon hesaplaması yapılan uçakların üç yıla ait toplam iniş kalkış sayıları

	İstanbul Havalimanı	Sabiha Gökçen Havalimanı	Antalya Havalimanı	Esenboğa Havalimanı	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	Dalaman Havalimanı	Milas-Bodrum Havalimanı	Adana Şakirpaşa Havalimanı	Gaziantep Havalimanı	Toplam
2019	271 499	225 730	168 360	87 713	73 312	25 553	26 064	31 550	15 850	925 631
2020	144 748	121 828	53 879	38 587	38 834	10 741	8870	17 457	10 168	445 112
2021	197 049	173 012	107 243	47 909	48 095	14 467	18 092	25 605	12 311	643 783
Toplam	613 296	520 570	329 482	174 209	160 241	50 761	53 026	74 612	38 329	

5.2. 2019, 2020 ve 2021 Yılı Hava Kirleticileri ve Yakıt Tüketimi

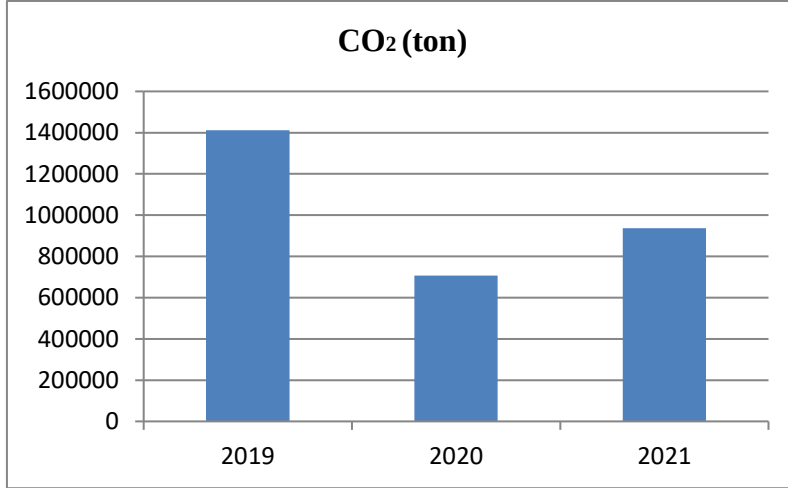
Havalimanlarının üç yıllık hava kirleticisi miktarları Çizelge 5.3. ve Şekil 5.3.'te gösterilmiştir. Covid 19 pandemisinden etkilenmeyen 2019 yılı hava trafik verileri ile yapılan hesaplamalar sonucunda yaklaşık bir buçuk milyon ton CO₂ salınımı ve yaklaşık 450 bin ton yakıt tüketimi gerçekleştiği tespit edilmiştir. Üç yıl toplamında ise yaklaşık 3 milyon ton CO₂, 548 ton HC, 13 bin ton NO_x salınımı ile beraber yaklaşık 966 bin ton yakıt tüketimi gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.3. Yıllara göre hava kirleticileri ve yakıt tüketim değerleri (Kg)

	CO ₂	HC	NO _x	YAKIT TÜKETİMİ
2019	1 411 319 592	254 485,71	6 308 760,45	446 603 162
2020	706 964 982	132 885,91	3 109 040,7	223 717 562
2021	937 064 215	161 291,15	4 128 296,02	296 532 961

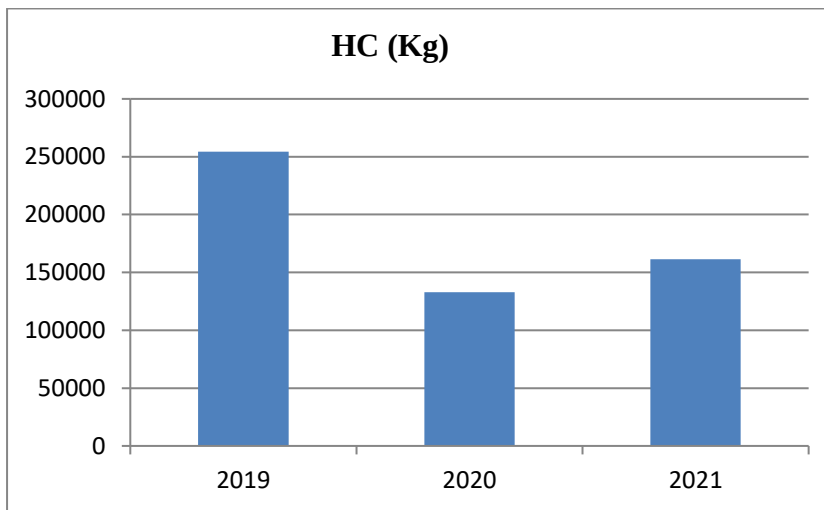
Uçuşlar kaynaklı hava kirleticileri ve yakıt tüketim miktarları Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6'da gösterilmiştir. 2019, 2020, 2021 yıllarında dokuz havalimanında uçuş gerçekleştiren dokuz uçak tipinin meydana getirdiği CO₂ miktarları Şekil 5.3.'te

görülmektedir. 2019 yılında yaklaşık 1 milyon 400 bin ton olan CO₂ salınımı, 2020 yılında 700 bin tonun üzerinde, 2021 yılında ise 900 bin tonun üzerinde gerçekleşmiştir. Grafikte görüldüğü şekilde en çok CO₂ 2019 yılında, daha sonra ise 2021 ve 2020 yıllarında meydana gelmiştir.



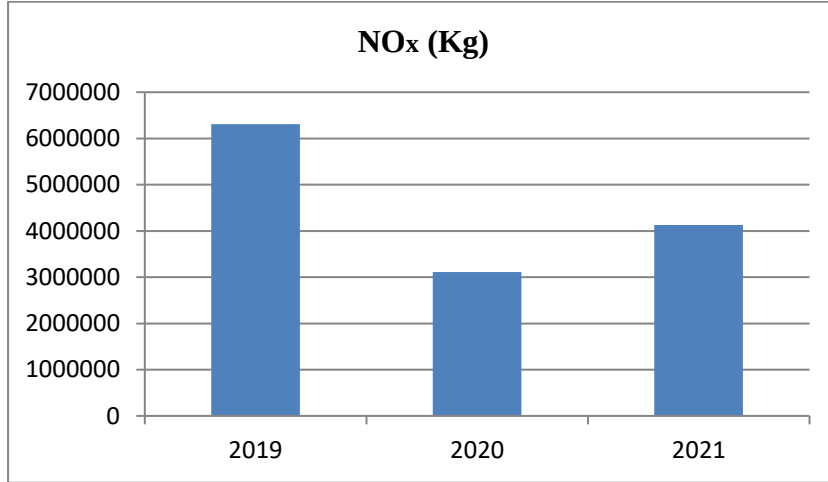
Şekil 5.3. Yıllara göre CO₂ emisyon miktarları

Havalimanlarında dokuz uçak tipinin oluşturduğu toplam HC miktarı Kg cinsinden Şekil 5.4.'te verilmiştir. 2019 yılında yaklaşık 255 ton, 2020 yılında yaklaşık 133 ton ve 2021 yılında yaklaşık 162 ton HC emisyonu meydana gelmiştir. HC emisyon miktarı en çok 2019 yılında en az 2020 yılında meydana gelmiştir.



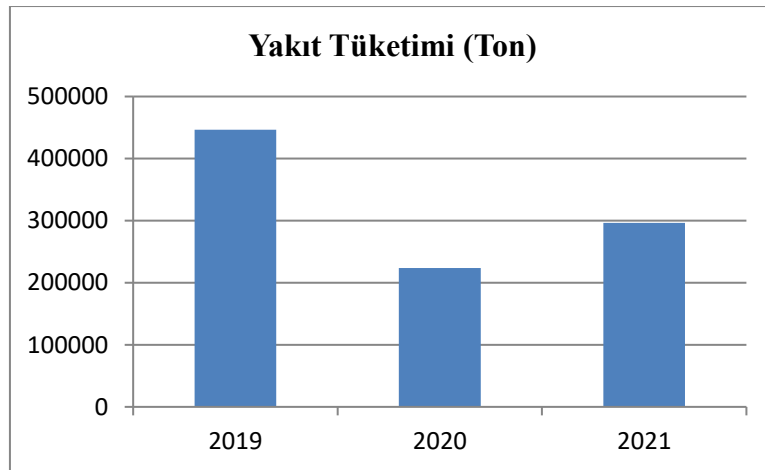
Şekil 5.4. Yıllara göre HC emisyon miktarları

Şekil 5.5.'te toplam NO_x emisyon miktarları kg cinsinden görülmektedir. En çok NO_x emisyonu 2019 yılında meydana gelmiştir. 2019 yılında yaklaşık 631 ton, 2020 yılında yaklaşık 311 ton ve 2021 yılında yaklaşık 413 ton NO_x salınımı olmuştur.



Şekil 5.5. Yıllara göre NO_x emisyon miktarları

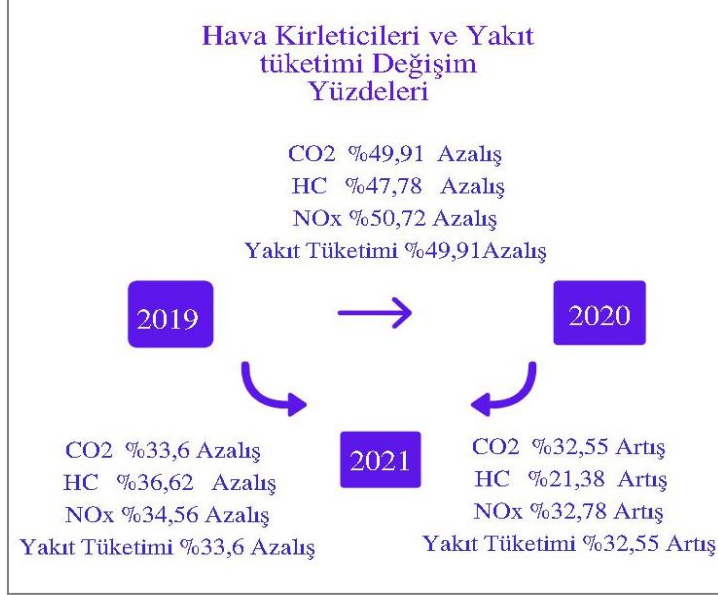
Üç yıla ait toplam yakıt tüketim miktarları ton cinsinden Şekil 5.6.'da görülmektedir. En çok yakıt tüketiminin olduğu 2019 yılında yaklaşık 447 bin ton yakıt tüketimi olmuştur. 2020 yılında yaklaşık 224 bin ton ve 2021 yılında yaklaşık 297 bin ton toplam yakıt tüketimi yapılmıştır.



Şekil 5.6. Yıllara göre yakıt tüketim miktarları

Hava kirleticileri ve yakıt tüketim miktarlarının üç yıllık dönemdeki yüzdesel değişimi Şekil 5.7. 'de gösterilmiştir. CO₂ emisyonu 2021 yılında 2020 yılına göre %32,55 artış, 2019 yılına göre %33,6 azalış göstermiştir. HC emisyonu 2021 yılında 2020 yılına göre

%21,38 artış, 2019 yılına göre %36,62 azalış göstermiştir. NO_x emisyon miktarı 2021 yılında 2020 yılına göre %32,78 artış, 2019 yılına göre %34,56 azalış göstermiştir. Yakıt tüketim miktarlarına bakıldığında ise 2021 yılında 2020 yılına göre %32,55 artış, 2019 yılına göre %33,6 azalış görülmüştür.



Şekil 5.7. Hava kirleticileri ve yakıt tüketim miktarları yıllık değişim oranları

5.3. Havalimanlarında Gerçekleşen Emisyon ve Yakıt Tüketim Değerleri

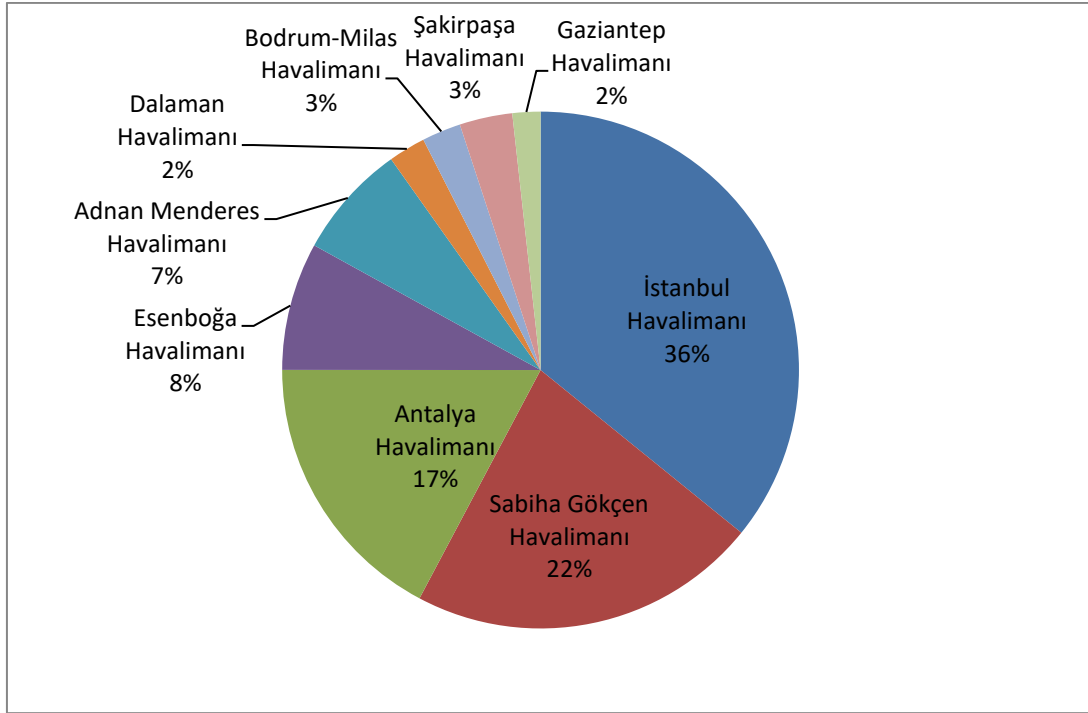
Tez konusu olan dokuz havalimanındaki emisyon ve yakıt tüketim değerleri hesaplanarak toplam hava kirleticileri ve tüketilen yakıt miktarları Çizelge 5.4'te gösterilmiştir. Grafiklerde havalimanlarında gerçekleşen emisyon ve yakıt tüketimlerinin yüzdesel dağılımları gösterilmiştir. İstanbul Havalimanı en çok CO₂, HC, NO_x emisyonunun gerçekleştiği havalimanı olmuştur. Aynı şekilde en çok yakıt tüketimi yine İstanbul Havalimanı'nda gerçekleşmiştir. Gaziantep ve Dalaman Havalimanı en az emisyon ve yakıt tüketimi görülen havalimanları olmuştur.

Çizelge 5.4. Havalimanlarının üç yıl toplam hava kirleticileri ve yakıt tüketim miktarları (Kg)

	CO ₂	HC	NO _x	YAKIT
İstanbul Havalimanı	1 094 960 140	166 975,73	5 211 558,04	346 507 552
Sabiha Gökçen Havalimanı	669 840 308	125 275,74	2 706 281,88	211 965 623
Antalya Havalimanı	527 018 798	98 286,14	2 324 189,41	166 768 172
Esenboğa Havalimanı	244 457 626	54 288,91	1 064 746,01	77 356 126
Adnan Menderes Havalimanı	219 140 522	45 893,86	933 485,9	69 345 879
Dalaman Havalimanı	70 960 219	12 358,26	308 495,53	22 454 271
Milas-Bodrum Havalimanı	74 455 037	13 681,77	319 368,48	23 559 939
Adana Şakirpaşa Havalimanı	101 029 882	20 922,94	44 3165,4	31 970 654
Gaziantep Havalimanı	53 486 257	10 979,39	234 806,94	16 925 469
Toplam	3 055 348 789	548 662,74	13 546 097,59	966 853 685

5.3.1. Havalimanları CO₂ emisyonu hesaplamaları

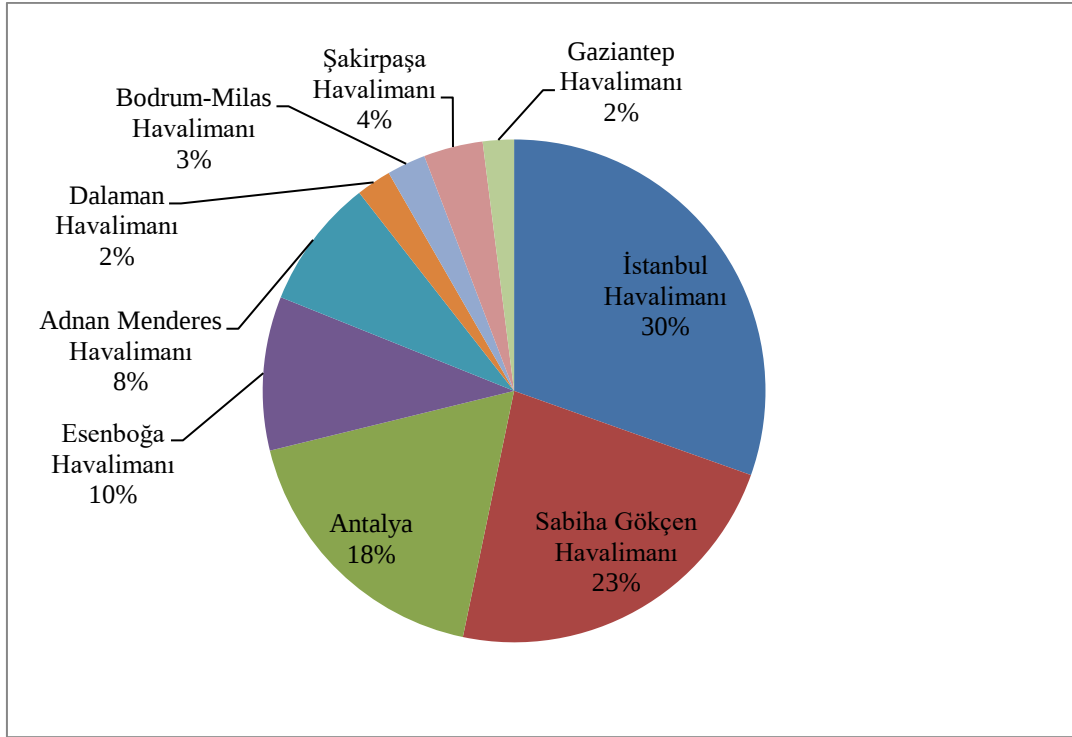
Havalimanlarındaki toplam CO₂ emisyonu sonuçları Şekil 5.8.'de görülmektedir. İstanbul Havalimanı toplam CO₂ salınımının %36'sını meydana getirmiştir. Sabiha Gökçen Havalimanı %22, Antalya Havalimanı %17'lik CO₂ salınım yüzdesiyle İstanbul Havalimanını takip etmiştir. Bu üç havalimanının toplam CO₂ emisyonunun %75'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. En çok CO₂ emisyonu gerçekleştiren en az emisyon CO₂ emisyonu gerçekleştiren havalimanı sıralaması; İstanbul Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı, Antalya Havalimanı, Esenboğa Havalimanı, Adnan Menderes Havalimanı, Şakirpaşa Havalimanı, Bodrum-Milas Havalimanı, Dalaman Havalimanı, Gaziantep Havalimanı şeklinde olmuştur.



Şekil 5.8. Havalimanları CO₂ emisyon yüzdeleri

5.3.2. Havalimanları HC emisyonu hesaplamaları

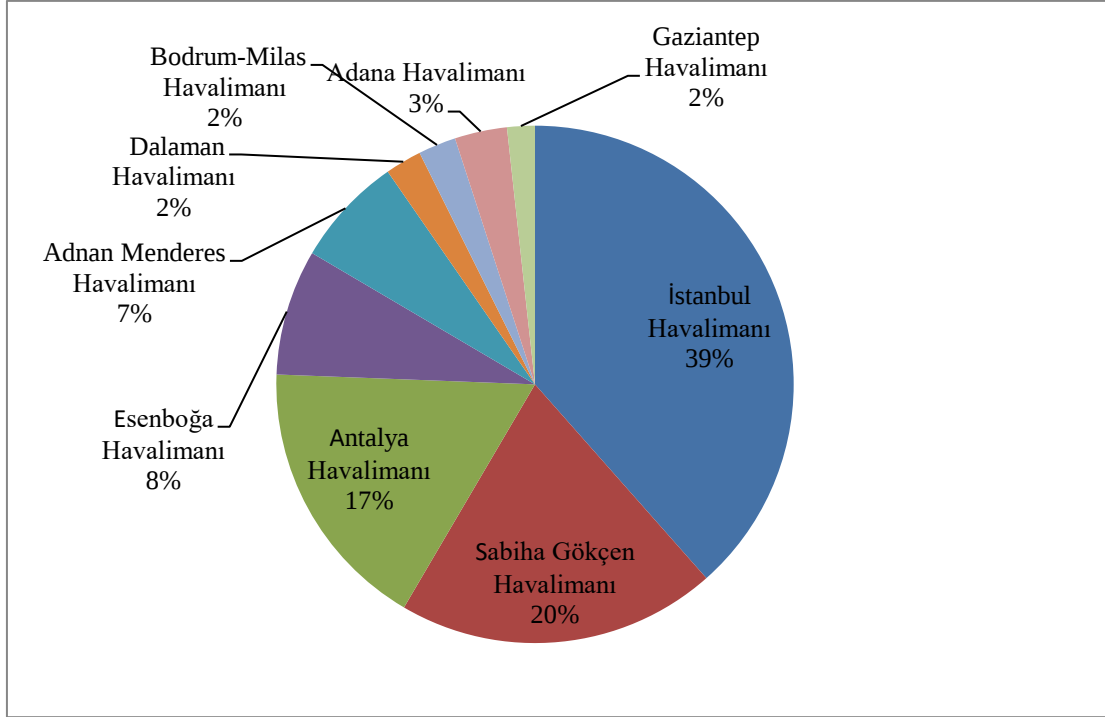
Havalimanlarındaki toplam HC emisyonu sonuçları Şekil 5.9.'da görülmektedir. İstanbul Havalimanı yaklaşık 167 ton HC salınımı ile en yüksek değere sahiptir. İstanbul Havalimanı HC emisyonu, Esenboğa Havalimanı, Gaziantep Havalimanı, Dalaman Havalimanı, Bodrum-Milas Havalimanı ve Adana Havalimanı'nın toplam HC emisyonundan fazladır. Sabiha Gökçen ve Antalya Havalimanı HC emisyonlarının toplam içerisindeki yüzdeleri sırasıyla %23 ve %18 olarak gerçekleşmiştir. En çok HC emisyonu gerçekleştiren en az emisyon HC emisyonu gerçekleştiren havalimanı sıralaması; İstanbul Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı, Antalya Havalimanı, Esenboğa Havalimanı, Adnan Menderes Havalimanı, Şakirpaşa Havalimanı, Bodrum-Milas Havalimanı, Dalaman Havalimanı, Gaziantep Havalimanı şeklinde olmuştur.



Şekil 5.9. Havalimanları HC emisyon yüzdeleri

5.3.3. Havalimanları NO_x emisyonu hesaplamaları

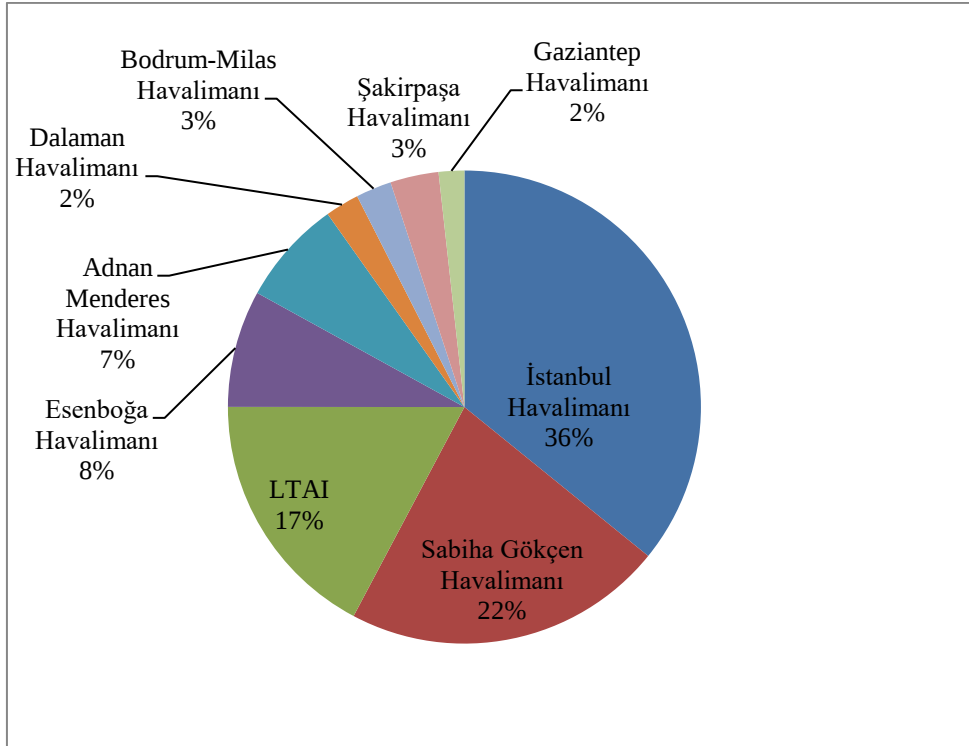
Havalimanlarının LTO döngüsündeki NO_x emisyon değerlerine bakıldığında İstanbul Havalimanında yaklaşık 5200 ton, Sabiha Gökçen Havalimanında 2706 ton, Antalya Havalimanında 2324 ton NO_x salınımı meydana gelmiştir (Çizelge 5.4). Dalaman, Gaziantep, Bodrum-Milas ve Adana havalimanlarının birarada oluşturduğu NO_x salınımı toplam HC emisyonunda %9'luk bir paya sahiptir. Esenboğa ve Adnan Menderes Havalimanının %7 ve %8'lik birbirine yakın NO_x yüzdeleri bulunmaktadır. En çok NO_x emisyonu gerçekleştiren en az emisyon NO_x emisyonu gerçekleştiren havalimanı sıralaması; İstanbul Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı, Antalya Havalimanı, Esenboğa Havalimanı, Adnan Menderes Havalimanı, Şakirpaşa Havalimanı, Bodrum-Milas Havalimanı, Dalaman Havalimanı, Gaziantep Havalimanı şeklinde olmuştur (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Havalimanları NO_x emisyon yüzdeleri

5.3.4. Havalimanları yakıt tüketim hesaplamaları

LTO döngüsünde uçaklar tarafından tüketilen yakıt miktarı tahmini olarak hesaplanabilmektedir. Çizelge 5.4'te hesaplama sonucu elde edilen 2019, 2020, 2021 yıllarına ait toplam yakıt tüketim değerleri görülmektedir. LTO sayısının en yüksek olduğu İstanbul Havalimanı ve Sabiha Gökçen havalimanlarında yüksek yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. İki havalimanı, dokuz havalimanında tüketilen toplam yakıt miktarının %58'ini oluşturmuştur. En az yakıt tüketim değeri Gaziantep Havalimanında 16 925 ton olarak gerçekleşmiştir. En çok yakıt tüketimi gerçekleştiren en az emisyon yakıt tüketimi gerçekleşen havalimanı sıralaması; İstanbul Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı, Antalya Havalimanı, Esenboğa Havalimanı, Adnan Menderes Havalimanı, Şakirpaşa Havalimanı, Bodrum-Milas Havalimanı, Dalaman Havalimanı, Gaziantep Havalimanı şeklinde olmuştur (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Havalimanları yakıt tüketim yüzdeleri

5.4. Uçak Tiplerine Göre Gerçekleşen Emisyon ve Yakıt Tüketim Değerleri

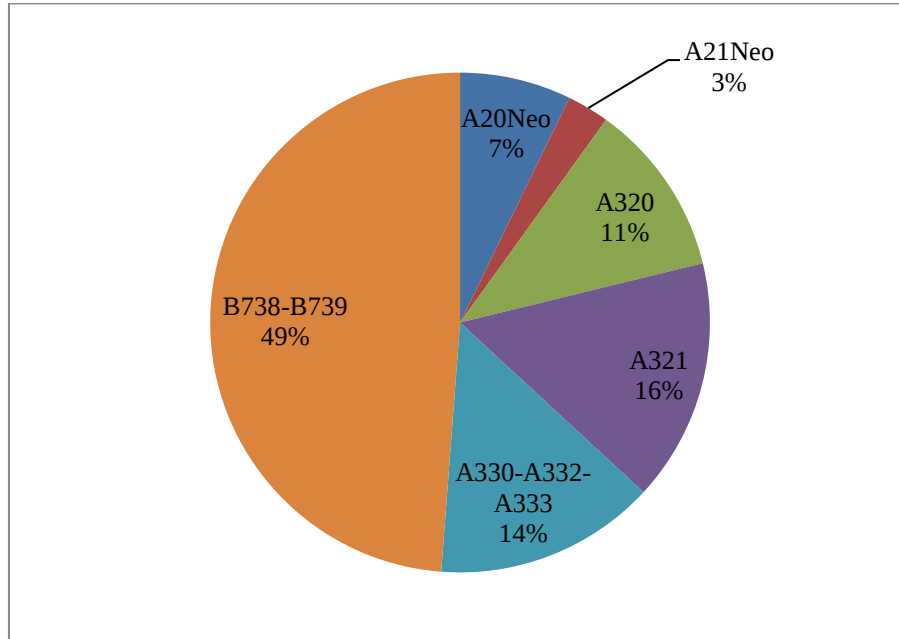
LTO döngüsünde her uçak tipi için ICAO'nun belirlediği emisyon ve yakıt tüketim faktörleri bulunmaktadır. Emisyon faktörleri kullanılarak uçak tipinin meydana getirdiği kirlenici ve yakıt tüketim miktarı hesaplanabilir. Tez için kullanılan dokuz farklı uçak tipi için üç yıllık periyotta hava kirlenicileri ve yakıt tüketim yüzdeleri grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 5.12-Şekil 5.15). Çizelge 5.5.'te ise uçak tiplerinin üç yılda meydana getirdiği hava kirlenici ve yakıt tüketim miktarları bulunmaktadır. Hava kirlenici türlerinde en çok emisyon miktarı oluşturan uçak tipleri B738-B739 uçakları olmuştur. Bu uçaklar yaklaşık 1 milyon 491 ton CO₂ emisyonu ve yaklaşık 472 bin ton yakıt tüketimi yapmışlardır. En az emisyon oluşturan uçak tipi A321Neo olmuştur. Yaklaşık 83 bin ton CO₂ emisyonu ve 26 bin ton yakıt tüketimi yapmıştır. HC emisyonunda en çok miktarı oluşturan B738-B739 uçak tiplerini, A330-A332-A333 uçakları yaklaşık 80 tonla ikinci sırada izlemiştir. NO_x emisyonunda B738-B739 yaklaşık 6 bin tonun üzerinde kirlenici miktarı ile ilk sırada yer alırken, ikinci sıradaki A321 2 bin tonun üzerinde NO_x oluşturmuştur.

Çizelge 5.5. Uçak tiplerine ait üç yıllık toplam kirletici ve yakıt tüketim miktarları (Kg)

Uçak Tipi	CO ₂	HC	NO _x	Yakıt Tüketimi
A20Neo	220 497 186	11 130,6	662 270,7	69 788 862
A21Neo	83 095 341	3 151,53	376 782,92	26 297 767
A320	343 683 730	43 847,08	1 276 723,8	108 714 966
A321	479 492 820	25 512,92	2 435 733,48	151 726 836
A330-A332-A333	437 675 328	79 441,92	2 207 616,48	1385 26 848
B738-B739	1 490 904 384	385 578,72	6 586 969,8	471 798 406

5.4.1. Uçak tipleri CO₂ emisyon hesaplamaları

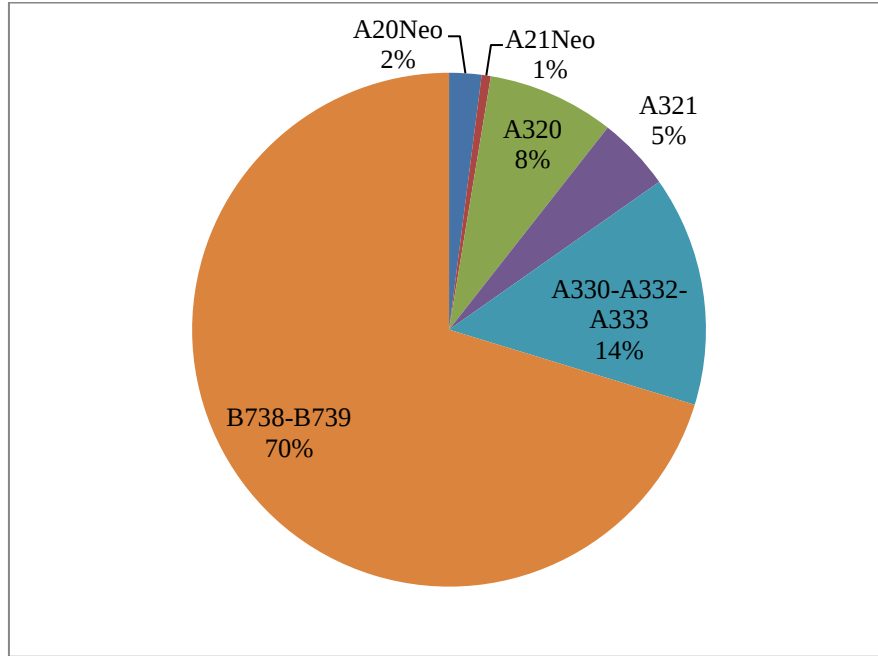
Uçak tiplerinin dokuz havalimanı için üç yıllık periyottaki CO₂ emisyonu miktarlarının yüzdesel payları Şekil 5.12.'de görülmektedir. B738-739 uçak tipleri toplam CO₂ emisyonunun neredeyse %50'sini meydana getirmiştir. Bu uçak tiplerini sırasıyla A321 %16, A330-A332-A333 %14, A320 %11, A320Neo %7, A321Neo %3 ile takip etmiştir.

Şekil 5.12. Uçak tipleri CO₂ emisyon yüzdeleri

5.4.2. Uçak tipleri HC emisyon hesaplamaları

Uçak tiplerinin meydana gelen toplam HC emisyonu içerisindeki yüzdeleri Şekil 5.13.'te gösterilmiştir. B738-B739'un CO₂ emisyonunda %49 olan yüzdesi HC emisyonunda %70

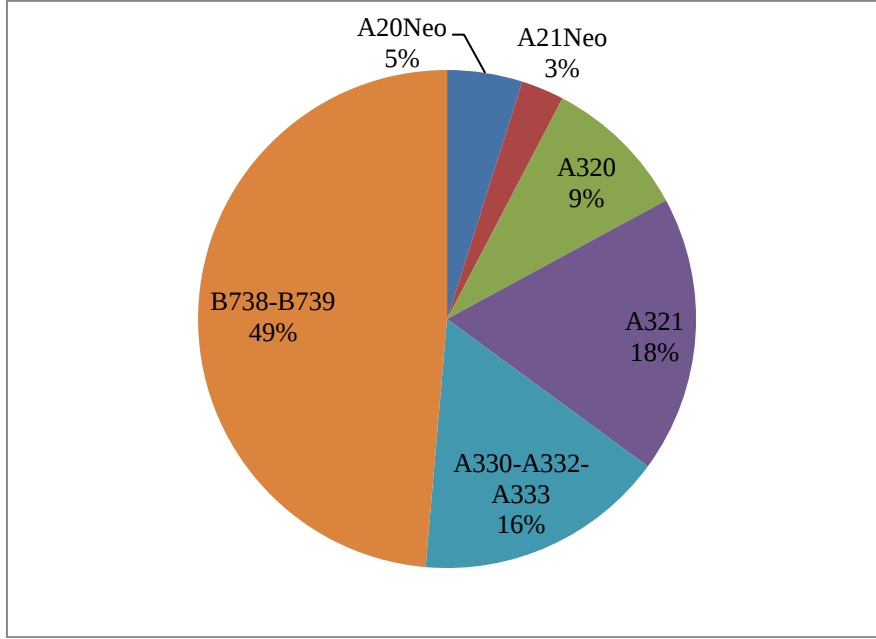
olmuştur. En az HC emisyonunu yeni nesil uçak tipleri olan A320Neo ve A321Neo meydana getirmiştir. HC emisyonundaki yüzdeleri sırasıyla %2 ve %1 olmuştur.



Şekil 5.13. Uçak tipleri HC emisyon yüzdeleri

5.4.3. Uçak tipleri NO_x emisyon hesaplamaları

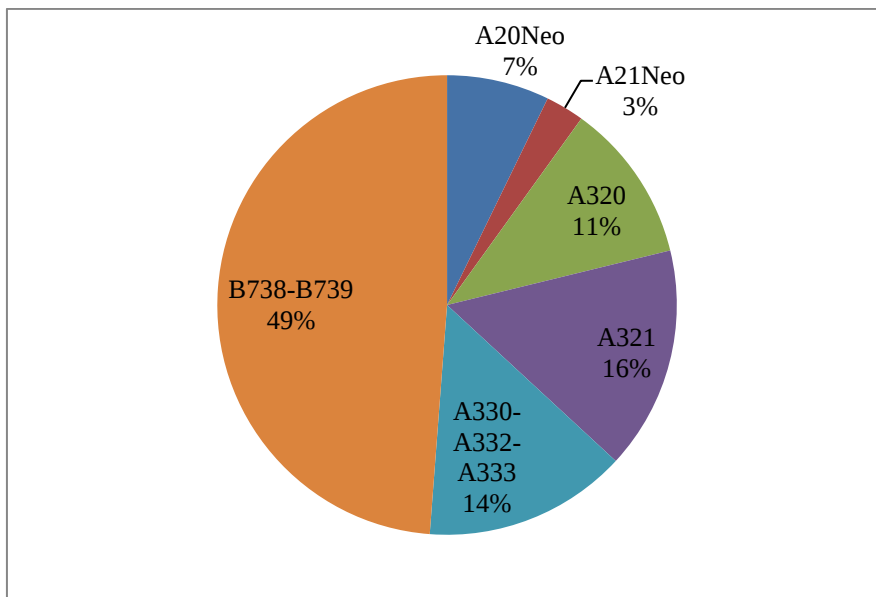
Toplam NO_x emisyonu içerisindeki uçak tiplerinin paylarına bakıldığında B738-B739 uçak tipi %49'luk bir paya sahiptir. A330-A332-A333 uçak tiplerinin NO_x emisyonu içerisindeki payı HC ve CO₂ emisyonlarına göre %16'yla biraz daha fazla olmuştur. B738-739, A330-332-A333 ve A321'in oluşturduğu NO_x emisyonu, toplam emisyonun %83'ünü meydana getirmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Uçak tipleri NO_x emisyon yüzdeleri

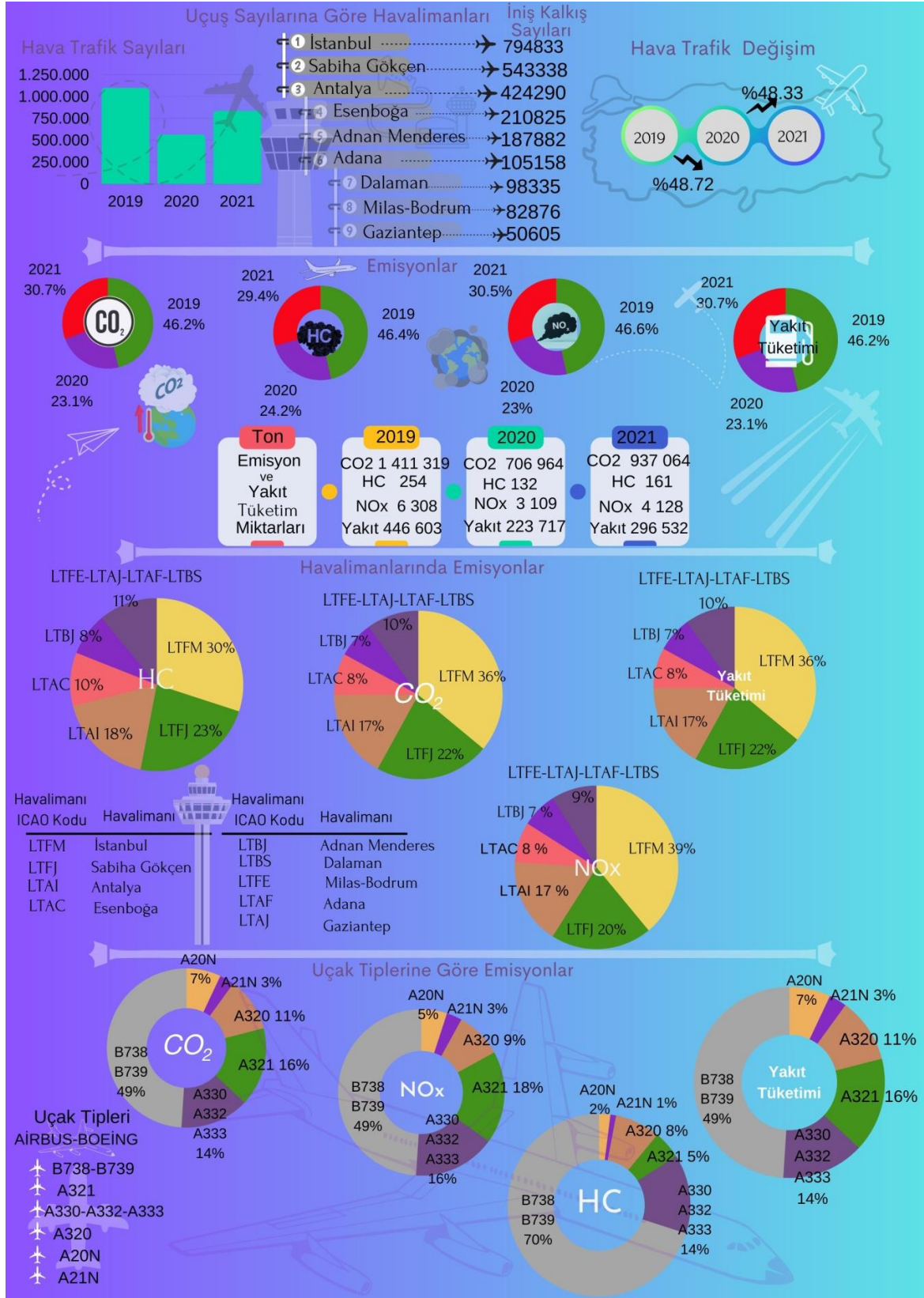
5.4.4. Uçak tipleri yakıt tüketim hesaplamaları

Yakıt tüketiminde B738-B739 toplam tüketimin yaklaşık yarısını yapmıştır. A320Neo %7 ve A321Neo %3 en az yakıt tüketen uçaklar olmuştur. Daha önceki seri A320 ve A321 tipi uçaklar sırasıyla %11 ve %16'lık yakıt tüketim payına sahiptir. Yeni nesil uçak tipleri düşük yakıt tüketimi gerçekleştirmiştir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Uçak tipleri yakıt tüketim yüzdeleri

Tez çalışmasında elde edilen bulgular infografik şeklinde Şekil 5.16.'da gösterilmiştir. Infografikte havalimanlarında gerçekleşen iniş kalkış sayıları, hava trafik yoğunluğuna göre havalimanı sıralaması, emisyon türleri ile miktarları ve toplam emisyon içerisindeki yüzdeleri, uçak tiplerine göre emisyonlar sunulmuştur. Hava trafiği en çok 2019 yılında en az ise 2020 yılında gerçekleşmiştir. Sırasıyla İstanbul Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya Havalimanı üç yıl içinde en yoğun havalimanları olmuştur. 2020 yılında %48,72 azalan hava trafiği 2021 yılında %48,33 artış göstermiştir. Emisyon türleri içerisinde CO₂ emisyonu ilk sırada yer almıştır. B738-B739 uçak tipleri en fazla uçuş yapan ve en fazla emisyon üreten uçaklar olmuşlardır. A21Neo en düşük emisyon üreten uçak tipi olmuştur.



Şekil 5.16. Tez çalışmasında elde edilen bulgular

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstikrarlı bir şekilde büyüyen havacılık sektörünün 2050 yılında 16 milyar yolcuyu taşıması beklenmektedir [4]. ICAO, bu büyümeye paralel olarak, havacılık emisyonlarının 2050 yılına kadar 3 katına ulaşacağını öngörmüştür [95]. Emisyonların hesaplanması ve etkilerinin ortaya konabilmesi için havacılık kuruluşları ICAO ve EUROCONTROL gibi kuruluşlar hesaplama yöntemleri ve programlar geliştirmektedirler. Havacılık ve çevre ilişkisinin detaylı olarak araştırılması, havacılığın yarattığı çevre sorunlarının belirlenmesi, bu sorunlara çözümler üretilmesi gelecekte daha yaşanabilir bir Dünya için büyük öneme sahiptir. Yapılan emisyon hesaplama araştırmaları havacılık sektörünün olumsuz etkilerinin kapsamını ve şiddetini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bu yönde hazırlanan tez çalışması Türkiye için uçaklar kaynaklı emisyonlar hakkında güncel bulguları sunmuştur. Bu bulgulara ulaşılırken havalimanı çevresi için uçakların neden olduğu emisyonlar ICAO 9889 dökümanında önerilen metot ile Eş. 4.1 ve Eş. 4.2 (Bkz. sayfa 44) kullanılarak hesaplanmıştır. Gerekli LTO sayıları için DHMİ iniş kalkış istatistikleri kullanılmıştır. Hesaplaması yapılan uçakların emisyon indisleri EK-3'teki tablodan alınmıştır. Hesaplamalar ile ulaşılan veriler EK-1'deki tablolarda sınıflandırılmıştır. Tez çalışması özellikle Avrupa'nın hava trafiği en yoğun havalimanı olan İstanbul Havalimanı'nın iniş kalkış ve emisyon bulgularını barındırırken, diğer ülkelerde yapılan havalimanı bölgesi uçak emisyonu çalışmalarıyla karşılaştırma için kaynak olacaktır. Düşük emisyonlu yeni nesil uçakların kullanımının diğer uçaklara göre az olduğu anlaşılmaktadır. Gelecek yıllarda sayıları artması beklenen bu uçakların sıfır emisyon hedefine ne kadar yaklaşıldığının anlaşılması noktasında tezdeki emisyon bulguları yardımcı olacaktır. Türkiye hava trafik verilerine göre Covid 19'un olumsuz etkisini büyük ölçüde aşmıştır. Hızla artan havalimanı performanslarının çevreye olan olumsuz etkilerinin kontrol altında tutulabilmesi için kirleticilerin, güncel trafik verileri ve emisyon faktörleriyle belirli periyotlarda hesaplanması önemlidir. Henüz sürdürülebilir havacılık yakıtlarının LTO aşamasında uçak emisyon hesaplamaları için bir veritabanı bulunmamaktadır. Bu yakıtla uçan uçaklara ait emisyon faktörlerinin belirlenmesi ve emisyonların hesaplanabilmesi havalimanı bölgesinde emisyon azaltımının ne kadar başarılı olduğu hakkında fikir verecektir.

Tez çalışması sonucu elde edilen bulgulara bakıldığında;

- Yıllara göre hava trafik iniş kalkış sayılarında 2019 yılı 1 098 870 iniş kalkış sayısı ile ilk sırada, 2021 yılı 835 804 iniş kalkış sayısı ile ikinci sırada, 2020 yılı 563 468 iniş kalkış sayısı ile üçüncü sırada yer almıştır. Covid 19 pandemisinin Türkiye hava ulaşımını etkilemeye başladığı 2020 yılında hava trafik sayıları, 2019 yılına göre %48,72 azalmıştır. Pandeminin etkilerinin azaldığı 2021 yılındaki toplam hava trafik sayıları 2019 yılına göre %23,94 azalış, 2020 yılına göre ise %48,33 artış göstermiştir.
- İstanbul Havalimanı 2019, 2020, 2021 yıllarında en yoğun havalimanı olmuştur. En az hava trafiği ise 2019 ve 2021 yıllarında Gaziantep Havalimanı'nda, 2020 yılında ise Bodrum-Milas Havalimanı'nda gerçekleşmiştir.
- Tez çalışma alanını oluşturan havalimanlarına en çok iniş kalkış gerçekleştiren uçak tipleri B738-B739 ve en az iniş kalkış gerçekleştiren uçak tipi A321Neo olmuştur.
- 2019 yılında 1 milyon 411 bin ton CO₂, 254,4 ton HC, 6308,7 ton NO_x emisyon ve 446 603 ton yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. 2020 yılında 706 964 ton CO₂, 132,8 ton HC, 3109 ton NO_x ve 223 717 ton yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. 2021 yılında 937 064 ton CO₂, 161 ton HC, 4128,2 ton NO_x emisyon ve 296 532 ton yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. En çok emisyon ve yakıt tüketimi 2019 yılında en az ise 2020 yılında meydana gelmiştir.
- İklim değişikliğinde önemli rolü olan CO₂ emisyonu 2021 yılında 2019 yılına göre %33,6 azalmıştır. 2020 yılında ise 2019 yılına göre %49,91 oranında azalış göstermiştir. Bu bulguların EUROCONTROL'un Türkiye için hesapladığı CO₂ emisyon değişim yüzdelere oldukça yakın olduğu anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 3.6, Şekil 3.7).
- A320Neo ve A321Neo tipi yeni nesil uçakların hesaplamalar sonucunda daha az yakıt tükettikleri ve daha az emisyonu neden oldukları anlaşılmıştır.
- Toplam CO₂ emisyonun %85'ini İstanbul Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya Havalimanı'nın oluşturduğu tespit edilmiştir.

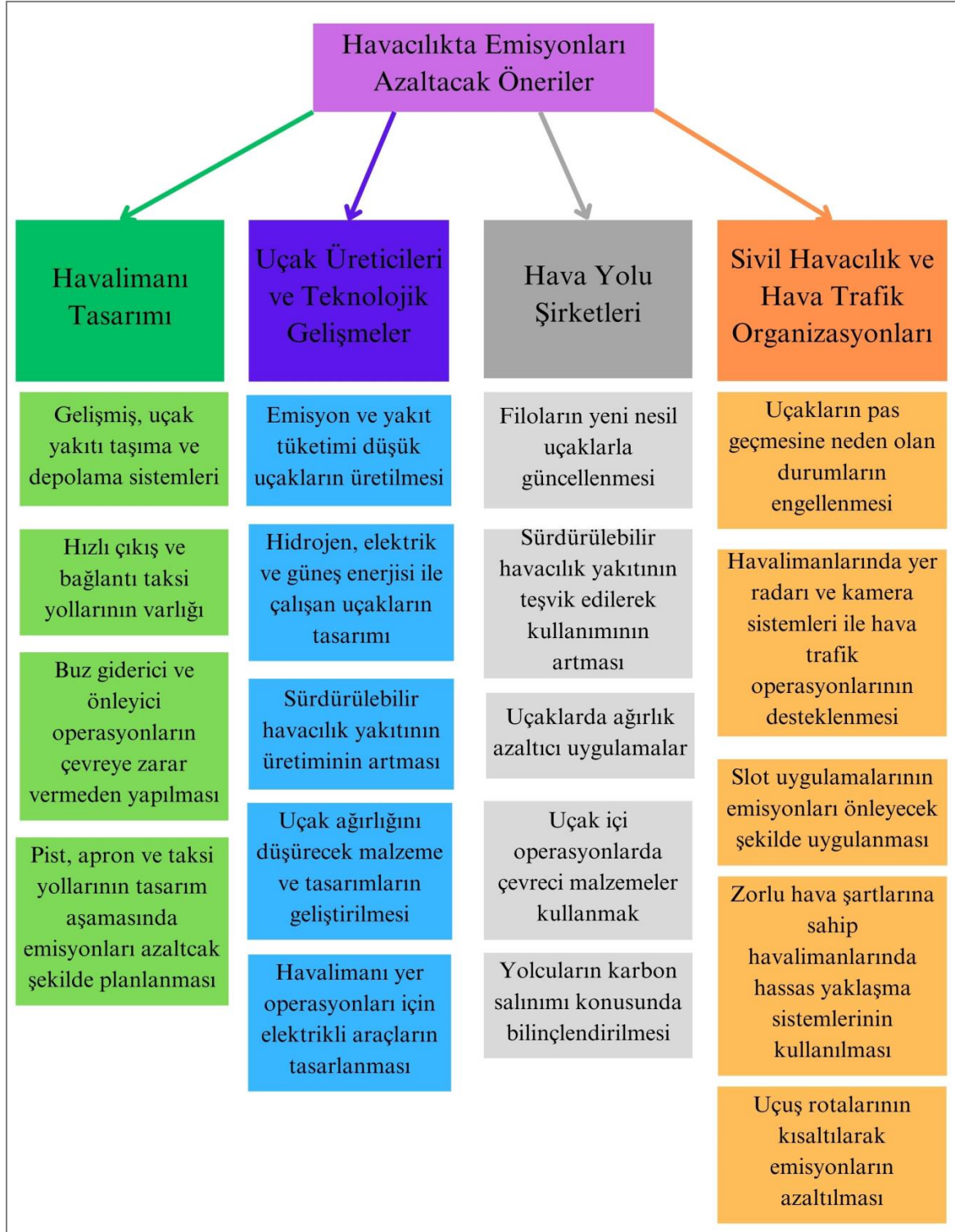
Havacılığın çevreye verdiği zararın ve iklim değişikliğine olan etkisinin azaltılması için fayda sağlayacak öneriler aşağıda sıralanmıştır. Öneriler Şekil 6.1.'de sivil havacılık ve hava trafik organizasyonları, teknolojik gelişmeler ve uçak üreticileri, hava yolu şirketleri, havalimanı tasarımı başlıklarına göre sınıflandırılmıştır.

- Yeni teknolojilerle donatılmış daha hafif gövdeye sahip, daha verimli ve emisyon üretimi daha düşük olan yeni nesil uçakların filolarda kullanımı artırılarak filo uçak yaş ortalamaları düşürülmelidir.
- Uçak yakıtı olarak kullanılan fosil yakıtlar yerine temiz enerji kaynakları olan güneş ve elektrik enerjisi benzeri ile çalışan uçaklar geliştirilmelidir.
- Uçakların inişten vazgeçerek pas geçmeleri sonucu pilotlar tarafından uygulanan pas geçme prosedürleri esnasında havalimanı bölgesinde ekstra emisyon oluşmaktadır. Pas geçmeye sebep olan bazı durumlar önlenabilir ya da azaltılabilir. Örneğin pas geçişe sebep olan kuş sürüleri için kuş izleme radarları kullanılarak hava araçlarının inişlerine sorun olmaması hedeflenmektedir. Bu radarların özellikle yoğun havalimanlarında kullanılması, kuş sürüleri kaynaklı pas geçiş sayılarının azalmasını sağlayarak pas geçme sırasında oluşacak emisyonun engellenmesini sağlayacaktır.
- Havalimanı pist, apron ve taksi yollarının izlenmesini sağlayan yer radarları ve kamera sistemlerinin havalimanlarında kullanımının artması hava trafik operasyonlarını olumsuz etkileyebilecek durumların meydana gelmesini engeller. Böylece trafiğin yavaşlamasının ve oluşacak emisyonların önüne geçilecektir.
- Havalimanlarında uçakların düşük görüş ve zorlu meteorolojik şartlarda iniş, kalkış ve taksi operasyonlarını yapmalarını sağlayan aletli iniş sistemi vb. teknolojik sistemler hava trafiğin hızlı akışına destek olmaktadır. Bu tip sistemlerin özellikle hava şartlarının operasyonları olumsuz etkilediği havalimanlarında kullanımı artırılmalıdır.
- Taksi safhası LTO döngüsünün en uzun süreli aşamasıdır. Bu yüzden bu aşamada yapılacak küçük iyileştirmeler bile büyük emisyon değerlerinin oluşmasını engelleyecektir. Havalimanında bulunan hızlı çıkış ve bağlantı taksi yollarının varlığı taksi sürelerini kısaltacaktır. Ayrıca hızlı çıkış taksi yolları, iniş yapan uçakların pisti hızlı bir şekilde terk etmelerine imkan vererek hem hava trafik operasyonlarının hızlanmasını sağlar hem de gecikmelerin önüne geçerek emisyonların azaltır.
- Uçakların kullanmış oldukları uçuş yollarının kısaltılması ve güncellenmesiyle sarfedilen yakıt miktarı düşecek ve uçuşun özellikle seyir safhasında meydana gelen emisyonlar azalacaktır.
- Sürdürülebilir havacılık yakıtları geleneksel jet yakıtı ile karışım olarak hava yolu şirketleri tarafından kullanılmaktadır. Türk tescilli hava yolu şirketleri Türk Hava Yolları ve Pegasus Havayolları 2022 yılı itibariyle sürdürülebilir havacılık yakıtını kullanmaktadırlar. Pegasus Havayolları 2022 yılı mart ağustos ayları arasında 387 uçuşta toplam yakıt içerisinde karışım halinde sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanmış

olup yıl sonuna kadar yurt içi ve yurt dışında bu tarz uçuşlara devam edecektir. Türk Hava yolları ise 2022 yılı sonunda kadar yurt içi ve yurt dışı uçuşlarda yaklaşık 300'ün üzerinde uçuşta SAF kullanmış olacaktır. SAF ile yapılan uçuş sayıları toplam uçuşlar içerisinde az olmasına rağmen emisyonları azaltmak için hava yolu şirketlerinin SAF kullanmaya başlamış olması büyük öneme sahiptir. Emisyonların azaltılması için SAF kullanılan uçuş sayıları artırılmalıdır.

- SAF, jet yakıtına göre daha az üretilmektedir ve maliyeti fazladır. Hava yolu şirketlerinin SAF kullanımının artması için bu yakıtların daha ulaşılabilir ve jet yakıtına yakın maliyetlere sahip olması gerekmektedir. Bu yüzden devletler tarafından SAF üretimi yapan şirketlere ve kullanan hava yolu şirketlerine teşvikler uygulanmalıdır. Yeşil havalimanı projesinde olduğu gibi kriterleri sağlayan kurum ve kuruluşlara getirilen çeşitli indirim uygulamaları SAF üretimi ve kullanımı gerçekleştiren şirketlere de yapılmalıdır.
- Uçaklarda taşınan yükün azaltılması harcanan yakıt miktarını ve oluşan emisyonun azalmasını sağlamaktadır. Ağırlığın azaltılması için galley adı verilen mutfak bölümlerinin daha hafif malzemelerle tasarlanması ya da fırın sayısının azaltılması örnek olarak gösterilebilir. Bu tip uçak ağırlığını azaltan materyal ve teknolojilerin kullanımı yaygınlaştırılarak emisyonlar azaltılmalıdır.
- Pist, apron ve taksi yollarının havalimanı yapım aşamasında uçak emisyonlarını en az düzeyde tutacak şekilde tasarlanması oluşacak emisyonları engelleyecektir.
- Hava yolu şirketlerine uygulanan slotlarda boş ya da az yolcuyla yapılan zorunlu uçuşların önüne geçilmesini sağlayacak geliştirmeler yapılmalıdır.
- Hava yolu seyahati gerçekleştiren yolcuların karbon emisyonları hakkında bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Uçuşlar sonucu meydana gelen emisyonların azaltılması noktasında az yükse seyahat etmek ve karbon dengeleme için ağaç bağışında bulunmak gibi kişisel adımlar atılmalıdır.
- Uçakları buzlanmaya karşı koruyan sıvıların çevre için daha az zararlı olanlarla değiştirilmesi, bu mümkün değilse kullanılan sıvıların çevreye en az düzeyde etki edecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir.
- İstanbul Havalimanı'nda kullanılan uçaklara yakıt sağlayan gelişmiş yakıt sistemleri yaygınlaştırılmalıdır. Böylece tankerler vasıtası ile taşıma sırasında oluşacak emisyonların önüne geçilecektir. Aynı zamanda uçaklara yakıt dolumu sağlayan elektrikli dispanserlerin kullanımı artırılmalıdır. Bu araçlar motorin ile çalışan yakıt dolum araçlarına göre düşük emisyon meydana getirmektedir.

- DHMİ yerli elektrikli araç TOGG'un havalimanlarında follow me aracı olarak kullanacağını açıklamıştır. Pist, apron ve taksi yollarında görevli araçların mümkün olduğunca elektrikli araçlar ile hizmet vermesi havalimanı operasyon sahasındaki emisyonları düşürecektir.
- Havacılık sektörü elde edilen bulgulara göre iki yıl içerisinde Covid 19 pandemisinin olumsuz etkilerini büyük oranda aşmıştır. Sektörün bileşenlerinin bu tarz salgın ya da büyük felaketlere karşı acil durum planlarını güncellemesi ve güçlendirmesi yaşanacak zorlukların daha kolay atlatılmasını sağlayacaktır.
- Havacılık kaynaklı emisyonları azaltacak adımların, CO₂ emisyonunun %85'ini oluşturan İstanbul, Sabiha Gökçen ve Antalya Havalimanları'nda öncelikli olarak uygulanması Türkiye için emisyonların daha hızlı şekilde düşmesini sağlayacaktır.



Şekil 6.1. Havacılık için emisyonları azaltacak öneriler

Havacılık sektörünün 2050 net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşması için adımların planlı ve hızlı bir şekilde atılması gerekmektedir. Emisyon değerleri düşük uçakların kullanımı bu noktada büyük avantaj sağlayacaktır. Sürdürülebilir havacılık yakıtının üretiminin ve kullanımının artması emisyonların ilk sıradaki nedeni fosil yakıtların

olumsuz etkilerini kaynağında ortadan kaldıracaktır. Çevreyi koruyacak adımların başarılı olabilmesi için, sektöre hizmet eden her kuruluş ve çalışan tarafından benimsenmesi ve koordineli bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Aksoy, C., and Dursun, Ö. O. (2018). A general overview of the development of the civil aviation sector in Turkey. *Electronic Journal of Social Sciences*, 17(67), 1060-1076.
2. International Air Transport Association. (2005). Annual report 2005. IATA. Tokyo.
3. International Air Transport Association. (2018). Annual review 2018. IATA. Sydney.
4. International Air Transport Association. (2011). Vision 2050 report. IATA. Singapore.
5. International Civil Aviation Organisation. (2023). Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis. ICAO. Montreal.
6. Chinazzi, M., Davis, J. T., Ajelli, M., Gioannini, C., Litvinova, M., Merler, S., Piontti, A. P., Mu, K., Rossi, L., Sun, K., Viboud, C., Xiong, X., Yu, H., Halloran, M. E., Longini, M. I., and Vespignani, A. (2020). The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak. *Science*, 368(6489), 395-400.
7. Ciotti, M., Ciccozzi, M., Terrinoni, A., Jiang, W. C., Wang, C. B., and Bernardini, S. (2020). The COVID-19 pandemic. *Critical reviews in clinical laboratory sciences*, 57(6), 365-388.
8. İnternet: Koronavirüs ve havacılık. URL: <https://www.aviationturkey.com/tr/icerik/coronavirus-havacilik-sektorunu-ve-yolculari-tehdit-ediyor-17-mart-289>. Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
9. İnternet: T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. URL: <https://www.uab.gov.tr/basin-aciklamalari/ucus-yasagi-olan-ulke-sayisi-68-e-yukseldi>. Son Erişim Tarihi: 24.01.2023.
10. İnternet: SHGM Covid 19 Tedbirleri. URL: <https://web.shgm.gov.tr/tr/genel-duyurular/6344-covid-19-tedbirleri-kapsaminda-27-mart-tarihli-ucus-kisitlamalari-hakkinda>. Son Erişim Tarihi: 21.12.2022.
11. İnternet: THY Pandemi İç Hat Uçuş Noktaları. URL: <https://www.dha.com.tr/ekonomi/thynin-seferlerine-duzenleme-ic-hatta-14-noktaya-sefer-yapilacak-1763188>. Son Erişim Tarihi: 11.12.2022.
12. Devlet Hava Meydanları İşletmesi. (2021). 2021 Havayolu sektör raporu. *DHMI*. Ankara.
13. Türk Hava Yolları. (2020). 2020 Yıllık faaliyet raporu. *THY*.
14. İnternet: Pegasus Koronavirüs Önlemleri. URL: <https://www.flypgs.com/faydali-bilgiler/ucusun-icin-bilgiler/koronavirus-onlemleri-ve-dezenfeksiyon-proseduru>. Son Erişim Tarihi: 28.01.2023.

15. İnternet: Havalimanı Covid 19 Sertifikası. URL: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/Mus/HaberDetay.aspx?q=44>. Son Erişim Tarihi: 22.01.2023.
16. Devlet Hava Meydanları İşletmesi. (2020). 2020 Faaliyet raporu. *DHMI*. Ankara.
17. Korul, V. (2003). Havaalanı çevre yönetim sistemi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 99-120
18. International Civil Aviation Organisation. (2020). Doc 9889 airport air quality manual. *ICAO*.
19. Perlman, K. (2018). Contribution of the Global Aviation Sector to Achieving Paris Agreement Climate Objectives. URL: <https://policycommons.net/artifacts/2120603/contribution-of-the-global-aviation-sector-to-achieving-paris-agreement-climate-objectives/2875901>. Son Erişim Tarihi: 15.06.2023.
20. Devlet Hava Meydanları İşletmesi. (2021). 2021 Faaliyet Raporu. *DHMI*. Ankara.
21. Nikoleris, T., Gupta, G., and Kistler, M. (2011). Detailed estimation of fuel consumption and emissions during aircraft taxi operations at Dallas/Fort Worth International Airport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(4), 302-308.
22. Yılmaz, İ. (2017). Emissions from passenger aircraft at Kayseri Airport, Turkey. *Journal of Air Transport Management*, 58, 176-182.
23. Vieira, J. P. B., Braga, C. K. V., and Pereira, R. H. (2022). The impact of COVID-19 on air passenger demand and CO2 emissions in Brazil. *Energy Policy*, 164, 112906.
24. Elbir, T. (2008). Estimation of engine emissions from commercial aircraft at a midsized Turkish airport. *Journal of Environmental Engineering*, 134(3), 210-215.
25. Masiol, M., and Harrison, R. M. (2014). Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*, 95, 409-455.
26. Tulan, H., ve Ercoskun, Ö. Y. (2019). Dolgu havalimanlarının çevresel etkileri: Hong Kong Havalimanı ve Ordu-Giresun Havalimanı karşılaştırması. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(3), 104-116.
27. Erdoğan, M., ve Ercoskun, O. (2021). Artvin Rize Havalimanı'nın ulaşım ve çevreye etkileri. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(1), 250-267.
28. Timmis, A. J., Hodzic, A., Koh, L., Bonner, M., Soutis, C., Schäfer, A. W., and Dray, L. (2015). Environmental impact assessment of aviation emission reduction through the implementation of composite materials. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 233-243.

29. Franssen, E. A., Staatsen, B. A., and Lebre, E. (2002). Assessing health consequences in an environmental impact assessment: The case of Amsterdam Airport Schiphol. *Environmental Impact Assessment Review*, 22(6), 633-653.
30. Kuzu, S. L. (2018). Estimation and dispersion modeling of landing and take-off (LTO) cycle emissions from Atatürk International Airport. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 11, 153-161.
31. Turgut, E. T., Usanmaz, O., and Rosen, M. A. (2013). Estimation of vertical and horizontal distribution of takeoff and climb NO_x emission for commercial aircraft. *Energy conversion and management*, 76, 121-127.
32. Ekici, S., ve Sevinc, H. (2022). Understanding a commercial airline company: A case study on emissions and air quality costs. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(6), 5139-5154.
33. Şöhret, Y., Kıncay, O., ve Karakoç, T. H. (2018). An environment-friendly engine selection methodology for aerial vehicles. *International Journal of Green Energy*, 15(3), 145-150.
34. Anderson, B. E., Chen, G., and Blake, D. R. (2006). Hydrocarbon emissions from a modern commercial airliner. *Atmospheric Environment*, 40(19), 3601-3612.
35. Schripp, T., Anderson, B. E., Bauder, U., Rauch, B., Corbin, J. C., Smallwood, G. J., Lobo, B., Crosbie, E. C., Shook, M. A., Miake-Lye, R. C., Yu, Z., Freedman, A., Whitefield, P. D., Robinson, C. E., Achterberg, S. L., Köhler, M., Oswald, P., Grein, T., Sauer, D., Voigt, C., and LeClercq, P. (2022). Aircraft engine particulate matter emissions from sustainable aviation fuels: Results from ground-based measurements during the NASA/DLR campaign ECLIF2/ND-MAX. *Fuel*, 325, 124764.
36. Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P.M., Fuglestedt, J., Gettelman, A., De leon, R. R., Lim, L. L., Lund, M. T., Millar, R. J., Owen, B., Penner, J. E., Pitari, G., Prather, M. J., Sausen, R., and Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.
37. Erdem, Ö. Z., ve Ercoşkun, Ö. Y. (2022). Covid-19 Pandemisinin Esenboğa Havalimanı hava trafiğine ve uçak emisyonlarına etkisi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(1), 45-59.
38. Çalışkan, Z. D., Kurt, Ü, ve Timur, M. C. (2017, Mart). İklim değişikliği ve ulaşım sektörü ilişkisinin ekonometrik analizi: Türkiye örneği. In *International Congress of Energy, Economy and Security Proceedings ENSCON'17*, 78.
39. Elbir, T. (2008). Estimation of engine emissions from commercial aircraft at a midsized Turkish airport. *Journal of Environmental Engineering*, 134(3), 210-215.
40. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories - chapter 3: mobile combustion. *IPCC*.
41. Kesgin, U. (2006). Aircraft emissions at Turkish airports. *Energy*, 31(2-3), 372-384.

42. Environmental Protection Agency. (2017). Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks 1990-2015. *EPA*.
43. Intergovernmental Panel on Climate Change. (1999). IPCC special report aviation and global atmosphere. *IPCC*.
44. Ülkü, M. Y. (2007). *Helikopterlerin yaydığı karbonmonoksit gazının kokpit ve aprondaki düzeyinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
45. Kärcher, B. (2018). Formation and radiative forcing of contrail cirrus. *Nature communications*, 9(1), 1824.
46. Prashanth, P. (2023). *Environmental Impacts of Future Aviation Propulsion Systems*, Doktora Tezi, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Massachusetts.
47. Koo, J., Wang, Q., Henze, D. K., Waitz, I. A., and Barrett, S. R. (2013). Spatial sensitivities of human health risk to intercontinental and high-altitude pollution. *Atmospheric Environment*, 71, 140-147.
48. Olsen, S. C., Wuebbles, D. J., and Owen, B. (2013). Comparison of global 3-D aviation emissions datasets. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(1), 429-441.
49. Blakey, S., Rye, L., and Wilson, C. W. (2011). Aviation gas turbine alternative fuels: A review. *Proceedings of the combustion institute*, 33(2), 2863-2885.
50. EUROCONTROL. (2005). Aircraft particulate matter emission estimation through all phases of flight. *EUROCONTROL*.
51. İnternet: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. URL: <https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/1--tarihce>, Son Erişim Tarihi: 10.02.2023.
52. İnternet: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Kurumsal. URL: <https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/kurumsal/faaliyet/2021.pdf>, Son Erişim Tarihi: 10.02.2023.
53. İnternet: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yeşil Havaalanı. URL: <https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal-projeler/194-yesil-havaalani-green-airport-projesi>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2023.
54. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2019). Yeşil havaalanı projesi sektörel kriterler dökümanı. *SHGM*. Ankara.
55. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2019). 2018 Faaliyet raporu. *SHGM*. Ankara.
56. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2015). 2014 Faaliyet raporu. *SHGM*. Ankara.
57. İnternet: Devlet Hava Meydanları İşletmesi. URL: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Hakkimizda.aspx>, Son Erişim Tarihi: 14.10.2022.

58. İnternet: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Milli Sistemler. URL: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Haber/dhminin-yerli-ve-mill-imknlarla-gelistirdigi-sistemler-verimlilik-ve-teknoloji-fuarinda-.aspx>, Son Erişim Tarihi: 18.08.2022.
59. İnternet: İGA. URL: <https://www.dha.com.tr/ekonomi/istanbul-havalimaninda-ucaklarin-taksi-sureleri-yuzde-15-azalacak-2159630>, Son Erişim Tarihi: 05.01.2023.
60. İnternet: Devlet Hava Meydanları İşletmesi. URL: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Isletme/CevreSubeMudurlugu.aspx>, Son Erişim Tarihi: 26.09.2022.
61. İnternet: Karbonsuz Havalimanı. URL: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Haber/12-havalimanina-uluslararası-havalimanı-karbon-akreditasyonu-sertifika-verildi.aspx>, Son Erişim Tarihi: 03.10.2022.
62. İnternet: Devlet Hava Meydanları İşletmesi. URL: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Isletme/CevreSubeMudurlugu.aspx>, Son Erişim Tarihi: 15.11.2022.
63. Türk Hava Yolları. (2022). THY 2021 yılı yönetim kurulu faaliyet raporu. *THY*, İstanbul.
64. Türk Hava Yolları. (2022). THY 2021 Sürdürülebilirlik raporu. *THY*, İstanbul.
65. İnternet: Boeing. URL: <https://www.boeing.com/commercial/737max/>, Son Erişim Tarihi: 02.03.2023.
66. İnternet: Airbus. URL: <https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a320-the-most-successful-aircraft-family-ever/a320neo>, Son Erişim Tarihi: 03.03.2023.
67. Pegasus Hava Yolları. (2022). 2021 Yıllık faaliyet raporu. *Pegasus*, İstanbul.
68. İnternet: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü. URL: <https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2022.
69. İnternet: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>, Son Erişim Tarihi: 12.12.2022.
70. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2020). SHT-CORSIA dökümanı. *SHGM*. Ankara
71. İnternet: EUROCONTROL. URL: <https://www.eurocontrol.int/what-we-do>, Son Erişim Tarihi: 09.08.2022.
72. EUROCONTROL. (2021). Data snapshot CO₂. *EUROCONTROL*, Brussels.
73. EUROCONTROL. (2021). Eurocontrol-data-snapshot-18-lower-state-co2-emissions. *EUROCONTROL*, Brussels.
74. International Civil Aviation Organisation. (2018). Sustainable aviation fuels guide. *ICAO*, Montreal.

75. International Air Transport Association. (2023). Net Zero 2050: Sustainable Aviation Fuels. *IATA*, Montreal.
76. Devlet Hava Meydanları İşletmesi. (2022) Havacılık terimleri sözlüğü. *DHMI*. Ankara.
77. Forsyth, P. (2007). The impacts of emerging aviation trends on airport infrastructure. *Journal of Air Transport Management*, 13(1), 45-52.
78. International Air Transport Association. (2021). Annual review 2021. *IATA*. Boston.
79. İnternet: Trains Over Planes. URL: https://www.if.org.uk/wp-content/uploads/2022/10/Trains_over_planes_FINAL-2.pdf, Son Erişim Tarihi: 05.01.2023.
80. İnternet: BBC News. URL: <https://www.bbc.com/news/world-europe-56716708>, Son Erişim Tarihi: 15.08.2022.
81. İnternet: URL: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/HavaLimanlari.aspx>, Son Erişim Tarihi: 17.11.2022.
82. İnternet: TAV. URL: <https://tavhavalimanlari.com.tr/tr-TR/>, Son Erişim Tarihi: 16.02.2023.
83. İnternet: Dalaman Havalimanı. URL: <https://www.dalamanairport.aero/hakkimizda/>, Son Erişim Tarihi: 19.12.2022.
84. İnternet: Sabiha Gökçen Havalimanı. URL: <https://www.sabihagokcen.aero/kurumsal-bilgiler/havalimani/havalimani-trafik-raporu>, Son Erişim Tarihi: 21.04.2023.
85. İnternet: Team Foundation Server. URL: <https://turkishfuel.com/tr/>, Son Erişim Tarihi: 09.01.2023.
86. EUROCONTROL. (2022). Comprehensive assessment european aviation 2022 year-to-date. *EUROCONTROL*, Brussels.
87. EUROCONTROL. (2022). Comprehensive assessment european aviation 13 October 2022. *EUROCONTROL*, Brussels.
88. İnternet: USGBC. URL: <https://www.usgbc.org/articles/leed-certified-airports-help-provide-safe-and-sustainable-travel>, Son Erişim Tarihi: 22.03.2023.
89. İnternet: URL: Adnan Menderes Havaliamanı. <https://adnanmenderesairport.com/tr-TR/tav-hakkinda/yeni-ic-hatlar-terminali/page/leed-sertifikasyonu>, Son Erişim Tarihi: 27.10.2022.
90. İnternet: İGA. URL: <https://www.igairport.aero/tr>, Son Erişim Tarihi: 08.02.2023.
91. İnternet: İGA LEED. URL: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/istanbul-havalimani-terminali-dunyanin-en-buyuk-leed-altin-sertificali-binasi-secildi/1854885#>, Son Erişim Tarihi: 02.03.2023.

92. Akarsu, B. ve Akarsu, B. (2019). *Bilimsel araştırma tasarımı nicel, nitel ve karma araştırma yaklaşımları*. (1. Baskı). İstanbul: Cinius Yayınları. 23.
93. European Aviation Safety Agency. (2019). European aviation environmental report 2019. EASA, Montreal.
94. EUROCONTROL. (2023). Data snapshot 40. *EUROCONTROL*, Brussels.
95. International Civil Aviation Organisation. (2018). CO2 emissions from commercial aviation 2018. ICAO, Montreal.
96. İnternet: TÜBİTAK. URL: <https://cabim.ulakbim.gov.tr/bibliyometrik-analiz/bibliyometrik-analiz-sikca-sorulan-sorular/>. Son Erişim Tarihi: 23.05.2023.
97. İnternet: URL: <https://tr.euronews.com/2023/04/04/amsterdamda-gurultu-kirliligi-sebebiyle-2025ten-itibaren-gece-ucuslari-yapilmayacak>, Son Erişim Tarihi: 23.05.2023.
98. İnternet: URL: <https://www.bbc.com/news/world-europe-59849898>, Son Erişim Tarihi: 23.05.2023.
99. İnternet: URL: <https://www.airporthaber.com/havacilik-haberleri/belcikadan-kisa-mesafeli-ucus-ve-is-jetlerine-ek-vergi.html>, Son Erişim Tarihi: 23.05.2023.

EKLER

EK-1. Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 1. 2019 Yılı havalimanlarına ait toplam iniş kalkış sayıları

2019 Yılı İniş Kalkış sayıları	İstanbul Havalimanı	Sabiha Gökçen Havalimanı	Antalya Havalimanı	Esenboğa Havalimanı	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	Dalaman Havalimanı	Milas-Bodrum Havalimanı	Adana Şakirpaşa Havalimanı	Gaziantep Havalimanı
A20Neo	939	50 532	12 619	3972	2688	2286	2304	2246	1159
A21Neo	9315	682	600	256	278	246	184	378	114
A320	26 858	43 271	32 820	7312	6879	4201	5891	2230	891
A321	94 332	1636	36 578	4881	4276	5718	3271	4117	2500
A330-A332-A333	50 590	1253	5269	1697	1682	448	52	596	220
B738-B739	89 465	128 356	80 474	69 595	57 509	12 654	14 362	21 983	10 966
Toplam	271 499	225 730	168 360	87 713	73 312	25 553	26 064	31550	15 850

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 2. 2019 Yılı havalimanları CO₂ emisyon değerleri

2019 Yılı CO ₂ Emisyonu (Kg)	A20Neo	A21Neo	A320	A321	A330-A332- A333	B738-B739	Toplam
İstanbul Havalimanı	931 070	11 074 791	35 822 930	150 788 025	178 669 472	124 622 976	501 909 264
Sabiha Gökçen Havalimanı	50 087 604	811 566	57 707 910	2 626 290	4 456 864	178 774 560	294 464 794
Antalya Havalimanı	12 513 977	714 273	43 796 610	58 471 695	18 638 436	112 075 488	246 210 479
Esenboğa Havalimanı	2 951 690	303 744	9 761 895	7 824 555	6 015 356	96 838 656	123 695 896
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	2 672 369	332 220	9 180 925	6 859 665	5 937 784	80 098 464	105 081 427
Dalaman Havalimanı	2 270 226	294 252	5 607 160	9 147 285	1579 648	17 631 072	36 529 643
Milas-Bodrum Havalimanı	2 286 074	218 316	7 869 745	5 227 020	183 352	20 000 256	35 784 763
Adana Şakirpaşa Havalimanı	2 232 587	448 497	2 979 470	6 594 480	2 101 496	30 618 432	44 974 962
Gaziantep Havalimanı	1 152 942	137 634	1 191 255	4 009 725	775 720	1 540 108	22 668 364

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 3. 2019 Yılı havalimanları HC emisyon değerleri

Toplam	B738-B739	A330- A332- A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2019 Yılı HC Emisyonu (Kg)
77 720,62	32 230,08	32 430,08	8023,15	4570,28	420,03	47	İstanbul Havalimanı
57 105,04	46 234,8	808,96	139,74	7362,36	30,78	2528,4	Sabiha Gökçen Havalimanı
41 725,6	28 985,04	3383,04	3111,17	5587,56	27,09	631,7	Antalya Havalimanı
27 958,59	25 044,48	1091,84	416,33	1245,42	11,52	149	Esenboğa Havalimanı
23 476,67	20 715,12	1077,76	364,99	1171,3	12,6	134,9	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
6174,31	4559,76	286,72	486,71	715,36	11,16	114,6	Dalaman Havalimanı
6611,58	5172,48	33,28	278,12	1004,02	8,28	115,4	Milas-Bodrum Havalimanı
9160,71	7918,56	381,44	350,88	380,12	17,01	112,7	Adana Şakirpaşa Havalimanı
4552,59	3983,04	140,8	213,35	151,98	5,22	58,2	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 4. 2019 Yılı havalimanları NO_x emisyon değerleri

Toplam	B738-B739	A330-A332-A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2019 Yılı NO _x Emisyonu (Kg)
2 403 862,79	550 597,2	901 201,52	765 974,85	133 075,8	50 216,92	2796,5	İstanbul Havalimanı
1 194 160,12	789 844,5	22 480,24	13 341,06	214 374,6	3679,92	150 439,8	Sabiha Gökçen Havalimanı
1 089 719,35	495 161,1	94 011,51	297 025,23	162 696,6	3238,76	37 586,15	Antalya Havalimanı
544 438,16	427 843,2	30 341,21	39 747,27	36 263,7	1377,28	8865,5	Esenboğa Havalimanı
462 317,5	353 883,3	29 949,94	34 845,81	34 105,5	1506,4	8026,55	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
161 312,61	77 895,9	7967,68	46 466,49	20 829,6	1334,24	6818,7	Dalaman Havalimanı
152 931,22	88 363,2	924,82	26 552,28	29 234,7	989,92	6866,3	Milas-Bodrum Havalimanı
199 181,47	135 275,4	10 599,86	33 498,72	11068,2	2033,64	6705,65	Adana Şakirpaşa Havalimanı
100 837,23	68 043,6	3912,7	20 368,65	4425,3	624,08	3462,9	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 5. 2019 Yılı havalimanları yakıt tüketim değerleri

Toplam	B738-B739	A330-A332-A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2019 Yılı Yakıt Tüketimi (Kg)
158 832 394	39 437 084	56 549 952	47 714 145	11 331 606	3 504 917	294 690	İstanbul Havalimanı
93 179 313	56 573 415	1 410 624	831 042	18 254 322	256 842	15 853 068	Sabiha Gökçen Havalimanı
77 908 576	35 466 417	5 899 176	18 502 311	13 853 862	226 051	3 960 759	Antalya Havalimanı
39 142 806	30 644 704	1 903 896	2 475 939	3 087 909	96 128	934 230	Esenboğa Havalimanı
33 252 310	25 347 251	1879 344	2 170 617	2 904 135	105 140	845 823	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
11 559 172	5 579 373	499 968	2 894 493	1 773 672	93 124	718 542	Dalaman Havalimanı
11 323 161	6 329 104	58 032	1 653 996	2 489 379	69 092	723 558	Milas-Bodrum Havalimanı
14 232 120	9 689 238	665 136	2 086 704	942 474	141 939	706 629	Adana Şakirpaşa Havalimanı
7 173 310	4 873 692	245 520	1 268 805	376 821	43 558	364 914	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 6. 2020 yılı havalimanlarına ait toplam iniş kalkış sayıları

2020 Yılı İniş Kalkış sayıları	İstanbul Havalimanı	Sabiha Gökçen Havalimanı	Antalya Havalimanı	Esenboğa Havalimanı	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	Dalaman Havalimanı	Milas-Bodrum Havalimanı	Adana Şakirpaşa Havalimanı	Gaziantep Havalimanı
A20Neo	2075	32341	5790	2443	8456	1565	328	1792	1180
A21Neo	12 336	1890	902	118	104	412	204	170	50
A320	17 058	16778	5749	2778	4554	1704	1434	1068	557
A321	38211	1906	7885	1639	1297	1327	1412	1278	827
A330- A332- A333	21 173	352	869	565	414	22	8	436	24
B738- B739	53 895	68 561	32 684	31 044	24 009	5711	5484	12 713	7530
Toplam	144 748	121 828	53 879	38 587	38 834	10 741	8870	17457	10 168

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 7. 2020 yılı havalimanları CO₂ emisyon değerleri

2020 Yılı CO ₂ Emisyonu (Kg)	A20Neo	A21Neo	A320	A321	A330-A332- A333	B738-B739	Toplam
İstanbul Havalimanı	2 062 221	14 662 767	22 764 430	61 145 910	74 948 656	75 134 592	250 718 576
Sabiha Gökçen Havalimanı	32 100 124	2 259 096	22 404 655	3 073 590	1 269 360	95 602 560	156 709 385
Antalya Havalimanı	5 748 862	1 079 715	7 693 855	12 620 250	3 081 724	96 838 656	127 063 062
Esenboğa Havalimanı	2 426 725	142 380	3 845 595	2 635 875	2 016 872	43 288 416	54 355 863
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	8 395 478	128 142	6 081 530	2 079 945	1 473 868	33 472 032	51 630 995
Dalaman Havalimanı	1 555 085	493 584	2 275 910	2 124 675	77 572	7 962 240	14 489 066
Milas-Bodrum Havalimanı	1 315 384	242 046	1 913 470	2 258 865	35 260	7 644 864	13 409 889
Adana Şakirpaşa Havalimanı	1 782 900	201 705	1 423 110	2 047 995	1 537 336	17 714 592	24 707 638
Gaziantep Havalimanı	1 174 733	59 325	746 200	1 322 730	84 624	10 492 896	13 880 508

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 8. 2020 yılı havalimanları HC emisyon değerleri

Toplam	B738- B739	A330- A332- A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2020 Yılı HC Emisyonu (Kg)
39 853,15	19 431,36	13 603,84	3253,46	2904,28	556,11	104,1	İstanbul Havalimanı
29 683,2	24 724,8	230,4	163,54	2858,38	85,68	1620,4	Sabiha Gökçen Havalimanı
27 588,07	25 044,48	559,36	671,5	981,58	40,95	290,2	Antalya Havalimanı
12 320,13	11 195,28	366,08	140,25	490,62	5,4	122,5	Esenboğa Havalimanı
10 239,29	8656,56	267,52	110,67	775,88	4,86	423,8	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
2573,91	2059,2	14,08	113,05	290,36	18,72	78,5	Dalaman Havalimanı
2423,41	1977,12	6,4	120,19	244,12	9,18	66,4	Milas-Bodrum Havalimanı
5248,58	4581,36	279,04	108,97	181,56	7,65	90	Adana Şakirpaşa Havalimanı
2956,17	2713,68	15,36	70,38	95,2	2,25	59,3	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 9. 2020 yılı havalimanları NO_x emisyon değerleri

2020 Yılı NO _x Emisyonu (Kg)	A20Neo	A21Neo	A320	A321	A330-A332- A333	B738-B739	Toplam
İstanbul Havalimanı	6193,95	66 486,04	84 565,8	310 609,74	378 037,96	331 952,4	1 177 845,89
Sabiha Gökçen Havalimanı	96 413,8	10 243,52	83 229,3	15 613,26	6402,6	422 382	634284,48
Antalya Havalimanı	17 266,9	4895,8	28 581,3	64 108,5	15 544,09	427 843,2	558 239,79
Esenboğa Havalimanı	7288,75	645,6	14285,7	13 389,75	10 173,02	191 252,7	237 035,52
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	25 216,1	581,04	22591,8	10 565,73	7434,13	147 882,9	214271,7
Dalaman Havalimanı	4670,75	2238,08	8454,6	10 792,95	391,27	35 178	61725,65
Milas-Bodrum Havalimanı	3950,8	1097,52	7108,2	11 474,61	177,85	33 775,8	57 584,78
Adana Şakirpaşa Havalimanı	5355	914,6	5286,6	10403,43	7754,26	78 264,9	107 978,8
Gaziantep Havalimanı	3528,35	269	2772	6719,22	426,84	46 358,7	60 074,11

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 10. 2020 yılı havalimanları yakıt tüketim değerleri

2020 Yılı Yakıt Tüketimi (Kg)	A20Neo	A21Neo	A320	A321	A330- A332-A333	B738-B739	Toplam
İstanbul Havalimanı	652 707	4 640 429	7 200 906	19 348 518	23 721 696	23 776 428	79 340 684
Sabiha Gökçen Havalimanı	10 159 908	714 952	7 087 101	972 582	401 760	30 253 540	49 589 843
Antalya Havalimanı	1 819 554	341 705	2 433 741	3 993 450	975 384	30 644 704	40 208 538
Esenboğa Havalimanı	768 075	45 060	1 216 449	834 075	638 352	13 698 669	17 200 680
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	2 657 226	40 554	1 923 726	658 161	466 488	10 592 263	16 338 418
Dalaman Havalimanı	492 195	156 208	719 922	672 315	24 552	2 519 660	4 584 852
Milas-Bodrum Havalimanı	416 328	76 602	605 274	714 777	11 160	2 419 226	4 243 367
Adana Şakirpaşa Havalimanı	564 300	63 835	450 162	648 051	486 576	5 605 803	7 818 727
Gaziantep Havalimanı	371 811	18 775	236 040	418 554	26 784	3 320 489	4 392 453

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 11. 2021 yılı havalimanlarına ait toplam iniş kalkış sayıları

Toplam	B738- B739	A330- A332- A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2021 Yılı İniş Kalkış sayıları
197 049	57 043	33 470	55 723	16 747	31 035	3031	İstanbul Havalimanı
173 012	86 906	218	4358	21 661	7171	52 698	Sabiha Gökçen Havalimanı
107 243	63 631	2719	16062	13 997	1492	9342	Antalya Havalimanı
47 909	32 437	421	1984	10 175	305	2587	Esenboğa Havalimanı
48 095	29 162	150	1564	5339	490	11390	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
14 467	7878	190	1908	2159	144	2188	Dalaman Havalimanı
18 092	10 094	391	2215	2490	292	2610	Milas-Bodrum Havalimanı
25 605	18 791	548	1424	1730	512	2600	Adana Şakirpaşa Havalimanı
12 311	8645	0	1394	997	205	1070	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 12. 2021 yılı havalimanları CO₂ emisyon değerleri

Toplam	B738-B739	A330-A332-A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2021 Yılı CO ₂ Emisyonu (Kg)
342 332 300	72 567 744	11 838 976	89 146 890	22 359 350	36 862 182	3 007 158	İstanbul Havalimanı
218 666 129	121 081 728	775 720	6 997 050	28 971 215	8 538 054	52 302 362	Sabiha Gökçen Havalimanı
153 745 257	88 695 456	9 625 980	25 687 800	18 692 310	1 772 631	9 271 080	Antalya Havalimanı
66 405 867	45 214 944	1 487 972	3 179 025	13 591 500	363 069	2 569 357	Esenboğa Havalimanı
62 428 100	40 393 056	528 900	2 508 075	7 136 870	581 385	11 279 814	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
19 941 510	10 988 448	669 940	3 051 225	2 883 530	173 229	2 175 138	Dalaman Havalimanı
25 260 385	14 070 336	1 382 192	3 543 255	3 328 585	348 831	2 587 186	Milas-Bodrum Havalimanı
31 347 282	21 623 328	1 932 248	2 284 425	2 318 550	607 488	2 581 243	Adana Şakirpaşa Havalimanı
16 937 385	12 057 504	0	2 236 500	1 335 165	244 419	1 063 797	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 13. 2021 yılı havalimanları HC emisyon değerleri

Toplam	B738-B739	A330-A332-A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2021 Yılı HC Emisyonu (Kg)
49 401,96	18 767,52	21 488,64	4743,34	2852,6	1398,06	151,8	İstanbul Havalimanı
38 487,5	31 314,24	140,8	372,3	3696,14	323,82	2640,2	Sabiha Gökçen Havalimanı
28 972,47	22 938,48	1747,2	1366,8	2384,76	67,23	468	Antalya Havalimanı
14 010,22	11 693,52	270,08	169,15	1734	13,77	129,7	Esenboğa Havalimanı
12 177,9	10 446,48	96	133,45	910,52	22,05	569,4	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
3610,04	2841,84	121,6	162,35	367,88	6,57	109,8	Dalaman Havalimanı
4646,78	3638,88	250,88	188,53	424,66	13,23	130,6	Milas-Bodrum Havalimanı
6513,65	5592,24	350,72	121,55	295,8	23,04	130,3	Adana Şakirpaşa Havalimanı
3470,63	3118,32	0	119	170,34	9,27	53,7	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 14. 2021 yılı havalimanları NO_x emisyon değerleri

Toplam	B738-B739	A330-A332-A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2021 Yılı HC Emisyonu (Kg)
1 629 849,36	320 611,8	597 149,16	452 849,46	83 061	167 145,84	9032,1	İstanbul Havalimanı
877 837,28	534 951,6	3912,7	35543,7	107622,9	38 714,48	15 7091,9	Sabiha Gökçen Havalimanı
676 230,27	391 865,7	48 553,05	130489,2	69 438,6	8037,72	27 846	Antalya Havalimanı
283 271,85	199 764,3	7505,27	16 148,85	50 490	1646,28	7717,15	Esenboğa Havalimanı
256 896,7	178 460,7	2667,75	12 740,55	26 512,2	2636,2	33 879,3	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
85 457,28	48 548,1	3379,15	15 499,65	10 711,8	785,48	6533,1	Dalaman Havalimanı
108 852,5	62 164,2	6971,72	17 999,07	12 365,1	1581,72	7770,7	Milas-Bodrum Havalimanı
136 005,1	95 534,1	9746,18	11 604,45	8613	2754,56	7752,85	Adana Şakirpaşa Havalimanı
73 895,63	53 271,3	0	11361	4959,9	1108,28	3195,15	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 15. 2021 yılı havalimanları yakıt tüketim değerleri

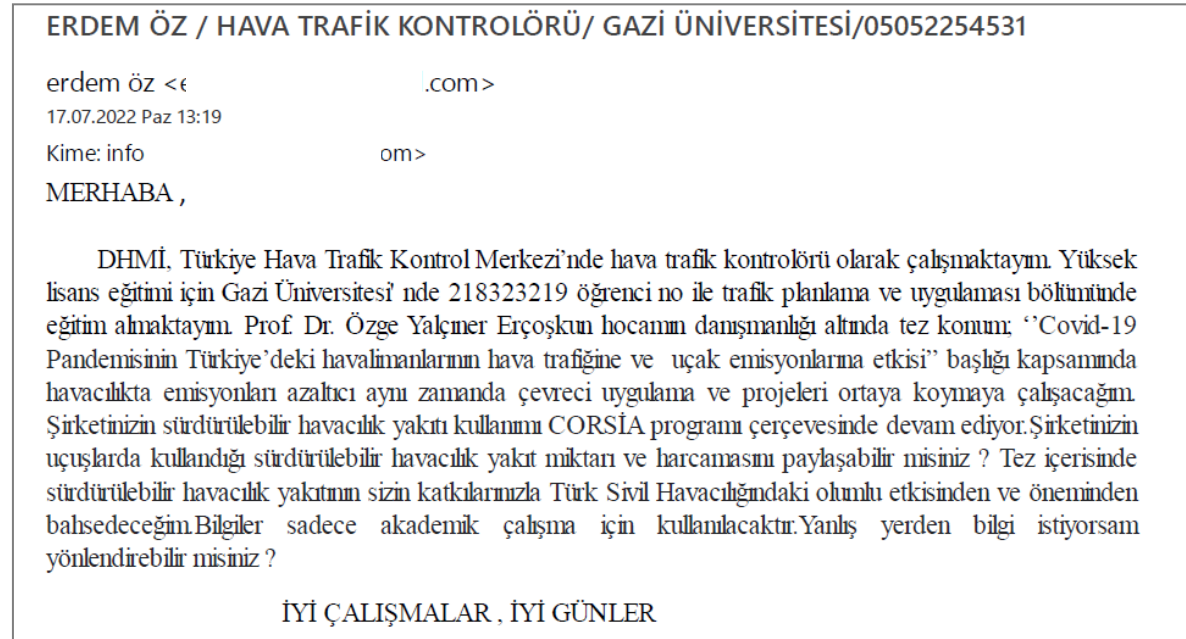
Toplam	B738-B739	A330-A332-A333	A321	A320	A21Neo	A20Neo	2021 Yılı Yakıt Tüketimi (Kg)
108 334 474	22 964 146	37 470 816	28 208 922	7 072 770	11 666 034	951 786	İstanbul Havalimanı
6 9196 467	38 316 452	245 520	2 214 090	9 164 253	2 702 098	16 554 054	Sabiha Gökçen Havalimanı
48 651 058	28 067 779	3 046 680	8 128 440	5 912 802	560 997	2 934 360	Antalya Havalimanı
21 012 640	14 308 321	470 952	1 005 945	4 299 300	114 903	813 219	Esenboğa Havalimanı
19 755 151	12 782 429	167 400	793 635	2 257 554	183 995	3 570 138	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
6 310 247	3 477 307	212 040	965 505	912 126	54 823	688 446	Dalaman Havalimanı
7 993 411	4 452 574	437 472	1 121 199	1 052 907	110 397	818 862	Milas-Bodrum Havalimanı
9 919 807	6 842 727	611 568	722 865	733 410	192 256	816 981	Adana Şakirpaşa Havalimanı
5 359 706	3 815 611	0	707 700	422 343	77353	336 699	Gaziantep Havalimanı

EK-1. (devam) Tezde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Çizelge 16. Havalimanları 3 yıl için toplam kirletici ve yakıt tüketimi değerleri

Yakıt Tüketimi	NO _x	HC	CO ₂	3 Yıllık Toplam Kirletici Ve Yakıt Tüketim Miktarları (Kg)
346 507 552	5 211 558,04	166 975,73	1 094 960 140	İstanbul Havalimanı
211 965 623	2 706 281,88	125 275,74	669 840 308	Sabiha Gökçen Havalimanı
166 768 172	2 324 189,41	98 286,14	527 018 798	Antalya Havalimanı
77 356 126	1 064 746,01	54 288,91	244 457 626	Esenboğa Havalimanı
69 345 879	933 485,9	45 893,86	219 140 522	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
22 454 271	308 495,53	12 358,26	70 960 219	Dalaman Havalimanı
23 559 939	319 368,48	13 681,77	74 455 037	Milas-Bodrum Havalimanı
31 970 654	443 165,4	20 922,94	101 029 882	Adana Şakirpaşa Havalimanı
16 925 469	234 806,94	10 979,39	53 486 257	Gaziantep Havalimanı

EK-2. SAF bilgi mailleri



Şekil 1.1. THY ve Pegasus tarafından SAF kullanılan uçuşlar için bilgi talep maili

EK-2. (devam) SAF bilgi mailleri

From: A UZUN <uzun@pegasus.com>
Sent: Mondav, Au
To:
Subject: Tez Çalışması Bilgi Talebiniz Hakkında

Sayın Erdem Bey,

Misafir ilişkileri birimimize ulaşan talebiniz ile ilgili olarak bu mesajı size iletiyorum.

Aynı sektörde çalıştığımız bilgisini aldık. İlginiz için ayrıca teşekkür ederim.

Biz 2019 yılından beri bazı yurt dışı çıkışlı uluslararası uçuşlarımızda, ilgili meydan uygulaması doğrultusunda, 2022 Mart ayından beri ise ADB-SAW ve ESB-SAW uçuşlarımızda ihtiyaren SAF kullanıyoruz. Bu yakıt tabii uçak içinde kullanılan toplam yakıt içerisinde karıştırıyoruz ve karışım (blend) içindeki oranın özellikle toplam yakıt tüketimimize oranla sınırlı olduğunu söyleyebilirim. Bu nedenle halihazırda emisyon/yakıt tasarrufu anlamındaki planlamamız filo dönüşümümüz odaklıdır. Daha uzun vadeli bir SAF kullanım planlamasını halihazırda değerlendiriyoruz.

Bu genel bilgi ötesinde birim maliyet ve kullanım detayını bu aşamada kamuya açıklamıyoruz. Bu nedenle daha detay bilgiyi paylaşamıyorum. Bu konuda anlayışınızı rica eder, çalışmalarınızda size başarılar dilerim.

Saygılarımla,

A UZUN
Başhukuk Müşaviri, Sürdürülebilirlik Lideri ve Genel Sekreter
General Counsel and Sustainability Director

A UZUN <uzun@pegasus.com>
15.08.2022 Pzt 13:15
Kime: erdem öz <erdem.oz@pegasus.com> 1>

Erdem Bey merhaba,

Mart ayında başladık ve Ağustos sonu itibarıyla 387 sefere ulaşmayı bekliyoruz. Bir engel olmazsa sene sonuna kadar devam edeceğiz; günlük sayı değişiklik gösterebilir. Mart – Ağustos döneminde 387 veya yaklaşık 400 uçuşu dikkate alabilirsiniz.

İyi günler,

Şekil 1.2. Pegasus SAF mail yanıtı

EK-2. (devam) SAF bilgi mailleri

 noreply.tkcustomer@thy.com
Kime: Siz

22.11.2022 Sal 19:12

 **TURKISH AIRLINES**

Sayın Erdem ÖZ,

Oluşturmuş olduğunuz geribildirim için teşekkür eder, eğitim ve kariyer hayatınızda başarılar dileriz.

İletmiş olduğunuz sorulara yanıt vermeyi ve size yardımcı olmayı çok isteriz. Belirtmiş olduğunuz sorularınızın cevaplarını aşağıda iletmış bulunmaktayız,

Şirketinizin sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanımı CORSIA programı çerçevesinde devam ediyor. Şirketinizin SAF yakıtıyla hangi hatlarda ve hangi sayıda SAF yakıtlı uçuş gerçekleştirdiğini paylaşabilir misiniz ?

- Sürdürülebilir Havacılık Yakıtının, havacılık sektörünün sebep olduğu karbon emisyonunun azaltılmasında kritik rol oynamasının bilinciyle, Türk Hava Yolları olarak, iklim değişikliğiyle mücadele konusundaki kararlı tutumumuzun en taze göstergelerinden biri olan sürdürülebilir havacılık yakıtını 2022 yılı itibarıyla ilk olarak İstanbul Havalimanı- Paris Charles De Gaulle ile İstanbul Havalimanı- Stockholm Arlanda Havalimanı hatlarımızda kullanmaya başladık. Oslo, Göteborg, Kopenhag, Londra ve Stockholm hatlarında haftada bir gün olacak şekilde planlanmış olan bu yakıtın kullanımını, sonraki süreçlerde artan frekanslara ve farklı destinasyonlara yaygınlaştırmayı planlıyoruz. Buna ek olarak, sürdürülebilir havacılık yakıtı, İstanbul Havalimanı'na dönüş seferlerinde Lyon, Marsilya, Oslo, Strazburg ve Toulouse hatlarında kullanılmaktadır.
- Paris Anlaşması, iklim değişikliği ile küresel mücadelede bir dönüm noktası olarak görülmektedir. Anlaşmanın uzun dönemli temel hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışının sanayileşme öncesi döneme göre 2°C altında tutulmasıdır. Bunun yanı sıra 2°C'den daha iddialı olarak, küresel ortalama sıcaklık artışının 1,5°C'nin altında tutulması için ortak çabaların sürdürülmesi beklenmektedir. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından, 2018 yılında yayımlanan bir raporda, küresel sıcaklık artışının 1,5°C ile nasıl sınırlandırılabileceği araştırılmış ve çözüm olarak ülkelerin 2050 yılına kadar "net sıfır karbondioksit" olmaları gerektiği belirtilmiştir.
- Buna ek olarak, ICAO (International Civil Aviation Organization) 2022 yılının Ekim ayında gerçekleştirdiği 41. General Assembly'de uluslararası havacılık için 2050 net-sıfır hedefi belirlenmiştir. SAF'ın geleneksel Jet yakıtına kıyasla, yaşam döngüsünde %80'e varan oranda daha az emisyon potansiyeli bulunması sebebiyle, bu hedefe ulaşmak için en önemli faktörlerden biri de Sürdürülebilir Havacılık Yakıtlarının (SAF) kullanımıdır.
- Buna ek olarak, IATA (International Air Transport Association) 2021 yılında gerçekleştirilen 77. Genel Kurulunda havacılık sektörü için net-sıfır hedefi, ve bu hedefe hangi yöntemlerle ulaşılabileceğine dair bir yol haritası açıkladı. Bu yol haritası, belirli yıl aralıklarında, değişen oranlarda SAF kullanımı, offset, karbon yakalama ve depolama, yeni teknolojiler, operasyon ve altyapıdaki iyileştirmelerden oluşmaktadır. 2025 yılında SAF kullanımına ayrılan pay %2 olup, bu payın 2050 yılına gelindiğinde %65'e çıkması hedeflenmektedir. Bu durum SAF'ın ilerleyen yıllardaki önemini vurgulamaktadır.

Uluslararası gelişmelerin ve uzun vadeli hedeflerin yanı sıra, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından 3 Ağustos 2022 tarihinde SHT-SAF taslağı yayımlanmıştır. Yayımlanan taslak talimata göre, belirli yıllarda belirli oranlarda SAF kullanım zorunluluğu gelmesi hedeflenmektedir. Bu durum Türk Sivil Havacılığının Sürdürülebilir Havacılık Yakıtlarına verdiği önemin altını çizmektedir.

Sorularınızı cevaplayabildiğimiz olma ümidiyle, iyi günler dileriz.

Saygılarımızla,

Gülray A.
Müşteri Temsilcisi

TÜRK HAVA YOLLARI A.Ş.
Müşteri İletişim Merkezi

Şekil 1.3. THY SAF mail yanıtı

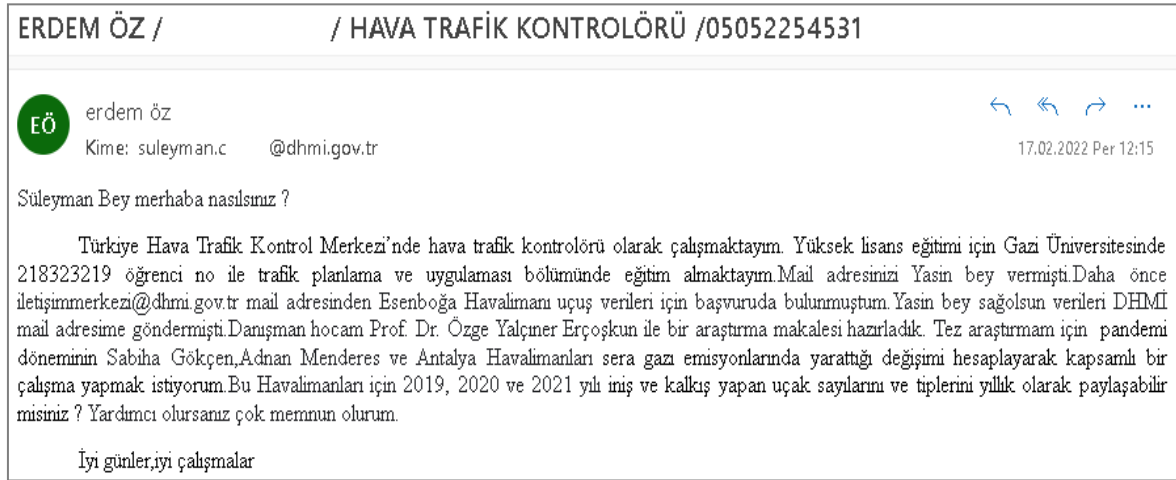
EK-3. ICAO 9889 dökümanı LTO’da uçak umisyon faktörleri

Uçak		LTO emisyon faktörleri (kg/LTO/uçak)							Yakıt tüketimi (kg/LTO/uçak)
		CO ₂	HC	NO _x	CO	SO ₂	tPM _{mass}	nvPM _{number}	
Büyük Ticari Uçak	A300	5.445	1,25	25,86	14,80	0,86	0,16	1,58E+18	1.723
	A310	4.761	6,30	19,46	28,30	0,75	0,17	9,99E+17	1.507
	A318	2.274	0,91	6,76	12,14	0,36	0,07	5,48E+17	719
	A319	2.390	1,20	8,70	7,86	0,38	0,14	2,54E+18	756
	A320	2.665	0,34	9,90	8,14	0,42	0,17	3,28E+18	843
	A320neo	1.981	0,10	5,95	6,95	0,31	0,04	2,35E+17	627
	A321	3.195	0,17	16,23	5,81	0,51	0,23	4,62E+18	1.011
	A321neo	2.373	0,09	10,76	6,94	0,38	0,06	2,86E+17	751
	A330-200/300	7.052	1,28	35,57	16,20	1,12	0,21	2,42E+18	2.232
	A340-200	6.111	4,05	31,08	25,75	0,97	0,18	8,18E+17	1.934
	A340-300	6.383	3,90	34,81	25,23	1,01	0,19	8,77E+17	2.020
	A340-500/600	10.659	0,14	64,45	15,31	1,69	0,19	7,95E+17	3.373
	A350-900	6.756	0,94	39,81	20,27	1,07	0,20	2,63E+18	2.138
	A350-1000	7.851	0,90	56,91	20,23	1,24	0,24	2,77E+18	2.484
	A380	11.952	3,70	69,42	39,06	1,89	0,34	3.37E + 18	3.782
	707	5.890	97,45	10,96	92,37	0,93	2,15	1,88E+19	1.864
	717	2.143	0,05	6,68	6,78	0,34	0,09	7,80E+17	678
	727-200	4.610	8,14	11,97	27,16	0,73	0,52	1,11E+19	1.459
	737-300/400/500	2.737	1,43	6,98	6,48	0,43	0,14	2,55E+18	866
	737-600	2.279	1,01	7,66	8,65	0,36	0,09	1,23E+18	721
	737-700	2.462	0,86	9,12	8,00	0,39	0,09	1,40E+18	779
	737-800/900	2.784	0,72	12,30	7,07	0,44	0,12	2,04E+18	881
	747-200	11.370	18,24	49,52	79,78	1,80	0,46	3,33E+18	3.598
	747-300	11.074	2,73	65,00	17,84	1,75	0,37	4,01E+18	3.504
	747-400	10.245	2,25	42,88	26,72	1,62	0,24	6,28E+17	3.242
	747-8	11.044	0,84	44,32	27,61	1,75	0,24	2,76E+18	3.495
	757-200	4.317	0,22	23,43	8,08	0,68	0,11	1,20E+18	1.366
	757-300	4.625	0,11	17,85	11,62	0,73	0,33	5,88E+18	1.464

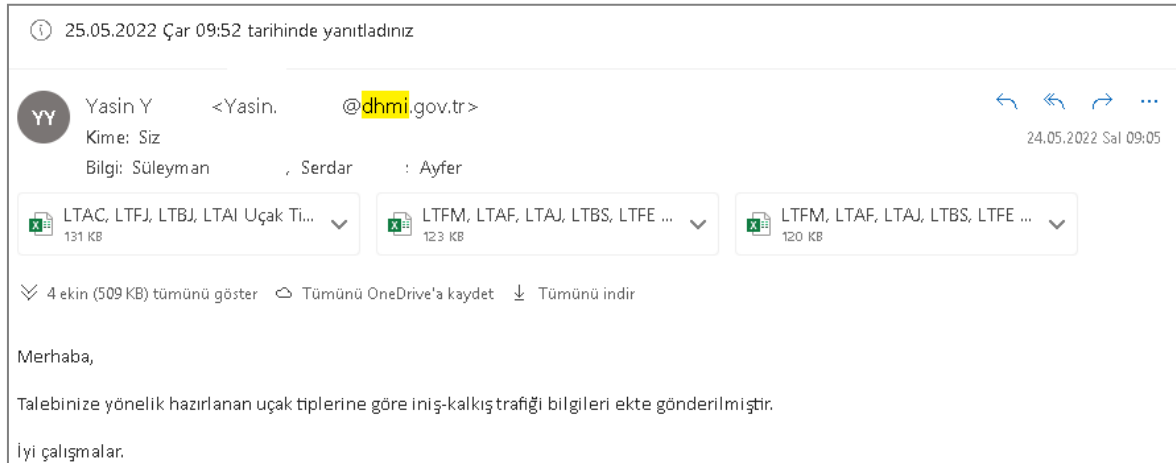
EK-3. (devam) ICAO 9889 dökümanı LTO’da uçak emisyon faktörleri

Uçak		LTO emisyon faktörleri (kg/LTO/uçak)							Yakıt tüketimi (kg/LTO/uçak)
		CO ₂	HC	NO _x	CO	SO ₂	tPM _{mass}	nvPM _{num ber}	
	767-200	4.622	3,32	23,76	14,80	0,73	0,18	1,04E+18	1.463
	767-300	5.608	1,19	28,19	14,47	0,89	0,17	1,68E+18	1.775
	767-400	5.522	0,98	24,80	12,37	0,87	0,13	3,74E+17	1.748
	777-200/300	7.197	1,35	37,47	16,60	1,14	0,18	1,14E+18	2.277
	787-8	5.468	0,24	28,75	10,34	0,87	0,12	1,15E+18	1.730
	CS 100 / A220-100	1.890	0,06	8,25	3,44	0,30	0,05	5,34E+17	598
	CS 300 / A220-300	1.890	0,06	8,25	3,44	0,30	0,05	5,34E+17	598
	EMB170	1.589	0,04	4,84	4,05	0,25	0,03	1,01E+17	503
	EMB190	2.059	1,14	6,43	12,13	0,33	0,06	1,87E+17	652
	DC-10	7.287	2,37	35,65	20,59	1,15	0,24	1,26E+18	2.306
	DC-8-50/60/70	5.357	1,51	15,62	26,31	0,85	0,14	1,46E+18	1.695
	DC-9	2.646	4,63	6,16	16,29	0,42	0,29	6,18E+18	837
Büyük Ticari Uçak	MD-11	7.287	2,37	35,65	20,59	1,15	0,24	1,26E+18	2.306
	MD-80	3.184	1,87	11,97	6,46	0,50	0,27	5,76E+18	1.008
	MD-90	2.759	0,06	10,76	5,53	0,44	0,26	5,93E+18	873
	TU-134	2.931	17,98	8,68	27,98	0,46	0,66	1,24E+19	928
	TU-154-M	5.959	13,17	12,00	82,88	0,94	1,11	2,96E+19	1.886
	TU-154-B	7.030	119,0 3	14,33	143,05	1,11	1,58	1,96E+19	2.225
Bölgesel ve iş jetleri	RJ-RJ85	1.906	1,35	4,34	11,21	0,30	0,09	2,09E+18	603
	BAE 146	1.801	1,41	4,07	11,18	0,29	0,07	8,26E+17	570
	CRJ-100ER	1.056	0,63	2,27	6,70	0,17	0,04	5,16E+17	334
	CRJ-900	1.517	0,04	4,40	4,12	0,24	0,03	7,34E+16	480
	ERJ-145	993	0,56	2,69	6,18	0,16	0,02	1,81E+17	314
	Fokker 100/70/28	2.387	1,43	5,75	13,84	0,38	0,34	9,19E+18	755
	Dornier 328 Jet	868	0,57	2,99	5,35	0,14	0,04	5,56E+17	275
	Gulfstream IV	2.030	0,55	4,99	8,25	0,32	0,07	5,22E+17	642
	Gulfstream V	1.857	0,60	5,70	8,90	0,29	0,13	1,00E+18	588
	Gulfstream VI	1.925	0,80	5,13	11,82	0,30	0,09	6,21E+17	609
	Gulfstream VII-500	1.619	0,01	6,34	3,20	0,26	0,03	6,04E+16	512
	RRJ95-LR	2.147	0,27	5,90	9,21	0,34	0,15	1,04E+18	679
	Yak-42M	1.919	1,68	7,11	6,81	0,30	0,09	1,62E+18	607
Düşük itkili jet	Cessna 525/560	458	1,66	0,28	16,20	0,07	0,05	1,20E+18	145
Turboprop	Beech King Air ⁸	241	0,64	0,32	2,99	0,04	0,02	6,51E+17	76
	DHC8-100 ⁹	658	0,00	1,55	2,27	0,10	0,07	2,23E+18	208
	ATR72-500 ¹⁰	641	0,29	1,88	2,35	0,10	0,07	2,36E+18	203

EK-4. DHMİ 2019, 2020, 2021 Havalimanlarına Ait İniş Kalkış İstatistikleri Bilgi Mailleri



Şekil 1.4. DHMİ havalimanlarına ait iniş kalkış istatistikleri talep maili



Şekil 1.5. DHMİ havalimanlarına ait iniş kalkış istatistikleri bilgi maili



GAZİ GELECEKTİR...