

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜTAHYA VE UŞAK İLLERİNDEKİ HAVALİMANLARINDAN
KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf YILMAZ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

NİSAN 2025

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜTAHYA VE UŞAK İLLERİNDEKİ HAVALİMANLARINDAN
KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf YILMAZ
(36213618020)

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Tez Danışman: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

NİSAN 2025

**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**KÜTAHYA VE UŞAK İLLERİNDEKİ HAVALİMANLARINDAN
KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Tezi Hazırlayan: Yusuf YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmanın hazırlanması aşamasında çalışmalarımın her safhasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve tez konumu kararlaştırmada bana yardımcı olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Rasim BEHÇET'e teşekkür ederim. Ayrıca desteklerini her zaman yanımda hissettiğim ve bir an için bile desteğini esirgemeyen aileme ve çalışmalarımda emeği geçenlere içtenlikle, teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kütahya ve Uşak İllerindeki Havalimanlarından Kaynaklanan Emisyonların Çevreye Etkilerinin Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yusuf YILMAZ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Türk Sivil Havacılığı Tarihi Gelişimi	2
1.2 Türk Sivil Havacılık Kuruluşları	2
1.2.1 Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)	2
1.2.2 Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMI)	3
1.2.3 Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH)	3
1.3 Uluslararası Sivil Havacılık Kuruluşları.....	3
1.3.1 Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO).....	4
1.3.2 Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (EASA)	4
1.3.3 Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA).....	4
1.3.4 Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI)	5
1.3.5 Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü (EUROCONTROL)	5
1.3.6 Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı.....	5
1.4 Tezin Amacı.....	5
1.5 Literatür Taraması.....	6
1.5.1 Uçak emisyonları ilgili Türkiye’de yapılan bilimsel çalışmalar	6
1.5.2 Uçak emisyonlarının çevresel etkileri ile ilgili Dünya’da yapılan çalışmalar... ..	8
2. GAZ TÜRBİNLİ MOTORLAR VE HAVACILIKTAKİ ÖNEMİ.....	11
2.1 Giriş	11
2.2 Uçak Motorlarının Tarihçesi.....	11
2.3 Uçak Motoru Tipleri.....	13
2.3.1 Pistonlu tip motorlar	13
2.3.2 Gaz türbinli tip motorlar	14
2.4 Gaz Türbinli Motorlar	15
2.4.1 Turbofan motorlar.....	16
2.4.2 Turboşaft motorlar	18
2.4.3 Turboprop motorlar	19
2.4.4 Turbojet motorlar	20

2.5	Gaz Türbinli Motorların Kısımları	21
2.5.1	Hava girişi (hava alığı) kısmı	21
2.5.2	Kompresör kısmı	22
2.5.3	Yanma odaları kısmı	23
2.5.4	Türbin kısmı	25
2.5.5	Egzoz bölümü	25
2.6	Gaz Türbinli Motorların Çalışma Prensibi (Turbofan Motor Örneği)	26
3	HAVALİMANLARINDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ	29
3.1	Hava Kirliliği ve Kaynakları	29
3.1.1	Doğal kaynaklı hava kirliliği	29
3.1.2	İnsan kaynaklı hava kirliliği	30
3.1.2	Karbondioksit (CO ₂)	33
3.1.3	Su buharı (H ₂ O)	33
3.1.4	Azot oksitler (NO _x)	33
3.1.5	Karbonmonoksit (CO)	34
3.1.6	Hidrokarbonlar (HC)	34
3.1.7	Partikül maddeler (PM)	35
3.1.8	Sülfür oksitler (SO _x)	35
3.1.9	Kurşun (Pb)	35
3.2	Uçak Emisyonlarının Çevresel Etkileri	35
3.2.1	Küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerindeki etkisi	36
3.2.2	Ozon tabakasına etkisi	36
3.2.3	Hava kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkisi	36
3.2.4	Ekosistemler üzerindeki etkiler	37
3.2.5	Yüksek irtifa etkileri	37
3.2.6	Ses kirliliği	37
3.2.7	Küresel havacılık emisyonlarının etkisi	38
3.2.8	Uçak kaynaklı emisyonların sera etkisi	38
3.3	Havalimanları	41
3.3.1	Havalimanlarının sınıflandırılması	42
3.3.2	Havalimanları ve çevresel etkileri	42
4	IPCC METODOLOJİSİ VE EMİSYON HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	46
4.1	Uçuş Profili ve Aşamaları	46
4.2	LTO (Landing and Take Off) Döngüsü	47

4.3	IPCC Metodolojisi.....	48
4.4	IPCC Emisyon Hesaplama Yöntemleri	49
4.4.1	Tier 1 metodu	49
4.4.2	Tier 2 yöntemi	49
4.4.3	Tier 3 yöntemi	49
5	KÜTAHYA VE UŞAK HAVALİMANLARININ UÇAK EMİSYONLARI.....	50
5.1	Kütahya İli ve Havalimanına Ait Bilgiler.....	50
5.2	Uşak İli ve Havalimanına Ait Bilgiler	51
5.3	2020-2022 Yılları arası Kütahya ve Uşak Havalimanlarındaki Uçak Emisyonları 53	
5.4	2020 Yılına Ait Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Uçak Emisyonları Toplamı.....	64
5.5	2021 Yılına Ait Uçak Emisyonları	67
5.5.1	2021 Kütahya Zafer Havalimanı uçak emisyonları	67
5.5.2	2021 Yılı Uşak havalimanı uçak emisyonları.....	75
5.6	2021 Yılına Ait Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Uçak Emisyonları Toplamı.....	76
5.7	2022 Yılına ait Uçak Emisyonları	79
5.8	2022 Yılına Ait Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Uçak Emisyonları Toplamı.....	90
5.9	2020-2022 Yıllarına Ait Kütahya Zafer Havalimanı (3Yıllık) Uçak Emisyonları Toplamı	93
5.10	2020-2022 Yıllarına Ait Uşak Havalimanı (3Yıllık) Uçak Emisyonları Toplamı	96
5.11	2020-2022 Yılları Ait Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Uçak Emisyonlarının Karşılaştırılması	99
6	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	106
	KAYNAKLAR	111
	EKLER	116
	ÖZGEÇMİŞ	119

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1: Referans alınacak LTO döngüsü [65].	48
Çizelge 5.1: Kütahya Zafer Havaalanını kullanan uçak tiplerinin emisyon faktörleri [74].	63
Çizelge 5.2: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamaları.	63
Çizelge 5.3: 2020 yılı Uşak Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin göre LTO sayısına göre emisyon toplamaları	64
Çizelge 5.4: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin LTO sayısına emisyon toplamaları	75
Çizelge 5.5: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamaları	89
Çizelge 5.6: 2022 yılı Uşak Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamaları	89



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: DHMİ Genel Müdürlüğü Havalimanları [4].....	3
Şekil 2.1: Pistonlu tip uçak motoru [31].	13
Şekil 2.2: Bir silindir içinde pistonun hareketi ve pervaneye aktarılması [32].	14
Şekil 2.3:Gaz türbini biçimlerine örnekler: (1) turbojet, (2) turboprop, (3) turboşaft (elektrik jeneratörü), (4) yüksek bypasslı turbofan, (5) düşük bypasslı arıyakıcılı turbofan [35].	15
Şekil 2.4: Turbojet, turboprop, turboşaft ve turbofan motorlarının kullanıldığı farklı uçak tipleri [39].	16
Şekil 2.5: Turbofan motoru [35].	17
Şekil 2.6: Turbofan motorunun kısımları [35].	18
Şekil 2.7: Turboşaft motor kısımları [35].	18
Şekil 2.8: Turboşaft motor [37].	19
Şekil 2.9 : Uçak üzerinde turboprop motoru [39].	19
Şekil 2.10: Turboprop motor kısımları [35].	20
Şekil 2.11: Turbojet motorunun kısımları [41].	20
Şekil 2.12: Türkiye'nin milli muharip jet uçağı KAAN [36].	21
Şekil 2.13: Gaz türbini motorunun kısımları [42].....	21
Şekil 2.14: Gaz türbinli motor hava alığı [42].	22
Şekil 2.15 : Gaz türbinlerinde kullanılan eksenel ve santrifüj kompresör örnekleri [39]. ..	22
Şekil 2.16: Yanma odası konfigürasyonları [39].....	24
Şekil 2.17: Gaz türbinli motorda yanma odası [42]	24
Şekil 2.18: Gaz türbinlerinde güç üreten eleman olan türbinin şematik görünümü [43]. ...	25
Şekil 2.19: Gaz türbini egzoz kısmı [44].	26
Şekil 2.20: Turbofan motoru içinden hava akışı [43].	26
Şekil 2.21: Turbofan motoru içinden hava akışı [43].	27
Şekil 2.22: Motorun içinden akan hava akışı ve tepki kuvvetinin oluşumu. [32].	27
Şekil 3.1: 150 kapasiteli iki motorlu bir jet uçağının bir saat uçuşu ile uçaktan atmosfere yayılan emisyonlar için bir örnek [50].	31
Şekil 3.2: Yıllar bazında Türkiye'nin sera gazı salım miktarı (milyon ton) [53].	32
Şekil 3.3: Küresel ısınmada sera etkisi ve buzullardaki değişim [49].	39
Şekil 3.4: Havalimanlarının çevreye etkileri [57].	43
Şekil 4.1: Uçuş profili aşamaları [59].	46
Şekil 4.2: LTO (Landing and take-off) döngüsü [66].	47
Şekil 5.1: Türkiye haritasında Kütahya ilinin konumu [68].	50
Şekil 5.2: Kütahya Zafer havalimanına ait resimler [70].	51
Şekil 5.3: Kütahya Zafer havalimanının uydu görüntüsü [71].	51
Şekil 5.4: Türkiye haritasında Uşak ilinin konumu [69].	52
Şekil 5.5: Uşak havalimanına ait resimler [72].	52
Şekil 5.6: Uşak havalimanının uydu görüntüsü [73].	52
Şekil 5.7: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafik sayısı.	53
Şekil 5.8: 2020 yılı Uşak Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafik sayısı.	54
Şekil 5.9: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.	55
Şekil 5.10: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.	55
Şekil 5.11: 2020 yılı Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri(kg/y).	56

Şekil 5.12: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NO _x emisyon değerleri(kg/y).	56
Şekil 5.13: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO ₂ emisyon değerleri(kg/y).	57
Şekil 5.14: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre CO ₂ emisyon değerleri(kg/y).	57
Şekil 5.15: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).	58
Şekil 5.16: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).	58
Şekil 5.17: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).	59
Şekil 5.18: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).	60
Şekil 5.19: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre NO _x emisyon değerleri(kg/y).	61
Şekil 5.20: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre NO _x emisyon değerleri(kg/y).	61
Şekil 5.21: 2020 Yılı Kütahya Zafer Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).	62
Şekil 5.22: 2020 Yılı Uşak Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).	62
Şekil 5.23: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı toplam uçak trafik sayısı	64
Şekil 5.24: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı HC, CO ve NO _x Emisyonları (kg/y).	65
Şekil 5.25: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı CO ₂ Emisyonları (t/y).	66
Şekil 5.26: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Yakıt tüketimleri (t/y).	67
Şekil 5.27: 2021 Kütahya Zafer Havalimanı yıl içi hat, dış hat toplam uçak trafik sayısı	68
Şekil 5.28: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.	69
Şekil 5.29: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NO _x emisyon değerleri(kg/y).	70
Şekil 5.30: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO ₂ emisyon değerleri(kg/y).	71
Şekil 5.31: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).	71
Şekil 5.32: 2021 yılı Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).	72
Şekil 5.33: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre NO _x emisyon değerleri(kg/y).	73
Şekil 5.34: 2021 Yılı Kütahya Zafer Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).	74
Şekil 5.35: 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı toplam uçak trafik sayısı.	76
Şekil 5.36: 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı HC, CO ve NO _x Emisyonları (kg/y).	77
Şekil 5.37: 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı CO ₂ Emisyonları (t/y).	78
Şekil 5.38: 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Yakıt tüketimleri (t/y).	78

Şekil 5.39: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafik sayısı.	79
Şekil 5.40: 2022 yılı Uşak Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafik sayısı.....	80
Şekil 5.41: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.....	81
Şekil 5.42: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.....	81
Şekil 5.43: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NO _x emisyon değerleri(kg/y).....	82
Şekil 5.44: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NO _x emisyon değerleri(kg/y).	82
Şekil 5.45: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO ₂ emisyon değerleri(kg/y).	83
Şekil 5.46: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre CO ₂ emisyon değerleri(kg/y)..	84
Şekil 5.47: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).	84
Şekil 5.48: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y). .	85
Şekil 5.49: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).	85
Şekil 5.50: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y). .	86
Şekil 5.51: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre NO _x emisyon değerleri(kg/y).	86
Şekil 5.52: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre NO _x emisyon değerleri(kg/y).	87
Şekil 5.53: 2022 Yılı Kütahya Zafer Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).....	88
Şekil 5.54: 2022 Yılı Uşak Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri(t/y).....	88
Şekil 5.55: 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı toplam uçak trafik sayısı.	90
Şekil 5.56: 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı HC, CO ve NO _x Emisyonları (kg/y).	91
Şekil 5.57: 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı CO ₂ Emisyonları (t/y).	91
Şekil 5.58: 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Yakıt tüketimleri (t/y).	92
Şekil 5.59: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı toplam uçak trafik sayısı.	93
Şekil 5.60: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı HC, CO ve NO _x Emisyonları (kg/y).	94
Şekil 5.61: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı CO ₂ Emisyonları (t/y).	94
Şekil 5.62: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı Yakıt tüketimleri (t/y).	95
Şekil 5.63: 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı toplam uçak trafik sayısı.....	96
Şekil 5.64: 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı HC, CO ve NO _x Emisyonları (kg/y).	97
Şekil 5.65: 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı CO ₂ Emisyonları (t/y).	97
Şekil 5.66: 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı Yakıt tüketimleri (t/y).	98
Şekil 5.67: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı toplam uçak trafik sayısı.	99
Şekil 5.68: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı toplam Emisyonları (kg/y).....	100

Şekil 5.69: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı toplam CO Emisyonları (kg/y).	101
Şekil 5.70: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı toplam NO _x Emisyonları (kg/y).	102
Şekil 5.71: 2020-2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı toplam CO ₂ Emisyonları (t/y).	103
Şekil 5.72: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Yakıt tüketimleri (t/y).	104



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

ICAO	: International Civil Aviation Organisation (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı)
EEA	: European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
LTO	: Landing and Take-off (İniş ve Kalkış Sayısı)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbondioksit
NO_x	: Azot oksit
HC	: Hidrokarbon
H₂O	: Su buharı
SO_x	: Sülfür oksit
PM	: Partikül madde
DHM	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
ATM	: Airspace and Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
DLH	: Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Md.
IATA	: International Air Transport Association (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği)
ECAC	: European Civil Aviation Conference (Avrupa Sivil Havacılık Konferansı)
ACI	: Airports Council International (Uluslararası Havalimanları Konseyi)
EASA	: European Aviation Safety Agency (Avrupa Hava Güvenliği Ajansı)
N1	: Low Pressure Shaft (Düşük Basınç Şaftı)
N2	: High Pressure Shaft (Yüksek Basınç Şaftı)
LPC	: Low Pressure Compressor (Düşük Basınç Kompresörü)

HPC	: High Pressure Compressor (Yüksek Basınç Kompresörü)
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi)
UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
E	: Emission Amount (Emisyon Miktarı)
F	: Fuel Amount (Kullanılan Yakıt Miktarı)
EF	: Emission Factor (Emisyon Faktörü)
t/y	: Ton/yıl kg/y
kg/y	: Kilogram/yıl

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kütahya ve Uşak İllerindeki Havalimanlarından Kaynaklanan Emisyonların Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması

YUSUF YILMAZ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
119+XIV sayfa
2025

Danışman: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de havacılık sektörü hızlı ve istikrarlı bir şekilde gelişen taşımacılık alanları arasında yer almaktadır. Havacılık sektörüne olan ilginin artması ile birlikte sektörde kullanılan ulaşım araçlarından kaynaklanan emisyonların hava kalitesi ve iklim değişikliği üzerindeki etkileri de değişiklik göstermektedir.

Bu çalışmada, 2020-2022 yılları arasında Kütahya ve Uşak havalimanlarını kullanan uçaklardan kaynaklanan emisyonların çevresel etkileri birbirleri ile karşılaştırarak incelenmiştir. Yapılan incelemede her iki hava limanını kullanan uçaklardan kaynaklanan emisyonlar (CO₂, NO_x, PM, H₂O, HC, SO_x, CO), IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) Tier 2'ye göre ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda, 2020-2022 yılları arasındaki uçak trafiği, yolcu hacmi, uçak kalkış ve iniş süreleri, uçakların kalkış ve iniş sayıları ve uçak tiplerinden kaynaklanan emisyonlar dikkate alındığında Kütahya hava limanını kullanan uçaklardan kaynaklanan zararlı emisyonların Uşak hava limanını kullanan uçaklardan kaynaklanan emisyonlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla Kütahya havalimanının kullanan uçakların hava kalitesi ve çevre üzerindeki zararlı etkisi belirlenmiş ve bu değerler tablo ve grafiklere aktararak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Ticari amaçla yapılan uçuşların LTO değerleri ve buna bağlı süreçler izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kütahya Zafer Havalimanı, Uşak Havalimanı, Uçak tipleri, Uçak emisyonları, LTO fazları

ABSTRACT

Master Thesis

Comparison of the Environmental Impacts of Emissions from Airports in Kütahya and Uşak Provinces

YUSUF YILMAZ

Inonu University
Institute of Science and Technology
Department of Mechanical Engineering
119+XIV pages
2025

ADVISOR: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

As is the case all over the world, the aviation sector in Turkey is among the transportation areas that are developing rapidly and steadily. With the increasing interest in the aviation sector, the effects of emissions from transportation vehicles used in the sector on air quality and climate change are also changing.

In this study, the environmental impacts of emissions from aircraft using Kütahya and Uşak airports between 2020-2022 were examined by comparing them with each other. In the examination, emissions from aircraft using both airports (CO_2 , NO_x , PM, H_2O , HC, SO_x , CO) were calculated separately according to IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Tier 2 and the results obtained were compared with each other. In the calculations, considering the aircraft traffic, passenger volume, aircraft take-off and landing times, aircraft take-off and landing numbers, and emissions from aircraft types between 2020-2022, it was observed that the harmful emissions from aircraft using Kütahya airport were higher than the emissions from aircraft using Uşak airport. Therefore, the harmful effects of aircraft using Kütahya airport on air quality and the environment were determined and these values were compared with each other by transferring them to tables and graphs. In addition, the LTO values of commercial flights and related processes were monitored.

Keywords: Kütahya Zafer Airport, Uşak Airport, Aircraft types, Aircraft emissions, LTO phases.

1. GİRİŞ

Havacılık sektörü, günümüz şartlarında firmaların ihtiyaçlarını cevap verecek biçimde yolcuların ve lojistik faaliyetlerin hızlı ve ekonomik bir şekilde karşılanabilmesini sağlamaktadır. Malların taşınması sürecinin daha uzun ve maliyetli olduğu durumlarda, hava taşımacılığı lojistik açıdan daha güvenilir ve ekonomik olduğundan diğer taşıma yöntemlerine göre avantajlıdır.

Türkiye'de uzak mesafeli taşımacılık gerektiğinde, bir yerden başka bir yere nakliyat birkaç gün sürebilmektedir. Havayolu taşımacılığı bu süreyi üç saatin altına düşürebilir. Bu faktör, havayolu taşımacılığının önemini daha da artırmaktadır. Havayolu taşımacılığı, deniz ve karayolu taşımacılığına oranla daha hızlı ve daha güvenilir olması nedeniyle daha cazip hale gelmektedir.[1] (2020 Yıllık Değerlendirme Raporu) 2020 yılı itibarıyla toplam yolcu sayısı 81,6 milyon seviyesinde gerçekleşmiştir. COVID-19 salgını, tüm dünyada büyük bir etki yaratmış ve bu süreçten en fazla etkilenen sektörlerden biri de havacılık sektörü olmuştur. Pandemi nedeniyle birçok uçuş iptal edilmiş, seyahat kısıtlamaları getirilmiş ve yolcu sayılarında ciddi düşüşler yaşanmıştır.

2020 yılından bu yana, COVID-19 salgını etkisiyle uygulanan seyahat sınırlamalarının aşamalı olarak kaldırılmasıyla havacılık sektörü toparlanma sürecine girmiştir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından yapılan bir analize göre, Koronavirüs pandemisinin küresel etkileri, en fazla etkilenen sektörlerden biri olarak havacılığı ciddi şekilde etkilemiştir. 2019 yılına kıyasla, iç hat yolcu sayısında %50,4, dış hat yolcu sayısında ise %70,5 oranında bir düşüş yaşanmıştır.

2019 yılında toplam yolcu sayısı 208.911.338 kişi olarak kaydedilmiştir. Ancak, pandemi nedeniyle bu rakam 2020 yılında ciddi bir düşüş göstererek 81.703.685 kişiye gerilemiştir. 2019'da 99.946.520 olan iç hat yolcu sayısı, 2020'de 49.740.303 kişiye düşerken; dış hat yolcu sayısı da 108.427.124 kişiden 31.875.837 kişiye kadar azalmıştır. Transit yolcu sayısı 2019'da 537.642 kişi iken, 2020'de bu sayı 49.871'e gerilemiştir.

2020 yılında toplam uçak trafiği 1 milyonun üzerinde kaydedilmiştir. 2019 yılına kıyasla iç hat uçak trafiği %31,5, dış hat uçak trafiği %60,8, ve transit uçak trafiği ise %57,9 oranında düşüş yaşamıştır.

1.1 Türk Sivil Havacılığı Tarihi Gelişimi

Ülkemizdeki ilk gelişmeleri, 1912 yılında Sefaköy’de bulunan iki hangar ve küçük bir alanda gerçekleşti. Daha sonra, 1925 yılında Türk Tayyare Şirketinin kurulmasıyla Türk Havacılığının temelleri atıldı. İlk sivil havacılık hizmeti ise 1933 yılında, beş küçük uçaktan oluşan bir filo “Türk Hava Postası” adı altında başlatıldı. Bu filo içerisinde Junkers F-13 ve ATH-9 uçakları yer aldı. Havayolları Devlet İşletmesi, Millî Savunma Bakanlığı tarafından yönetildiğinde kuruldu. Bu kuruluşun amacı, Türkiye’de sivil havayollarını oluşturmak ve geliştirmektir [2].

Devlet Hava Yolları İşletmesi, 1935 senesinde Bayındırlık Bakanlığı tarafından ve 1938 yılında Ulaştırma Bakanlığı ile birleştirilerek Devlet Hava Yolları Genel Müdürlüğü adını alarak, 1947 yılında ilk dış seferi Atina’ya gerçekleştirdi. 1 Mart 1956 tarihinde firma, 60 milyon Türk lirası bedeliyle Türk Hava Yolları (THY) Anonim Ortaklığı olarak yeniden yapılandırıldı. Sivil havacılığın küresel çapta hızla gelişmesi ve Türkiye’nin milli çıkarlarına uygun olarak, ülkenin havacılıkla ilgili uluslararası ilişkilerini geliştirmek amacıyla 1954 yılında Ulaştırma Bakanlığı’na bağlı Sivil Havacılık dairesi başkanlığı kuruldu.[2]

Sivil Havacılık Kanunu’nun etkisiyle özel hava yolu firmalarının kurulması ve bu sektöre katılmaları teşvik edilmiştir. 2000’li yılların başından itibaren uçak sayısı, koltuk kapasitesi ve kargo taşıma kapasitesinde büyük artışlar gözlemlenmiştir.

1.2 Türk Sivil Havacılık Kuruluşları

Sivil havacılık çalışmaları, askeri havacılık çalışmaları dışında yürütülen faaliyetler olarak ifade edilir. Ülkemizde, sivil havacılık alanındaki çalışmaların yönetimi, faaliyetlerin yürütülmesi ve denetlemesi için çeşitli kuruluşlar bulunmaktadır. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), sivil toplum örgütleri ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) gibi ana kuruluşlar, Türkiye’deki sivil havacılık faaliyetlerini şekillendiren bazı örneklerdir.

1.2.1 Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)

Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı, 1954 senesinde Ulaştırma Bakanlığı’na bağlı olarak faaliyete geçti. Dünya genelinde sivil havacılığın giderek daha fazla önem kazanmasıyla birlikte, Türkiye’de de bu alandaki önemi artmıştır. Sivil havacılık, askeri havacılık faaliyetlerinin dışında gerçekleşen tüm uygulamaları kapsar [2].

1.2.2 Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ)

Sivil havacılık sektörü, lojistik ve altyapı gibi temel alt yapı hizmetlerini içerisinde barındırmaktadır. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, farklı dönemlerde değişen isimler altında faaliyet göstermiş ve 233 sayılı kanun hükmünde kararnameler kapsamında 1984 yılından itibaren Kamu İktisadi Teşebbüsü unvanıyla anılmıştır. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü'nün sorumlulukları arasında havalimanlarının denetimi ve yönlendirmesi yer almaktadır. Türkiye'de Sivil Havacılık alanındaki çalışmaları yönlendirmek ve havacılık faaliyetlerini en üst seviyeye taşımak amacıyla Devlet Havacılık Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ) faaliyetlerini sürdürmektedir [3].



Şekil 1.1: DHMİ Genel Müdürlüğü Havalimanları [4]

1.2.3 Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH)

Ulaştırma Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet gösteren Demiryolları Limanları ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH), endüstriyel ilerleme ve devletin sosyal gereklilikleri doğrultusunda demiryolları, limanlar ve hava meydanları gibi önemli faaliyet alanlarında gerekli çalışmaları ve altyapı inşasına gerçekleştirmektedir [2].

1.3 Uluslararası Sivil Havacılık Kuruluşları

Jet motorlarının hava araçlarında kullanımının sivil havacılık alanında hızla benimsenmesi, havacılık sektörünün ilerlemesine ve önem kazanmasına katkı sağlamıştır. Hava yolculuğu, belirli kurallar ve yönetmelikler çerçevesinde gerçekleştirilir. Uluslararası havacılık kuruluşları oluşturulmuş ve ülkemizde de bazı kuruluşlar bu organizasyonlara üyedir [5].

Önemli uluslararası sivil havacılık kuruluşları şunlardır: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO- International Civil Aviation Organisation), Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA – International Air Transport Association), Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (ECAC– European Civil Aviation Conference), Avrupa Hava Güvenliği Ajansı (EASA – European Aviation Safety Agency), Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü (EUROCONTROL– European Organisation Safety of Air Navigation). Bu kuruluşlar, sivil havacılığı belirli kurallar çerçevesinde düzenleyen temel organizasyonlardır.

1.3.1 Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO)

Kanada'nın Montreal şehrinde, 1947 yılında Birleşmiş Milletler'e bağlı olarak kurulan bir organizasyondur. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO), ülkeler arasında üyelik sağlamaktadır. ICAO'ya 1947 yılından bu yana üye olan ülke sayısı 2022 itibarıyla 193'e ulaşmıştır. ICAO, bazı ülkelerde temsilcilikler açmış bulunmaktadır. Dakar, Lima, Kahire, Paris, Bangkok, Meksika ve Nairobi gibi şehirlerde ofisler bulunmaktadır.

ICAO'nun temel amacı, güvenli ve emniyetli havacılığın teşvik edilmesi, sivil havacılığın ilerlemesi ve bu hedeflere yönelik politikaların belirlenmesi ve uygulanmasını sağlamaktır. ICAO'nun Ek (Annex) adı verilen ek dokümanları, dünya genelinde emniyetli uçuşların sağlanabilmesi amacıyla prosedürler geliştirmiştir. Toplam 19 ek mevcuttur. Örneğin, Çevresel Koruma başlığı altında, gaz türbinli motorların çevresel etkilerinin azaltılması için 1960'lı yıllardan bu yana çalışmalar yapılmış ve emisyon ile ses kirliliğinin kontrol altına alınması hedeflenmiştir [5].

1.3.2 Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (EASA)

Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (EASA), Avrupa Birliği'ne bağlı olarak faaliyet gösteren bir kuruluştur ve merkezi Köln, Almanya'dadır. Bu ajans, uçuş güvenliği ve yer emniyeti konularında Avrupa genelinde görev yapmakta olup, tüm hava araçlarının üretimini denetlemek ve üretici firmaları denetlemek gibi görevleri üstlenmektedir [5].

1.3.3 Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA)

Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA), 57 ülkeden 31 üye ile temsil edilmekte olup, Dünya genelinde 270'ten fazla üyeye sahiptir. Kanada'nın Montreal şehrinde 1945 yılında kurulmuş olan bu birliğe Türkiye de 1957 yılında üyeliğini gerçekleştirmiştir. IATA'nın amacı, emniyetli uçuşlarla birlikte yüksek kalite standartları ve yolcu memnuniyeti sağlamaktır [6].

1.3.4 Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI)

1991 yılında kurulan Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI – Airports Council International), uluslararası hava taşımacılığını daha verimli, emniyetli ve güvenli bir şekilde gerçekleştirmek amacıyla faaliyet gösteren bir organizasyondur. Bu konsey, uluslararası havalimanlarının anlaşmalarını destekleyen yasaları uygulamak ve yenilikçi fikirleri hayata geçirmek gibi görevleri üstlenir [7].

1.3.5 Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü (EUROCONTROL)

1963 yılında başlatılan ve Belçika, Fransa, Almanya Federal Cumhuriyeti, Lüksemburg, Hollanda ve Birleşik Krallık gibi ülkeler tarafından onaylanan bir anlaşma ile EUROCONTROL’ün temelleri atıldı. 1981 yılında EUROCONTROL’ün kuruluş sözleşmesi ilk kez uyarlandı ve 1993 yılında organizasyonun amacı olan “Tek Avrupa Hava Sahası” hedefine yönelik çalışmalar gerçekleştirildi. Merkezi Brüksel’de bulunan EUROCONTROL, 41 üye ülkeye sahiptir. Ülkemiz de 1994 yılında Daimî Konsey Başkanlığı ve Başkan Yardımcılığı görevlerini Bakanlık düzeyinde temsil etmeye başlamıştır. 2010 yılında EUROCONTROL, yeni stratejiler ve analizlerle hava trafiği yönetimi, seyrüsefer çalışmaları ve personel eğitimi gibi sivil havacılık faaliyetlerini daha etkili bir şekilde gerçekleştirmek amacıyla önemli değişiklikler yapmıştır [5].

1.3.6 Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı

Almanya, Arnavutluk, Avusturya, Belçika, Bosna Hersek, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Ermenistan, Estonya, Gürcistan, Finlandiya, Fransa, Güney Kıbrıs Rum Kesimi, Hırvatistan, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, Karadağ, Kuzey Makedonya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Malta, Moldova, Monako, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Sırbistan, Slovakya, Slovenya, Türkiye, Ukrayna ve Yunanistan gibi toplam 41 ülke, üyeleri arasında yer almaktadır.

1.4 Tezin Amacı

Hava yolu ulaşımının diğer ulaşım yöntemlerine göre sağladığı avantajlar, her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Bu avantajlar nedeniyle havacılık sektörü, diğer ulaşım sektörlerine göre artan bir tercih konumundadır. Hava yoluna olan talebin artması, uçaklardan kaynaklanan emisyonlarda da artışa neden olmaktadır.

Türkiye’de havacılık sektörünün gelişimi, özellikle 2000 yılından itibaren iç hat havayolu seferlerinde bir artışa yol açmıştır. Bu artış, LTO sayısındaki artışla doğru orantılı olarak yakıt tüketimlerinde bir artışa sebep olmuştur. LTO sayılarındaki ve kullanılan yakıt miktarındaki artış, uçak emisyonlarında artışa yol açmıştır.

Bu çalışmada, Kütahya ilindeki Zafer Havalimanı ve Uşak ilindeki Uşak Havalimanı hakkında bilgi sunmaktadır. Ayrıca, Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı için 2020-2022 yılları arasındaki dönemde, uçaklardan kaynaklanan kirletici gazlar IPCC metodolojisi (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) Tier 2 yöntemi kullanılarak hem yıllık hem de üç yıllık periyotlarla hesaplanmıştır. Her yıl için, aylara göre uçak trafiği ve yolcu sayıları, uçak tiplerine göre LTO sayıları, emisyonlar, uçuş fazlarına göre emisyon değerleri, uçak tiplerine göre HC, CO, NO_x ve CO₂ emisyon değerleri ile LTO sayılarına göre yakıt tüketimleri tablolar ve grafiklerle sunulmaktadır. Bu değerler, yalnızca ticari amaçlı uçuşlardan elde edilmiş olup, askeri uçuşlar bu hesaplamalara dahil edilmemiştir.

1.5 Literatür Taraması

1.5.1 Uçak emisyonları ilgili Türkiye’de yapılan bilimsel çalışmalar

Genç ve Behçet [8] tarafından yapılan çalışmada, Malatya Erhaç Havalimanı’na iniş ve kalkış yapan uçaklardan kaynaklanan emisyonların çevresel etkileri araştırılmıştır. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları yıllık toplam CO₂ emisyonu miktarı 15.420,18 ton, HC emisyonu miktarı 5,15 ton, CO emisyonu miktarı 42,41 ton ve NO_x emisyonu miktarı ise 68,21 ton olduğu belirtilmiştir.

Elbir [9] tarafından yürütülen bir araştırmada, Adnan Menderes Havalimanı için uçuş bilgisayarını kullanarak yıllık trafik kapasitesinin %16’sını temel alarak hidrokarbon (HC) emisyonlarını 21.000 kg, karbon monoksit (CO) emisyonlarını 138.000 kg ve azot oksit (NO_x) emisyonlarını ise 197.000 kg olarak hesaplamıştır.

Şekertekin [10] tarafından yapılan bir çalışma ise, Türkiye iç hat uçuşlarından kaynaklanan emisyonları belirlemek amacıyla IPCC tarafından yayınlanan emisyon envanteri hazırlama kılavuzlarına başvurmuş ve LTO operasyonlarından kaynaklanan kirletici emisyonları hesaplamıştır.

Babaoğlu ve Özgünoğlu [11] tarafından Kahramanmaraş Havalimanı’nda uçakların LTO döngüsünde yaydığı kirletici gazlar, IPCC yöntemi kullanılarak Tier yaklaşımı ile tahmin edilmiştir.

Canarslanlar [12] tarafından gerçekleştirildiği araştırmada, Türkiye'nin iç hat seferlerindeki uçak yakıt tüketimi ve emisyon miktarının Hava Sahası ve Trafik Yönetimi (ATM-Airspace and Traffic Management) ile ilişkisi incelenmiştir. Havaalanı ve çevresindeki hava sahası verimliliğini değerlendirmek amacıyla iniş ve kalkış döngülerinin (LTO-Landing and Take-off Cycle) aşama süreleri her bir havaalanı için belirlenmiş ve ICAO LTO verileriyle karşılaştırmalar yapılmıştır.

Akpınar [13] tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'deki bazı havalimanlarında hidrokarbon emisyonları ölçülmüştür. Bu çalışmada, uçakların ana motorlarından ve yardımcı güç ünitelerinden kaynaklanan emisyonlar bir arada hesaplanmıştır.

Ünal ve ekibi [14] tarafından gerçekleştirilen bir çalışma, Nevşehir Kapadokya Havalimanı'nın çevresel etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, havalimanı ve uçaklardan kaynaklanan gürültü ve emisyon ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, havalimanının "yeşil havalimanı" standartlarını karşılayıp karşılamadığını belirlemek için Tuzlaköy Kasabası ve Gülşehir İlçesi'nde gürültü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Emisyon hesaplamaları için IPCC metodolojisi ve Tier yöntemleri kullanılmıştır.

Altuntaş ve Karakoç [15] tarafından gerçekleştirilen bir çalışma, Eskişehir, Uşak, Adıyaman, Çanakkale ve Ağrı gibi bazı havalimanlarında 2006-2009 yılları arasındaki iç hat uçuşlarının havalimanı çevresine etkilerini incelemiştir. Araştırma, iç hat seferlerinde büyük, dar gövdeli uçakların yerine bölgesel jet uçaklarının tercih edilmesinin, LTO (kalkış-iniş) döngüsü sırasında meydana gelen uçak emisyonlarının insan sağlığı üzerinde önemli derecede olumlu etkiler yaratabileceği sonucuna varmıştır. Bu değişikliğin insan sağlığına %62 oranında olumlu bir etki sağlayabileceği belirtilmiştir.

Ünal [16] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Atlanta Havalimanı'ndan kaynaklanan kirleticilerin tespiti yapılarak yerel hava kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu araştırmada, özellikle partikül madde ve ozon gazı emisyonları üzerinde daha fazla odaklanılmıştır. Çalışma, partikül madde emisyonlarının ozon gazı emisyonlarından daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Çizmecioğlu tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada [2] ise, Türkiye'deki sivil havacılık faaliyetleri değerlendirilmiştir. Temel ulaşım sistemlerinin tanıtılarak karşılaştırıldığı bu çalışmada sivil havacılığın tarihi gelişimi, genel profili ve ekonomiye katkılarını içeren istatistiksel verileri sunulmuştur.

Gökçek ve Bekdemir [17] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Türkiye'nin en yoğun hava trafiğine sahip dört havalimanına ait (Atatürk Havalimanı, Esenboğa Havalimanı, Adnan Menderes Havalimanı ve Antalya Havalimanı) uçak emisyonlarından kaynaklanan NO_x gazlarının tespiti için LTO döngüsü kullanılmıştır. Atatürk Havalimanı için yıllık emisyon değerleri arasında 1.959 ton ile 1.672 ton arasında sonuçlar elde edilmiştir.

2012 yılında Yılmaz ve İlbaş [18] tarafından yapılan çalışmada, gaz türbinli motor tipleri olan turbofan ve turbojet motorlarından kaynaklanan kirletici emisyonlar incelenmiştir. Jet yakıtı ile biyodizelin farklı oranlarda karıştırılarak test edildiği gaz türbinli motorlardaki karışım yakıtın hidrokarbon, karbonmonoksit ve azot oksit emisyonları üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Öztürk [19] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Kayseri Erkilet Havalimanı için 2008-2010 yıllarına ait uçaklardan kaynaklanan kirleticilerin hesaplanmasına odaklanmıştır. Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nden (DHMI) alınmış ve Tier 2 yöntemi ile yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlara göre, yıllık emisyon miktarının en yüksek olduğu değerin 177,94 ton, en düşük değerin ise 138,71 ton olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan emisyon miktarlarının %30'unun dış hat uçuşlarından kaynaklandığı, %70'inin ise iç hat seferleri sonucunda olduğu belirlenmiştir.

Çağatan [20] adlı araştırmacı tarafından gerçekleştirilen çalışma, Türkiye'nin en büyük havalimanlarından biri olan Atatürk Havalimanı'nın çevresel etkilerini belirlemeye yönelik olmuştur. Çalışmada, 2009 yılına ait havaalanı için karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), metan (CH₄), azot oksit (NO_x) gibi kirletici gazların emisyon miktarları, Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) metodolojilerinden Tier yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Araştırmanın sonuçları, CO₂ gazının yakıt tüketimi arttıkça arttığına işaret etmektedir.

1.5.2 Uçak emisyonlarının çevresel etkileri ile ilgili Dünya'da yapılan çalışmalar

Nikoleris ve ekibi [21] tarafından yürütülen çalışmada, Dallas/Fort Worth Havalimanı'ndaki uçak operasyonlarının tahmini yakıt tüketimi ve bu bağlamdaki emisyon değerlerine odaklanılmıştır. Değerlendirmeler, taksi işlemleri sırasında yaşanan tıkanıklıkların, uçakların daha fazla dur-kalk yapmasına ve bu durumun yakıt tüketiminin yaklaşık olarak %18'ine denk geldiği belirtilmiştir. Ayrıca, uçakların taksi sürelerinde fazla frenleme işlemi ve motor çalışma sürelerinin uzamasının, tüketilen yakıt miktarını uçakların kullandığı motor tiplerine göre değiştiren belirleyici faktörler olduğu sonucuna varılmıştır.

Winther ve ekibi [22] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Kopenhag Havalimanı kullanan uçaklardan kaynaklanan emisyon değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada, LTO döngüsü

kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, belirlenen emisyon değerlerinin ICAO veri tabanındaki değerlerden daha düşük olduğu, bununla birlikte HC emisyonlarının daha yüksek olduğu bulgulanmıştır.

Steib ve ekibi [23] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Budapeşte Ferihegy Havalimanı'ndan kaynaklanan emisyon değerleri incelenmiş ve en yoğun iniş kalkış trafiğine sahip uçak tipinin Boeing 737 olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, LTO döngüsündeki standart parametrelerin kullanıldığı emisyon hesaplamalarında uçakların yanı sıra havalimanında faaliyet gösteren diğer taşıtların da yerel hava kalitesi ve çevresel etkileri ele alınmıştır.

Schafer ve ekibi [24], Frankfurt, Londra ve Viyana havaalanları için uçak egzoz emisyonlarını uzaktan tespit yöntemi kullanarak incelemişlerdir. 100'den fazla uçuş için yapılan ölçüm verilerine dayanarak, azot oksit (NO_x) emisyonlarının Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) veri tabanında bildirilen değerlerden yaklaşık %50 daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla beraber uçak motorunun yaşı ve düzenli bakımların emisyon değerlerini etkileyebileceği belirtilmiştir.

Carslaw ve ekibi [25] tarafından Heathrow Havalimanı'ndaki yerel hava kalitesini değerlendirmek amacıyla yürütülen bir çalışmada, uçaklardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının havaalanı genelinde diğer kirleticilerle oranını hesaplamışlardır. Araştırmalarının sonuçlarına göre, söz konusu havalimanı için yıllık NO_x emisyonunun toplam kirleticiler içinde uçaklardan kaynaklanan oranı %27 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, uçaklardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının ilgili havalimanından 2.600 metre uzaklığa kadar etkili olduğu belirtilmiştir.

2004 yılında Schürmann ve ekibi [26] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Zürih Havalimanı'nda uçaklardan kaynaklanan emisyonların yerel hava kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla bazı ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerde NO_x, CO₂, CO ve NO₂ emisyonları baz alınarak uçak motorlarının emisyon endeksleri belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, havaalanında karbon monoksit (CO) emisyonlarının büyük ölçüde uçak hareketlerinden kaynaklandığı ve nitrojen oksit (NO) emisyonlarının ise havaalanlarındaki yer destek ekipmanlarından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, belirlenen emisyon endekslerinin kullanılan uçak motoru tipine bağlı olduğu belirlenmiştir.

Zürih Havalimanı'ndaki uçakların Kalkış-Tırmanış-İniş (LTO) aşamalarını incelenmesi amacıyla Fleuti ve Polymeris [27] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise belirtilen aşamalara bağlı emisyon faktörlerinin hesaplanması ve Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) LTO

döngüsüne göre karşılaştırılması amaçlanmış ve elde edilen araştırma sonuçları, özellikle kalkış ve tırmanış aşamalarında ICAO LTO döngüsüne göre belirgin farklılıklar olduğu belirtilmiştir.

Graver ve Frey [28] Raleigh-Durham Uluslararası Havalimanı için yaptıkları çalışmada, uçakların boyutlarına göre iniş ve kalkış sırasında oluşan emisyonlarını incelenmiştir. Toplam 74,815 iniş-kalkış sürecinin, bunların 40,020'i 10 jumbo jetlerden, 30,782'i dar gövdeli jetlerden, 1,645'nin turboprop uçaklardan ve 368'nin ise geniş gövdeli jetlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları dikkate alındığında, Raleigh-Durham havaalanında salınan hidrokarbonların %57,7'i, karbonmonoksit emisyonlarının %58,7'i ve azot oksit emisyonlarının ise %71,9'u dar gövdeli jetlerden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Öte yandan, Evers ve meslektaşları [29], küresel düzeyde sivil ve askeri hava araçları için NO_x, H₂O, CO₂, CO, HC ve PM emisyon envanteri oluşturmuşlardır. 2002 yılı verilerinin kullanıldığı bu çalışmada 2025 yılı için kirletici emisyon tahminleri yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, 2025 yılında hava trafiğinin 2002 yılına göre 2,6 kat artması beklenmekte olup, bu artışın sonucunda karbon dioksit (CO₂) ve su buharı (H₂O) emisyonlarının iki kat, azot oksit (NO_x) emisyonlarının ise 1,6 kat artacağı öngörülmektedir.

2. GAZ TÜRBLNİ MOTORLAR VE HAVACILIKTAKİ ÖNEMİ

2.1 Giriş

Günümüzde, gaz türbinleri oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uçakların hareket etmesini sağlayan gaz türbinleri, yakıt olarak gazyağı ve doğalgazı kullanan motorlardır. Gaz türbinli motorlar, uçaklar, gemiler, karayolu taşıma araçları, elektrik üreten santraller ve hatta lokomotifler gibi birçok alanda yaygın olarak tercih edilmektedir. Günümüzde, özellikle yolcu ve savaş uçaklarında gaz türbinli motor teknolojisinin gelişmesiyle turbofan motorları kullanılmaktadır. Ancak bu motorların dezavantajı, gürültülü bir şekilde çalışmaları olarak öne çıkmaktadır.

Havacılıkta kullanılan gaz türbinli motorları dört gruba ayrılarak sınıflandırabilir. Bu gruplar sırasıyla turbojet, turbofan, turboşaft ve turboprop tipi motorları içermektedir.

Belirtilen motor tipleri, çalışma prensibi açısından aynı olmakla birlikte güç sağlayan ekipmanları bakımından farklılık gösterirler. Bu kısımda özellikle yolcu uçaklarında kullanılan turbofan motorları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2.2 Uçak Motorlarının Tarihçesi

Uçak Motorunun Gelişimi, 1848’de John Stringfellow, sıradan görünsede, örnek teşkil edecek güç kapasitesine sahip bir buhar motoru geliştirdi [30].

1903’te Charlie Taylor, Wright Flyer için 12 beygir gücünde sıralı tip bir motor inşa etti.

1903’te, Yıldız tipi motor için standart oluşturacak olan Manly-Balzer motoru projesi başladı.

1906’da Léon Levavasseur, uçaklarda kullanılmak üzere başarılı soğutma sağlayan V8 motorunu adapte etti.

1908’de René Lorin, ilk tepkili jet motorunun patentini aldı.

1908’de, Dünyanın ilk Döner motoru olan Gnome Omega’nın üretimine başlandı. 1909’da Gnome motorlu Farman III uçağı, hiç durmadan 180 kilometrelik mesafe kat ederek dünya rekorunu kırdı ve Grande Semaine d’Aviation de la Champagne dayanıklılık ödülünü kazandı.

1910’da Paris Aero Salonu’nda, piston motorlu ve kanallı fanlı Coandă-1910 uçağı sergilendi. Uçak, bu şekilde uçtu, ancak alınan patent egzoz gazının kanala yönlendirilmesiyle itme kuvvetini artırmak içindi.

1914'te Auguste Rateau, yüksek irtifa performansını artırmak için – turbo bir – egzoz beslemeli kompresör kullanılmasını önerdi, ancak yapılan testlerde önerisi kabul edilmedi.

1917-1918'de, Idflieg'e ait numaralı R.30/16, Imperial German Luftstreitkräfte'nın Zeppelin-Staaken R.VI ağır bombardıman uçağı olarak bilinen en eski süper kompresör donanımlı uçak oldu. Mercedes D. II düz altı motorlar gövdede yer alırken, R.30/16'nın dört Mercedes D.IV motoru için Brown-Boveri mekanik süper şarjı kullanıyordu.

1918'de Sanford Alexander Moss, Rateau'nun önerisini benimsedi ve ilk başarılı turboşarjı geliştirdi.

1926'da Armstrong Siddeley Jaguar IV (S), uçak kullanımına yönelik ilk seri üretilen motor olarak piyasaya sürüldü; dişli tahrikli bir santrifüjlü supercharger ile iki sıralı radyal yapıya sahipti.

1930'da Frank Whittle, bir turbojet motoru için ilk patentini aldı.

Haziran 1939'da Heinkel He 176, sadece sıvı yakıtlı roket motoru ile çalışan ilk başarılı uçağı temsil etti.

Ağustos 1939'da Heinkel HeS 3 turbojet, öncü Alman Heinkel He 178 uçağını harekete geçirdi.

1940'ta Jendrassik Cs-1, dünyanın ilk turboprop motor denemesini gerçekleştirdi, ancak hizmete girmede.

1943'te Daimler-Benz DB 670, ilk turbofan koşusunu gerçekleştirdi.

1944'te Messerschmitt Me 163 B, Dünyanın ilk roketle çalışan savaş uçağı olarak hizmete girdi.

1945'te, iki Rolls-Royce Trent motorlu modifiye bir Gloster Meteor uçağı ile ilk turboprop destekli uçak uçtu.

1947'de Bell X-1 roket güdümlü uçak, ses hızını aşan ilk uçak oldu.

1948'de, uçak kullanımına yönelik ilk turboşarjlı motor olan 100 shp 782 piyasaya sürüldü; daha büyük olan 280 shp (210 kW) Turbomeca Artouste'u geliştirmek için 1950'de kullanıldı.

1949'da Leduc 010, dünyanın ilk ramjet motorlu uçağı olarak hizmete girdi.

1950'de, dünyanın ilk seri üretim turbofanı olan Rolls-Royce Conway hizmete girdi.

1968'de General Electric TF39 yüksek bypass turbofan motoru hizmete girdi, daha yüksek itme ve verimlilik sağladı.

2002'de HyShot scramjet uçtu.

2004'te, ilk rakımı koruyan scramjet olan NASA X-43 başarıyla uçtu.

Zamanla gelişen teknoloji, uçak motorlarının önemli değişimlerden geçmesine yol açmıştır. Bu ilerlemeler hem havacılık sektörünün gelişimine hem de uçuş güvenliğinin artırılmasına katkı sağlamıştır. Uçak motorlarının tarihi, mühendislikteki yenilikler ve ilerlemelerin bir yansıması olup, gelecekteki gelişmelere sağlam bir zemin sunmaktadır.

2.3 Uçak Motoru Tipleri

Uçakların uçuşunu sürdüren temel bileşenler kanatlar ve motorlardır. Motorlar, itme gücü üreterek uçağın havada ilerlemesini sağlarken kanatlar uçağın havalanmasını ve havada kalmasına yardımcı olurlar. Pistonlu motorlar gaz türbinli motorlar ve olmak üzere ana gruba ayrılan uçak motorlarının işlevleri şu şekilde sıralanabilir:

- İtme gücü üretimi
- Hidrolik enerji sağlama
- Elektrik enerjisi üretimi
- Pnömatik sistemler için basınçlı hava sağlama

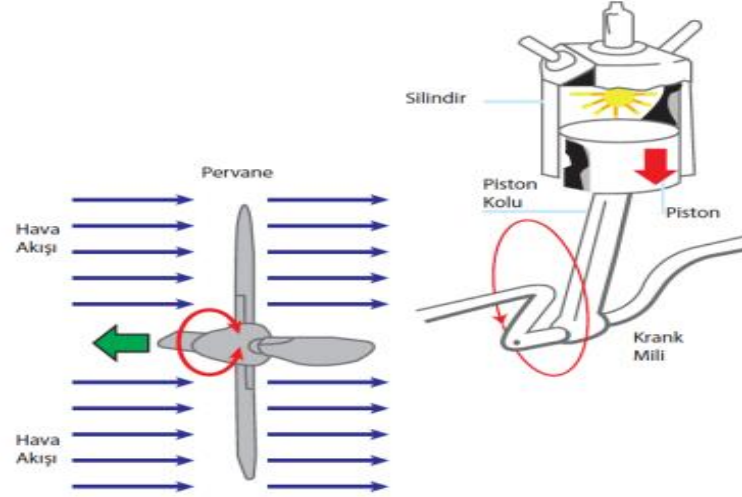
2.3.1 Pistonlu tip motorlar

Pistonlu motorlar, içten yanmalı motorlar kategorisine giren mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. Pistonlu motorlar, basit tasarımları, ekonomik kullanımları, bakım maliyetleri, yüksek güvenlik ve güvenilirlikleri sayesinde havacılık alanında sıkça tercih edilen motor tipleridir. Şekil 2.1 'de pistonlu tip uçak motoru gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Pistonlu tip uçak motoru [31].

Şekil 2.2 'de gösterilen birden fazla pistonun dönme hareketini mekanik enerjiye çevirdiği pistonlu motorlar, genellikle eğitim amaçlı küçük uçaklarda, sportif havacılık veya özel sahipli uçaklarda, tarım alanında ilaçlama amaçlı kullanılan uçaklarda, düşük irtifada ve yüksek hıza ulaşmayan uçaklarda tercih edilmektedir.



Şekil 2.2: Bir silindir içinde pistonun hareketi ve pervaneye aktarılması [32].

2.3.2 Gaz türbinli tip motorlar

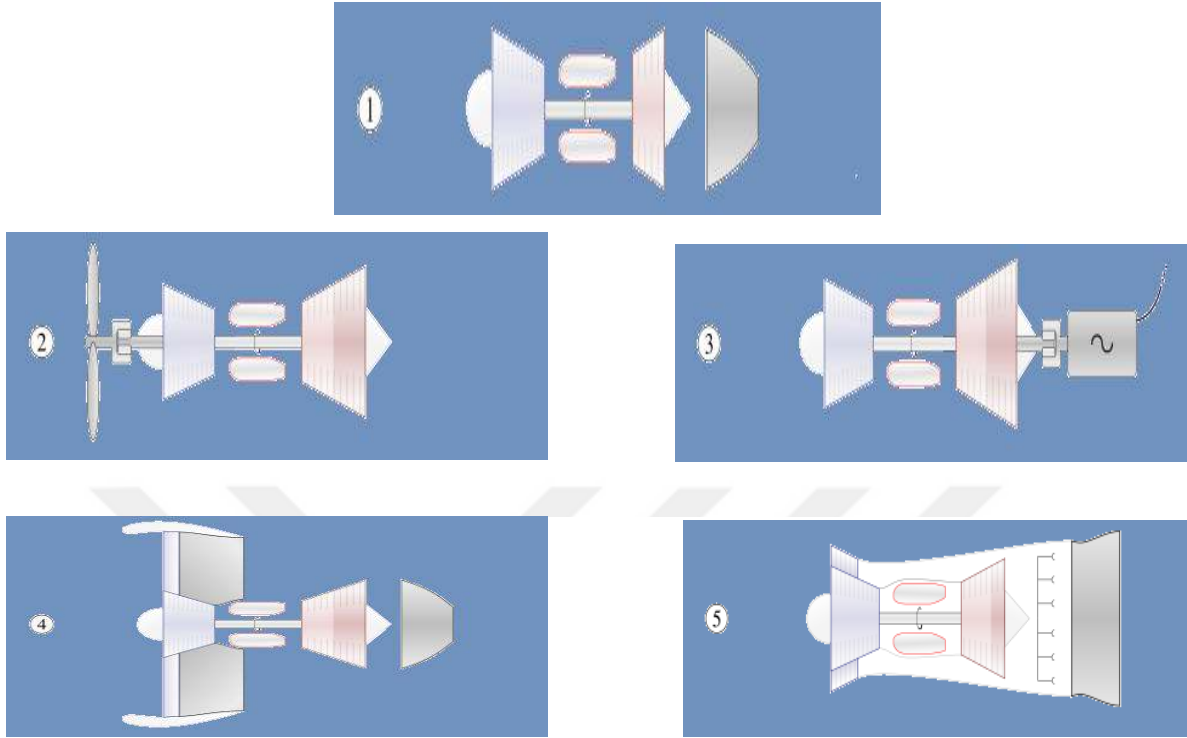
Uçaklarda pistonlu motorlar gibi gaz türbinli motorlar da yaygın olarak kullanılan motorlardır. Günümüzde savaş ve yolcu uçaklarından helikopterlere kadar geniş bir yelpazede kullanılan gaz türbinli motorlar, ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren Brayton çevrimi olarak adlandırılan bir süreçle çalışan motor türleridir.

Gaz türbinli motorlar genellikle beş bölümden oluşur:

1. Emme Kısmı: Dışarıdaki havayı içeri çeker.
2. Sıkıştırma: Hava sıkıştırılır ve basıncı artırılır.
3. Yanma Odası: Sıkıştırılmış hava ile yakıt karıştırılır ve yanma gerçekleşir.
4. İş Üretimi: Yanma sonucu oluşan gazlar, türbinlerde dönerek mekanik enerjiyi üretir.
5. İtme: Üretilen mekanik enerjiyi kullanarak uçağı veya bir aracı itmek için kullanılan bölüm.

Uçaklarda kullanılan gaz türbinli motorlar, oldukça basit bir çalışma prensibine sahiptir ve yüksek irtifalarda daha etkili bir şekilde işlerler. Yüksek basınçlarda gaz üreten bu motorlar, alınan havayı emerek önce kompresörde sıkıştırır, ardından basınçla güçlendirilen havaya yakıt enjekte edilerek yanma süreci başlatılır. Bu yanma sonucunda yüksek sıcaklıkta genişlen

gazlar, motorun dönme hızını artırır ve nihayetinde yanmış gazlar egzoz bölümünden dışarı atılır.[33] Şekil 2.3’ de örnek gaz türbinli biçimleri örnek gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Gaz türbinli biçimlerine örnekler: (1) turbojet, (2) turboprop, (3) turboşaft (elektrik jeneratörü), (4) yüksek bypasslı turbofan, (5) düşük bypasslı artıyakıcı turbofan [35].

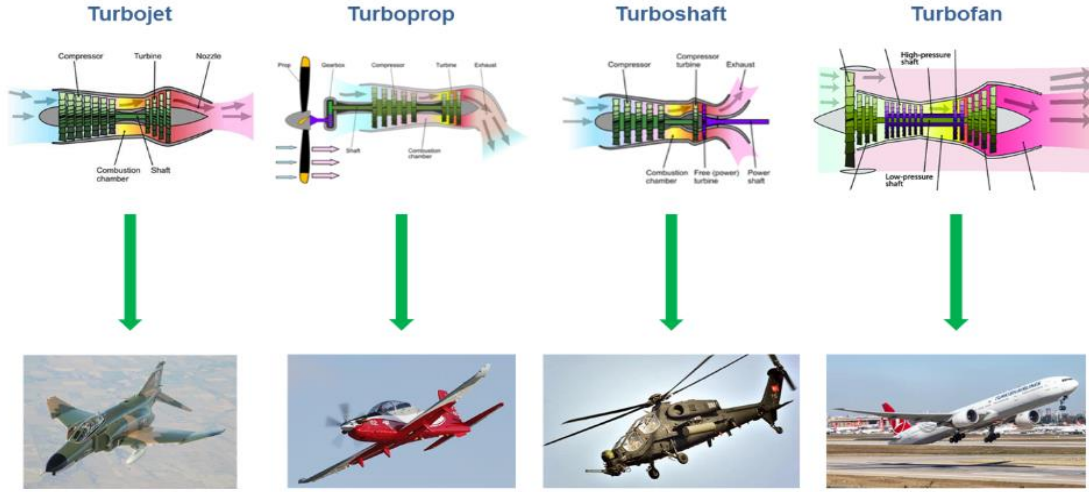
2.4 Gaz Türbinli Motorlar

Havacılıkta kullanılan gaz türbinli motorlar şu şekilde sınıflandırılır:

- Turbofan motorlar
- Turboşaft motorlar
- Turboprop motorlar
- Turbojet motorlar

Gaz türbinli motorlar, havacılıkta farklı uçak ve görev tiplerine uygun olarak çeşitli şekillerde geliştirilmiştir. Turbofan motorlar, ticari yolcu uçaklarında yakıt verimliliği ve sessiz çalışma sağlayarak yaygın bir şekilde kullanılırken, turboprop motorlar genellikle kısa mesafeli uçuşlar için idealdir ve pervaneler aracılığıyla yüksek verimlilik sunar. Turbojet motorlar, yüksek hız ve performans gerektiren askeri jetlerde tercih edilir. Turboşaft motorlar ise helikopterlerde rotor sistemlerine güç aktararak havadan kaldırma işlevini yerine getirir. Bu motorlar, farklı

hız, yükseklik ve performans ihtiyaçlarına göre optimize edilmiş itiş gücü sağlar. Şekil 2.4’ de farklı uçak tiplerinde örnekler şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Turbojet, turboprop, turboşaft ve turbofan motorlarının kullanıldığı farklı uçak tipleri [39].

2.4.1 Turbofan motorlar

Genelde yolcu uçaklarında kullanılan turbofan motorlar, ön kısmına nazaran arka kısmı daha küçük olan koni şeklinde yapılan ve ön kısmındaki fan ile havayı hızlandırılan bir jet motoru çeşididir. Diğer gaz türbinli motorlara göre daha yüksek verime sahip olan turbofan motorlar turbojet motorlara benzemektedirler. Turbofan motorları, turbojet motorların geliştirilmiş hali olup turbojet motorlara göre birçok üstünlüğe sahiptir. Turbojet motorları genellikle askeri savaş uçaklarında kullanılırken Turbofan motorları genellikle sivil ticari havayolu uçaklarında bulunur. Turbofan motorlar daha az gürültülü olup düşük hava hızlarında daha verimlidirler. Ayrıca turbofan motorlar turbojet motorlarına göre daha az yakıt kullanırlar, ancak turbojet motorlara göre daha fazla bakım gerektirirler. Şekil 2.5’ de görüleceği gibi turbofan motorlarda motorun ön tarafında bulunan fan yardımı ile motora giren havanın debisi artırılarak üretilen toplam itme gücünü artmasına yardımcı olan ek bir fan kademesi bulunur. Gazların motor boyunca genişlemesiyle çalışan bir türbin tarafından hareket fan, türbine bir şaftla irtibatlandırılmış olup şekilden de görüleceği gibi fan motorun ön kısmında türbin ise arka tarafında yer almaktadır. Turbofan motorlar kendi arasında düşük baypaslı turbofan motorlar, art yanmalı turbofan motorlar ve yüksek baypaslı turbofan motorlar olmak üzere üç kısma ayrılırlar.

2.4.1.1 Düşük baypaslı turbofan

Düşük baypaslı turbofanlar, en temel turbofan motor türü olup, baypas hava akışının çekirdek hava akışına oranının düşük olmasıyla tanımlanır. Bu motorlarda, havanın büyük bir kısmı motorun içinden geçerken, yalnızca az bir miktar hava motor çekirdeğinin etrafına yönlendirilir ve itme gücüne katkıda bulunur.

Genellikle bölgesel jetler gibi daha küçük uçaklarda kullanılan düşük baypaslı turbofanlar, yüksek itme/ağırlık oranlarına ve yüksek hızlarda iyi yakıt verimliliğine sahip olmalarıyla bilinirler.

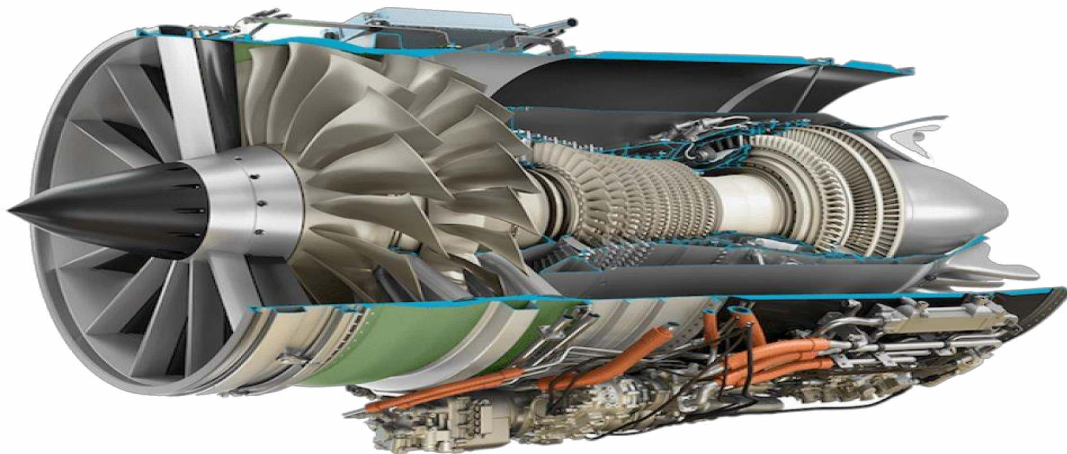
2.4.1.2 Art yanmalı turbofan

Art yakıcılı turbofanlar, aynı zamanda artırılmış turbofanlar olarak bilinir ve art yakıcı içeren bir tür turbofan motorudur. Art yakıcı, motorun egzoz akımına ekstra yakıt enjekte ederek itiş gücünü yükselten bir bileşendir.

Bu tür motorlar genellikle askeri uçaklarda tercih edilir, çünkü art yakıcının sağladığı ek itme gücü, yüksek hızlı manevralar ve süpersonik uçuşlar için oldukça avantajlıdır.

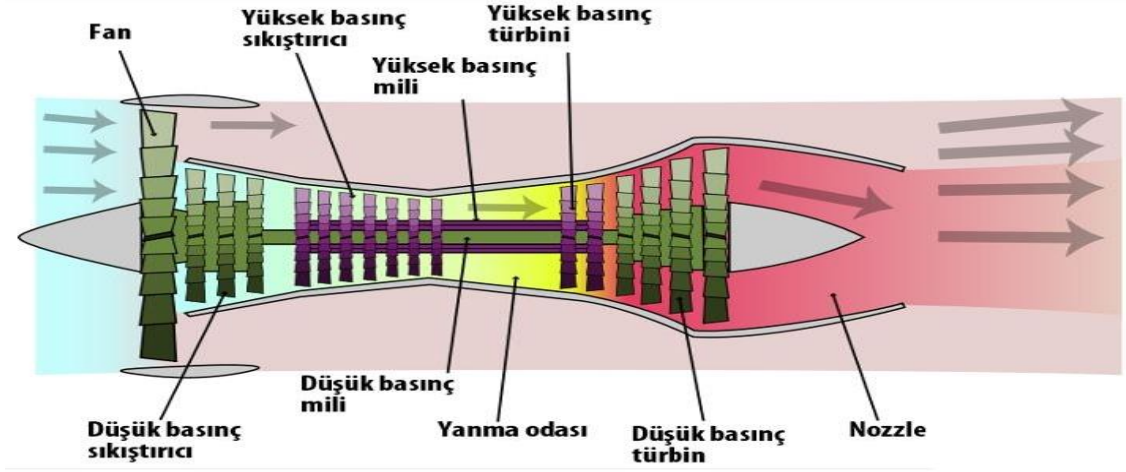
2.4.1.3 Yüksek baypaslı turbofan

Yüksek baypaslı turbofanlar, ticari uçaklarda en yaygın kullanılan motor türü olup, baypas hava akışının çekirdek hava akışına oranının yüksek olmasıyla öne çıkar. Bu, havanın büyük bir kısmının motor çekirdeğinin etrafına yönlendirilmesi ve sadece küçük bir miktarının itiş gücü için motordan geçmesi anlamına gelir. Bu tür turbofanlar, yakıt verimliliğinin yanı sıra düşük gürültü seviyeleriyle tanınır, bu da onları ticari uçaklarda kullanım için ideal kılar.



Şekil 2.5: Turbofan motoru [35].

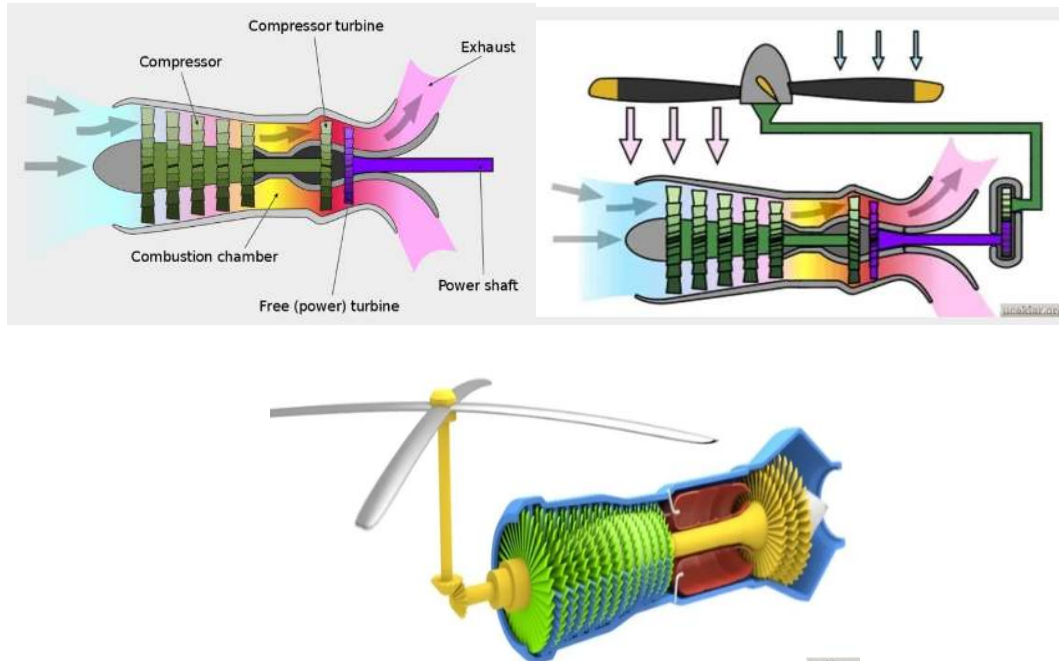
Turbofan motorları, turbojet motorlarıyla karşılaştırıldığında itme kuvvetini kullanma açısından benzerlik gösterir. Turbofan motorlarında hava, fanın etkisiyle hızlanarak pallerden geçer. Bu hızlanmış hava, fanın çıkış bölgesinden geçerek pervanelerde benzer bir itme kuvveti oluşturur. Şekil 2.6’ da Turbofan motorunun kısımları gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Turbofan motorunun kısımları [35].

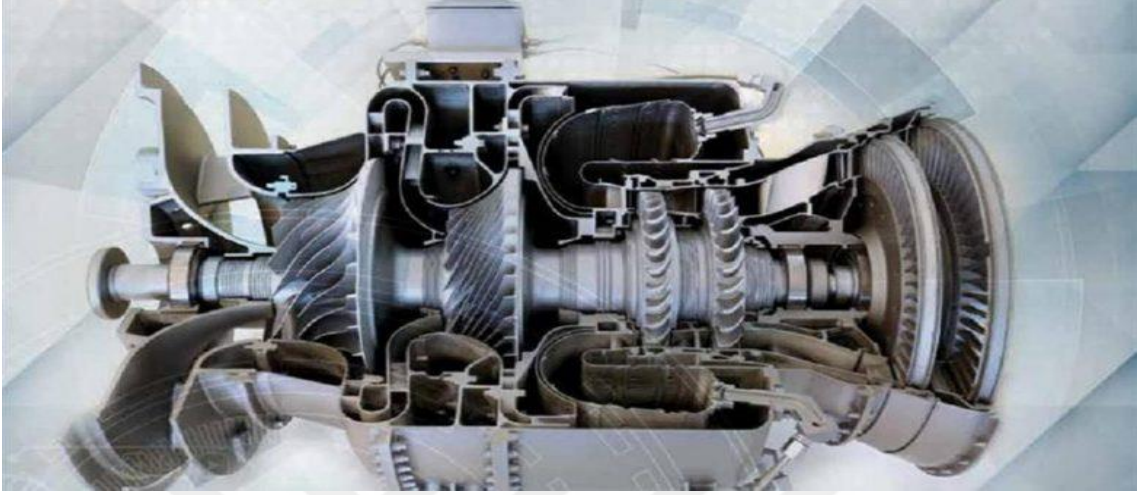
2.4.2 Turboşaft motorlar

Turboşaft motorları, genellikle sivil ve askeri helikopterlerde kullanılmaktadır. Bu motorlarda yer alan dişli kutusu, motorun yüksek hızlı dönüşünü istenilen hıza ayarlayarak mil hareketini pervaneye iletmektedir. Şekil 2.7’ da turboşaft motorlu uçakların kısımları gösterilmektedir.



Şekil 2.7: Turboşaft motor kısımları [35].

Turboşaft motorları, turboprop motorlarıyla benzerlik gösterir; ancak farkları yanmış gazların türbini döndürdüğü şafttır. Turboprop motorlardan farklı olarak turboşaft motorları helikopterlerin veya enerji santrallerinde elektrik jeneratörlerini döndürmek için kullanılır. [36]. Şekil 2.8’ de bir helikoptere yerleştirilmiş turboşaft motoru gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Turboşaft motor [37].

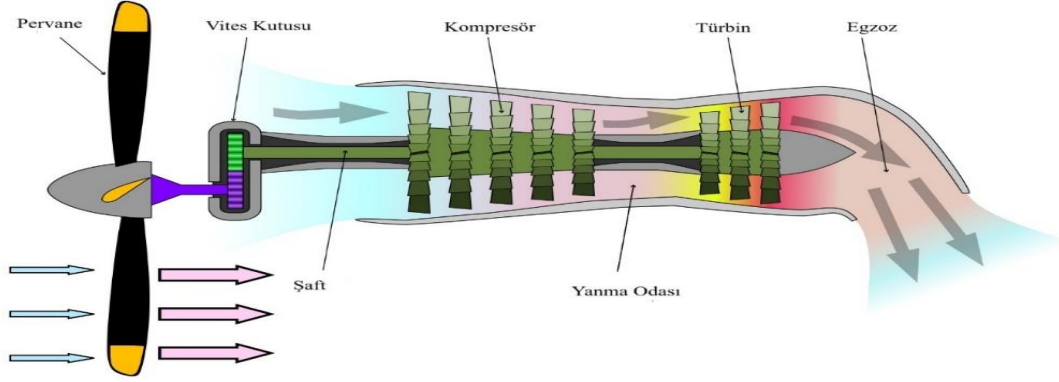
2.4.3 Turboprop motorlar

Turboprop motorları, turbojet motorlarına benzer bir yapıya sahiptir ve kompresör, yanma odası ve türbin bölümlerini içerir. Bu motorlar, güç üreten jeneratör ve pervanenin birleşimi ile oluşturulur. 1940’ların başlarında kullanılmaya başlanan turboprop motorlar, şaftın dönmesini sağlayan bir kuvvet üretir. Turboprop motor şaftı, üretilen güçle döner ve pervanenin devreye girmesini sağlar. Pervane, turboprop motorlarda güç türbinine bağlıdır ve bazı motorlarda kompresör türbininin şaftına bağlıdır [38]. Şekil 2.9’da turboprop motorlu uçak gösterilmektedir.



Şekil 2.9 : Uçak üzerinde turboprop motoru [39].

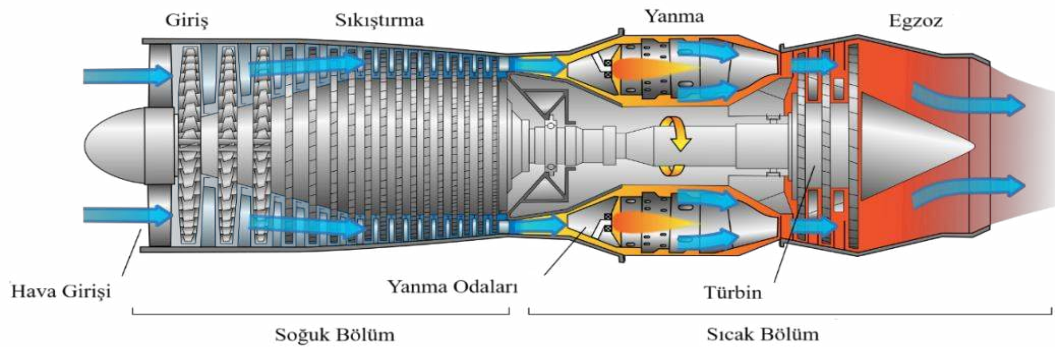
Turboprop motorları, özellikle kalkışlarda ve yük taşıma konusunda diğer motorlara göre avantajlıdır. Bu motorlar 500 mil hıza kadar çıkabilir, ancak bu hızı aşamazlar. Havanın hızı arttıkça pervanenin verimliliği de düşer. Şekil 2.10’ da turboprop motorlu uçakların kısımları gösterilmektedir.



Şekil 2.10: Turboprop motor kısımları [35].

2.4.4 Turbojet motorlar

Turbojet, havacılıkta kullanılan ve hava soluyan bir jet motordur. Motorun termodinamik çevrim patenti 19. yüzyılda Brayton tarafından alınmasına rağmen, Frank Whittle İngiltere’de ve Hans von Ohain Almanya’da 1930’ların sonlarında birbirinden bağımsız olarak çalışır prototipler geliştirmişlerdir. Geçmişte Concorde, 1970’lerden 2003 yılına kadar turbojet motorlarını kullanan ve seri üretimi yapılmış tek yolcu uçağı olmuştur. Günümüzde ise turbojetler daha çok askeri uçaklarda ve ses üstü hızlarda uçan hava araçlarında tercih edilmektedir. Turbojet motorlar, yüksek itiş gücü üretmeleri sayesinde uçakları hızlı bir şekilde ivmelendirerek ses üstü hızlara ulaşmalarını sağlamaktadırlar. Ekstra hız ve ivme için bu motorlara art yakıcılar eklenir. Şekil 2.11’ de turbojet motorlu uçakların kısımları gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Turbojet motorunun kısımları [41].

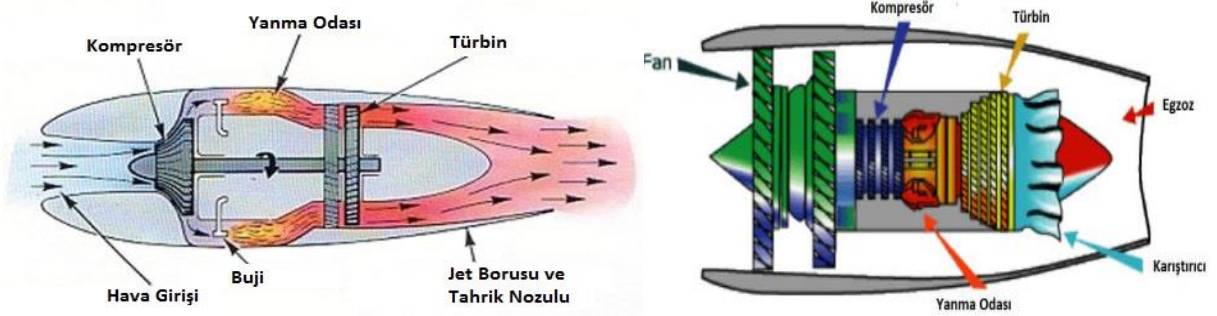
Türkiye'nin 2020'li yıllarının sonuna doğru seri üretime geçirmeyi hedeflediği, Şekil 2.12' de gösterildiği gibi TUSAŞ tarafından geliştirilen F110 çift jet motorlu, düşük görünürlük özelliğine sahip ve sensör füzyonu ile hava-hava ve havadan yere üstün performans sergileyen beşinci nesil jet muharip uçağı projesidir.



Şekil 2.12: Türkiye'nin milli muharip jet uçağı KAAN [36].

2.5 Gaz Türbinli Motorların Kısımları

Gaz türbinli motorların ana bileşenleri; hava girişi, kompresör, yanma odaları, türbin ve egzoz olmak üzere 5 kısımdan oluşmaktadır. Şekil 2.13'te gaz türbini kısımlarını gösteren örnek gaz türbinli motorları verilmiştir.



Şekil 2.13: Gaz türbini motorunun kısımları [42]

Havacılıkta ve endüstriyel güç üretiminde yaygın olarak kullanılan gaz türbini motorları, yüksek sıcaklık ve basınçtaki gazları kullanarak enerji üretirler. Gaz türbini motorları hava girişi, kompresör, yanma odaları, türbin ve egzoz olmak üzere 5 kısımdan oluşmaktadır.

2.5.1 Hava girişi (hava alığı) kısmı

Hava alığı olarak da adlandırılan hava giriş kısmı Şekil 2.14' de gösterildiği gibi havanın sisteme girişinden başlayarak kompresör girişine kadar devam eden bölümdür. Gaz türbinli

motorlarda hava, motorun önde bulunan hava giriş kanalından içeri girer ve en yüksek basınca ulaşmadan önce sıkıştırılır, böylece motora güçlü bir itme kuvveti sağlanır.

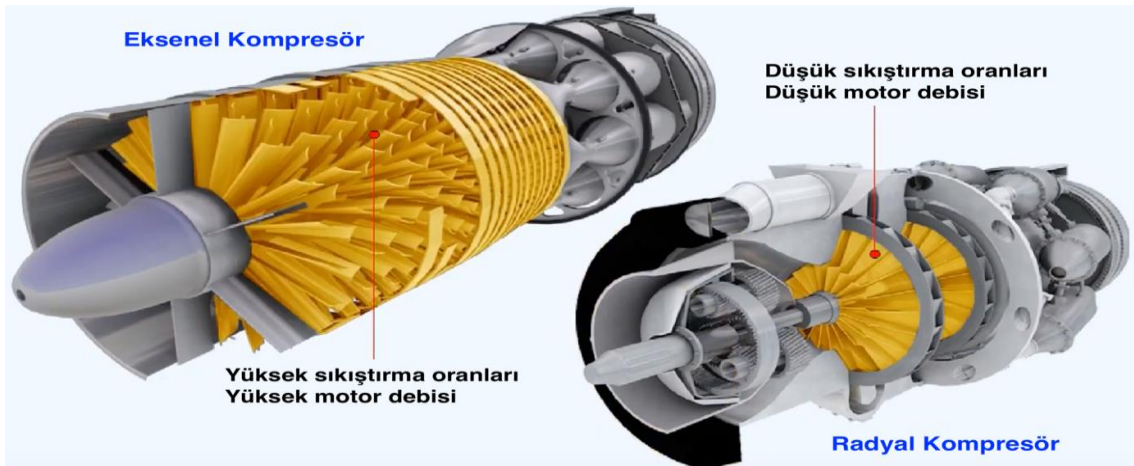
Şekil 2.14'te gösterildiği gibi hava alığı, yüzeyi mümkün olduğunca düzgün olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım, hava tabakasını düşük seviyede tutmaya yardımcı olmakla birlikte sınır tabaka havasını etkili bir şekilde yönlendirir ve homojen bir hava basıncı dağılımı oluşturarak sıkıştırıcı bölümüne hava iletmeyi amaçlar.



Şekil 2.14: Gaz türbinli motor hava alığı [42].

2.5.2 Kompresör kısmı

Kompresör, gaz türbini motorunun ilk aşaması olup dışarıdan aldığı havayı sıkıştırarak yanma için hazır hale getirir. Gaz türbinlerinde kullanılan kompresörler aksel kompresörler (hava akışının aksel olarak ilerlediği) ve santrifüj kompresörler (havayı merkezkaç kuvvetiyle dışarı doğru savuran) olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Bu kompresörler sayesinde havanın genişmeden önce sıkıştırılması işlemi gerçekleştirilir. Türbin miline akupile olan kompresörler türbinden aldıkları güç ile çalışırlar. Şekil 2.15 de aksel ve santrifüj kompresörlere birer örnek verilmiştir.



Şekil 2.15 : Gaz türbinlerinde kullanılan aksel ve santrifüj kompresör örnekleri [39].

Gaz türbinli motorlarda kullanılan kompresör sayesinde basınçlı hava üretilerek yanma sürecinin sürdürülmesi sağlanır. Eksenel kompresörler, rotor ve stator olmak üzere iki ana parçadan oluşurlar. Rotor, kompresörün dönen kısmını temsil eder ve havayı kanatçıklar aracılığıyla kompresörün çıkışına ileterek enerji artışına neden olur. Stator ise kompresörün sabit kısmını ifade eder ve hava akışını sonraki aşamalara yönlendirerek basıncın artmasını sağlar. Santrifüjlü kompresörde hava akışı dönme eksenine dik olarak geçer ve havanın dönen pervaneden geçmesi ile santrifüj kuvvete maruz kalarak merkeze doğru itilir. Böylece havanın bu radyal hareketi bir basınç artışına ve kinetik enerji oluşumuna neden olur.

2.5.3 Yanma odaları kısmı

Gaz türbinli motorlarda ısıнын dönüştürüldüğü ve sistemin işleyişini sağladığı kısım, yanma odası olarak bilinir. Bu odada yüksek enerjili hava ve yakıt bir araya gelerek yanma gerçekleşir. Kompresörden gelen hava yanma odasında yakıtla karışarak geniş hacimli ve yüksek hızlı bir gaz akışı oluşturur ve bu gaz akışı türbini döndürerek enerji üretimine katkıda bulunur.

Gaz türbinli motorlarda, her ne kadar üç çeşit yanma odası bulunsada temel olarak iki ana yapı öne çıkar: bunlar iç ve dış muhafazalar ile alev borusudur. İç ve dış muhafazalar, yanma odasını çevreleyerek yüksek hava basınçlarına karşı dayanıklılığı sağlar. Aynı zamanda bu muhafazalar, motor bileşenlerini yüksek sıcaklıkta oluşan gazlardan koruyacak şekilde tasarlanmıştır. Gaz türbinlerinde yanma işlemi şu aşamalardan meydana gelir [42].

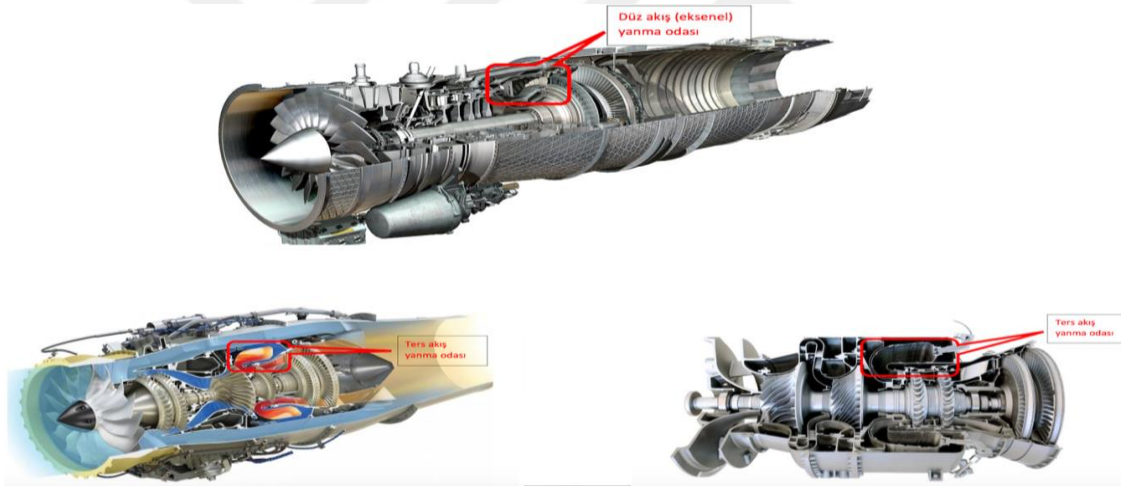
- Kompresör vasıtasıyla hava sıkıştırılır ve hacim genişlemesi nedeniyle hava yanma odasına iletilir.
- Yakıt, nozullar aracılığıyla yanma odasının merkezine yönlendirilir.
- Yüksek basınçla gönderilen yakıt, basınçlı havayla birlikte buharlaşır ve hava akışına katılır.
- Bujiler, ateşleme işlemini gerçekleştirir.
- Böylece yanma süreci başlar.

Yanma gerçekleştikçe, ateşleme işlemi sonlanır. Yakıt ve hava akışı sürdüğünden, yanma süreci devam eder. Düzgün, güvenli ve sağlıklı bir yanma işlemi için aşağıdaki koşulların sağlanması önemlidir.

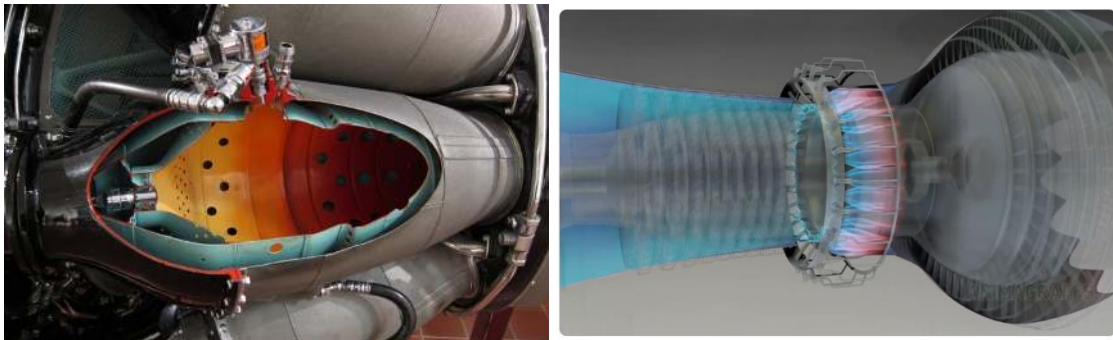
- Hava ve yakıt karışımının doğru bir şekilde hesaplanması
- Yanma işleminin düzgün gerçekleşmesi, yanma hızının eşit olmasını gerektirir.

Kompresörden gelen hava akışları, birincil ve ikincil akışlar olarak ayrılır. Sıcak bölgelerden gelen ve doğrudan yanma sürecine katılan hava, birincil akış olarak adlandırılırken; fan kaynaklı ikincil hava akışı doğrudan yanma işleminde kullanılmaz. İkincil havanın bir kısmı, yanma odasında alevi tahliye etmek amacıyla birincil bölgeye yönlendirilir. Şekil 2.16’ da yanma odası konfigürasyonları gösterilmektedir.

Yanma odasında, alevin dengede olduğu bölge birincil kısımdır. Yanma odasının girişinde bulunan difüzör, kompresörden çıkan havanın hızını düşürerek yanma odasına daha düşük hızda girmesini sağlar. Bu durum, yanma sürecinin istenilen şekilde gerçekleşmesine olanak tanır ve yanma odasında oluşan dengeli alevin, türbine ulaşmadan yanma sürecinde tamamen kullanılmasını sağlar. Şekil 2.17’ de gaz türbinli motorlarda yanma odası gösterilmektedir.



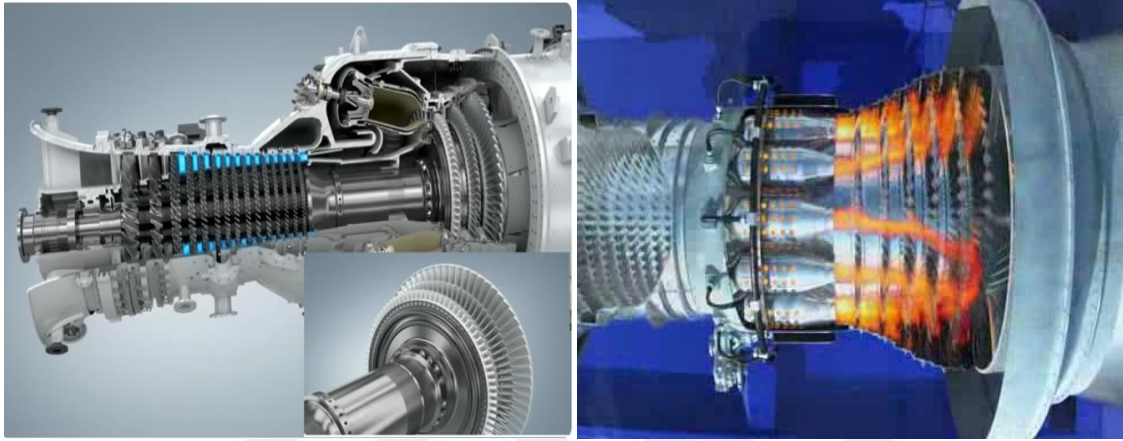
Şekil 2.16: Yanma odası konfigürasyonları [39]



Şekil 2.17: Gaz türbinli motorda yanma odası [42]

2.5.4 Türbin kısmı

Gaz türbinli motorlarda, türbin kısmı şekil 2.18 ‘de Gaz türbinlerinde güç üreten eleman olan türbinin şematik görünümü gösterilmektedir. Yanma odasında elde edilen yüksek sıcaklıktaki gazların enerjisi, türbinlere aktarılır ve burada depolanır. Türbinler, yanma odasından gelen yüksek sıcaklık ve basınçtaki gazları genişleterek, bu gazların basınç ve sıcaklık değerlerini düşürür. Bu işlem sırasında, türbinler yüksek hızda dönerek gerekli güç üretimini sağlar. İki farklı türbin tipi bulunmaktadır [42].

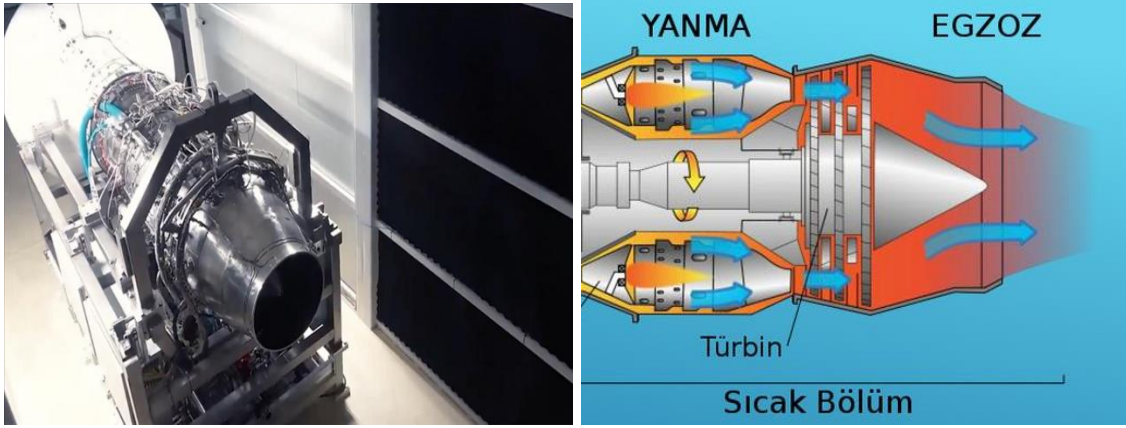


Şekil 2.18: Gaz türbinlerinde güç üreten eleman olan türbinin şematik görünümü [43].

Stator kanatçıkları ve dönen çark palleri, radyal ve eksenel akışlı türbinlerde aynı olan temel bileşenlerdir.

2.5.5 Egzoz bölümü

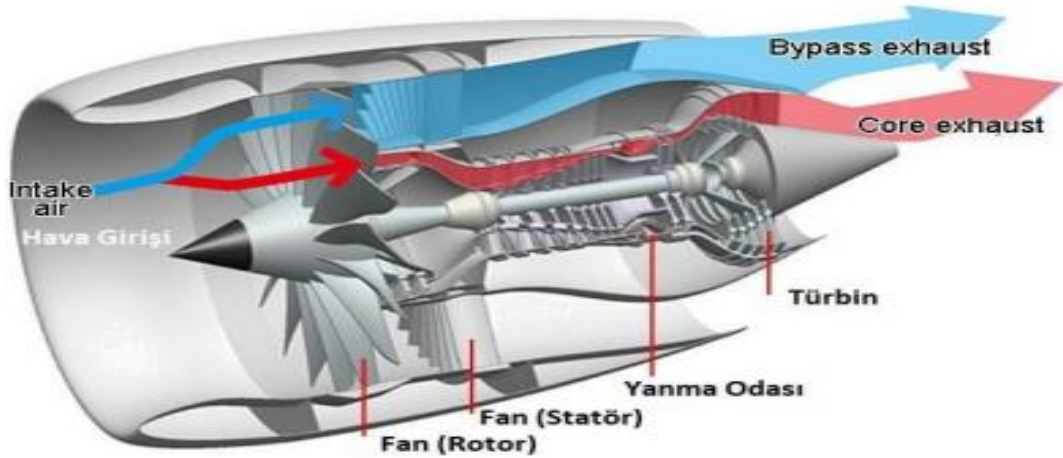
Egzoz sistemi, gaz türbinli motorlarda enerji dönüşüm sürecinin son aşamasını oluşturur. Bu aşamada, motor içinde yüksek basınç ve sıcaklıkta sıkışan gazlar, genleşme sonucu egzoz borusundan dışarı salınır. Turbojet motorlarda egzoz sistemi, gazların yüksek hızda ve yönlendirilmiş şekilde dışarı çıkmasını sağlar, böylece itme kuvveti elde edilir. Egzoz bölümünde, gazların dışarı doğru olan akışı sırasında oluşan etki-tepki kuvveti, motorun ileri doğru hareket etmesine katkıda bulunur. Bu süreç, özellikle turbojet ve turbofan motorlar için, motorun verimliliğini ve performansını doğrudan etkileyen kritik bir adımdır. Egzoz sistemleri, ayrıca gazların belirli bir sıcaklık ve basınçta dışarı salınması gerektiğinden, yüksek ısıya dayanıklı malzemelerden yapılır. Şekil 2.19’da gaz türbini egzoz kısmı gösterilmektedir.



Şekil 2.19: Gaz türbini egzoz kısmı [44].

2.6 Gaz Türbinli Motorların Çalışma Prensibi (Turbofan Motor Örneği)

Günümüzde yolcu uçaklarında en yaygın kullanılan motor türü turbofan motorlardır. Turbojet ve turboprop motorlarının bir birleşimi olan turbofan motorlar, türbinden elde edilen güçle ikili veya üçlü şaft sistemi kullanarak çalışır. Turbofan motorlarda fanın hızını düşürmek için dişli sistemine gerek yoktur. Yanmış gazların etkisiyle fan ve kompresör tork üretir, ancak fan tarafından hızlandırılan hava akışı ivmeli olsa da çıkış hızı daha düşüktür.

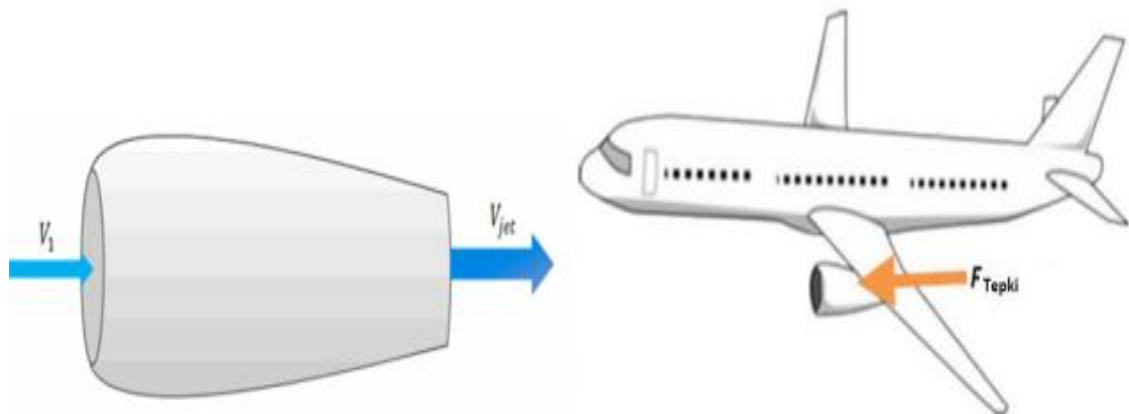


Şekil 2.20: Turbofan motoru içinden hava akışı [43].

Turbofan motorunda hava akışı, fan tarafından çekilen büyük miktarda havanın hem motor çekirdeğinden hem de bypass kanalından geçmesiyle gerçekleşir. Fan, havanın çoğunu yanma odasına yönlendirmek yerine çevresinden geçirir, bu da motorun yakıt verimliliğini artırır. Çekirdek kısmına yönlendirilen hava, sıkıştırma, yanma ve genleşme aşamalarından geçerek itiş gücü oluşturur. Bypass kanalından geçen hava ise ek itiş sağlar ve motorun daha sessiz çalışmasına katkıda bulunur. Bu sistem, ticari uçaklar için yüksek verimlilik ve düşük gürültü

The diagram illustrates the flow of water around a ship's hull. It shows the hull's cross-section with internal components like the engine and propeller. Blue arrows indicate the flow direction. Labels include 'Düşük Çıkış Hızı' (Low Exit Speed) at the bow, '%75-80 İtki' (75-80% Efficiency) in the middle section, and '%20-25 İtki' (20-25% Efficiency) at the stern. The text 'Yüksek Çıkış Hızı' (High Exit Speed) is also present near the stern.

Gaz türbinli motorların çalışma prensibi, içeriye emilen havanın fan etkisiyle hareket kazandığı, kompresör tarafından sıkıştırıldığı ve basıncının arttırıldığı, ardından yakıtla karışarak egzozdan çıktığı bir süreci içerir.



Gaz türbinli motorlarda itme kuvvetini artırmak amacıyla yakıt miktarının artırılması, gaz akışının hızını yükseltir. Kompresörün dönüş hızı, türbinin dönme hızına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kompresör, Newton'un ikinci hareket yasasına dayanarak daha fazla hava kütle akışı sağlayarak gaz türbinli motorlardaki itme kuvvetini üretir.

27

(dual-shaftsystem), motorun farklı hızlarda çalışan iki ayrı şaft içerdiği bir tasarımı ifade eder. Bu sistemde, genellikle bir yüksek basınç (HP) şaftı ve bir düşük basınç (LP) şaftı bulunur. İki şaftlı motor sistemleri, özellikle verimliliği artırmak ve performansı optimize etmek amacıyla kullanılır. İşleyişi şu şekildedir: Yüksek Basınçlı Şaft (HP Shaft), motorun ön kısmında yer alan kompresör ve yanma bölümüyle bağlantılıdır. HP şaftı, gazları sıkıştıran ve yanma odasında enerji üreten kompresör ve türbin bölümlerini birbirine bağlar. Bu şaft genellikle daha yüksek hızda döner. Düşük Basınçlı Şaft (LP Shaft) ise daha düşük hızda çalışan ve genellikle motorun fan bölümü veya daha büyük türbin kademeleri ile ilişkilidir. LP şaftı, motorun dış kısmındaki gaz akışını yönlendiren türbinleri ve bazen fanı döndürmek için kullanılır. Şekil 2.22 'de motorun içinden akan hava akışı ve tepki kuvvetinin oluşumu gösterilmektedir.



3 HAVALİMANLARINDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

3.1 Hava Kirliliği ve Kaynakları

Hava, Dünya'nın etrafını saran ve canlıların solunum yapabilmesi için gerekli olan, gaz karışımından oluşan bir atmosferdir. Atmosferin içeriği %78,9 azot, %20,95 oksijen, %0,003 karbondioksit, %0,25-3 su buharı ve argon, neon, helyum gibi diğer gazlar ile farklı maddelerden oluşmaktadır. Canlıların varlığını sürdürebilmesi için havada belirli oranlarda azot ve oksijenin sürekli bulunması gereklidir [46].

Hava kirliliği, insan faaliyetleri veya doğal süreçler sonucu atmosfere zararlı maddelerin karışmasıyla hava kalitesinin bozulması olarak tanımlanmaktadır. Hava kirliliği, canlıların sağlığını olumsuz etkileyebilir, ekosistemlere zarar verebilir ve iklim değişikliği gibi global çevresel sorunlara yol açabilir. Hava kirliliği kaynakları bakımından doğal kaynaklı ve insan kaynaklı hava kirliliği olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir:

Doğal kaynaklı hava kirliliği, volkanik patlamalar, orman yangınları, toz fırtınaları ve bitki örtüsünün saldıdığı polen gibi doğal olaylar.

İnsan kaynaklı kirliliği, endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtlar, fosil yakıtların yanması, tarımsal uygulamalar ve evsel ısınma gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirliliktir.

3.1.1 Doğal kaynaklı hava kirliliği

Volkanik faaliyetler, tozlar, okyanus ve deniz spreyleri ile orman yangınları, bu kategori altında toplanan kirleticilerin kaynaklarını oluşturur. Bu kaynaklardan salınan gazlar ve partiküllerin sera etkisi büyük bir öneme sahiptir. Doğal olaylar sonucunda meydana gelen volkanik patlamalar, atmosfere yüksek miktarda kükürt dioksit ve parçacık madde salarak, güneş radyasyonunun yeryüzüne ulaşmasını engeller ve dünya üzerindeki sıcaklık dengesini etkiler. Bu etki, 15. Yüzyıldan 19. Yüzyılın ortalarına kadar süren küçük buzul çağı gibi belirgin dönemlerde net bir şekilde gözlemlenmiştir. Diğer bir doğal kirlilik kaynağı olan tozlar ise, genellikle çöl bölgelerinden kaynaklanmaktadır. Çöl fırtınaları ve çeşitli atmosfer olayları, bu tozları farklı bölgelere taşıyarak o bölgeleri etkiler. Okyanus ve deniz spreyleri, denizlerdeki tuzun rüzgarlar ve buharlaşma yoluyla atmosfere karışması ile farklı yerlere taşınır ve etkiler

yaratır. Ayrıca, orman yangınları önemli miktarda havada askıda kalan partikül madde salar ve bu partiküller atmosfere hava kirliliği olarak yayılır. [47].

3.1.2 İnsan kaynaklı hava kirliliği

İnsan kaynaklı hava kirliliği, insanların faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan doğal olmayan kirlilik olarak tanımlanmaktadır. Bu tür kirliliğe örnek olarak ısınma kaynaklı kirlilik (soba, kalorifer, odun ve kömür gibi) ile ulaşım kaynaklı kirlilik (benzin ve dizel araçların egzozlarından yayılan zararlı gazlar) verilebilir. Ayrıca, endüstriyel faaliyetler de önemli bir kirlilik kaynağıdır ve bunlar arasında termik santraller, endüstriyel atıklar ve çevreyi kirleten kimyasal maddeler bulunmaktadır. İnsan kaynaklı kirleticiler, üç ana kategoriye ayrılabilir: bunlar çizgisel kaynaklar, alansal kaynaklar ve noktasal kaynaklardır.

3.1.1.1 Çizgisel kaynaklar

Çizgisel kaynaklar, ulaşım araçlarının yarattığı kirlilik türünü kapsamaktadır. Ulaşım yolları kara, deniz, hava ve demiryolu şeklinde dört ana kategoriden oluşur. Kara yollarında faaliyet gösteren araçlar genellikle benzin, dizel ve sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışır. Benzinli araçların emisyonları arasında azot dioksit, karbon monoksit, uçucu organik bileşenler, kurşun ve farklı boyutlarda partiküller bulunur. Dizel araçlar ise kükürt dioksit gibi gazlar yayar; bu araçların emisyonları, çeşitli diğer gazlarla birlikte atmosfere salınır. Sıvılaştırılmış petrol gazı kullanan araçlar da benzer gazlar yayar, ancak bu araçlardan havaya karışan partiküller, insan sağlığı için tehlike oluşturmaz.

Deniz taşımacılığı yapan araçlar, genellikle petrol ürünleriyle çalıştığından, kara yollarındaki araçlardan kaynaklanan gazlar da atmosfere karışmaktadır. Demiryolu taşımacılığında ise kömürle çalışan trenler kükürt dioksit yayar, ancak elektrikli sistemlere geçiş yapıldığı için genel kirlilik seviyeleri azalmıştır. Havayolu taşımacılığı, uçakların büyük miktarlarda kirlilik yayması ile ilişkilidir. Uçaklarda kullanılan özel yakıtlar, hava kirliliğini artıran en önemli etkenler arasında yer alır. Bu kirlilik iki ana bölümde incelenebilir: birincisi havaalanı çevresindeki kirlilik, ikincisi ise uçağın kalkış, seyir ve iniş süreçlerinde ortaya çıkan kirliliktir. Havaalanı çevresindeki kirlilik, uçakların iniş ve kalkış işlemleri ile yakıt ikmali sırasında daha yoğun hale gelir. Uçakların kalkış ve iniş anlarında yarattığı kirlilik, bu süreçlerde daha fazla yakıt tüketimi nedeniyle artar [48].

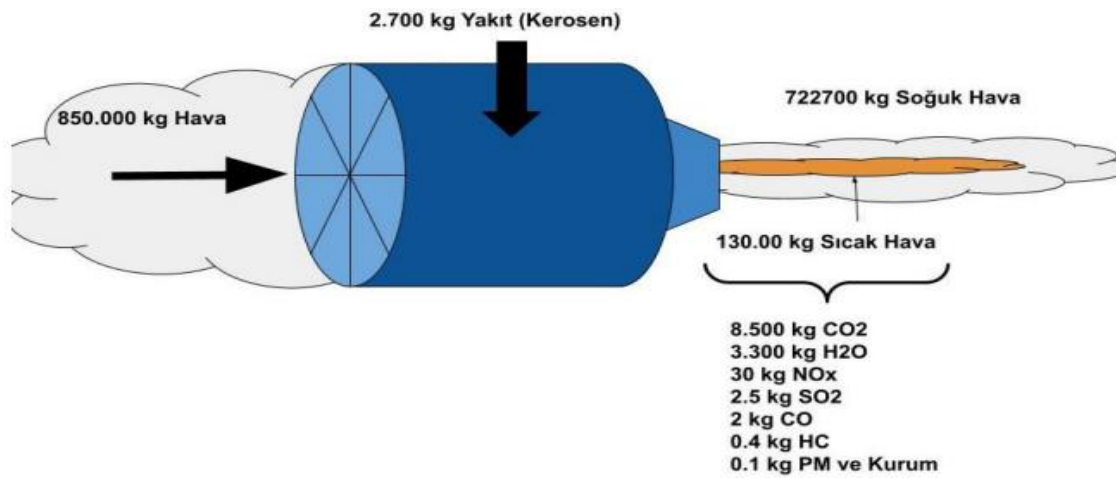
3.1.1.2 Alansal kaynaklar

Isınma amacıyla evlerde kullanılan kaynaklar, alansal kaynaklar grubunu oluşturur. Bu bağlamda genellikle fosil yakıtlar tercih edilmektedir; bunlar arasında kömür, doğal gaz ve petrol ürünleri yer alır. Kömür yakıldığında kükürt dioksit gazı ve farklı boyutlardaki partiküller atmosfere salınır. Doğal gazın yanması ise genellikle partikül üretmez, ancak azot bileşikleri gibi gazların açığa çıkmasına neden olur. Bu yakıtın en önemli bileşeni özellikle metandır [49].

3.1.1.3 Noktasal kaynaklar

Fabrikalar, enerji santralleri ve sanayi tesisleri, noktasal kaynakların önemli bir bölümünü oluşturur. İstanbul ve çevresinde bulunan çimento fabrikaları, enerji santralleri, gübre ve petrokimya endüstrileri ile demir-çelik sektörü bu gruba dahildir. Bu tesisler, enerji üretimi ve ürün imalatı süreçlerinde çeşitli maddelerin yanması neticesinde havaya toz, kükürt dioksit, karbon monoksit, kurşun, metal oksitler, azot oksitler ve duman gibi kirleticilerin salınmasına sebep olur. Özellikle Marmara Bölgesi'ndeki enerji santralleri, çimento fabrikaları, petrokimya ve gübre endüstrileri, İstanbul'daki hava kirliliğini artıran etkenler arasında yer almaktadır.

Enerji santralleri genellikle fosil yakıtlar, özellikle de petrol ve kömür kullanır. Bu yakıtlar yüksek oranda kükürt barındırdıkları için yanmaları sonucunda atmosfere önemli miktarlarda kükürt dioksit yayılır. Çimento endüstrisinde, kükürt dioksit, toz ve çimento kalıntıları havaya karışır. Petrokimya endüstrisi, kimyasal işlemler ve rafinajı faaliyetleri sonucunda kükürt dioksit, hidrokarbonlar, tozlar, küller ve duman gibi kirleticileri atmosfere salar. Gübre endüstrisi ise kükürt dioksit, hidrojen sülfür, karbon monoksit, amonyak, florlu gazlar, gübre tozları, uçucu küller ve çeşitli partiküllerin salınımına neden olmaktadır [49].

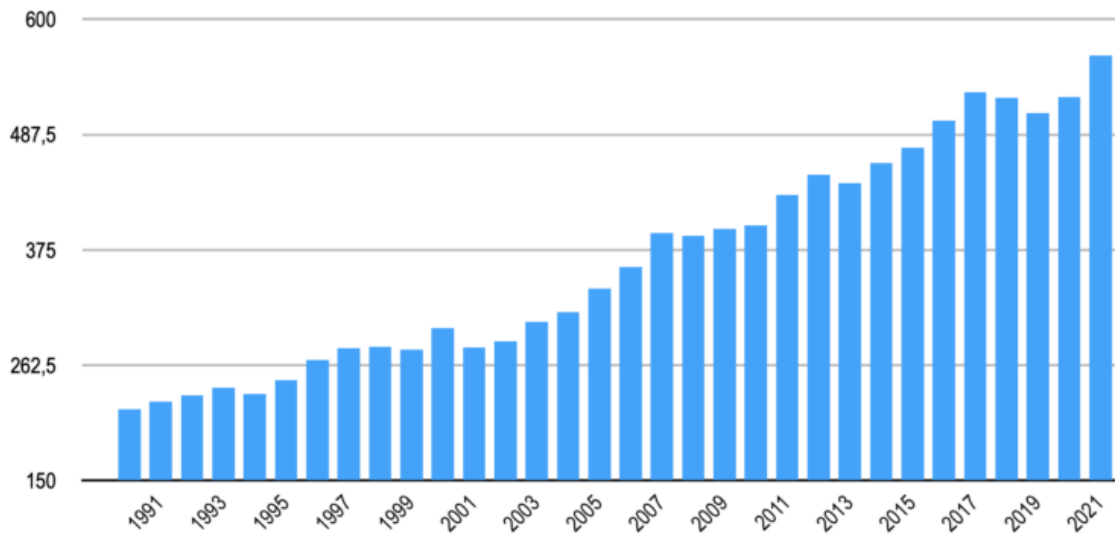


Şekil 3.1: 150 kapasiteli iki motorlu bir jet uçağının bir saat uçuşu ile uçaktan atmosfere yayılan emisyonlar için bir örnek [50].

Şekil 3.1 incelediğinde, atmosfere salınan emisyonlardan oluşan gazların dağılımı gözlemlenebilir. Karbondioksit (CO_2) gazı emisyon değerlerinin yaklaşık %70'ini oluştururken, su buharı (H_2O) ise %30'luk dilimi kapsamaktadır. Nitrojen oksit (NO_x), sülfür oksitler (SO_x), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül maddeler (PM) gibi emisyonlar, toplam emisyonların yaklaşık %1'ini temsil eder. Uçaklardan kaynaklanan gaz emisyonları, yakıt tüketiminin azaltılması ve yanma seviyesinin artırılması gibi yöntemlerle azaltılabilir. Hava taşıtlarında tercih edilen motor türü (pistonlu motor, gaz türbinli motor)'ne göre oluşan emisyonlar değişim gösterebilmektedir.

Gaz türbinli motorlarda yanma, özel bir bölüm olan yanma odasında gerçekleşirken, pistonlu motorlarda silindir içinde gerçekleşmektedir. Günümüzde kullanılan enerji kaynakları genellikle karbon ve hidrojen içeren yakıtlardan oluşmakta olup bu yakıtlar yanarken, oksijenle etkileşime girerek karbondioksit ve su buharı oluşturur. Oluşan karbondioksit, sera etkisi ile bağlantılı en önemli gazlardan biridir ve küresel ısınma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Uçak kaynaklı emisyonlar arasında yer alan diğer emisyonlar ise karbon monoksit, azot oksit, tamamen yanmamış hidrokarbonlar ve sülfür dioksit gazlarıdır. Emisyon miktarı, kullanılan yakıt türü, motor tipi ve yanma odasının özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Genellikle düşük hızlarda veya motor ilk çalıştırıldığında tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı karbon monoksit (CO) gazı oluşabilmektedir. Yüksek hızlarda ise azot oksit (NO_x) daha fazla görülür ve yanma sırasında azot oksijenle birleşerek azot monoksit ve azot dioksit oluşmaktadır. Şekil 3.2 de görüleceği gibi artan nüfus ve teknolojinin gelişmesi ile sera gazı oluşumu gün geçtikçe daha da artmaktadır.



Şekil 3.2: Yıllar bazında Türkiye'nin sera gazı salım miktarı (milyon ton) [53].

Uçak kaynaklı emisyonlar, fosil yakıtlarla çalışan uçak motorlarının atmosfere saldığı çeşitli gazlar ve partiküllerden oluşmaktadır. Ticari ve askeri hava taşıtları olarak kullanılan uçaklar, önemli miktarda yakıt tüketirler ve bu da çeşitli zararlı maddelerin havaya salınmasına neden olurlar. Uçak kaynaklı emisyonlar, doğrudan atmosfer ve iklim değışikliği üzerinde etkili olup hava kalitesini ve insan sağlığını olumsuz etkiler. Uçaklar, özellikle karbondioksit salınımı ile iklim değışikliğine önemli bir katkı yapar. Karbonmonoksit salınımları ise daha düşük seviyelerde olmasına rağmen yanma verimliliğine bağlı olarak atmosfere yayılabilmektedir. Havacılık sektöründe, bu emisyonları azaltmak için daha verimli motor teknolojileri, sürdürülebilir havacılık yakıtları ve karbon telafı programları gibi önlemler alınmaya çalışılmaktadır. Uçak kaynaklı emisyonların ayrıntılı açıklaması şu şekilde verilebilir:

3.1.2 Karbondioksit (CO₂)

Uçakların jet yakıtlarının yanması sonucu oluşan karbon monoksit (CO) miktarı, ses üstü hızda seyahat eden uçaklarda 1-2 gram, ses altı hızlarda ise 1-10 gram arasında değışiklik göstermektedir. Karbon monoksit, renksiz ve kokusuz bir sera gazı olarak tanımlanır. Düşük kaliteli yakıtların yanması sırasında bu gaz salınır. Karbon monoksitin biriktiği ortamlarda, zehirlenme, nefes darlığı, bilinç kaybı ve baş dönmesi gibi semptomlar ortaya çıkabilir. Taşıtlardaki yanma verimliliğinin artırılması ve emisyon değęerlerinin dikkatli bir şekilde izlenmesi, karbon monoksit oluşumunu azaltmaya katkıda bulunmaktadır.

3.1.3 Su buharı (H₂O)

Uçak kaynaklı emisyonlar arasında bulunan su buharı, uçak motorlarının yanma sürecinde yakıtın yanmasıyla açığa çıkan bir gazdır. Bu gaz yüksek irtifalarda ince buz kristalleri oluşturarak kondens izleri (contrails)'nin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu izler, bulut oluşumunu tetikleyerek sera etkisini artırılmasına sebep olabilmektedir. Su buharı bulutları, gelen güneş ışınlarının bir kısmını geri yansıtabilirken, yerden yansıyan ısının atmosferde kalmasına neden olur, bu da küresel ısınmayı güçlendirmektedir.

3.1.4 Azot oksitler (NO_x)

Azot oksit, yüksek sıcaklıkta gerçekteşen yanma işlemi sonucunda ortaya çıkan renksiz ve kokusuz bir emisyondur. Yüksek sıcaklık ve basınç altında yakıtın yanması sonucu, uçak motorlarından azot oksitler (NO ve NO₂) salınarak hemtroposferik ozon oluşumuna katkı yapar hem de atmosferin üst tabakalarında sera gazı etkisini artırabilmektedir. Troposferik

ozon, insan sağlığına ve çevreye zararlı olan bir hava kirletici olup NO_x, asit yağmurlarına neden olabilen ve ekosistemlere zarar verebilen bir bileşiktir. Azot oksit oluşumu, yanma sıcaklığına ve motorun çalışma hızına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Motorun ilk çalıştığı anda azot oksit seviyeleri daha düşük olur. NO_x emisyonlarının büyük bir kısmı azot oksit (NO) formunda, geri kalan küçük kısmı ise azot dioksit (NO₂) ve diğer azot bileşikleri şeklinde görülür [51].

3.1.5 Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit, eksik yanmadan dolayı meydana gelen ve uçak emisyonları arasında yer renksiz ve kokusuz bir gazdır. Karbonmonoksit, atmosferde kısa srelіđine bulunmakla birlikte yer seviyesinde insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahip olabilmektedir. Solunduğunda kandaki oksijen taşıma kapasitesini düşürerek ve yüksek konsantrasyonlarda zehirleyici olabilmektedir. Karbon monoksitin bulunduğu bir ortamda uzun süre kalındığında, kandaki hemoglobin dengesi bozulur ve bu da zehirlenme veya boğulma tehlikesine yol açabilmektedir. Ancak uçakların CO emisyonları, çoğunlukla yüksek irtifalarda gerçekleştiği için bu gazın yer seviyesindeki etkileri daha sınırlıdır. Karbon monoksit oluşumu, yanma veriminin artırılması ve emisyon kontrol teknolojilerinin geliştirilmesi ile azaltılabilir [52].

3.1.6 Hidrokarbonlar (HC)

Uçaklarda hidrokarbon (HC) emisyonları, uçak motorlarının yakıt yanma sürecinde tam yanmayan veya eksik yanan fosil yakıtlardan kaynaklanan kirleticilerdendir. Hidrokarbonlar, uçakların karbon içerikli yakıtlarının (genellikle kerosen) yanma işlemi sırasında ortaya çıkan, evre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkiler oluşturabilen organik bileşiklerdendir. Uak motorları yüksek sıcaklıkta ve basınçta çalışarak yakıtı yakar, ancak tam yanma her zaman sağlanamayabilir. Yetersiz oksijenle veya düşük sıcaklıkta gerçekleşen yanma işlemi, yakıtın bir kısmının tamamen yanmamasına neden olur. Bu durumda hidrokarbonlar, yanmamış veya kısmen yanmış yakıt parçacıkları olarak atmosfere salınır. Özellikle kalkış öncesi rölanti veya yavaşlama aşamaları gibi motorun tam gte çalışmadığı durumlarda hidrokarbon emisyonları artabilmektedir. Uçak motorlarının tam gte olmadığı bu durumlarda yanma verimliliği düşer ve bu durum HC emisyonlarının artmasına neden olabilmektedir.

3.1.7 Partikül maddeler (PM)

Uçak motorlarının yanma sürecinde ve sülfür oksitlerin yanma sonucu oluşmasıyla ince partiküller maddeler açığa çıkmaktadır. Bu partikül maddeler, 2.5 mikrometre ile 10 mikrometre arasındaki çaplara sahip, havada asılı kalarak bulunan katı ve sıvı taneciklerdir. Partikül maddelerin oluşumunda enerji üretim tesisleri ve motorlu araçların yanı sıra evsel ve endüstriyel yanma süreçleri gibi etkenler önemli rol oynar. Bu tür partiküller, yakıtın düşük kalitede yanması sonucu meydana gelmektedir. Partikül maddeler, atmosferin görüş kalitesini azaltmanın yanı sıra atmosferi ısıtarak solunum sistemine zarar verebilmektedirler. [49]. Partikül maddeler, atmosferde asılı kalan mikroskobik parçacıklardır ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olabilen tanecikler olup solunduğunda akciğerlere ve kan dolaşımına geçerek solunum yolu hastalıklarına ve kardiyovasküler problemlere yol açabilmektedir. Ayrıca, partikül maddeler bulut oluşumunu etkileyerek iklim üzerindeki dolaylı etkileri artırabilir.

3.1.8 Sülfür oksitler (SO_x)

Jet yakıtı içindeki kükürt bileşenlerinin yanması sonucu açığa çıkan, asit yağmurlarına neden olabilen ve atmosferde ince partikül madde (PM) oluşumunu teşvik eden emisyonlardandır. Bu partiküller, hava kalitesini düşürerek insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler meydana getirebilmektedir. Ayrıca sülfat aerosollerinin atmosferdeki varlığı, küresel ısınmayı kısmen dengeleyen bir soğutma etkisi oluşturabilmektedir.

3.1.9 Kurşun (Pb)

Kurşun, genellikle küçük uçakların avgas (uçak benzini) yakıtı içerisinde bulunan tetraetil kurşun katkısı nedeniyle ortaya çıkan çoktoksik bir metal olup çevreye salındığında kalıcı kirliliğe ve sağlık sorunlarına neden olabilen bir maddedir. Özellikle kurşun, beyin ve sinir sistemi gelişimi üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir.

3.2 Uçak Emisyonlarının Çevresel Etkileri

Uçak emisyonlarının çevresel etkileri, havacılığın atmosfer ve iklim üzerindeki olumsuz etkilerini kapsamaktadır. Uçaklar, özellikle yüksek irtifada salınan çeşitli gazlar ve partiküllerle küresel iklim değişikliğine, hava kalitesine ve ekosistemlere zarar verirler. Uçak emisyonları, küresel ısınma, ozon tabakasına zarar, hava kalitesinin bozulması, ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler ve ses kirliliği gibi birçok çevresel probleme sebep olmaktadır.

Havacılık sektöründe bu etkileri azaltmak amacıyla yakıt verimliliğini artırma, sürdürülebilir havacılık yakıtlarına geçiş ve karbon telafi programları gibi çeşitli stratejiler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Ancak, hava trafiği arttıkça bu emisyonların çevresel etkilerini sınırlamak giderek daha büyük bir zorluk haline gelmektedir. Uçak emisyonlarının çevresel etkileri kendi arasında şu şekilde sınıflandırılarak açıklanabilir:

3.2.1 Küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerindeki etkisi

Uçaklar, özellikle karbondioksit (CO_2), su buharı ve azot oksitler (NO_x) gibi gazlar salarak küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine doğrudan katkıda bulunur. Bu emisyonlar, atmosferdeki sera gazı yoğunluğunu artırarak dünyanın genel sıcaklıklarını yükseltirler. Fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan CO_2 , uzun ömürlü bir sera gazı olup uçaklardan kaynaklanan başlıca iklim değişikliği sebebidir. Bu emisyonlar, dünya çapındaki havacılık faaliyetlerinden kaynaklanan iklim değişikliğinin en büyük nedenidir. Yüksek irtifada uçakların saldığı su buharı, ince buz kristalleri oluşturur ve bu izler (contrails) bulut oluşumuna katkı sağlar. Bu bulutlar, gelen güneş ışığını geri yansıtarak kısa vadeli bir soğutma etkisi yaratabilse de esas olarak yerden yayılan ısıyı tutarak sera etkisini artırır. Kondens izlerinin ve bu izlerin oluşturduğu bulutların iklim üzerindeki etkisi, CO_2 emisyonlarının etkisinden bile daha güçlü olabilir. Uçak motorlarından salınan azot oksitler, stratosferde kimyasal tepkimelere girerek troposferik ozon oluşumuna neden olur. Ozon, yeryüzüne yakın seviyelerde güçlü bir sera gazıdır ve sıcaklıkların artmasına neden olur. NO_x ayrıca sera etkisini artırarak küresel ısınmaya katkıda bulunur.

3.2.2 Ozon tabakasına etkisi

Uçakların yüksek irtifada saldığı azot oksitler (NO_x), atmosferin üst katmanlarında (stratosferde) ozon tabakasına zarar verebilir. Ozon tabakası, dünya yüzeyini güneşten gelen zararlı ultraviyole (UV) ışınlarından korur. NO_x bileşikleri, ozonu parçalayarak UV ışınlarının yeryüzüne daha fazla ulaşmasına neden olabilir. Bu da hem insan sağlığı hem de ekosistemler için tehlikeli sonuçlar doğurur.

3.2.3 Hava kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkisi

Uçak kaynaklı emisyonlar, özellikle havaalanları çevresindeki yerel hava kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Partikül maddeler (PM), karbonmonoksit (CO) ve sülfür oksitler (SO_x) gibi kirleticiler, insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahiptir. Bu emisyonlar, solunum yolu

hastalıklarına, kalp ve damar hastalıklarına ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Uçak motorlarının yanma sürecinde ve sülfür oksitlerin yanma sonucu ortaya çıkan ince partiküller, solunduğunda akciğerlere kadar ulaşabilir ve ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir.CO, tam yanmamış yakıtın sonucunda oluşur ve yüksek konsantrasyonlarda insan sağlığı için zehirli olabilir. Özellikle havaalanları çevresindeki yoğun trafik bu kirleticinin birikmesine neden olabilir. Azot oksitler, hava kalitesini düşürür ve troposferik ozon oluşumunu teşvik eder. Troposferik ozon, solunum yolu hastalıklarına, özellikle astım ve bronşit gibi hastalıklara yol açabilmektedir.

3.2.4 Ekosistemler üzerindeki etkiler

Uçak emisyonları sadece atmosferi değil, aynı zamanda ekosistemleri de etkiler. Özellikle azot oksitler ve sülfür oksitler gibi kirleticiler, asit yağmurlarına neden olabilir. Asit yağmurları, toprak ve su kaynaklarını asidik hale getirerek bitki örtüsü ve su yaşamını olumsuz etkiler. NOx ve SOx gibi gazlar atmosferde su buharıyla birleşerek asit oluşturur. Bu asitler yağmur, kar veya sis olarak yeryüzüne düşer ve bitki örtüsünü, su ekosistemlerini ve yapı malzemelerini aşındırır. Asit yağmurları ayrıca tarım ve orman alanlarına zarar verebilir. Kutup bölgeleri gibi hassas ekosistemler, uçaklardan salınan emisyonlara karşı daha savunmasızdır. Bu bölgelerdeki ince atmosferik denge, uçakların saldırdığı kirleticiler nedeniyle bozulabilir ve iklim değişikliğinin hızlanmasına neden olabilir.

3.2.5 Yüksek irtifa etkileri

Uçaklar genellikle troposfer ve alt stratosfer arasında uçtukları için emisyonlarının atmosferin farklı seviyelerinde doğrudan etkisi olur. Bu emisyonlar, düşük irtifada salınan gaz ve partiküllerden daha büyük bir iklimsel etki yaratabilir. Stratosferde, uçak emisyonları ozon tabakasına zarar verebilir ve atmosfere salınan su buharı, ince bulut oluşumunu tetikleyebilir. Bu durum, yeryüzüne gelen güneş ışığının bir kısmını geri yansıtarak küresel ısınmaya katkıda bulunabilir. Troposferde oluşan emisyonlar, özellikle NOx gazları, troposferik ozonun artmasına neden olur. Bu ozon, insan sağlığına zararlı olmasının yanı sıra sera gazı olarak da işlev görür.

3.2.6 Ses kirliliği

Uçakların emisyonları sadece kimyasal değil, aynı zamanda ses (gürültü) kirliliği de yaratır. Özellikle kalkış ve iniş sırasında uçakların çıkardığı yüksek sesler, havaalanlarına yakın

yerlerde yaşayan insanlar için ciddi rahatsızlık ve sağlık sorunlarına neden olabilir. Gürültü kirliliği, uyku bozuklukları, stres ve kalp-damar hastalıkları gibi sorunlarla ilişkilendirilmiştir.

3.2.7 Küresel havacılık emisyonlarının etkisi

Havacılık sektörü, küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %2-3'ünden sorumludur, ancak bu oran hava trafiği arttıkça yükselmektedir. Havacılığın küresel ısınma potansiyeli, uçakların yüksek irtifada saldıgı emisyonların daha güçlü bir sera etkisi oluşturması nedeniyle, karasal ulaşım emisyonlarına kıyasla daha etkili olmaktadır.

Netice olarak Uçak emisyonlarını azaltmada etkili olabilecek yöntemlerden bazıları şu şekilde sıralanabilir: Uçak emisyonlarını azaltmak için yapılacak işlemlerden biri, uçak üreticileri, yakıt tüketimini azaltarak emisyonları düşürmek için daha verimli motorlar geliştirebilirler. İkincisi biyoyakıtlar gibi daha az karbon yoğunluğu olan yakıtlar, havacılığın emisyonlarını azaltmada potansiyel bir çözüm sunabilir. Üçüncü olarak da bazı havayolu şirketleri, karbon salınımlarını dengelemek amacıyla orman dikme gibi karbon telafi projelerine yatırım yapılabilir. Sonuç olarak, uçaklar atmosfere çeşitli zararlı gazlar ve partiküller salarak hem küresel iklim değişikliği hem de hava kalitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Havacılık endüstrisi bu etkileri azaltmak için daha verimli teknolojiler ve sürdürülebilir yakıt çözümleri üzerinde çalışmalar yaparak zararlı etkiyi minimum seviyeye indirebilir.

3.2.8 Uçak kaynaklı emisyonların sera etkisi

Uçakların atmosfere saldıgı kirletici gazlar, küresel ısınma ve iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Küresel ısınma, bu kirleticilerin neden olduğu sera etkisinin sıcaklık artışıyla kendini göstermesidir [55]. Enerji dengesi, güneş ışınları ile yeryüzünden yansıyan ışınlar arasında sağlanır. Yerküre ve atmosfer arasındaki enerji dengesizlikleri, ışıınım zorlaması olarak adlandırılır. Normal şartlarda, yerküre ve atmosfer arasında kısa dalga boyundaki güneş ışınları ile uzun dalga boyundaki yansıyan ışınlar arasında bir denge bulunur. Havacılık emisyonları, toplam ışıınım zorlaması içinde yaklaşık %3 oranında bir etkiye sahiptir ve bu etkinin 2050 yılına kadar %3 ila %7 arasında artması beklenmektedir.



Şekil 3.3: Küresel ısınmada sera etkisi ve buzullardaki değişim [49].

Havadaki karbonmonoksit (CO) miktarının artışı, sera etkisinin sonuçlarını gösterir. Fosil yakıt kullanan taşıtlar, nüfus artışı ve plansız kentleşme nedeniyle atmosferdeki CO₂ seviyelerini yükseltmektedir. Yüzyıllar önce atmosferdeki karbondioksit oranı milyon başına 275 ppm seviyelerindeydi. Bir milyon gaz molekülü içinde bulunan karbondioksit moleküllerinin sayısı ve atmosferdeki gaz yoğunluğu, ppm (parça başına milyon) olarak ölçülmektedir. Normal karbondioksit seviyesi dünya için 275 ppm olarak kabul edilir. Karbondioksit yoksa, atmosfer çok daha soğuk olurdu. Bilim insanları için güvenli üst sınır genellikle 350 ppm olarak belirlenmiştir. Scripps Okyanus Bilim Enstitüsü, California San Diego Üniversitesi'nin verilerine göre 2022 yılında karbondioksit seviyeleri milyon başına 417.14 parça (ppm) ile yeni bir rekor kırmıştır.

Sera etkisini azaltmak amacıyla karbondioksit seviyelerinin düşürülmesi büyük önem taşımaktadır. Fabrikalardan çıkan sera gazlarını kontrol etmek, önlemler almak, yenilenebilir enerji kaynaklarını artırmak ve yeşil alanları genişletmek bu konuda çözüm yolları sunabilir. Bu nedenle, Japonya'nın Kyoto kentinde Türkiye dahil 162 ülkenin imzaladığı Kyoto Protokolü, 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu protokolün amacı, sera gazı emisyonlarını en düşük düzeye çekmektir. Ancak birçok ülke, bu protokole gereken önemi göstermemiştir. Dünyada en fazla sera gazı emisyonuna neden olan ülke Amerika Birleşik Devletleri'dir ve kişi başına yılda ortalama beş ton sera gazı salınmaktadır. 2100 yılına kadar yüzey sıcaklığının 1.8 ila 5,8°C artması beklenmektedir. Bu sıcaklık artışları, soğuk hava koşullarında azalma, yoğun yağışlarda artış ve deniz seviyelerinin yükselmesi gibi birçok iklim değişikliği sonucunu doğuracaktır.

Hava ulaşımı sektörü, sera gazlarının oluşumunda önemli bir kaynak hem yerel hem de küresel düzeyde etkilere yol açmaktadır. Yerel düzeyde, atmosfer koşulları, yaşam standartları ve sağlık

üzerinde olumsuz etkiler oluşturarak çevrede yaşayan insanların yaşam kalitesini düşürebilmektedir. Küresel düzeyde ise, iklim değişikliklerine neden olan faktörler arasında havacılık emisyonları bulunmaktadır.

Havaalanlarından kaynaklanan emisyonları incelediğinde, uçakların iniş ve kalkış süreçleri, yer hizmet araçları, güç üniteleri ve harici elektrik kaynakları önemli etkiler meydana getirmektedir. Hava kalitesinin azalması, nefes darlığı ve solunum yolu hastalıkları gibi olumsuz etkilere yol açarak insanların yaşam standartlarını düşürmektedir. Dolayısıyla uçak işletmeleri sonucunda meydana gelen zararlı bileşikler, insanların yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Yüksek sıcaklıkta çalışan jet motorları, yüksek miktarda Nox emisyonu yaymaktadır ve kalkış aşamalarında bu emisyon miktarı artar. Uçaklardan kaynaklanan partiküller iki şekilde ortaya çıkar: Birincisi, jet motorlu yakıtların yanması; ikincisi ise uçağın frenlemesi sırasında balatalarda meydana gelen aşınmalardır.

Havacılık kaynaklı emisyonlar, iklim değişikliğinin etkilerini farklı şekillerde ortaya çıkarabilmektedir. Yüksek irtifalarda uçan uçakların etkileri, yeryüzünde uçanlara göre daha belirgindir. Yüksek irtifalarda salınan kirletici gazlar, kimyasal ve fiziksel süreçleri hızlandırarak iklim değişikliklerine neden olmaktadır. İklim değişikliğinin en önemli sebeplerinden biri olan karbondioksit (CO₂) gazları uzun süre atmosferde kalabilmekte ve yüksek atmosfer seviyelerinde NOx, ozon ve su buharına dönüşerek yoğunlaşma izleri oluşturmaktadır. Uçakların egzozundan çıkan bu izler, güneş ışınlarının etkisiyle atmosferin soğumasına neden olurken, atmosferin ısınmasını sağlayarak sera etkisini artırmaktadır. Uçaklar, sürüklenmeyi azaltmak ve yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla yüksek irtifalarda uçmaktadır. Bu yakıt tasarrufu, çevresel sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olurken A yoğunlaşma izleri, atmosferin ısınmasına yol açarak küresel ısınmayı tetikleyebilmektedir.

Havacılık sektörü, sera gazlarının oluşumunda önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Bu sektör hem yerel hem de küresel ölçekte etkiler oluşturmaktadır. Yerel düzeyde, atmosfer koşulları, yaşam kalitesi ve sağlık üzerinde olumsuz sonuçlar doğurarak çevrede yaşayan bireylerin yaşam standartlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Küresel düzeyde ise, iklim değişikliğine neden olan etmenler arasında havacılık kaynaklı emisyonlar yer almaktadır.

Havaalanlarının yarattığı emisyonları incelediğimizde, uçakların iniş ve kalkış işlemleri, yer hizmet araçları, güç üniteleri ve harici elektrik kaynakları gibi faktörlerin önemli etkileri olduğu görülmektedir. Hava kalitesindeki düşüş, nefes darlığı ve solunum yolu hastalıkları gibi olumsuz etkileri beraberinde getirerek insanların yaşam standartlarını azaltmaktadır. Uçak

işletmelerinden kaynaklanan zararlı bileşikler, insanların yaşam kalitesini olumsuz etkileyen unsurlardır. Yüksek sıcaklıkta çalışan jet motorları, büyük miktarlarda Nox emisyonu salmaktadır; bu emisyonlar kalkış sırasında daha da artış gösterir. Uçaklardan yayılan partiküller, iki ana kaynaktan oluşmaktadır: Birincisi, jet motorlu yakıtların yanması; ikincisi ise frenleme sırasında balatalarda meydana gelen aşınmalardır.

Havacılık kaynaklı emisyonlar, iklim değişikliğinin etkilerini çeşitli şekillerde ortaya çıkarır. Yüksek irtifalarda uçan uçakların etkileri, yeryüzünde uçan uçaklara göre daha belirgin hale gelir. Yüksek irtifalarda salınan kirletici gazlar, kimyasal ve fiziksel süreçleri hızlandırarak iklim değişikliklerine neden olur. Karbondioksit (CO₂) gazları, iklim değişikliğinin önemli sebeplerinden biri olarak atmosferde uzun süre kalabilir. Yüksek atmosfer seviyelerinde NO_x, ozon ve su buharına dönüşerek yoğunlaşma izleri oluşturur. Uçakların egzozundan çıkan bu izler, güneş ışınlarının etkisiyle atmosferin soğumasına yol açarken, aynı zamanda atmosferin ısınmasını sağlayarak sera etkisini artırır. Uçaklar, sürüklenmeyi azaltmak ve yakıt tasarrufu sağlamak için yüksek irtifalarda uçar. Bu yakıt tasarrufu, çevresel sera gazı emisyonlarını azaltırken, yoğunlaşma izleri atmosferin ısınmasına katkıda bulunur.

3.3 Havalimanları

Havaalanları olarak da isimlendirilen havalimanları, hızlı ve konforlu bir ulaşım yolcu seyahatlerinin başladığı ve sona erdiği yerlerdir. Hava yolu ulaşımı ile insan ve kargo taşımacılığının hızla arttığı günümüzde, hava ulaşımı araçları ve havaalanları, günlük yaşamımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu tesislerin ve terminallerin sahip olduğu teknik ve teknolojik karmaşıklıklar, mühendislik açısından oldukça modern ve ilginç bir boyut kazanmıştır. 21. yüzyıla adım atılan bu dönemde, geçmiş yüzyılın havaalanı terminalleri ve uygulamaları üzerinde büyük bir etki bıraktığı aşıkardır.

Avrupa’da, havaalanı tesislerinin sayısı 20. yüzyılın ortalarında artmaya başlamış, çoğunlukla 1970’ler ve 1980’lerde tasarlanıp inşa edilerek yaygınlaşmıştır. Ancak, bu özel tasarımlara sahip binaların altyapı inşaatı ve şehir planlaması ile entegrasyonu, daha yakın dönemlerde yoğun deneysel çalışmalar ve yeniliklerle desteklenerek gerçekleştirilmiştir. Paris Orly, Roissy Charles de Gaulle, Londra Heathrow ve Frankfurt havalimanları gibi tesisler, ilk kuruluş şekillerinden sürekli genişletme ve geliştirme pratikleriyle bu dönemin canlı örneklerini sunmaktadır.

3.3.1 Havalimanlarının sınıflandırılması

Havaalanları, kullanım amacı, sahiplik yapıları, yapısal büyüklük, fiziksel özellikler ve hizmet hacmi gibi kriterlere bağlı olarak farklı yöntemlerle sınıflandırılabilirler. Dünya genelinde işletilen havaalanlarına bakıldığında, çeşitli uygulamaların olduğunu görmek mümkündür. Genel olarak, havaalanlarını kullanım amacına göre askeri ve sivil havacılık havaalanları olmak üzere iki kategoriye ayırabiliriz.

3.3.1.1 Askeri havaalanları

Altyapı tesisleri ve destek hizmetleri açısından, tamamen askeri uçaklar ve uçuş operasyonlarına odaklanarak tasarlanmış havaalanları, askeri birimler tarafından işletilmekte ve çeşitli alt ve üst yapı hizmetleri sunmaktadır. Bu tesisler, farklı uçak tiplerine hizmet verecek şekilde inşa edilmiştir. Dünya genelindeki birçok sivil havaalanının aslında başlangıçta askeri amaçlarla yapıldığını ancak özellikle Birinci ve İkinci Dünya Savaşları'nın ardından pek çok askeri havaalanı, sivil havacılık faaliyetlerine hizmet etmiştir. Sovyetler Birliği'nin çöküşü ve Varşova Paktı'nın sona ermesi gibi nedenlerle, askeri havaalanlarının sivil havaalanlarına dönüşümü hız kazanmıştır. Askeri havaalanlarının esas amacı, askeri uçuş faaliyetlerini desteklemek olmasına rağmen, Türkiye gibi bazı ülkelerde ortak kullanım anlaşmalarıyla sivil havacılık faaliyetlerine de açılabilirler.

3.3.1.2 Sivil havaalanları

Sivil havaalanları, askeri amaçlarla kullanılan havaalanlarının dışında kalan tüm havaalanlarını kapsamakta olup bu havaalanları, kullanım amacı, sahiplik yapıları, yapısal özellikleri, fiziksel büyüklükleri ve hizmet kapasiteleri gibi kriterlere göre farklı sınıflandırmalara tabi tutulabilmektedir. Havaalanları, Amerika Birleşik Devletleri Sivil Havacılık İdaresi FAA (Federal Aviation Administration) ve Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü ICAO (International Civil Aviation Organization) tarafından ayrı ayrı kodlanarak sınıflandırılabilirler.

3.3.2 Havalimanları ve çevresel etkileri

Havayolu taşımacılığı, sağladığı konfor, hız ve kolaylık sayesinde hızla gelişmektedir. Havalimanları, uçak pistleri, bakım ve ikmal hizmetleri ile yol ağları gibi bileşenleri içeren geniş alanlardır. Bu büyüme çevresel sorunlara yol açmaktadır. Çevresel etkilerle ilgili araştırmalar ve yasal düzenlemeler için, ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı), IATA (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği), ACI (Uluslararası Havalimanları Konseyi),

EUROCONTROL (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı) ve ACRP (Havaalanı Araştırma İş birliği Programı) gibi uluslararası kuruluşlar mevcuttur. Ancak, farklı ülkeler arasındaki yasal düzenlemelerin uygulanmasında zorluklar yaşanmaktadır. Bu nedenle, uluslararası düzeyde tek bir otoritenin bulunması kritik bir öneme sahiptir; bu bağlamda ICAO bu alanda yetkilidir.

Ülkemizde, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, “Yeşil Havalimanı Projesi” ve “Engelsiz Havalimanı Projesi” gibi sürdürülebilirlik odaklı projeler yürütmektedir. Bunun yanı sıra, TS EN 9001 Kalite Yönetim Sistemi, TS EN 14001 Çevre Yönetim Sistemi, TS 19001 İş Sağlığı ve Güvenliği Standardı ve TS Müşteri Memnuniyeti Standartları da uygulanmaktadır [56].

Havalimanları, teknolojik gelişmelerle daha verimli hale getirilmeye çalışılsa da çevresel etkilerin önemi devam etmektedir. Havayolu taşımacılığı, zaman içinde %75 daha sessiz ve %70 daha yakıt tasarruflu hale gelmiştir (Havaalanları Daire Başkanlığı, 2010). Ancak, sivil havacılığın küresel yakıt tüketiminin %5-6’sını oluşturduğu ve çevresel etkilere yol açtığı unutulmamalıdır. Bu etkiler arasında küresel iklim değişikliği, hava kirliliği, emisyonlar, ekosistem ve doğal yaşam alanları üzerindeki olumsuz etkiler, gürültü, arazi kullanımı, enerji ve su tüketimi, su kirliliği ve atıklar bulunmaktadır. Bu nedenle, alternatif yakıt kullanımı CO₂ emisyonlarını azaltmada olumlu bir etki yaratabilir [56].

Havacılık faaliyetleri ayrıca gürültü kirliliğine neden olmaktadır, bu da insanlarda ve hayvanlarda olumsuz sağlık sorunlarına yol açabilir. İşitme kaybı, yüksek tansiyon, bağışıklık sistemi sorunları ve astım gibi hastalıklara neden olabilmektedir.



Şekil 3.4: Havalimanlarının çevreye etkileri [57].

Küresel ölçekte, CO₂ emisyonlarının %2'si havacılık faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Uzun mesafe uçuşları bu emisyonların önemli bir kısmını oluştururken, bu emisyonların atmosferdeki karbondioksit miktarını artırmadığını belirtmek önemlidir. CO₂ emisyonlarının yanı sıra, NO_x yani azot oksitleri, iklim üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta, asit yağmurlarına neden olmakta ve insan sağlığına ciddi sorunlar getirebilmektedir.

Havayolu taşımacılığının çevresel etkilerini değerlendirirken, gürültü kirliliğinin, toprak kirliliğinin ve emisyonların azaltılması üzerine çözümler geliştirmek önemlidir. Havaalanlarının çevresel etkilerini en aza indirerek hem bölgesel hem de küresel düzeyde yaşam kalitesini artıracak çevre yönetim tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu hedef doğrultusunda sağlık, güvenlik, enerji, hava ve su kalitesi, atık yönetimi, gürültü kontrolü ve kaynak kullanımı gibi farklı uzmanlık alanlarını kapsayan bir çevre departmanı kurulmalıdır.

Küresel ölçekte, CO₂ emisyonlarının %2'si havacılık faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Uzun mesafe uçuşları bu emisyonların önemli bir kısmını oluştururken, bu emisyonların atmosferdeki karbondioksit miktarını artırmadığını belirtmek önemlidir. CO₂ emisyonlarının yanı sıra, NO_x yani azot oksitleri, iklim üzerinde olumsuz etkiler getirerek asit yağmurlarına neden olmakta ve insan sağlığına ciddi sorunlar getirebilmektedir.

Havayolu taşımacılığının çevresel etkilerini değerlendirirken, gürültü kirliliğinin, toprak kirliliğinin ve emisyonların azaltılması üzerine çözümler geliştirmek önemlidir. Havaalanlarının çevresel etkilerini en aza indirerek hem bölgesel hem de küresel düzeyde yaşam kalitesini artıracak çevre yönetim tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu hedef doğrultusunda sağlık, güvenlik, enerji, hava ve su kalitesi, atık yönetimi, gürültü kontrolü ve kaynak kullanımı gibi farklı uzmanlık alanlarını kapsayan bir çevre departmanı kurulmalıdır.

3.3.2.1 Hava kirliliği etkisi

Havaalanlarında hava kirliliğinin başlıca kaynakları, uçakların iniş ve kalkışları ile pist üzerinde hareketleri sırasında motorlarda yakılan yakıt nedeniyle ortaya çıkan egzoz gazı emisyonlarıdır. Havaalanları için hazırlanan çevre, sağlık ve güvenlik kılavuzlarında, özellikle uçaklar ve yer hizmeti araçlarından kaynaklanan olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik olarak yer hizmetleri altyapısının iyileştirilmesi, yer hizmeti araçlarının modernizasyonu ve jet yakıtı ile diğer yakıtların depolama ve ikmal süreçlerinden kaynaklanan sızıntıların azaltılmasına dair çeşitli önlemler önerilmektedir [57].

3.3.2.2 Gürültü kirliliği etkisi

Havaalanlarında gürültü kirliliği hem çevresel hem de insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu sorunun azaltılmasına yönelik olarak çeşitli çalışmalar ve stratejiler geliştirilmiştir.

Gürültü kaynaklarını azaltmak için yapılan çalışmalar, kara kullanım planlaması ve yönetim faaliyetleri, gürültüyü önleme operasyonları ve uçuş işletmelerine uygulanan kısıtlamalar gibi çeşitli unsurlardan oluşmaktadır. Bu kapsamda, havalimanlarında gürültü kirliliğini en aza indirmek için bir dizi strateji geliştirilmekte; örneğin, uçakların daha sessiz motorlarla donatılması, iniş-kalkış prosedürlerinin optimize edilmesi ve havaalanı çevresinde ses yalıtımı yapılmış binaların inşası önerilmektedir [57].

Bu bütüncül yaklaşım, havalimanlarındaki gürültü kirliliğinin etkilerini azaltmaya yönelik önemli adımlar atılmasını sağlamaktadır. Havaalanlarının çevresel etkilerini azaltmak için yapılan bu çabalar hem insan sağlığını koruma hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlama açısından büyük bir öneme sahiptir.

3.3.2.3 Su kirliliği etkisi

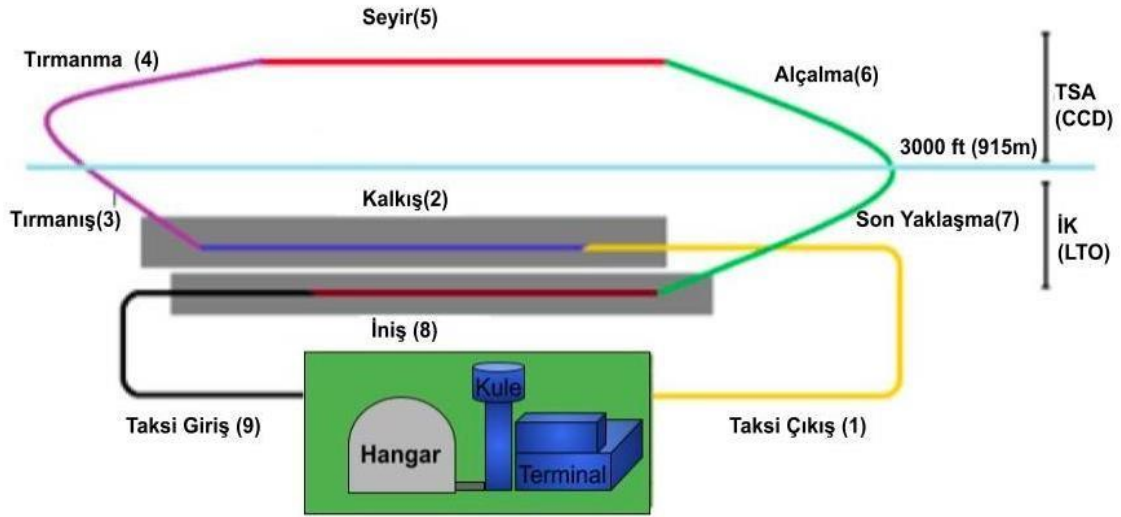
Su kirliliği düzeylerini takip etmek amacıyla ikmal ve bakım alanlarında su ve toprak analizi yapılması önerilmektedir. Uçakların, su kirliliği riskini azaltmak için özel olarak tasarlanmış kapalı alanlarda yıkanması ve buzdan arındırılması gerekmektedir. Ayrıca, su kirliliğini kontrol altına almak için izleme ve yönetim programları oluşturulması ile personelin bu konuda bilinçlendirilmesi önemlidir. Su akışını otomatik olarak izlemek, daha az zararlı kimyasallar kullanmak, kirlетici unsurlar için cezai yaptırımlar uygulamak ve zararlı maddeler ile atıklar için drenaj sistemleri ve toplama havuzları inşa etmek gibi tedbirler, su kaynaklarına ulaşmadan önce arıtma sürecinden geçirilerek su kirliliği sorununa çözüm sağlayabilir [57].

4 IPCC METODOLOJİSİ VE EMİSYON HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

4.1 Uçuş Profili ve Aşamaları

Havalimanlarında uçak kalkışlarının yapıldığı alanlarda, uçakların park etmesi, motorların çalıştırılması ve iniş sırasında motorların kapatılması gibi işlemlerin düzenlenmesi, ihtiyaçların belirlenmesi ve planlanması amacıyla kullanılan uçuş yörüngesinin dikey düzlemde tasarlanması süreci olarak adlandırılır.

Şekil 4.1’de görüleceği gibi bir uçağın görev süresince gerçekleştirdiği eylemler, kalkış ve iniş süreçleri arasındaki havalimanı mesafesindeki planlı uçuş ile ilişkilidir.



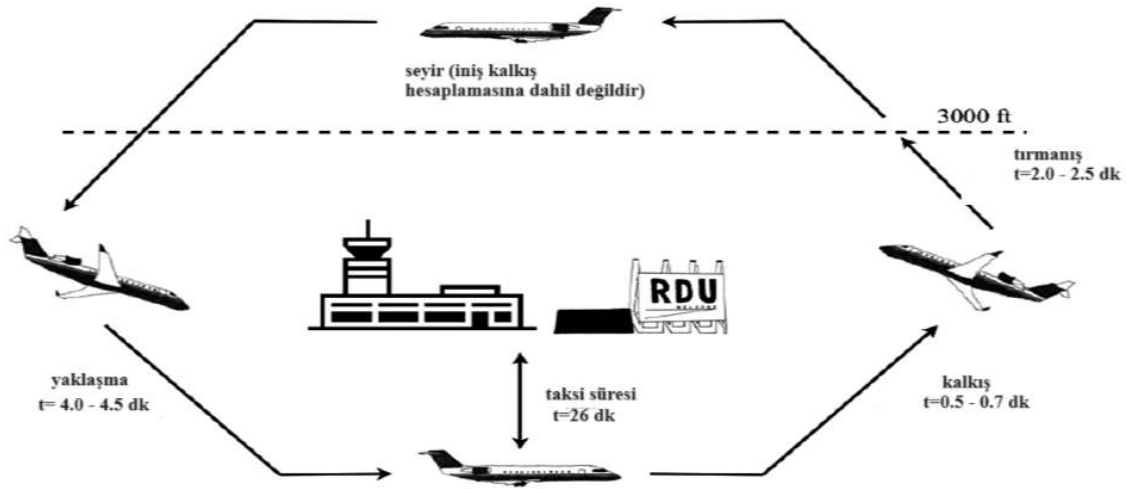
Şekil 4.1: Uçuş profili aşamaları [59].

Bir uçuşun başlangıcından sonuna kadar gerçekleşen kalkış taksisi, kalkış, tırmanma, seyir, alçalma, yaklaşma ve iniş taksisi gibi tüm hareketler görev profili aşamaları olarak isimlendirilmektedir. Uçak motorlarının çalıştırılması ve park halindeki uçağın havalanma pistine ilerlemesi gibi aktiviteler, havaalanındaki uçuş hazırlık sürecini oluşturmakta ve uçak, istenilen hıza ulaştığında ve yere yapışmayı bırakarak havalanmaya başlaması ile kalkış işlemi tamamlanır. Alçalma aşaması, uçağın hızını ve yüksekliğini koruduğu anlardan başlayarak, seyir hareketini sona erdirip sabit hızda ve yükseklikte ilerlediği dönemi kapsar. Uçağın hızını ayarlayarak tekerleklerini pist yüzeyine indirdiği andan itibaren pistin sonuna kadar geçen süreç bu aşamayı ifade eder. Uçak, pistten ayrılıp park alanına doğru hareket ederken iniş taksi aşamasını gerçekleştirir. Uçağın bekleme işlemleri, uçak koordinatörleri tarafından yönetilmekte ve düzenli bir döngü içinde gerçekleşmektedir. Acil durumlar veya hava koşulları

nedeniyle uçak farklı bir havalimanına yönlendirilmek zorunda kalabilir; bu gibi durumlar için önceden belirlenmiş yedek havalimanları bulunmaktadır.

4.2 LTO (Landing and Take Off) Döngüsü

Uçakların emisyonlarının hesaplanmasında gereken veriler, LTO (İniş ve Kalkış) sayısı olarak ifade edilir. Uçuş emisyonlarını değerlendirirken, uçakların 3000 feet yükseklikte gerçekleştirdiği iniş ve kalkışlar, havacılık operasyonları sonucu oluşan emisyonları temsil eden “LTO (Landing and Take-Off)” döngüsü olarak adlandırılır. Bu konu Şekil 4.2’de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir [65].



Şekil 4.2: LTO (Landing and take-off) döngüsü [66].

Kalkış taksisi (taksi-out), kalkış (take-off), tırmanma (climb), yaklaşma (approach) ve iniş taksisi (taksi-in) adımlarının içerdiği döngü, LTO döngüsü olarak ifade edilir. Uçağın park pozisyonundan çıkıp uçuş pistine geçişini içeren aşamalar, kalkış taksisi olarak adlandırılır. Uçağın pistten havalanıp tekeri kesene kadar olan süre kalkış aşamasını kapsamaktadır. Kalkış sonrası 3000 feet (1000 metre) irtifaya kadar geçen süre ise tırmanma aşaması olarak adlandırılır. Pist üzerine iniş yaparak pistin sonuna kadar olan süre yaklaşma aşamasını temsil eder. Pist sonundan park alanına kadar geçen süre ise iniş taksisi aşaması olarak tanımlanır. LTO döngüsü, iki farklı itki durumunda gerçekleştirilir. LTO döngüsü, Çizelge 4.1’de belirtildiği gibi iki farklı itki durumunda gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 4.1: Referans alınacak LTO döngüsü [65].

LTO Aşaması	Zaman (dk.)	İtke Gücü (%)
Çıkış Taksisi (Taksi -out)	19	7
Kalkış (Take -off)	0,7	100
Tırmanma (Climb)	2,2	85
Yaklaşma (Approach)	4	30
İniş Taksisi (Taksi -in)	7	7

ICAO'nun önerdiği emisyon verilerine uygun olarak uçakların havaalanlarına ve çevre yaşam alanlarına yayılan kirletici gazların hesaplamalarını içeren LTO döngüsü, uçuş aşamaları, harcanan yakıt miktarı ve egzoz emisyonlarına dayalı veri analizleriyle ilgili olup uçuş süreleri ve itke kuvvetinin emisyonlar üzerindeki etkisi de LTO döngüsünün veri analizi sürecinde değerlendirilir [58].

4.3 IPCC Metodolojisi

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli IPCC'nin amacı, iklim değişikliği ile ilgili bilimsel sonuçları raporlamaktır. Bu raporlar aracılığıyla iklim değişikliği sorununun uluslararası düzeyde ele alınabileceği bir platform oluşturulması amacıyla 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi (UNFCCC), 154 ülkenin katılımıyla imzalanmış ve insanların çevreye en büyük zararı verdiği ispatlanmış ve 21 Mart 1994 tarihinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi, ülkemizin de dahil olduğu 196 ülkenin katılımıyla yürürlüğe girmiştir. Ayrıca, Avrupa Birliği de bu sözleşmeye taraf olmuştur [61].

Üç bölümden oluşan Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Kılavuzu, üç bölümden oluşur ve ilk defa 1996 yılında yayınlanmıştır. İlk bölümde, fikirleri ve olasılıkları değerlendirmek için yapılan yöntemler dışındaki verileri derlemek, belgelemek ve iletmek amacını taşır. İkinci bölüm, mevcut envanterin eksikliği veya olmaması durumundaki eksikliklerin giderilmesi ve nasıl hareket edilmesi gerektiği konusunda bilgilendirme sağlamaktadır. Üçüncü bölüm ise, daha geniş bir çalışma alanına odaklanarak sera gazı emisyon değerlerini, olasılık yöntemlerini ve kaynak çeşitliliğini özetlemektedir [62].

1996 yılında ilk kez yayınlanan daha sonra 2006 ve 2020 yıllarında güncellenen beş ciltlik Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Kılavuzunun birinci cildi raporlama, ikinci cildi enerji,

üçüncü cildi endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı, dördüncü cildi tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı, beşinci cildi ise atık konularını ele almaktadır [62].

4.4 IPCC Emisyon Hesaplama Yöntemleri

Uçakların egzoz emisyonları, temel, gelişmiş ve ayrıntılı olmak üzere üç farklı kritere dayanarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, IPCC tarafından sunulan ve Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 olarak adlandırılan üç ayrı seviyeden oluşan “Tier Yaklaşımları” ile yapılmaktadır.

4.4.1 Tier 1 metodu

Tier 1, uçak motorlarının uçuş periyodu boyunca çalışması sonucu tüketilen yakıtın yanmasıyla oluşan emisyonları hesaplamayı içeren bir yöntem olup bu yöntemde, yakıt miktarı doğrudan gözlemlenebilmektedir. Hesaplama süreci ise iç ve dış hatlarda tüketilen toplam yakıt miktarı ile LTO (iniş-kalkış) sayısı arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Aşağıda belirtildiği gibi Tier 1 yaklaşımında, LTO döngüsü ve uçuş sırasındaki yakıt tüketimi emisyon faktörü ile çarpılarak emisyon miktarı hesaplanmaktadır [65].

$$\text{Emisyon Miktarı } \epsilon = \text{Kullanılan Yakıt Miktarı (F)} * \text{Emisyon Faktörü (EF)}$$

4.4.2 Tier 2 yöntemi

Tier 2 yöntemi ise farklı uçuş şartlarındaki LTO döngüsü ile uçak emisyonlarını hesaplama amacına yöneliktir. Bu yöntemde, Uçuş sırasında 3000 feet yükseklikteki seyir faaliyetleri dikkate alınmayıp, iniş ve kalkış sayısı ile farklı uçak motorları dikkate alınmaktadır. Tier 2 metodu ile ilgili bağıntı aşağıda verilmiştir [65].

$$\text{Emisyon Miktarı } \epsilon = \text{İniş ve Kalkış Sayısı (LTO)} * \text{Emisyon Faktörü (EF)}$$

4.4.3 Tier 3 yöntemi

Tier 3 yöntemi, diğer yöntemlere kıyasla daha ayrıntılı hesaplamalarla yaklaşır ve daha detaylı sonuçlar sunduğundan dolayı daha geniş verilere dayanmaktadır. Uçuşun gerçekleşeceği havalimanlarının özellikleri, kullanılacak motor tipi ve uçuş mesafesine ihtiyaç duyulan bu yöntemde uçuşun özellikleri, havalimanı bilgileri ve uçakta kullanılan motor tipi ile ilişkilendirilerek emisyon faktörleri bu nedenle uçuş şartlarındaki değişiklikler, emisyon miktarında çeşitliliğe yol açmaktadır. [65].

5 KÜTAHYA VE UŞAK HAVALİMANLARININ UÇAK EMİSYONLARI

5.1 Kütahya İli ve Havalimanına Ait Bilgiler

Kütahya, Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Bölümü'nde konumlanmış olup Türkiye'nin 81 ilinden biridir. Tarihi MÖ 3000 yıllarına kadar uzandığı düşünülmektedir. Eski kaynaklara göre, antik dönemde isimleri sırasıyla Kotiaeon, Cotiaeum ve Koti olarak geçmektedir. İl sınırlarında ilk yerleşen halk Frigler olup, Hitit İmparatorluğu himayesinde büyüyen bir devlet haline gelmiştir. Kütahya ve çevresi, 1402 yılında Ankara Savaşı'nda Timur İmparatorluğu ve Osmanlı İmparatorluğu arasında çekişmeye sahne olmuş, Osmanlı İmparatorluğu mağlup olmuştur. Ancak daha sonradan tekrar Osmanlı topraklarına katılmıştır. Millî Mücadele döneminde, Kütahya Yunan işgalinden 30 Ağustos 1922 tarihinde Türk ordusu tarafından kurtarılmıştır. Kütahya il statüsüne ise 8 Ekim 1923'te kavuşmuştur.

Kütahya'nın ekonomisi tarım ve sanayi alanlarında belirgin etkilere sahiptir. Tarım, hayvancılık, avcılık ve balıkçılık ekonomiyi destekleyen önemli sektörler arasında yer almıştır. Ayrıca sanayi, madencilik, enerji üretimi ve imalat sektörlerinde dikkate değer gelişmeler yaşanmıştır [67]. Şekil 5.1'de Kütahya ilinin Türkiye haritasındaki konumu görülmektedir.



Şekil 5.1: Türkiye haritasında Kütahya ilinin konumu [68].

Zafer Havalimanı olarak da bilinen Kütahya Havalimanı, 25 Kasım 2012 tarihinde faaliyete başlamış olup Kütahya'nın Altıntaş ilçesinde yer almaktadır. Şekil 5.2 ve 5.3'te bazı özellikleri verilen Zafer Havalimanının pist uzunluğu 3.000 m (9.800 ft) ve genişliği 45 m (148 ft) boyutunda olup Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) derecelendirmesine göre, havalimanı CAT II seviyesine sahiptir.



Şekil 5.2: Kütahya Zafer havalimanına ait resimler [70].



Şekil 5.3: Kütahya Zafer havalimanının uydu görüntüsü [71].

5.2 Uşak İli ve Havalimanına Ait Bilgiler

Ege bölgesinin Batı ve Orta Anadolu arasında konumlanmış olan Uşak ilinin 6 ilçesi ve 11 belediyesi bulunmaktadır. Gördes-Uşak Platosu'nda yer alan bölge, tarihi Temenothytia olarak bilinen en eski yerleşim yerine ev sahipliği yapmaktadır. Şekil 5.4'te il haritası verilen Uşak ili havalimanı şehir merkezine 4 kilometre mesafede olup 1998 yılında uçuş trafiğine açılmıştır.

Hem sivil hem de askeri amaçlarla kullanılan bu havalimanı, 1460 metrekarelik bir alanı kaplamaktadır.



Şekil 5.4: Türkiye haritasında Uşak ilinin konumu [69].



Şekil 5.5: Uşak havalimanına ait resimler [72].

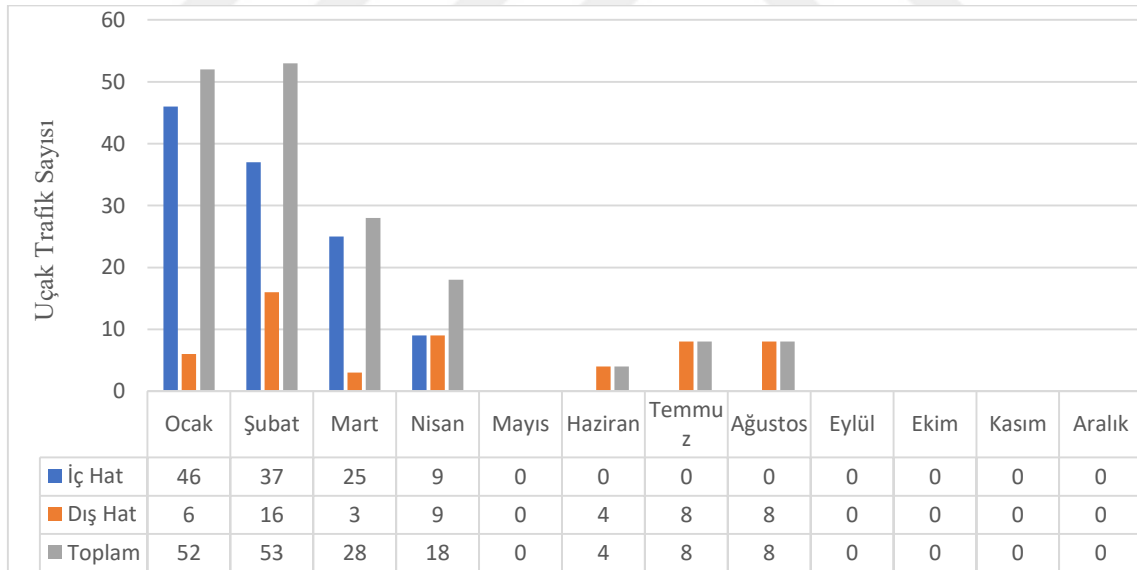


Şekil 5.6: Uşak havalimanının uydu görüntüsü [73].

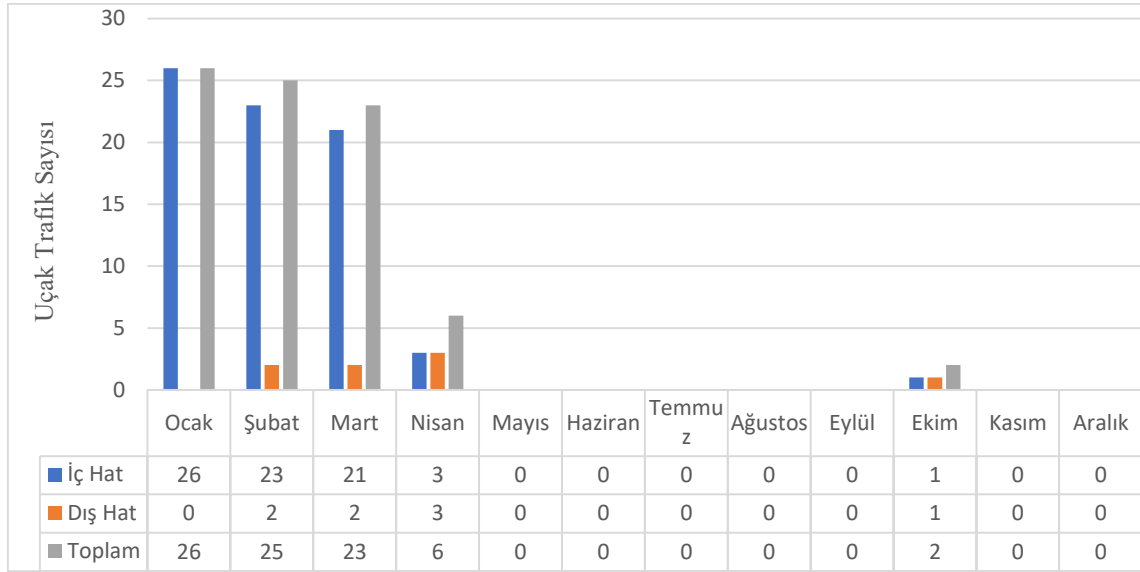
Aşağıda şekil 5.5’ ve 5.6’ da bazı özellikleri gösterilen havalimanında 2000 yılından itibaren hızlı bir gelişim göstermekle birlikte LTO (Kalkış ve İniş) sayılarındaki artış, yakıt tüketiminde ve dolayısıyla atmosfere salınan uçak emisyonlarda da artış meydana gelmiştir.

5.3 2020-2022 Yılları arası Kütahya ve Uşak Havalimanlarındaki Uçak Emisyonları

Bu bölümde, ICAO’nun verileri baz alınarak, Kütahya ve Uşak Havalimanlarını kullanan farklı tip uçakların LTO (Kalkış ve İniş) süreçlerinde çevreye salınan emisyon miktarları detaylı bir şekilde incelenmektedir. Uçak kaynaklı Zafer ve Uşak Havalimanlarına ait emisyonların hesaplanmasında kullanılan veriler Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHİMİ)’den temin edilmiş ve hesaplamada IPCC metodolojisinin Tier 2 yöntemi kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda, 2020 yılının uçak trafiği ve taşınan yolcu sayısı baz alınarak Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların uçuş fazlarına göre HC, CO, CO₂ ve NO_x emisyon değerleri hesaplanmış olup ayrıca LTO değerlerine göre uçakların yakmış oldukları yakıt miktarları hesaplanarak elde edilen değerler grafiklere aktarılmıştır. Havalimanlarını kullanan ticari amaçlı A319, A320, A321, B734, B738 ve B739 olmak üzere 6 farklı uçak tipi için emisyon hesaplamaları yapılmıştır.

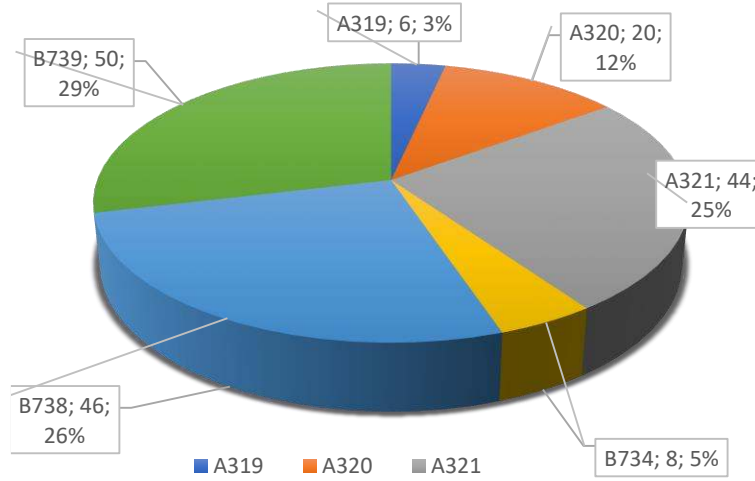


Şekil 5.7: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafik sayısı.

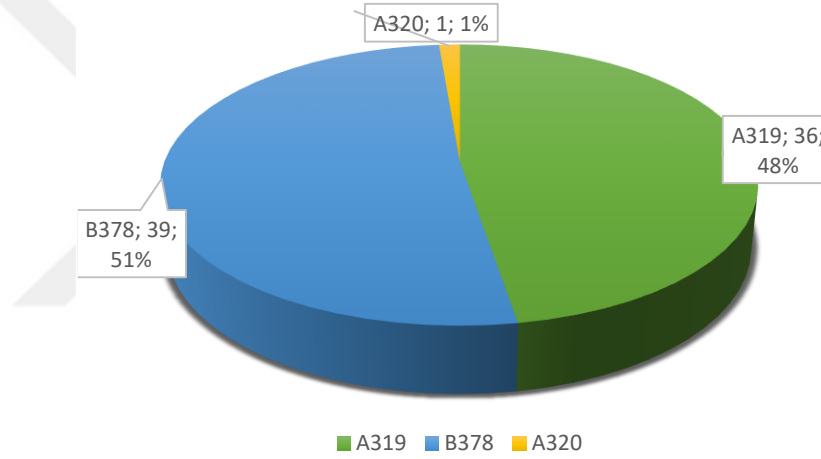


Şekil 5.8: 2020 yılı Uşak Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafik sayısı.

Şekil 5.7’ de 2020 yılına ait Zafer Havalimanı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği sayıları görülmektedir. Grafikte görüleceği gibi dünya genelindeki Covid-19 salgını etkisiyle Mayıs, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında havalimanını kullanan uçakların olmadığı ancak yaz aylarında sadece 20 uçuş gerçekleşmiştir. 2020 yılı Şubat ve Ocak ayı yaklaşık olarak aynı sayıda uçak trafiği gerçekleştirirken diğer aylarda ani düşüşler meydana gelmiş Covid-19 salgınının arttığı dönemlerde uçuşların durma aşamasına geldiği anlaşılmıştır. Bununla beraber havalimanında gerçekleşen iç hat sefer sayıları 117 adet, dış hat sefer sayıları 54 adet olmak üzere toplamda uçuş sayısı 171 adet olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5.8’ de 2020 yılına ait Uşak Havalimanını kullanan uçakların uçuş trafiği görülmektedir. Grafikte anlaşılabileceği gibi Uşak Havalimanının uçuş trafiği Kütahya havalimanı ile benzerlik göstermektedir. Uşak Havalimanında da yılın ilk dört ayında uçuşların meydana normal seyrinde gerçekleştiği ancak Covid-19 salgını sebebiyle yılın diğer aylarında neredeyse uçuşun meydana gelmediği ve uçak kaynaklı çevre kirliliğinin olmadığı söylenebilir. 2020 yılında Uşak Havalimanını kullanan toplam uçak sayısı 82 olarak gerçekleşmiştir.

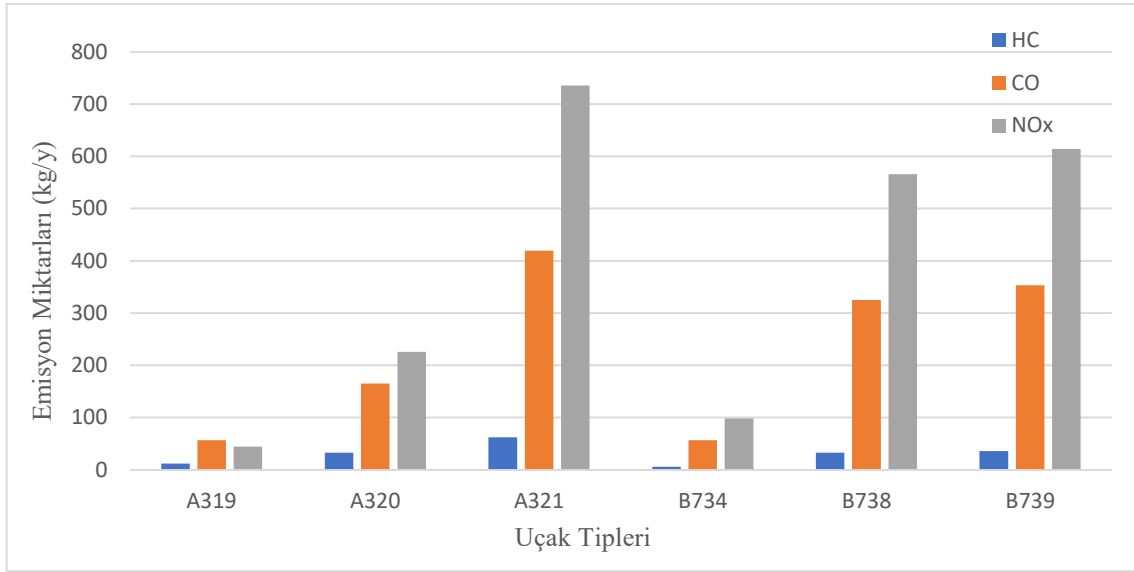


Şekil 5.9: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

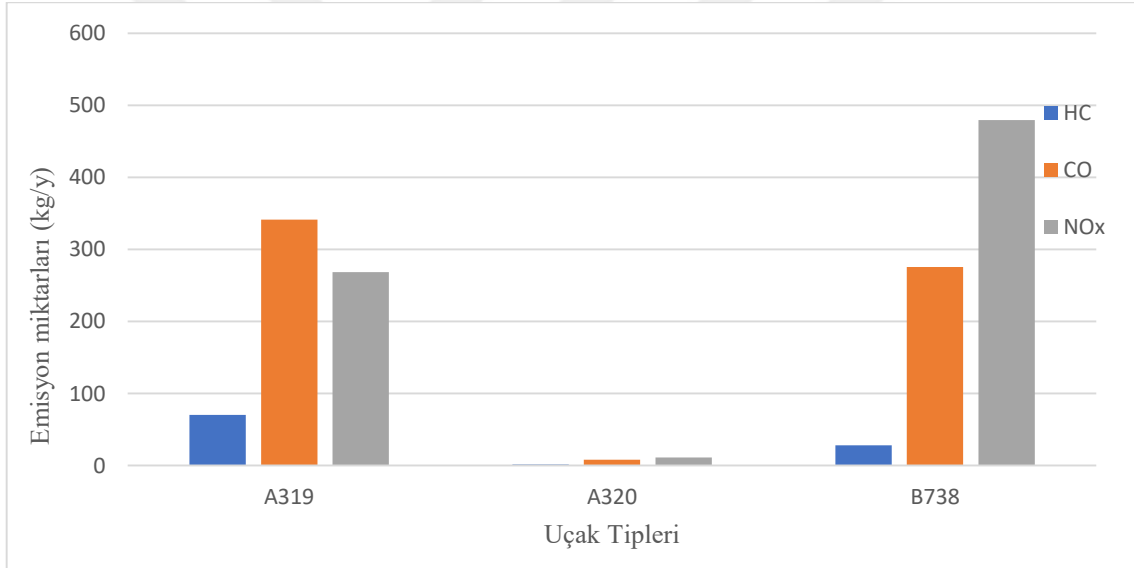


Şekil 5.10: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

Şekil 5.9 ve şekil 5.10'da 2020 yılındaki Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçak tiplerinin LTO sayıları görülmektedir. Şekiller incelendiğinde Zafer ve Uşak Havalimanlarına iniş/kalkış yapan uçakların LTO sayıları sırasıyla %29 ile B739 tipi uçağa ait iken ve %51 ile B738 tipi uçak oluşturmakta olup ikinci olarak %26 oranı ile B738 tipi uçak ve en az LTO sayısı olan uçak tipi ise A319 olmuştur. COVID-19 salgını, uçakların iniş-kalkış sayılarında ciddi bir düşüşe neden olduğundan dolayı 2020 yılında küresel havacılık sektöründe iniş-kalkış sayıları %50'den daha fazla azaldı. Seyahat kısıtlamaları, karantina önlemleri ve azalan talep, havayollarının operasyonlarını büyük ölçüde sınırladı. Meydana gelen azalma ile havacılık sektörünün karbon emisyonları ve hava kirliliği üzerindeki etkisi kısa vadede hafifledi. Ancak pandemi sonrası toparlanmayla birlikte LTO sayıları da yeniden artış meydana geldi ve bu durum, özellikle uluslararası uçuşlarda belirgin şekilde hissedildi.



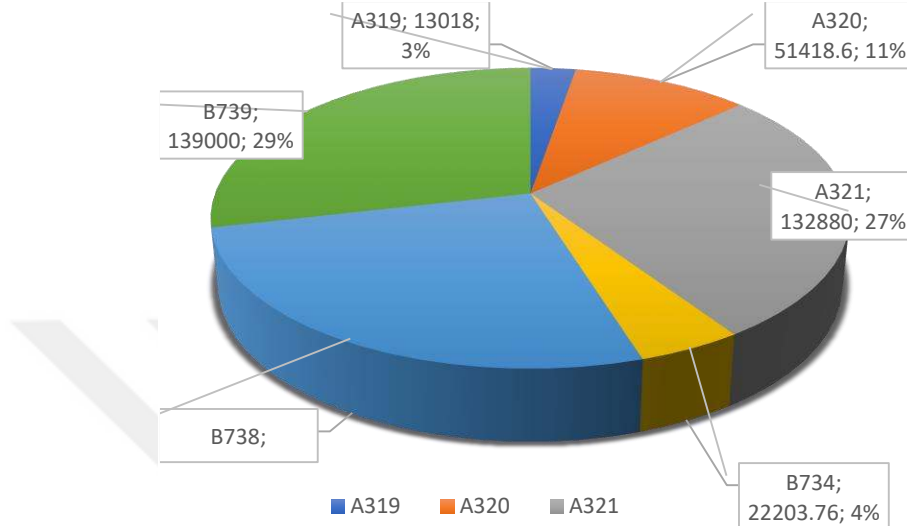
Şekil 5.11: 2020 yılı Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri(kg/y).



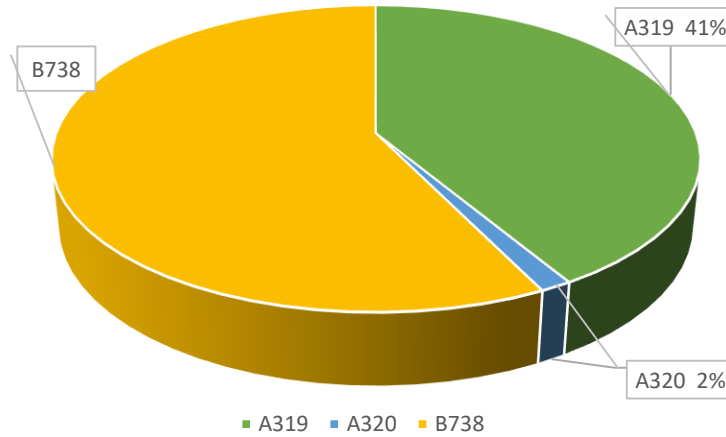
Şekil 5.12: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.11 ve 5.12’de 2020 yılına ait Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC, CO ve NOx emisyonları kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm bu emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Zafer Havalimanını kullanan uçak türleri içerisinde en yüksek LTO sayısına sahip olan B739 tip uçağa ait emisyon değerleri içindeki HC oranı %19, CO oranı %25 ve NOx oranı %26 olarak gerçekleşmiştir. Uşak Havalimanını kullanan uçaklardan B738 tipi uçak en yüksek LTO sayısına sahip olup sahip bu uçak türünün toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %28 CO oranı %44 ve NOx oranı %63 olarak bulunmuştur. 2020 yılında Zafer havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 181,92 kg/y, CO

emisyonu 1376,54 kg/y, NOx emisyonu ise 2284,94 kg/y olarak gerçekleşirken Uşak havalimanı kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonlar ise 100,3 kg/y, CO emisyonu 625,6 kg/y, NOx emisyonu ise 759,5 kg/y olduğu görülmüştür. 2020 yılında, özellikle ilk karantina dönemlerinde, uçak emisyonlarının %50'den daha fazla azalmasıyla kısa vadede hava kalitesi iyileşti ve sera gazı salınımında geçici olarak meydana geldi.



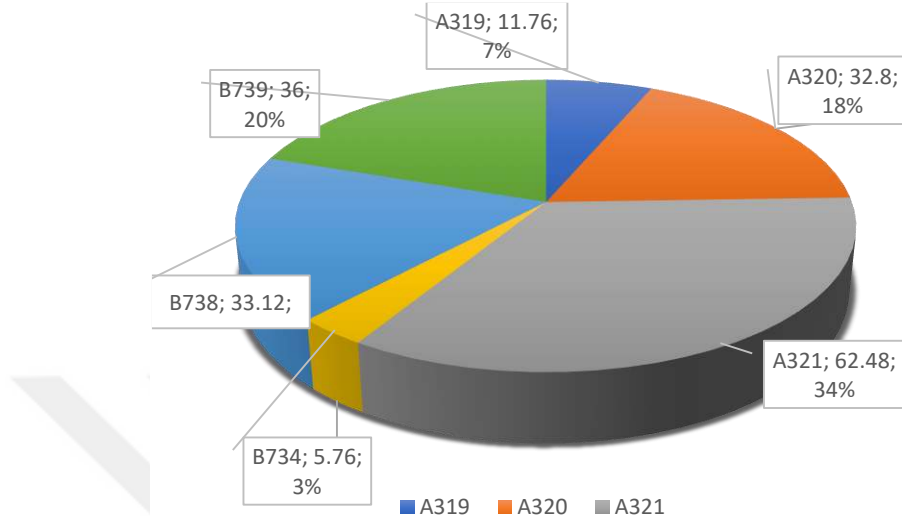
Şekil 5.13: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO₂ emisyon değerleri(kg/y).



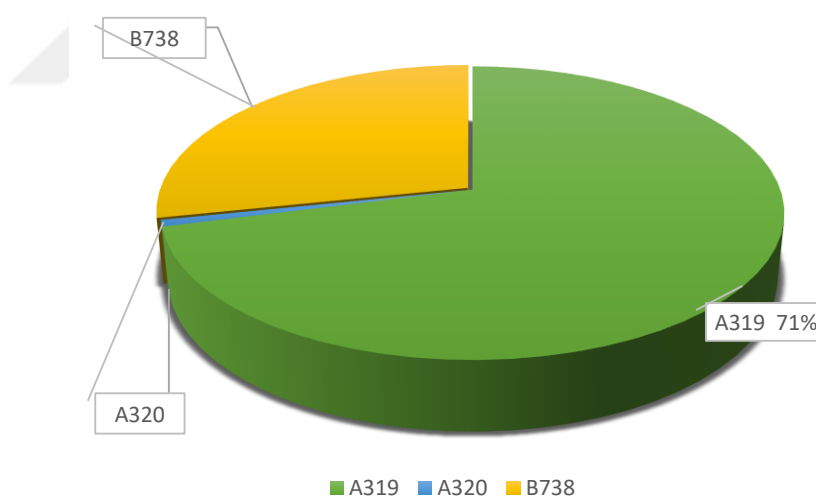
Şekil 5.14: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre CO₂ emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.13 ve 5.14'te 2020 yılına ait Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre CO₂ emisyonu değerleri kg/y olarak verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi tüm emisyon değerleri LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde artmıştır. Zafer Havalimanı kullanan B739 tip uçak türü en yüksek LTO sayısına sahip olup bu uçak türünün emisyon değerleri içindeki CO₂ emisyonu oranı %29 iken Uşak Havalimanı kullanan

B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değeri içindeki CO₂ emisyonu oranı %57'dir. 2020 yılında Zafer havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO₂ emisyonu 486191,98 kg/y olarak hesaplanırken, Uşak havalimanı kullanan uçaklar için bu değer 188925,62 kg/y olarak gerçekleşmiştir.



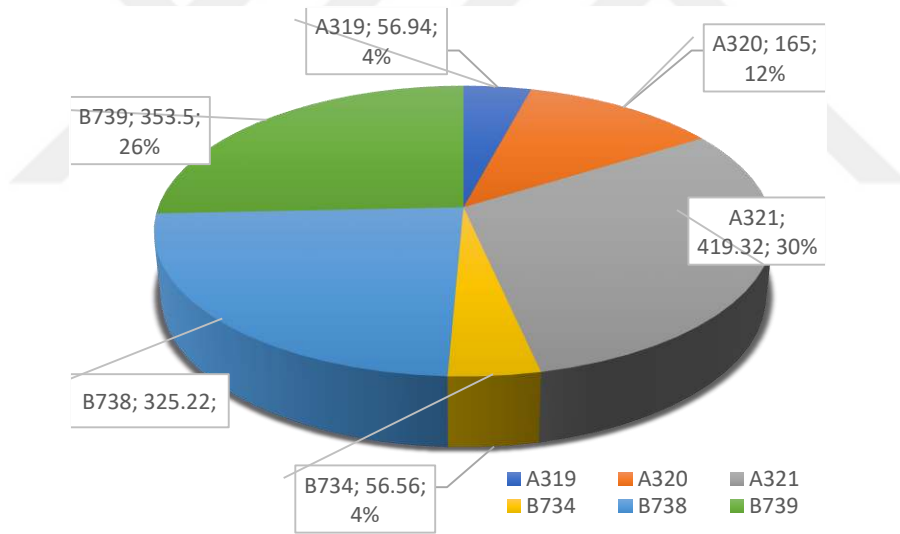
Şekil 5.15: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).



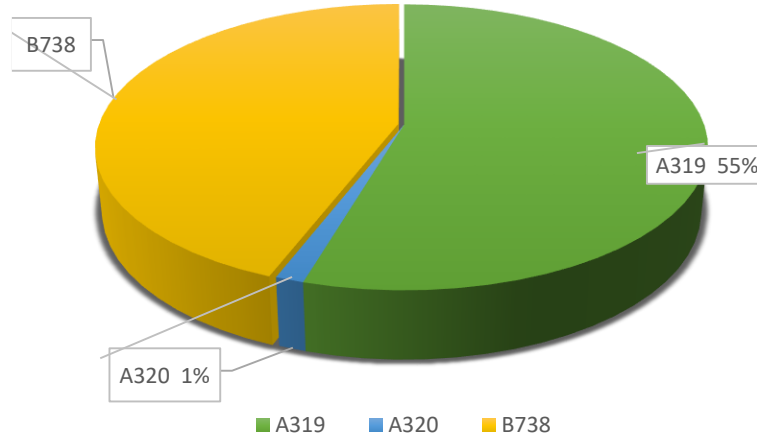
Şekil 5.16: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.15 ve 5.16'de 2020 yılına ait Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC emisyonu değerleri kg/y olarak verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi tüm emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde artmıştır. Zafer Havalimanında en yüksek HC emisyonu, A321 modeli uçaktan kaynaklanmıştır ve toplam emisyonun %34'ünü oluşturmaktadır. Diğer uçak tipleri B739 (%20), B738 (%18) ve A320 (%18) toplam emisyonun büyük bir kısmını oluşturmaktadır. En düşük HC emisyonu

B734 (%5,76) modeli uçaktan kaynaklanmıştır. Uşak Havalimanını kullanan A319 model uçak, HC emisyonunun %71 gibi büyük bir kısmını oluşturarak en baskın model olmuştur. Uçak modelleri B738 (%28) ve A320 (%1) oldukça sınırlı emisyon oranlarına sahiptir. COVID-19 salgını, 2020 yılında hava taşımacılığında ciddi bir azalmaya yol açmıştır. Pandemi nedeniyle uçuşların büyük ölçüde azalması, toplam emisyon seviyelerinin normal yıllara göre düşmesine neden olmuş olabilir. Pandemi nedeniyle uçak trafiği azaldığı için toplam HC emisyonları, normal yıllara göre düşmüş olabilir. Bu durum, atmosferdeki hava kirliliğini geçici olarak azaltarak çevreye olumlu bir etki sağlamış olabilir. Havalimanlarından kaynaklanan HC emisyonları, özellikle uçuşlar sırasında yerel hava kirliliğine katkıda bulunabilir. Bu kirlilik, solunum yolu hastalıklarını (örneğin astım, bronşit) tetikleyebilir. 2020 yılında Zafer havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 181,92 kg/y olarak hesaplanırken, Uşak havalimanı kullanan uçaklarda çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu ise 100,28 kg/y olarak hesaplanmıştır.

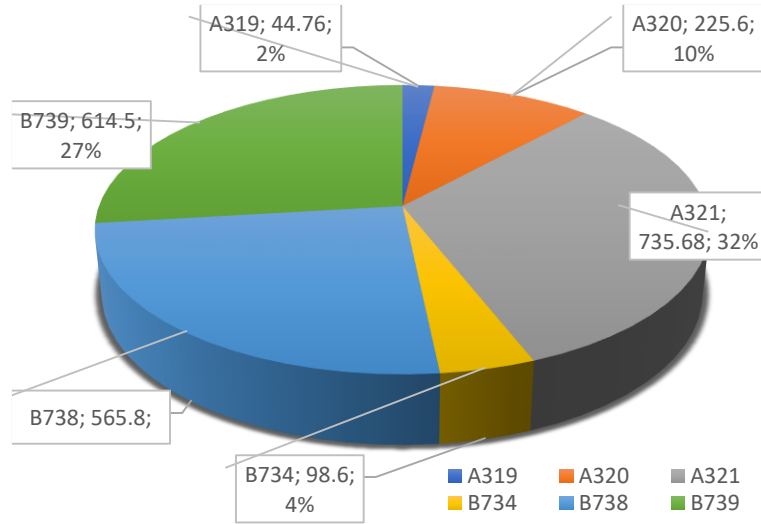


Şekil 5.17: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).

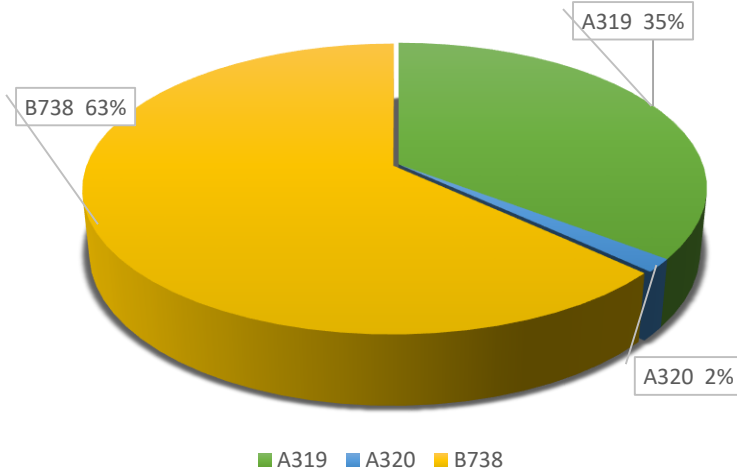


Şekil 5.18: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.17 ve 5.18'de, 2020 yılına ait Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçak tipleri ile bu uçakların LTO (iniş-kalkış) sayılarına göre yıllık CO emisyonu miktarları (kg/y) sunulmuştur. Emisyon miktarlarını etkileyen bir diğer önemli faktör ise her bir uçak tipinde kullanılan motor modeline göre motor bilgi bankasında tanımlanmış olan emisyon faktörleridir. Zafer Havalimanı'nda, 44 LTO sayısına sahip A319 tipi uçak, toplam emisyon değerleri içindeki CO emisyonunun %55'ini oluşturarak en yüksek paya sahiptir. İkinci sırada ise %26'lık oranla B739 tipi uçak gelmektedir. 2020 yılında Zafer Havalimanı'ndan kaynaklanan toplam CO emisyon miktarı ise 1376,54 kg/y olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, Uşak Havalimanı'nda 36 LTO sayısına sahip A321 tipi uçak, toplam CO emisyon değerleri içindeki %30'luk oranıyla dikkat çekerken, çevreye en fazla CO salınımına neden olan ikinci uçak tipi %44'lük oranla B738 olmuştur. Uşak Havalimanı'nda 2020 yılına ait uçaklardan kaynaklanan toplam CO emisyon miktarı ise 625,62 kg/y olarak belirlenmiştir. Pandeminin uçuş sayısını ve dolayısıyla emisyonları önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. 2020 yılı, emisyonların azaldığı bir dönem olmasına rağmen, bu düşüşün sürdürülebilir olmadığı ve hava kirliliği sorunlarının uzun vadede devam edebileceği unutulmamalıdır. Hem çevre hem de halk sağlığı açısından, daha temiz ve verimli uçak modellerinin kullanımının teşvik edilmesi ve HC emisyonlarını azaltacak politikaların uygulanması önemlidir.

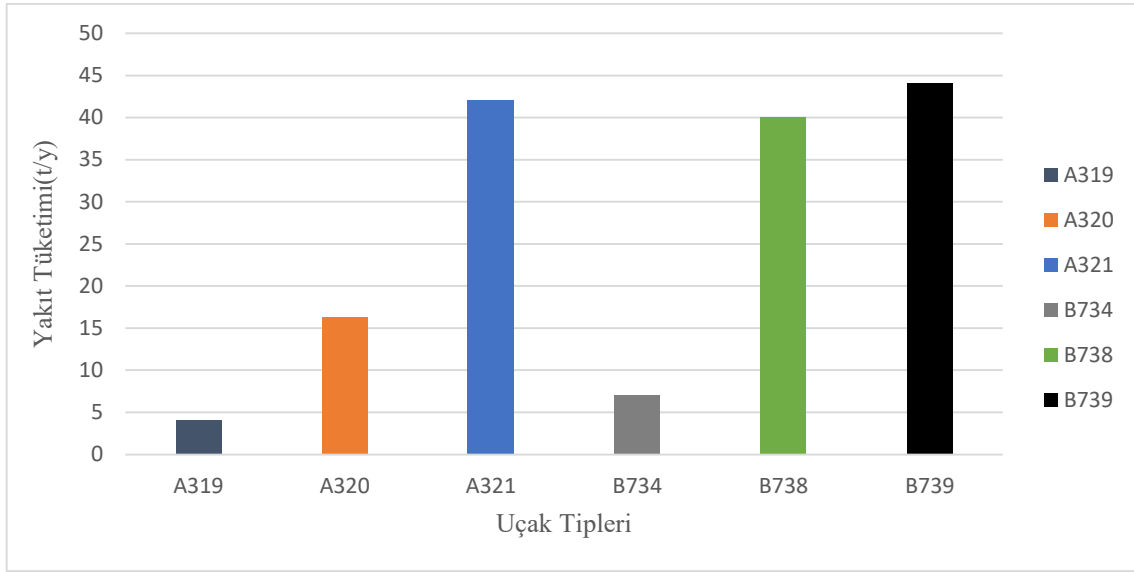


Şekil 5.19: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri(kg/y).

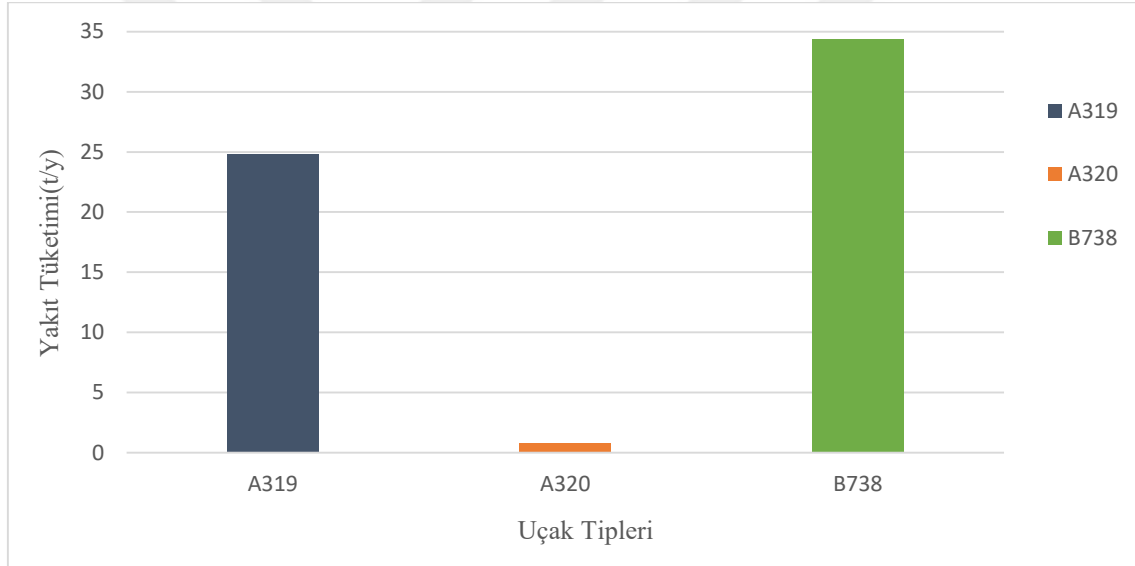


Şekil 5.20: 2020 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.19 ve 5.20’de 2020 yılına ait Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm bu emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Zafer Havalimanını kullanan 44 LTO sayısına sahip olan A319 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki NOx emisyonu oranı %32 olarak hesaplanmıştır. Uşak Havalimanını kullanan 39 LTO sayısına sahip olan A321 tip uçak için toplam ilgili emisyon değeri içindeki NOx emisyonu oranı %63 olarak hesaplanmıştır. Zafer havalimanında ikinci olarak çevre havaya en fazla NOx emisyonu salan uçak tipi %27 oranı ile B739 olmuştur. 2020 yılında Zafer havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı NOx emisyon miktarı 2284,94 kg/y olmuştur. 2020 yılında Zafer havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı NOx emisyon miktarı 759,54 kg/y olmuştur.



Şekil 5.21: 2020 Yılı Kütahya Zafer Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).



Şekil 5.22: 2020 Yılı Uşak Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).

Şekil 5.21 ve 5.22’te Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları 2020 yılında LTO sayılarına ve uçak tiplerine göre tüketilen yakıt miktarları ton cinsinden verilmiştir. Zafer Havalimanında B739 uçakları, %28’lik yakıt tüketim oranıyla en fazla yakıt tüketen uçak tipidir. B738 uçakları ise %26 ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu, Zafer Havalimanı’ndaki daha fazla uçuş yoğunluğunun etkilerini göstermektedir. Uşak Havalimanında B738 uçakları, %58’lik yüksek yakıt tüketim oranıyla en fazla yakıt tüketen uçak tipidir. A319 uçakları ise %41 oranla ikinci sırada yer almaktadır. Zafer Havalimanı yoğun uçuş trafiği ve daha fazla LTO sayıları nedeniyle daha yüksek yakıt tüketimi ve emisyonlara sahiptir. Uşak Havalimanı pandemi döneminde daha

düşük uçuş sayıları ve sınırlı ticari faaliyetlerle daha düşük yakıt tüketimi ve emisyon değerlerine sahiptir.

Çizelge 5.1: Kütahya Zafer Havaalanını kullanan uçak tiplerinin emisyon faktörleri [74].

Uçak Tipi	Üretici Firma	Motor Kimliği	Motor Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	H ₂ O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	AIRBUS	CFM56-5B5/P	2	688.00	2,169.76	7.46	0.58	847.24	9.49	1.96	0.06
A320	AIRBUS	CFM56-5B4/P	2	816.17	2,570.93	11.28	0.69	1,003.89	8.25	1.64	0.07
A321	AIRBUS	CFM56-5B3/3	2	956.00	3,020.00	16.72	0.96	1,074.10	9.53	1.42	0.09
B734	BOEING	CFM56-7B26	2	881.10	2,775.47	12.30	0.74	1,083.75	7.07	0.72	0.07
B738	BOEING	CFM56-7B26	2	881.10	2,775.47	12.30	0.74	1,083.75	7.07	0.72	0.07
B739	BOEING	CFM56-7B26	2	882.00	2,780.00	12.29	0.88	1,089.60	7.07	0.72	0.08

Çizelge 5.1’de Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tipleri, üretici firmaları, motor kimlikleri, motor sayıları, LTO süresince tükettikleri yakıt miktarları, karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), sülfür oksit (SO_x), su buharı (H₂O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon faktörleri Çizelge halinde verilmiştir.

Çizelge 5.2: 2020 yılı Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamaları.

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	H ₂ O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	6	4100	13018	44,76	3,48	5083,44	56,94	11,76	0,36
A320	20	16320	51418,6	225,6	13,8	20077,8	165	32,8	1,4
A321	44	42100	132880	735,68	42,24	47260,4	419,32	62,48	3,96
B734	8	7000	22203,76	98,6	5,92	8670	56,56	5,76	0,56
B738	46	40100	127671,62	565,8	34,04	49852,5	325,22	33,12	3,22
B739	50	44100	139000	614,5	44	54480	353,5	36	4

Çizelge 5.2’de 2020 yılında Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri, karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), sülfür oksit (SO_x), su buharı (H₂O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri toplu halde verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi B739 olup toplam 44,1 ton yakıt tüketmiştir. B739 tipi uçak için çevre havaya salınan CO₂ oranı %28, NO_x oranı %26, SO_x oranı %30, H₂O oranı %29, CO oranı %25, HC oranı %19 ve PM oranı ise %29 olmaktadır. 2020 yılında çevre havaya salınan toplam CO₂ emisyonu 486191,98 kg/yıl, NO_x emisyonu

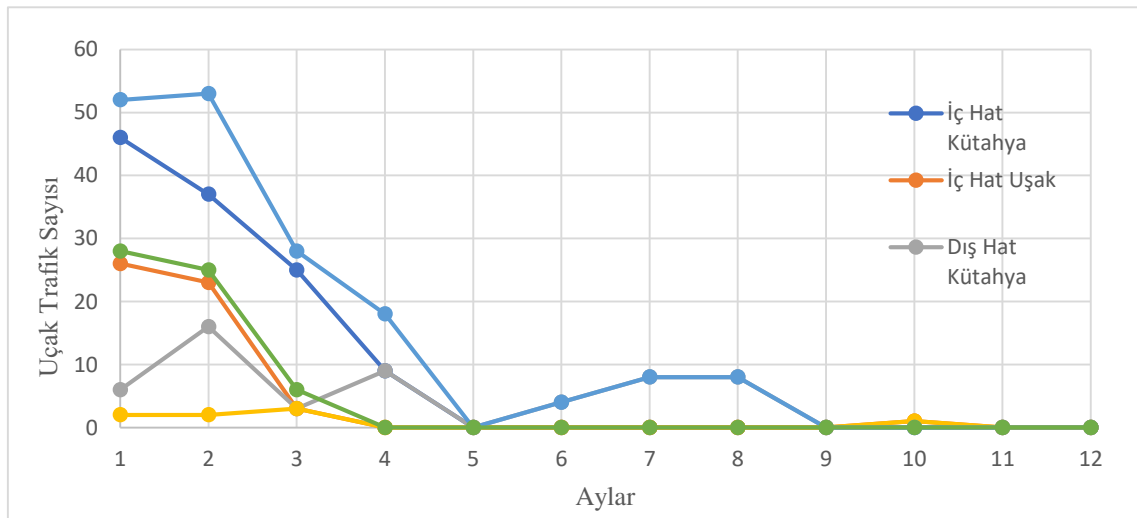
2284,94kg/y, SO_x emisyonu 143,48kg/y, H₂O emisyonu 185424,14kg/y, CO emisyonu 1376,54 kg/y, HC emisyonu 181,92 kg/y ve PM emisyonu ise 13,5kg olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3: 2020 yılı Uşak Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin göre LTO sayısına göre emisyon toplamaları

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	H ₂ O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	36	24780	78111,36	268,56	20,88	30500,64	341,64	70,56	2,16
A320	1	810	2570,93	11,28	0,69	1003,89	8,25	1,64	0,07
B738	39	34360	108243,33	479,7	28,86	42266,25	275,73	28,1	2,73

Çizelge 5.3'te 2020 yılında Uşak Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri, karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), sülfür oksit (SO_x), su buharı (H₂O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri birlikte verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi B738 olup toplam 34,36 ton yakıt tüketmiştir. B738 tipi uçak için çevre havaya salınan CO₂ oranı %57, NO_x oranı %63, SO_x oranı %57, H₂O oranı %57, CO oranı %44, HC oranı %28 ve PM oranı ise %55 olmaktadır. 2020 yılında Uşak havalimanının çevre havaya salınan toplam CO₂ emisyonu 188925,62 kg/yıl, NO_x emisyonu 2284,94 kg/y, SO_x emisyonu 50,43 kg/y, H₂O emisyonu 73770,78 kg/y, CO emisyonu 625,62 kg/y, HC emisyonu 100,28 kg/y ve PM emisyonu ise 4,96 kg olarak hesaplanmıştır.

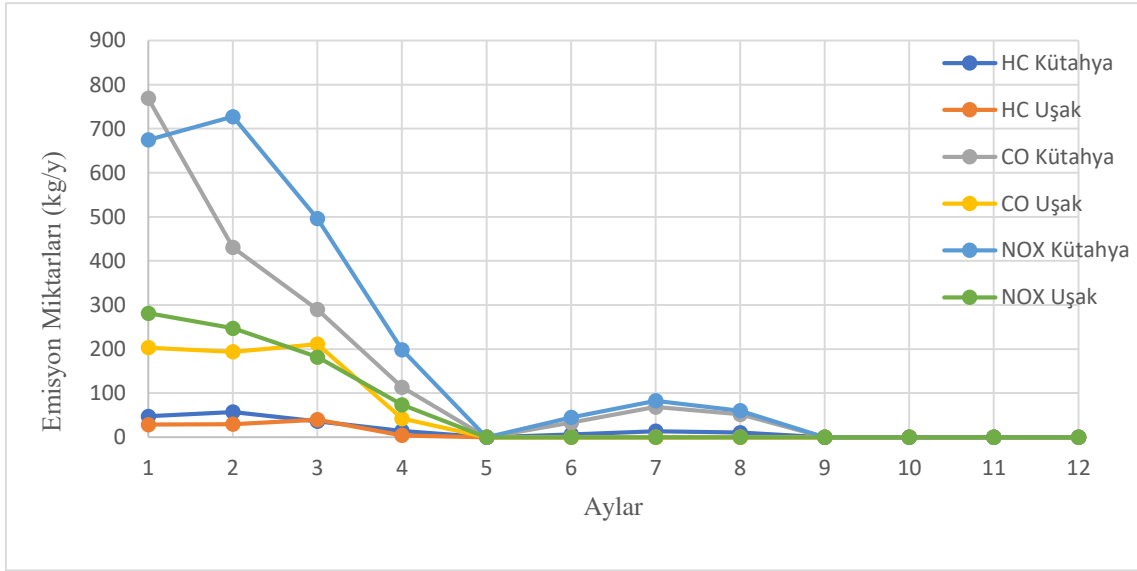
5.4 2020 Yılına Ait Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Uçak Emisyonları Toplamı



Şekil 5.23: 2020 yılı Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları toplam uçak trafik sayısı.

Şekil 5.23'te görüleceği gibi 2020 yılında, Kütahya Zafer Havalimanı'nda toplamda gerçekleşen uçuş sayısı 171 iken aynı dönemde Uşak Havalimanı'nda gerçekleşen uçuş sayısı 82 olmuştur. Yılın ilk aylarında ilgili havalimanlarında uçuş sayıları normal seyrinde ilerlerken mayıs ayından itibaren Covid-19 salgını sebebi yaz ayları hariç diğer aylarda hiç uçuşun gerçekleşmediği görülmüştür. Dolayısıyla uçuşların gerçekleşmediği dönemlerde uçak emisyonlarının meydana gelmediği ve çevre üzerinde zararlı etkisi olmadığı söylenebilir.

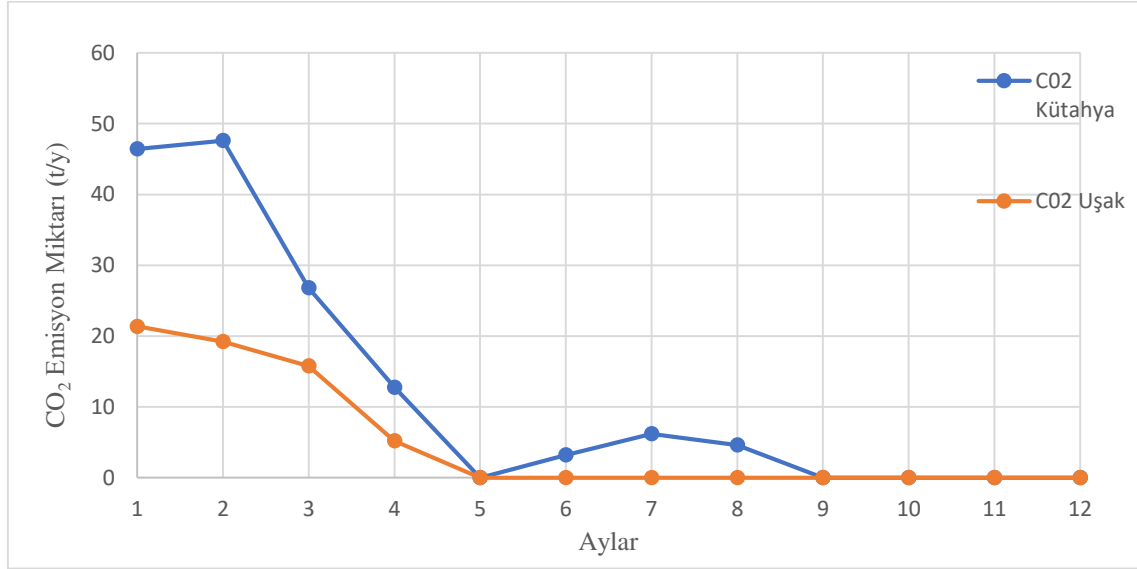
Kütahya Zafer Havalimanı ile Uşak Havalimanı arasındaki uçuş sayıları karşılaştırıldığında, Kütahya Zafer Havalimanı'nda gerçekleşen uçuşların Uşak Havalimanı'ndaki uçuşlara göre oldukça fazla olduğu ve Kütahya Zafer Havalimanı'nın kullanan uçakların salmış olduğu emisyonlar çevreyi daha fazla kirlettiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.24: 2020 yılı Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları HC, CO ve NO_x Emisyonları (kg/y).

Şekil 5.24'te 2020 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarından kaynaklanan hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarının aylık olarak göstermektedir. Grafik, özellikle mart ayından itibaren tüm emisyon türlerinde belirgin bir düşüş olduğunu göstermektedir. Bu düşüş, COVID-19 pandemisinin başlamasıyla birlikte uygulanan seyahat kısıtlamaları ve azalan uçuş sayılarıyla doğrudan ilişkilidir. Hem Kütahya hem de Uşak havalimanlarında HC, CO ve NO_x emisyonları benzer bir durum görülmektedir. Her iki havalimanında da mart ayından sonra bu emisyon türlerin de önemli düşüşler yaşanmıştır. Grafikte, iki havalimanı arasında emisyon miktarları açısından belirgin farklılıklar görülmektedir. Kütahya Havalimanı, genel olarak Uşak Havalimanı'na göre daha yüksek emisyon değerlerine sahiptir. Bu durum, havalimanlarının büyüklüğü, uçuş sayıları ve kullanılan uçak tiplerindeki farklılıklardan kaynaklanabilir. Grafikteki sonuçlar, havacılık

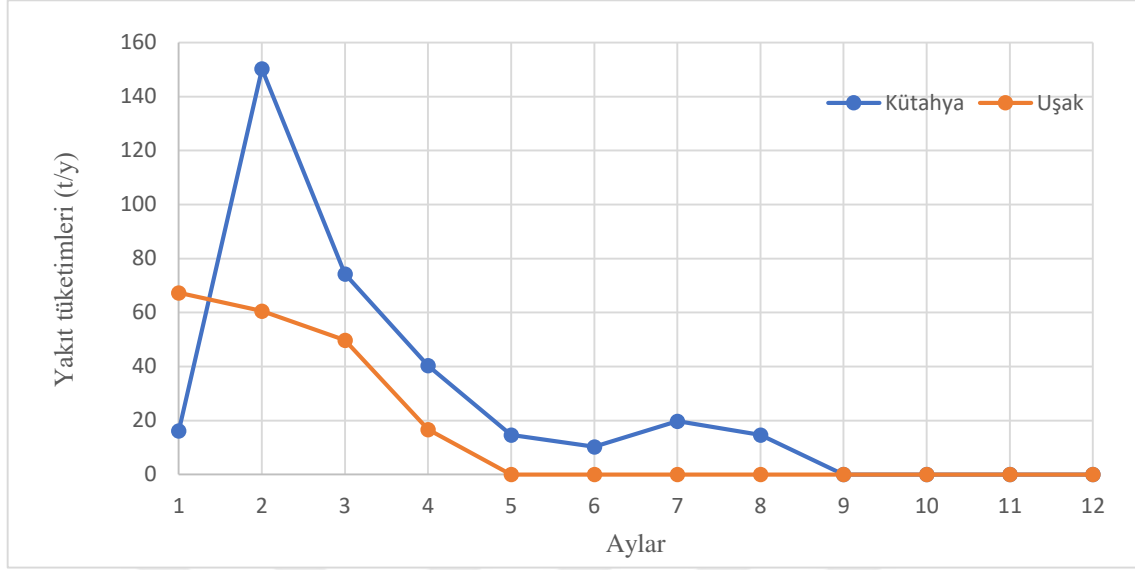
sektörünün çevre üzerindeki etkilerini ve özellikle de COVID-19 gibi küresel olayların bu etkileri nasıl değiştirebileceğini göstermektedir. Pandemi döneminde yaşanan emisyon düşüşü, havacılık sektörünün çevre dostu uygulamalara yönelmesinin önemini bir kez daha ortaya koymuştur. 2020 yılında Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçaklardan çevre havaya salınan HC, CO ve NO_x emisyon değerleri sırasıyla 181,9 kg/y, 1376,54 kg/y ve 2284,94 kg/y, olarak gerçekleşirken aynı dönemde Uşak havalimanı için belirtilen emisyon değerleri ise sırasıyla 100,28 kg/y, 625,62 kg/y ve 759,54 kg/y' tır.



Şekil 5.25: 2020 yılı Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları CO₂ Emisyon Miktarı (t/y)

Şekil 5.25'te 2020 yılında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarından kalkan uçakların çevreye saldığı karbondioksit (CO₂) emisyon miktarları verilmiştir. 2020 yılında Kütahya Zafer Havalimanı çevre havaya salınan karbondioksit (CO₂) emisyonu 486 ton olarak hesaplanmıştır. Uşak Havalimanı çevre havaya salınan karbondioksit (CO₂) emisyonu 188,92 ton olarak hesaplanmıştır. COVID-19 salgının başlamasıyla uygulanan seyahat kısıtlamaları ve azalan uçuş sayılarıyla doğrudan ilişkilidir. Grafik genel olarak, Kütahya Havalimanı'nın Uşak Havalimanı'na göre daha yüksek CO₂ emisyonlarına sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, Kütahya Havalimanı'nda daha fazla uçuş veya daha büyük uçakların kullanılması gibi faktörlere bağlanabilir. Pandemi döneminde uygulanan seyahat kısıtlamaları ve azalan talep nedeniyle uçuş sayıları önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum, doğrudan uçakların yakıt tüketimi ve dolayısıyla CO₂ emisyonları ile ilişkilidir. Pandemi döneminde birçok uçak yerden kaldırılmamış veya daha az sıklıkta uçurulmuştur. Bu da emisyonları azaltıcı bir faktör olmuştur. Grafik, havacılık sektörünün önemli bir sera gazı olan CO₂'ye önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir. COVID-19 pandemisi, kısa vadede olsa da havacılık sektörünün

çevresel etkilerini azaltıcı bir faktör olmuştur. COVID-19 pandemisinin havacılık sektöründeki CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.



Şekil 5.26: 2020 yılı Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları yakıt tüketimleri (t/y).

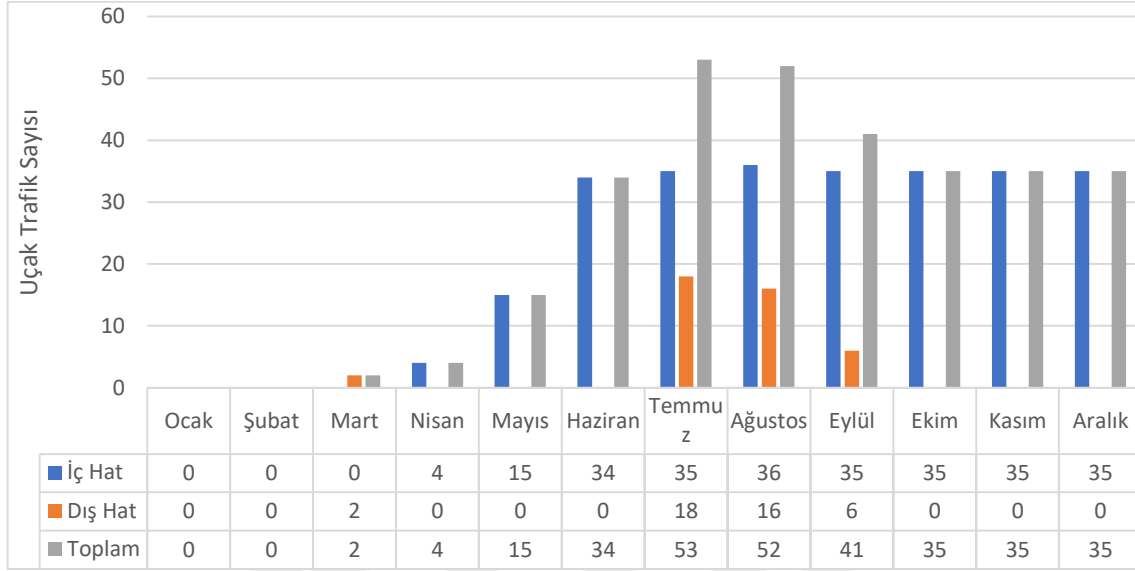
Şekil 5.26’da 2020 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarında gerçekleşen yakıt tüketimini aylara göre göstermektedir. Grafikte, her iki havalimanı için de mart ayından itibaren belirgin bir düşüş olduğu görülmektedir. Grafikte görülen keskin düşüş, 2020 yılında dünya genelinde yaşanan COVID-19 salgınına bağlanabilir. Salgın nedeniyle uygulanan seyahat kısıtlamaları ve azalan uçuş sayıları, havalimanlarındaki yakıt tüketimini önemli ölçüde etkilemiştir. Mart ayından itibaren başlayan bu düşüş, yılın geri kalanında da devam etmiştir. Grafik, Kütahya Havalimanı’nın genel olarak Uşak Havalimanı’na göre daha fazla yakıt tükettiğini göstermektedir. Bu durum, Kütahya Havalimanı’nda daha fazla uçuş veya daha büyük uçakların kullanılması gibi faktörlere bağlanabilir. Yakıt tüketimi, uçak emisyonlarının en önemli belirleyicilerinden biridir. Grafikte görülen düşüş, havacılık sektörünün en büyük çevresel sorunlarından biri olan karbon emisyonlarının da azaldığını göstermektedir. COVID-19 salgınının havacılık sektöründeki yakıt tüketimi ve dolayısıyla karbon emisyonları üzerindeki önemli etkilerini göstermektedir. Bu durum, havacılık sektörünün çevresel etkilerini azaltmak için atılması gereken adımların önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

5.5 2021 Yılına Ait Uçak Emisyonları

5.5.1 2021 Kütahya Zafer Havalimanı uçak emisyonları

Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı için 2021 yılına ait ay bazında uçak trafiği ve taşınan yolcu sayıları verilmiş ayrıca, LTO sayıları uçak tiplerine göre belirlenmiş ve her bir uçak tipi

için uçuş fazlarına göre CO₂, HC, CO ve NO_x emisyon değerleri ve uçakların yakmış oldukları yakıt miktarları LTO değerlerine göre verilmiştir. Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı için 2021 yılında Havalimanlarını ticari amaçlı uçak tipleri sırasıyla A319, A320, A321 ve B738 gibi 4 farklı uçak kullanılmıştır.

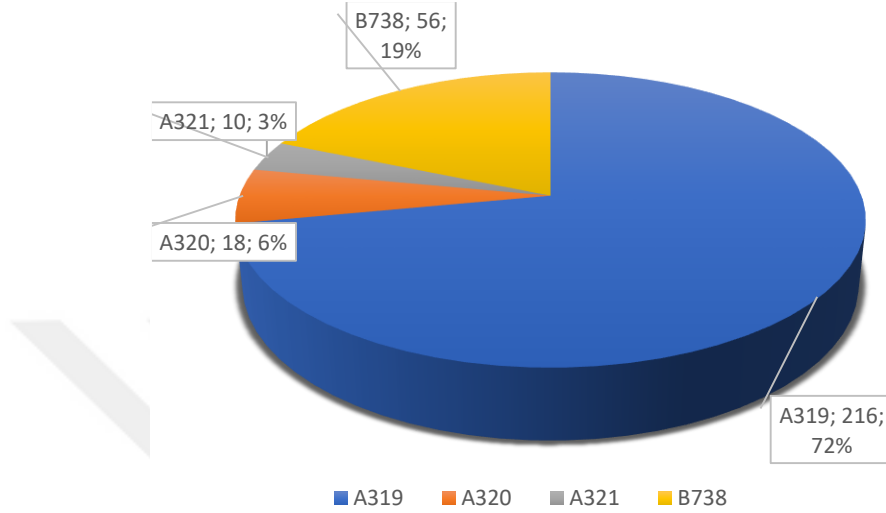


Şekil 5.27: 2021 Kütahya Zafer Havalimanı yıl içi hat, dış hat toplam uçak trafik sayısı

Şekil 27’de Kütahya Zafer Havalimanı’nda 2021 yılı boyunca gerçekleşen iç hat ve dış hat uçuş sayılarını aylara göre göstermektedir. Özellikle haziran ayından itibaren uçuş sayılarında önemli bir artış olduğu görülmektedir. Bu artış, COVID-19 pandemisinin etkilerinin azalmasıyla birlikte seyahatlerin yeniden canlanmasıyla ilişkilendirilebilir. Uçuş sayılarında belirgin mevsimsel dalgalanmalar olduğu gözlemlenmektedir. Yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) uçuş sayılarının zirve yaptığı, kış aylarında ise daha düşük seviyelerde seyrettiği görülmektedir. Bu durum, turizm sezonları ve tatil dönemlerindeki artan seyahat talebiyle açıklanabilir. Grafik incelendiğinde, ocak, şubat, aylarında COVID’19’dan dolayı uçuş gerçekleşmemiştir. 2021 yılı temmuz ayı 53 adet uçak trafiği ile en yüksek LTO sayısına ulaşılmıştır. 2021 yılı için toplam iç hat sefer sayıları 264 adet, dış hat sefer sayıları 42 adet ve toplam uçak trafiği ise 306 adet olarak belirlenmiştir.

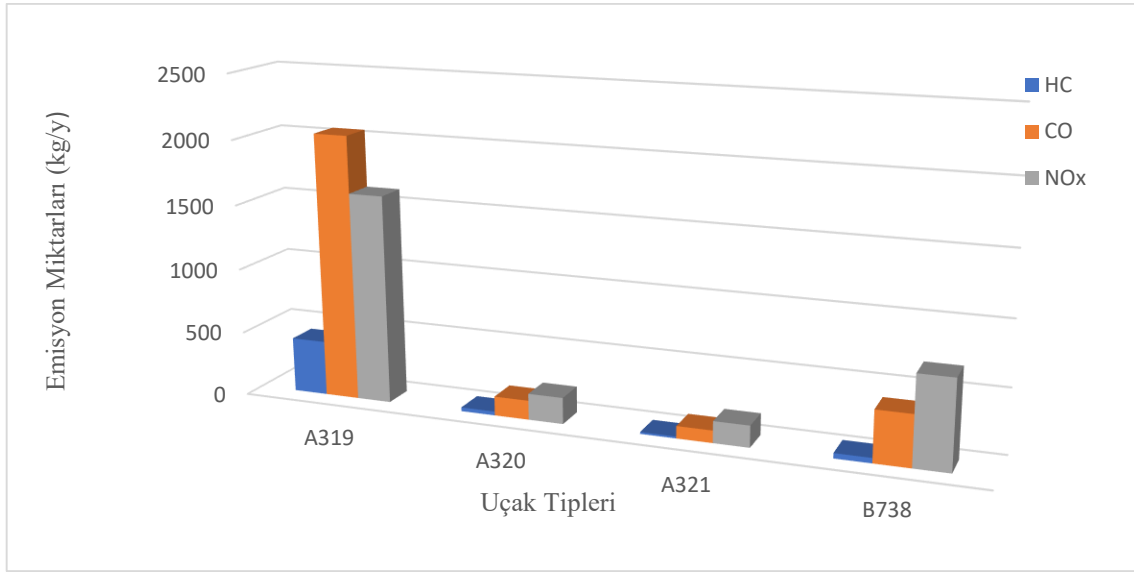
Grafikte iç hat uçuşlarının dış hat uçuşlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, havalimanının daha çok bölgesel uçuşlara hizmet verdiğini gösterir. COVID-19 pandemisi, küresel olarak havacılık sektörünü derinden etkilemiştir. Seyahat kısıtlamaları, karantina uygulamaları ve ekonomik belirsizlikler nedeniyle uçuş sayılarında önemli düşüşler yaşanmıştır. Kütahya Zafer Havalimanı’nda da bu durumun benzer şekilde yaşandığı, ancak yılın ikinci yarısında toparlanma belirtileri gösterdiği grafikten anlaşılmaktadır. Uçuş

sayılarındaki düşüş, havacılık sektörünün karbon ayak izini azaltarak iklim değişikliği üzerindeki olumlu etkilerini bir nebze de olsa azaltmıştır. Pandemi, havacılık sektörünün daha sürdürülebilir ve çevre dostu hale gelmesi için bir katalizör görevi görmüştür. Havayolu şirketleri ve havalimanları, daha verimli uçaklar, sürdürülebilir yakıtlar ve çevre dostu operasyonlar gibi konulara daha fazla önem vermeye başlamıştır.



Şekil 5.28: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

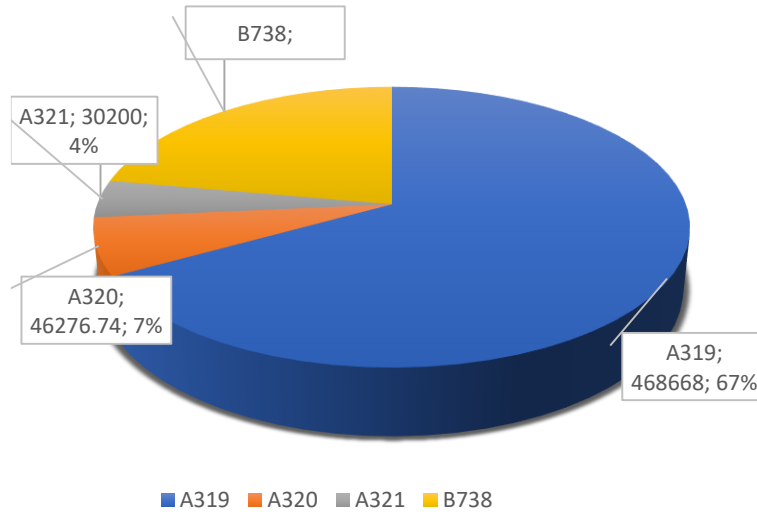
Şekil 5.28’ de 2021 yılında Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları görülmektedir. Grafik incelendiğinde Zafer Havalimanına iniş/kalkış yapan uçakların büyük çoğunluğunu %72 ile A319 tipi uçak oluşturmaktadır. İkinci olarak %19 oranı ile B738 tipi uçak ve en az LTO sayısı olan uçak tipi A321 olmuştur. COVID-19 pandemisinin etkileri dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de havacılık sektörünü önemli ölçüde etkilemiştir. Pandemi öncesine göre seyahat kısıtlamaları ve talepteki düşüş, havalimanlarındaki uçuş sayılarında azalmalara neden olmuştur. Kütahya Zafer Havalimanı’nda da bu durumun yaşandığı görülmektedir. COVID-19 pandemisi, havacılık sektöründeki faaliyetlerin azalmasıyla birlikte, hava trafiği kaynaklı emisyonlarda da düşüşe neden olmuştur. Kütahya Zafer Havalimanı gibi birçok havalimanında, pandemi döneminde emisyon seviyelerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, hava kalitesi üzerinde olumlu etkiler yaratmıştır.



Şekil 5.29: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri(kg/y).

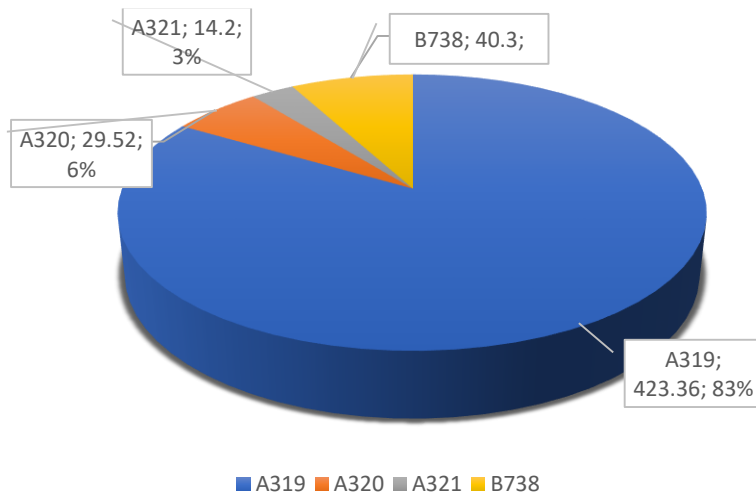
Şekil 5.29'da 2021 yılında Zafer Havalimanını kullanan farklı uçak tiplerinin ürettiği HC (hidrokarbon), CO (karbon monoksit) ve NOx (azot oksit) emisyon miktarlarını kilogram cinsinden göstermektedir. Özellikle CO ve NOx emisyonlarında A319 tipi uçakların diğer uçak tiplerine göre çok daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, A319 modelinin daha büyük ve daha fazla yakıt tüketen bir uçak olmasıyla açıklanabilir. En yüksek LTO sayısına sahip olan A319 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %83, CO oranı %76 ve NOx oranı %60 olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tipi uçak için ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %8 CO oranı %15, NOx oranı %26 olarak hesaplanmıştır. 2021 yılında Zafer havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 507,38 kg/y, CO emisyonu 2689,64 kg/y, NOx emisyonu ise 2670,36 kg/y olarak hesaplanmıştır.

COVID-19 pandemisi, küresel olarak havacılık sektörünü derinden etkilemiş ve uçuş sayılarında önemli düşüşlere neden olmuştur. Uçuş sayılarındaki bu azalma, dolaylı olarak havacılık sektörünün çevresel etkilerini de azaltmıştır. Uçuş sayılarındaki düşüş, uçakların yakıt tüketimini ve dolayısıyla CO₂, NOx gibi zararlı gaz emisyonlarını azaltmıştır. Bu durum, küresel ısınma ve hava kirliliği gibi çevresel sorunlarla mücadelede olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir. Pandemi, havacılık sektörünün daha sürdürülebilir ve çevre dostu hale gelmesi için bir katalizör görevi görmüştür. Havayolu şirketleri ve havalimanları, daha verimli uçaklar, sürdürülebilir yakıtlar ve çevre dostu operasyonlar gibi konulara daha fazla önem vermeye başlamıştır.



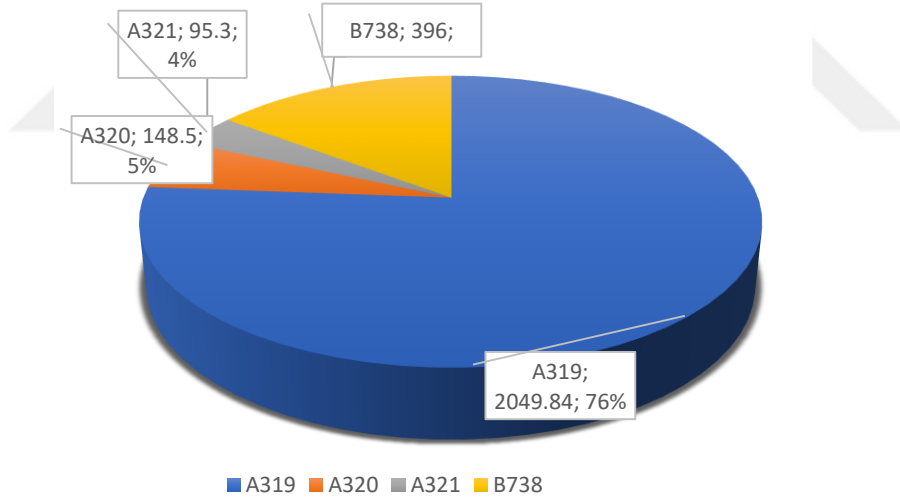
Şekil 5.30: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO₂ emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.30’da 2021 yılında Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO₂) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde En yüksek LTO sayısına sahip olan A319 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki CO₂ oranı %67, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tipi uçak için CO₂ oranı %22 olarak hesaplanmıştır. 2021 yılında Zafer havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO₂ emisyonu 700571 kg/yıl olarak hesaplanmıştır. COVID-19 pandemisi, küresel olarak havacılık sektörünü derinden etkilemiş ve uçuş sayılarında önemli düşüşlere neden olmuştur. Uçuş sayılarındaki düşüş, uçakların yakıt tüketimini ve dolayısıyla CO₂ emisyonlarını azaltmıştır.



Şekil 5.31: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).

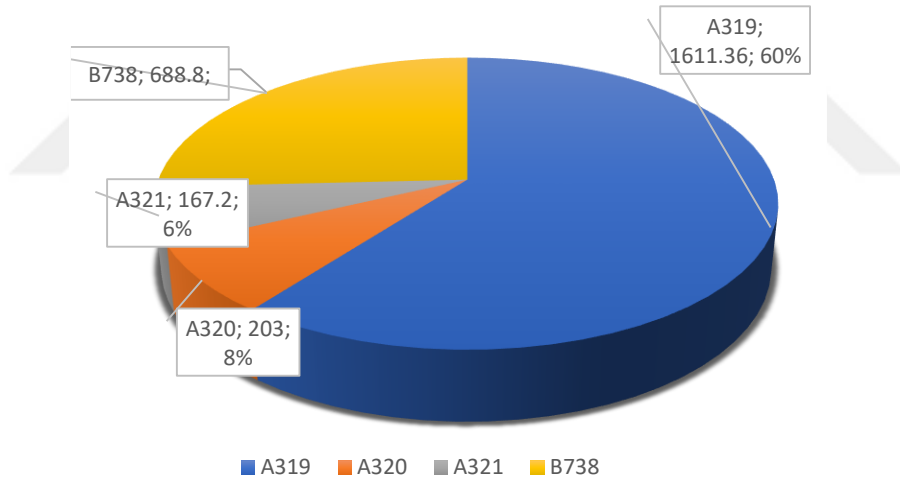
Şekil 5.31’de, 2021 yılına ait Zafer Havalimanı’ndan kaynaklanan uçak tiplerine ve LTO (iniş-kalkış) sayılarına göre hidrokarbon (HC) emisyon miktarları detaylı bir şekilde sunulmuştur. Grafik incelendiğinde, toplam HC emisyonları içinde en büyük payın %83 ile A319 tipi uçaklara ait olduğu görülmektedir; bu uçaklar 216 LTO ile en yüksek uçuş yoğunluğunu oluşturmuştur. İkinci sırada ise, %8 oranıyla çevreye en fazla HC emisyonu salan uçak tipi B738 olarak belirlenmiştir. 2021 yılı boyunca Zafer Havalimanı’ndan kaynaklanan toplam HC emisyon miktarı 507,38 kg/y olarak hesaplanmıştır. Covid-19 salgının küresel etkileri, Türkiye’de havacılık sektörünü derinden etkilemiş; seyahat kısıtlamaları ve azalan talep, havalimanlarındaki uçuş yoğunluğunda ciddi düşümlere yol açmıştır. Kütahya Zafer Havalimanı da bu durumdan nasibini almış, uçuş trafiğinde azalmalar yaşanmıştır. Sunulan grafik, 2021 yılında bu havalimanını kullanan uçakların modellerine göre ürettikleri HC emisyon miktarlarını ve toplam emisyon içindeki oranlarını göstermektedir. Özellikle A319 tipi uçaklar, havalimanındaki HC emisyonlarının önemli bir kısmından sorumludur. Bu durum, genellikle düşük maliyetli havayolu şirketlerinin bu uçak modelini sıkça kullanması ve pandemi koşullarına rağmen belirli bir yolcu talebinin devam etmesiyle ilişkilendirilebilir.



Şekil 5.32: 2021 yılı Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.32’de 2021 yılında Zafer Havalimanı’ndan gerçekleştirilen uçuşların uçak tiplerine ve LTO (iniş-kalkış) sayılarına göre karbon monoksit (CO) emisyon miktarları detaylı bir şekilde sunulmuştur. Grafik, Kütahya Zafer Havalimanı’ndan kalkış yapan uçakların modellerine göre ürettikleri CO emisyonlarını ve bu emisyonların toplam içerisindeki oranlarını göstermektedir. Verilere göre, A319 tipi uçaklar, havalimanında üretilen toplam CO emisyonlarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu durum, genellikle düşük maliyetli havayolu şirketlerinin bu uçak modelini yoğun şekilde tercih etmesi ve pandemi döneminde bile belirli bir yolcu talebinin

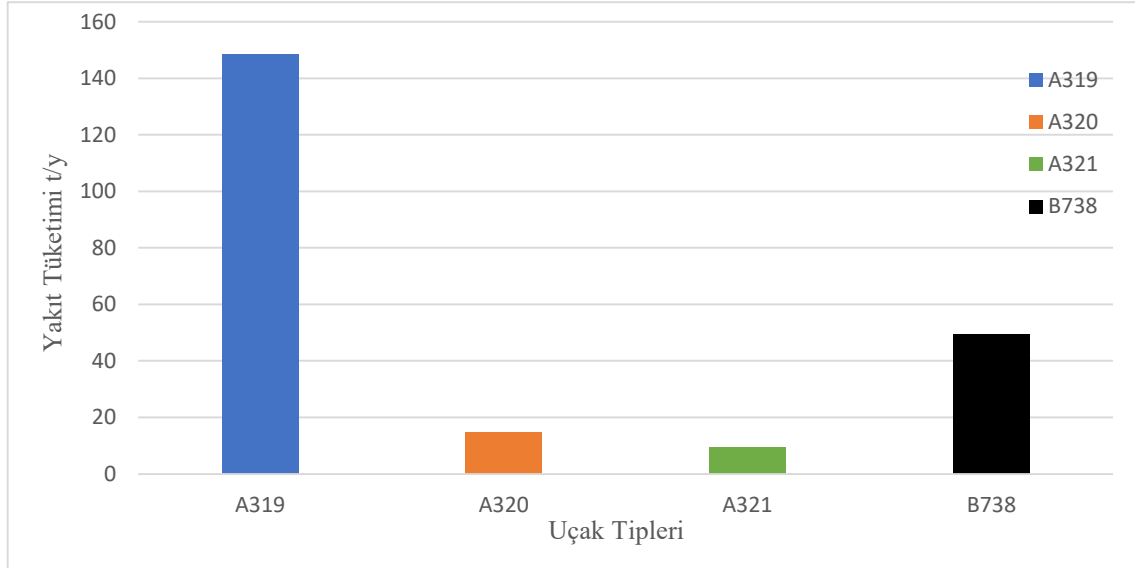
varlığını korumasıyla ilişkilendirilebilir. Şekil analizine göre, toplam CO emisyonlarında en büyük pay %76 oranı ve 216 LTO ile A319 tipi uçaklara aittir. Bunu %15'lik bir oranla B738 tipi uçaklar takip etmektedir. 2021 yılı itibarıyla Zafer Havalimanı kaynaklı toplam CO emisyon miktarı 2689,64 kg/y olarak hesaplanmıştır. COVID-19 pandemisi, küresel havacılık sektörünü olduğu gibi Türkiye'yi de etkileyerek uçuş sayılarında azalmaya yol açmıştır. Bunun sonucu olarak Kütahya Zafer Havalimanı'ndaki CO emisyon miktarlarında bir düşüş yaşanmıştır. Her ne kadar bu azalma çevresel açıdan olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilse de pandemi sonrası dönemde seyahat talebinin artmasıyla birlikte emisyon seviyelerinin yeniden yükselebileceği öngörülmektedir. Bu nedenle, havacılık sektöründe çevre dostu teknolojilere yatırım yapılması ve sürdürülebilir uygulamaların önceliklendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Şekil incelendiğinde toplam CO emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 216 LTO sayısı ve %76 oranıyla A319 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla CO emisyonu salan uçak tipi %15 oranı ile B738 olmuştur. 2021 yılında Zafer havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı CO emisyon miktarı 2689,64 kg/y olmuştur.



Şekil 5.33: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.33'te 2021 yılında Zafer Havalimanı uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyon miktarları gösterilmektedir. 2021 yılında, COVID-19 pandemisinin küresel etkileri Türkiye'de de havacılık sektörünü önemli ölçüde etkilemiştir. Seyahat kısıtlamaları ve talepteki düşüş, havalimanlarındaki uçuş sayılarında azalmalara neden olmuştur. Kütahya Zafer Havalimanı'nda da bu durumun yaşandığı görülmektedir. COVID-19 pandemisi, havacılık sektöründeki faaliyetlerin azalmasıyla birlikte, hava trafiği kaynaklı NOx emisyonlarında da düşüşe neden olmuştur. Kütahya Zafer Havalimanı gibi birçok havalimanında, pandemi

döneminde NOx emisyon seviyelerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, hava kalitesi üzerinde olumlu etkiler yaratmıştır. Grafik incelendiğinde toplam NOx emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 216 LTO sayısı ve %60 oranıyla A319 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla NOx emisyonu salan uçak tipi %26 oranı ile B738 olmuştur. 2021 yılında Zafer havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı NOx emisyon miktarı 2670,3 kg/y olmuştur.



Şekil 5.34: 2021 Yılı Kütahya Zafer Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).

Şekil 5.34'te Kütahya Zafer Havalimanı'nda 2021 yılında farklı uçak tiplerinin gerçekleştirdiği yıllık yakıt tüketimini ton olarak göstermektedir. Grafikte en yüksek yakıt tüketimi A319 tipi uçaklara aittir. Bu durum, A319 modelinin havalimanında en sık kullanılan uçak tipi olduğu ve diğer uçak tiplerine göre daha fazla uçuş gerçekleştirdiğini göstermektedir. A319 tipi uçak 300 LTO sayısına göre %66 oranı ile toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketirken ikinci olarak en fazla LTO sayısına sahip olan uçak tipi B738 olup %22 yakıt tüketim oranına sahiptir. 2021 Yılı Zafer Havalimanında uçakların LTO safhalarında tüketmiş oldukları toplam yakıt miktarı 222,3 ton/yıl olmaktadır. Yakıt tüketimindeki azalma, aynı zamanda karbon dioksit (CO₂) gibi sera gazı emisyonlarının da azalmasına neden olmuştur. COVID-19 pandemisi, küresel ölçekte olduğu gibi Türkiye'de de havacılık sektörünü derinden etkilemiştir. Bu durum, hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlarla mücadelede olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir. 2021 yılı, pandeminin etkilerinin hissedilmeye devam ettiği ancak kademeli olarak normalleşme adımlarının atıldığı bir yıl olmuştur.

Çizelge 5.4: 2021 yılı Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin LTO sayısına emisyon toplamaları

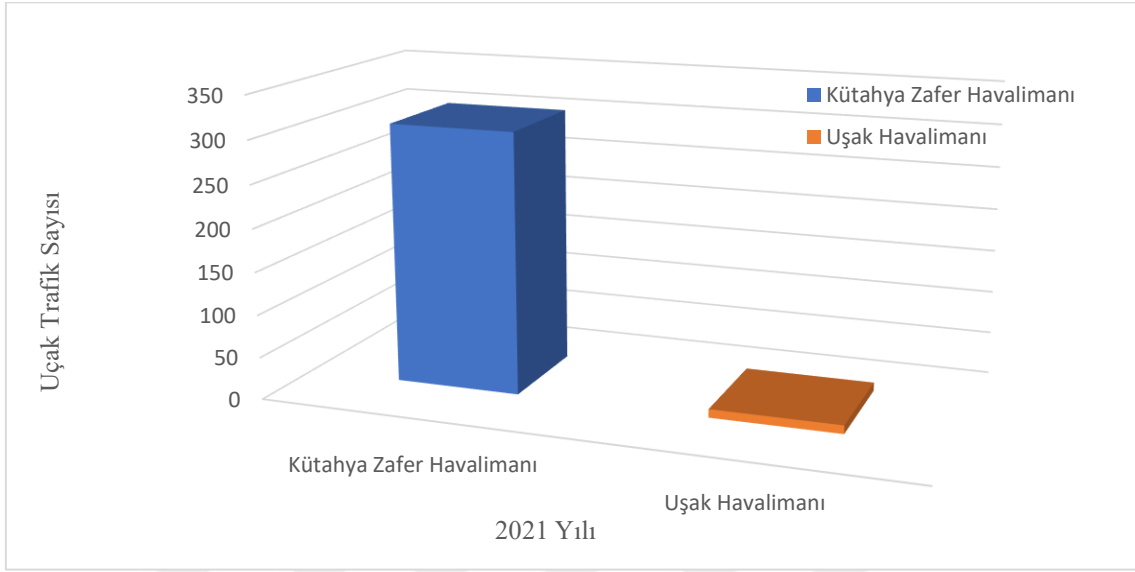
Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	H ₂ O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	216	148600	468668	1611,36	125,28	183003,84	2049,84	423,36	12,96
A320	18	14700	46276,74	203	12,42	18070	148,5	29,52	1,26
A321	10	9500	30200	167,2	9,6	10741	95,3	14,2	0,9
B738	56	49340	155426,3	688,8	41,44	60690	396	40,32	3,92

Çizelge 5.4’te 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri, karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), sülfür oksit (SO_x), su buharı (H₂O), karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri birlikte verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi A319 olup toplam 148,6 ton yakıt tüketmiştir. A319 tipi uçak için çevre havaya salınan CO₂ oranı %67, NO_x oranı %60, SO_x oranı %82, H₂O oranı %67, CO oranı %76, HC oranı %83 ve PM oranı ise %68 olmaktadır. 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanını çevre havaya salınan toplam CO₂ emisyonu 700571 kg/yıl, NO_x emisyonu 2670,3 kg/y, SO_x emisyonu 151,74 kg/y, H₂O emisyonu 27250484 kg/y, CO emisyonu 2689,64 kg/y, HC emisyonu 507,38 kg/y ve PM emisyonu ise 19,04 kg olarak hesaplanmıştır. Covid-19 salgını havacılık sektörü ve dolayısıyla emisyonlar üzerinde önemli etkiler yaratmıştır. Havacılık sektöründe daha çevre dostu teknolojilerin kullanılması ve sürdürülebilirlik çalışmalarına önem verilmesi gerekmektedir.

5.5.2 2021 Yılı Uşak havalimanı uçak emisyonları

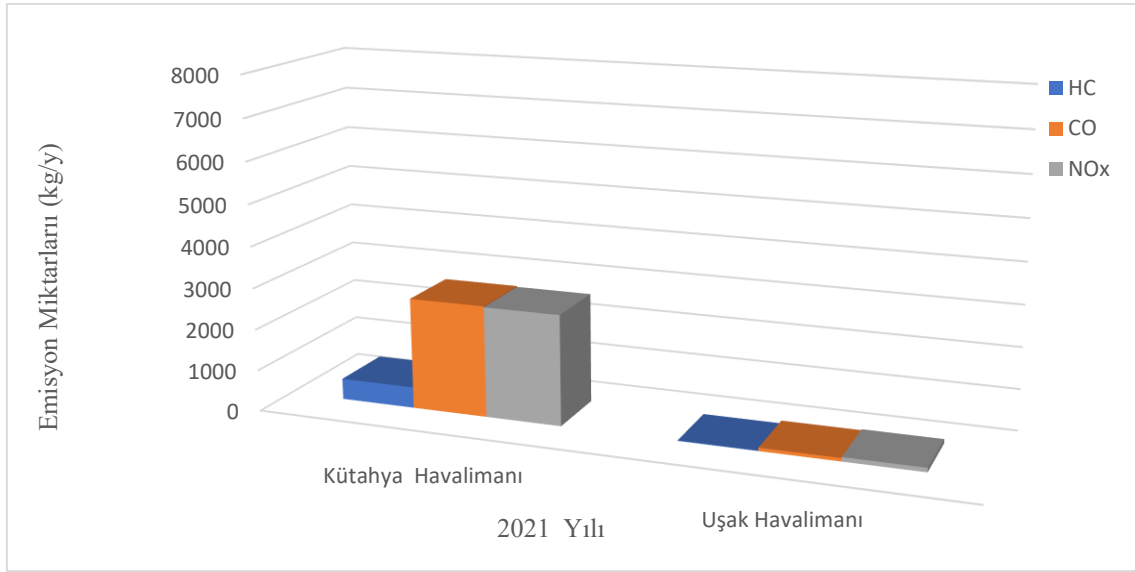
2021 yılında Uşak Havalimanı uçuşlar çok az gerçekleşmiştir. Ekim ve aralık ayında gerçekleşen uçuşlar bulunmaktadır. Ekim ayında B738 tip yolcu uçağı 2 uçuş gerçekleştirmiştir. Aralık ayında B738 tip uçağı 4 ve A319 4 sefer uçuş gerçekleştirmiştir.

5.6 2021 Yılına Ait Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Uçak Emisyonları Toplamı



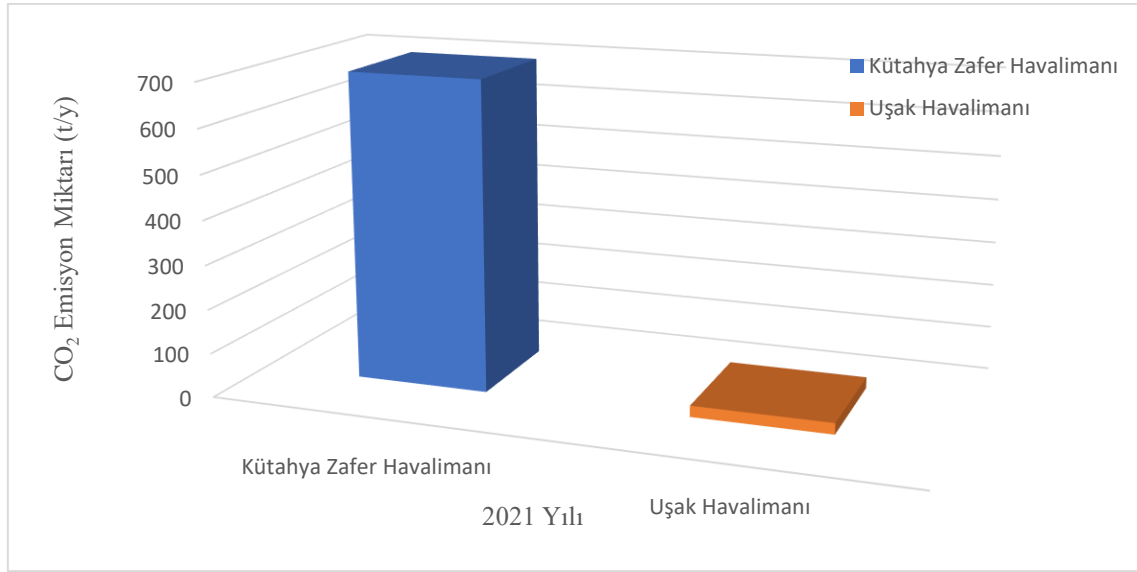
Şekil 5.35: 2021 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları toplam uçak trafik sayısı.

Şekil 5.35'te 2021 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarındaki uçak trafiğini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Grafiğe bakıldığında, Kütahya Zafer Havalimanı'nın Uşak Havalimanı'na kıyasla çok daha yoğun bir uçak trafiğine sahip olduğu açıkça görülmektedir. Ancak, her iki havalimanında da pandemi öncesine göre uçak trafiğinde belirgin bir azalma olduğu söylenebilir. Hem Kütahya Zafer Havalimanı'nda hem de Uşak Havalimanı'nda uçuş sayılarında gözle görülür bir düşüş yaşanmıştır. Bu durum, pandemi nedeniyle uygulanan seyahat kısıtlamaları, insanların seyahatten çekinmesi ve ekonomik belirsizlikler gibi faktörlere bağlanabilir. Kütahya Zafer Havalimanı, Uşak Havalimanı'na göre daha büyük bir şehir merkezine yakın olması ve daha fazla havayolu şirketine ev sahipliği yapması gibi nedenlerle daha yoğun bir uçak trafiğine sahiptir. Ancak, her iki havalimanı da pandemi sürecinde benzer etkilerden nasibini almıştır. Uçakların yakıt tüketimi sonucu ortaya çıkan emisyonlar, iklim değişikliği, hava kirliliği ve asit yağmurları gibi ciddi çevresel sorunlara neden olur. Pandemi döneminde uçak trafiğindeki azalma, bu emisyonların da azalmasına yol açmıştır. Bu durum, yerel ve küresel ölçekte hava kalitesinin iyileşmesine katkı sağlamıştır.



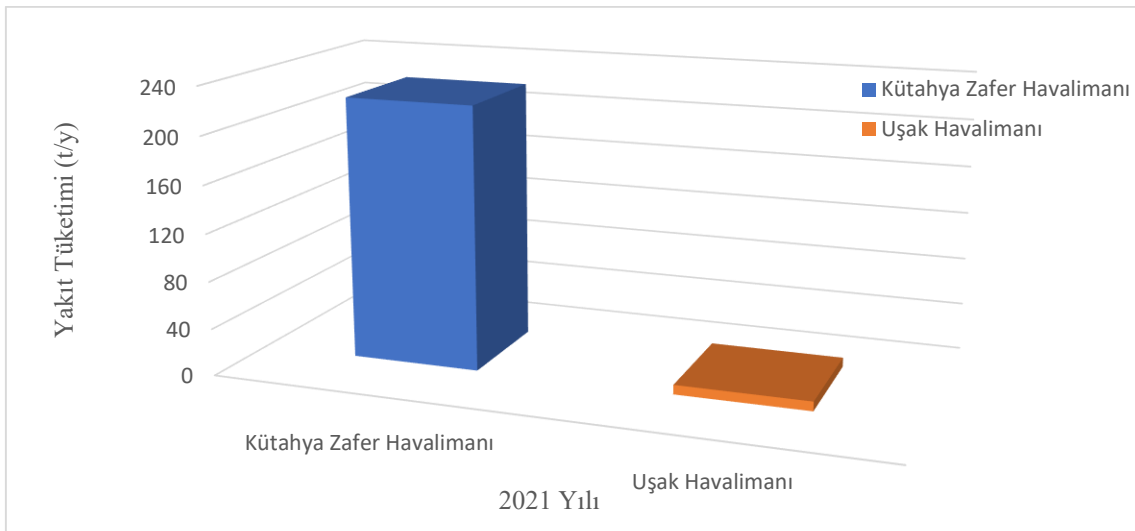
Şekil 5.36: 2021 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları HC, CO ve NO_x Emisyonları (kg/y).

Şekil 5.36’da 2021 yılında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları tarafından kullanılan uçakların çevresel etkileri değerlendirilmiştir. HC, CO ve NO_x emisyonlarının çevreye salınma miktarları incelenmiştir. Grafikler, bu emisyonların 2021 yılı boyunca nasıl değiştiğini göstermektedir. 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanı’ndan kalkan uçakların HC, CO ve NO_x emisyonlarının Uşak havalimanına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. İncelenen verilere göre, 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçaklardan çevre havaya salınan HC, CO ve NO_x emisyon değerleri sırasıyla 507,38 kg/y, 2689,64 kg/y ve 2670,36 kg/y, olarak gerçekleşirken aynı dönemde Uşak havalimanı için belirtilen emisyon değerleri ise sırasıyla 12,16 kg/y, 80,38 kg/y ve 103,64 kg/y’ dir. COVID-19 pandemisinin küresel etkileriyle şekillenen bir yıl olmuştur. Pandemi, seyahat kısıtlamaları ve ekonomik belirsizlikler nedeniyle havacılık sektörünü önemli ölçüde etkilemiştir. Bu durum, havalimanlarındaki uçuş sayılarında ve dolayısıyla emisyonlarda ciddi düşüşlere neden olmuştur. Hem Kütahya Zafer Havalimanı’nda hem de Uşak Havalimanı’nda tüm emisyon türlerinde (HC, CO, NO_x) gözle görülür bir düşüş yaşanmıştır. Bu durum, pandemi nedeniyle uygulanan seyahat kısıtlamaları, insanların seyahatten çekinmesi ve ekonomik belirsizlikler gibi faktörlere bağlanabilir. 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı’ndan kaynaklanan emisyonlar, COVID-19 pandemisinin etkisiyle önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum, havacılık sektörünün pandemi sürecinde yaşadığı zorlukları ve pandemi önlemlerinin çevresel etkileri üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir. Pandemi sonrası dönemde havacılık sektörünün nasıl şekilleneceği ve emisyonların azaltılması için hangi adımların atılacağı önemli sorular olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 5.37: 2021 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları CO₂ Emisyonları (t/y).

Şekil 5.37’de 2021 yılında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarından kalkan uçakların çevreye saldıgı karbondioksit (CO₂) emisyon miktarları verilmiştir. 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanı çevre havaya salınan karbondioksit (CO₂) emisyonu 700 ton olarak hesaplanmıştır. Uşak Havalimanı çevre havaya salınan karbondioksit (CO₂) emisyonu 188,92 ton olarak hesaplanmıştır. Grafiğe göre, Kütahya Zafer Havalimanı, Uşak Havalimanı’na kıyasla çok daha yüksek seviyelerde CO₂ emisyonu üretmektedir. Ancak, her iki havalimanında da pandemi öncesine göre emisyonlarda belirgin bir azalma olduğu söylenebilir. COVID-19 pandemisi, havacılık sektörünü olumsuz etkileyerek CO₂ emisyonlarını azaltmıştır. Kütahya Zafer Havalimanı, Uşak Havalimanı’na göre daha yüksek seviyelerde CO₂ emisyonu üretmektedir. Pandemi döneminde her iki havalimanında da CO₂ emisyonlarında belirgin bir düşüş yaşanmıştır.

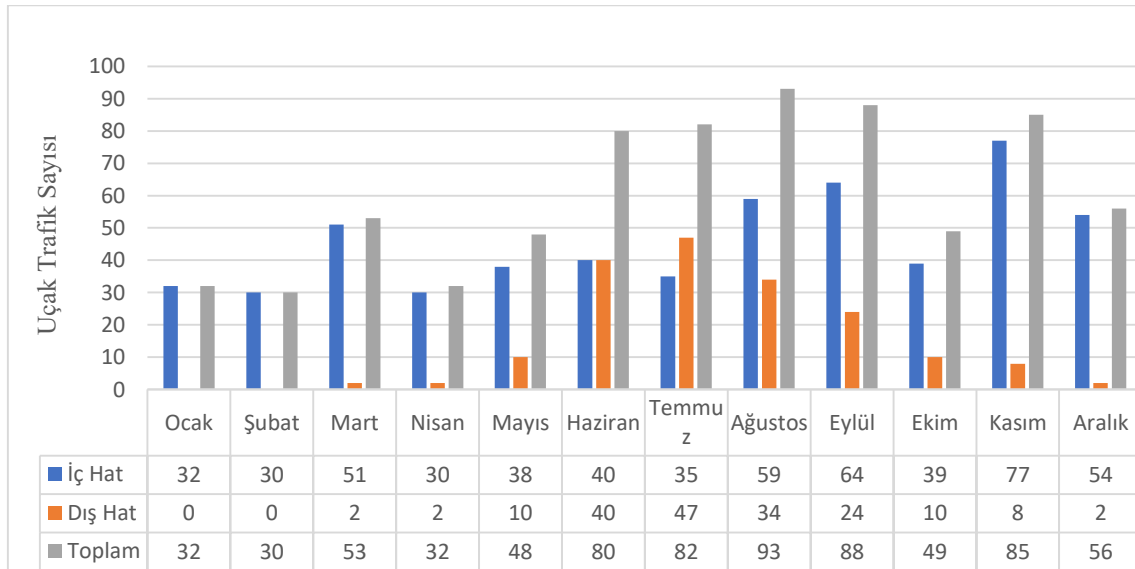


Şekil 5.38: 2021 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları Yakıt tüketimleri (t/y).

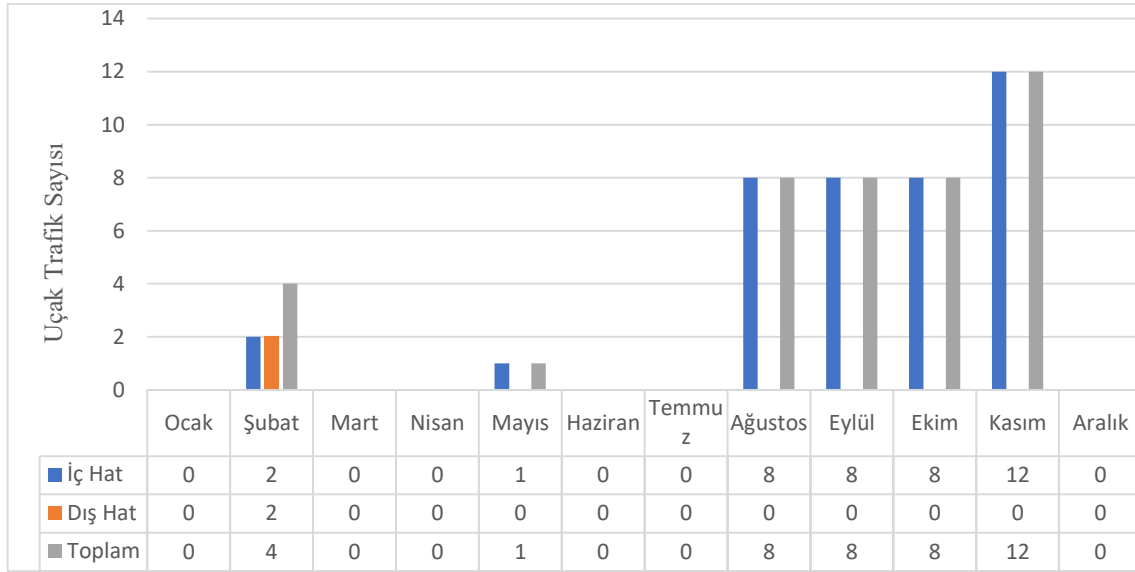
Şekil 5.38’de 2021 yılında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarında operasyon yapan uçakların iniş ve kalkış (LTO) sayılarına göre tüketmiş oldukları yakıt miktarlarına dair veriler sunulmuştur. İncelemeler, 2021 yılı içinde Kütahya Zafer Havalimanı’nın uçuş sayısının Uşak Havalimanı’na göre daha yüksek olduğu dönemlerde yakıt tüketiminin de daha fazla olduğunu göstermektedir. COVID-19 pandemisi, havacılık sektörünü olumsuz etkileyerek yakıt tüketimini azaltmıştır. Kütahya Zafer Havalimanı, Uşak Havalimanı’na göre daha yüksek seviyelerde yakıt tüketmektedir. Pandemi döneminde her iki havalimanında da yakıt tüketiminde belirgin bir düşüş yaşanmıştır. Yakıt tüketimindeki azalma, CO₂ emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir adım olmuştur. 2021 yılında Kütahya Zafer Havalimanı yakıt tüketimi 222,3 ton olarak hesaplanmıştır. Uşak Havalimanı yakıt tüketimi 8,03 ton olarak hesaplanmıştır.

5.7 2022 Yılına ait Uçak Emisyonları

Zafer Havalimanı için 2022 yılına ait ay bazında uçak trafiği ve taşınan yolcu sayıları verilerek, LTO sayıları uçak tiplerine göre belirlenerek her bir uçak tipi için uçuş fazlarına göre HC, CO ve NO_x emisyon değerleri hesaplanmıştır. LTO değerlerine göre CO₂, CO, HC emisyonları ve uçakların yakmış oldukları yakıt miktarları başlıklarla verilmiştir. Zafer Havalimanı için 2021 yılında Havalimanlarını ticari amaçlı uçak tipleri sırasıyla A319, A320, A321, B733, B734, B738 ve B739 gibi 7 farklı uçak kullanılmıştır. 2022 yılında Uşak havalimanında uçuş olmamıştır.

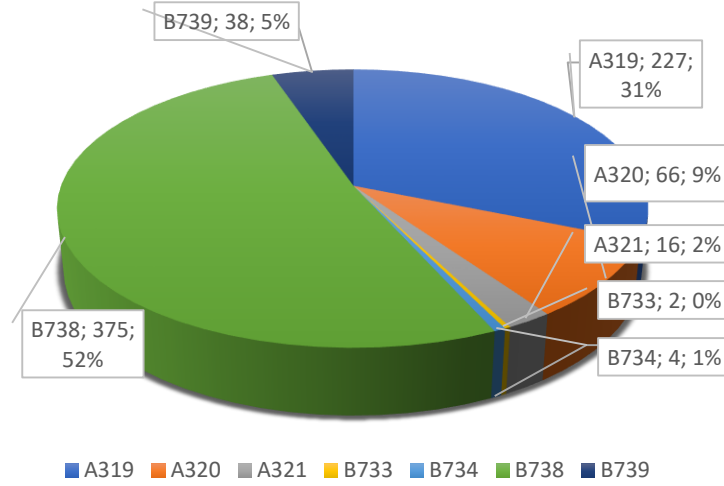


Şekil 5.39: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafik sayısı.

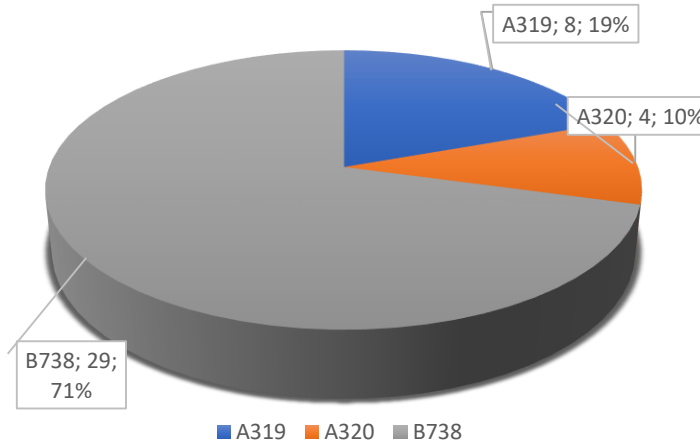


Şekil 5.40: 2022 yılı Uşak Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafik sayısı.

Şekil 5.39 ve 5.40’ de 2022 yılına ait Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği sayıları görülmektedir. Kütahya Zafer Havalimanında 2022 yılı için toplam 728 uçak trafiği gerçekleşmiş olup Uşak Havalimanında ise 2022 yılı için toplam iç hat sefer sayıları 39 adet, dış hat sefer sayıları 2 adet ve toplam uçak trafiği ise 41 adet olarak görülmektedir. 2022 yılında, Uşak Havalimanı uçak trafiği ağırlıklı olarak eğitim uçuşlarına dayanmış, ticari uçuşlar oldukça sınırlı kalmıştır. Yolcu taşımacılığı yapılmaması ve çevredeki havalimanlarının daha fazla tercih edilmesi, Uşak Havalimanı’nda ticari uçuş talebinin düşük olmasına yol açmıştır. Toplam uçak trafiği 41 olarak kaydedilmiş, bu trafiğin büyük kısmı iç hat eğitim uçuşlarından oluşmuştur. Kütahya Zafer Havalimanı ise ticari uçuşların gerçekleştiği bir merkez olarak, 2022 yılı boyunca değişen seyahat talebini yansıtmıştır. Şubat ayında uçuş sayılarının düşük olması, kış koşulları ve pandemi etkilerinin devam ettiğini gösterirken, yaz aylarında özellikle ağustos ayında uçuş trafiği zirveye ulaşmıştır. 93 uçuşla en yoğun dönemini yaşayan havalimanı, pandeminin etkilerinden kademeli bir toparlanma sürecine girmiştir. COVID-19 öncesi dönemle karşılaştırıldığında 2022 yılında, uçak trafiğinde bir toparlanma sürecinin başladığını ancak henüz tam bir normale dönüş sağlanamadığını göstermektedir. Dış hat seferlerinin sayısının iç hatlara göre daha düşük kalması, uluslararası seyahat kısıtlamalarının ve belirsizliklerin etkilerini sürdüğünü ortaya koymaktadır. Genel olarak, Uşak Havalimanı eğitim odaklı ve sınırlı ticari uçuşlarla faaliyet gösterirken, Kütahya Zafer Havalimanı hem iç hatlar hem de dış hatlar için daha aktif bir ticari merkez olarak hizmet vermiştir. Bu farklılıklar, her iki havalimanının bulunduğu bölgelerdeki yolcu talebi ve ticari faaliyetlerin yoğunluğundan kaynaklanmaktadır.



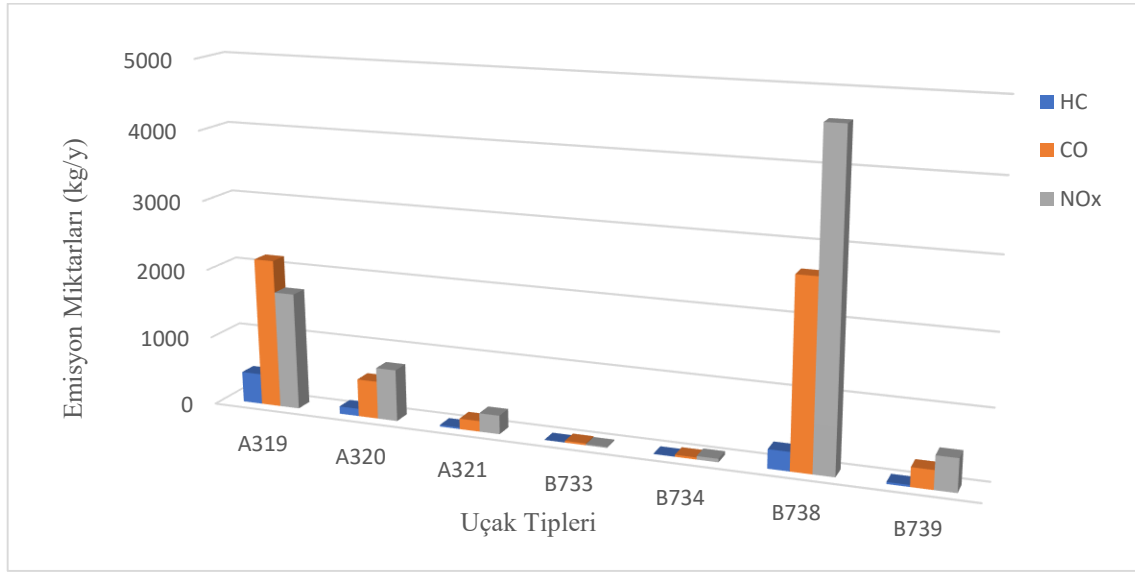
Şekil 5.41: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.



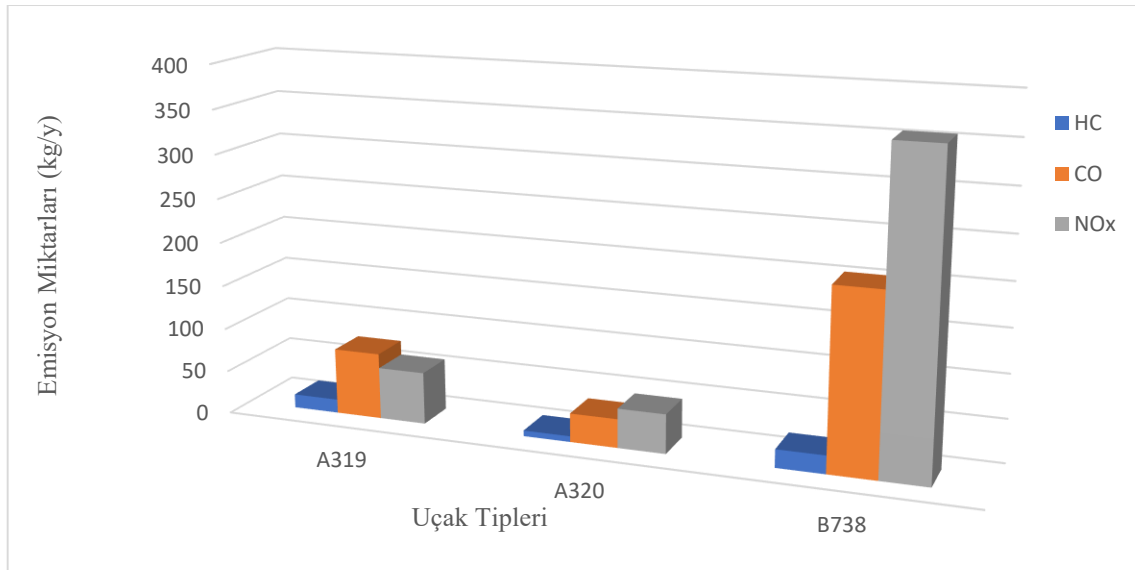
Şekil 5.42: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

Şekil 5.41 ve 5.42’de verilen 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarının kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları görülmektedir. Her iki havalimanında da B738 tipi uçaklar en yoğun kullanılan tür olmasına rağmen, Uşak Havalimanı’nda bu oran Zafer Havalimanı’na göre biraz daha yüksektir. A319 tipi uçakların kullanımı ise Zafer Havalimanı’nda Uşak’a göre daha yaygındır. Grafik incelendiğinde Zafer Havalimanına iniş/kalkış yapan uçakların büyük çoğunluğunu %71 ile B738 tipi uçak oluşturmaktadır. İkinci olarak %8 oranı ile A319 tipi uçak ve en az LTO sayısı olan uçak tipi A320 olmuştur. Bu dağılım, Uşak Havalimanı’nda özellikle B738 tipi uçakların daha yoğun kullanıldığını, A320 ve A319 uçaklarının ise daha düşük frekansta uçuş gerçekleştirdiğini göstermektedir. COVID-19 pandemisi, küresel havacılık sektörünü derinden etkilemiştir. Bu durum, verilerde de belirgin bir şekilde gözlemlenebilir.

Pandemi öncesine göre havalimanlarındaki uçak trafiğinde önemli düşüşler yaşanmış, bazı uçuşlar iptal edilmiş veya sefer sıklıkları azaltılmıştır. Uşak ve Zafer havalimanlarındaki uçak trafiğinin pandemi öncesine göre önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Pandemi döneminde yaşanan talep düşüşü, uçuş sıklıklarında azalma ve uçak filolarındaki değişiklikler, havacılık sektörünün çevre üzerindeki etkilerini azaltıcı yönde olmuştur. Uçak motorlarından kaynaklanan hava kirliliği de uçuş sayısındaki azalmasıyla birlikte azalmıştır. Uçuş sayısındaki azalma, havacılık sektörünün en önemli çevresel etkilerinden biri olan karbon emisyonlarında düşüşe neden olmuştur.

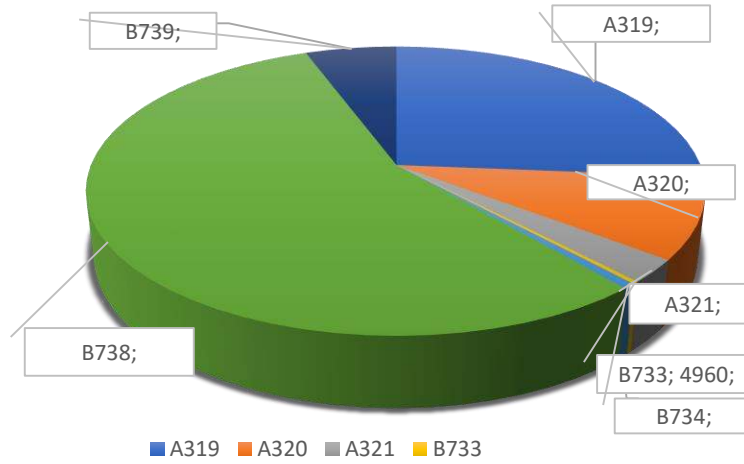


Şekil 5.43: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri(kg/y).

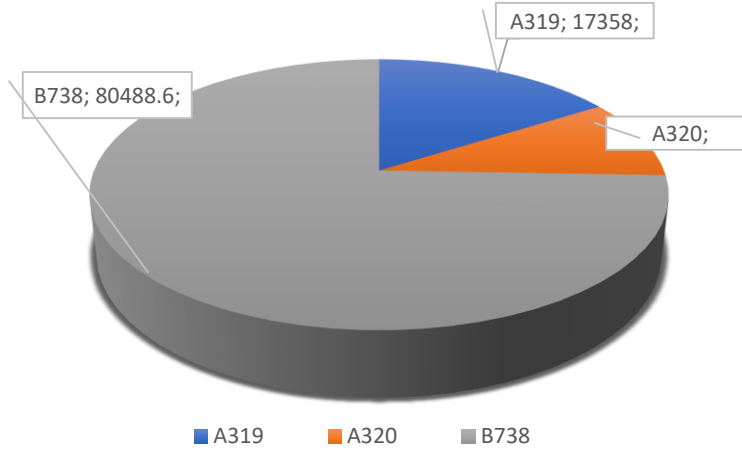


Şekil 5.44: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.43 ve 5.44'te 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarının kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC, CO ve NOx emisyonları kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm bu emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Emisyon değerlerini etkileyen bir diğer unsur her bir uçak tipinin kullanmış olduğu motor modeline göre motor bilgi bankasında belirlenmiş olan emisyon faktörleridir. Kütahya Zafer Havalimanını en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %30, CO oranı %45 ve NOx oranı %58 olarak hesaplanmıştır. Uşak havalimanında ise en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %48, CO oranı %65 ve NOx oranı %77 olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A319 tipi uçak için ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %36, CO oranı %24, NOx oranı %13 olarak hesaplanmıştır. 2022 yılında Zafer havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 877,8 kg/y, CO emisyonu 5825,46 kg/y, NOx emisyonu ise 7848,5 kg/y olarak hesaplanırken Uşak havalimanında ise kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 43,12 kg/y, CO emisyonu 313,92 kg/y, NOx emisyonu ise 461,5 kg/y olarak hesaplanmıştır.

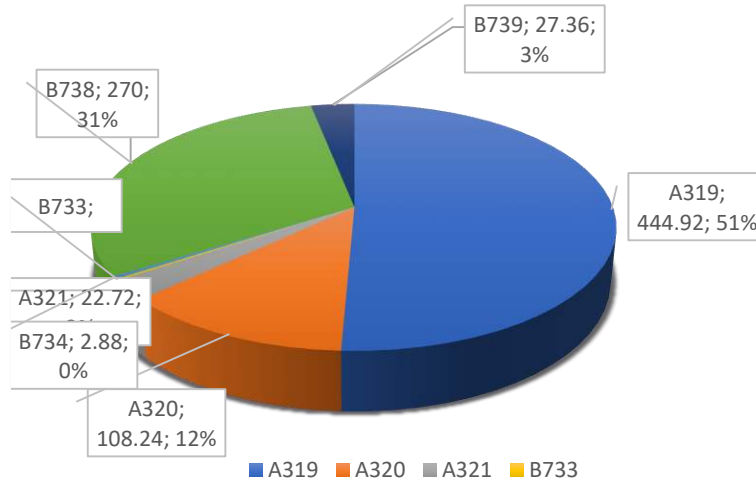


Şekil 5.45: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO₂ emisyon değerleri(kg/y).

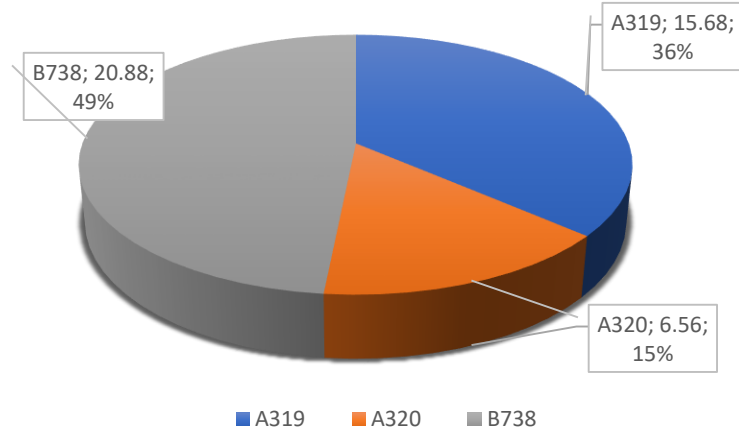


Şekil 5.46: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre CO₂ emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.45 ve 5.46’de 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO₂) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Kütahya Zafer Havalimanını en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki CO₂ oranı %55, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A319 tipi uçak için CO₂ oranı %26 olarak hesaplanmıştır. Uşak Havalimanında ise LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki CO₂ oranı %74, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A319 tipi uçak için CO₂ oranı %16 olarak hesaplanmıştır. 2022 yılında Zafer havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO₂ emisyonu 1873039,78 kg/yıl olarak hesaplanırken Uşak havalimanında ise uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO₂ emisyonu 108129,6 kg/yıl olarak hesaplanmıştır.

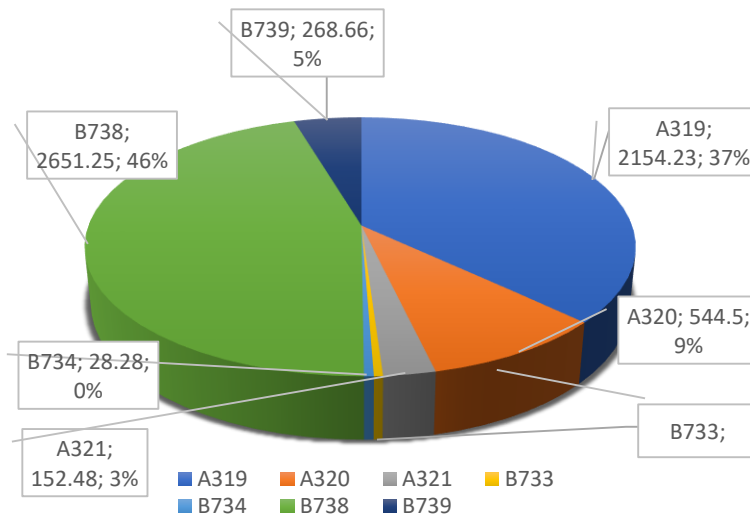


Şekil 5.47: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).

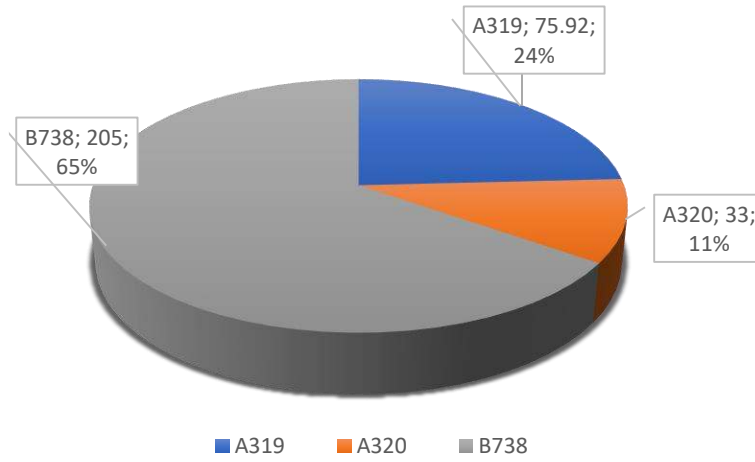


Şekil 5.48: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.47 ve 5.48’de 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (HC) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Kütahya Zafer Havalimanını en yüksek LTO sayısına sahip olan A319 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki HC oranı %51, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tipi uçak için HC oranı %31 olarak hesaplanmıştır. Uşak Havalimanında ise LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki HC oranı %39, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A319 tipi uçak için CO₂ oranı %36 olarak hesaplanmıştır. 2022 yılında Zafer havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyon miktarı 877,8 kg/y olarak hesaplanırken Uşak havalimanında ise uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyon miktarı 43,12 kg/y olarak hesaplanmıştır.

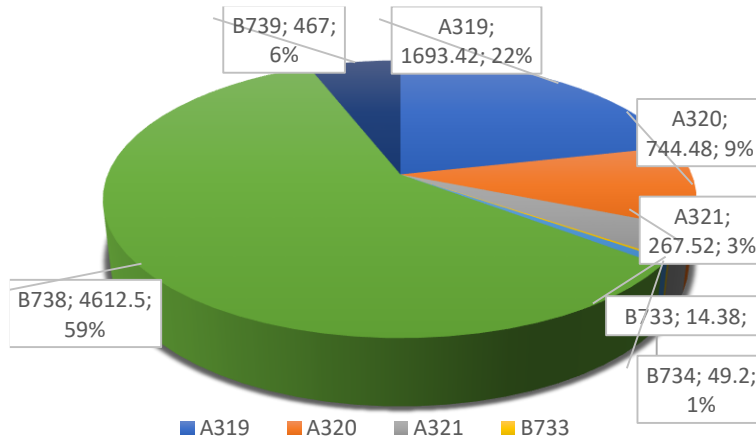


Şekil 5.49: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).

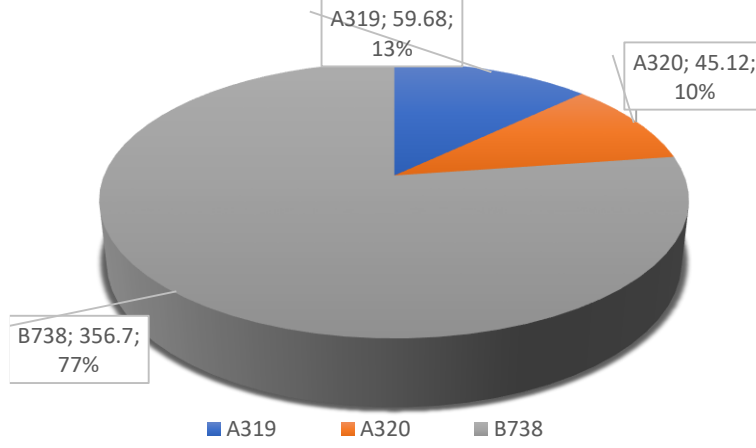


Şekil 5.50: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.49 ve 5.50’ de 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Zafer Havalimanı’nda 375 LTO ile B738 uçaklarının emisyonlara katkısı %46 seviyesinde gerçekleşirken, Uşak Havalimanı’nda 29 LTO ile B738 uçaklarının emisyonlara katkısı %65 olmuştur. Bu durum, Uşak Havalimanında sınırlı uçak trafiği nedeniyle her bir uçak tipinin toplam emisyonlar üzerindeki oranının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Zafer Havalimanının toplam CO emisyonu, Uşak Havalimanına göre yaklaşık 18 kat daha fazladır. Bu fark, Zafer Havalimanında yoğun ticari uçuşların gerçekleştiği ve daha fazla LTO sayısına sahip olduğu bir operasyonel yapıya işaret etmektedir. Her iki havalimanında da B738 uçak tipi, en yüksek CO emisyon oranına sahiptir. Ancak Zafer Havalimanında B738 uçaklarının emisyon oranı %46 ile daha düşük bir paya sahipken, Uşak Havalimanında bu oran %65 ile daha yüksektir.

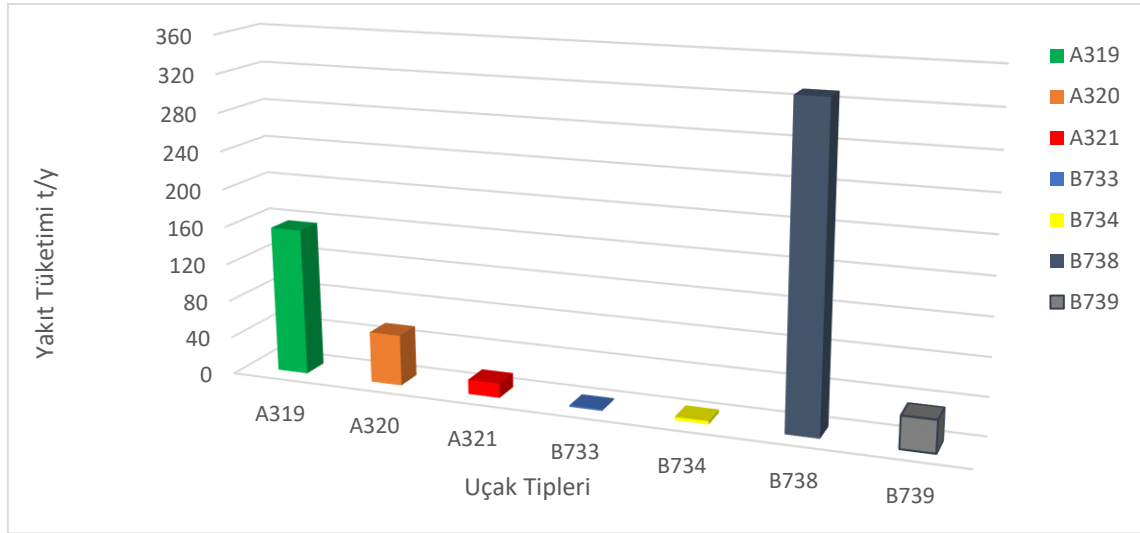


Şekil 5.51: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri(kg/y).

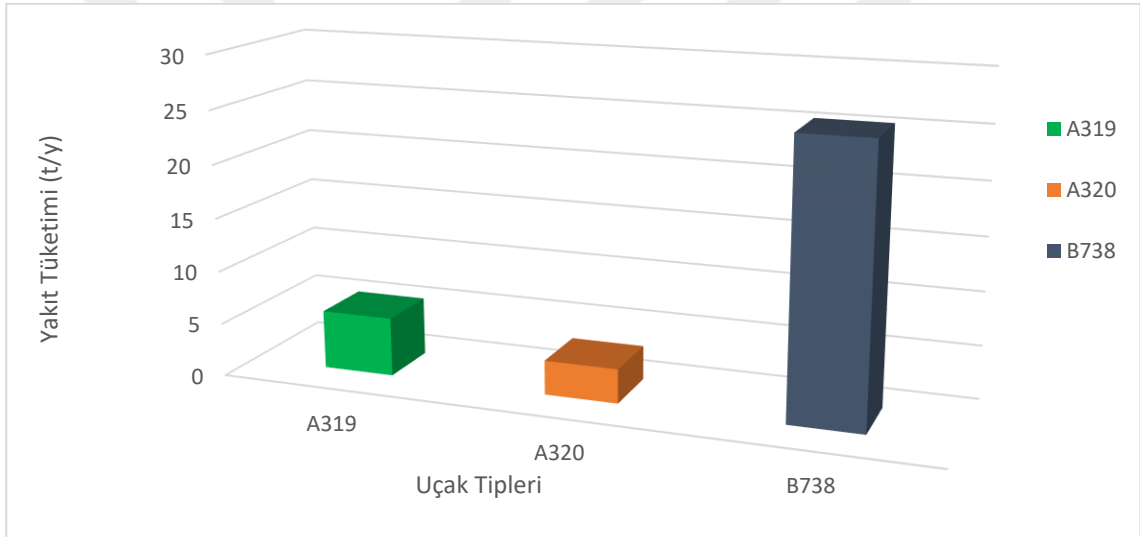


Şekil 5.52: 2022 yılı Uşak Havalimanı uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri(kg/y).

Şekil 5.51 ve 5.52’ de 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyon miktarları gösterilmektedir. Zafer Havalimanı’nda 375 LTO ile B738 uçaklarının emisyonlara katkısı %59 seviyesinde gerçekleşirken, Uşak Havalimanı’nda 77 LTO ile B738 uçaklarının emisyonlara katkısı %65 olmuştur. Bu durum, Uşak Havalimanında sınırlı uçak trafiği nedeniyle her bir uçak tipinin toplam emisyonlar üzerindeki oranının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Zafer Havalimanının toplam NOx emisyonu, Uşak Havalimanına göre yaklaşık 17 kat daha fazladır. Bu fark, Zafer Havalimanında yoğun ticari uçuşların gerçekleştiği ve daha fazla LTO sayısına sahip olduğu bir operasyonel yapıya işaret etmektedir. Her iki havalimanında da B738 uçak tipi, en yüksek CO emisyon oranına sahiptir. Pandemi sırasında elde edilen düşük emisyon seviyeleri, 2022 itibarıyla Zafer Havalimanı gibi ticari havalimanlarında hızla tersine dönmüştür. Bu durum, havacılık sektöründe karbon ve NOx azaltımına yönelik sürdürülebilir teknolojilerin ve politikaların daha fazla önem kazanmasını gerekli kılmıştır. Kütahya Zafer Havalimanında yüksek NOx emisyonları, çevre ve insan sağlığı üzerinde daha büyük bir tehdit oluşturmaktadır. NOx gazları, hava kirliliğine, ozon tabakasına zarar verilmesine ve solunum yolu hastalıklarına yol açabilir. Uşak Havalimanında düşük emisyon miktarları çevresel riskleri azaltmaktadır, ancak bu durum uçak trafiğinin azlığına bağlıdır.



Şekil 5.53: 2022 Yılı Kütahya Zafer Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).



Şekil 5.54: 2022 Yılı Uşak Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri(t/y).

Şekil 5.53 ve 5.54’ de 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyon miktarları gösterilmektedir. Zafer Havalimanında B738 uçakları, toplam yakıt tüketiminin %55’ini oluştururken, A319 uçakları %26 pay almıştır. Uşak Havalimanı B738 uçaklarının toplam yakıt tüketimine oranı %74 gibi yüksek bir seviyededir, ancak bu durum sınırlı uçuş sayısından kaynaklanmaktadır. Zafer Havalimanında yüksek uçuş trafiği (375 LTO), daha fazla yakıt tüketimine ve buna bağlı olarak çevresel etkilere yol açmıştır. Uşak Havalimanında düşük uçuş trafiği (29 LTO), yakıt tüketimini ve çevresel etkileri önemli ölçüde azaltmıştır. Pandemi sürecinde uçuş sayılarındaki düşüş, yakıt tüketiminde de büyük bir azalmaya neden olmuştur. Bu, özellikle Uşak Havalimanında eğitim uçuşlarının devam etmesi nedeniyle daha belirgin olmuştur. 2022 yılında pandemi sonrası toparlanma ile

Zafer Havalimanında uçuş trafiği artmış ve yakıt tüketimi pandemi öncesi seviyelere yaklaşmıştır.

Çizelge 5.5: 2022 yılı Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamaları

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	H ₂ O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	227	156170	492535,52	1693,42	131,66	192323,48	2154,23	444,92	136,2
A320	66	53860	169681,38	744,48	45,54	66256,74	544,5	108,24	4,62
A321	16	15300	48320	267,52	15,36	17185,6	152,48	22,72	1,44
B733	2	1560	4960	14,38	1,56	1965,6	26,06	1,68	0,2
B734	4	3520	11101,88	492	2,96	4335	28,28	2,88	0,28
B738	375	330370	1040801,2	4612,5	277,5	406406,25	2651,25	270	26,25
B739	38	33510	105640	467	33,44	41404,8	268,66	27,36	3,04

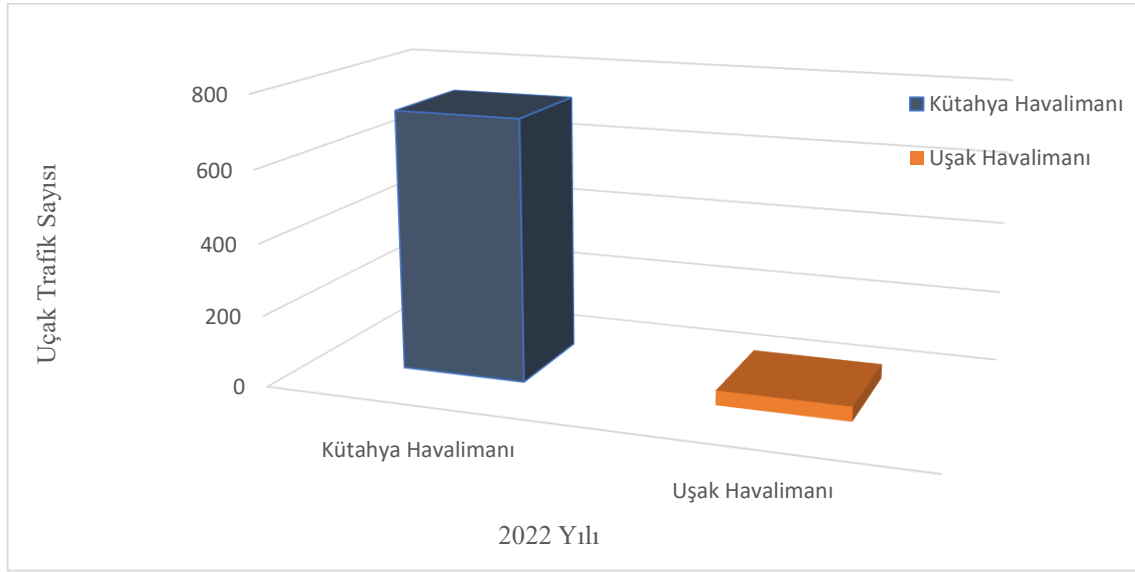
Çizelge 5.6: 2022 yılı Uşak Havalimanını kullanan uçakların tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamaları

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	H ₂ O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	8	5504	17358	59,68	4,56	6777,92	75,92	15,68	0,48
A320	4	3200	10283,72	45,12	2,76	4015,56	33	6,56	0,28
B738	29	25500	80488,6	356,7	21,46	31428,75	205	20,88	2,03

Çizelge 5.5 ve 5.6’da 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri, karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), sülfür oksit (SO_x), su buharı (H₂O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri birlikte verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi B738 olup toplam 594,3 yakıt tüketmiştir. B738 tipi uçak için çevre havaya salınan CO₂ oranı %55, NO_x oranı %59, SO_x oranı %54, H₂O oranı %55, CO oranı %46, HC oranı %31 ve PM oranı ise %15 olmaktadır. 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanını çevre havaya salınan toplam CO₂ emisyonu 1873039,78 kg/yıl, NO_x emisyonu kg/y, SO_x emisyonu 508,2kg/y, H₂O emisyonu 729877,05kg/y, CO emisyonu 5825,46 kg/y, HC emisyonu 7848,5 kg/y ve PM emisyonu ise 172,03kg olarak hesaplanmıştır. Uşak havalimanında ise LTO sayısına sahip uçak tipi B738 olup toplam 34,2 ton yakıt tüketmiştir. B738 tipi uçak için çevre havaya salınan CO₂ oranı %74, NO_x oranı %77, SO_x oranı %74, H₂O oranı %74, CO oranı %65, HC oranı %19 ve PM oranı

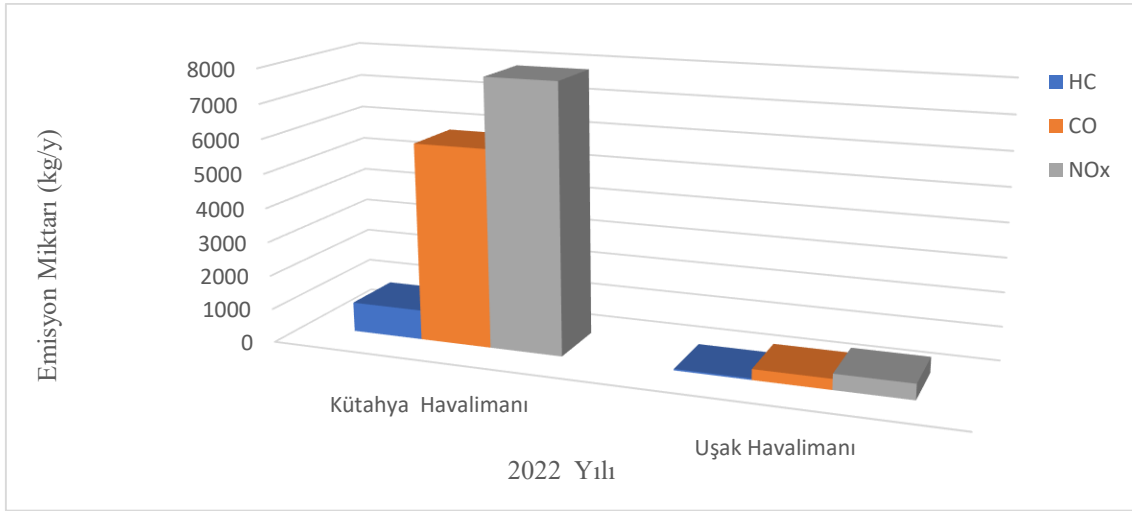
ise %82 olmaktadır. 2020 yılında çevre havaya salınan toplam CO₂ emisyonu 486191,98 kg/yıl, NO_x emisyonu 461,5 kg/y, SO_x emisyonu 28,78/y, H₂O emisyonu 42222,23 kg/y, CO emisyonu 313,92 kg/y, HC emisyonu 43,12 kg/y ve PM emisyonu ise 2,79 kg olarak hesaplanmıştır. Zafer Havalimanı pandemi sonrası uçuş trafiğinin artışıyla emisyon değerlerinde ciddi bir artış yaşanmıştır.

5.8 2022 Yılına Ait Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Uçak Emisyonları Toplamı



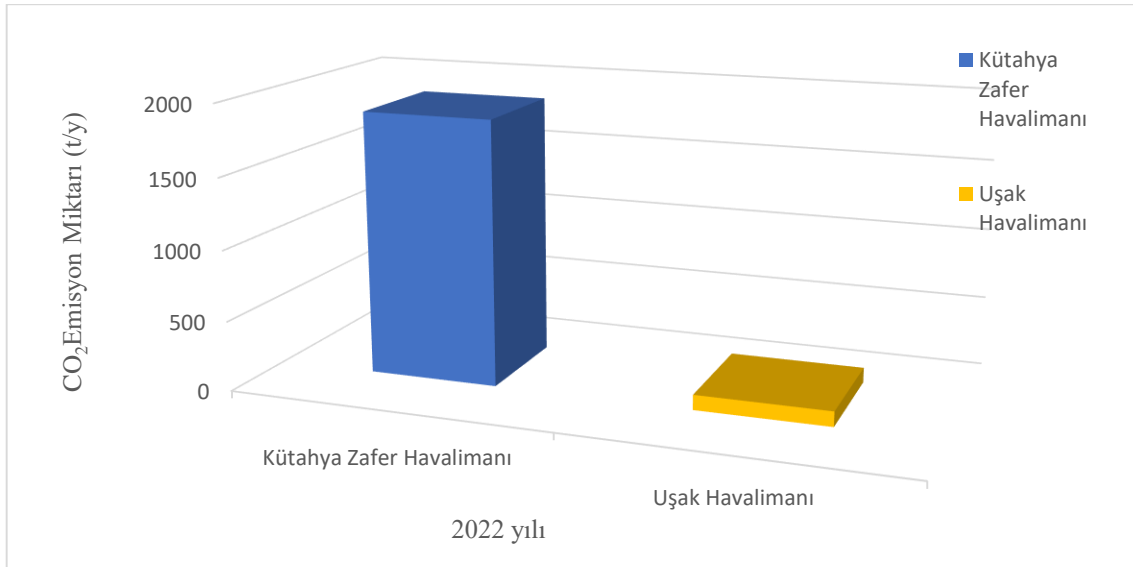
Şekil 5.55: 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları toplam uçak trafik sayısı.

Şekil 5.55'te 2022 yılında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarında gerçekleşen uçak trafiği karşılaştırılmaktadır. Kütahya Havalimanı'nda 728 uçuş gerçekleşmişken, Uşak Havalimanı'nda yalnızca 41 uçuş gerçekleşmiştir. Bu büyük fark, uçak trafiğinin Kütahya'da çok daha yoğun olduğunu göstermektedir. Kütahya'daki havalimanının daha fazla uçuş alması, o bölgedeki ekonomik, turistik veya lojistik faaliyetlerin daha yoğun olduğunu gösterebilir. Uşak'taki düşük uçak trafiği, havalimanının düşük kullanım oranlarını veya bölgesel ekonomik koşulları işaret edebilir. 2022 yılı pandemi sonrası toparlanma dönemi ise, havalimanlarının kullanım oranlarının eski seviyelere ulaşma sürecinde olması bu farklara neden olmuştur.



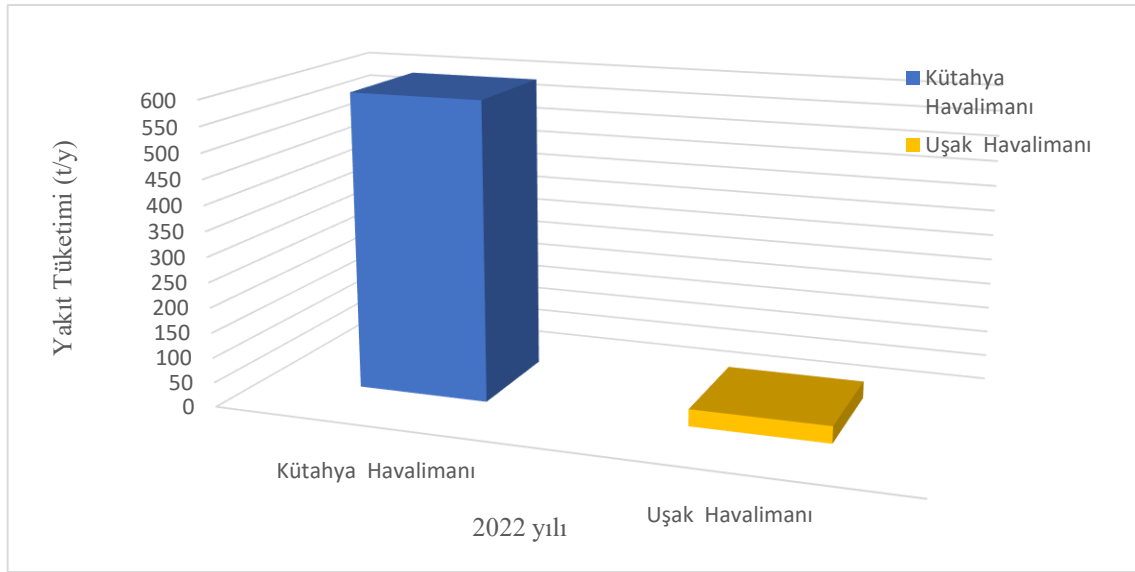
Şekil 5.56: 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları HC, CO ve NO_x Emisyonları (kg/y).

Şekil 5.56’da 2022 yılında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların çevresel etkileri değerlendirilmiştir. HC, CO ve NO_x emisyonlarının çevreye salınma miktarları incelenmiştir. Bu emisyonların 2022 yılı boyunca nasıl değiştiğini göstermektedir. İncelenen verilere göre, 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı’ndan kalkan uçakların HC, CO ve NO_x emisyonlarının Uşak havalimanına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçaklardan çevre havaya salınan HC, CO ve NO_x emisyon değerleri sırasıyla 877,8 kg/y, 5825,46 kg/y ve 7848,5 kg/y, olarak gerçekleşirken aynı dönemde Uşak havalimanı için belirtilen emisyon değerleri ise sırasıyla 43,12 kg/y, 313,92 kg/y ve 461,5 kg/y’ dır.



Şekil 5.57: 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları CO₂ Emisyonları (t/y).

Şekil 5.57’de 2022 yılında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarından kalkan uçakların çevreye saldığı karbondioksit (CO₂) emisyon miktarları verilmiştir. 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı çevre havaya salınan karbondioksit (CO₂) emisyonu 1873 ton olarak hesaplanmıştır. Kütahya Zafer Havalimanı çevre havaya salınan karbondioksit (CO₂) emisyonu 108,12 ton olarak hesaplanmıştır. COVID-19 pandemisi 2022 yılında da havalimanları üzerindeki etkisini sürdürmüş olabilir. Kütahya Zafer Havalimanı, pandemiden sonra daha fazla uçuş gerçekleştirirken, Uşak Havalimanı’nda uçuşların sınırlı kalması, emisyon farkının önemli bir nedeni olabilir. Pandeminin etkileri azaldıkça, uçuş trafiği arttıkça emisyon miktarlarının da yeniden yükselmesi muhtemeldir.



Şekil 5.58: 2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları Yakıt tüketimleri (t/y).

Şekil 5.58’de 2022 yılında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarında operasyon yapan uçakların iniş ve kalkış (LTO) sayılarına göre tüketmiş oldukları yakıt miktarlarına dair veriler sunulmuştur. 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı’nda 594,3 ton, Uşak Havalimanı’nda ise 34,2 ton yakıt tüketildiği görölmektedir. Bu fark, Kütahya Zafer Havalimanı’ndaki uçuş sayısının ve yolcu taşımacılığının Uşak Havalimanı’na kıyasla çok daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. COVID-19 pandemisi, 2020-2021 yıllarında havacılık sektöründe büyük düşüşlere neden olmuş ancak 2022’de havacılık sektörü toparlanma sürecine girmiştir. Kütahya Zafer Havalimanı’ndaki yüksek yakıt tüketimi, havalimanının pandemiden sonra daha fazla uçuş gerçekleştirdiğini ve Uşak Havalimanı’nın ise bu toparlanmayı sınırlı bir ölçüde yaşadığını göstermektedir.

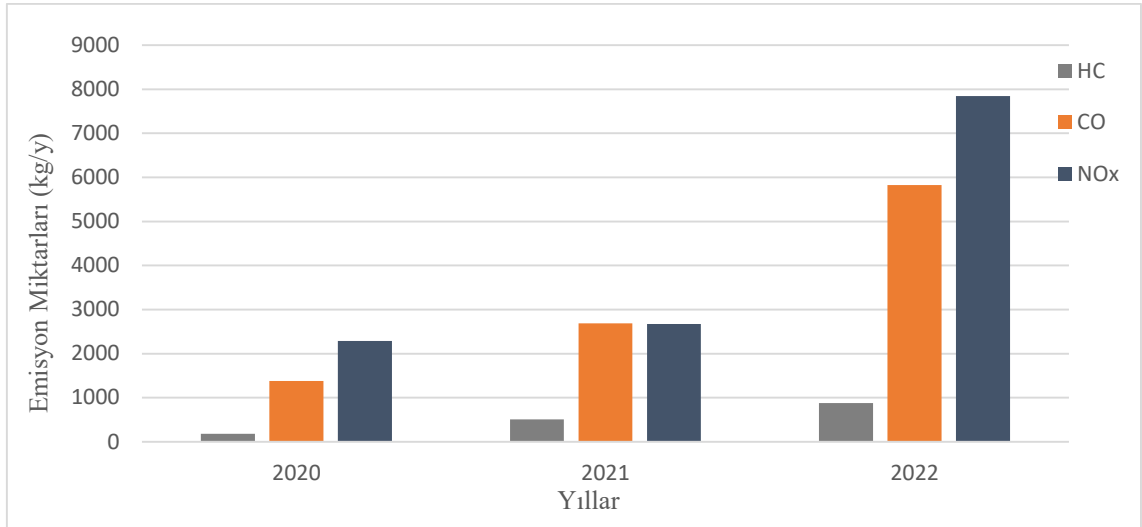
5.9 2020-2022 Yıllarına Ait Kütahya Zafer Havalimanı (3Yıllık) Uçak Emisyonları Toplamı

Bu başlık altında 2020-2022 yılları arası iki yılı kapsayan uçak trafiği, yolcu sayıları, karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyonları, uçuş süreçlerine bakılarak emisyon değerleri ve tüketilen yakıt miktarları kıyaslama yapılmıştır.



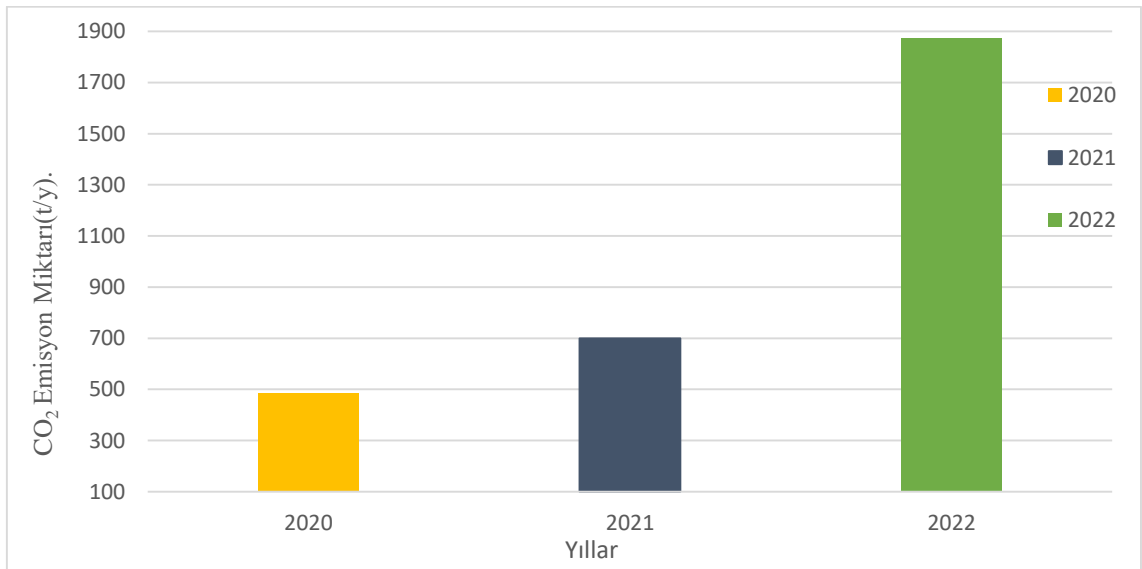
Şekil 5.59: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı toplam uçak trafiği.

Şekil 5.59’da 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı kullanılan uçakların iniş/kalkış sayıları verilmiştir. 2020-2022 yılları arasında Kütahya Zafer Havalimanı’ndaki uçak trafiği verilerine bakıldığında, COVID-19 pandemisinin etkileri net bir şekilde görülmektedir. 2020 yılında pandeminin en yoğun yaşandığı dönemde uçak trafiği 171 uçuş ile oldukça düşük kalmıştır. 2021 yılında kademeli bir toparlanma görülmüş ve uçuş sayısı 306’ya yükselmiştir. 2022 yılında ise pandeminin etkilerinin azalması ve seyahat kısıtlamalarının büyük ölçüde kaldırılmasıyla uçak trafiği 728 uçuşa çıkarak, önceki yıllara kıyasla büyük bir artış göstermiştir. Bu tablo, havacılık sektörünün pandemiden sonra toparlandığını ve uçuş trafiğinin eski seviyelerine yaklaşmaya başladığını göstermektedir. Havacılık sektörü, küresel karbondioksit (CO₂) salınımının yaklaşık %2-3’ünü oluşturmaktadır. Bir uçağın uçuş sırasında yaktığı yakıt, atmosfere CO₂, azot oksitler (NO_x), su buharı ve parçacıklar gibi sera gazlarını yayar. Özellikle pandemi döneminde uçuşların azalması, emisyonlarda geçici bir düşüş sağladı. 2022 yılında uçuş trafiğinin artmasıyla birlikte yakıt tüketimi yükseldi. Atmosfere salınan sera gazı emisyonları yeniden arttı. Bu durum, küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.



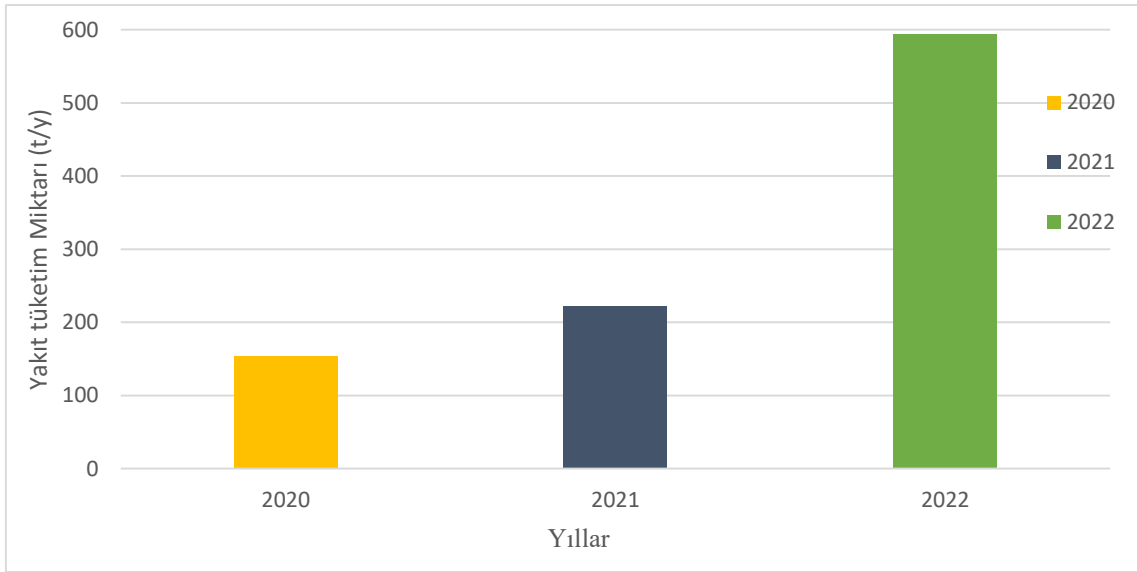
Şekil 5.60: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı HC, CO ve NO_x Emisyonları (kg/y).

Şekil 5.60'da 2020-2022 yılları arasında Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların çevreye yaydıkları HC, CO ve NO_x emisyonları gösterilmiştir. HC ve CO, sera gazı etkisini artıran gazlardır. Bu emisyonların artışı, küresel ısınmaya sebep olur. Yüksek NO_x emisyonları, tarımsal üretimi ve doğal ekosistemleri olumsuz etkileyebilir. HC, CO ve NO_x emisyonlar 2020-2022 yıllarını incelediğimizde, 2020 yılındaki görece düşük emisyonlar, COVID-19 pandemisinin etkisiyle azalan uçuş sayılarına bağlanabilir. 2021 ve 2022 yıllarında uçuşların normalleşmesiyle emisyon miktarlarında ciddi artışlar gözlenmiştir. Bu durum, havalimanı faaliyetlerinin çevresel etkilerinin daha iyi kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu üç yıllık süreçte çevre havaya gönderilen emisyon toplamı HC için 1,48 ton, CO için 9,14 ton ve NO_x için 11,27 ton olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.61: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı CO₂ Emisyon Miktarı (t/y).

Şekil 5.61’de 2020 -2022 yılları arasında Kütahya Zafer Havalimanı kullanan uçakların çevreye saldıkları karbondioksit (CO₂) emisyon değerleri yıl bazında verilmiştir. CO₂, uçaklardan kaynaklanan en önemli sera gazlarından biridir ve küresel ısınma ile doğrudan ilişkilidir. CO₂ emisyon miktarı 486 kg/y olarak gerçekleşmiştir. CO₂ emisyon miktarı 700 kg/y olarak artış göstermiştir. Pandemi sonrası toparlanma sürecinde uçuş sayısında artışlar gözlenmiştir. Bu artış, emisyon değerlerine doğrudan yansımıştır. CO₂ emisyon miktarı 1873 kg/y olarak büyük bir artış göstermiştir.CO₂ emisyonlarındaki artış, küresel sera gazı seviyelerini artırarak iklim değişikliğini hızlandırır. Bu durum, sıcaklık artışları, buzulların erimesi ve deniz seviyesindeki yükselme gibi küresel sorunlara yol açar.

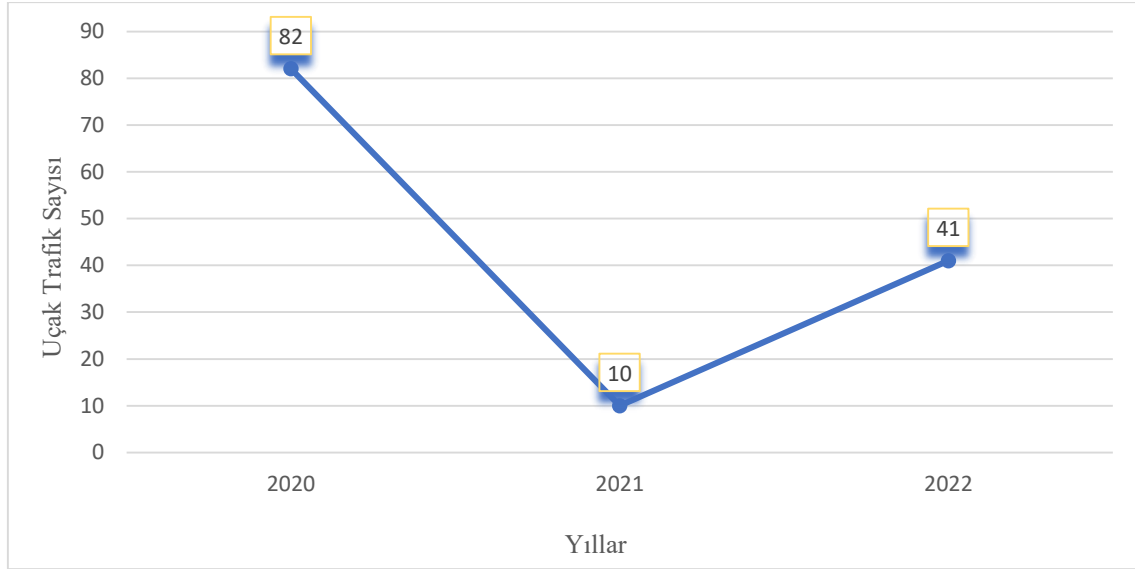


Şekil 5.62: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanı Yakıt tüketimleri (t/y).

Şekil 5.62’de 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçakların LTO sayılarına göre tükettikleri yakıt miktarları verilmiştir. Şekil incelendiğinde 3 yıllık zaman içerisinde 2020 yılından 2022 yılına kadar tüketilen yakıt miktarlarının artış gösterdiğini ve Covid-19 etkisinin azalmasıyla uçuş sayılarının artmasıyla yakıt sarfiyatı artmıştır. Görüldüğü üzere, havalimanındaki yakıt tüketimi 2020'den 2022'ye doğru belirgin bir artış göstermiştir. 2020 yılında 153,72 ton olan yakıt tüketimi, 2021'de 222,3 tona ve 2022'de ise 594,3 tona yükselmiştir. Bu üç yıllık süreçte uçaklar toplam 970,32 ton yakıt tüketmiştir. 2020 yılında yaşanan COVID-19 pandemisi, hava taşımacılığı sektörünü olumsuz etkilemiştir. 2021 ve 2022 yıllarında pandeminin etkilerinin azalmasıyla birlikte havalimanı faaliyetlerindeki canlanma, yakıt tüketimindeki artışa neden olmuştur.

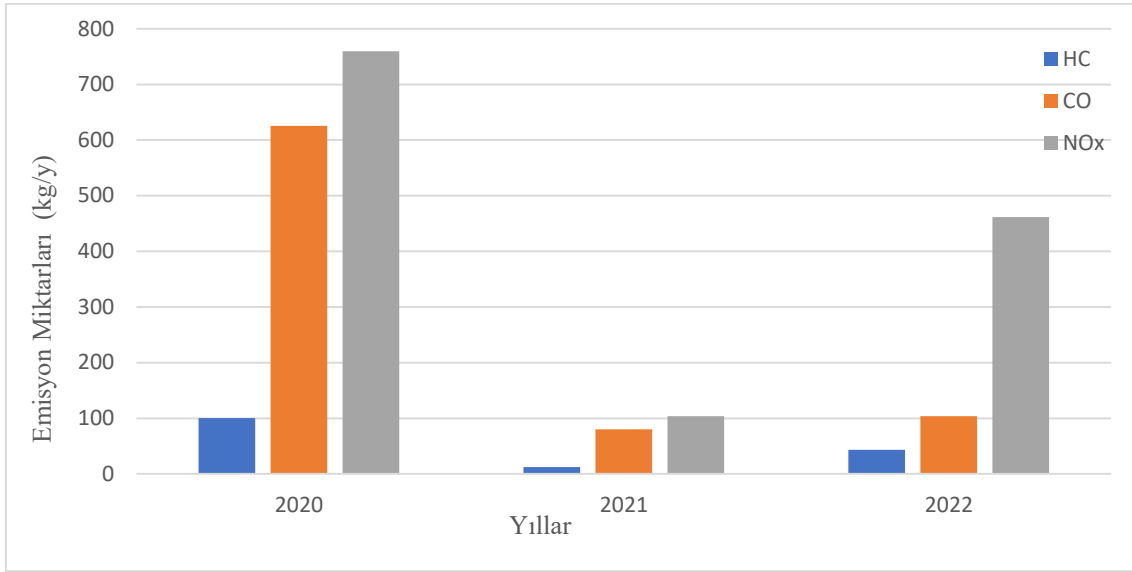
5.10 2020-2022 Yıllarına Ait Uşak Havalimanı (3Yıllık) Uçak Emisyonları Toplamı

Bu başlık altında 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanının iki yılı kapsayan uçak trafiği, yolcu sayıları, karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyonları, uçuş süreçlerine bakılarak emisyon değerleri ve tüketilen yakıt miktarları kıyaslama yapılmıştır.



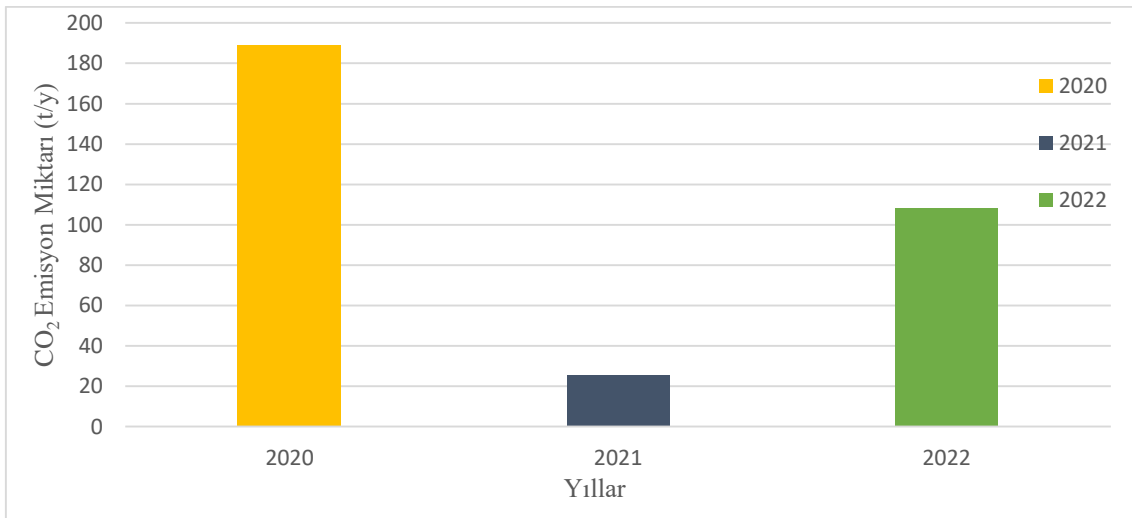
Şekil 5.63: 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı toplam uçak trafik sayısı.

Şekil 5.63'te 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı kullanılan uçakların iniş/kalkış sayıları verilmiştir. Uşak Havalimanı'nda 2020-2022 yılları arasında uçak trafiğinde belirgin bir dalgalanma yaşandığı görülmektedir. 2020 yılında en yüksek seviyeye ulaşan uçak trafiği, 2021'de önemli bir düşüş yaşamış ve 2022'de ise kısmi bir toparlanma göstermiştir. Pandemi öncesinde planlanan seyahatlerin ertelenmesi ve pandemi başlangıcında yaşanan belirsizliklerin ardından, insanlar seyahat etme ihtiyacı hissetmiş olabilirler. Pandeminin ikinci dalgası ile ortaya çıkan yeni varyantlar, seyahat kısıtlamalarının yeniden getirilmesine ve insanların seyahatten çekinmesine neden olmuştur. Havalimanı yönetimi, pandemi döneminde yolcu sayısını artırmak için özel kampanyalar düzenlemiş ve bu durum uçak trafiğini olumlu etkilemiş olmaktadır. Aşılama sürecindeki yavaşlık, insanların seyahat konusunda güven duymasını engellemiş ve uçak trafiğini olumsuz etkilemiş olabilir. Aşılama oranlarının artmasıyla birlikte insanların seyahat konusunda daha rahatlaması, uçak trafiğinin kısmi olarak toparlanmasına katkı sağlamıştır. Uçak motorlarından çıkan egzoz gazları, özellikle karbondioksit, azot oksitler ve partikül madde gibi hava kirleticileri atmosfere salarak hava kalitesini düşürür ve sera gazı etkisini artırarak iklim değişikliğine neden olmaktadır.



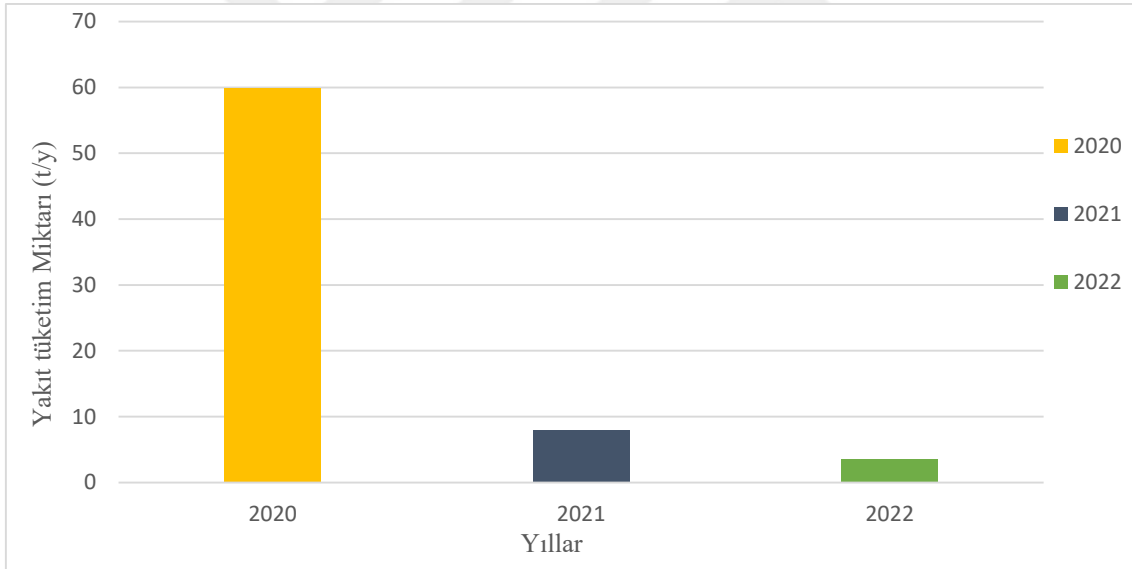
Şekil 5.64: 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı HC, CO ve NO_x Emisyonları (kg/y).

Şekil 5.64'te 2020-2022 yılları arasında Uşak Havalimanını kullanan uçakların çevreye yaydıkları HC, CO ve NO_x emisyonları gösterilmiştir. Uşak Havalimanı'ndan kaynaklanan hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarının 2020-2022 yılları arasındaki değişimini göstermektedir. Şekilde dikkat çeken en önemli nokta, pandemi dönemiyle birlikte tüm emisyon türlerinde belirgin bir düşüş yaşanmasıdır. 2020'de en yüksek seviyelerde olan emisyonlar, 2021'de önemli ölçüde azalmış ve 2022'de ise kısmi bir artış göstermiştir. Havalimanındaki emisyonlardaki düşüş, bu küresel olayın yerel bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Pandemi, insan kaynaklı faaliyetlerin azalmasıyla birlikte, havanın kendini temizleme mekanizmalarının nasıl işlediğini gözlemleme fırsatı sunmuştur. Bu üç yıllık süreçte çevre havaya gönderilen emisyon toplamı HC için 237,18 kg, CO için 1,77 ton ve NO_x için 2,85 ton olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.65: 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı CO₂ Emisyonları (t/y).

Şekil 5.65'te 2020-2022 yılları arasında Uşak Havalimanı kullanan uçakların çevreye saldıkları karbondioksit (CO₂) emisyon değerleri yıl bazında verilmiştir. 2020-2022 yılları arasında CO₂ emisyonu değerleri yıllar geçtikçe salgın hastalığın azalmasıyla birlikte LTO sayılarının artması CO₂ değerlerinde artış görülmektedir. Emisyonlardaki bu düşüş, sadece Uşak Havalimanı çevresi için değil, küresel ölçekte de önemli bir gelişmedir. Azalan CO₂ emisyonları, iklim değişikliğinin etkilerini yavaşlatmaya yardımcı olmuş, küresel ısınmanın hızını azaltmıştır. Bu durum, özellikle havaalanı çevresinde yaşayan insanlar için daha temiz bir hava anlamına gelmektedir. Pandemi, Uşak Havalimanı CO₂ emisyonlarında önemli bir düşüşe neden olmuştur. Bu durum, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir adım olmuştur. Pandemi sonrası dönemde emisyonların seyri, seyahat talebi, teknolojik gelişmeler ve uygulanan politikalara bağlı olacaktır. Havacılık sektörü, daha sürdürülebilir bir gelecek için dönüşüm sürecine girmiştir. 2021 yılında LTO sayılarının düşmesiyle CO₂ değerlerinin düşmesi görülmektedir. Üç yıllık sürede çevre havaya salınan toplam karbondioksit (CO₂) emisyonu 322,37 ton olarak hesaplanmıştır.

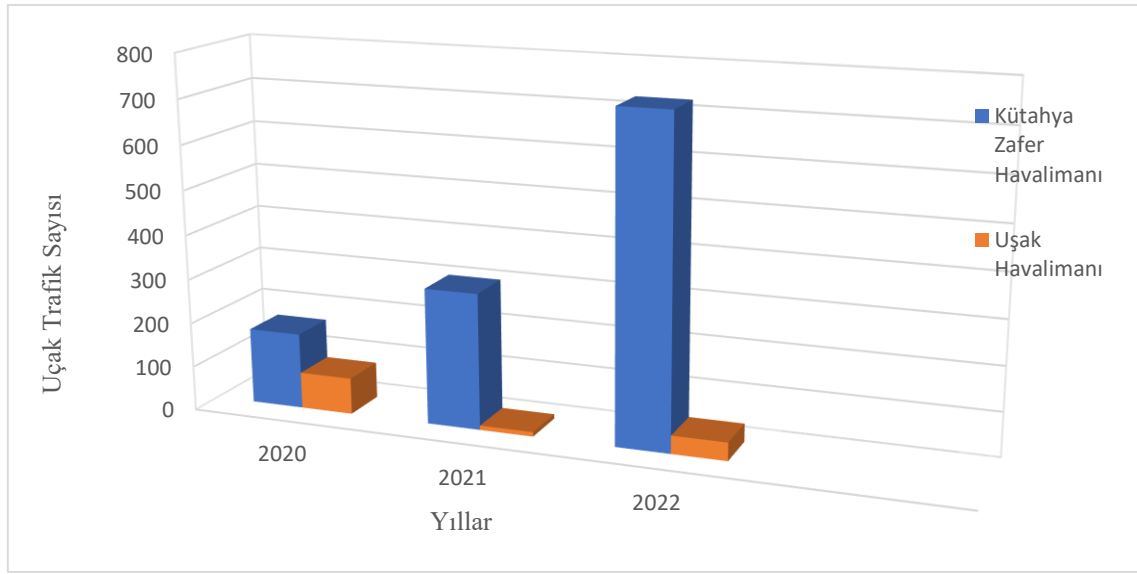


Şekil 5.66: 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanı Yakıt tüketimleri (t/y).

Şekil 5.66'da 2020-2022 yılları arası Uşak Havalimanını kullanan uçakların LTO sayılarına göre tükettikleri yakıt miktarları verilmiştir. Üç yıllık süreçte uçaklar toplam 102,18 ton yakıt tüketmiştir. Şekil incelendiğinde 3 yıllık zaman içerisinde 2020 yılı itibarıyla uçuş sayılarını düşürmesi ve 2021 yılı boyunca devam eden kısıtlamaların etkisiyle sınırlı kalan uçuşların, 2022 yılına doğru normale dönmesiyle ilişkilendirilebilir. 2021 yılına gelindiğinde, LTO döngü sayılarındaki düşüşe bağlı olarak yakıt tüketiminde de bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalma, pandemi etkilerinin havacılık sektörü üzerindeki belirgin etkisini yansıtmaktadır. Ancak 2022 yılı itibarıyla Covid-19 etkisinin hafiflemesi, aşılamanın yaygınlaşması ve

uluslararası seyahat kısıtlamalarının kaldırılması gibi faktörlerle birlikte uçuş operasyonları tekrar artmış ve buna bağlı olarak yakıt tüketiminde de bir yükseliş gözlemlenmiştir. Bu üç yıllık süreçte uçaklar toplam 102,18 ton yakıt tüketmiştir. Uşak Havalimanı'ndaki uçuş operasyonlarının 2020-2022 yılları arasında yakıt tüketim miktarları ve buna bağlı emisyon salınım değerleri hem bölgesel hem de küresel ölçekte çevresel etkileri dikkate alınması gereken bir durumu ortaya koymaktadır.

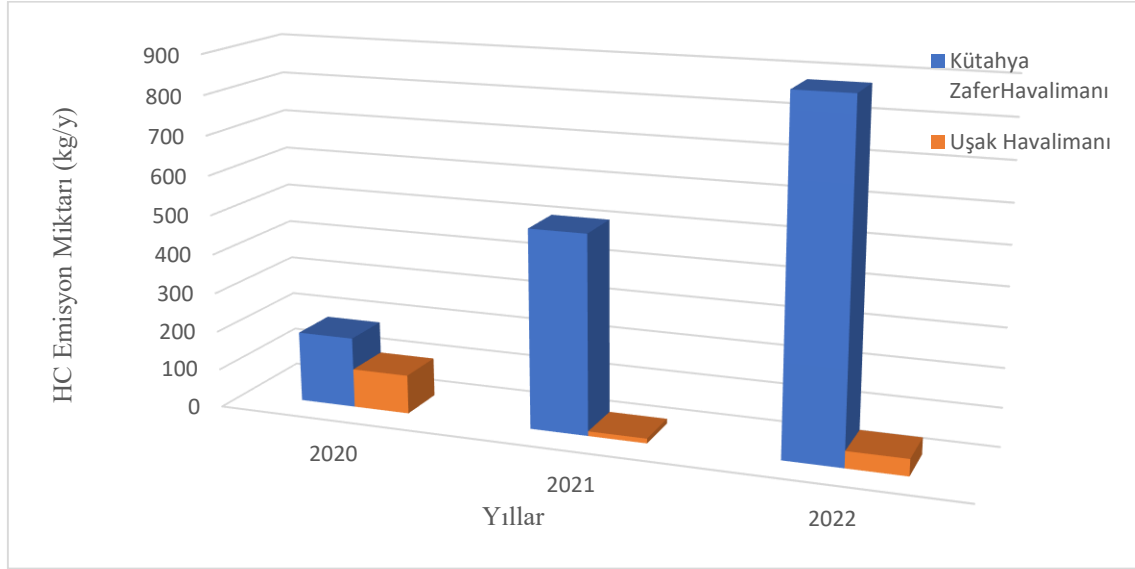
5.11 2020-2022 Yılları Ait Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı Uçak Emisyonlarının Karşılaştırılması



Şekil 5.67: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları toplam uçak trafik sayısı.

Şekil 5.67'de 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanılan uçakların iniş/kalkış sayıları verilmiştir. Kütahya Zafer Havalimanı 2020 yılında 171 uçuş ile başlayan havalimanı, 2021'de 306'ya, 2022'de ise 728'e çıkarak önemli bir artış göstermiştir. Uşak Havalimanı 2020 yılında 82 uçuş ile başlayan havalimanı, 2021'de 10'a kadar düşmüş, 2022'de ise 41'e yükselmiştir. Ancak, genel olarak Kütahya Zafer Havalimanı'na göre daha düşük bir trafik seviyesinde kalmıştır. Pandeminin başlamasıyla birlikte seyahat kısıtlamaları nedeniyle her iki havalimanında da uçuş sayıları önemli ölçüde azalmıştır. Özellikle Uşak Havalimanı'ndaki düşüş, Kütahya Zafer Havalimanı'na göre daha belirgindir. 2021 yılında pandemi kısıtlamalarının gevşemesiyle birlikte hava trafiği yavaş yavaş artmaya başlamıştır. Kütahya Zafer Havalimanı'nda bu artış daha belirgin olurken, Uşak Havalimanı'nda uçuş sayıları hala oldukça düşüktür. 2022 yılında pandemi etkileri azalmaya devam etmiş ve hava trafiği önemli ölçüde artmıştır. Kütahya Zafer Havalimanı bu artıştan önemli ölçüde

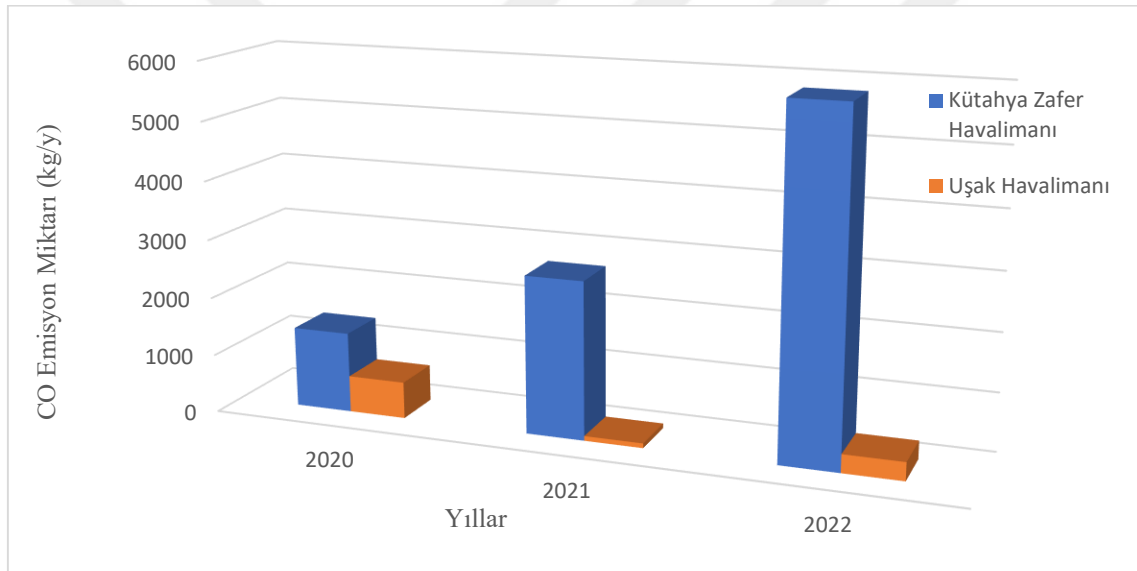
etkilenirken, Uşak Havalimanı'nda da belli bir toparlanma görülmüştür. Uçakların yakıtları sonucu ortaya çıkan karbondioksit, azot oksitler ve partikül madde gibi gazlar, sera etkisi oluşturarak iklim değişikliğine katkıda bulunur ve solunum yolu hastalıklarına neden olur. Uçakların kalkış ve inişleri sırasında oluşan yüksek ses seviyesi, çevredeki yerleşim yerlerinde yaşayan insanlar için ciddi bir rahatsızlık kaynağıdır. Sürekli ve yüksek şiddetteki gürültü, uyku bozuklukları, stres ve diğer sağlık sorunlarına yol açabilir.



Şekil 5.68: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları toplam HC Emisyonları (kg/y).

Şekil 5.68’de 2020 -2022 yıllarında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların HC emisyonunun çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Şekilde bu emisyonların söz konusu yıllar boyunca nasıl değişim gösterdiğini ve pandemi gibi küresel olayların emisyon seviyeleri üzerindeki etkisini açıkça gözler önüne sermektedir. 2020 yılı, COVID-19 pandemisinin küresel çapta etkisini göstermeye başladığı bir dönemdir. Pandemi nedeniyle dünya genelinde uygulanan seyahat kısıtlamaları, hava trafiğinde belirgin bir azalmaya neden olmuş ve bu durum havalimanlarından kaynaklanan emisyonların da düşmesine yol açmıştır. Grafikten görüldüğü üzere, 2020 yılında hem Kütahya Zafer Havalimanı hem de Uşak Havalimanı'nda HC emisyonları oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. 2021 yılı, pandemi kısıtlamalarının kademeli olarak gevşetildiği ve hava trafiğinin yavaş yavaş toparlanmaya başladığı bir dönemdir. Ancak bu toparlanma, pandemi öncesi dönem olan 2019 yılındaki seviyelere ulaşamamıştır. 2021 yılı, pandemi kısıtlamalarının kademeli olarak gevşetildiği ve hava trafiğinin yavaş yavaş toparlanmaya başladığı bir dönemdir. Ancak bu toparlanma, pandemi öncesi dönem olan 2019 yılındaki seviyelere ulaşamamıştır. HC emisyonları, havadaki

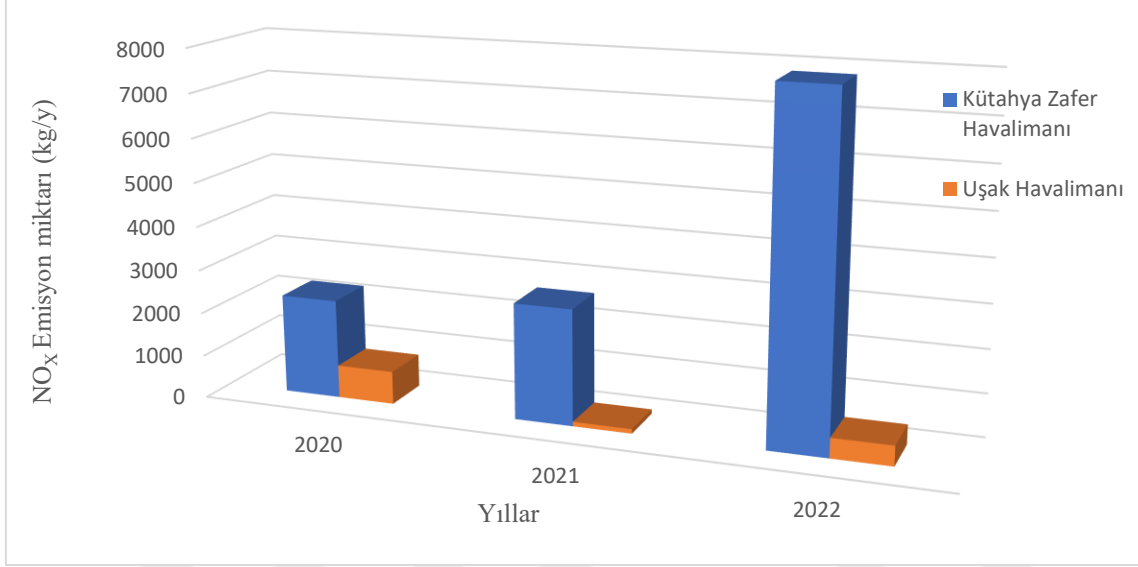
uçucu organik bileşiklerin artmasına neden olur ve bu bileşikler, güneş ışığı ve diğer gazlarla etkileşime girerek troposferik ozon oluşumunu tetikler. Troposferik ozon hem insan sağlığına zarar veren hem de çevresel bozulmalara yol açan bir bileşendir. HC emisyonlarının artışı, özellikle havalimanlarına yakın yerleşim alanlarında hava kalitesini olumsuz etkileyebilir ve solunum yolu hastalıkları, alerjik reaksiyonlar ve kalp-damar rahatsızlıkları gibi sağlık sorunlarına yol açabilir. Kütahya Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı'nda gözlemlenen HC emisyonları, hava trafiğinin pandemi sürecindeki dalgalanmalarından doğrudan etkilenmiştir. Emisyonların çevresel ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için, sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımı, daha düşük emisyonlu uçak motorlarının geliştirilmesi ve uçuş operasyonlarının çevresel etkilerini azaltmaya yönelik politikaların uygulanması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 5.69: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları toplam CO Emisyonları (kg/y).

Şekil 5.69'da 2020 -2022 yıllarında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların CO emisyonunun çevresel etkileri değerlendirilmiştir. CO, uçak motorlarının yanması sonucu ortaya çıkan ve hem insan sağlığı hem de çevre için zararlı bir hava kirleticidir. Kütahya Zafer havalimanının CO emisyonları, özellikle 2021 ve 2022 yıllarında belirgin bir artış göstermiştir. Bu durum, havalimanındaki uçuş sayılarının artması, uçakların daha büyük olması veya daha uzun mesafeli uçuşlar yapılması gibi faktörlerle açıklanabilir. Uşak Havalimanı'nda ise CO emisyonları 2020'den 2021'e önemli bir düşüş yaşamış, 2022'de ise hafif bir artış göstermiştir. Bu durum, havalimanındaki uçuş sayılarının azalması veya daha küçük uçakların kullanılması gibi faktörlerle açıklanabilir. Grafikteki veriler, COVID-19

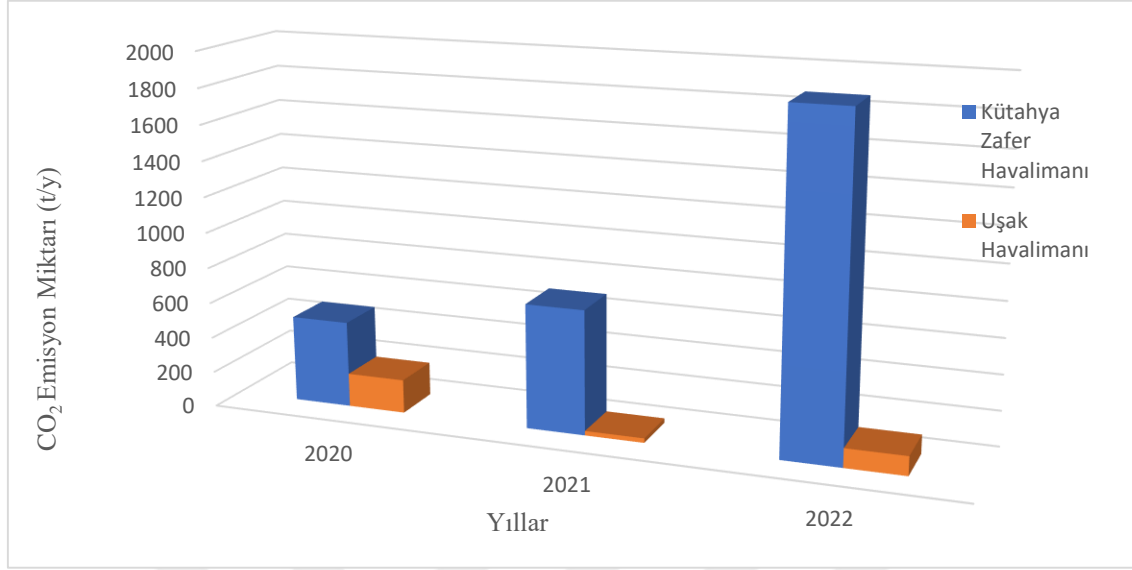
pandemisinin havalimanlarındaki CO emisyonlarını etkilediğini göstermektedir. Özellikle 2020 yılında, birçok ülkede uygulanan seyahat kısıtlamaları nedeniyle havacılık sektöründe yaşanan düşüş, emisyonlarda da azalmaya neden olmuştur. Ancak, pandeminin etkilerinin azalmasıyla birlikte, 2021 ve 2022 yıllarında emisyonlar yeniden artış göstermiştir. Bu grafik, havalimanlarının çevre üzerindeki etkilerini ve özellikle CO emisyonlarının hava kirliliği üzerindeki olumsuz etkilerini göstermektedir. Havacılık sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşması için daha fazla çaba göstermesi gerekmektedir.



Şekil 5.70: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları toplam NO_x Emisyonları (kg/y).

Şekil 5.70’te 2020 -2022 yıllarında, Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların NO_x emisyonunun çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Kütahya Zafer Havalimanının NO_x emisyonları, özellikle 2021 ve 2022 yıllarında belirgin bir artış göstermiştir. Bu durum, havalimanındaki uçuş sayılarının artması, uçakların daha büyük olması veya daha uzun mesafeli uçuşlar yapılması gibi faktörlerle açıklanabilir. Uşak Havalimanı’nda ise NO_x emisyonları 2020’den 2021’e önemli bir düşüş yaşamış, 2022’de ise hafif bir artış göstermiştir. Bu durum, havalimanındaki uçuş sayılarının azalması veya daha küçük uçakların kullanılması gibi faktörlerle açıklanabilir. Grafikteki veriler, COVID-19 pandemisinin havalimanlarındaki NO_x emisyonlarını etkilediğini göstermektedir. Özellikle 2020 yılında, birçok ülkede uygulanan seyahat kısıtlamaları nedeniyle havacılık sektöründe yaşanan düşüş, emisyonlarda da azalmaya neden olmuştur. Ancak, pandeminin etkilerinin azalmasıyla birlikte, 2021 ve 2022 yıllarında emisyonlar yeniden artış göstermiştir. NO_x, solunum yolu hastalıklarına, asit yağmurlarına ve ozon tabakasının incelmeye neden olan önemli bir hava kirleticidir. NO_x, hem doğrudan hem de dolaylı olarak iklim değişikliğine katkıda bulunur.

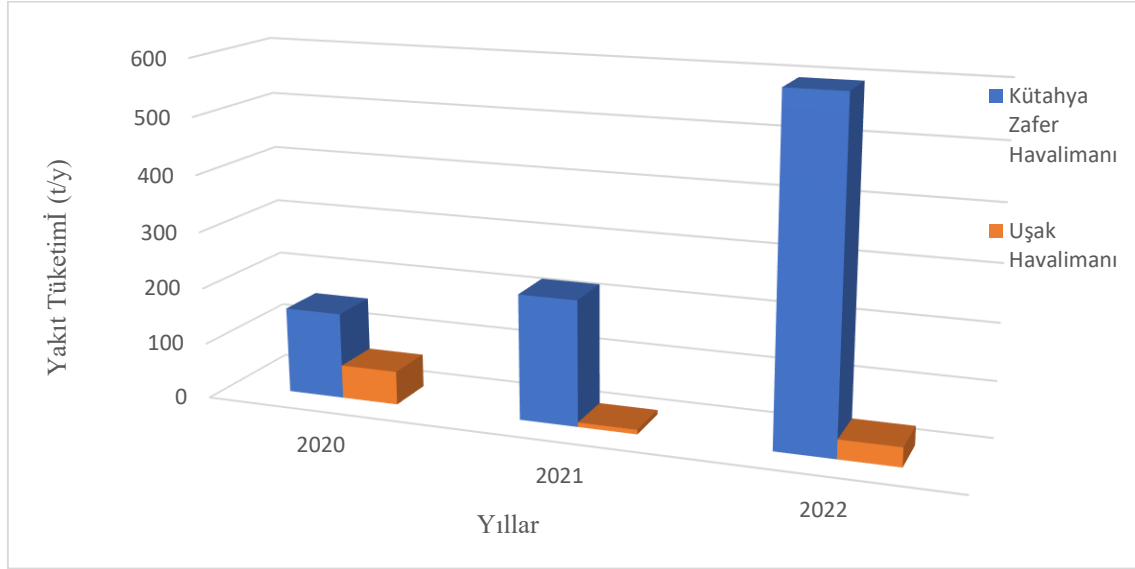
Doğrudan etkisi, sera gazı olarak atmosferde ısıyı hapsedmesidir. Dolaylı etkisi ise, ozon oluşumuna neden olarak atmosferdeki ısıyı artırmasıdır.



Şekil 5.71: 2020-2022 yılında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları toplam CO₂ Emisyonları (t/y).

Şekil 5.71'de, 2020-2022 yılları arasında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını kullanan uçakların karbondioksit (CO₂) emisyonlarının çevresel etkileri analiz edilmiştir. Bu grafik, iki havalimanındaki CO₂ emisyonlarının yıllar içinde nasıl değişim gösterdiğini ve bu değişimin potansiyel nedenlerini ortaya koymaktadır. Kütahya Zafer Havalimanı'nda, özellikle 2021 ve 2022 yıllarında CO₂ emisyonlarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, havalimanındaki uçuş sayılarının artması, kullanılan uçakların daha büyük olması veya daha uzun mesafeli uçuşların gerçekleştirilmesi gibi çeşitli faktörlerle ilişkilendirilebilir. 2021 yılında pandemi kısıtlamalarının gevşemesiyle uçuş operasyonlarında görülen toparlanma, bu emisyon artışının önemli nedenlerinden biri olarak değerlendirilebilir. 2022 yılına gelindiğinde, uçuş operasyonlarındaki artışın devam etmesiyle CO₂ emisyonları analiz edilen dönemin en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Uşak Havalimanı'nda ise CO₂ emisyonları 2020'den 2022 yılına doğru pandeminin etkilerinin azalması ve hava trafiğinde görülen toparlanma ile CO₂ emisyonlarında hafif bir artış meydana gelmiştir. Bu artış, Kütahya Zafer Havalimanı'ndaki kadar keskin olmasa da Uşak Havalimanı'nın operasyonel hareketliliğinde bir canlanmanın işareti olarak değerlendirilebilir. Pandemi döneminde uygulanan seyahat kısıtlamaları, hava trafiğini önemli ölçüde azaltarak hem Kütahya Zafer Havalimanı'nda hem de Uşak Havalimanı'nda CO₂ emisyonlarının düşmesine neden olmuştur. Pandemi kaynaklı ekonomik durgunluk, insanların seyahat etme alışkanlıklarını değiştirmiş ve havacılık sektörünü ciddi şekilde etkilemiştir. Özellikle 2020 yılı, küresel çapta hava taşımacılığı faaliyetlerinin minimum

seviyelere indiği bir dönem olarak dikkat çekmektedir. 2020-2022 yılları arasında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları tarafından üretilen CO₂ emisyonları, pandemi sürecinin hava trafiği üzerindeki etkisini ve bu etkinin çevresel sonuçlarını açıkça ortaya koymaktadır. Pandemi dönemi boyunca hava trafiğinde görülen azalma, CO₂ emisyonlarını geçici olarak düşürmüş olsa da 2022 yılında emisyonların tekrar artış göstermesi, havacılık sektörünün sürdürülebilirlik çabalarını hızlandırması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 5.72: 2020-2022 yılları arası Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanları Yakıt tüketimleri (t/y).

Şekil 5.72’de 2020-2022 yılları arasında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarında gerçekleşen yakıt tüketimlerini yıllara göre karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Grafikte mavi çizgi ile gösterilen Zafer Havalimanı’nda yakıt tüketimi her geçen yıl artış göstermiştir. 2022 yılı, Kütahya Zafer Havalimanı’nda yakıt tüketiminin kayda değer bir sıçrama yaptığı bir dönem olmuştur. Bu artış, havalimanındaki uçuş sayılarındaki artışın yanı sıra daha büyük uçakların kullanımına bağlanabilir. Uşak Havalimanı’nda ise turuncu çizgi ile gösterilen veriler, yakıt tüketiminin 2020’den 2021’e önemli ölçüde azaldığını, ancak 2022 yılında sınırlı bir artış yaşandığını göstermektedir. Bu durum, Uşak Havalimanı’nın sınırlı uçuş sayısına sahip olması ve daha küçük uçakların tercih edilmesiyle ilişkilendirilebilir. Her iki havalimanında da yakıt tüketiminin en düşük seviyelere gerilediği yıl 2020 olmuştur. Bu düşüş, Covid-19 pandemisinin başlaması ve beraberinde getirilen seyahat kısıtlamaları nedeniyle hava trafiğinin büyük ölçüde azalmasından kaynaklanmıştır. Pandeminin küresel çapta havacılık sektörüne getirdiği durgunluk, yakıt tüketimi üzerinde doğrudan bir etki yaratmıştır. 2021 yılına gelindiğinde, Kütahya Zafer Havalimanı’nda yakıt tüketiminde bir artış gözlenirken, Uşak Havalimanı’nda belirgin bir düşüş yaşanmıştır. Zafer Havalimanı’ndaki artış, pandeminin etkilerinin kısmen

hafiflemesi ve hava trafiğinin toparlanmaya başlaması ile açıklanabilir. Buna karşılık, Uşak Havalimanı'ndaki yakıt tüketimindeki düşüş, uçuş sayılarındaki azalmayla ve operasyonel faaliyetlerin sınırlı kalmasıyla ilişkilendirilmiştir.2022 yılı Zafer Havalimanı'nda yakıt tüketimi önemli ölçüde artarak en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Bu durum, pandeminin etkilerinin büyük ölçüde ortadan kalkması ve havacılık sektörünün toparlanmasıyla ilişkilendirilebilir. Uşak Havalimanı'nda ise hafif bir artış olsa da tüketim seviyesi diğer yıllara göre düşük kalmıştır. Yakıt tüketimi ile sera gazı emisyonları arasında doğrudan bir ilişki vardır. Yakıt ne kadar çok tüketilirse, o kadar çok sera gazı atmosfere salınır. Sera gazı emisyonlarının artması, iklim değişikliği gibi küresel sorunlara yol açar. Bu durum, havalimanı çevresindeki ekosistemleri olumsuz etkileyebilir, tarımsal üretimi zorlaştırabilir ve insan sağlığını tehdit edebilir.



6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada nüfusunun çoğalması ve zaman ilerledikçe teknolojinin artmasıyla enerji tüketimi artmaktadır [75]. Günümüzde artan küresel hareketlilik, havayolu taşımacılığının önemini giderek artırmıştır. Hem ekonomik hem de sosyal alanlarda büyük avantajlar sağlayan bu ulaşım türü, aynı zamanda çevresel etkileriyle de tartışma konusu haline gelmiştir. Özellikle uluslararası uçuşların artmasıyla birlikte, fosil yakıtı dayalı çalışan uçak motorlarından salınan sera gazları, iklim değişikliğinin başlıca etkenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Yapılan araştırmalara göre, havacılık sektörü küresel karbon salınımının yaklaşık %2 ila %3'lük kısmını oluşturmaktadır. Ancak bu oran, yüksek irtifada salınan emisyonların atmosfer üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, çok daha büyük bir çevresel baskı yaratmaktadır.

Son yıllarda hava ulaşımı, ekonomik kalkınmaya ve bölgesel gelişime sağladığı katkılarla vazgeçilmez bir ulaşım türü haline gelmiş olsa da beraberinde getirdiği çevresel etkiler giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle havalimanlarında gerçekleşen uçuş operasyonları, yer hizmetleri, araç trafiği ve diğer lojistik faaliyetler sonucu ortaya çıkan emisyonlar, hava kalitesinin bozulmasına, sera gazı salınımının artmasına ve bölgesel ekosistem dengelerinin zarar görmesine yol açmaktadır. Bu doğrultuda yürütülen tez çalışmasında, Kütahya ve Uşak havalimanlarında kaynaklanan emisyonların çevre üzerindeki etkileri, bilimsel yöntemlerle nicel olarak değerlendirilmiş; elde edilen veriler ışığında söz konusu emisyonların hava kirliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından oluşturduğu riskler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, havalimanı faaliyetlerinin yalnızca ulaşım ve ekonomi ekseninde değil, aynı zamanda çevre yönetimi ve iklim politikaları bağlamında da stratejik biçimde ele alınması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Havayolu ulaşımında da havaya yayılan en fazla sera gazı CO₂ emisyonudur. Bunun dışında sırasıyla NO_x, CO ve HC emisyonları tespit edilmiştir. Havaya salınan emisyonlarda artış görüldüğü, LTO sayılarının ve uçaklarda tüketilen yakıtlarının artmasına bağlı olarak çevreye yayılan CO₂ emisyonun da artış görülmektedir. Özellikle iniş ve kalkış evrelerinde, havaalanı çevresinde yoğunlaşan emisyonlar, yerel hava kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, uçuş yoğunluğu yüksek olan bölgelerde sürdürülebilirlik politikalarının öncelikli olarak ele alınması gerekmektedir.

Bu tezde 2020-2022 yıllarında Kütahya Zafer ve Uşak Havalimanlarını ticari amaçla kullanan farklı tip motorlu uçakların havaya yaydıkları karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları gözlenmiştir. Emisyonların çevresel etkileri

en büyük sebeplerinden biri de uçak motorlarında çıkan emisyonlardır. Oluşan emisyonların türlerine ek olarak miktarlarının da bilinmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasında 2020,2021 ve 2022 yılları ay bazında ayrı incelenip, daha sonra da yıl bazında hesaplamalar yapılmıştır. Aylara göre uçak trafiği, uçuş durumlarına göre emisyon değerleri, uçak tiplerine göre LTO sayıları, LTO sayısı ve uçak tiplerine emisyon değerleri, LTO değerlerine göre yakıt tüketimi Çizelge ve grafik olarak gösterilmiştir. Hesaplamalar sadece ticari amaçlı uçuşlar göz önünde tutularak hesaplanmıştır. Askeri amaçlı uçuşlar hesaplar dışında tutulmuştur. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Kütahya Zafer Havalimanı uçak tipleri incelendiğinde 2020,2021ve 2022 yıllarında en fazla kullanılan uçak tipleri Boeing 737-900 (B739), Boeing 737-800 (B738) ve Airbus 319 (A319) olarak tespit edilmiştir.2020 yılında B739 en çok kullanılan uçak tipi olmasına rağmen 2021 yılında en çok B738 tip uçak kullanılmıştır.2022 yılında da en çok kullanılan Boeing 737-800 (B738) uçak tipi olmuştur. İnceldiğimiz diğer bir havalimanı Uşak Havalimanı ,2020,2021 ve 2022 yılları arasında en çok kullanılan Boeing 737-800 (B738) ve Airbus 319 (A319) uçak tipleri arasındadır. Boeing 737-800 (B738) tipi uçak çevreye salınan emisyonlar diğer uçak tiplerine göre daha fazladır. Boeing 737-800 (B738) tipi uçağın tercih edilmesini en büyük sebebi koltuk sayısının fazla olmasıdır. Boeing 737-800 (B738) tipi uçak yolcu kapasitesinin 189 kadar olabilmektedir. Boeing 737-900 (B739) 188, Airbus 319 (A319) 156, Airbus 320 (A320) 180 yolcu kapasitesine ulaşılmaktadır.

- Yapılan analizler sonucunda Kütahya Zafer havalimanı Covid-19 etkisinin azalmasıyla 2020 itibariyle uçuş trafiği açılmaktadır. Uşak Havalimanı şehirlerin birbirlerine yakınlığına bağlı olarak uçuş trafiği az olmaktadır. 2021 yılında sadece 10 LTO sayısına ulaşılmış olup 52 yolcu taşınmıştır. 2022 yılında tekrar uçuş trafiği bir nebze artmıştır. Kütahya Zafer Havalimanında 2020 yılının ilk dört ayında uçuş trafiği olmaktadır diğer aylarda sadece yaz aylarında küçük bir artış görülmektedir. Kütahya Zafer Havalimanı 2021 yılında ilk iki ay uçuş olmayıp, diğer aylarda dengeli bir dağılım görülmektedir. Kütahya Zafer Havalimanı iç hat seferlerinde dengeli bir dağılım görülmekte olup dış hat uçak trafiğinde ise yaz aylarında artış gerçekleşmiştir.

- 2020-2022 yılları arasında yapılan hesaplamalarda Kütahya Zafer havalimanı uçuş trafiğinin en fazla olduğu 728 iniş/kalkış sayısı 2022 yılıdır. Uçak trafiğinin en az olduğu yıl 174 iniş/kalkış sayısı ile 2020 yılıdır. Covid-19 salgının etkisiyle 2020 yılında en az uçak trafiği görülmektedir. Uşak Havalimanı uçuş trafiğinin en fazla olduğu 82 iniş/kalkış sayısı ile 2020

yılıdır. Uçak trafiğinin en az olduğu yıl 10 iniş/kalkış sayısı ile 2021 yılıdır. Salgının azalmasını sağlamak için şehirlerarası kısıtlamalar getirilmekteydi. Kütahya Zafer havalimanında toplam uçak trafiği sayısı içinde en fazla iniş/kalkış oranına sahip yıl %60 ile 2022 yılı olmuştur. 2020 yılı ise %14,19 oranı ile en az iniş/kalkış sayısının olduğu yıl olmaktadır. Üç yıllık sürede Kütahya Zafer Havalimanına iniş kalkış yapan uçak sayısı 1205 olmuştur. Yıllık ortalama LTO sayısı 400 olup 2022 yılı ortalamasının üstünde, 2020 ve 2021 yılı ortalamasının altında LTO sayısına sahip yıllar olmuştur. Uşak Havalimanı toplam uçak trafiği sayısı içinde en fazla iniş/kalkış oranına sahip yıl %61 ile 2020 yılı olmuştur. 2021 yılı ise %0,07 oranı ile en az iniş/kalkış sayısının olduğu yıl olmaktadır. Üç yıllık sürede Uşak Havalimanına iniş kalkış yapan uçak sayısı 127 olmuştur. Yıllık ortalama LTO sayısı 42,33 olup 2020 yılı ortalamasının üstünde, 2021 ve 2022 yılı ortalamasının altında LTO sayısına sahip yıllar olmuştur.

- 2020-2022 yılları arasında Kütahya Zafer havalimanında en fazla yolcunun taşındığı yıl 10671 yolcu sayısı ile 2022 yılı olmuştur. En az yolcunun taşındığı yıl 2340 yolcu sayısı ile 2020 yılı olmuştur.2020 yılı itibariyle artış gerçekleşmiştir. En fazla yolcunun taşındığı yıl toplam yolcu sayısı içerisindeki oranı %57 ile 2022 yılı olmuştur. 2020 yılı toplam en az yolcunun taşındığı yıl olup, taşınan yolcu sayısı içindeki oran %12,70 olarak belirlenmiştir. Üç yıllık sürede Kütahya Zafer Havalimanına iniş kalkış yapan uçakların taşımış olduğu toplam yolcu sayısı 18245 olmuştur. 2020-2022 yılları arasında Uşak Havalimanında en fazla yolcunun taşındığı yıl 7500 yolcu sayısı ile 2020 yılı olmuştur. Uşak Havalimanında 2022 yılında yolcu taşınmamıştır. 2020 yılı itibariyle azalış gerçekleşmiştir. En fazla yolcunun taşındığı yıl toplam yolcu sayısı içerisindeki oranı %99 ile 2020 yılı olmuştur. Üç yıllık sürede Uşak Havalimanına iniş kalkış yapan uçakların taşımış olduğu toplam yolcu sayısı 7552 olmuştur.

- 2020-2022 yılları arasında her bir yıl için Tier 2 metodu kullanılarak HC, CO ve NOx emisyonları hesaplanmıştır. Kütahya Zafer havalimanında bu üç yıllık süreçte çevre havaya salınan toplam HC miktarı 1,48 ton, CO miktarı 9,14 ton ve NOx miktarı ise 11,27 ton olarak hesaplanmıştır. Uşak havalimanında bu üç yıllık süreçte çevre havaya salınan toplam HC miktarı 237,18 kg, CO miktarı 1,77 ton ve NOx miktarı ise 2,85 ton olarak hesaplanmıştır.

- Kütahya Zafer havalimanında 2020-2022 yılları arasında toplam taşınan yolcu sayısına ve toplam emisyon miktarına göre kişi başına düşen HC emisyonu 0,081 kg, CO emisyonu 0,5 kg, NOx emisyonu 0,61 kg, CO₂ emisyonu 167,66 kg olarak hesaplanmıştır. Uşak havalimanında 2020-2022 yılları arasında toplam taşınan yolcu sayısına ve toplam emisyon miktarına göre kişi başına düşen HC emisyonu 0,031 kg, CO emisyonu 0,23 kg, Nox emisyonu 0,37kg, CO₂ emisyonu 42,68 kg olarak hesaplanmıştır.

- 2020 yılından 2022 yılında kadar yapılan analizler 2020 yılından itibaren Covid-19 salgının azalmasıyla Kütahya Zafer havalimanının uçuş trafiğinin arttığı görülmektedir. Covid-19 salgının 2020 yılına içine alan dönemde azalma meydana geldiği çevreye havaya salınan emisyonlar 2020 yılından 2022 yılına kadar artış olduğu görülmektedir. 2020 yılından 2022 yılında kadar yapılan analizler 2020 yılından itibaren Uşak Havalimanı 2021 yılı dahil uçak trafiğinde azalma görülmektedir. 2022 yılında uçak trafiğinde artış görülmektedir. Çevreye salınan emisyonlarda yıllar içerisinde uçak trafiğinin artış ve azalış nedeniyle emisyon değerlerinde de değişim görülmektedir.

- Kütahya Zafer ve Uşak havalimanları 2020-2022 yılları arasında uçakların tükettikleri yakıt miktarları her yıl için verilmiştir. Bu üç yıllık dönemde Kütahya Zafer havalimanında tüketilen toplam yakıt miktarı 970,32 ton olarak hesaplanmıştır. Toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketiminin yapıldığı yıl 2022 yılı olup %61,25 yakıt tüketim oranına sahiptir. Bunun sebebi uçakların en fazla iniş/kalkış yaptığı yılın 2022 yılı olmasıdır. 2020 yılı yakıt tüketim oranı %15,85 olarak hesaplanmış ve bu üç yıllık dönemde en az uçak trafiğinin ve bununla bağlantılı olarak en az yakıt tüketiminin gerçekleştiği yıl olmuştur. Uşak havalimanı üç yıllık dönemde tüketilen toplam yakıt miktarı 102,18 ton olarak hesaplanmıştır. Toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketiminin yapıldığı yıl 2020 yılı olup %58,7 yakıt tüketim oranına sahiptir. Bunun sebebi uçakların en fazla iniş/kalkış yaptığı yılın 2020 yılı olmasıdır. 2021 yılı yakıt tüketim oranı %7,85 olarak hesaplanmış ve bu üç yıllık dönemde en az uçak trafiğinin ve bununla bağlantılı olarak en az yakıt tüketiminin gerçekleştiği yıl olmuştur.

- Sera gazları küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Uçak motorlarının fosil yakıtlarla çalışmasından dolayı çevre havaya salınan karbondioksit (CO₂) en önemli sera gazıdır. Kütahya Zafer havalimanının üç yıllık sürede çevreye salınan karbondioksit (CO₂) emisyonu 2022 yılında en fazla meydana gelmiş ve miktarı 1873ton/yıl olmuştur. Bu üç yıllık süreçte toplam 3059 ton CO₂ emisyonu havaya salınmıştır. Uşak havalimanının üç yıllık sürede çevreye salınan karbondioksit (CO₂) emisyonu 2022 yılında en fazla meydana gelmiş ve miktarı 188,92 ton/yıl olmuştur. Bu üç yıllık süreçte toplam 322,27 ton CO₂ emisyonu havaya salınmıştır.

Çevreye salınan emisyonları azaltılmasını ileri teknoloji ve malzemelerin kullanılmasıyla sağlanılabilir. Hava trafik kontrolör uçakların iniş, kalkış, park pozisyonu gibi tüm hareketlerini yönetmektedir. Hava trafik yönetimi uçakları yönlendirilmesi ve hareket sürelerinin etkin kullanılması nedeniyle büyük önem arz etmektedir. LTO sürelerini kısa tutarak daha etkin bir şekilde hava trafik yönetimi sağlayarak uçaklarda oluşan emisyonlar azaltılabilmektedir.

Uçak motorlarında gelişen teknolojiyle birlikte kullanılması yanı sıra pilotların uçakları taksi yerine uçakların çekilmesi sağlayarak ya da tek motorla taksi yaparak, diğer güç ünitelerini kullanarak gecikme durumunda ana motorların kapatılmasını sağlamak ve olabildiğince ana motorları geç çalıştırılarak farklı operasyonlar kullanılarak emisyon değerleri indirgenebilir.

Motor çalışmasından meydana gelen emisyonları azaltabilmek için uçakların park pozisyonunda pist başına kadarki taksi yolu uzaklığını olabildiği kadar kısaltılarak sağlanabilir.

Günümüzde havacılık sektöründe çevresel etkileri azaltmak amacıyla biyoyakıt kullanımı, hibrit ve elektrikli uçak teknolojileri gibi çeşitli alternatifler üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Özellikle ICAO ve IATA gibi uluslararası kuruluşlar, sektörel karbon ayak izini azaltmayı hedefleyen küresel planlamaları hayata geçirmiştir. Ayrıca, hava trafik yönetiminin daha etkin hale getirilmesi, gereksiz yakıt tüketimini azaltacak önemli bir adımdır. Örneğin, taksi süresinin optimize edilmesi veya motorları geç çalıştırma gibi operasyonel değişiklikler, emisyonların kayda değer biçimde azaltılmasına olanak tanımaktadır.

Havacılık sektörünün büyümesi kaçınılmazdır; ancak bu büyümenin çevresel maliyetlerinin en aza indirilmesi, sürdürülebilir bir gelecek için zorunludur. Yerel ölçekten küresel düzeye kadar uzanan kapsamlı bir dönüşüm gerekmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'deki havalimanlarında yapılan veri analizleri ve gözlemler, çevresel farkındalığın artırılması ve politika üretimi açısından değerli katkılar sunmaktadır. Sektörün tüm paydaşlarının iş birliğiyle, daha temiz ve yaşanabilir bir çevre için somut adımlar atılabilir.

KAYNAKLAR

- [01] **SHGM. (2020).** Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu 2020. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü.
- [02] **Çizmecioğlu, M. (2013).** Türkiye’de Sivil Havacılık ve Hava Yolu Ulaşımı Üzerine Bir Araştırma (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [03] **Url-04** <<https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Hakkimizda.aspx/>>, (Erişim tarihi: 16.01.2021)
- [04] **Url-03** <<https://www.trthaber.com/haber/gundem/hava-yolu-tasimaciliginda-hedef-203-milyon-yolcu-728511.html>> (Erişim tarihi: 12.02.2021)
- [05] **Yaman, K. (2019).** Hava Taşımacılığı, (5. Ünite). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- [06] **Url-06** <<https://www.iata.org/en/about/history/history-early-days/>>, (Erişim tarihi: 17.01.2021)
- [07] **Url-07** <<https://aci.aero/about-aci/overview/>>, (Erişim tarihi: 17.01.2024)
- [08] **Genç R, Behçet R, 2022,** Malatya Erhaç Havalimanını Kullanan Uçakların Çevresel Etkileri, EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 22.
- [09] **Elbir, T. (2008).** Estimation of engine emissions from commercial aircraft at a midsized Turkish airport. Journal of Environmental Engineering,, 134(3), 210-215.
- [10] **Şekertekin, Y. (2017).** Türkiye İç Hat Uçuşlarından Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak: Bülent Ecevit Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] **Babaoğlu, N. Ö. (2017).** Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3), 24-30.
- [12] **Canarslanlar, A. O. (2015).** Hava Trafik Yönetiminin Uçaklarda Yakıt Tüketimi ve Emisyona Olan Etkilerinin Gerçek Uçuş Verilerine Dayalı Analizi ve Bir Model Önerisi/Doktora Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [13] **Akpunar, İ. (2015).** Yeşil Havalimanı Kriterleri Kapsamında Türkiye’deki Karbon Emisyonunun Tahmini/Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Türk Hava Kurumu Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [14] **Ünal, İ. T. (2014).** Nevşehir Kapadokya Havalimanının Emisyon ve Gürültü Açısından Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makine, 654.
- [15] **Altuntaş, Ö. (2011).** Investigation of the environmental concern in aircraft selection for domestic flights in some Turkish airports. Journal of Aeronautics and Space Technologies, 5(1), 11-18.
- [16] **Unal, A. H. (2005).** Airport related emissions and impacts on air quality: Application to the Atlanta International Airport. Atmospheric Environment, 39(32), 5787- 5798.

- [17] **Gökçe, M. Ve Bekdemir, S.** (2006). Türkiye’de Hava Trafığı Yoğun Havalimanlarında Uçak İniş-Kalkış Süreçlerinde Oluşan Nox Miktarlarının Belirlenmesi. Kayseri VI. Havacılık Sempozyumu, (s. 555-559). Nevşehir.
- [18] **İlbaş, M.** (2012). Experimental analysis of the effects of hydrogen addition on methane combustion. International journal of energy research,, 36(5), 643-647.
- [19] **Öztürk O.** (2011). Kayseri Erkilet Havalimanındaki Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] **Çağatan, K.** (2011). İstanbul Atatürk Havalimanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkileri/Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] **Nikoleris, T. G.** (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] **Winther, M. K.** (2006). Calculation of odour emissions from aircraft engines at Copenhagen Airport. Science of the total environment, 366(1), 218-232.
- [23] **Steib, R. L.** (2008). Airport (Budapest Ferihegy–Hungary) air quality analysis using the EDMS modeling system. Part I. Model development and testing. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, 112(2), 99-112.
- [24] **Schäfer, K., Jahn, C., Sturm, P., Lechner, B. Ve Bacher, M.** (2003). Aircraft emission measurements by remote sensing methodologies at airports . Atmospheric Environment, 37(37), 5261-5271.
- [25] **Carslaw, D. C.** (2008). Near-field commercial aircraft contribution to nitrogen oxides by engine, aircraft type, and airline by individual plume sampling. Environmental science & technology,, 42(6), 1871-1876.
- [26] **Schürmann, G., Schäfer, K., Jahn, C., Hoffmann, H., Bauerfeind, M., Fleuti, E. Ve Rappenglück, B.** (2007). The impact of Nox, CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport. Atmospheric Environment, 41(1), 103-118.
- [27] **Fleuti, E. Ve Polymeris, J.** (2004). Aircraft nox-emissions within the operational Ito cycle. Unique (Flughafen Zrich AG) and Swiss Flight Data Services.
- [28] **Brondon M. G. And Frey H. C.,** 2009, Estimation of Air Carrier Emissions at Raleigh-Durham International Airport, 102nd Annual Conference and Exhibition, Air & Waste Management Association, Detroit, Michigan 16-19 June 2009. Pp:486-501.
- [29] **Eyers, C., Addleton, D., Atkinson, K., Broomhead, M., Christou, R., Elliff, T. Ve Stanciou, T.** (2005). AERO2k Global Aviation Emissions Inventories for 2002 and 2025 QINETIQ. Farnborough, Hants, UK
- [30] **Url-30** < <https://ucaklar.org/ucak-motorlari/>>(14.02.2024)
- [31] **Url-31** http://tr.wikipedia.org/wiki/U%C3%A7ak_motoru#/media/Dosya:YorkMerlin.JPG (14.02.2024)
- [32] **Turan, A. ve Uludağ, A.** (2019). Anadolu Üniversitesi-Genel Havacılık-Ünite 6. Eskişehir: Anadolu üniversitesi Yayınları.

- [33] **THY.** (1996). Türk Hava Yolları Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü-Temel Motor.
- [34] **Url-34** <https://www.kokpitteyiz.com/gaz-turbinli-motorlar/>
- [35] **Url-35** < https://tr.wikipedia.org/wiki/Gaz_t%C3%BCrbini/ > (12.12.2024)
- [36] **Url-36** < <https://www.tusas.com/urunler/ucak/ozgun-gelistirme/kaan/> > (30.09.2024)
- [37] **Url-37** [https:// muhendisgelisim.com/turbosaft-motoru-nedir-nerelerde-kullanilir/](https://muhendisgelisim.com/turbosaft-motoru-nedir-nerelerde-kullanilir/) (Erişim tarihi: 27.04.2024)
- [38] **Çetinkaya, S.** (2013). Gaz Türbinleri. Ankara: Nobel Yayıncılık.
- [39] **Url-39** < <https://www.defenceturk.net/gaz-turbinleri-nasil-calisir-tasarim-zorluklari-nedir/> > (12.02.2022)
- [40] **Url -40** < <https://ucaklar.org/turboprop-motor/> > (13.03.2024)
- [41] **Url -41** < https://tr.wikipedia.org/wiki/Turbojet#/media/Dosya:Jet_engine_turkish.svg >
- [42] **Tüdeş, B.** (1987). Tepkili Uçak Motorları Ders Notları. Hava Harp Okulu Öğretim Başkanlığı.
- [43] **Url -43** < <https://www.teknikvideo.net/gaz-turbinleri-animasyon-anlatim.html> >
- [44] **Url -44** < <https://www.aa.com.tr/tr/savunma-sanayisi/turkiyenin-ilk-mill%C3%AE-turbofan-ucak-motoru-tf6000-basariyla-calistirildi/> > (16.04.2024)
- [45] **My Technic**, Modül 15 Gaz Türbinli Motorlar. İstanbul: My Technic.
- [46] **Şahin. C.** Hava Kirliliği ve Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler, (Ders Notu). Ankara: Gazi Üniversitesi/Eğitim Fakültesi.
- [47] **PAMPAL Süleyman, HATİPOĞLU Seda ve ARIKAN Ebru Öztürk**, “Beş yıllık Kalkınma Planlarında Ulaşım Sektörünün incelenmesi”, URL <http://www.trafik.gov.tr/icerik/bildiriler/B6-48.doc>. 22.02. 2011
- [48] **Şen Orhan**, Hava Kirliliği Ders Notları, 2009
- [49] **Ertürk F.**, 2010, Hava Kirlenmesi, YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Ders Notları
- [50] **Öztürk. Ozan, Göktepe Hülya** 2024, Modern Havacılık Sektöründe Alternatif Enerji Kaynakları: Sürdürülebilirlik Hedeflerine Doğru Adımlar
- [51] **Aydoğan, B.** (2008). Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NOx Emisyonlarının ve NOx Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Denizli: Pamukkale Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [52] **Kutlar, O., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Mutlu, M.** (1998). Taşıt egzozundan kaynaklanan kirlleticiler. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- [53] **Url-53** < <https://yesilekonomi.com/2023-sera-gazi-envanteri/> > (15.02.2024)
- [54] **Url-54** < <https://havakalitesi.ibb.gov.tr/> >, (Erişim tarihi: 05.07.2024)
- [55] **Url-55** < <https://en.wikipedia.org> >, (Erişim tarihi: 18.01.2024)
- [56] **Çevresel Biyoetik Açısından Sürdürülebilir Havaalanları / Sustainable Airports in the Context of Environmental Bioethics**

- [57] **Ankaya F.** (2018) Havaalanlarının Çevreye Olan Etkilerinde Çevre Yönetim Sisteminin Önemi (Doktora Tezi)
- [58] **Çetek, C.** (2019). Harekât Performans-Bölüm 1. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- [59] **Öztürk O., Taştan M.** 2024, 2015-2021 Yılları Arasında Muğla İlinde LTO Döngüsü Esnasında B737-800 ve A320 Tip Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonun Gerçek Zamanlı Hesaplanması
- [60] **Url-60** https://www.researchgate.net/figure/Landing-and-takeoff-LTO-sequence_fig1_242158622(05.05.2024)
- [61] **IPCC.** (1999). Intergovernmental Panel on Climate Change, , Cambridge University Press, Aviation and The Global Atmosphere.
- [62] **Url-62** <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html/>>, (Erişim tarihi:18.01.2024)
- [63] **Url-63** < <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html/> >, (Erişim tarihi:01.12.2024)
- [64] **Url-64** <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>, (Erişim tarihi: 01.12.2024)
- [65] **EEA.** (2019). European Environment Agency
- [66] **Url-66** https://www.researchgate.net/figure/Landing-and-takeoff-LTOsequence_fig1_242158622 (Erişim tarihi:01.12.2024)
- [67] **Url-67** <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kütahya>
- [68] **Url-68** <<http://cografyaharita.com/haritalarim/4O-kütahya-konum-haritasi.png/>>, (Erişim tarihi: 11.11.2024)
- [69] **Url-69** < <http://cografyaharita.com/haritalarim/4O-uşak-konum-haritasi.png/>>, (Erişim tarihi: 11.11.2024)
- [70] **Url-70** < <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/kütahya/AnaSayfa.aspx/> >, (Erişim tarihi: 05.03.2024)
- [71] **Url-71** < <https://www.google.com.tr/maps/place/kütahya+Havaliman%C4%B1/> >, (Erişim tarihi: 12.01.2024)
- [72] **Url-72** < <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/uşak/AnaSayfa.aspx/> >, (Erişim tarihi: 05.03.2024)
- [73] **Url-73** < <https://www.google.com.tr/maps/place/uşak+Havaliman%C4%B1/> >, (Erişim tarihi: 12.01.2024)
- [74] **Url-74** < <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-bsectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation/view/> >, (Erişim tarihi: 05.06.2024)
- [75] **Url-75** < <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/571210/> >, (Erişim tarihi: 15.04.2024)

- [76] **Url-76** < <https://www.easa.europa.eu/domains/environment/icao-aircraft-enginemissions-databank/>>, (Erişim tarihi: 12.01.2024)
- [77] **Url-77** < <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html/>>, (Erişim tarihi: 10.02.2024)



EKLER

Ek 1: ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank [76].



ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA SHEET

SUBSONIC ENGINES

ENGINE IDENTIFICATION: GP7270 BYPASS RATIO: 8.7
 UNIQUE ID NUMBER: 9EA001 PRESSURE RATIO ($\pi_{0.5}$): 36.6
 COMBUSTOR: RATED THRUST ($F_{0.5}$) (kN): 332.4
 ENGINE TYPE: TF

REGULATORY DATA

CHARACTERISTIC VALUE:	HC	CO	NO _x	SNOKE NUMBER
$D_p/F_{0.5}$ (g/kN) or SN	6.9	46.2	61.8	5.2
AS % OF ORIGINAL LIMIT	35.4	39.1	54.6	38.7
AS % OF CAEP/2 LIMIT (NO _x)			68.2	
AS % OF CAEP/4 LIMIT (NO _x)			77.0	
AS % OF CAEP/6 LIMIT (NO _x)			85.6	
AS % OF CAEP/8 LIMIT (NO _x)			87.5	

DATA STATUS

- PRE-REGULATION
 x CERTIFICATION
 - REVISED (SEE REMARKS)

TEST ENGINE STATUS

- NEWLY MANUFACTURED ENGINES
 x DEDICATED ENGINES TO PRODUCTION STANDARD
 - OTHER (SEE REMARKS)

EMISSIONS STATUS

x DATA CORRECTED TO REFERENCE
 (ANNEX 16 VOLUME II)

CURRENT ENGINE STATUS

(IN PRODUCTION, IN SERVICE UNLESS OTHERWISE NOTED)
 x OUT OF PRODUCTION (DATE: -)
 - OUT OF SERVICE (DATE: -)

MEASURED DATA

MODE	POWER SETTING (% $F_{0.5}$)	TIME (minutes)	FUEL FLOW (kg/s)	EMISSIONS INDICES (g/kg)			
				HC	CO	NO _x	SNOKE NUMBER
TAKE-OFF	100	0.7	2.637	0.03	0.11	41.73	4.1
CLIMB OUT	85	2.2	2.169	0.03	0.09	31.37	3.9
APPROACH	30	4.0	0.711	0.07	1.27	12.80	2.2
IDLE	7	26.0	0.234	4.04	33.58	5.24	3.1
LTO TOTAL FUEL (kg) or EMISSIONS (g)			932	1498	12497	17713	-
NUMBER OF ENGINES				1	1	1	1
NUMBER OF TESTS				3	3	3	3
AVERAGE $D_p/F_{0.5}$ (g/kN) or AVERAGE SN (MAX)				4.5	37.6	53.3	4.1
SIGMA ($D_p/F_{0.5}$ in g/kN, or SN)				0.3	1.1	0.3	0.7
RANGE ($D_p/F_{0.5}$ in g/kN, or SN)				4.17-4.77	36.35-38.46	53.06-53.68	3.28-4.56

ACCESSORY LOADS

POWER EXTRACTION 0 (kW) AT ALL POWER SETTINGS
 STAGE BLEED 0 (% CORE FLOW) AT ALL POWER SETTINGS

ATMOSPHERIC CONDITIONS

BAROMETER (kPa)	97.6-97.8
TEMPERATURE (K)	287.7-296.1
ABS HUMIDITY (kg/kg)	0.00503-0.00863

FUEL

BPSC	Jet A-1
R/C	1.94
AROM (%)	15.8-17.6

MANUFACTURER: Engine Alliance
 TEST ORGANIZATION: General Electric Peebles Test Operation
 TEST LOCATION: Site 4D
 TEST DATES: 28/05/2005-29/05/2005

NO_x REGULATION PARAGRAPHS

	2.3.2 c) (CAEP/4)
	2.3.2 d) (CAEP/6)
x	2.3.2 e) (CAEP/8)

REMARKS

- GE Aviation Reports R2005AE431 and R2006AE504 Engine serial number 550-007/1
- Certification in accordance with Part III, Chapter 2, of Amendment 7 of ICAO Annex 16 Vol. II.
- NO_x levels in accordance with Part III, Chapter 2, 2.3.2 e)

Compliance with Fuel Venting requirements: x ('x' if complies, 'PR' if pre-regulation, '-' if information is not available)

This document was prepared on 19/06/2023
 Check website for latest version

Ek 2: Uçak tipleri ve motor modellerine göre emisyon faktörleri [77].

Aircraft Type	Manufacturer	Engine Type	Engine ID	Nb of engines	Fuel Burn (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	H ₂ O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A306	AIRBUS	jet	1PW048	2	1723.14	5427.89	25.86	1.45	2119.46	14.8	1.25	0.14
A310	AIRBUS	jet	2GE037	2	1530.55	4821.24	18.68	1.29	1882.58	13.92	1.2	0.1
A319	AIRBUS	Jet	3CM027	2	688.81	2169.76	7.46	0.58	847.24	9.49	1.96	0.06
A320	AIRBUS	jet	3CM026	2	816.17	2570.93	11.28	0.69	1003.89	8.25	1.64	0.07
A332	AIRBUS	jet	14RR071	2	2168.08	6829.44	35.32	1.82	2666.73	21.19	2.1	0.16
A333	AIRBUS	jet	14RR071	2	2168.08	6829.44	35.32	1.82	2666.73	21.19	2.1	0.16
A343	AIRBUS	jet	2CM015	4	2019.89	6362.65	34.81	1.7	2484.46	25.23	3.9	0.5
A345	AIRBUS	jet	8RR044	4	3279.12	10329.23	57.78	2.75	4033.31	15.92	0.24	0.2
A346	AIRBUS	jet	8RR045	4	3372.96	10624.82	64.67	2.83	4148.74	15.05	0.23	0.2
A380	AIRBUS	jet	8RR046	4	4142.4	13048.56	67.26	3.48	5095.15	29.62	0.38	0.25
B737	BOEING	jet	3CM032	2	824.65	2597.65	10.3	0.69	1014.32	8	0.86	0.07
B738	BOEING	jet	8CM051	2	881.1	2775.47	12.3	0.74	1083.75	7.07	0.72	0.07
B742	BOEING	jet	3GE077	4	3074.57	9684.89	47.54	2.58	3781.71	27.46	3.15	0.29
B743	BOEING	jet	3GE077	4	3074.57	9684.89	47.54	2.58	3781.71	27.46	3.15	0.29
0744	DOCING	jet	2GC045	4	3319.68	10456.98	44.45	2.79	4083.21	25.27	2.05	0.21
B752	BOEING	jet	5RR038	2	1362.6	4292.19	14.98	1.14	1676	12.25	0.17	0.16
B753	BOEING	jet	5RR039	2	1463.64	4610.47	17.85	1.23	1800.28	11.63	0.11	0.17
B762	BOEING	jet	1GE012	2	1462.66	4607.37	23.76	1.23	1799.07	14.8	3.32	0.16
B763	BOEING	jet	12PW101	2	1729.93	5449.29	26.67	1.45	2127.82	29.65	7.56	0.16
B772	BOEING	jet	8GE100	2	2406.41	7580.19	61.24	2.02	2959.88	12.31	0.44	0.16
B773	BOEING	jet	2RR027	2	2562.84	8072.95	52.8	2.15	3152.29	12.76	0.66	0.16
B77W	BOEING	jet	7GE099	2	3090.84	9736.15	69.79	2.6	3801.73	47.54	5.1	0.21
B788	BOEING	jet	11GE136	2	3474.43	10944.46	49.8	2.92	4273.55	7.97	0.3	0.25
DC8	MCDONNELL DOUGLAS	jet	1CM003	4	1695.19	5339.85	15.62	1.42	2085.08	26.32	1.51	0.12
DC10	MCDONNELL DOUGLAS	jet	3GE074	3	2305.93	7263.67	35.65	1.94	2836.29	20.59	2.37	0.22
E175	EMBRAER	jet	8GE108	2	481.56	1516.91	4.44	0.4	592.32	4.11	0.04	0.03
F27	FOKKER	Jet	Turboprop	2	217.15	684.03	0.3	0.18	267.1	18.65	13.48	0
MD11	MCDONNELL DOUGLAS	jet	2GE049	3	2627.91	8277.92	38.17	2.21	3232.33	18.28	1.43	0.17
T39	SABRELINER	jet	1AS002	2	183.68	578.6	1.69	0.15	225.93	4.51	0.79	0.13

Ek 3: 12.01.2021 tarihli ve #2302540454 nolu CİMER başvuruma gelen cevap.

Başvuru Bilgileri

Başvuru Sayısı	2302540454
Başvuru Zamanı	21/03/2023 13:12:22
Başvuru Tipi	Bilgi Edinme
Başvuru Durumu	Başvuru Yapıldı
Başvuru Metni	İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Yüksek lisans yapmaktayım. Termodinamik alanında yaptığım yüksek lisans için uşak ve kütahya hava limanları üzerine araştırma yapmaktayım. Uşak ve kütahya havalimanında 2020 -2022 yılları arasında gerçekleşen uçak ve yolcu trafik bilgileri uçak tiplerine ve hat bilgisine göre aylık bazda değerlerini ve uçak tiplerine iniş kalkış değerlerini sizden istemekteyim . Gereğin yapılmasını arz ederim.
Başvuru Yolu	CİMER Sayfası

Cevaplar

Cevap Zamanı	Cevap	Kurum Birim Adı
07/04/2023 13:32:28	21.03.2023 tarihli ve 2302540454 sayılı Cimer başvurunuzda yapmakta olduğunuz yüksek lisansınız için Uşak ve Kütahya havalimanlarına ait 2020-2022 yıllarında uçak tipi ve hat detayında aylık bazda uçak ve yolcu trafiği talep edilmiştir. Uşak ve Zafer (Afyonkarahisar-Kütahya-Uşak) Havalimanlarında 2020-2022(*) yıllarında gerçekleşen uçak ve yolcu trafiği uçak tipi, hat ve iniş-kalkış detayında aylık bazda hazırlanarak ekte yer alan excel dosyası ile gönderilmiştir. Uçak trafiği, ilgili havalimanlarına inen ve kalkan olmak üzere gerçekleşen tüm uçuşları; Yolcu trafiği ise yalnızca ticari amaçlı uçuş gerçekleştiren uçaklara ait yolcu trafiğini kapsamaktadır. Bilgilerinizi rica ederiz.	DEVLET HAVA MEYDANLARI İŞLETMESİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (DHMİ) > STRATEJİ GELİŞTİRME DAİRESİ BAŞKANLIĞI

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yusuf YILMAZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Ön lisans** : 2013/İnönü Üniversitesi/Yakınca Meslek Yüksekokulu/Otomotiv Teknolojisi
- **Lisans** : 2018/İnönü Üniversitesi/Mühendislik Fak./Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : İnönü Üniversitesi/Fen Bilimleri Ens./Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2018-Devam- Hava Kuvvetleri Komutanlığında görev yapmaktadır.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Yılmaz, Y., & Behçet, R. (2024).** Kütahya Zafer Havalimanını Kullanan Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonlar. EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 2024.
- **Yılmaz, Y., & Behçet, R. (2024).** Farklı Havalimanlarını Kullanan Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Karşılaştırılması. Aserc 1st International Conference On Health, Engineering, Architecture And Amthematics, 2024 (pp.106-118).
- **Yılmaz, Y., & Behçet, R. (2024).** Kütahya Havalimanı Kullanan Uçak Emisyonlarının Çevresel Etkileri. Aserc 1st International Conference On Health, Engineering, Architecture And Amthematics, 2024 (pp.119-133).