

**T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALATYA ERHAÇ HAVALİMANI İÇİN UÇAK EMİSYONLARININ  
BELİRLENMESİ VE ÇEVREYE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ramazan GENÇ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Rasim BEHÇET**

**EKİM 2022**

**T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALATYA ERHAÇ HAVALİMANI İÇİN UÇAK EMİSYONLARININ  
BELİRLENMESİ VE ÇEVREYE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ramazan GENÇ  
(36193618087)**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Rasim BEHÇET**

**EKİM 2022**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aőamasında, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedен beni her konuda yönlendiren özellikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Rasim BEHÇET'e teşekkürlerimi sunarım. Bu zorlu tez sürecinde benden desteğini bir an için bile esirgemeyen değerli eşim, kızım ve oğluma, Yüksek Lisans öğrenimim boyunca bana destek olan arkadaşım İbrahim ŞAHİN'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.



## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Malatya Erhaç Havalimanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi ve Çevreye Etkileri” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığıım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ramazan GENÇ



## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ .....	i
ONUR SÖZÜ .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	viii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş .....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Literatür Taraması .....	3
<b>2. SİVİL HAVACILIK.....</b>	<b>8</b>
2.1 Türk Sivil Havacılığı .....	8
2.2 Türk Sivil Havacılık Kuruluşları .....	9
2.2.1 Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) .....	9
2.2.2 Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ) .....	9
2.2.3 Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) ..	10
2.3 Uluslararası Sivil Havacılık Kuruluşları.....	10
2.3.1 Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) .....	10
2.3.2 Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (EASA).....	11
2.3.3 Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA).....	11
2.2.4 Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI) .....	11
2.2.5 Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü (EUROCONTROL).....	12
<b>3. GAZ TÜRBİNLİ MOTORLAR VE HAVACILIKTA KULLANIMI .....</b>	<b>13</b>
3.1 Giriş .....	13
3.2 Uçak Motorları.....	13
3.2.1 Pistonlu tip motorlar .....	14
3.2.2 Gaz türbinli tip motorlar .....	15
3.3 Gaz Türbinli Motor Tipleri .....	15
3.3.1 Turbojet motorlar.....	16
3.3.2 Turboprop motorlar .....	17
3.3.3 Turboşaft motorlar .....	18
3.3.4 Turbofan motorlar.....	19
3.4 Gaz Türbinli Motorların Kısımları .....	19
3.4.1 Motor hava alığı kısmı.....	20
3.4.2 Kompresör kısmı .....	21
3.4.3 Yanma odaları kısmı.....	23
3.4.4 Türbin kısmı .....	26
3.4.5 Egzoz bölümü .....	27
3.5 Gaz Türbinli Motorların Çalışma Prensibi (Turbofan Motor Örneği).....	27
<b>4. HAVA KİRLİLİĞİ VE KİRLİTİCİ GAZLAR.....</b>	<b>30</b>
4.1 Hava Kirliliği ve Kaynakları.....	30
4.1.1 Doğal kaynaklı hava kirliliği .....	30
4.1.2 İnsan kaynaklı hava kirliliği .....	30
4.2 Uçak Operasyonları Sırasında Oluşan Emisyonlar.....	31
4.2.1 Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ).....	33
4.2.2 Su Buharı (H <sub>2</sub> O) .....	33
4.2.3 Azot Oksit (NO <sub>x</sub> ) .....	34

4.2.4 Kükürt Oksitler (SO <sub>x</sub> ).....	34
4.2.5 Karbon Monoksit (CO) .....	34
4.2.6 Hidrokarbonlar (HC) .....	35
4.2.7 Partikül Maddeler (PM) .....	35
4.3 Uçak Emisyonlarının Çevresel Etkileri .....	35
<b>5. IPCC METODOLOJİSİ VE EMİSYON HESAPLAMA YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>40</b>
5.1 Uçuş Profili ve Aşamaları.....	40
5.2 LTO (Landing and Take Off) Döngüsü.....	41
5.3 IPCC Metodolojisi .....	42
5.4 IPCC Emisyon Hesaplama Yöntemleri .....	44
5.4.1 Tier 1 yöntemi .....	44
5.4.2 Tier 2 yöntemi .....	45
5.4.3 Tier 3 yöntemi .....	45
<b>6. MALATYA ERHAÇ HAVALİMANININ UÇAK EMİSYONLARI .....</b>	<b>46</b>
6.1 Malatya İli ve Havalimanına Ait Bilgiler .....	46
6.2 2016 Yılına Ait Uçak Emisyonları .....	49
6.3 2017 Yılına Ait Uçak Emisyonları .....	57
6.4 2018 Yılına Ait Uçak Emisyonları .....	64
6.5 2019 Yılına Ait Uçak Emisyonları .....	71
6.6 2020 Yılına Ait Uçak Emisyonları .....	78
6.7 2016-2020 Yıllarına Ait (5 Yıllık) Uçak Emisyonları Toplamı .....	85
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>91</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>96</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>100</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>103</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 : 2003 yılından itibaren gerçekleşen yolcu sayıları [01].....	1
Çizelge 1.2 : 2003 yılından itibaren gerçekleşen uçak trafiği [01].....	2
Çizelge 4.1 : Havacılık emisyonlarının rolleri ve dünya yüzeyine olan etkileri [23]. .....	37
Çizelge 5.1 : Referans alınacak LTO döngüsü. ....	42
Çizelge 6.1 : Havaalanını kullanan uçak tiplerinin emisyon faktörleri [72]. ....	56
Çizelge 6.2 : 2016 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları. ....	57
Çizelge 6.3 : 2017 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları. ....	64
Çizelge 6.4 : 2018 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları. ....	71
Çizelge 6.5 : 2019 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları. ....	78
Çizelge 6.6 : 2020 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları. ....	85
Çizelge 6.7 : 2016-2020 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları.....	90



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 : Pistonlu tip uçak motoru [32].	14
Şekil 3.2 : Bir silindir içinde pistonun hareketi ve pervaneye aktarılması [33].	14
Şekil 3.3 : Gaz türbinli tip motor [34].	15
Şekil 3.4 : Frank Whittle tip turbo jet motoru [34].	16
Şekil 3.5 : Uçak üzerinde turbo jet motorları [34].	16
Şekil 3.6 : Uçak üzerinde turboprop motoru [34].	17
Şekil 3.7 : Turboprop motor kısımları [37].	17
Şekil 3.8 : Turbo şaft motor kısımları [38].	18
Şekil 3.9 : Bir helikoptere yerleştirilmiş turbo şaft motoru ve bağlantıları [33].	18
Şekil 3.10 : Boeing 757'ye takılan RB211-535'in kesit diyagramı [39].	19
Şekil 3.11 : Turbo fan motor kısımları [41].	20
Şekil 3.12 : Iraksak tip turbo fan motor hava alığı [41].	20
Şekil 3.13 : Santrifüj akışlı kompresör [41].	21
Şekil 3.14 : Eksenel akışlı kompresör [41].	22
Şekil 3.15 : Rotor ve statordan oluşan bir kompresör kademesi [41].	22
Şekil 3.16 : Yanma odası ve yanmış gaz akışı [41].	23
Şekil 3.17 : Hava akımının yanma odasındaki hızı ve girdap akımlarının oluşumu [41].	25
Şekil 3.18 : Girdap kanatçıkların yanma odasındaki konumu [41].	25
Şekil 3.19 : Yanma odası tipleri [41].	25
Şekil 3.20 : Radyal akışlı türbin [41].	26
Şekil 3.21 : Eksenel akışlı türbin [41].	26
Şekil 3.22 : Turbo fan egzoz kısmı [41].	27
Şekil 3.23 : Turbo fan motoru içinden hava akışı [41].	28
Şekil 3.24 : Turbo fan motoru içinden hava akışı [41].	28
Şekil 3.25 : Motorun içinden akan hava akışı ve tepki kuvvetinin oluşumu [33].	28
Şekil 3.26 : Turbo fan motorunun şaft ve bağlantıları [33].	29
Şekil 4.1 : 150 yolcu ile 1 saatlik uçuş sırasında iki motorlu jet uçağından kaynaklanan emisyonlar [47].	31
Şekil 4.2 : Emisyonların motor gücü ile değişimi [33].	32
Şekil 4.3 : Küresel ısınmada buzullardaki değişim [55].	36
Şekil 4.4 : Havacılığın çevre üzerine etki zinciri [23].	39
Şekil 5.1 : Uçuş profili aşamaları [62].	40
Şekil 5.2 : LTO (Landing and take-off) döngüsü [63].	41
Şekil 6.1 : Türkiye haritasında Malatya ilinin konumu [70].	46
Şekil 6.2 : Malatya Erhaç havalimanına ait resimler [71].	47
Şekil 6.3 : Malatya Erhaç havalimanının uydu görüntüsü [74].	48
Şekil 6.4 : Malatya Erhaç havalimanı (LTAT) pist bilgisi [75].	48
Şekil 6.5 : 2016 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği.	50
Şekil 6.6 : 2016 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları.	50
Şekil 6.7 : 2016 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.	51
Şekil 6.8 : 2016 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).	51
Şekil 6.9 : 2016 yılı için uçak tiplerine göre CO <sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).	52
Şekil 6.10 : 2016 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.	53
Şekil 6.11 : 2016 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).	54
Şekil 6.12 : 2016 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).	54
Şekil 6.13 : 2016 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).	55
Şekil 6.14 : 2016 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).	55
Şekil 6.15 : 2017 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği.	58
Şekil 6.16 : 2017 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları.	58



Şekil 6.17 : 2017 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.....	59
Şekil 6.18 : 2017 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).....	59
Şekil 6.19 : 2017 yılı için uçak tiplerine göre CO <sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).....	60
Şekil 6.20 : 2017 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.....	61
Şekil 6.21 : 2017 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).....	61
Şekil 6.22 : 2017 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).....	62
Şekil 6.23 : 2017 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).....	63
Şekil 6.24 : 2017 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (ton). 63	
Şekil 6.25 : 2018 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği. ....	65
Şekil 6.26 : 2018 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları. ....	65
Şekil 6.27 : 2018 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.....	66
Şekil 6.28 : 2018 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).....	66
Şekil 6.29 : 2018 yılı için uçak tiplerine göre CO <sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).....	67
Şekil 6.30 : 2018 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.....	68
Şekil 6.31 : 2018 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).....	68
Şekil 6.32 : 2018 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).....	69
Şekil 6.33 : 2018 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).....	70
Şekil 6.34 : 2018 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (ton). 70	
Şekil 6.35 : 2019 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği. ....	72
Şekil 6.36 : 2019 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları. ....	72
Şekil 6.37 : 2019 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.....	73
Şekil 6.38 : 2019 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).....	73
Şekil 6.39 : 2019 yılı için uçak tiplerine göre CO <sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).....	74
Şekil 6.40 : 2019 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.....	75
Şekil 6.41 : 2019 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).....	75
Şekil 6.42 : 2019 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).....	76
Şekil 6.43 : 2019 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).....	77
Şekil 6.44 : 2019 yılı için uçak tiplerine ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri. 77	
Şekil 6.45 : 2020 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği. ....	79
Şekil 6.46 : 2020 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları. ....	79
Şekil 6.47 : 2020 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.....	80
Şekil 6.48 : 2020 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).....	80
Şekil 6.49 : 2020 yılı için uçak tiplerine göre CO <sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).....	81
Şekil 6.50 : 2020 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.....	82
Şekil 6.51 : 2020 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).....	82
Şekil 6.52 : 2020 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).....	83
Şekil 6.53 : 2020 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).....	84
Şekil 6.54 : 2020 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (ton). 84	
Şekil 6.55 : 2016-2020 yılları arası toplam uçak trafiği. ....	86
Şekil 6.56 : 2016-2020 yılları arası toplam yolcu sayısı. ....	86
Şekil 6.57 : 2016-2020 yılları arası HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).....	87
Şekil 6.58 : 2016-2020 yılları arası uçuş fazlarına göre emisyon değerleri.....	87
Şekil 6.59 : 2016-2020 yılları uçuş fazlarına göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri.....	88
Şekil 6.60 : 2016-2020 yılları arası CO <sub>2</sub> emisyon değerleri (t/y).....	89
Şekil 6.61 : 2016-2020 yılları arası toplam yakıt tüketimleri (t/y). ....	89

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

<b>ICAO</b>	: International Civil Aviation Organisation (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı)
<b>EEA</b>	: European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
<b>LTO</b>	: Landing and Take-off (İniş ve Kalkış Sayısı)
<b>IPCC</b>	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
<b>CO</b>	: Karbon monoksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azot oksit
<b>HC</b>	: Hidrokarbon
<b>H<sub>2</sub>O</b>	: Su buharı
<b>SO<sub>x</sub></b>	: Sülfür oksit
<b>PM</b>	: Partikül madde
<b>DHMİ</b>	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
<b>ATM</b>	: Airspace and Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)
<b>SHGM</b>	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
<b>DLH</b>	: Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Md.
<b>IATA</b>	: International Air Transport Association (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği)
<b>ECAC</b>	: European Civil Aviation Conference (Avrupa Sivil Havacılık Konferansı)
<b>EUROCONTROL</b>	: European Organisation for the Safety of Air Navigation (Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü)
<b>ACI</b>	: Airports Council International (Uluslararası Havalimanları Konseyi)
<b>EASA</b>	: European Aviation Safety Agency (Avrupa Hava Güvenliği Ajansı)
<b>N1</b>	: Low Pressure Shaft (Düşük Basınç Şaftı)
<b>N2</b>	: High Pressure Shaft (Yüksek Basınç Şaftı)
<b>LPC</b>	: Low Pressure Compressor (Düşük Basınç Kompresörü)
<b>HPC</b>	: High Pressure Compressor (Yüksek Basınç Kompresörü)
<b>LPT</b>	: Low Pressure Turbine (Düşük Basınç Türbini)
<b>HPT</b>	: High Pressure Turbine (Yüksek Basınç Türbini)
<b>APU</b>	: Auxiliary Power Unit (Yardımcı Güç Ünitesi)
<b>WMO</b>	: World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
<b>UNFCCC</b>	: United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi)
<b>UNEP</b>	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
<b>E</b>	: Emission Amount (Emisyon Miktarı)
<b>F</b>	: Fuel Amount (Kullanılan Yakıt Miktarı)
<b>EF</b>	: Emission Factor (Emisyon Faktörü)
<b>t/y</b>	: Ton/yıl
<b>kg/y</b>	: Kilogram/yıl

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MALATYA ERHAÇ HAVALİMANI İÇİN UÇAK EMİSYONLARININ BELİRLENMESİ VE ÇEVREYE ETKİLERİ RAMAZAN GENÇ

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

103+X sayfa

2022

Danışman: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Havacılık sektörü, son yıllarda diğer ulaşım sektörlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Havacılık sektörüne olan talebin her geçen gün artması sonucu uçaklardan kaynaklı emisyonlarda da artış yaşanmaktadır.

Bu çalışmada, Malatya Erhaç havalimanı için 2016-2020 yılları arası hem yıl bazında hem de bu beş yıllık sürede uçaklardan kaynaklanan kirletici gazlar IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) metodolojisi Tier 2 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir yıl için; aylara göre uçak trafiği ve yolcu sayıları, uçak tiplerine göre LTO (İniş ve Kalkış Sayısı) sayıları, uçak tiplerine göre emisyonlar, uçuş fazlarına göre emisyon değerleri, uçak tiplerine göre Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), Sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), Su buharı (H<sub>2</sub>O), Hidrokarbon (HC), Karbon monoksit (CO), Azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve Partikül madde (PM) emisyon değerleri ve LTO sayılarına göre yakıt tüketimleri tablo ve grafikler halinde verilmiştir. Uçak motorlarından oluşan bu emisyonların atmosfer üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle emisyonların çeşitleri yanında miktarlarının bilinmesi de büyük önem arz etmektedir. Beş yıllık sürede çevre havaya salınan toplam HC miktarı 21,73 ton, CO miktarı 183,70 ton ve NO<sub>x</sub> miktarı 288,99 ton, CO<sub>2</sub> miktarı 66.331,05 ton, SO<sub>x</sub> miktarı 18,22 ton, H<sub>2</sub>O miktarı 25.753,05 ton, PM miktarı ise 1,77 ton olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan değerler sadece ticari amaçlı yapılan uçuşların LTO süreçlerinde elde edilmiştir. Askeri amaçlı yapılan uçuşlar hesaplama dâhil edilmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Malatya Erhaç Havalimanı, Uçak emisyonları, Uçak tipleri, LTO safhaları.

## ABSTRACT

Master Thesis

### DETERMINATION OF AIRCRAFT EMISSIONS OF MALATYA ERHAÇ AIRPORT AND ITS ENVIRONMENTAL EFFECTS

Ramazan GENÇ

Inonu University  
Graduate School of Nature and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

103+X sayfa

2022

Supervisor: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

The aviation sector has been preferred more than other transportation sectors in recent years. As the demand for the aviation sector increases day by day, there is an increase in emissions from aircraft.

In this study, pollutant gases originating from airplanes for Malatya Erhaç airport between 2016-2020, both on a yearly basis and in this five-year period, were calculated using the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) methodology Tier 2 method. For each year; Aircraft traffic and passenger numbers by months, LTO (Landing and Take-off Number) numbers by aircraft types, emissions by aircraft types, emission values according to flight phases, Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), Sulfur oxide (SO<sub>x</sub>), Water vapor (H<sub>2</sub>O) according to aircraft types; Hydrocarbon (HC), Carbon monoxide (CO), Nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) and Particulate matter (PM) emission values and fuel consumption according to LTO numbers are given in tables and graphics. These emissions from aircraft engines have major effects on the atmosphere. For this reason, it is of great importance to know the amount of emissions as well as their types. It has been calculated as that the total amount of HC released to the environment in a five-year period is 21.73 tons, the amount of CO is 183.70 tons, the amount of NO<sub>x</sub> is 288.99 tons, the amount of CO<sub>2</sub> is 66,331.05 tons, the amount of SO<sub>x</sub> is 18.22 tons, the amount of H<sub>2</sub>O is 25.753.05 tons, the amount of PM is 1,77 tons.

The calculated values have been obtained only in the LTO processes of commercial flights. Military flights are not included in the calculation.

**Keywords:** Malatya Erhaç Airport, Aircraft emissions, Aircraft types, LTO phases.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Giriş

Havayolu taşımacılığı hava aracı ile yolcuların ve kargoların tarifeli ve tarifesiz olarak, yer ve zamandan tasarruf ederek, bir noktadan başka bir noktaya havadan yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Bir başka ifade ile yolcuların ve kargoların bir hava aracı ile yer değiştirmesi durumu hava taşımacılığı faaliyeti olarak tanımlanabilir.

Türkiye’de sınırların geniş olmasından dolayı ve Türkiye’nin coğrafi yapısı gereği hava yolu kullanımı büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden ülkemizde hava yolu ile ulaşım her geçen gün artmaktadır. Kara yolu ile saatler sürecektir yolculuğun hava yolu ile iki saatten daha az sürede gerçekleşmesi insanları hava yolu ile ulaşımaya yönlendirmektedir. Bir diğer unsur da hava yolu ile yapılan yolculukların kara yolu ile yapılan yolculuklara göre daha emniyetli olmasıdır. 2020 yılı sonu itibarıyla, toplam yolcu sayısı 81,6 milyon olarak gerçekleşmiştir. Tüm dünyayı etkisi altına alan korona virüs yüzünden en çok etkilenen sektörlerden birisi de havacılık sektörü olmuştur. İç hat yolcu sayısı 2019 yılına göre %50,4; dış hat yolcu sayısı ise %70,5 azalmıştır. 2003 yılından 2020 yılı sonuna kadar gerçekleşen yolcu sayıları çizelge 1.1’de gösterilmektedir.

**Çizelge 1.1 : 2003 yılından itibaren gerçekleşen yolcu sayıları [01].**

Yolcu Trafikği	2003	2019	2020	2019-2020 (%) Değişim
İç Hat	9.147	99.946.52	49.621.174	%-50,4
Dış Hat	25.296	108.427.124	31.986.025	%-70,5
Transit	0	537.642	49.871	%-90,7
<b>Toplam</b>	<b>34.443</b>	<b>208.911.338</b>	<b>81.657.070</b>	<b>%-60,9</b>

2020 yılında, toplam uçak trafikği 1 milyonun üzerinde gerçekleşmiştir. İç hat uçak trafikği 2019 yılına göre %31,5; dış hat uçak trafikği %60,8 ve transit uçak trafikği ise %57,9 azalma göstermiştir. 2003 yılından 2020 yılı sonuna kadar gerçekleşen uçak trafikği çizelge 1.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 1.2 : 2003 yılından itibaren gerçekleşen uçak trafiği [01].**

<b>Yolcu Trafiği</b>	<b>2003</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2019-2020 (%) Değişim</b>
İç Hat	156.582	839.894	575.262	%-31,5
Dış Hat	218.405	716.523	280.571	%-60,8
Transit	154.218	478.013	201.514	%-57,9
<b>Toplam</b>	<b>529.205</b>	<b>2.034.430</b>	<b>1.057.247</b>	<b>%-48,0</b>

Günümüzde kullanılan yakıtların büyük çoğunluğu petrol kaynaklı yakıtlardır. Uçaklarda kullanılan gaz türbinli motorlarda yanma sonucu, kullanılan yakıtla bağlı olarak çeşitli kirleticiler ortaya çıkmaktadır [02].

Havaalanı emisyonlarına baktığımızda, uçakların iniş ve kalkış işlemleri, kalkış taksi işlemi, iniş taksi işlemi, yer hizmet araçları operasyonları, yardımcı güç ünitesi çalıştırma, harici yer elektrik sağlayıcı aracı, harici yer pnömatik hava sağlayıcı aracı, terminal binaları, havaalanı ve çevresindeki yol trafiği havaalanının çevresel ayak izine katkıda bulunmaktadır.

Gaz türbinli motorların sertifikalandırılmasına yönelik uluslararası emisyon standartları Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO-International Civil Aviation Organisation) tarafından 1981 yılında oluşturulmuş ve Chicago Konvansiyonu Annex 16 Cilt II' de yayınlanmıştır.

ICAO' nun uçak emisyonlarına yönelik uluslararası belgelendirme rejimi zamanla artan iyileştirme çalışmalarıyla uçakların emisyon değerlerinde önemli mesafeler kat edilmiştir. 1960 yılından günümüze uçaklardan kaynaklı Hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve duman emisyonları %90 oranında azalma göstermiştir. Fakat bu azalmayı sağlamak için gerekli yanma şartları azot oksit ( $NO_x$ ) emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır [03].

Uçak motoru üreticilerinin yeni motor teknolojileri kullanmalarının yanı sıra pilotların da taksi yapmak yerine uçağın çekilmesini sağlamak, bu mümkün değilse tek motor ile taksi yapmak, yardımcı güç ünitesini minimum düzeyde kullanmak, herhangi bir gecikme anında ana motorların kapatılmasını sağlamak ve ana motorları mümkün olduğunca geç çalıştırmak gibi çeşitli operasyon tekniklerini kullanarak yerdeki emisyonlar daha da aza çekilebilir.

## 1.2 Tezin Amacı

Hava yolu ulaşımının diğer ulaşım sistemlerine göre üstün tarafları olduğundan her geçen gün önemi daha da artmaktadır. Havacılık sektörü, üstün yanları neticesinde diğer ulaşım sektörlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Havacılık sektörüne olan talebin her geçen gün artması sonucu uçaklardan kaynaklı emisyonlarda da buna paralel olarak artış yaşanmaktadır.

Türkiye’de havacılık sektörünün gelişmesiyle birlikte özellikle 2000 yılından itibaren iç hat havayolu seferleri artış göstermiştir. LTO sayılarındaki artışla doğru orantılı olarak yakıt tüketimleri de artmıştır. Hem LTO sayısındaki artış hem de kullanılan yakıt miktarındaki artış uçak emisyonlarında artışa neden olmuştur.

Bu çalışmada, Malatya ili ve Malatya Erhaç havalimanı hakkında bilgiler verilerek Malatya Erhaç Havalimanı için 2016-2020 yılları arası hem yıl bazında hem de bu beş yıllık süreçte uçaklardan kaynaklanan kirletici gazlar IPCC metodolojisi (Intergovernmental Panel on Climate Change-Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) Tier 2 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir yıl için; aylara göre uçak trafiği ve yolcu sayıları, uçak tiplerine göre LTO sayıları, uçak tiplerine göre emisyonlar, uçuş fazlarına göre emisyon değerleri, uçak tiplerine göre HC, CO ve NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>x</sub> ve PM emisyon değerleri ve LTO sayılarına göre yakıt tüketimleri tablo ve grafikler halinde verilmiştir. Bu değerler sadece ticari amaçlı yapılan uçuşlardan elde edilmiştir. Askeri amaçlı yapılan uçuşlar hesaplama dahil edilmemiştir.

## 1.3 Literatür Taraması

Kesgin [04] yaptığı çalışmada 2001 yılı için Türkiye’de seçtiği kırk havaalanı için LTO döngüsünde ortama salınan kirletici emisyonları hesaplamıştır. Atatürk havaalanı için hesaplama sonucunda ortama salınan emisyon miktarının en yüksek değerini 4.254,33 t/y ve yine aynı şekilde ortama salınan en düşük emisyon miktarını 3.777,20 t/y olarak hesaplamıştır. Keskin yaptığı çalışmada ayrıca LTO çevriminden olan taksi süresinin iki dakika azaltılması neticesinde kirletici emisyon miktarlarının %6 azaltılabileceği sonucuna varmıştır.

Schafer ve ark. [05] 2003 yılında yaptığı çalışmada uzaktan tespit yöntemini kullanarak Frankfurt, Londra ve Viyana havaalanları için uçak egzoz emisyonlarını tespit etmişlerdir. 100’ün üzerinde uçuş için yapılan ölçüm verilerine göre azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonunun

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO-International Civil Aviation Organisation) veri tabanında verilen değerlerden yaklaşık %50 daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Yine aynı çalışmada, uçak motorunun yaşının, motora yapılan düzenli bakımların emisyon değerlerinde farklı sonuçlar vereceği dile getirilmiştir.

Eyers ve ark. [06] 2004 yılında yaptığı çalışmada, 2002 yılı için küresel düzeyde sivil ve askeri hava araçları için NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, HC ve PM emisyon envanteri oluşturulmuştur. 2002 yılının verilerinden yola çıkarak 2025 yılı için kirletici emisyon tahmininde bulunulmuştur. Tahmine göre, 2025 yılı için 2002 yılına kıyasla 2,6 kat artacak olan hava trafiğinin sonucunda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su buharı (H<sub>2</sub>O) emisyonlarının iki kat, azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonunun ise 1,6 kat artacağı ifade edilmektedir.

Fleuti ve Polymeris [07] tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada, Zürih havaalanındaki uçakların LTO fazlarını oluşturup LTO çevrimine bağlı emisyon faktörlerinin hesaplanarak Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO-International Civil Aviation Organisation) LTO döngüsüne göre kıyaslama yapılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda bilhassa kalkış ve tırmanma fazlarında ICAO LTO çevrimine göre belirgin farklar olduğu tespit edilmiştir. LTO döngü sürelerinde de bazı farklılıklar görülmüştür.

Schürmann ve ark. [08] tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada, Zürih havaalanı için uçaklardan kaynaklı emisyonların yerel hava kalitesi üzerindeki etkileri belirlemek için birtakım ölçümler yapmışlardır. NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO ve NO<sub>2</sub> emisyonları ölçülerek uçak motorunun emisyon endekslerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Havaalanında karbon monoksit (CO) emisyon miktarlarının çoğunlukla uçak hareketlerinden kaynaklandığını ve NO emisyonlarının da havaalanlarındaki yer destek araçlarından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda belirlenen emisyon endekslerinin kullanılan uçak motor tipine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Elbir [09] tarafından yapılan çalışmada Adnan Menderes Havalimanı için uçuş bilgisayarı kullanılarak yıllık trafik kapasitesinin %16'sını baz alarak hidrokarbon (HC) değerini 21.000 kg, karbon monoksit (CO) değerini 138.000 kg ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) değerini ise 197.000 kg olarak hesaplamıştır.

Gökçek ve Bekdemir [10] tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada Türkiye'nin en fazla trafiğine sahip dört havalimanına ait (Atatürk Havalimanı, Esenboğa Havalimanı, Adnan Menderes Havalimanı ve Antalya Havalimanı) uçak emisyonlarından NO<sub>x</sub> gazlarının



belirlenmesi için LTO döngüsünden faydalanmıştır. İstanbul'da bulunan Atatürk Havalimanı için yıllık 1.959 ton ile 1.672 ton arasında değerler elde etmiştir.

Ünal A. [11] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada Atlanta Havalimanı için uçaklardan kaynaklı kirleticileri belirleyerek yerel hava kalitesine etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada partikül maddeler ve ozon gazı emisyonlarına daha fazla yer verilmiştir. Araştırma partikül madde emisyon miktarının ozon gazı emisyon miktarından daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Carslaw ve ark. [12] tarafından Heathrow Havalimanı için yerel hava kalitesini belirlemek adına yapılan çalışmada uçaklardan kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyonunun havalimanındaki diğer kirleticiler içindeki oranını hesaplamışlardır. Buldukları sonuca göre ilgili havalimanı için yıllık NO<sub>x</sub> emisyonunun toplam kirleticiler içerisinde uçaklardan kaynaklanan oran %27 olarak belirlenmiştir. Ayrıca uçaklardan kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyonunun ilgili havalimanının 2.600 m uzağına etkidiğini hesaplamışlardır.

Winther ve ark. [13] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada Kopenhag Havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyon değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada LTO döngüsü kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda belirlenen emisyon değerlerinin ICAO veri tabanındaki emisyon değerlerinden daha düşük olduğu diğer yandan ise HC emisyonlarının daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Steib ve ark. [14] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada Macaristan Budapeşte Ferihegy Havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyon değerleri hesaplanmıştır. En fazla iniş kalkış yapan uçak tipinin Boeing 737 olduğu belirlenmiştir. Hesaplama LTO döngüsündeki standart değerler kullanılmıştır. Büyük uçaklarda yardımcı güç ünitesinin kullanıldığını küçük uçaklarda kullanılmadığını kabul etmişlerdir. Havalimanı yerel hava kalitesine sadece uçakların değil diğer araçların da etki ettiği kirleticileri de konu almışlardır.

Nikoleris ve ark. [15] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, Dallas/Fort Worth Havalimanındaki uçak operasyonlarına ait yakıt tüketimi ve buna bağlı emisyon değerlerinin tahmininde bulunmuşlardır. Yapılan değerlendirmede taksi işlemleri zamanındaki tıkanıklıkların uçakların daha fazla dur-kalk yapmalarına bağlı olarak tüketilen yakıt miktarının yaklaşık olarak %18 olduğu belirlenmiştir. Uçakların taksi zamanlarındaki fazla miktardaki frenleme işlemi ve çalışma süresinin uzaması, tüketilen yakıt miktarında uçaklarda kullanılan motor tiplerine göre de belirleyici unsur olmaktadır.

Çağatan [16] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada Türkiye'nin en büyük havalimanlarından Atatürk Havalimanı'nın uçaklardan kaynaklanan emisyon miktarlarının çevreye etkilerini belirlemiştir. IPCC metodolojilerinden Tier yöntemi kullanılarak 2009 yılına ait ilgili havalimanı için CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazların emisyon miktarlarını belirlemiştir. Karbondioksit gazının yakıt tüketiminin artışıyla doğru orantılı olarak arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Öztürk [17] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, Kayseri Erkilet Havalimanı için 2008-2010 yıllarına ait uçaklardan kaynaklanan kirleticileri hesaplanmıştır. İlgili yıllara ait uçuş verilerini Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nden (DHMI) alarak ve LTO döngüsünü kullanarak Tier 2 metoduyla hesaplamalar yapmıştır. Yapılan çalışma sonucuna göre, yıl bazında salınan emisyon miktarının en fazla 177,94 ton ve en düşük değerin ise 138,71 ton olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan emisyon miktarlarının %30'u dış hat uçuş kaynaklı ve %70'in ise iç hat seferleri sonucunda olduğu belirlenmiştir.

Altuntaş ve Karakoç [18] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, bazı havalimanlarında (Eskişehir, Uşak, Adıyaman, Çanakkale ve Ağrı) gerçekleştirilen 2006-2009 yılları arasındaki iç hat uçuşlarının havalimanı çevresine etkileri incelenmiştir. Bu çalışma ile, iç hat seferlerinde kullanılan büyük, dar gövdeli uçakların yerine, bölgesel jet uçakların tercih edilmesiyle LTO döngüsünde meydana gelen uçak emisyonlarının insan sağlığı üzerine büyük oranda (%62 azalma) olumlu etki yapacağı sonucuna varılmıştır.

Yılmaz ve İlbaş [19] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, gaz türbinli motor tiplerinden olan turbofan ve turbojet motorlarından kaynaklanan kirletici emisyonlar incelenmiştir. İncelenen kirletici gazlar, hidrokarbon, karbon monoksit ve azot oksitlerdir. Ayrıca bu çalışmada, jet yakıtı ile biyodizelin farklı oranlarda karıştırılması neticesinde elde edilen yeni karışımın gaz türbinli motor emisyonuna etkisi araştırılmıştır.

Çizmecioğlu [20] 2013 yılında yaptığı çalışmada, Türkiye'de sivil havacılık faaliyetlerini değerlendirmektedir. Başlıca ulaşım sistemlerini tanıtarak karşılaştırma yapmaktadır. Sivil havacılığın tarihini, önemli gelişmelerini, ekonomiye katkılarını bir istatistiki çalışma yaparak sunmaktadır. Ayrıca çalışmasında sivil havacılığın genel görünümü hakkında anket çalışması yaparak çeşitli sonuçlar elde etmiştir.

Ünal ve ark. [21] tarafından 2014 yılında Nevşehir Kapadokya Havalimanı için yapılan çalışmada, havalimanından ve uçaklardan kaynaklanan gürültü ve emisyon ölçümlerini yapmışlardır. Nevşehir Kapadokya Havalimanının yeşil havalimanı şartlarını sağlaması için

Tuzlaköy Kasabası ve Gülşehir İlçesinde gürültü ölçümleri yapmışlardır. Emisyon hesaplamasında IPCC metodolojisi ve Tier yöntemlerini kullanmışlardır.

Akpınar [22] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, Türkiye'deki bazı havalimanlarında hidrokarbon emisyon ölçümleri yapılmıştır. Uçakların hem ana motorlarından hem de yardımcı güç ünitesinden kaynaklanan emisyonlar birlikte hesaplanmıştır.

Canarlanlar [23] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, Türkiye iç hat seferlerindeki uçak yakıt tüketiminin ve emisyon miktarının (ATM-Airspace and Traffic Management) Hava Sahası ve Trafik Yönetimi ile ilişkisi gerçek verilere dayalı olarak ortaya konulmuştur. Havaalanı ve çevresindeki ATM uçuş verimsizliğinin belirlenmesi amacıyla iniş ve kalkış döngüsü (LTO-Landing and Take-off Cycle) safha süreleri çalışma kapsamındaki her bir havaalanı için belirlenmiş ve ICAO LTO ile kıyaslamaları yapılmıştır.

Babaoğlu ve Özgünoğlu [24] tarafından yapılan çalışmada, 2016 yılında Kahramanmaraş Havalimanında uçakların LTO döngüsünde oluşturdukları kirletici gazları IPCC yöntemi kullanılarak Tier yaklaşımı ile tahmin edilmiştir.

Şekertekin [25] tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada, Türkiye iç hat uçuşlarından kaynaklanan emisyonları belirlemek için IPCC'nin yayınladığı emisyon envanteri hazırlama kılavuzlarından faydalanmış ve LTO operasyonlarından kaynaklanan kirletici emisyonlar hesaplamıştır.

## 2. SİVİL HAVACILIK

### 2.1 Türk Sivil Havacılığı

Türkiye’de ilk havacılık faaliyetleri, 1912 yılında, Sefaköy’de bulunan iki hangar ve bir meydan kullanılarak başlamıştır. Daha sonra 1925 yılında Türk Tayyare Cemiyeti’nin kurulmasıyla Türk Sivil Havacılığının temelleri atılmıştır.

Türkiye’de sivil hava taşımacılığı 5 uçaktan oluşan bir filo ve posta taşımacılığı ile 1933 yılında faaliyete başlamıştır. “Türk Hava Postaları” adı verilen ilk sivil hava taşımacılığımız 23 koltuk kapasiteli 5 uçakla başlamıştır. Bu filoda, beş koltuklu iki adet King Bird, iki adet dört koltuklu Junkers F-13 ve 1 adet on koltuklu ATH-9 uçakları bulunmaktaydı. Bu tarihte Millî Savunma Bakanlığı’na bağlı Havayolları Devlet İşletmesi İdaresi kuruldu ve Türkiye’de sivil hava yolları kurmak ve taşıma yapmak üzere görevlendirildi [20].

Devlet Hava Yolları İşletmesi İdaresi 1935 yılında Bayındırlık Bakanlığı’na, 1938 yılında Devlet Hava Yolları Umum Müdürlüğü adı ile Ulaştırma Bakanlığı’na bağlanmış ve ilk dış sefer Atina’ya 1947 yılında yapılmıştır. 1 Mart 1956 tarihinde, şirket yeniden yapılandırılarak 60 Milyon TL ile Türk Hava Yolları (THY) Anonim Ortaklığı kurulmuştur [20].

Dünyada sivil havacılığın çok hızlı gelişmesi doğrultusunda, ulusal çıkarlarımızın menfaati açısından, havacılıkla ilgili uluslararası ilişkilerimizin yürütülmesi ve geliştirilmesi için 1954 yılında Ulaştırma Bakanlığı’na bağlı Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı kurulmuştur. Daha sonra 1987 yılında kurum Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü olarak yeniden yapılanmıştır. 18 Kasım 2005 tarihine kadar Ulaştırma Bakanlığı’nın ana hizmet birimi olarak faaliyet gösteren Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü 5431 sayılı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun ile finansal açıdan özerk hale gelmiş ve mevcut yapısını sürdürmektedir [26].

1983 yılında çıkarılan 2920 Sayılı Sivil Havacılık Kanunu ile özel hava yolu şirketlerinin kurulmasının önü açılmış ve taşıma faaliyeti yapmalarına izin verilmiştir. 2003 yılında da yapılan yasal değişiklikler ile havayolu şirketlerinin uçak sayısı 2020 sonu itibariyle %160, koltuk kapasitesi %176, kargo kapasitesi %346 artmış bulunmaktadır [27].

## **2.2 Türk Sivil Havacılık Kuruluşları**

Sivil havacılık faaliyetleri askeri havacılık faaliyetleri dışında kalan diğer havacılık faaliyetleri olarak belirtilmiştir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de sivil havacılık faaliyetlerini düzenleyen, ilgili mevzuatların çıkartılmasını, yürütülmesini, uygulanmasını ve denetlenmesini sağlayan bazı kuruluşlar bulunmaktadır. Ülkemizde başlıca sivil havacılık kuruluşları; Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ), Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH), Sivil Toplum Örgütleri, Yer Hizmetleri Kuruluşları ve İkram Servis Kuruluşları olarak sıralanabilir.

### **2.2.1 Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)**

Dünyada sivil havacılığın öneminin giderek artması ile paralel olarak ülkemizde de uluslararası çıkarlarımızın korunması ve dünyaya ayak uydurabilmemiz için 1954 yılında Ulaştırma Bakanlığı bünyesinde Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı kurulmuştur. Daha sonra Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı 1987 yılında Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü olarak yeniden teşkilatlanmıştır. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), Türkiye’deki her türlü sivil havacılık faaliyetlerinin planlamasından, koordinasyonundan ve denetiminden sorumludur [20].

### **2.2.2 Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ)**

Türk Sivil Havacılık sektörüne sahip olduğu tesis ve donanımlarla altyapı hizmeti sunmaktadır. 1933 yılından günümüze değişik isimle faaliyetlerini sürdürmekte olan Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 233 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile 1984 yılından beri Kamu İktisadi Teşebbüsü olarak faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü’nün (DHMİ) merkezi Ankara’dadır. Türkiye’deki havalimanların yönetilmesi ve Türk Hava Sahasında hareket eden hava araçlarının faaliyetlerinin yönlendirilmesi ve kontrol edilmesi görevlerini icra etmektedir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü’nün (DHMİ) amaç ve faaliyet konuları arasında, sivil havacılık faaliyetlerinin asıl amacı olan hava taşımacılığı, bünyesindeki havaalanlarının yönetilmesi, havaalanı yer hizmetlerinin yürütülmesi, hava trafik kontrol hizmetlerinin icra edilmesi, seyrüsefer sistem ve donatılarının kurulması ve işletilmesi, bu faaliyetler ile ilgili diğer tesis ve sistemlerin oluşturulması, işletilmesi ve modern havacılık düzeyine ulaştırılmasının sağlanması yer almaktadır [28].

### **2.2.3 Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH)**

Devletçe yaptırılacak demiryolları, limanlar, barınaklar, kıyı koruma yapıları, kıyı yapı ve tesisleri ile hava meydanlarının ve bunlarla ilgili tesislerin, plan ve programlarını hazırlamak, bunların gerçekleştirilmesi için gerekli tedbirleri ve imkânları sağlamak, ayrıca araştırma, etüt, proje, keşif, şartname gibi bakım ve onarımlarını yapmak veya yaptırmak görevlerini yerine getiren kuruluştur [20].

### **2.3 Uluslararası Sivil Havacılık Kuruluşları**

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra hava araçlarında kullanılan jet motorlarının gelişmesiyle sivil hava taşımacılığı hızlı bir gelişim göstermiş ve nihayetinde de hava yolu taşımacılığına olan talep günden güne artmıştır. Bu gelişmelerin bir zorunluluğu olarak da hava yolu taşımacılığının belirli kurallar çerçevesinde yapılması gerekmektedir. Bu çerçevede bazı uluslararası havacılık otoriteleri kurulmuş ve Türkiye de bu kuruluşların birçoğuna üye olmuştur [29].

Başlıca uluslararası sivil havacılık kuruluşları; 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 for the Safety of Air Navigation) olarak sıralanabilir.

#### **2.3.1 Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO)**

4 Nisan 1947'de Birleşmiş Milletler bünyesinde Kanada'nın Montreal şehrinde kurulmuştur. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'ne (ICAO-International Civil Aviation Organisation) sadece ülkeler üye olabilmektedir. 2020 tarihi itibarıyla ICAO'ya üye devlet sayısı 193'dir. ICAO'nun çeşitli ülkelerde bölgesel ofisleri bulunmaktadır. Bu bölge ofisleri, Bangkok, Kahire, Dakar, Lima, Meksika, Nairobi ve Paris'te bulunmaktadır.

ICAO'nun temel amacı, uçuş emniyeti ve güvenliği konularında uluslararası kural ve politikalar geliştirerek, sivil hava taşımacılığının küresel düzeyde gelişimini sağlamak ve alınan kararların uygulanmasını sağlamaktır. Eğer bir ülke, belirlenen uluslararası sivil havacılık kurallarına uymazsa o ülkeye uluslararası uçuş izni verilmemekte ve bu durum o

ülke için büyük zararlara sebep olmaktadır. Bu bağlamda ülkeler ICAO kurallarına uymaya özen göstermektedirler.

ICAO'nun sivil havacılığın dünya genelinde emniyetli bir şekilde faaliyetlerine devam edebilmesi için bir dizi standartlar geliştirmiştir. Bu uygulamalar ICAO Ek (Annex) dokümanları içinde bulunmaktadır. ICAO Ekleri 19 adet olup ihtiyaç halinde devamlı güncellenmektedir. Bunlardan 'Ek 16 Çevresel Koruma'; hava araçlarının gürültüsü ve motorlarının egzoz gaz emisyonu başta olmak üzere çeşitli çevresel korumaya yönelik kuralları içerir. 1960'lı yıllardan sonra gaz türbinli motorların hava araçlarında kullanılmasıyla hem gürültü hem de emisyon açısından bir düzenlemenin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır [29].

### **2.3.2 Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (EASA)**

15 Temmuz 2002 tarihinde Avrupa Parlamentosu tarafından kurulan Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (EASA-European Aviation Safety Agency), Avrupa Birliği içinde uçuş ve yer güvenliğinin sağlanması yanında, her türlü hava aracı, üretim, denetleme ile ilgili mevzuatların oluşturulmasını sağlamak gibi görevleri bulunmaktadır. Merkezi Almanya'nın Köln şehrinde bulunmaktadır [29].

### **2.3.3 Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA)**

1945 yılında 31 ülkeden 57 üye ile kurulan Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA-International Air Transport Association), havayolu ve yer hizmet kuruluşlarının üye olabildiği bir kuruluştur. Dünya genelinde 270'den fazla üyesi bulunmakta olup merkezi Kanada'nın Montreal şehrinde yer almaktadır. Türkiye 1957 yılında Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği'ne (IATA) üye olmuştur. Kuruluşun amacı, emniyetli, güvenli, ekonomik bir hava ulaşımını sağlayabilmek, yüksek kalitede ve müşterilerin beklentilerini karşılayacak ürünler geliştirmektir [30].

### **2.2.4 Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI)**

Havalimanları, hava yolu taşımacılığının vazgeçilmez bir unsurudur. Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI-Airports Council International) 1991 yılında kurulmuş olup başlıca amacı, havalimanlarının belirli standartlara sahip olmasını sağlamak adına politikalar ve öneriler geliştirmektir. Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI-Airports Council International), uluslararası kuruluşlarla görüşmelerde havalimanlarının çıkarlarını gözetir. Uluslararası hava taşımacılığı standartlarının tartışıldığı ve geliştirildiği Uluslararası Sivil

Havacılık Örgütü (ICAO) ile ilişkilidir. ACI, havalimanlarının konumlarını savunur ve emniyet, güvenlik ve çevre girişimleri alanlarında standartlar ve tavsiye edilen uygulamalar geliştirir [31].

### **2.2.5 Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü (EUROCONTROL)**

1960 yılında, Belçika, Federal Almanya, Fransa, İngiltere, Hollanda ve Lüksemburg tarafından imzalanarak 1963 tarihinde yürürlüğe giren uluslararası anlaşma sonunda Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı (Eurocontrol-European Organisation for the Safety of Air Navigation) kurulmuştur. Kuruluşun merkezi Brüksel'dedir ve mevcut 41 üyesi bulunmaktadır. Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü'nün amacı adından da anlaşılacağı gibi, Avrupa'da üst hava sahasının bütününden sorumlu olacak bir Teşkilat olmaktır. Bu amacıyla teşkilat, sadece Avrupa ülkeleri için değil diğer ülkeler için de gittikçe artan bir öneme sahip olmuştur. Kuruluşun ana faaliyet konularını, hava seyrüsefer eğitimleri, kıtasal hava sahasının denetimi, yeni strateji ve prosedürlerin geliştirilerek uygulamaya konması oluşturmaktadır [29].



### 3. GAZ TÜRBLNİ MOTORLAR VE HAVACILIKTA KULLANIMI

#### 3.1 Giriş

Gaz türbinli motorların icadı ile insanlar en önemli ve faydalı buluşlarından birine şahit olmuştur. Özellikle İkinci Dünya Savaşıyla beraber, gaz türbinli motorlar hızlı bir gelişme sürecine girmiştir. Gaz türbinli motorlar havacılığın yanında diğer alanlarda da başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Gaz türbinli motorlar, gemilerde, lokomotiflerde, elektrik güç santrallerinde, kısa süreli yüksek güç gerektiren askeri araçlarda, gaz boru hatlarındaki pompalama istasyonlarında ve karayolu taşıtlarında (otomotiv gaz türbinleri) da başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Havacılık alanında kullanılan başlıca gaz türbinli motorlar, turbojet, turboprop, turboşaft ve turbofan tipi motorlardır. Bütün bu motor tipleri yakıt ile dış ortamdan sağlanan enerjiyi, mekanik güce dönüştürüp tepki üretirler ya da bir başka elemanı döndürebilmek için güç sağlarlar.

Bu bölümde yukarıda saydığımız motor tiplerinden yolcu uçaklarında en çok kullanılan turbofan motorunun kısımları ve çalışma prensibi anlatılacaktır. Diğer motor tiplerinin de temel çalışma prensipleri aynıdır. Birbirleri arasındaki farklılıklar, sahip oldukları elemanlardan ve güç iletim şeklinden kaynaklanmaktadır.

#### 3.2 Uçak Motorları

Uçak motorunun asıl görevi uçağa gereken ilk hareketi vermektir. Motorun uçak için diğer görevleri şunlardır:

- Hidrolik gücü meydana getirmek
- Elektrik gücü meydana getirmek
- Pnömatik sistemler için basınçlı hava üretmek

Genel olarak iki tip uçak motoru vardır:

- Pistonlu tip motorlar
- Gaz türbinli tip motorlar

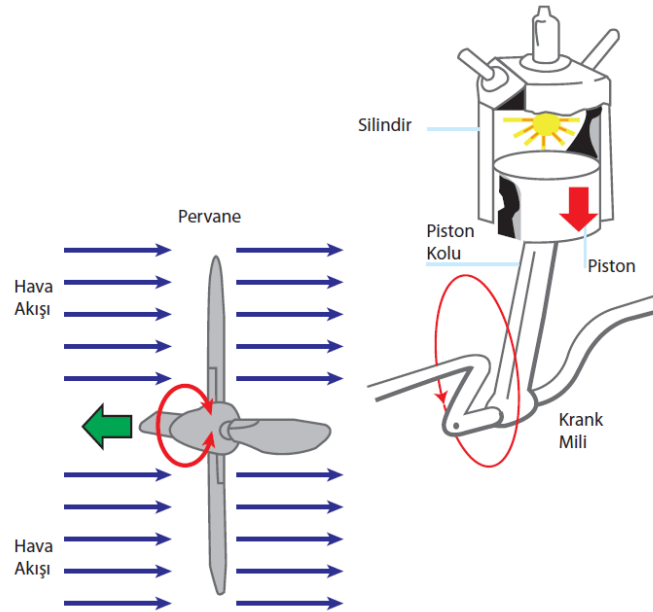
### 3.2.1 Pistonlu tip motorlar

Pistonlu motorlar uçaklarda ilk kullanılan motor tipidir. Motorda tahrik edilen bir pervane bulunmaktadır. Gaz türbinli motor tipine göre tasarımı daha basittir. Yüksek irtifalarda performansı düşük olduğundan ve daha fazla güç elde etmek istediğimiz zaman bunu karşılayacak motor boyutlarının çok büyük olması gaz türbinli motorlara göre dezavantajlarıdır. Bu sebeple pistonlu tip motorlar, küçük uçaklarda kullanılmaktadır [32]. Şekil 3.1’ de pistonlu uçak motoru görülmektedir.



Şekil 3.1 : Pistonlu tip uçak motoru [32].

Genel havacılıkta kullanılan hava araçlarının büyük çoğunluğunda pistonlu tip motorlar kullanılmaktadır. Kullanımı, bakımın kolaylığı, ucuza mal edilmesi ve oldukça güvenilir olması gibi avantajları genel havacılıkta kullanımını yaygınlaştırmıştır [33]. Şekil 3.2’ de bir silindir içinde pistonun hareketi ve pervaneye aktarılması görülmektedir.



Şekil 3.2 : Bir silindir içinde pistonun hareketi ve pervaneye aktarılması [33].

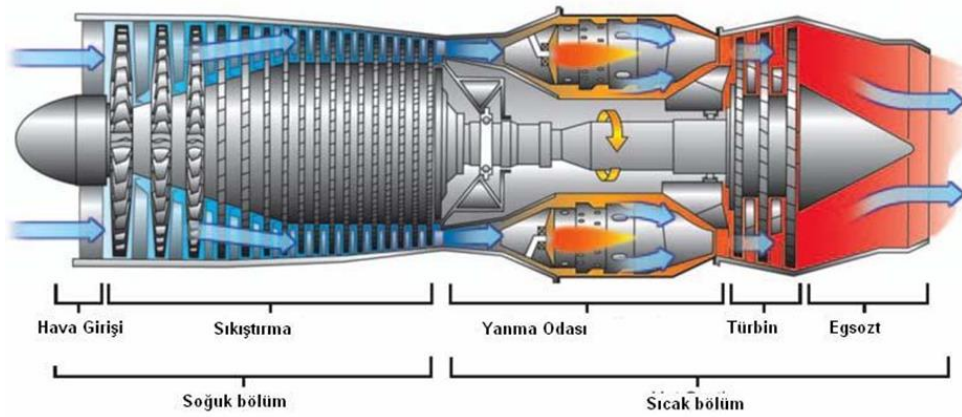
### 3.2.2 Gaz türbinli tip motorlar

Hava araçlarında yaygın olarak kullanılan bir diğer motor tipi gaz türbinli motorlardır. Gaz türbinini, pistonlu motorlarda olduğu gibi yakıt enerjisini mekanik enerjiye diğer bir ifade ile tepki kuvvetine dönüştüren ısı makineleridir.

Gaz türbinli motorların kalbi gaz üretici denilen kompresör, yanma odası ve türbin kısmından oluşmaktadır. Gaz üretici yüksek sıcaklıkta basınçlı gaz üretmektedir.

Uçaklarda kullanılan gaz türbinli motorlar, yüksek irtifalarda daha verimli çalışırlar. Gaz türbinli motorların çalışma prensibi oldukça basittir. Gaz türbinli motor ön kısımdaki hava giriş kısmından havayı emer, içeri alınan hava kompresör kademelerinde sıkıştırılır, sıkıştırılan ve basıncı artırılan havaya yakıt püskürtülerek yanma sağlanır. Yanma sonunda sıcaklığı yükselen gazlar türbin kısmında genişler motor ana milinin yüksek devirde dönmesini sağlar ve sonunda yanmış gazlar motorun egzoz bölümünden dışarı atılır. [32].

Gaz türbinli motorlar, yanma odasında açığa çıkan ısı enerjisi ile doğru orantılı olarak güç üretirler. Motorda ısı enerjisi, başta yakıt olmak üzere ikinci olarak da havanın sıkıştırılması ile sağlanır. Şekil 3.3' de gaz türbinli tip uçak motoru görülmektedir.



Şekil 3.3 : Gaz türbinli tip motor [34].

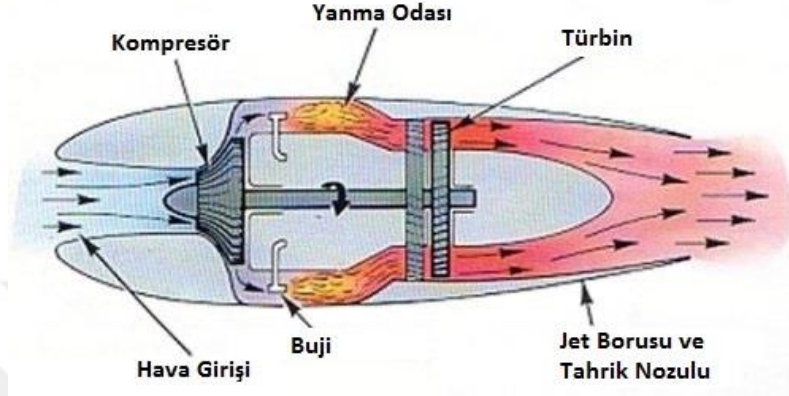
### 3.3 Gaz Türbinli Motor Tipleri

Havacılıkta kullanılan gaz türbinli motorlar genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilirler.

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

### 3.3.1 Turbojet motorlar

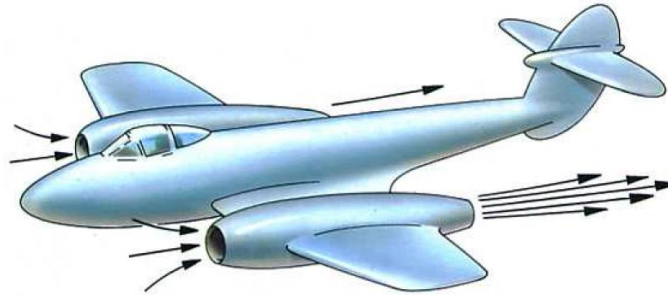
Jet tepkili motorların gelişimi 1930 yıllarına dayanmaktadır. 1930 yılında Frank Whittle ilk patentini “Jet Tepkili Gaz Türbini” üzerinden aldı. Whittle’ın bulduğu bu makine modern jet motorları için temel prensipleri içermektedir [34]. Şekil 3.4’ de Frank Whittle tip turbojet motoru görülmektedir.



Şekil 3.4 : Frank Whittle tip turbojet motoru [34].

Motorda, yakıt deposundan yanma odasına gelen yakıt, kompresörden gelen sıkıştırılmış hava ile karışarak yanma işlemi gerçekleşir. Yanma işlemi sonucu oluşan yanmış sıcak gazlar; türbin ve nozulda genişleyerek iş yaptıktan sonra egzoz bölümünden atmosfere atılır. Motorun ısı veriminin artırılması için havanın daha önceden sıkıştırılması gerekmektedir. Bu nedenle hava; yanmış gazların ilk uğradığı bölüm olan türbin tarafından bir şaft vasıtasıyla döndürülen kompresör tarafından sıkıştırıldıktan sonra yanma odasına gönderilir [32].

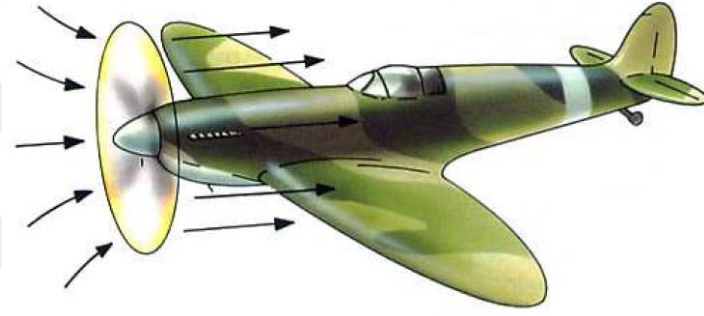
Turbojet motorlar aşırı derecede yakıt tüketirler ve aşırı derecede gürültülü çalışırlar. Turbojet motorlarda Turbofan motorlardaki gibi fan bulunmaz. Elde edilen tepki kuvvetinin tamamı, egzoz gazlarının egzoz kısmından yüksek hızda çıkmasından elde edilir. Şekil 3.5’ de uçak üzerinde turbojet motorları gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Uçak üzerinde turbojet motorları [34].

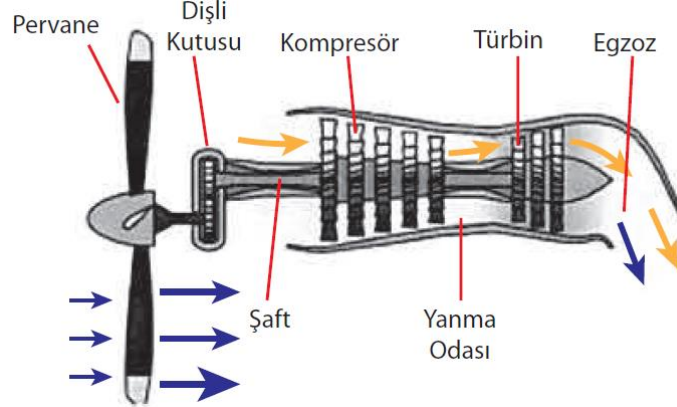
### 3.3.2 Turboprop motorlar

Bu tip motorlarda da turbojet motorlarda olduğu gibi gaz üretici dediğimiz kompresör, yanma odası ve türbin bölümü bulunmaktadır. Turboprop motorlarda güç sistemi gaz jeneratörü ve pervane birleşimi şeklindedir. Bu tür motorlar 2. Dünya Savaşından beri kullanılmaktadır. Turboprop motorların ürettiği güç sadece şaftı döndürmek için kullanılmaktadır. Yani egzozdan çıkan egzoz gazları itki gücü üretmemektedir. Turboprop motor şaftının dönmesiyle buna bağlı olan pervane de tahrik olunur. Pervane; bazı turboprop motorlarda direk kompresör türbini şaftına, bazı turboprop motor tiplerinde ise kompresör türbininden sonra ve gaz akış yoluna yerleştirilen serbest güç türbinini ismi verilen bir türbine bağlı olmaktadır. Turboprop motorlu uçaklarda uçak hızı ve yakıt verimi arasında iyi bir uyum sağlanmıştır [35]. Şekil 3.6' da turboprop motorlu uçak gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : Uçak üzerinde turboprop motoru [34].

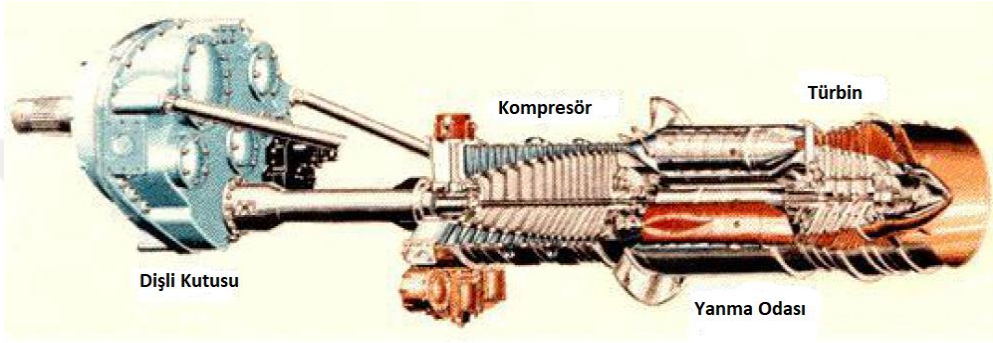
Turboprop motorlar ağır yükleri kaldırmak, kısa ve orta pistlerden kalkış yapmak için diğer motorlara göre daha üstündür. Turboprop motorların hızı yaklaşık saatte 500 mil kadardır. Bunun üzerine çıkılmaz. Çünkü pervanenin verimi artan hava hızlarıyla hızlı bir şekilde azalır [36]. Şekil 3.7' de turboprop motorunun kısımları gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Turboprop motor kısımları [37].

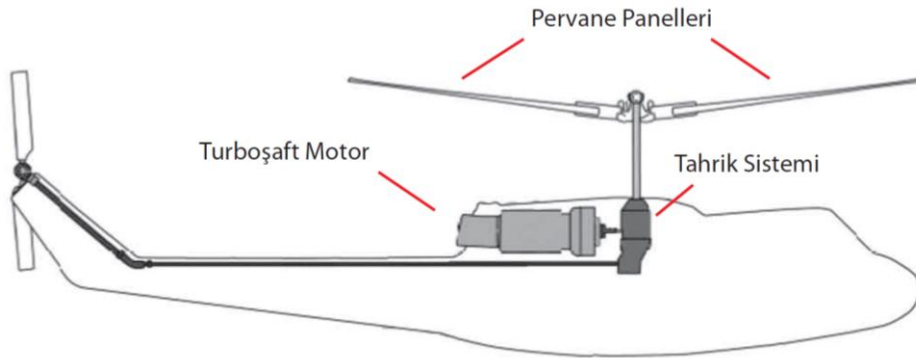
### 3.3.3 Turboşaft motorlar

Turboşaft motorlar genel olarak askeri ve sivil helikopterlerde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Turboşaft motorun ön kısmında bir dişli kutusu bulunmaktadır. Bu dişli kutusu Turboşaft motorunun yüksek devrini istenen devire düşürür ve kullanılan tertibat ile yatay mil hareketini dikey harekete çevirip pervaneye aktarılmasını sağlar. Bu motorlarda jet motor gücünden istifade edilmez. Çünkü helikopter istediği yöne hareket ettiği için yalnız yüksek devri belli bir oranda düşürüp pervaneye iletir. Kuyruktaki pervane helikopterin olduğu yerde dönmesini önler üsteki pervane ise helikopterin diğer hareketlerini sağlar [38].



Şekil 3.8 : Turboşaft motor kısımları [38].

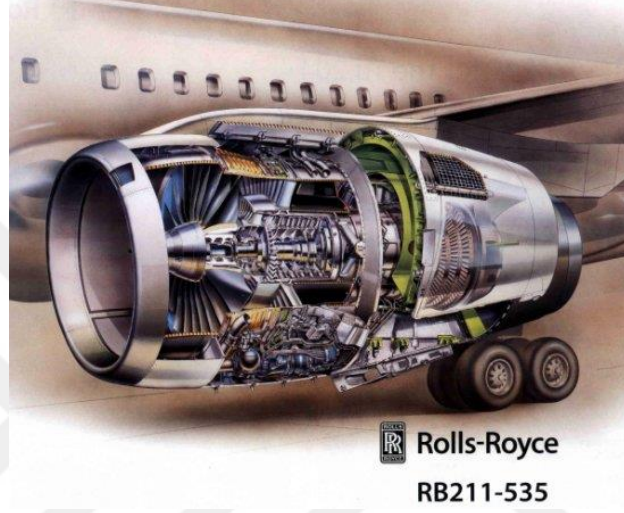
Genel olarak turboşaft motorlar turboprop motorlarla aynı yapıdadırlar. Turboşaft motorların turboprop motorlardan tek farkı; yanmış gazların türbinde genişerek döndürdüğü şaft turboprop motorların pervanesi yerine helikopterlerdeki ana ve kuyruk pallerini, eğer enerji santrallerinde kullanılıyorsa elektrik jeneratörünü, gemilerde kullanılıyor ise uskuru döndürmektir [38]. Şekil 3.9’ de bir helikoptere yerleştirilmiş turboşaft motoru gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Bir helikoptere yerleştirilmiş turboşaft motoru ve bağlantıları [33].

### 3.3.4 Turbofan motorlar

Günümüzde modern uçaklar büyük oranda turbofan motorlar ile donatılmışlardır. Turbofan motorların diğer gaz türbinli motorlara göre verimleri daha yüksektir. Turbofan motorlara sahip uçaklar daha yüksek hızlara elverişlidirler. Turbojet motorların geliştirilmesiyle oluşturulmuşlardır. Turbojet motorun önüne bir fan konularak üretilen motor tipidir. Fan kısmı bir veya daha fazla kademedan oluşabilir. Şekil 3.10’ da Boeing 757’ye takılan RB211-535 turbofan motorun kesit diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Boeing 757’ye takılan RB211-535’in kesit diyagramı [39].

Turbofan motorlarda itme kuvvetinin meydana gelmesi büyük oranda turbojet motorlarınkine benzemektedir. Turbofan motorlarda tepki kuvvetini oluşturmak üzere motor tarafından ivmelendirilen havanın büyük bir bölümü, motorun hava alığı kısmındaki fan tarafından ivmelendirilen havanın büyük bir bölümü, motorun hava alığı kısmındaki fan olarak isimlendirilen palelerden geçmektedir. Fan tarafından hızlandırılan hava, motorun birincil hava akışı diye tarif edilen akıştan ayrı olarak bağımsız olan fan çıkış kanallarından geçerek pervanelerdeki gibi itme kuvvetini oluştururlar.

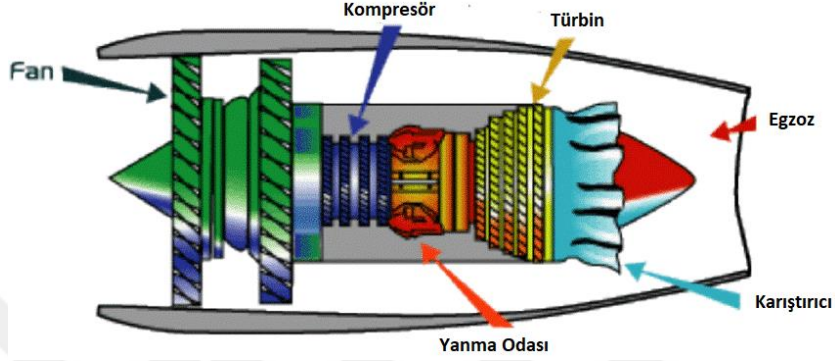
Turbofan motorlar, turbojet motorlara oranla daha fazla hava miktarını daha düşük hava hızıyla ivmelendirdiler. Bu da turbojet motora oranla daha yüksek tahrik verimi, daha yüksek kalkış ve tırmanma kuvveti, daha az yakıt tüketimi ve daha düşük gürültü sağlamaktadır.

### 3.4 Gaz Türbinli Motorların Kısımları

Turbofan motorlar, turboprop tipin yüksek verim ve tepki kuvveti özellikleri ile turbojet tipin yüksek hız ve yüksek irtifa özelliklerini bir araya getirerek tasarlanmış bir gaz türbinli motor tipidir. [40]. Şekil 3.11’ de turbofan motor kısımları gösterilmiştir.

Gaz türbinli motorların ana komponentleri;

- Motor hava girişi,
- Kompresör,
- Yanma odaları,
- Türbin ve
- Egzozdur.



Şekil 3.11 : Turbofan motor kısımları [41].

### 3.4.1 Motor hava alığı kısmı

Gaz türbinli motora hava, motorun ön tarafında yer alan hava giriş kanalı yoluyla girer. Motorda bu kısım için giriş borusu, giriş burnu, hava giriş bölümü isimlerden biri kullanılır [41].

Eğer hava giriş alığı mümkün olan en büyük basınçta gerekli olan havayı motora sağlarsa motor tepki kuvveti de büyük olacaktır. Motor hava alığı, statik yerde çalıştırma durumundan yüksek Mach sayılarına kadar her irtifada, her konumda ve her uçuş hızlarında yüksek verimle çalışmalıdır. Şekil 3.12' de ıraksak tip turbofan motor hava alığı gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : İraksak tip turbofan motor hava alığı [41].



Hava alıkları mümkün olduğunca düzgün yüzeyli ve düz olmalıdır. Bunun yanı sıra sınır tabaka havasını minimum seviyede tutacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Sınır tabaka havası; yüzeye yakın olarak uzanan durgun hava tabakası olarak tanımlanabilir. Hava alıkları uygun hava akışını sağlayacak kadar geniş olmalı ve düzgün bir basınç dağılımı ile havayı kompresörün önüne getirebilecek biçimde şekillendirilmiş olmalıdır [42].

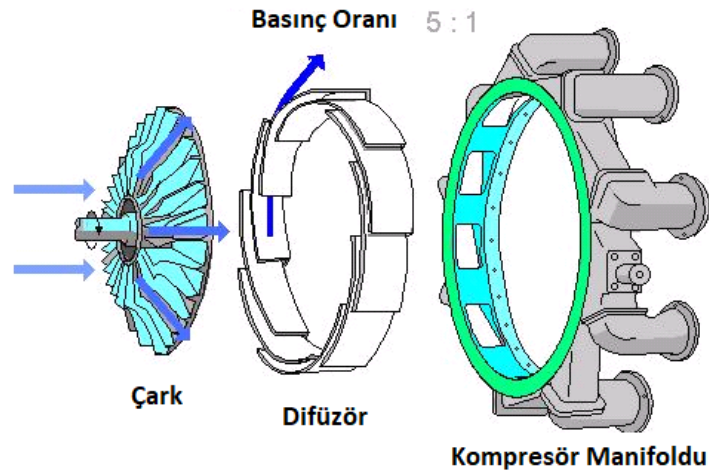
### 3.4.2 Kompresör kısmı

Motorlarda güç ve verimin yüksek olması için yanma odalarına havanın basınçlı olarak gönderilmesi gerekmektedir. Motorlarda basınçlı havayı oluşturmak için iki yöntem uygulanmaktadır.

- Silindir piston düzeneği ile silindir içindeki hacmi azaltmak. Bu metot pistonlu motorlarda kullanılan yöntemdir.
- Kompresör kullanmak. Bu metot ise gaz türbinli motorlarda kullanılan yöntemdir.

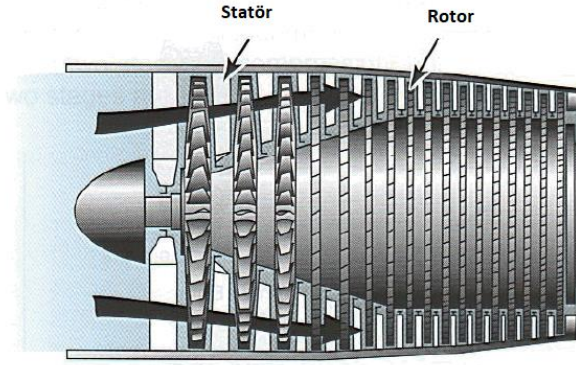
İki tip kompresör vardır. Bu kompresörler şunlardır:

1. Santrifüj akışlı kompresörler.
2. Eksenel akışlı kompresörler.



Şekil 3.13 : Santrifüj akışlı kompresör [41].

Gaz türbin motorlarında havanın türbine doğru genişmeden önce sıkıştırılması bu iki ana tip kompresörler vasıtasıyla sağlanır. Bu kompresörlerden santrifüj olanı havaya santrifüj akış verirken, diğeri ise eksenel bir akış verir. Her iki tip kompresör de motorun türbini tarafından döndürülür ve türbin miline direkt olarak bağlıdır. Ancak bazı gaz türbinli motorlarda bu iki tip kompresör bir arada kullanılır ve bu tip kompresörler her iki tipin çalışma özelliklerini taşır [43].

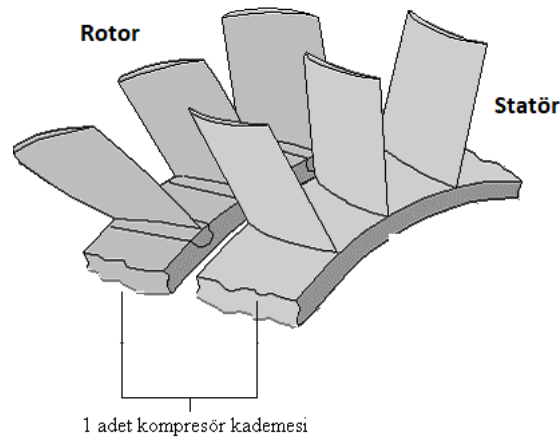


Şekil 3.14 : Aksel akışlı kompresör [41].

Gaz türbinli motorlarda sürekli yanma gerçekleştiği için basınçlı havanın da kompresörler tarafından sürekli olarak sağlanması gerekmektedir. Kompresörün görevi yanma odalarına basınçlı olarak sürekli olarak hava temin etmektir. Aksel akışlı kompresörler iki parçadan oluşmaktadır. [32].

1. **Rotor:** Kompresörün dönen kısmıdır. Rotor döndüğünde kanatçıkları vasıtasıyla havayı kompresör çıkışına doğru iterler. Hava kanatçıklar arasından akarken enerjisi artmaktadır.
2. **Stator:** Kompresörün sabit olan kısmıdır. Stator kanatçıkları, hava akışını yönlendirir ve yavaşlatarak basıncın artmasına neden olurlar.

Bir rotor ve stator kombinasyonu, aksel akışlı kompresörlerde bir kademeyi oluşturur. Şekil 3.15’ de rotor ve statordan oluşan bir kompresör kademesi görülmektedir. Rotor çarkları her bir kademenin önünde bulunmaktadır. Stator kanatçıkları ise rotor kısmından sonra gelerek kademenin arka bölümünü oluştururlar.

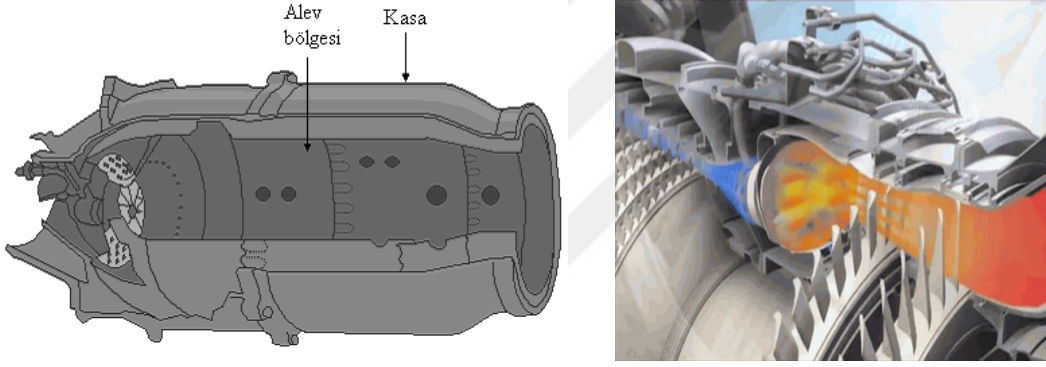


Şekil 3.15 : Rotor ve statordan oluşan bir kompresör kademesi [41].

### 3.4.3 Yanma odaları kısmı

Gaz türbinli motorlarda yanma odaları, güç grubu sisteminin çalışması için gerekli ısı enerjisinin oluştuğu bölümdür. Burada kompresörün sağladığı aşırı hacimdeki hava, gerekli miktarda yakıtla yakılır ve türbinin çalışması için gerekli olan genişlemiş, yüksek hızlı, düzgün bir gaz akımı her türlü şartta sağlanır. Bu güç görev, mevcut sınırlı hacimde minimum basınç kaybı ve maksimum ısı verecek şekilde yapılmalıdır [36].

Yanma odaları, gaz türbinli motorun türbin olarak isimlendirilen parçası için ve jet nozulu için sıcak gaz akımı oluşturur. Gaz türbinli motorlarda bu işlem, hava/yakıt karışımının yanma odasında sürekli yanmasıyla oluşmaktadır. Birçok olumsuz durum ve sağlanması gereken koşullar nedeniyle verimli yanma olayı zor bir işlemdir. Şekil 3.16' de yanma odası görülmektedir.



Şekil 3.16 : Yanma odası ve yanmış gaz akışı [41].

Gaz türbinli motorlarda genellikle üç tip yanma odasından biri kullanılır. Üç tip yanma odasında da ortak olan iki yapı bulunmaktadır. Ortak olarak kullanılan komponentler iç ve dış kasa ile alev borusudur. Kasalar yanma odasının dış muhafazasıdır. Hava basınç yüklerini taşırlar. Motorun içindeki ve dışındaki motor parçalarını yüksek sıcaklıktaki gazlardan korurlar. Alev borusu ve diğer komponentleri (yakıt dağıtan kanalları ve bujileri) taşırlar. Alev borusu ise; yanma sonucu oluşan aleve yataklık ederek alevin kontrollünü sağlayarak yönlendirme görevini yerine getirirler.

Yanma işlemi aşağıdaki adımlardan oluşur [32].

- Kompresör kademeleri tarafından sıkıştırılmış ve basıncı artırılmış hava yanma odasına girer.
- Yakıt tanklarından gelen yakıt, yakıt nozulları vasıtasıyla, yanma odasının merkezine doğru püskürtülür.

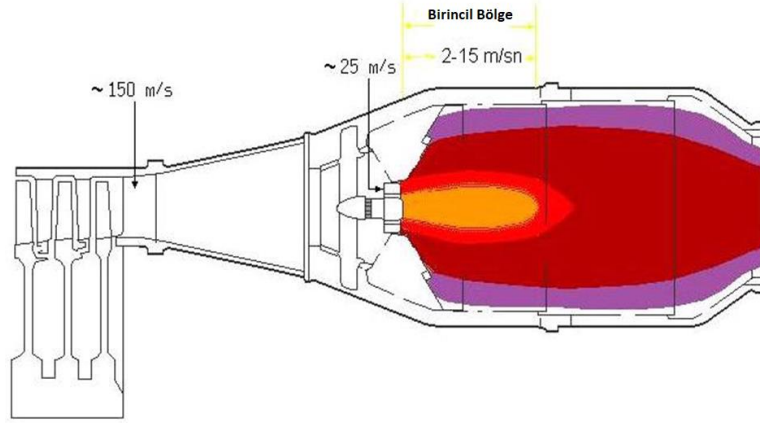
- Yüksek basınçta püskürtülen yakıt, buharlaşır ve basınçlı hava ile buluşup hava akışına karışır.
- Bujiler vasıtasıyla ateşleme yapılır.
- Daha sonra yanma işlemi gerçekleşmiş olur.

Yanma işlemi başladıktan sonra; ateşleme sona erer. Yakıt ve hava temini kesintisiz olduğundan yanma işlemi kesintisiz devam eder. Doğru ve emniyetli yanma için iki koşulun sağlanması gerekir. Bu koşullar şunlardır:

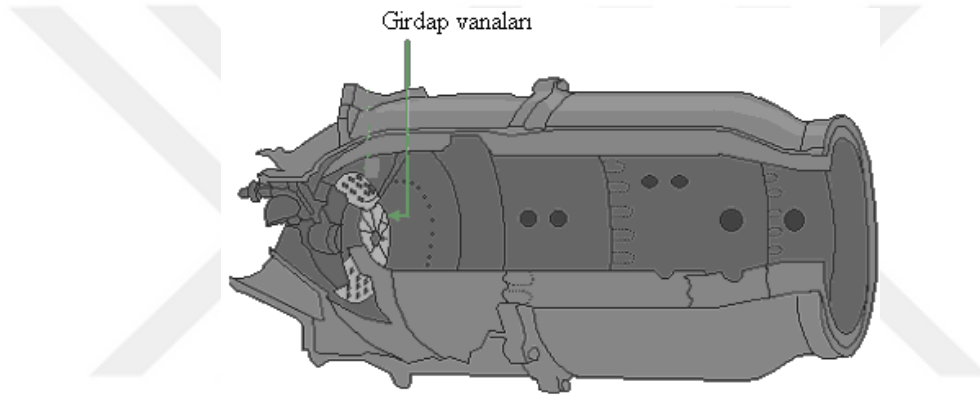
1. Hava ve yakıt karışım oranının doğru oranda sağlanması.
2. Hava hızının yanma işleminin tam olmasını sağlayacak düştükükte bir hızda olması.

Kompresörden gelen hava akışı birincil ve ikincil hava akışı olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil hava akışı motorun sıcak kısmından geçen hava olup, direkt olarak yanma işlemine katılır. İkincil hava akışı ise fandan geçen hava olup, direkt olarak yanma işlemine katılmaz. İkincil hava akışı, yanma odasının birincil bölgesinden bypass olup, yanma odasının ikincil bölgesinde sıcak gaz ile karışır. İkincil havanın bir kısmı, yanma odasının birincil bölgesinde var olan alevi, alev borusu çeperlerinden uzaklaştırmak için kullanılır. Yanma sonucu alev sıcaklığı  $1.800^{\circ}\text{C}$ ' ye ulaşır ve bir film soğutma tabakası oluşur. [41].

Yanma odasının birincil bölgesi, alevin dengeli olduğu yerdir. Yanma odasının girişinde genellikle bir difüzör bulunur. Kompresörden gelen havanın hızını düşürmeye yarayan kısım difüzördür. Çünkü doğru yanma olayının gerçekleşmesi için hava akışının yanma odasına düşük hızla girmesi gerekir. Bu sayede alevin istikrarlı olması ve yanma olayının yanma odasının birincil bölgesinde gerçekleşmesi, alevin yanma odasının ikincil bölgesine ve türbine sıçraması önlenmiş olacaktır. Kompresörden yaklaşık 150 m/s hızla gelen hava yanma işlemi için fazla hızlı olduğundan difüzör sayesinde bu hız 25 m/s hıza düşürülmektedir. Bu hız da yanma işlemi için çok yüksektir. İstenen oranda yakıt / hava karışımı sağlanabilmesi için kompresörden gelen havanın akış hızı 2-15 m/s arasında olmalıdır. Şekil 3.17'de hava akımının yanma odası içindeki hızı ve girdap akımlarının oluşumu görülmektedir. Hava hızının difüzörden sonra da azaltmak için kısıtlayıcılar ve girdap kanatçıklar kullanılır. Şekil 3.18' de girdap kanatçıkların yanma odasındaki konumu görülmektedir. Bu girdap kanatçıklar vorteks meydana getirerek yakıt ve havanın karışmasına yardımcı olurlar [41].



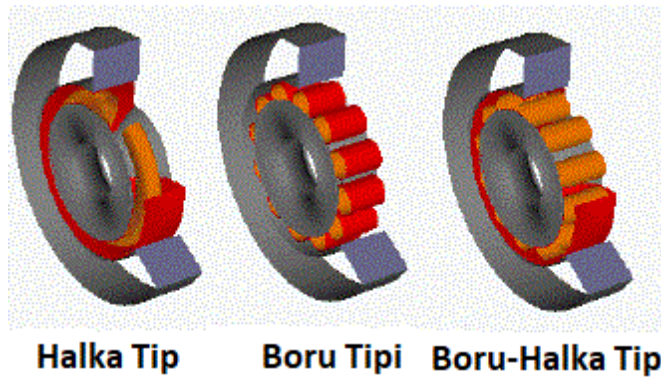
Şekil 3.17 : Hava akımının yanma odası içindeki hızı ve girdap akımlarının oluşumu [41].



Şekil 3.18 : Girdap kanatçıklarının yanma odasındaki konumu [41].

Üç tip yanma odası kullanılmaktadır [32]. Bunlar şunlardır:

- Boru tip yanma odası (Can type)
- Boru- halka tip yanma odası (Can-Annular type)
- Halka tip yanma odası (Annular type)



Şekil 3.19 : Yanma odası tipleri [41].

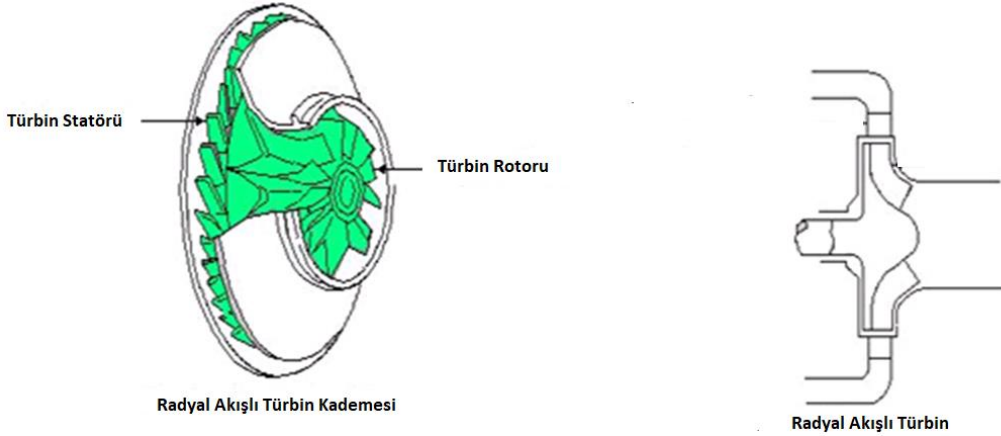
### 3.4.4 Türbin kısmı

Gaz türbinli motorlarda türbinin görevi, kompresörleri ve dişli kutusunu döndürecek gücü sağlamaktır. Turboprop motorlarda ayrıca pervane de türbin tarafından döndürülür. Yanma odasından gelen yüksek sıcaklıktaki yanmış gazların enerjisinin bırakıldığı komponent türbindir. Türbinler yanma odasından gelen sıcak gazların enerjisini aldıktan sonra onları daha düşük basınç ve sıcaklığa genişletirler. Bu işlem sırasında yüksek gerilmelere maruz kaldığı gibi, yüksek çevresel hızlarla da dönmek zorunda kalabilirler [36].

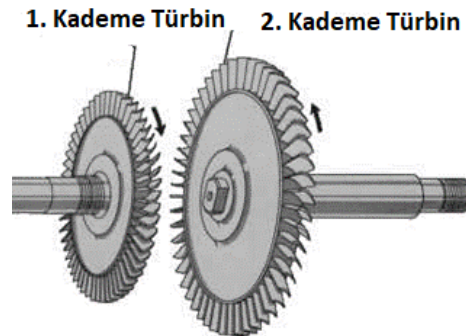
Havanın sıkıştırılması için gerekli gücü kompresöre sağlayan türbin, büyük jet motorlarında 40.000-50.000 beygir gücü veya daha fazla güç üretmelidir. Bir tek türbin palesi, hareket eden gaz akışından 250 beygir güç elde edebilir. Bu güç ise tipik sekiz silindri bir otomobil motorunun ürettiği güce eşittir [32].

İki farklı türbin tipi bulunmaktadır [41]. Bu türbinler şunlardır:

1. Radyal akışlı türbinler
2. Eksenel akışlı türbinler



Şekil 3.20 : Radyal akışlı türbin [41].



Şekil 3.21 : Eksenel akışlı türbin [41].

Hem radyal akışlı hem de aksel akışlı tip türbinde ortak olan ana komponentler sabit olan stator kanatçıkları ve hareket halindeki çark paleleridir. Türbin, motorun tipine göre bir veya daha fazla kademeli olabilir. Her bir kademe, stator-rotor setinden oluşmuştur.

### 3.4.5 Egzoz bölümü

Gaz türbinli motorun son bileşeni egzoz kısmıdır. Görevi yüksek basınçlı ve yüksek hızlı egzoz gazlarının atmosfere atılmasını sağlamaktır. Bir jet motoru egzoz sistemi, egzoz gazının gereken yönde ve ideal hızda motoru terk etmesini sağlayarak, tepki kuvveti verimini artırır. Şekil 3.22’ de turbofan motoruna ait egzoz kısmı görülmektedir.

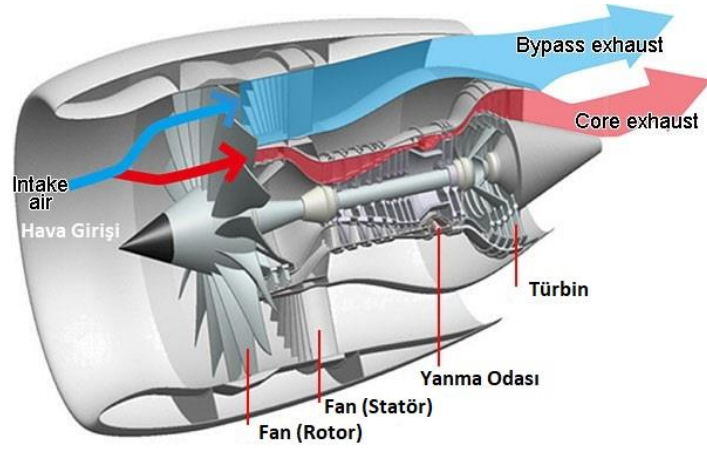


Şekil 3.22 : Turbo fan egzoz kısmı [41].

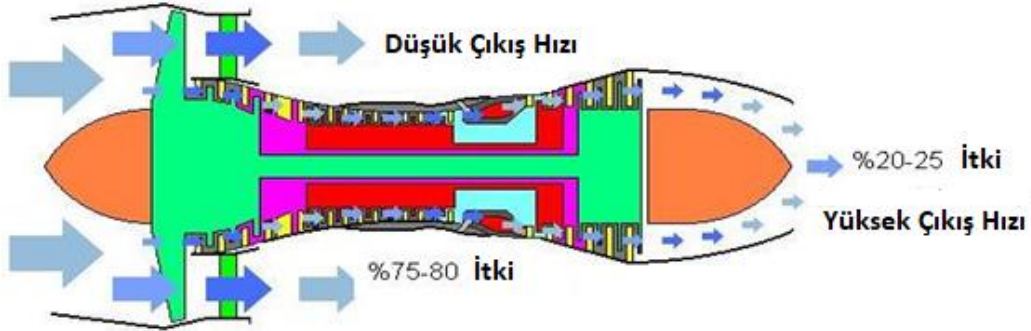
### 3.5 Gaz Türbinli Motorların Çalışma Prensibi (Turbofan Motor Örneği)

Günümüz modern yolcu uçaklarında en çok kullanılan motor tipi turbofan motor tipidir. Turbofan motorlar, turbojet ve turbopropun bir kombinasyonudur. Fan, bir kasa içine alınmıştır. Genel olarak turbofan motorlarda ikili veya üçlü şaft sistemi kullanılır. Tahrik daima türbin kaynaklıdır. Turbofan motorlarda fanın devrini düşürmek için kullanılan bir dişli sistemi bulunmamaktadır. Türbine gönderilen yanmış gazların enerjisinin büyük kısmı fan ve kompresörü çevirecek torkun oluşmasına harcanır. Geriye kalan yanmış sıcak gazların enerjisi, fan havası ile birlikte tepki kuvvetini oluşturur. Turbofan motorlarda oluşan toplam tepki kuvveti, core’ dan ve fandan elde edilen tepki kuvvetlerinden meydana gelmektedir. Turbofan motorlarda, motorun ön kısmında bulunan büyük fanın ivmelendirdiği hava akışı (ikincil hava akışı) yüksek olmasına karşın, havanın çıkış hızı düşüktür. Core’ un (motorun birincil hava akışı) ivmelendirdiği havanın miktarı azdır fakat havanın çıkış hızı yüksektir. Bu ortamda fan havasının ürettiği tepki kuvveti, bypass oranına bağlı olarak toplam tepki

kuvvetinin %80 'den fazlasıdır. Şekil 3.23 ve 3.24' de motor içindeki hava akışı görülmektedir.

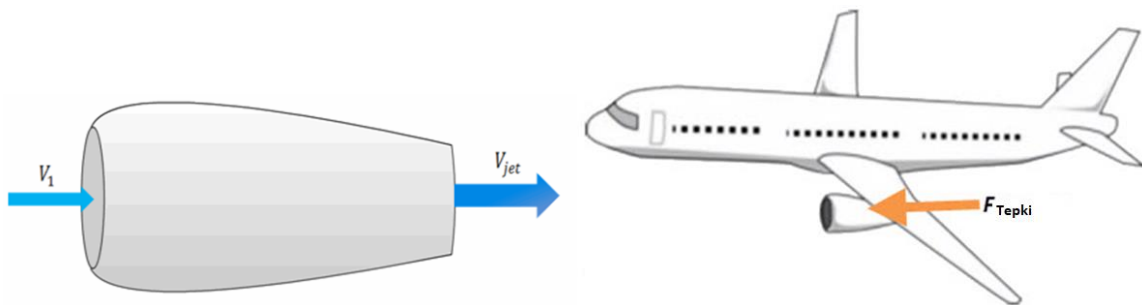


Şekil 3.23 : Turbofan motoru içinden hava akışı [41].



Şekil 3.24 : Turbofan motoru içinden hava akışı [41].

Gaz türbinli motorlar, ön taraftaki hava alığından içeriye fan vasıtasıyla çekilen havanın kompresör kademelerinde sıkıştırılıp basıncı arttırıldıktan sonra yakıt ile karıştırılıp patlatılarak egzozdan çıkartılması şeklinde çalışır. Newton'un etki-tepki prensibine bağlı olarak, motor tarafından itilmek istenen hava oluşan bu kuvvete tepki gösterir ve motorun (uçanın) ileriye doğru hareketine neden olur. Şekil 3.25' de motor içindeki hava akışı ve hava akışına karşı oluşan tepki kuvveti görülmektedir.



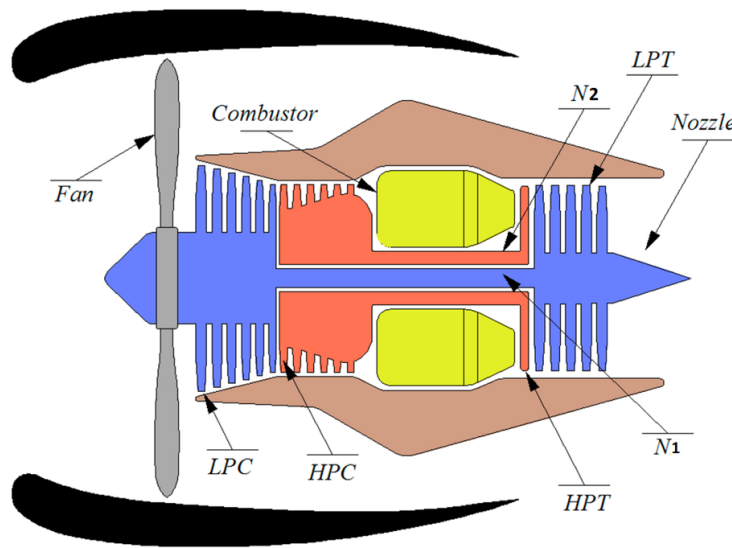
Şekil 3.25 : Motorun içinden akan hava akışı ve tepki kuvvetinin oluşumu [33].



Gaz türbinli motorunun itki gücünü arttırmak için daha fazla yakıt eklenir. Böylece gaz akışının enerji seviyesi yükselir. Türbin ne kadar hızlı dönerse kompresör de o kadar hızlı dönecektir. Böylelikle kompresör daha büyük hava kütlelerine sahip olacak ve Newton'un ikinci kanununa göre gaz türbinli motorun itki kuvvetini arttıracaktır.

Motor, kompresörün döndürülmesi ile çalıştırılır. Yakıt ilave edilip ateşlendiğinde yanma odasından arkaya doğru hava akışı oluşturur. Gazların sıcaklık artışı dolayısıyla hava arkaya doğru genişler, egzoz lülesine ulaşmadan önce enerjisinin bir kısmını türbin ile birlikte kompresörü döndürmek için harcar.

Genellikle gaz türbinli motorlarda iki adet şaft sistemi vardır. Bu şaftlar düşük basınç sistemini birbirine bağlayan N1 şaftı ve yüksek basınç sistemini birbirine bağlayan N2 şaftıdır. İki şaftlı turbo fan motorlarda en önde bulunan fan da N1 şaftına bağlanmıştır. Yüksek basınç türbini (HPT- High Pressure Turbine), N2 şaftı vasıtasıyla yüksek basınç kompresörüne (HPC- High Pressure Compressor), düşük basınç türbini de (LPT- Low Pressure Turbine) N2 şaftının içinden geçen N1 şaftı vasıtasıyla düşük basınç kompresörüne (LPC- Low Pressure Compressor) bağlı olduğundan aynı devirle dönerler. İki şaftlı bir gaz türbinli motorda N1 ve N2 şaftı birbirlerinden bağımsız olduklarından farklı devirde döner, bu yüzden düşük basınç (LP- Low Pressure) ve yüksek basınç (HP- High Pressure) kompresör hızları da aynı değildir. Şekil 3.26' de iki şaft sistemine sahip turbo fan motorunun şaft ve bağlantıları görülmektedir.



Şekil 3.26 : Turbofan morunun şaft ve bağlantıları [33].

## 4. HAVA KİRLİLİĞİ VE KİRLİTİCİ GAZLAR

### 4.1 Hava Kirliliği ve Kaynakları

Yeryüzünü saran gazlar karışımına atmosfer denilmektedir. Atmosfer, %78,9 azot, %20,95 oksijen, %0,003 karbondioksit, %0,25-3 su buharı ve argon, neon, helyum gibi diğer gazlardan oluşmaktadır. Bu gaz bileşiminden azot ve oksijen havada daima belirtilen oranda bulunarak canlılar için yaşamın sürekliliğini sağlama noktasında bir denge unsurudur [44].

Hava kirliliği, havanın doğal olarak içeriğinde bulunan gazların miktarının değişmesi ve istenmeyen yabancı maddelerin havaya karışarak havanın kalitesini bozması, insan ve diğer canlıları olumsuz yönde etkileyecek duruma gelmesi olarak tanımlanabilir [45].

Hava kirliliği kaynaklarına göre doğal kaynaklı hava kirliliği ve yapay kaynaklı hava kirliliği olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

#### 4.1.1 Doğal kaynaklı hava kirliliği

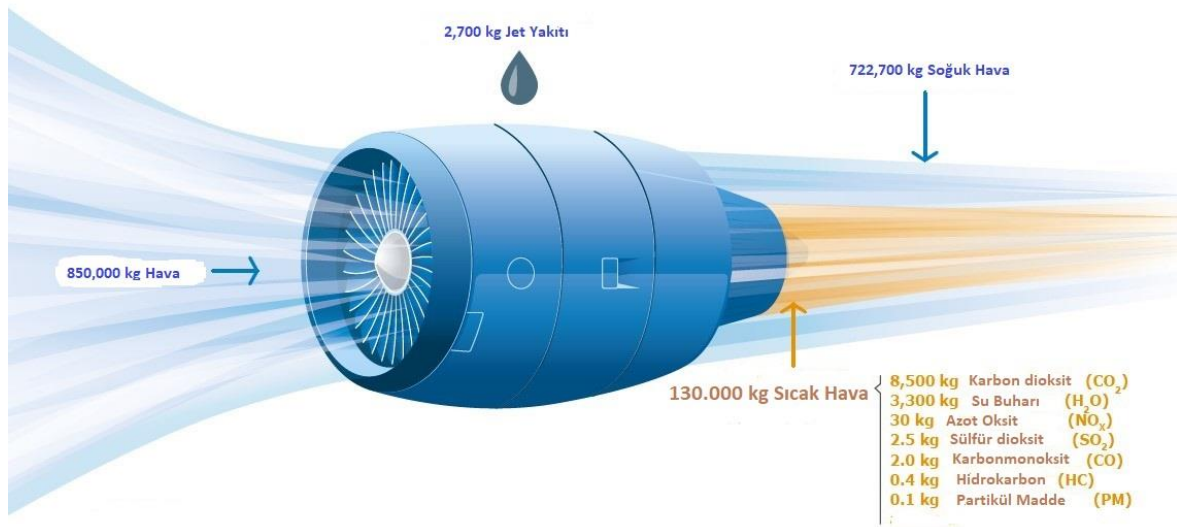
Dünyada gerçekleşen bir takım doğal olaylar nedeniyle havayı kirleten ürünler meydana gelebilmektedir. Bu nedenlerle oluşan kirleticiler atmosferde uzun süre kalmazlar. Bu olaylara, yanardağ püskürmeleri, ormanların yanmaları, çöl tozları, çürüyen hayvanlar ve bitki örtüsünün bozulması örnek olarak verilebilir [45].

#### 4.1.2 İnsan kaynaklı hava kirliliği

Doğal olaylar dışında kalan insan faaliyetleri sonucunda meydana gelen hava kirliliği ise antropojenik kaynaklar olarak isimlendirilmektedir. Başlıca insan faaliyetleri sonucunda oluşan hava kirliliklerine, ulaştırma sektöründen kaynaklanan hava kirleticileri (uçaklar, otomobiller, demiryolu araçları ve gemiler), endüstri sektöründen kaynaklanan hava kirleticileri (termik santraller, endüstriyel prosesler ve katı atık yakma tesisleri), ısınma amacıyla oluşan hava kirlilikleri (katı, sıvı, gaz yakıtlı sobalar ve kalorifer kazanları) örnek olarak verilebilir [44].

## 4.2 Uçak Operasyonları Sırasında Oluşan Emisyonlar

Havacılık faaliyetleri sonucunda insan sağlığını tehdit eden bir takım gaz ve partiküller şeklinde havayı kirleten emisyonlar oluşmaktadır. Uçakların hem yerde hem de havadaki hareketleri neticesinde oluşturdukları emisyonlar çevre kirliliği oluşturmaktadır. Uçaklar operasyonları sırasında, karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ), su buharı ( $\text{H}_2\text{O}$ ), karbon monoksit ( $\text{CO}$ ), sülfür oksitler ( $\text{SO}_x$ ), yanmamış hidrokarbonlar ( $\text{HC}$ ), partikül madde ( $\text{PM}$ ) ve kurum emisyonları yaymaktadır. [46].



**Şekil 4.1** : 150 yolcu ile 1 saatlik uçuş sırasında iki motorlu jet uçağından kaynaklanan emisyonlar [47].

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi çevre havaya salınan karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) gazı toplam oluşan emisyon değerleri içerisinde %70’ e karşılık gelmektedir. Su buharı ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ise geriye kalan %30’luk kısmın büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Nitrojen oksit ( $\text{NO}_x$ ), sülfür oksitler ( $\text{SO}_x$ ), karbon monoksit ( $\text{CO}$ ), hidrokarbon ( $\text{HC}$ ) ve partikül maddeler ( $\text{PM}$ ) oluşan emisyonların yaklaşık %1’ini oluşturmaktadır. Uçaklardan yanma sonucu kaynaklanan kirletici gazların azaltılması doğal olarak yakılan yakıtın azaltılması ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca yanmanın kalitesini artırarak da emisyon oranları azaltılabilmektedir.

Hava araçlarında genel olarak iki tip motor kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi kara ve deniz araçlarında da kullanılan pistonlu motorlardır. Otomobillerde krank milinden tekerleklere aktarılan dönme hareketi piston motorlu uçaklarda pervaneye aktarılmaktadır. Uçaklarda kullanılan ikinci motor tipi gaz türbinli motorlardır. Bu motorlar jet itki prensibine göre çalışmakta olup modern yolcu uçaklarında kullanılan motor tipidir.

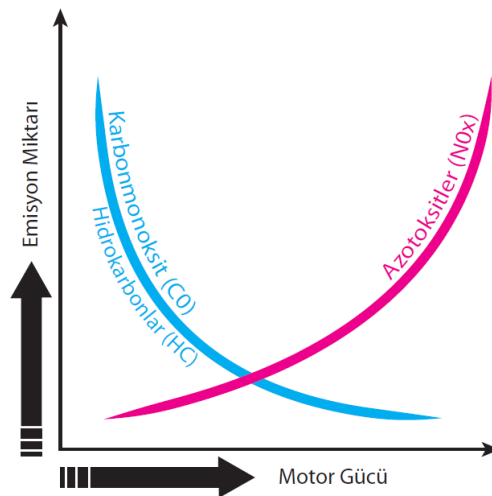
Yukarıda bahsettiğimiz iki motor tipinde de yanma işlemi gerçekleşmektedir. Pistonlu motorlarda bu işlem silindir içerisinde olurken, gaz türbinli tip motorlarda ayrı bir komponent olan yanma odası bölümünde gerçekleşmektedir.

Günümüzde kullanılan yakıtların büyük çoğunluğu petrol kaynaklı yakıtlardır. Bu yakıtların özelliklerine baktığımızda büyük çoğunluğu karbon ve hidrojenden oluşmaktadır. İçerisinde karbon ve hidrojenin bulunduğu yakıt oksijen ile buluşturulup yanma işlemi gerçekleştiğinde iki temel ürün olan karbondioksit ve su buharı ortaya çıkmaktadır [02].

Karbondioksit gazı küresel ısınmanın en önemli etkeni olan sera gazı olarak bilinmektedir. Petrol türevli yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan en önemli emisyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Su buharı ise yakıtta bulunan hidrojenin oksijen ile buluşması sonucunda oluşmaktadır. Uçakların havada iken egzoz çıkışında oluşturdukları ize su buharı sebep olmaktadır.

İkinci grup emisyonlara, karbon monoksit, azot oksit, yanmamış hidrokarbonlar, sülfür dioksit gazları örnek olarak verebiliriz. Bu emisyonların ortaya çıkma miktarı, motorun tipine, kullanılan yakıt çeşidine ve yanma odası yapısına göre değişmektedir.

Karbon monoksit gazı (CO) eğer yanma tam gerçekleşmezse ortaya çıkmaktadır. Genellikle motor ilk çalıştırmada ve motorun düşük devirlerinde gözlenmektedir. Yanmamış hidrokarbonlar da (HC) motorun düşük devirlerinde ortaya çıkmaktadır. Azot oksitler (NOx) ise motorun yüksek devirlerinde oluşmaktadır. Atmosferin %78'ini oluşturan azot, yüksek sıcaklıktaki yanma işlemi sonucunda oksijen ile buluştuğunda azot monoksit ve azot dioksit olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.2 : Emisyonların motor gücü ile değişimi [33].

#### 4.2.1 Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

Karbondioksit gazı sera gazlarının içinde en fazla bulunan kirletici gazlardandır. İnsanların ve hayvanların soluk alıp vermesi ve organik maddelerin çürümesi sonucunda karbondioksit gazı meydana gelmektedir. Bunlara ek olarak ısınma amacıyla, üretilecek elektrik için katı atıkların ve fosil yakıtların yanması da çevreye atılan karbondioksit miktarını arttırmaktadır [48].

Uçaklardan kaynaklı karbondioksit miktarı kullanılan yakıtla bağlıdır. Yakıt içerisindeki karbon atomlarının miktarına göre yanma sonucunda karbondioksit gazının atmosfere salınımına sebep olmaktadır. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı uçaklardan salınan en fazla miktarda olan gazdır. Tüketilen her kg yakıt miktarına karşılık 3,15 kg karbondioksit gazı meydana gelmektedir.

Karbondioksit gazı renksiz ve kokusuz bir gazdır. Kırmızı ötesi ışığı absorbe etme özelliği olduğundan dünyayı bir örtü gibi sarıp atmosferin ısınmasına sebep olarak sera etkisine yol açmaktadır. Bu örtü sayesinde dünyanın sıcaklığı ortalama -18 °C sıcaklığından +15 °C sıcaklığına yükselmektedir [49].

#### 4.2.2 Su Buharı (H<sub>2</sub>O)

Su buharı, küresel ısınmada sera etkisi yapan gazların başında gelmektedir ve atmosferde bol miktarda bulunmaktadır. Hava içindeki miktarına baktığımızda, yer ve zamana göre en fazla değişkenlik gösteren gaz su buharıdır (H<sub>2</sub>O). Hava içerisinde, nemli tropikal iklime sahip bölgelerde %2-3 civarında su buharı bulunabilmektedir. Orta kutup bölgesinde su buharı miktarı %0,25 değerlerindedir. Su buharının bol miktarda bulunduğu atmosfer katmanı bulutların bulunduğu atmosfer tabakasıdır. Bu yüzden güneşten gelen ışınları tutarak yükseklerle yansıtma etkili olmaktadır.

Jet yakıtının yanmasıyla oluşan su buharı (H<sub>2</sub>O) emisyonu 1,2 kg/kg yakıt değeridir. Gaz türbinli motora sahip uçakların egzozlarından atmosfere saldıkları ve gökyüzünde bir bulut gibi çizgi halinde görülen karışımın içinde su buharı bulunmaktadır. Uçakların arkalarında bıraktığı bu iz yoğunlaşma izi olmaktadır. Yoğunlaşma olayı, eğer sıcak bir yüzey soğuk bir yüzeyden geçerse oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle uçakların arka kısmından çıkan sıcak egzoz gazı, çevresindeki düşük basınca ve daha soğuk ortam havasına karıştığında arkasında yoğunlaşma izi meydana gelir. Yoğunlaşma izi sadece yüksek irtifalarda oluşmaktadır bu nedenle uçaklar daha düşük irtifada uçtuklarında su buharı gazı önlenmektedir. Fakat bu

seferde uçaklar düşük irtifada uçtuklarında hem daha düşük hızla yol almakta hem de daha fazla yakıt yakmaktadırlar [50].

#### **4.2.3 Azot Oksit (NO<sub>x</sub>)**

Azot oksit, renksiz ve kokusuz bir gaz olup yüksek sıcaklık altında yanma işlemi sonucunda ortaya çıkar ve yanmanın tüm evrelerinde oluşmaktadır. Yanma işlemi zamanında azot ve oksijenin reaksiyonu ile azot oksitler oluşmaktadır. Azot oksit oluşumu yanma sıcaklığına ve motorun devrine göre de değişmektedir. Azot oksitler motorun ilk çalıştığı anda düşük değerler almaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonlarının büyük çoğunluğunu azot oksit (NO), az bir miktarını azot dioksit (NO<sub>2</sub>) ve diğer azot bileşikleri oluşturmaktadır [51].

Jet yakıtı kullanan uçak motorlarından atmosfere salınan azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonu CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O emisyonundan sonra en fazla meydana gelen kirletici gaz olarak bilinmektedir. 1 kg yakıt yakıldığı zaman yaklaşık 11-25 gr azot oksit (NO<sub>x</sub>) açığa çıkmaktadır. Azot oksitler akciğerdeki nemle birleştiğinde nitrik asit oluşturarak, solunum yolu hastası olanlar için tehlikeli durum oluşturmaktadırlar [23].

#### **4.2.4 Kükürt Oksitler (SO<sub>x</sub>)**

Kükürt oksit, sarımsı bir rengi olan, yanıcı olmayan ve renksiz bir hava kirletici gazdır. Petrol gibi fosil yakıtların yanması sonucunda meydana gelirler. Sağlığa zararlı bir gazdır. Solunum yollarına, karaciğere ve akciğere olumsuz etkileri bulunmaktadır. Kükürt dioksit emisyon miktarı yakıt içinde bulunan kükürt konsantrasyonuna bağlı olmaktadır. Atmosfere salınan SO<sub>x</sub> emisyonunun çok az miktarı havacılık kaynaklıdır [52].

#### **4.2.5 Karbon Monoksit (CO)**

Uçaklarda jet yakıtının tüketilmesiyle meydana gelen karbon monoksit (CO) miktarı kg cinsinden tüketilen yakıtla bağlı olarak çok yüksek hızla uçan ses üstü uçakları için 1-2 gr, ses altı uçan uçaklar için ise 1-10 gr arasındadır [53].

Karbon monoksit gazı dolaylı olarak meydana gelen sera gazları sınıfındadır ve kokusu ve rengi yoktur. İçerisinde karbon bulunan yakıtlar eksik yandığı zaman CO gazı oluşmaktadır. Karbon monoksit gazı bulunan ortamda fazla süre kalındığı zaman kandaki hemoglobin dengesi bozulacağı için zehirlenme ve boğulma durumu ortaya çıkmaktadır. Taşıtlarda karbon monoksit oluşumu yanma veriminin iyileştirilmesiyle ve emisyon kontrol yöntemlerinin geliştirilmesiyle azaltılabilmektedir [52].

#### **4.2.6 Hidrokarbonlar (HC)**

Hidrojen ve karbondan oluşan hidrokarbonlar (HC) petrol ürünlerinin yakılmasıyla oluşmaktadır. Kötü kokulu bir gaz olan HC yakıtın tam yanmaması durumunda ortaya çıkmaktadır. HC hava sıcaklığını arttırıcı etkiye sahiptir. Motorlu taşıtlarda kullanılan petrol yakıtlarının eksik yanması sonucu etilen ve benzen gibi hidrokarbonlar ortaya çıkmaktadır. Çevre havaya salınan bu hidrokarbonlar, havada bulunan diğer kimyasal maddelerle birleştiğinde canlılara zararlı etkileri olmaktadır [52].

#### **4.2.7 Partikül Maddeler (PM)**

Partikül maddeler havada bulunan katı partikülleri ifade ederler. Partikül madde, çapı 10 mikrometre ve daha az olan partikülleri tanımlamak için kullanılır. Partikül maddeleri oluşturan kaynaklar, çimento fabrikaları, metal endüstrisi ve motorlu araçlar, orman yangınları, kömür yakılması ve volkanlar olarak sıralanabilir. Partikül madde emisyonları yakıtın eksik yanmasından kaynaklanmaktadır. Partikül maddeler güneş ışığını emer ve atmosferi ısıtarak etki gösterirler [54].

#### **4.3 Uçak Emisyonlarının Çevresel Etkileri**

Sera etkisi kavramı önemini her geçen gün artırmaktadır. Sera etkisi aslında dünya canlıları için faydalı bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat sera gazlarının artmasıyla birlikte bu etki tehlikeli seviyelere ulaşmakta ve küresel ısınma adı verilen büyük bir çevre sorununu meydana getirmektedir [55].

Atmosferden geçen güneş ışınları dünya yüzeyini ısıtmaktadır. Dünya'ya gelen güneş ışınlarının bir kısmı yeryüzüne çarptıktan sonra uzaya doğru geri yansımaktadır. Karbondioksit, metan, su buharı ve azot oksit gibi gazlar dünya yüzeyinden geri yansıyan kızılötesi ışınları soğurarak bu ışınları dünya yüzeyine geri yansıtarak canlıların yaşamı için dünyanın sıcaklığını gerekli değerde tutarlar. Bu olaya sera etkisi, bu olayı gerçekleştiren gazlara ise sera gazı denmektedir. Sera etkisi dünya üzerindeki canlıların yaşam sürmesi için gerekli bir durumdur. Eğer sera etkisi olmasaydı yeryüzüne gelen güneş ışınlarının hepsi uzaya geri yansımak suretiyle gündüzleri ısınan kara ve denizlerin geceleri çok hızlı soğumasına neden olurdu. Fakat sera gazları ısı depolama aracı gibi çalışarak dünya yüzeyinin ısı farklılıklarını dengede tutmaktadır. Sera gazları istenen oranda olursa dünya için faydalı olmakta aksi durumda sera gazları fazla olur ise güneş ışınları bu sera gazlarıyla fazla oranda tutulacak ve yeryüzünün fazla ısınmasına sebep olacaktır. Sera etkisi artarsa

eğer o çok duyduğumuz küresel ısınma ve iklim değişikliği kavramı ile karşı karşıya kalmaktayız. Küresel ısınma etkisinin en çok hissedildiği yer kutuplar olmaktadır. Küresel ısınma ile kutuplardaki buzullar erimekte ve deniz seviyesi yükselmektedir. Küresel ısınma ile yeryüzünden büyük miktarlarda su kütleleri buharlaşarak atmosfere karışmakta, sıcaklık ve basınç farklarından dolayı şiddetli rüzgarlar meydana gelmektedir [55].



**Şekil 4.3 :** Küresel ısınmada buzullardaki değişim [55].

Uçakların çevre havaya saldığı kirletici gazlar, küresel ısınmaya ya da ışımsal zorlama (radiative forcing) gibi küresel iklim değişikliklerine yol açtığı bilinmektedir. Küresel ısınma, herhangi bir kaynaktan çevre havaya salınan kirletici gazların neden olduğu sera etkisi sonucunda, dünya üzerindeki yıl boyunca kara, deniz ve havada ölçülen ortalama sıcaklıklarda görülen artışa verilen isimdir [56].

Güneş ışımasını ile yer ışımasını arasında bir enerji dengesi bulunmaktadır. Eğer herhangi bir nedenle bu enerji dengesi bozulursa bundan iklim de etkilenecektir. Yerküre/atmosfer sisteminin enerji dengesindeki bu değişiklikler, ışımsal zorlama olarak adlandırılır. Normal koşullarda, yerküre/atmosfer sistemine giren kısa dalga boya sahip güneş ışınları ile geri yansıyan uzun dalga boya sahip yer ışımasını denge halindedir. Güneş ışımasını ile yer ışımasını arasındaki bu dengeyi ya da enerjinin atmosferdeki ve atmosfer ile kara ve okyanus arasındaki dağılımını değiştiren herhangi bir etmen, iklimi de etkileyebilmektedir. Havacılık emisyonları ile ilgili ışımsal zorlama modelleri, havacılığın toplam ışımsal zorlama üzerinde %3,5 oranında bir katkısı olduğunu ve 2050 yılına kadar bu oranın %3-7 arasında artabileceği tahmin edilmektedir [57].

Sera etkisini artıran en önemli etken havadaki karbondioksit gazının (CO<sub>2</sub>) artmasıdır. CO<sub>2</sub> gazının artmasının nedeni fosil yakıtla çalışan motorlu araçlar, santraller, nüfus artışı ve yeşil



alanların azalmasıdır. İki yüzyıl öncesine kadar atmosferde bulunan karbondioksit miktarı milyonda 275 parçacıktı (275ppm). Milyondaki parçacık sayısı (ppm), atmosferde bulunan gazların yoğunluğunu hesaplamak için kullanılmaktadır ve bir milyon gaz molekülü içinde kaç tane karbondioksit molekülü olduğunu bildirmektedir. 275 ppm dünyamız için ideal düzeyde karbondioksit miktarını oluşturmaktadır. Eğer hiç karbondioksit gazı olmasaydı dünyamız yaşamak için çok soğuk olurdu. Bilim insanları güvenli karbondioksit üst sınırını 350ppm olarak belirlediler. [58].

Scripps Okyanus Bilimi Enstitüsü, California San Diego Üniversitesi tarafından yayımlanan veriler, 2021 yılı ortalama olarak karbondioksit konsantrasyonları için milyonda 416.3 parça (ppm) olacağı tahmin edilmektedir [59].

Sera etkisinin azaltılabilmesi için özellikle karbondioksit miktarının ideal olan seviyelere düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla fosil yakıtla çalışan motorlu araçların ve enerji santrallerinin azaltılması, fabrikalardan atık olarak çevreye salınan sera gazlarının filtreler kullanılarak kontrol altına alınması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ve yeşil alanların artırılması bazı çözümler arasında gösterilebilir. Bu amaçla Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 162 ülke Japonya'nın Kyoto şehrinde bir protokol imzalanmışlardır. 1997 yılında imzalanıp 2005 yılında yürürlüğe konulan Kyoto protokolüne göre ülkelerin sera gazı salınımını minimum seviyelerine indirmeleri amaçlanmıştır. Fakat çoğu ülke tam manasıyla bu protokole uymuş değildir. Dünyada en fazla sera gazını atmosfere salan ülke Amerika Birleşik Devleti'dir. Kişi başına yılda beş ton sera gazını atmosfere salmaktadır [55].

Dünya ortalama yüzey sıcaklığının 2100 yılına kadar 1,8 ile 5,8°C arasında artacağı tahmin edilmektedir. Gelecekte bu sıcaklık artışları, daha yüksek yerel sıcaklıklar, daha az soğuk günler, daha fazla sağanak yağmur, deniz seviyesinin artması gibi birçok iklimsel etkiye neden olacaktır [60].

Havacılık kaynaklı sera gazları önemli çevresel etkilere sahiptir. Bu etkiler havaalanı seviyesinde, bölgesel düzeyde ve küresel düzeyde olmaktadır. Yerel düzeyde atmosferik etkiler, yerel hava kalitesine ve yakın bölgelerde yaşayan insanların sağlığını olumsuz düzeyde etkileyen havaalanı ve çevresindeki emisyonları ifade etmektedir. Küresel düzeyde atmosferik etkiler ile kastedilen iklim değişikliğine yol açan havacılık emisyonlarıdır [61].

**Çizelge 4.1 : Havacılık emisyonlarının rolleri ve dünya yüzeyine olan etkileri [23].**

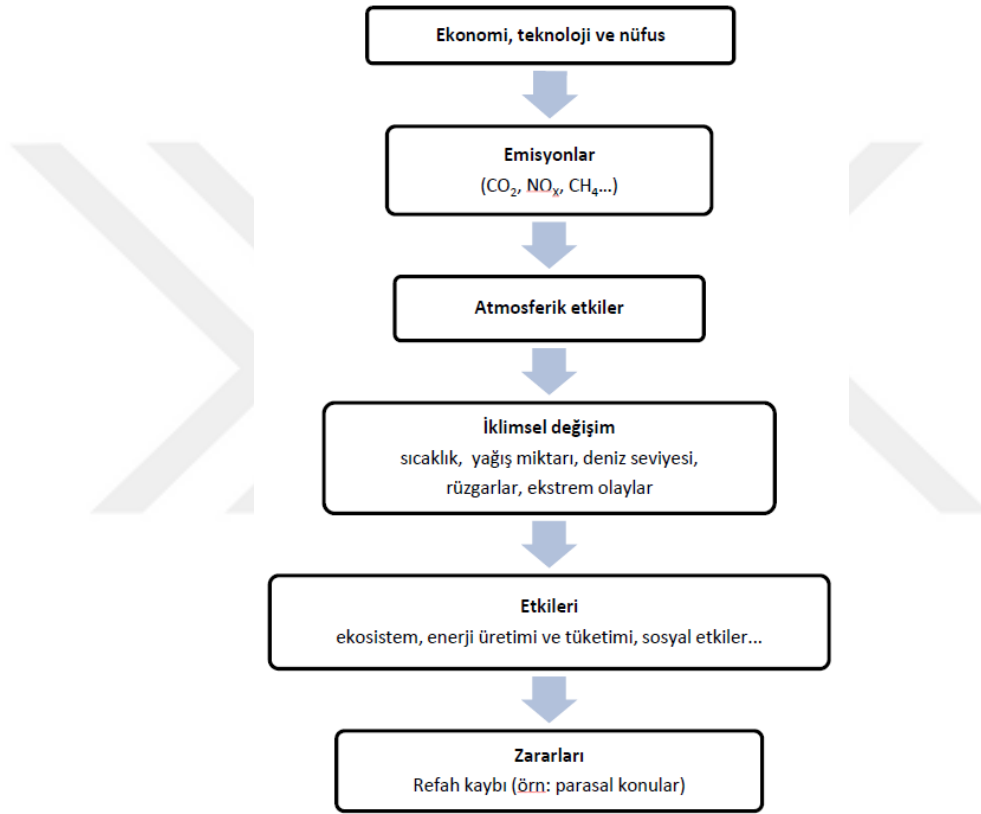
<i>Emisyon</i>	<i>Rolü</i>	<i>Dünya yüzeyindeki etkisi</i>
Karbondiyoksit	Sera gazı etkisi	Isınma
Su buharı	Sera gazı etkisi	Isınma
	Duman izi üretimi	Isınma
Azot oksit	Ozon oluşumu (sera etkisi gazı)	Isınma
	Metan tüketimi (sera gazı etkisi)	Soğuma
Kükürt oksit ve sülfürik asit	Güneş ışınlarının yansıtılması	Soğuma
	Duman izi üretimi	Isınma
	Cirrus bulutlarının artması	Isınma
Duman	Güneş ışınlarının yansıtılması	Isınma
	Duman izi üretimi	Isınma
	Cirrus bulutlarının artması	Isınma

Havaalanı emisyonlarına baktığımızda, uçakların iniş ve kalkış işlemleri, kalkış taksi işlemi, iniş taksi işlemi, yer hizmet araçları operasyonları, yardımcı güç ünitesi çalıştırma, harici yer elektrik sağlayıcı aracı, harici yer pnömatik hava sağlayıcı aracı, terminal binaları, havaalanı ve çevresindeki yol trafiği havaalanının çevresel ayak izine katkıda bulunmaktadır. Hava kalitesi kötü olduğunda insanların solunum yolları tahriş olmakta veya kanser gibi öldürücü hastalıklar oluşabilmektedir.

Uçak operasyonları ile oluşan NOx emisyonları ve organik partiküller gibi zararlı bileşikler uzun dönemde insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Jet yakıtlı motorlar genel olarak yüksek sıcaklıkta çalışırlar ve daha fazla NOx emisyonu çevre havaya salarlar. Özellikle yüksek itki gücü gerektiren kalkış safhasında büyük oranlarda NOx emisyonu açığa çıkartırlar. Uçaklarda partikül madde (PM) iki durumla oluşmaktadır. Birincisi jet yakıtının motorlarda yakılmasıyla yani yanma süreciyle oluşmaktadır. İkinci olarak ise uçağın mekanik frenlerinin balatalarının aşınması sürecinde meydana gelmektedir.

Havacılık emisyonlarında, iklim değişimi söz konusu olunca yer seviyesindeki uçak operasyonlarından ziyade yüksek irtifalardaki uçak operasyonlarının etkisi daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni, uçakların yüksek irtifalarda çevre atmosfere saldıkları kirletici gazların pek çok kimyasal ve fiziksel süreçleri körükleyerek iklim değişikliği meydana getirmesidir. İklim değişikliğine neden olan en önemli sera gazı karbondiyoksit (CO<sub>2</sub>) gazıdır. Karbondiyoksit emisyonu atmosferde uzun süre kalabilmektedir. Daha yüksek atmosfer seviyelerinde NOx, ozon ve su buharına dönüşebilmektedir ve bu kirletici gazlar yoğunlaşma izlerinin gelişmesine yol açmaktadırlar. Uçakların egzozundan çevre atmosfere salınan gazlar nedeniyle oluşan ve atmosferde kalan bu yoğunlaşma izleri, güneşten gelen bazı ışınların geri uzaya yansıtılmasına neden olarak atmosfer tabakasının soğumasına neden

olmaktadır. Ayrıca, dünya yüzeyinden atmosfere yansıyan ışınları da yeryüzüne tekrar yansıtarak atmosferin ısınmasına yol açarak sera etkisini artırma eğiliminde bulunurlar. Uçak üzerine etkiyen hava sürüklenme etkisini azaltmak amacıyla uçaklar yüksek irtifalarda uçurulurlar ve bu sayede yüksek hızlara çıkmak mümkün olur ve yakıt tasarrufu da sağlanmış olur. Sağlanan bu yakıt tasarrufu ile az yakıt tüketileceğinden çevre havaya salınan kirletici gazların miktarında da düşüş sağlanır. Fakat buna rağmen oluşan yoğunlaşma izleri de atmosferin ısınmasına sebep olarak küresel ısınmaya yol açmaktadır [23].



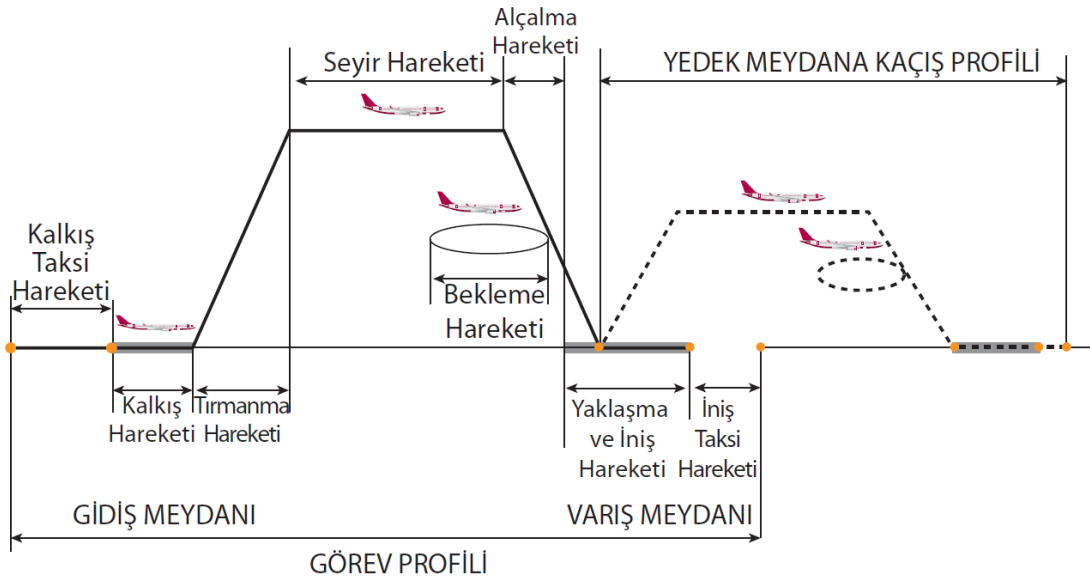
Şekil 4.4 : Havacılığın çevre üzerine etki zinciri [23].

## 5. IPCC METODOLOJİSİ VE EMİSYON HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

### 5.1 Uçuş Profili ve Aşamaları

Uçuş profili, bir uçağın kalkacağı havalimanındaki park pozisyonunda motorlarını çalıştırdıktan sonra varış havalimanına inişine müteakip park pozisyonundaki motorlarını durdurmasına kadar gerçekleştirdiği aşamalara ilişkin özellikleri ve gereksinimleri belirlemek ve planlamak için kullanılan uçuş yörüngesinin düşey düzlemdeki şekilsel gösterimi olarak tanımlanmaktadır [62].

Görev profili uçağın kalkış ile varış havalimanı arasındaki planlanan uçuşuna ilişkin aşamalardan oluşmaktadır. Uçuş profili, görev profili ve yedek meydana kaçış profili olarak iki bölüme ayrılabilir. Şekil 5.1’de uçuş profili ve aşamaları görülmektedir.



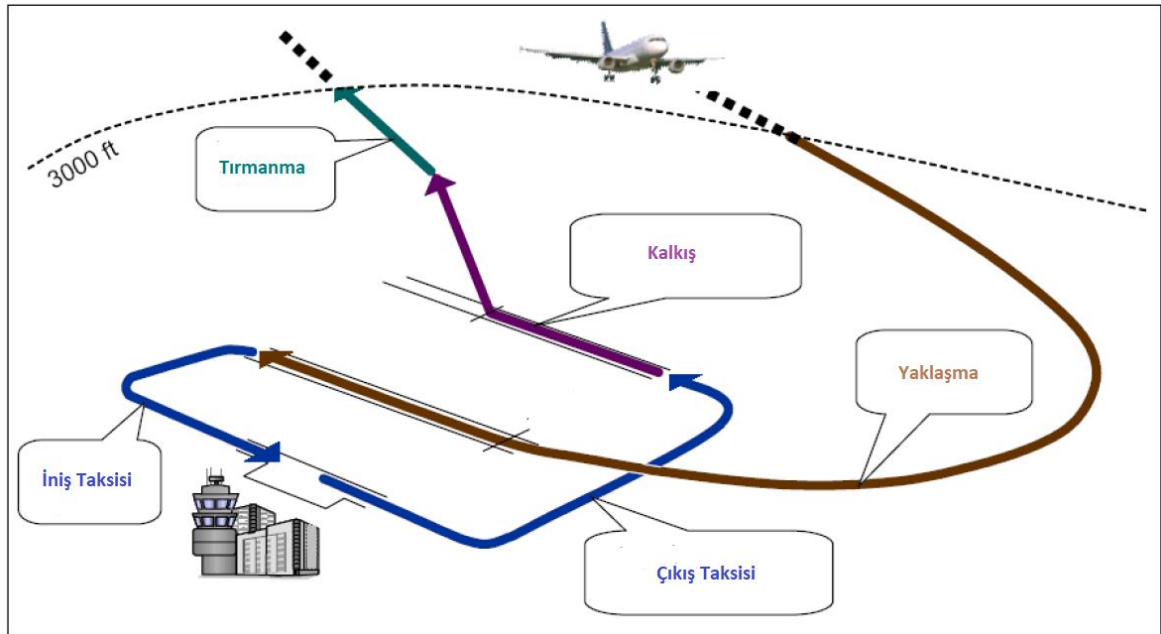
Şekil 5.1 : Uçuş profili aşamaları [62].

Görev profili aşamaları, kalkış taksi hareketi, kalkış hareketi, tırmanma hareketi, seyir hareketi, alçalma hareketi, yaklaşma ve iniş hareketi ve son olarak da iniş taksi hareketi olarak sıralanır. Kalkış taksi işlemi, uçak motorlarının çalıştırılması ve belirli bir süre ısıtılması, park konumundan kalkış pistinin başına gelme aşamalarını kapsamaktadır. Kalkış hareketi, uçağın pist başından hızlanarak yerden teker kesmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Tırmanma hareketi, uçağın ayarlanan tırmanma hızına göre yine

belirlenen seyir irtifasına ivmeli veya sabit hızla tırmanması işlemidir. Seyir hareketi, uçağın irtifasının ve hızının sabit kabul edildiği alçalma aşamasına kadar devam eden işlemi olarak tanımlanır. Alçalma hareketi, uçağın seyir irtifasını ve hızını ayarladığı programa göre düşürdüğü aşamadır. Yaklaşma ve iniş hareketi, uçağın piste yaklaşma hızına geldikten sonra piste teker koyması ve yavaşlayarak pist sonuna kadar gelme aşamaları olarak ifade edilir. İniş taksi hareketi ise pist sonuna gelen uçağın pisti terk ederek park pozisyonuna alınma aşaması olarak tanımlanır. Uçaklar varış meydanına bazen değişik sebeplerle inememektedirler. Hava trafik kontrol kulesi tarafından havada belirli bir irtifada beklemeleri söylenir. Bekleme sürecinde uçaklar belirlenen hızda düz uçuş ve dönüş hareketi yaparak bekleme paterni adı verilen kapalı bir döngü gerçekleştirirler. Uçaklar, hava durumu veya herhangi bir acil durum sebebiyle varış hava meydanına uçuş planına göre iniş yapamaz ise belirlenen başka bir meydana inmeleri durumunda yedek meydana kaçış profili izlenmiş olur. Yedek meydana kaçış profili şekli ve içerdiği aşamaları itibari ile görev profiline benzer. [62].

## 5.2 LTO (Landing and Take Off) Döngüsü

Uçak emisyonlarının hesaplamaları yapılırken bilinmesi gereken verilerden biri de LTO sayısıdır. Uçakların her bir uçuş faaliyeti için gerçekleştirdikleri ve 3000 feet yüksekliğin altındaki iniş/kalkış fazları “LTO (Landing and Take-Off) döngüsü” olarak tanımlanmıştır [46]. Şekil 5.2’de LTO döngüsünün aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 5.2 : LTO (Landing and take-off) döngüsü [63].

LTO döngüsü, kalkış taksisi (taksi-out), kalkış (take-off), tırmanma (climb), yaklaşma (approach) ve iniş taksisi (taksi-in) olmak üzere beş aşamadan oluşmaktadır. Kalkış taksisi, motorların çalıştırılmasıyla beraber uçağın park pozisyonundan ayrılarak pist başına geldiği ana kadar geçen süreyi kapsamaktadır. Kalkış aşaması, uçağın pist başından yerden teker kesmesi sürelerini ifade etmektedir. Tırmanma aşaması, uçağın kalkış safhasından sonra karışım yüksekliği olarak tarif edilen 3000 feet (1000 metre) irtifaya kadar geçen süreyi kapsamaktadır. Yaklaşma aşaması, uçağın karışım yüksekliğinden piste inişini gerçekleştirmesi ve pist sonuna kadar geçen süreyi ifade etmektedir. İniş taksisi aşaması ise, pist sonuna gelen uçağın pisti terk ederek park pozisyonuna geçerek motorları kapatmasına kadar geçen süreyi kapsamaktadır. Uçak motorları bu belirlenen LTO döngüsü aşamalarında farklı itki ayarlarında çalışmaktadır. Çizelge 5.1’de referans alınacak LTO döngüsü yer almaktadır.

**Çizelge 5.1 : Referans alınacak LTO döngüsü [63].**

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

Uçakların havaalanı ve çevresine yaydığı kirletici gazlar, ICAO’nun yayınlamış olduğu motor egzoz emisyonlarına ait veriler ve LTO döngüsü kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama yöntemindeki girdiler, LTO çevrimindeki uçuş fazlarına, uçuş fazlarında geçen sürelerle ve itki gücü ayarına bağlı olmakla birlikte motor egzoz emisyon veri bankasındaki yakıt akış oranlarına ve emisyon indekslerine de bağlıdır.

### 5.3 IPCC Metodolojisi

1972 yılında kurulan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP – United Nations Environment Programme) ile 1950 yılında kurulan Dünya Meteoroloji Örgütü’nün (WMO – World Meteorological Organization) ortak girişimiyle 1988 tarihinde Hükümetlerarası

İklim Değişikliği Paneli (IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change) kurulmuştur. IPCC'nin (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) görevi uzman kadrosuyla iklim değişiklikleri ile ilgili bilimsel değerlendirmeler yaparak bu değerlendirmeleri raporlaştırmaktır. IPCC, 1990 yılında hazırladığı ilk raporuyla iklim değişikliklerinin üstesinden gelebilmek için uluslararası bir anlaşmanın zemini oluşturmuştur. 1992 yılında 154 ülke tarafın imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi (UNFCCC- United Nations Framework Convention on Climate Change) ile küresel olarak çevreye karşı en büyük tehlikenin insan kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır. 2020 yılı itibarıyla UNFCCC'ye 197 üye ülke bulunmaktadır [64].

IPCC'nin amacı, insan kaynaklı iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini azaltmak için değerlendirmeler yaparak raporlar hazırlamaktır. Sözleşme ayrıca üye ülkelere, periyodik olarak ulusal envanterlerini geliştirmeleri, yenilemeleri ve yayınlamaları ve sera gazı emisyon envanterlerinde kıyaslamalar yapmaları için tavsiyelerde bulunmaktadır.

Havacılıkta emisyon envanteri IPCC'nin yayınlamış olduğu kılavuzlara göre belirlenmektedir. IPCC kuralları ilk olarak 1994 yılında oluşturulup 1995 yılında da yayınlanmıştır. IPCC'nin ilk Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Rehberi 1996 yılında kitap haline getirilmiştir. Hazırlanan Ulusal Sera Gazı Envanteri Rehberi'nde insan kaynaklı emisyonların tahmini yapılarak oluşan sera gazlarının nasıl azaltılacağına yönelik metodolojiler bulunmaktadır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesine üye ülkeler tarafından 1997 yılında Kyoto'da yapılan protokolde, 1996 yılı Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Kılavuzu'ndaki ilkeler kabul edilmiştir [65].

1996 yılında yayınlanan ilk Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Rehberi üç ciltten oluşmaktadır. Birinci cilt, tahminleri belirlemek için kullanılan yöntemden bağımsız olarak, tamamlanmış ulusal envanter verilerinin tutarlı bir şekilde birleştirilmesi, belgelenmesi ve iletilmesi için adım adım talimatlar sağlar. Bu talimatlar, IPCC Kılavuzlarının tüm kullanıcılarına yöneliktir ve tüm raporların tutarlı ve karşılaştırılabilir olmasını sağlama amacındadır. İkinci cilt, halihazırda mevcut bir ulusal envanteri olmayan ve bu tür envanterleri üretme konusunda deneyimli olmayan katılımcılar için bir ulusal envanter planlama ve başlama hakkında öneriler içerir. Ayrıca, altı ana emisyon kaynağı kategorisinden karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve metan (CH<sub>4</sub>) emisyonlarının yanı sıra diğer bazı gazlarının hesaplanması için adım adım talimatlar içerir. Envanterleri geliştirmeye başlamak için olabildiğince ülkedeki uzmanlara yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Üçüncü cilt, daha geniş bir sera gazı yelpazesi için emisyon tahmin yöntemlerine ilişkin bir bilgi özeti ve her

biri için kaynak türlerinin tam bir listesini sunmaktadır. Birçok kaynak türü için bir dizi olası yöntemi özetler [66].

1996 yılındaki ilk kılavuz 2006 yılında yenilenmiş zaman zaman güncellenmiş ve en son 2020 yılında iyileştirilerek yayınlanmıştır. 2006 yılı Ulusal Sera Gazı Emisyon envanteri Kılavuzu gelişmeler ışığında anlaşılabilirliğin artırılması amacıyla beş cilt halinde yayınlanmıştır. Birinci cilt genel olarak raporlama, ikinci cilt enerji, üçüncü cilt endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı, dördüncü cilt tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı, beşinci cilt atık konularından oluşmaktadır [67].

Havacılık sektöründen kaynaklanan emisyonların hesaplanması için 2006 yılında yayınlanan ve en son 2020 yılında güncelleştirilen Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Kılavuzu'nun Enerji başlıklı ikinci cildinin Mobil Yanma alt başlığındaki Sivil Havacılık konusundan istifade edilmektedir [68].

#### **5.4 IPCC Emisyon Hesaplama Yöntemleri**

Uçaklardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının hesaplanması için üç tane yaklaşım belirlenmiştir. Bu hesaplama metotları basit, ileri ve detaylı olarak belirlenmiştir. Uçak emisyonlarının hesaplanmasında IPCC tarafından önerilen “Tier Yaklaşımları” kullanılmaktadır. Tier metotlarının da Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır.

##### **5.4.1 Tier 1 yöntemi**

Tier 1 metodunda uçak emisyonları tüm uçuş periyotlarının yani hem LTO döngüsündeki hem de seyir irtifasındaki faaliyetleri boyunca motorların tüketmiş olduğu yakıt miktarından kaynaklanan emisyon değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada toplam kullanılan yakıt miktarı öne çıkmaktadır. Bu emisyon hesaplama yönteminde iç hat uçuşlarında kullanılan toplam yakıt miktarı, dış hat uçuşlarında kullanılan toplam yakıt miktarı ve toplam LTO sayısı kullanılmaktadır. Tier 1 yaklaşımında kullanılan formül aşağıda verilmiştir [63]. Tier 1 yöntemi formülünde belirtildiği gibi emisyon miktarı hesaplanırken LTO döngüsü ve seyir faaliyetlerindeki tüketilen yakıt miktarının emisyon faktörü ile çarpılmasıyla bulunmaktadır.

Emisyon Miktarı (E) = Kullanılan Yakıt Miktarı (F) \* Emisyon Faktörü (EF)



#### 5.4.2 Tier 2 yöntemi

Tier 2 metodunda uçak tiplerinin temin edildiği durumlarda LTO döngülerinin kullanılarak uçak emisyonlarının hesaplandığı yöntemdir. Bu hesaplama yönteminde uçak tiplerine göre LTO döngüleri hesaplanırken uçağın cruise uçuşu yani karışım yüksekliği olarak ifade edilen 3000 feet irtifanın üzerindeki seyir faaliyetleri hesaba katılmamaktadır. Tier 2 yönteminin uygulanabilmesi için hem LTO döngüsü sayısı ve kullanılan uçak motoru tipinin bilinmesi gerekmektedir. Tier 2 yaklaşımında kullanılan formül aşağıda verilmiştir [63].

Emisyon Miktarı (E) = İniş ve Kalkış Sayısı (LTO) \* Emisyon Faktörü (EF)

#### 5.4.3 Tier 3 yöntemi

Tier 3 metodu Tier 1 ve Tier 2 metoduna göre daha ayrıntılı hesaplama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla daha ayrıntılı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleşecek olan bir uçuş için uçağın kullandığı motor bilgileri yanında hem kalkış yapılan hem de iniş yapılacak havaalanı bilgilerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleşmekte olan uçuş güzergâh mesafeleri ve uçuşun aşamaları, iniş kalkış yapılacak havaalanı bilgileri ve bunların yanında uçağa takılan motor tipi bilgileri bilinince emisyon faktörleri belirlenmektedir. Dolayısıyla farklı uçuş aşamalarında emisyon miktarları değişkenlik göstermektedir [63].

## 6. MALATYA ERHAÇ HAVALİMANININ UÇAK EMİSYONLARI

### 6.1 Malatya İli ve Havalimanına Ait Bilgiler

Doğu Anadolu Bölgesinin Yukarı Fırat Bölgesinde bulunan Malatya, Türkiye'nin 81 ilinden birisidir. Hitit döneminde kurulan Malatya bölgenin en gelişmiş ilidir. O günden bugüne çeşitli medeniyetlerin hakimiyetine girerek tahrip olmuş yapılar yıkılıp yeniden yapılarak günümüze kadar gelmiştir. Malatya şehri yerleşim olarak MÖ 7000'li yıllara kadar dayanmaktadır. Malatya ilinde Hititler, Asurlular, Urartular, Medler, Persler, Büyük İskender İmparatorluğu, Kapadokya Krallığı, Roma İmparatorluğu, Bizans İmparatorluğu, Anadolu Selçuklu Devleti, Osmanlı İmparatorluğu, Timur Devleti ve Dulkadiroğulları gibi medeniyetler yaşamışlardır. Malatya ili tarih boyunca önemli ticaret yolları üzerinde bulunmasından dolayı devletler arasında önemli savaflara tanıklık etmiştir.

Malatya'nın ekonomisi kayısıya dayanmaktadır. Malatya kayısısı dünyada yaklaşık 60 ülkeye ihraç edilerek hem Malatya ekonomisine hem de ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. Dünyanın kayısı ihtiyacının %80'i Malatya ilinden karşılanmaktadır [69]. Malatya ilinde 2 merkez ilçe ve 11 de çevre ilçeler olmak üzere 13 adet ilçe bulunmaktadır. Şekil 6.1'de Malatya ilinin Türkiye haritasındaki konumu görülmektedir.



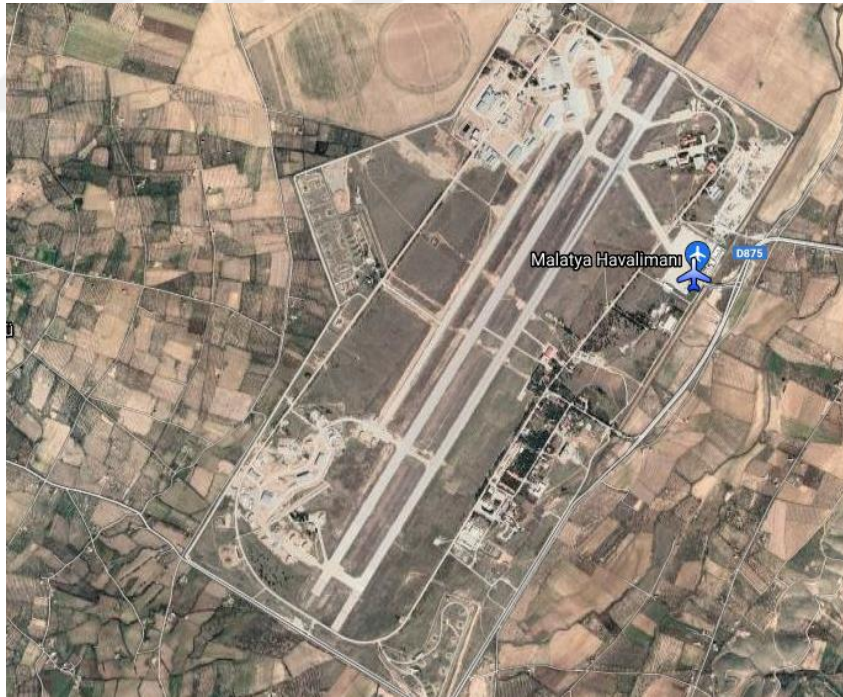
Şekil 6.1 : Türkiye haritasında Malatya ilinin konumu [70].

Malatya havalimanı 1941 yılında faaliyete başlamıştır. Şehir merkezine uzaklığı 28 km'dir. Malatya Erhaç Havalimanı, 38°25'56"N, 38°04'59"E koordinatlarında olup sivil ve askeri ortak kullanıma açık bir havalimanıdır. Terminal binası toplam büyüklüğü 9.625 m<sup>2</sup> olup iç hat/dış hat tarafıge açık bulunmaktadır. ICAO kodu LTAT, IATA kodu MLX'tir.

Aşağıda şekil 6.4'de Malatya Erhaç havalimanına ait resimler görülmektedir.



Şekil 6.2 : Malatya Erhaç havalimanına ait resimler [71].

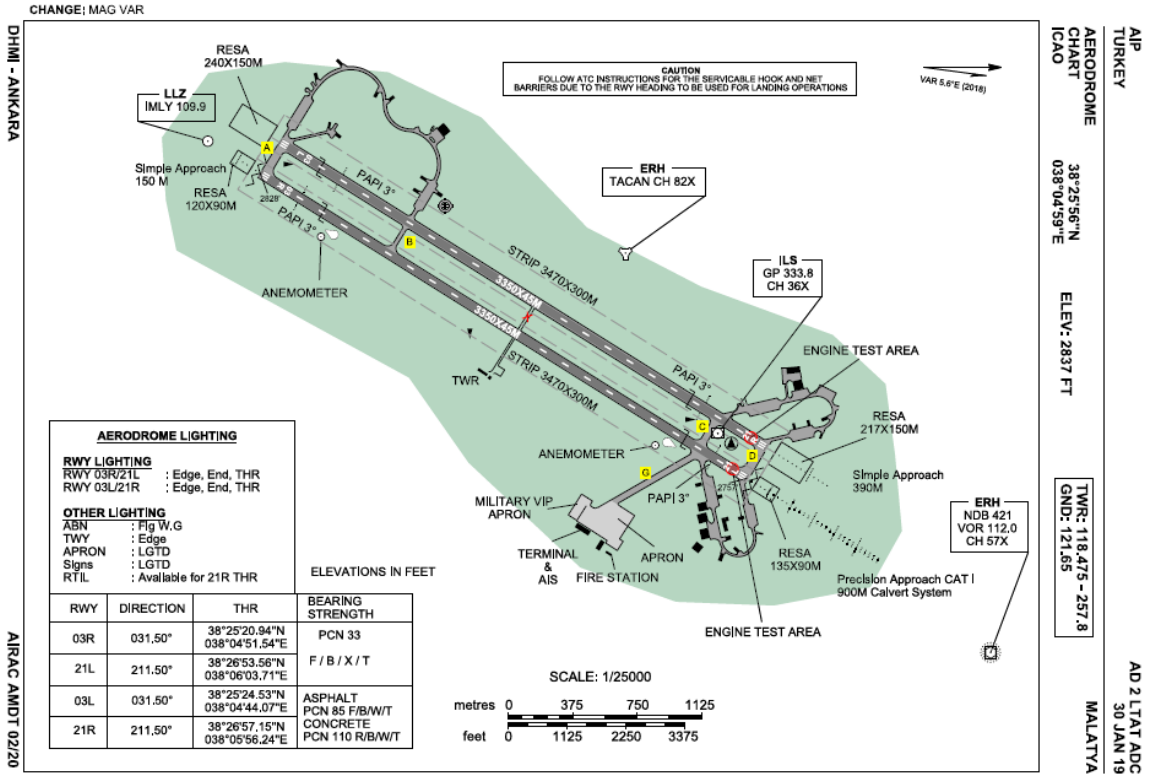


Şekil 6.3 : Malatya Erhaç havalimanının uydü görüntüsü [74].

Malatya Erhaç Havalimanına ait çeşitli bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Havalimanı Statüsü : Sivil / Askeri Ortak Kullanım
- ICAO Kodu : LTAT

- IATA Kodu : MLX
- Trafik Tipi : İç Hat / Dış Hat (2007)
- Yükseklik : 2828 ft (862 metre)
- Pistler : 03R / 21L- 03L/21R
- Pist Uzunluğu : 10990 × 148 ft (3350 × 45 m), asfalt
- Terminal Binası Büyüklüğü : 9.625 m2
- Coğrafi Koordinatları : 38°25`56"N, 38°04`59"E
- Yolcu Kapasitesi : 1.200.000 Yolcu/Yıl
- Uçak Park Alanı : 7 Adet
- Apron Alanı : 54.027 m2
- Kontuar Sayısı : 14
- Gümrük Banko Sayısı : 1
- Asansör Sayısı : 1
- X-Ray Cihazı : 4
- Kapı Dedektörü : 8
- Otopark Kapasitesi : 152 araç



Şekil 6.4 : Malatya Erhaç havalimanı (LTAT) pist bilgisi [75].

Türkiye’de havacılık sektörünün gelişmesiyle birlikte özellikle 2000 yılından itibaren iç hat havayolu seferleri artış göstermiştir. LTO sayılarındaki artışla doğru orantılı olarak yakıt tüketimleri de artmıştır. Hem LTO sayısındaki artış hem de kullanılan yakıt miktarındaki artış uçak emisyonlarında artışa neden olmuştur.

Bu çalışmada ICAO tarafından belirlenmiş olan jet yakıtı kullanan gaz türbinli motorlara ait her bir uçak tipi için LTO safhalarında çevre havaya salınan emisyon değerlerinin verildiği kapsamlı tablodan faydalanılmıştır. İlgili tablo ekler bölümünde verilmiştir. Malatya Erhaç havalimanına için 2016-2017-2018-2019 ve 2020 yıllarına ait veriler Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğünden (DHMI) elde edilmiştir.

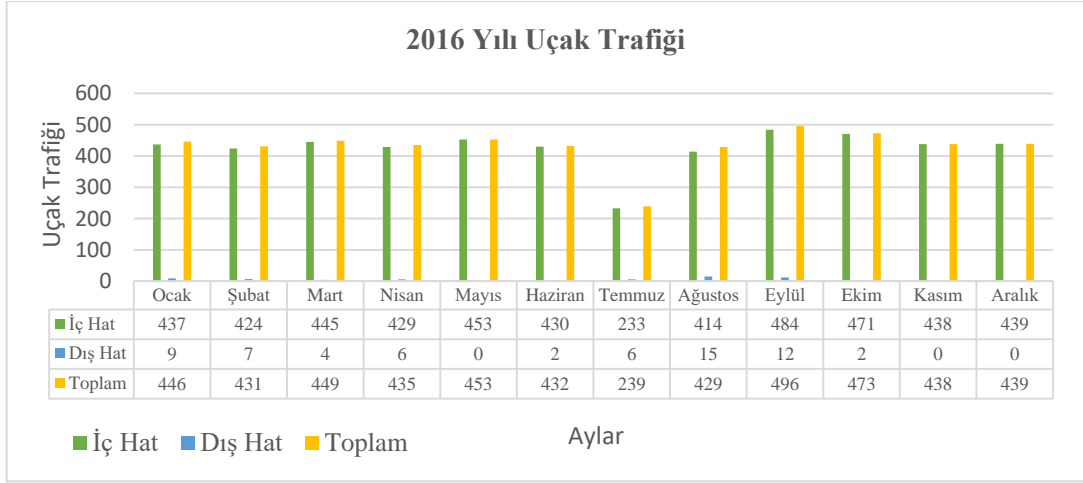
Bu bölümde, Malatya ili ve Malatya Erhaç havalimanı hakkında bilgiler verildikten sonra Malatya Erhaç Havalimanı için 2016-2020 yılları arası hem yıl bazında hem de bu beş yıllık süreçte uçaklardan kaynaklanan kirletici gazlar hesaplanmıştır. Hesaplama yöntemi olarak IPCC metodolojisi Tier 2 yöntemi kullanılmıştır.

Her bir yıl için;

- Aylara göre uçak trafiği ve yolcu sayıları
- Uçak tiplerine göre LTO sayıları ve LTO sayılarına göre yakıt tüketimleri
- Uçuş fazlarına göre emisyon değerleri
- LTO sayıları ve uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub>, HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, PM emisyon değerleri tablo ve grafikler halinde verilmiştir. Bu değerler sadece ticari amaçlı yapılan uçuşlardan elde edilmiştir. Askeri amaçlı yapılan uçuşlar hesaplama dahil edilmemiştir.

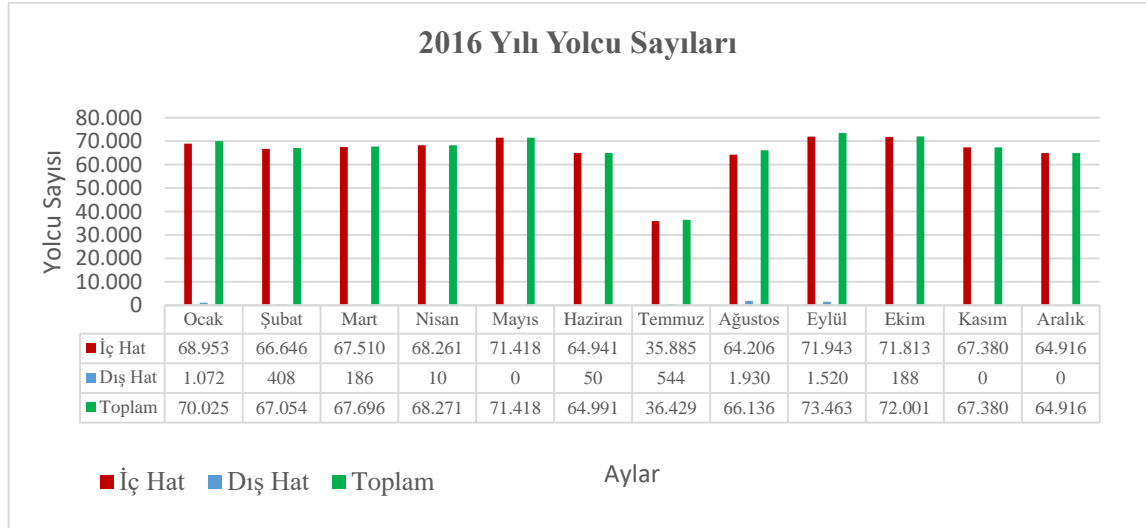
## **6.2 2016 Yılına Ait Uçak Emisyonları**

Bu başlık altında Malatya Erhaç Havalimanı için 2016 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<sub>x</sub> emisyon değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca LTO sayılarına göre CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, PM emisyonları ve uçakların tükettiği yakıt miktarları da bu başlık altında verilmiştir. 2016 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan ticari amaçlı uçak tipi sayısı 9 olarak verilmiş ve en çok kullanılan uçak marka ve modelleri Boeing 738 ve Airbus A320 olmuştur.



**Şekil 6.2 :** 2016 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği.

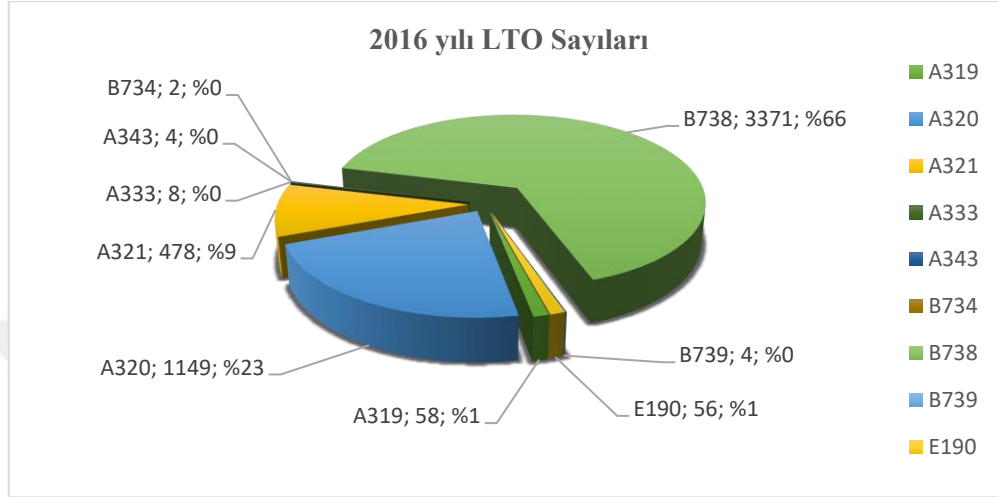
Şekil 6.5’ de 2016 yılına ait Malatya Erhaç Havalimanı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği sayıları görülmektedir. Grafik incelendiğinde, uçuş sayılarının temmuz ayı hariç diğer ayların birbirine yakın değerinde olduğu görülmektedir. 2016 yılı temmuz ayı 239 adet uçak trafiği ile en düşük LTO sayısına, eylül ayı ise 496 sefer sayısı ile en yüksek LTO sayısına sahip ay olmuştur. Temmuz ayında uçak trafiği bir önceki aya göre %55 oranında azalmıştır. 2016 yılı için toplam iç hat sefer sayıları 5.097 adet, dış hat sefer sayıları 65 adet ve toplam uçak trafiği ise 5.162 adet olarak belirlenmiştir. Toplam uçak trafiği içinde dış hat uçak trafiğinin sadece %1,26 olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.3 :** 2016 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları.

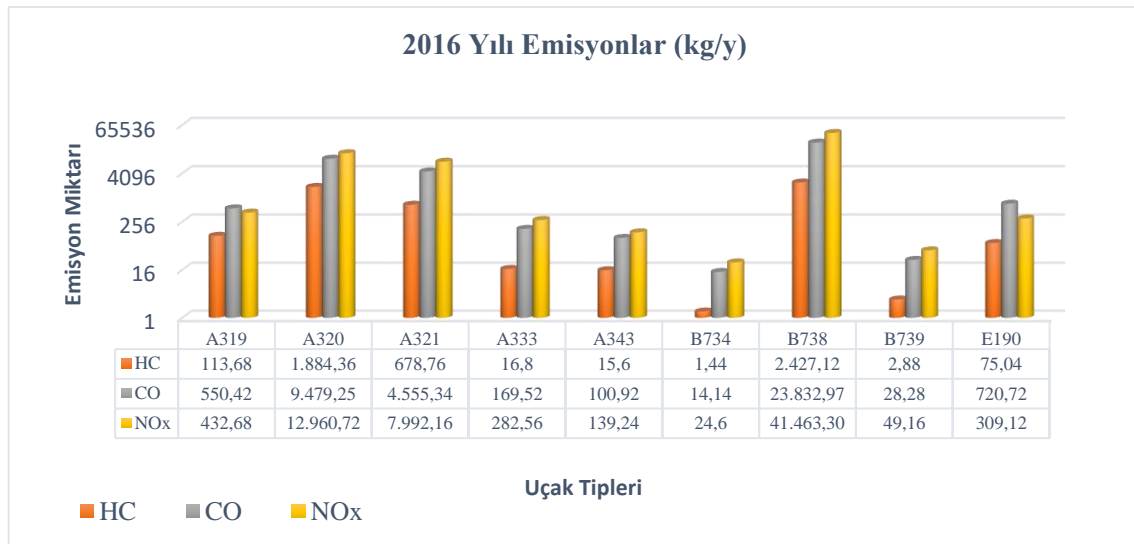
Şekil 6.6’da 2016 yılı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları verilmiştir. Grafiği incelediğimizde Malatya Erhaç Havalimanını kullanan toplam iç hat yolcu sayısı 783.872, dış hat yolcu sayısı 5.908 ve toplam taşınan yolcu sayısı ise 789.780 olduğu

bilinmektedir. Toplam iç hat yolcu sayısının toplam yolcu sayısındaki oranı %99,25 olmaktadır. Aylık taşınan yolcu sayısının temmuz ayı hariç diğer aylarda benzerlik gösterdiği söylenebilmektedir. 2016 yılında en fazla yolcunun taşındığı ay 73.463 yolcu sayısı ile eylül ayı olmuştur. En az yolcunun taşındığı ay 36.429 yolcu sayısı ile temmuz ayı olmuştur.



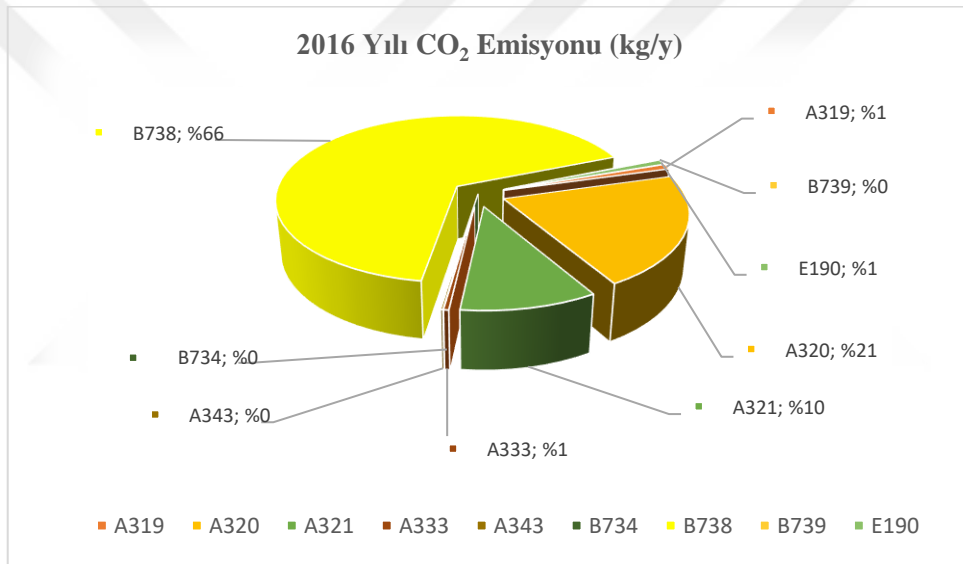
**Şekil 6.4 :** 2016 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

Şekil 6.7’de 2016 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları görülmektedir. Grafik incelendiğinde Malatya Erhaç Havalimanına iniş/kalkış yapan uçakların büyük çoğunluğunu %66 ile B738 tipi uçak oluşturmaktadır. İkinci olarak %23 oranı ile A320 tipi uçak ve en az LTO sayısı olan uçak tipi B734 olmuştur.



**Şekil 6.5 :** 2016 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).

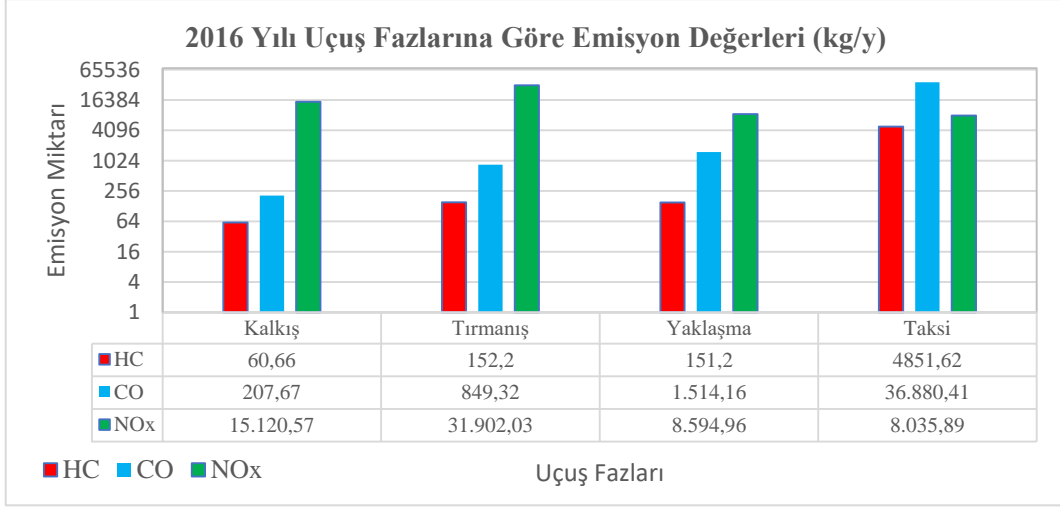
Şekil 6.8’de 2016 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC, CO ve NOx emisyonları kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm bu emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Emisyon değerlerini etkileyen bir diğer unsur her bir uçak tipinin kullanmış olduğu motor modeline göre motor bilgi bankasında belirlenmiş olan emisyon faktörleridir. En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %46, CO oranı %62 ve NOx oranı %65 olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A320 tipi uçak için ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %36, CO oranı %24, NOx oranı %20 olarak hesaplanmıştır. 2016 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 5.215,68 kg/y, CO emisyonu 39.451,56 kg/y, NOx emisyonu ise 63.653,54 kg/y olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.6 :** 2016 yılı için uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.9’da 2016 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki CO<sub>2</sub> oranı %66, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A320 tipi uçak için CO<sub>2</sub> oranı %21 olarak hesaplanmıştır. 2016 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 14.097,70 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

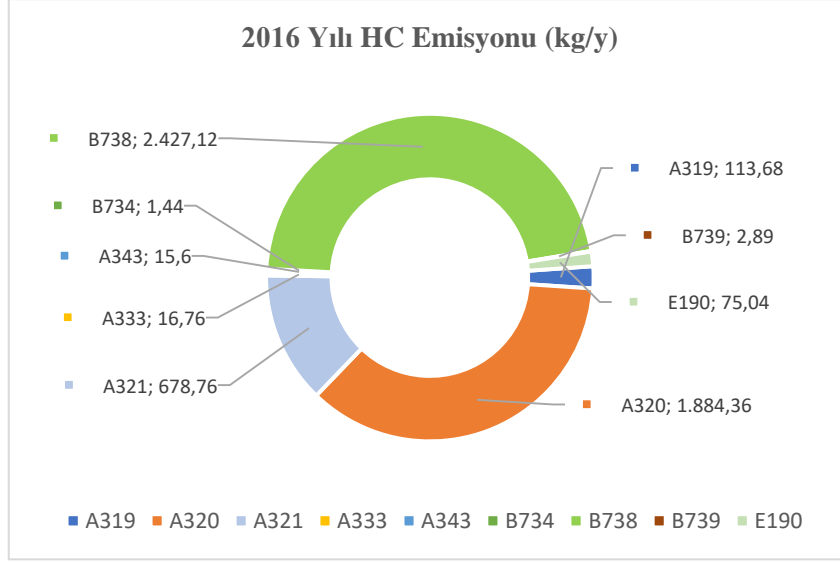




**Şekil 6.7 :** 2016 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.

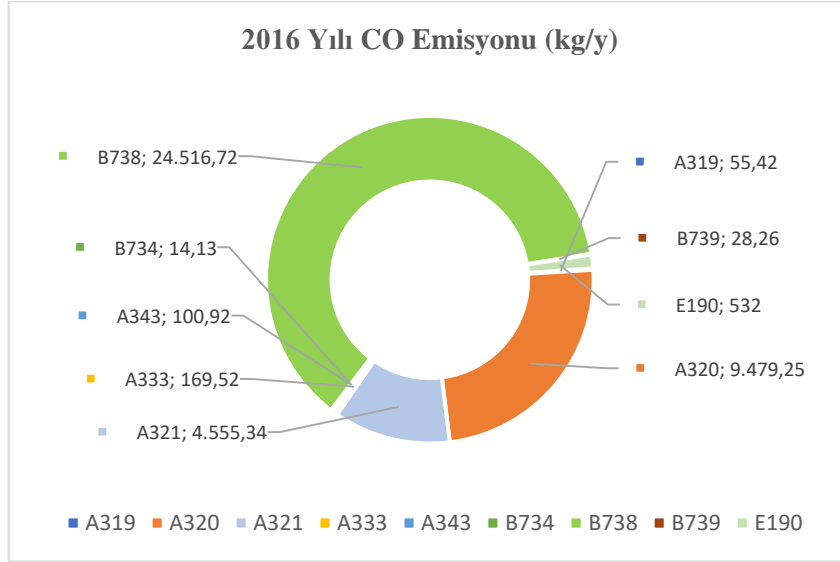
Şekil 6.10'da 2016 yılı farklı uçuş fazları için toplam LTO sayısına göre hesaplanan HC, CO ve NOx değerleri görülmektedir. ICAO tarafından belirlenen LTO sürecini incelediğimizde taksi fazının 26 dakika, yaklaşma fazının 4 dakika, tırmanma fazının 2,2 dakika ve kalkış fazının ise 0,7 dakika ve toplam LTO süresinin 32 dakika ve 54 saniye olduğu bilinmektedir. %7 itki gücünde ve 26 dakika olarak belirlenen taksi fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %93, CO oranı %93 ve NOx oranı ise %13, olarak hesaplanmıştır. %30 itki gücünde ve 4 dakika olarak belirlenen yaklaşma fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %4 ve NOx oranı ise %13 olarak hesaplanmıştır. %85 itki gücünde ve 2,2 dakika olarak belirlenen tırmanış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %2 ve NOx oranı ise %50 olarak hesaplanmıştır. %100 itki gücünde ve 0,7 dakika olarak belirlenen kalkış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %1, CO oranı %0,54 ve NOx oranı ise %24 olarak hesaplanmıştır.

Bu hesaplanan değerlerden anlaşılıyor ki, %7 itki gücünde ve 26 dakika olarak belirlenen taksi işlemi zamanında motorların hem düşük devirde çalışmasından hem de taksi süresinin uzun olmasından dolayı karbon monoksit ve hidrokarbon emisyon miktarı yüksek çıkmaktadır. NOx emisyonu ise bu fazda düşük çıkmaktadır. Motor devrinin arttığı diğer fazlarda ise NOx emisyonu artış göstermektedir.



**Şekil 6.8 :** 2016 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).

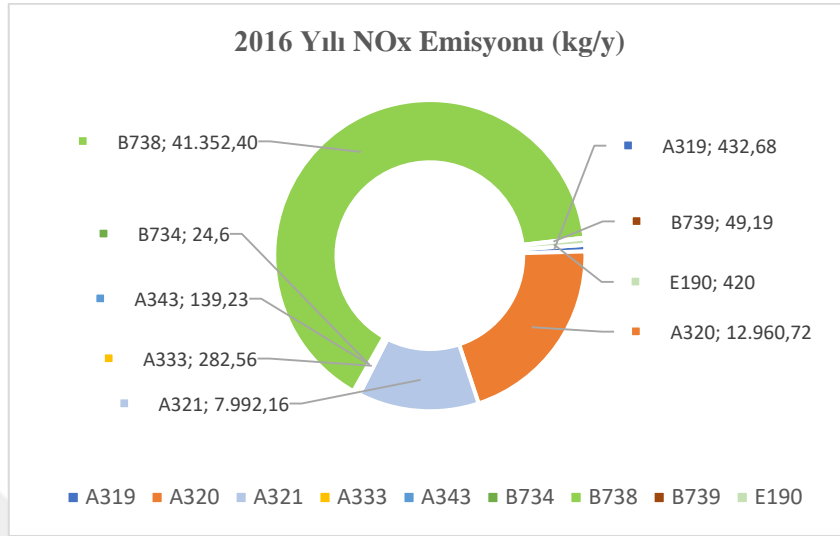
Şekil 6.11’de 2016 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre HC emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam HC emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.371 LTO sayısı ile %46,53 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla HC emisyonu salan uçak %36,12 oranı ile A320 tipi uçak olmuştur. 2016 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı HC emisyon miktarı 5.215,68 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.9 :** 2016 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).

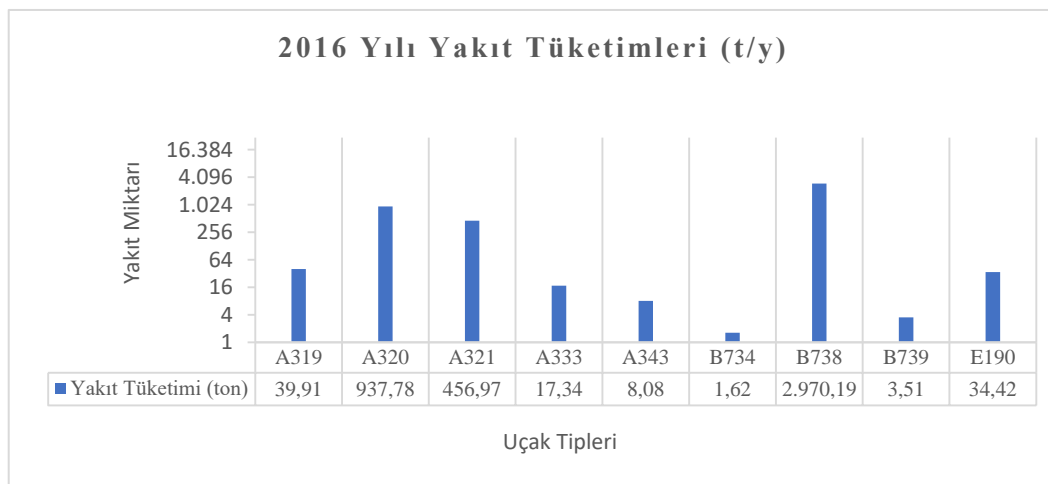
Şekil 6.12’de 2016 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre CO emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam CO emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.371 LTO sayısı ve %61,86 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak

çevre havaya en fazla CO emisyonu salan uçak tipi %24 oranı ile A320 olmuştur. 2016 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı CO emisyon miktarı 39.451,56 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.10 :** 2016 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.13'de 2016 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam NOx emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.371 LTO sayısı ve %65,03 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla NOx emisyonu salan uçak tipi %20 oranı ile A320 olmuştur. 2016 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı NOx emisyon miktarı 63.653,54 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.11 :** 2016 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (t/y).

Şekil 6.14'de 2016 yılında LTO sayılarına ve uçak tiplerine göre tüketilen yakıt miktarları ton cinsinden verilmiştir. Grafik incelendiğinde 3.371 LTO sayısına göre %66,48 oranı ile

toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketen uçak tipi B738 olmuştur. İkinci olarak en fazla LTO sayısına sahip olan uçak tipi A320 olup %20,96 yakıt tüketim oranına sahiptir. 2016 yılında Malatya Erhaç havalimanında uçakların LTO safhalarında tüketmiş oldukları toplam yakıt miktarı 4.469,8 ton/yıl olmaktadır.

**Çizelge 6.1 :** Havaalanını kullanan uçak tiplerinin emisyon faktörleri [72].

Uçak Tipi	Üretici Firma	Motor Kimliği	Motor Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A20N	AIRBUS	LEAP-1A26/26E1	2	648.00	2041,20	5.74	0.65	816,48	6.26	0.08	0,06
A21N	AIRBUS	LEAP-1A35A/33	2	752.00	2368,80	12.05	0.75	947,52	5.93	0.08	0,06
A318	AIRBUS	CFM56-5B9/3	2	873.30	2,750.70	10.80	0.71	1,074.10	5.50	0.90	0,07
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
A332	AIRBUS	TRENT 772	2	2168.08	6,829.44	35.32	1.82	2,666.73	21.19	2.10	0,16
A333	AIRBUS	TRENT 772	2	2168.08	6,829.44	35.32	1.82	2,666.73	21.19	2.10	0,16
A343	AIRBUS	CFM56-5C4	4	2019.89	6,362.65	34.81	1.70	2,484.46	25.23	3.90	0,50
B733	BOEING	3CM027	2	780.00	2,480.00	7,19	0,78	982,80	13,03	0,84	0,10
B737	BOEING	3CM032	2	779.20	2,454.20	9,10	0,78	981,79	8,00	0,90	0,10
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
B38M	BOEING	LEAP-1B27	2	724.00	2,775.50	12,44	0,72	1,083,80	4,75	0,21	0,07
E190	EMBRAER	GE CF34-10E5	2	612.00	2,169.80	5,52	0,61	847,20	12,87	1,34	0,04

Çizelge 6.1’de Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tipleri, üretici firmaları, motor kimlikleri, motor sayıları, LTO süresince tükettikleri yakıt miktarları, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon faktörleri tablo halinde verilmiştir.

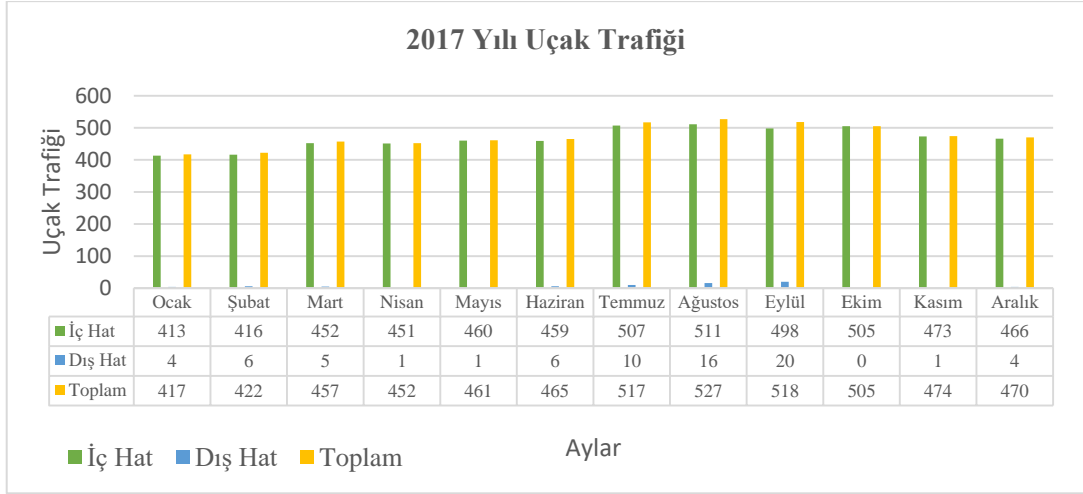
**Çizelge 6.2 : 2016 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları.**

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	58	39.904,00	125.836,80	432,68	33,64	49.139,92	550,42	113,68	3,48
A320	1149	937.779,33	2.953.998,57	12.960,72	792,81	1.153.469,61	9.479,25	1.884,36	80,43
A321	478	456.968,00	1.443.560,00	7.992,16	458,88	513.419,80	4.555,34	678,76	43,02
A333	8	17.344,64	54.635,52	282,56	14,56	21.333,84	169,52	16,80	1,28
A343	4	8.079,56	25.450,60	139,24	6,80	9.937,84	100,92	15,60	2,00
B734	2	1.762,20	5.550,94	24,60	1,48	2.167,50	14,14	1,44	0,14
B738	3371	2.970.188,10	9.356.109,37	41.463,30	2.494,54	3.653.321,25	23.832,97	2.427,12	235,97
B739	4	3.528,00	11.120,00	49,16	3,52	4.358,40	28,26	2,89	0,32
E190	56	34.272,00	121.508,80	309,12	34,16	47.443,20	720,72	75,04	2,24

Çizelge 6.2’de 2016 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri toplu halde verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi B738 olup toplam 2.970,18 ton yakıt tüketmiştir. B738 tipi uçak için çevre havaya salınan CO<sub>2</sub> oranı %66, NO<sub>x</sub> oranı %65, SO<sub>x</sub> oranı %65, H<sub>2</sub>O oranı %67, CO oranı %60, HC oranı %46 ve PM oranı ise %64 olmaktadır. 2016 yılında çevre havaya salınan toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 14.097,8 ton, NO<sub>x</sub> emisyonu 63,6 ton, SO<sub>x</sub> emisyonu 3,84 ton, H<sub>2</sub>O emisyonu 5.454,6 ton, CO emisyonu 39,4 ton, HC emisyonu 5,2 ton ve PM emisyonu ise 0,36 ton olarak hesaplanmıştır.

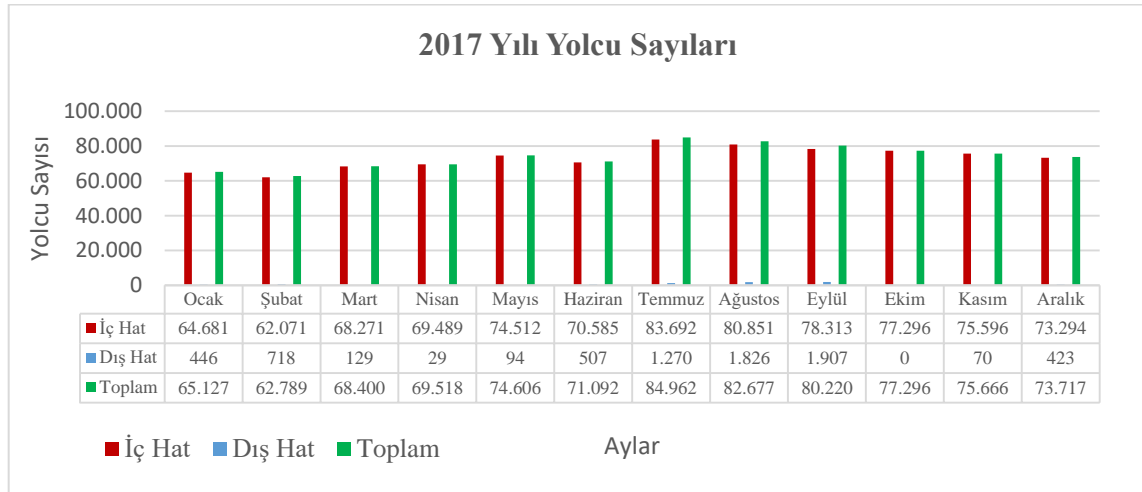
### 6.3 2017 Yılına Ait Uçak Emisyonları

Bu başlık altında Malatya Erhaç Havalimanı için 2017 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<sub>x</sub> emisyon değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca LTO sayılarına göre CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, PM emisyonları ve uçakların tüketmiş oldukları yakıt miktarları da bu başlık altında verilmiştir. 2017 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan ticari amaçlı uçak tipi sayısı 11 olarak verilmiş ve en çok kullanılan uçak marka ve modelleri Boeing 738 ve Airbus A320 olmuştur.



**Şekil 6.12 :** 2017 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği.

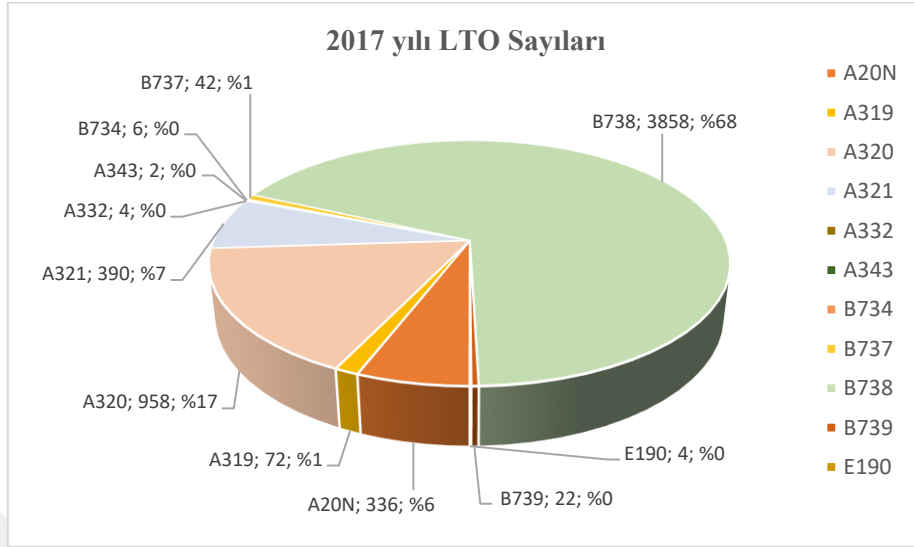
Şekil 6.15’ de 2017 yılına ait Malatya Erhaç Havalimanı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği sayıları görülmektedir. 2017 yılı ocak ayı 417 adet uçak trafiği ile en düşük LTO sayısına, ağustos ayı ise 527 sefer sayısı ile en yüksek LTO sayısına sahip ay olmuştur. 2017 yılı için toplam iç hat sefer sayıları 5.611 adet, dış hat sefer sayıları 74 adet ve toplam uçak trafiği ise 5.685 adet olarak belirlenmiştir. Toplam uçak trafiği içinde dış hat uçak trafiğinin sadece %1,3 olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.13 :** 2017 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları.

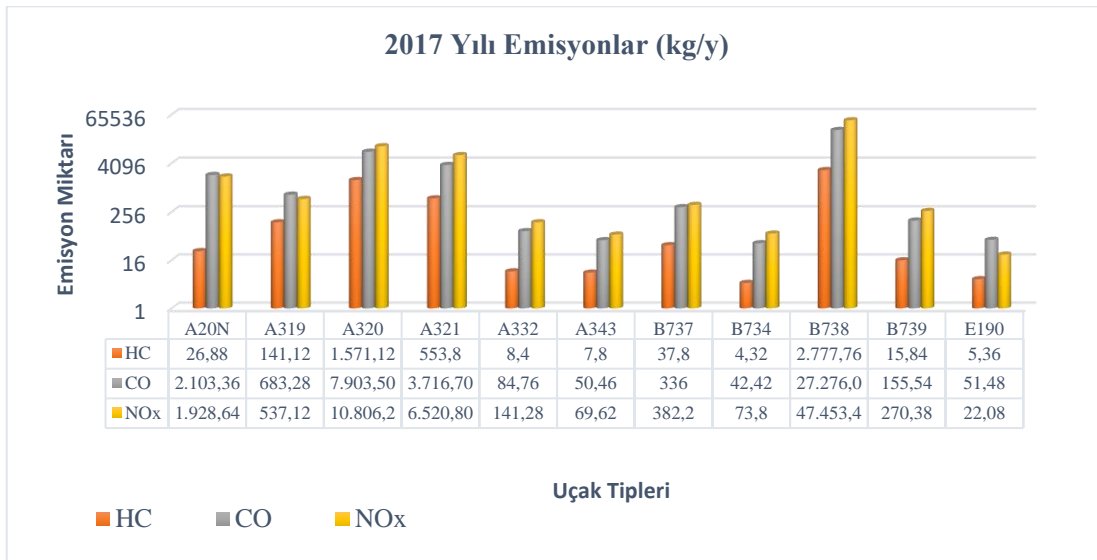
Şekil 6.16’da 2017 yılı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları verilmiştir. Grafiki incelediğimizde Malatya Erhaç Havalimanını kullanan toplam iç hat yolcu sayısı 878.651, dış hat yolcu sayısı 7.419 ve toplam taşınan yolcu sayısı ise 886.070 olduğu bilinmektedir. Toplam iç hat yolcu sayısının toplam yolcu sayısındaki oranı %99,16

olmaktadır. 2017 yılında en fazla yolcunun taşındığı ay 84.962 yolcu sayısı ile temmuz ayı olmuştur. En az yolcunun taşındığı ay 62.789 yolcu sayısı ile şubat ayı olmuştur.



**Şekil 6.14 :** 2017 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

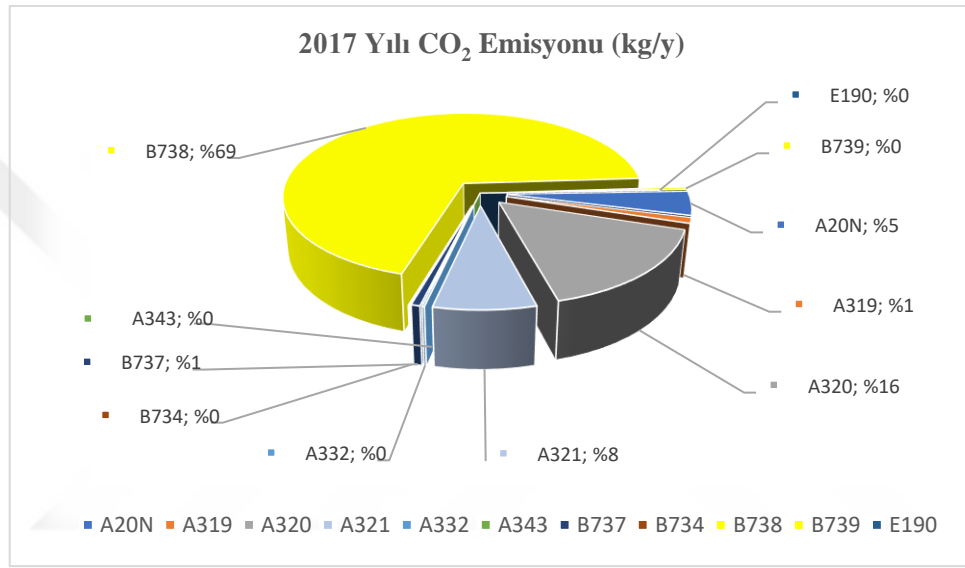
Şekil 6.17’de 2017 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları görülmektedir. Grafik incelendiğinde Malatya Erhaç Havalimanına iniş/kalkış yapan uçakların büyük çoğunluğunu %68 ile B738 tipi uçak oluşturmaktadır. İkinci olarak %17 oranı ile A320 tipi uçak ve en az LTO sayısı olan uçak tipi A343 olmuştur.



**Şekil 6.15 :** 2017 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.18’de 2017 yılında Malatya Erhaç Havalimanını 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.

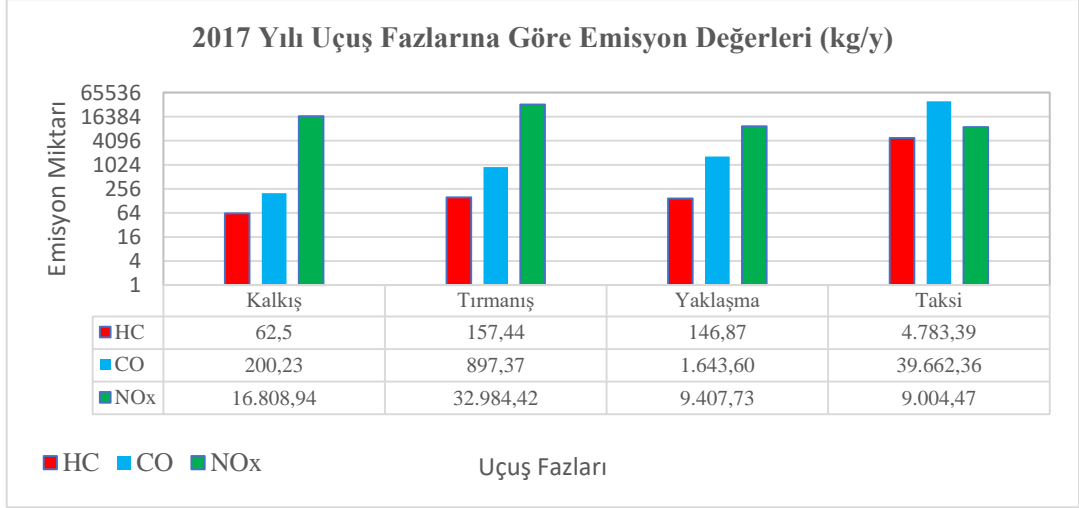
Emisyon değerlerini etkileyen bir diğer unsur her bir uçak tipinin kullanmış olduğu motor modeline göre motor bilgi bankasında belirlenmiş olan emisyon faktörleridir. En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %54, CO oranı %64 ve NOx oranı %70 olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A320 tipi uçak için ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %30, CO oranı %19, NOx oranı %16 olarak hesaplanmıştır. 2017 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 5.150,20 kg/y, CO emisyonu 42.403,56 kg/y, NOx emisyonu ise 68.205,56 kg/y olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.16 :** 2017 yılı için uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).

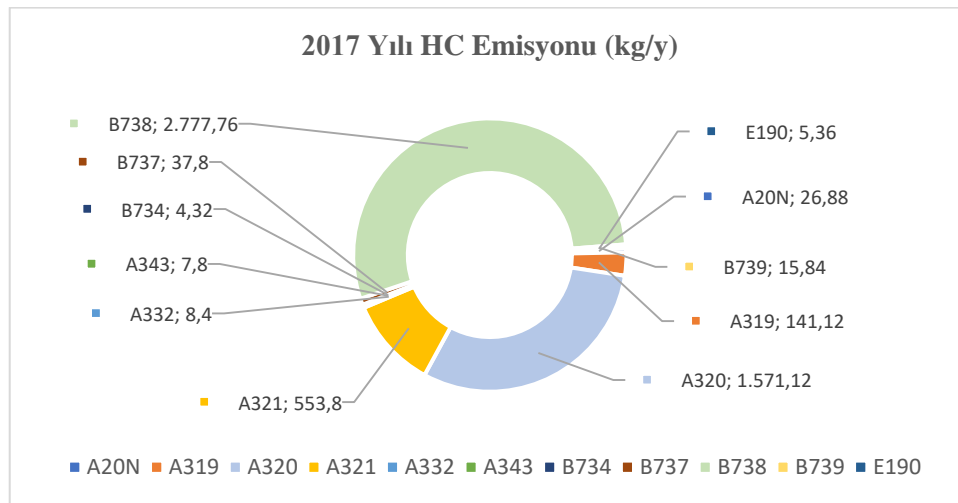
Şekil 6.19’da 2017 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki CO<sub>2</sub> oranı %69, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A320 tipi uçak için CO<sub>2</sub> oranı %16 olarak hesaplanmıştır. 2017 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 15.420,18 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.





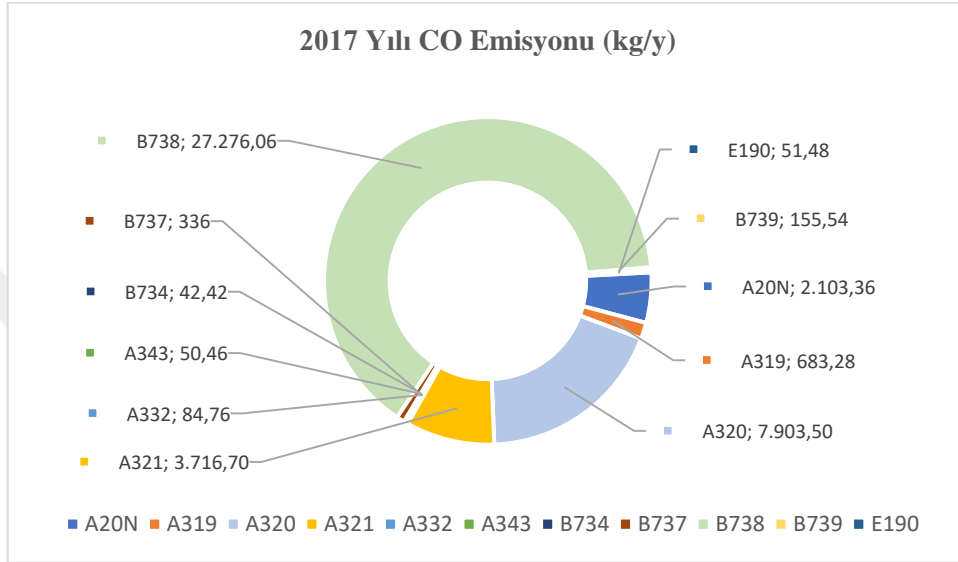
**Şekil 6.17 :** 2017 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.

Şekil 6.20’de 2017 yılı farklı uçuş fazları için toplam LTO sayısına göre hesaplanan HC, CO ve NOx değerleri görülmektedir. ICAO tarafından belirlenen LTO sürecini incelediğimizde taksi fazının 26 dakika, yaklaşma fazının 4 dakika, tırmanma fazının 2,2 dakika ve kalkış fazının ise 0,7 dakika ve toplam LTO süresinin 32 dakika ve 54 saniye olduğu bilinmektedir. %7 itki gücünde ve 26 dakika olarak belirlenen taksi fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %92, CO oranı %94 ve NOx oranı ise %13 olarak hesaplanmıştır. %30 itki gücünde ve 4 dakika olarak belirlenen yaklaşma fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %4 ve NOx oranı ise %14 olarak hesaplanmıştır. %85 itki gücünde ve 2,2 dakika olarak belirlenen tırmanış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %2 ve NOx oranı ise %48 olarak hesaplanmıştır. %100 itki gücünde ve 0,7 dakika olarak belirlenen kalkış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %1, CO oranı %0,46 ve NOx oranı ise %24 olarak hesaplanmıştır.



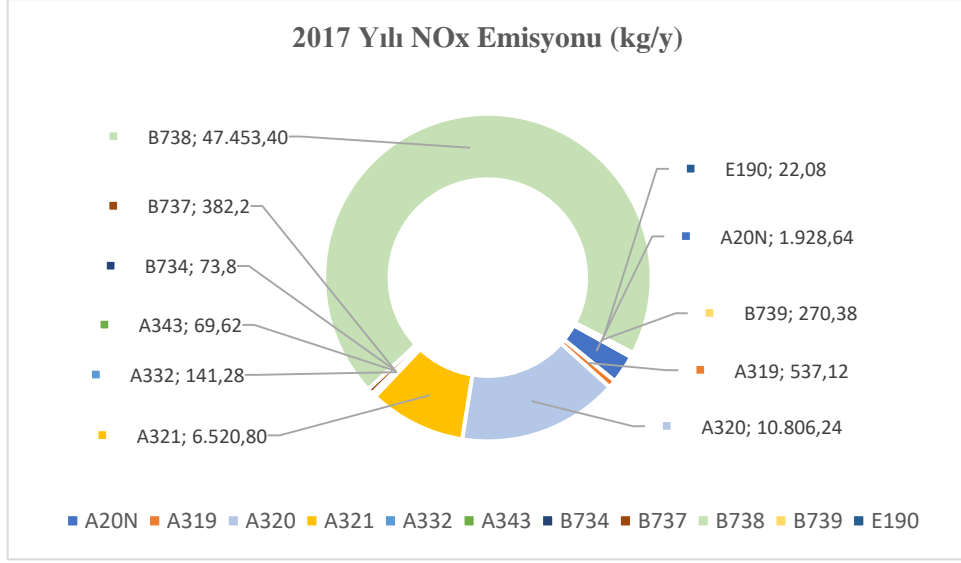
**Şekil 6.18 :** 2017 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.21’de 2017 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre HC emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam HC emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.858 LTO sayısı ile %58,47 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla HC emisyonu salan uçak %33,06 oranı ile A320 tipi uçak olmuştur. 2017 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı HC emisyon miktarı 5.150,20 kg/y olmuştur.



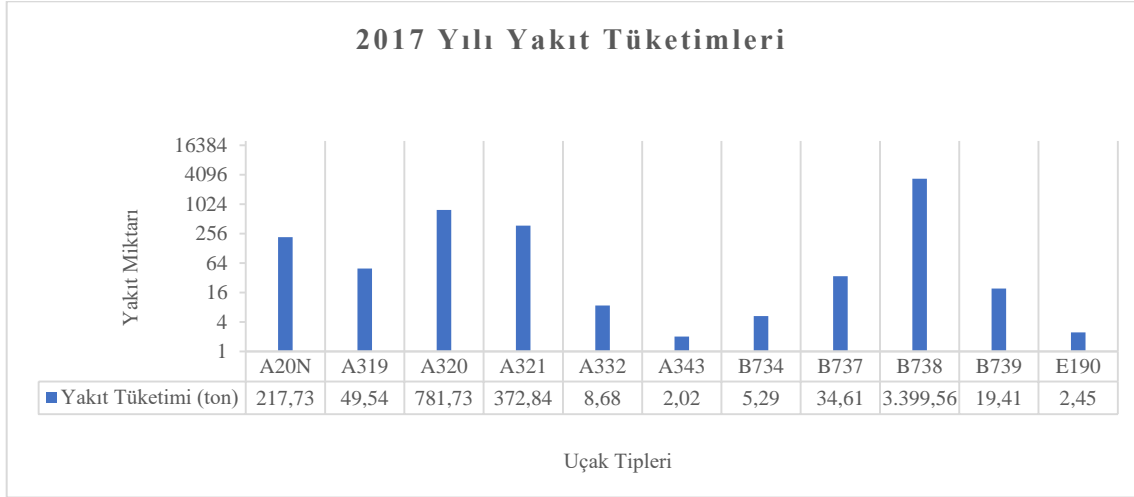
**Şekil 6.19 :** 2017 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.22’de 2017 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre CO emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam CO emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.858 LTO sayısı ve %65,03 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla CO emisyonu salan uçak tipi %18,29 oranı ile A320 olmuştur. 2017 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı CO emisyon miktarı 42.403,56 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.20 :** 2017 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.23’de 2017 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam NOx emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.858 LTO sayısı ve %70,77 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla NOx emisyonu salan uçak tipi %16,11 oranı ile A320 olmuştur. 2017 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı NOx emisyon miktarı 68.205,56 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.21 :** 2017 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (ton).

Şekil 6.24’de 2017 yılında LTO sayılarına ve uçak tiplerine göre tüketilen yakıt miktarları ton cinsinden verilmiştir. Grafik incelendiğinde 3.858 LTO sayısına göre %69,48 oranı ile toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketen uçak tipi B738 olmuştur. İkinci olarak en fazla LTO sayısına sahip olan uçak tipi A320 olup %15,96 yakıt tüketim oranına sahiptir.

2017 yılında Malatya Erhaç havalimanında uçakların LTO safhalarında tüketmiş oldukları toplam yakıt miktarı 4.893,85 ton/yıl olmaktadır.

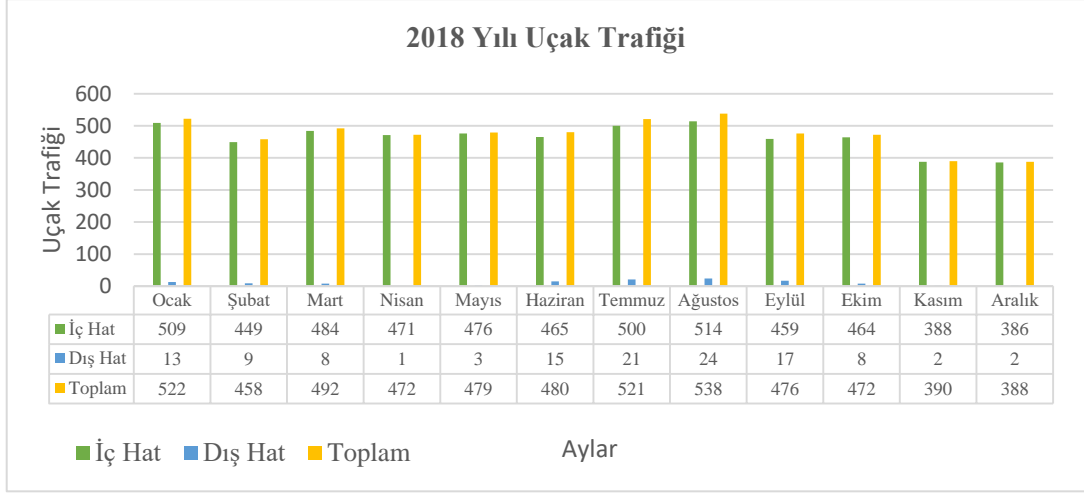
**Çizelge 6.3 : 2017 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları.**

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A20N	336	217.728,00	685.843,20	1.928,64	218,40	274.337,28	2.103,36	26,88	23,52
A319	72	49.536,00	156.211,20	537,12	41,76	61.001,28	683,28	141,12	4,32
A320	958	781.890,86	2.462.950,94	10.806,24	661,02	961.726,62	7.903,50	1.571,12	67,06
A321	390	372.840,00	1.177.800,00	6.520,80	374,40	418.899,00	3.716,70	553,80	35,10
A332	4	8.672,32	27.317,76	141,28	7,28	10.666,92	84,76	8,40	0,64
A343	2	4.039,78	12.725,30	69,62	3,40	4.968,92	50,46	7,80	1,00
B737	42	32.726,40	103.076,40	382,20	32,76	41.235,18	336,00	37,80	4,20
B734	6	5.286,60	16.652,82	73,80	4,44	6.502,50	42,42	4,32	0,42
B738	3.858	3.399.283,80	10.707.763,26	47.453,40	2.854,92	4.181.107,50	27.276,06	2.777,76	270,06
B739	22	19.404,00	61.160,00	270,38	19,36	23.971,20	155,54	15,84	1,76
E190	4	2.448,00	8.679,20	22,08	2,44	3.388,80	51,48	5,36	0,16

Çizelge 6.3'de 2017 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri ve CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, HC ve PM emisyon değerleri toplu halde verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi B738 olup toplam 3.399,28 ton yakıt tüketmiştir. B738 tipi uçak için çevre havaya salınan CO<sub>2</sub> oranı %69, NO<sub>x</sub> oranı %70, SO<sub>x</sub> oranı %68, H<sub>2</sub>O oranı %70, CO oranı %64, HC oranı %54 ve PM oranı ise %66 olmaktadır. 2017 yılında çevre havaya salınan toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 15.420,2 ton, NO<sub>x</sub> emisyonu 68,2 ton, SO<sub>x</sub> emisyonu 4,2 ton, H<sub>2</sub>O emisyonu 5.987,8 ton, CO emisyonu 42,4 ton, HC emisyonu 5,15 ton ve PM emisyonu ise 0,4 ton olarak hesaplanmıştır.

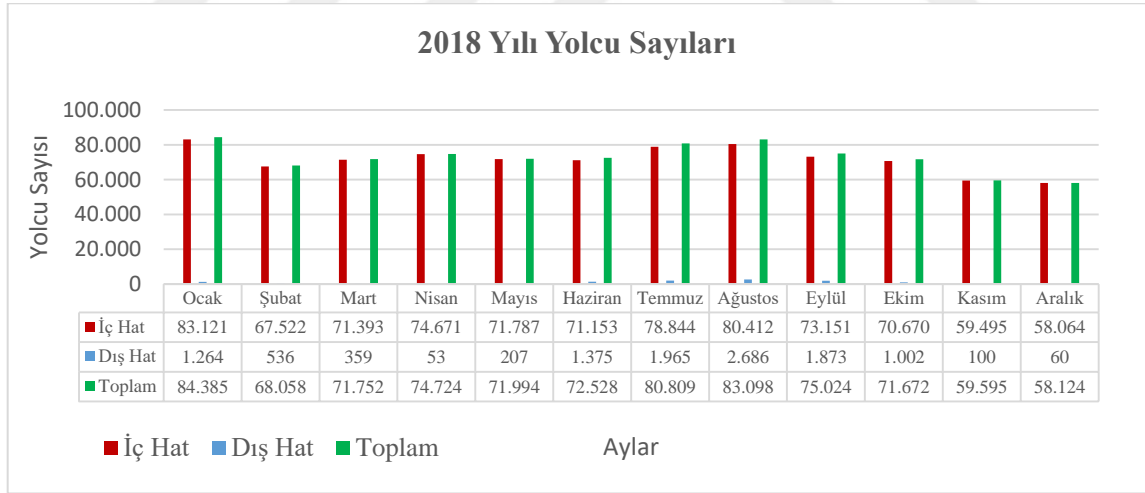
#### 6.4 2018 Yılına Ait Uçak Emisyonları

Bu başlık altında Malatya Erhaç Havalimanı için 2018 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<sub>x</sub> emisyon değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca LTO sayılarına göre CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, PM emisyonları ve uçakların tüketmiş oldukları yakıt miktarları da bu başlık altında verilmiştir. 2018 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan ticari amaçlı uçak tipi sayısı 11 olarak verilmiş ve en çok kullanılan uçak marka ve modelleri Boeing B738 ve Airbus A320 olmuştur.



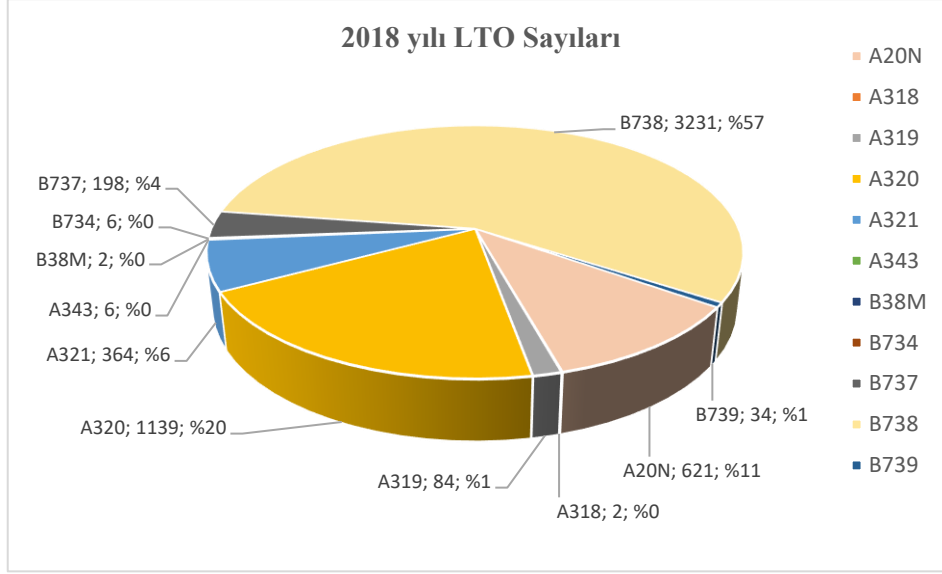
**Şekil 6.22 :** 2018 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği.

Şekil 6.25’ de 2018 yılına ait Malatya Erhaç Havalimanı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği sayıları görülmektedir. 2018 yılı aralık ayı 388 adet uçak trafiği ile en düşük LTO sayısına, ağustos ayı ise 538 sefer sayısı ile en yüksek LTO sayısına sahip ay olmuştur. 2018 yılı için toplam iç hat sefer sayıları 5.565 adet, dış hat sefer sayıları 123 adet ve toplam uçak trafiği ise 5.688 adet olarak belirlenmiştir. Toplam uçak trafiği içinde dış hat uçak trafiğinin sadece %2,16 olduğu görülmektedir.



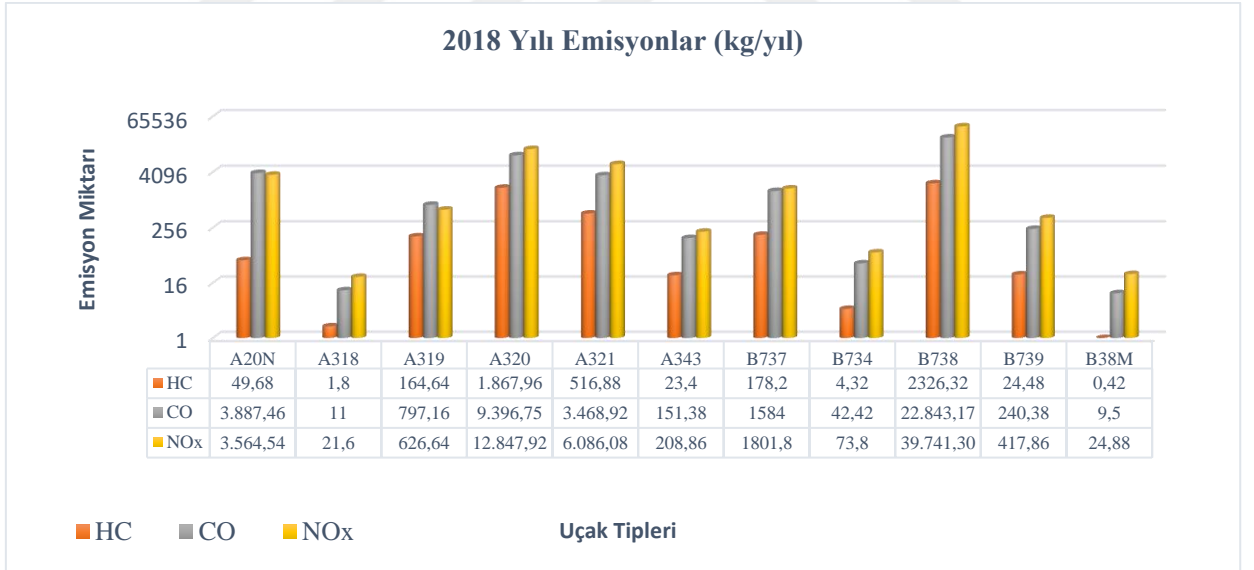
**Şekil 6.23 :** 2018 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları.

Şekil 6.26’da 2018 yılı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları verilmiştir. Grafiği incelediğimizde Malatya Erhaç Havalimanını kullanan toplam iç hat yolcu sayısı 733.199, dış hat yolcu sayısı 11.480 ve toplam taşınan yolcu sayısı ise 871.763 olduğu bilinmektedir. Toplam iç hat yolcu sayısının toplam yolcu sayısındaki oranı %98,68 olmaktadır. 2018 yılında en fazla yolcunun taşındığı ay 84.385 yolcu sayısı ile ocak ayı olmuştur. En az yolcunun taşındığı ay 58.124 yolcu sayısı ile aralık ayı olmuştur.



**Şekil 6.24 :** 2018 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

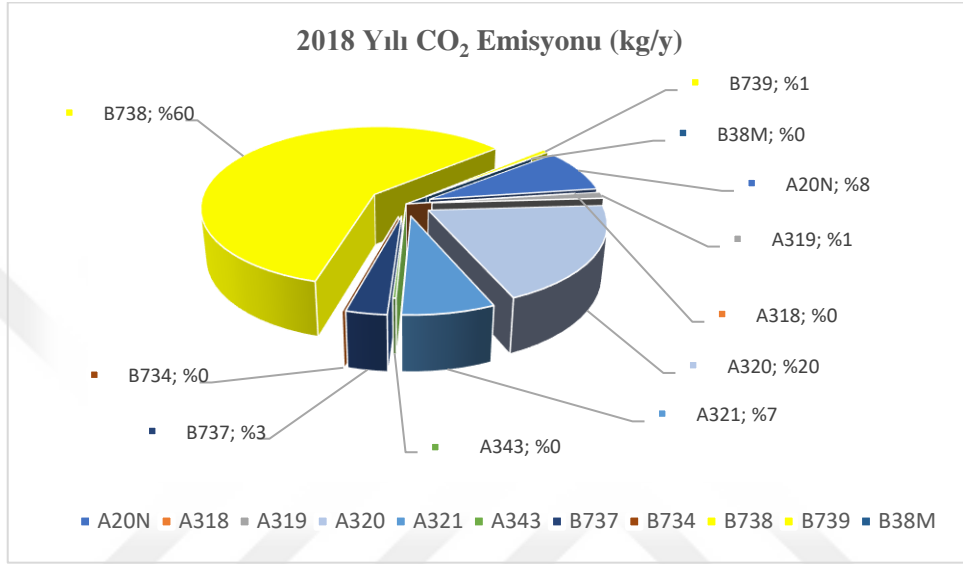
Şekil 6.27’de 2018 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları görülmektedir. Grafik incelendiğinde Malatya Erhaç Havalimanına iniş/kalkış yapan uçakların büyük çoğunluğunu %57 ile B738 tipi uçak oluşturmaktadır. İkinci olarak %20 oranı ile A320 tipi uçak ve en az LTO sayısı olan uçak tipleri A318 ve B38M olmuştur.



**Şekil 6.25 :** 2018 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).

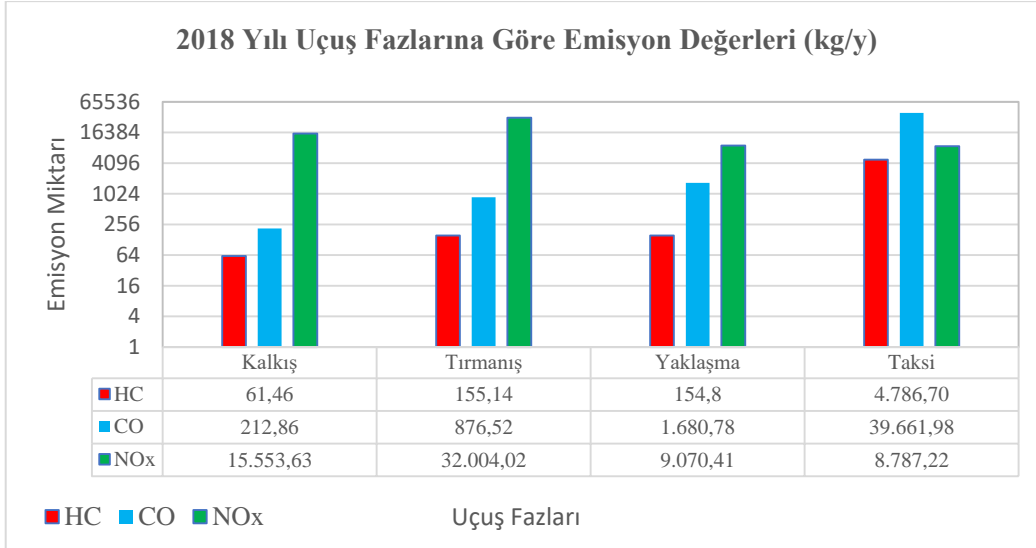
Şekil 6.28’de 2018 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC, CO ve NOx emisyonları kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm bu emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Emisyon değerlerini etkileyen bir diğer unsur her bir uçak tipinin kullanmış olduğu motor modeline göre motor bilgi bankasında belirlenmiş olan emisyon faktörleridir. En yüksek

LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %45, CO oranı %54 ve NOx oranı %61 olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A320 tipi uçak için ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %36, CO oranı %22, NOx oranı %20 olarak hesaplanmıştır. 2018 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 5.158,10 kg/y, CO emisyonu 42.432,14 kg/y, NOx emisyonu ise 65.415,28 kg/y olarak hesaplanmıştır.



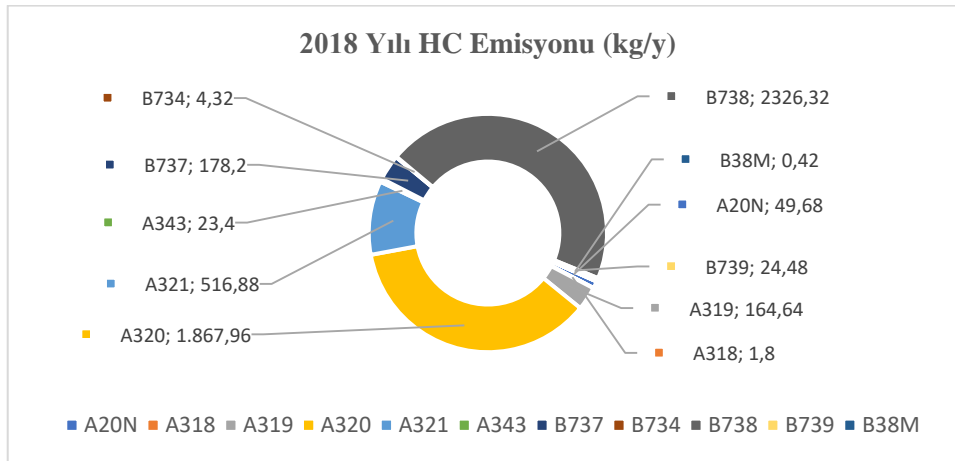
**Şekil 6.26 :** 2018 yılı için uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.29'da 2018 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki CO<sub>2</sub> oranı %60, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A320 tipi uçak için CO<sub>2</sub> oranı %20 olarak hesaplanmıştır. 2018 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 15.091,27 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.27 :** 2018 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.

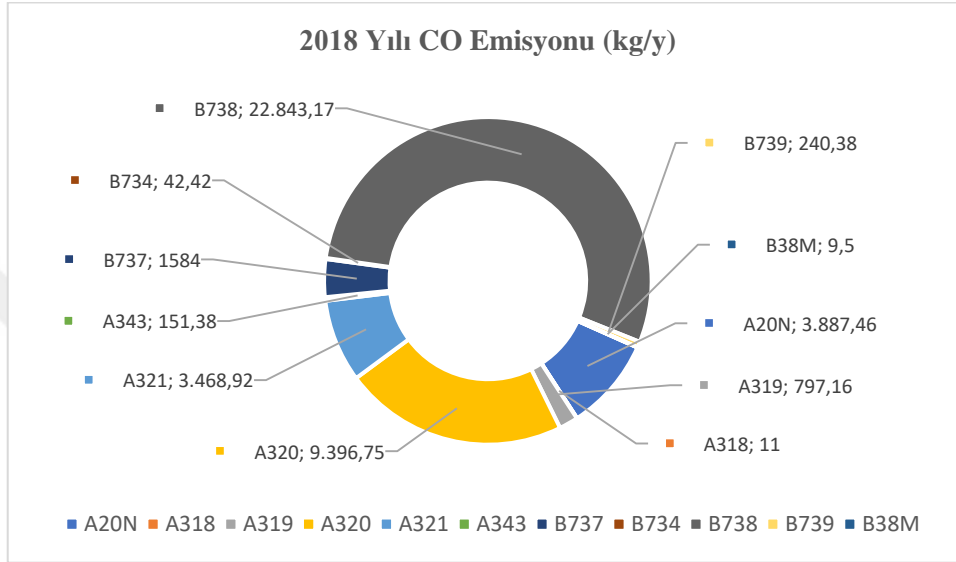
Şekil 6.30’da 2018 yılı farklı uçuş fazları için toplam LTO sayısına göre hesaplanan HC, CO ve NOx değerleri görülmektedir. ICAO tarafından belirlenen LTO sürecini incelediğimizde taksi fazının 26 dakika, yaklaşma fazının 4 dakika, tırmanma fazının 2,2 dakika ve kalkış fazının ise 0,7 dakika ve toplam LTO süresinin 32 dakika ve 54 saniye olduğu bilinmektedir. %7 itki gücünde ve 26 dakika olarak belirlenen taksi fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %92, CO oranı %93 ve NOx oranı ise %14 olarak hesaplanmıştır. %30 itki gücünde ve 4 dakika olarak belirlenen yaklaşma fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %4 ve NOx oranı ise %14 olarak hesaplanmıştır. %85 itki gücünde ve 2,2 dakika olarak belirlenen tırmanış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %2 ve NOx oranı ise %48 olarak hesaplanmıştır. %100 itki gücünde ve 0,7 dakika olarak belirlenen kalkış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %1, CO oranı %0,49 ve NOx oranı ise %24 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.28 :** 2018 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).

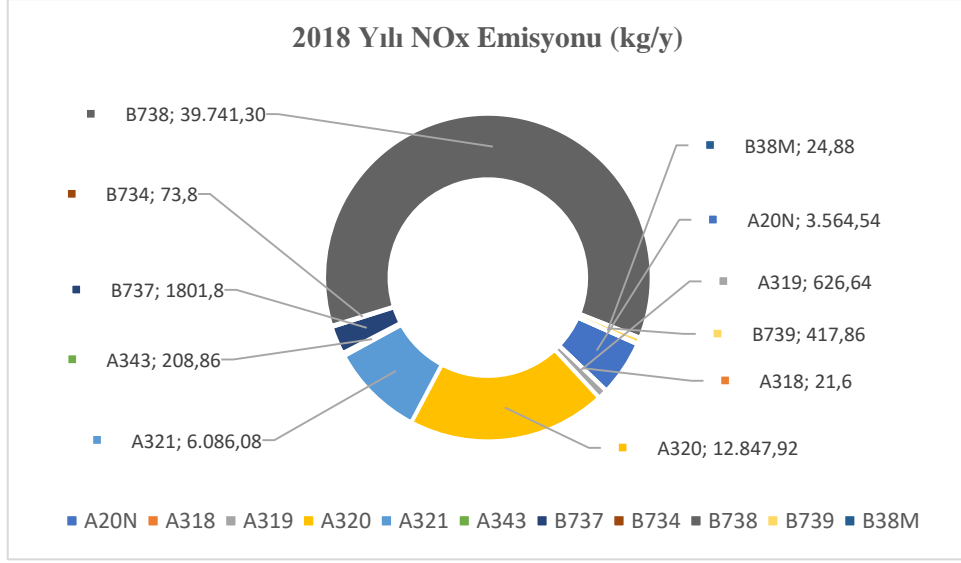


Şekil 6.31’de 2018 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre HC emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam HC emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.231 LTO sayısı ile %48,91 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla HC emisyonu salan uçak %39 oranı ile A320 tipi uçak olmuştur. 2018 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı HC emisyon miktarı 5.158,10 kg/y olmuştur.



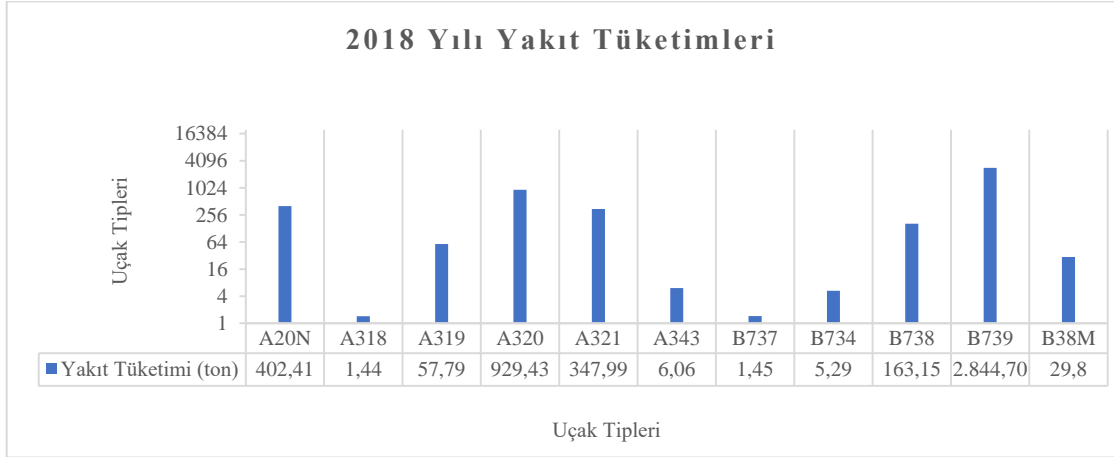
**Şekil 6.29 :** 2018 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.32’de 2018 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre CO emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam CO emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.231 LTO sayısı ve %55 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla CO emisyonu salan uçak tipi %22 oranı ile A320 olmuştur. 2018 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı CO emisyon miktarı 42.432,14 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.30 :** 2018 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.33’de 2018 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam NOx emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.231 LTO sayısı ve %62 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla NOx emisyonu salan uçak tipi %20 oranı ile A320 olmuştur. 2018 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı NOx emisyon miktarı 65.415,28 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.31 :** 2018 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (ton).

Şekil 6.34’de 2018 yılında LTO sayılarına ve uçak tiplerine göre tüketilen yakıt miktarları ton cinsinden verilmiştir. Grafik incelendiğinde 3.231 LTO sayısına göre %59,43 oranı ile toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketen uçak tipi B738 olmuştur. İkinci olarak en fazla LTO sayısına sahip olan uçak tipi A320 olup %19,38 yakıt tüketim oranına sahiptir.

2018 yılında Malatya Erhaç havalimanında uçakların LTO safhalarında tüketmiş oldukları toplam yakıt miktarı 4.789,50 ton olmaktadır.

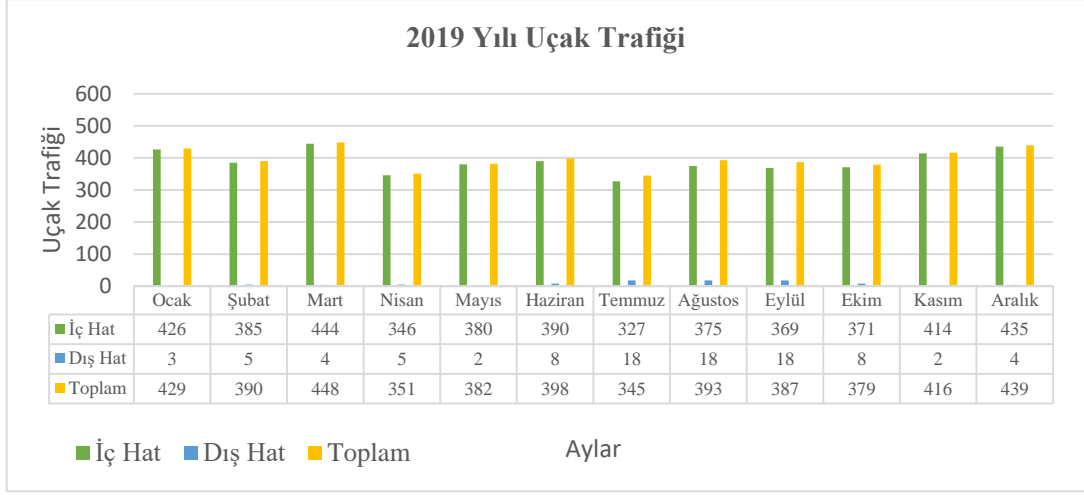
**Çizelge 6.4 : 2018 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları.**

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A20N	621	402.408,00	1.267.585,20	3.564,54	403,65	507.034,08	3.887,46	49,68	43,47
A318	2	1.746,60	5.501,40	21,60	1,42	2.148,20	11,00	1,80	0,14
A319	84	57.792,00	182.246,40	626,64	48,72	71.168,16	797,16	164,64	5,04
A320	1.139	929.617,63	2.928.289,27	12.847,92	785,91	1.143.430,71	9.396,75	1.867,96	79,73
A321	364	347.984,00	1.099.280,00	6.086,08	349,44	390.972,40	3.468,92	516,88	32,76
A343	6	12.119,34	38.175,90	208,86	10,20	14.906,76	151,38	23,40	3,00
B737	198	154.281,60	485.931,60	1.801,80	154,44	194.394,42	1.584,00	178,20	19,80
B734	6	5.286,60	16.652,82	73,80	4,44	6.502,50	42,42	4,32	0,42
B738	3.231	2.846.834,10	8.967.543,57	39.741,30	2.390,94	3.501.596,25	22.843,17	2.326,32	226,17
B739	34	29.988,00	94.520,00	417,86	29,92	37.046,40	240,38	24,48	2,72
B78M	2	1.448,00	5.551,00	24,88	1,44	2.167,60	9,50	0,42	0,14

Çizelge 6.4'de 2018 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri ve CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, HC ve PM emisyon değerleri toplu halde verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi B738 olup toplam 2.847 ton yakıt tüketmiştir. B738 tipi uçak için çevre havaya salınan CO<sub>2</sub> oranı %59, NO<sub>x</sub> oranı %60, SO<sub>x</sub> oranı %57, H<sub>2</sub>O oranı %59, CO oranı %54, HC oranı %45 ve PM oranı ise %54 olmaktadır. 2018 yılında çevre havaya salınan toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 15.091,3 ton, NO<sub>x</sub> emisyonu 65,4 ton, SO<sub>x</sub> emisyonu 4,2 ton, H<sub>2</sub>O emisyonu 5.871,4 ton, CO emisyonu 42,4 ton, HC emisyonu 5,15 ton ve PM emisyonu ise 0,41 ton olarak hesaplanmıştır.

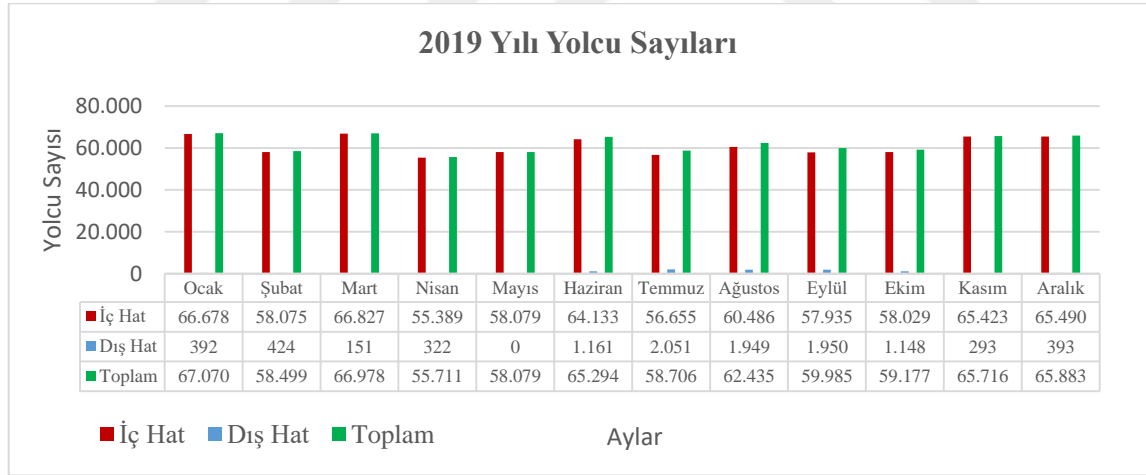
## 6.5 2019 Yılına Ait Uçak Emisyonları

Bu başlık altında Malatya Erhaç Havalimanı için 2019 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<sub>x</sub> emisyon değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca LTO sayılarına göre CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, PM emisyonları ve uçakların tüketmiş oldukları yakıt miktarları da bu başlık altında verilmiştir. 2019 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan ticari amaçlı uçak tipi sayısı 11 olarak verilmiş ve en çok kullanılan uçak marka ve modelleri Boeing 738 ve Airbus A20N olmuştur.



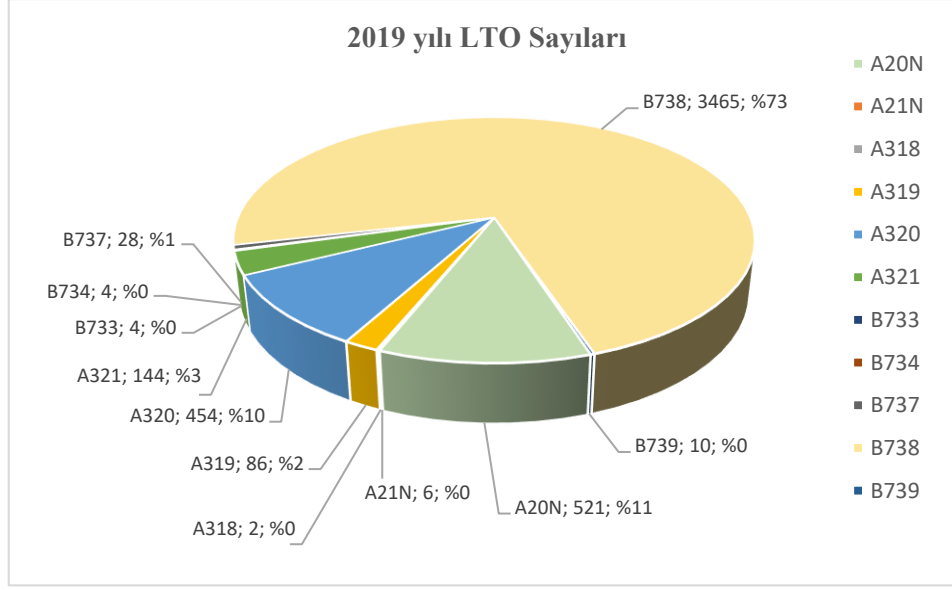
**Şekil 6.32 :** 2019 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği.

Şekil 6.35’ de 2019 yılına ait Malatya Erhaç Havalimanı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği sayıları görülmektedir. 2019 yılı temmuz ayı 345 adet uçak trafiği ile en düşük LTO sayısına, mart ayı ise 448 sefer sayısı ile en yüksek LTO sayısına sahip ay olmuştur. 2019 yılı için toplam iç hat sefer sayıları 4.662 adet, dış hat sefer sayıları 95 adet ve toplam uçak trafiği ise 4.757 adet olarak belirlenmiştir. Toplam uçak trafiği içinde dış hat uçak trafiğinin sadece %2 olduğu görülmektedir.



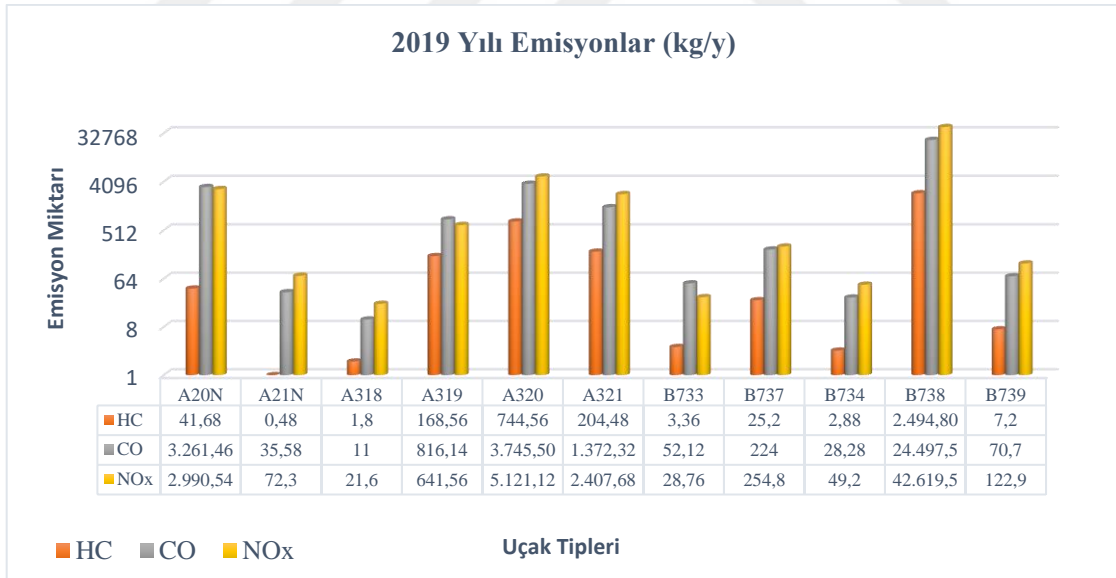
**Şekil 6.33 :** 2019 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları.

Şekil 6.36’da 2019 yılı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları verilmiştir. Grafiği incelediğimizde Malatya Erhaç Havalimanını kullanan toplam iç hat yolcu sayısı 733.199, dış hat yolcu sayısı 10.234 ve toplam taşınan yolcu sayısı ise 743.533 olduğu bilinmektedir. Toplam iç hat yolcu sayısının toplam yolcu sayısındaki oranı %98,62 olmaktadır. 2019 yılında en fazla yolcunun taşındığı ay 67.070 yolcu sayısı ile ocak ayı olmuştur. En az yolcunun taşındığı ay 55.711 yolcu sayısı ile nisan ayı olmuştur.



**Şekil 6.34 :** 2019 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

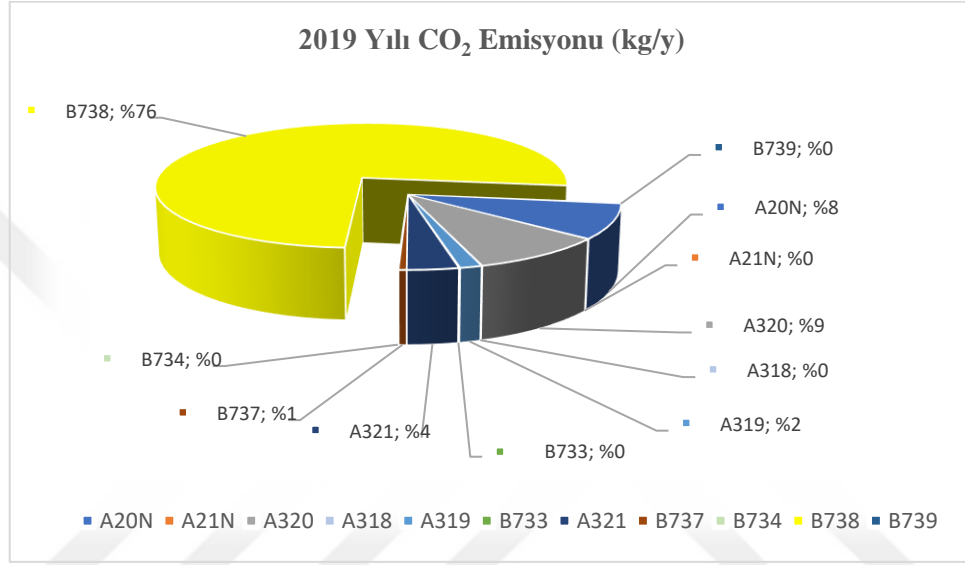
Şekil 6.37’de 2019 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları görülmektedir. Grafik incelendiğinde Malatya Erhaç Havalimanına iniş/kalkış yapan uçakların büyük çoğunluğunu %73 ile B738 tipi uçak oluşturmaktadır. İkinci olarak %11 oranı ile A20N tipi uçak ve en az LTO sayısı olan uçak tipi A318 olmuştur.



**Şekil 6.35 :** 2019 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).

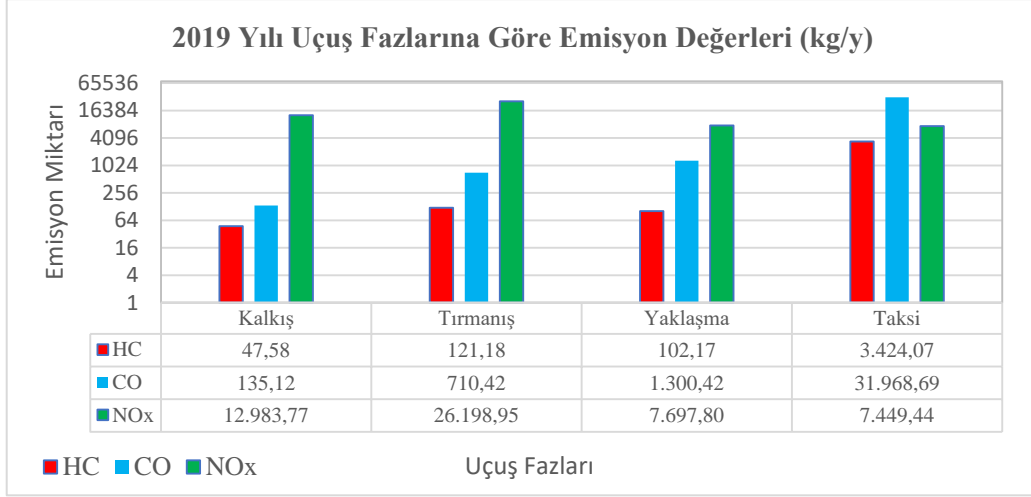
Şekil 6.38’de 2019 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC, CO ve NOx emisyonları kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm bu emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Emisyon değerlerini etkileyen bir diğer unsur her bir uçak tipinin kullanmış olduğu motor

modeline göre motor bilgi bankasında belirlenmiş olan emisyon faktörleridir. En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %68, CO oranı %72 ve NOx oranı %78 olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A20N tipi uçak için ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %1, CO oranı %9, NOx oranı %5 olarak hesaplanmıştır. 2019 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 3.695,00 kg/y, CO emisyonu 34.114,65 kg/y, NOx emisyonu ise 54.329,96 kg/y olarak hesaplanmıştır.



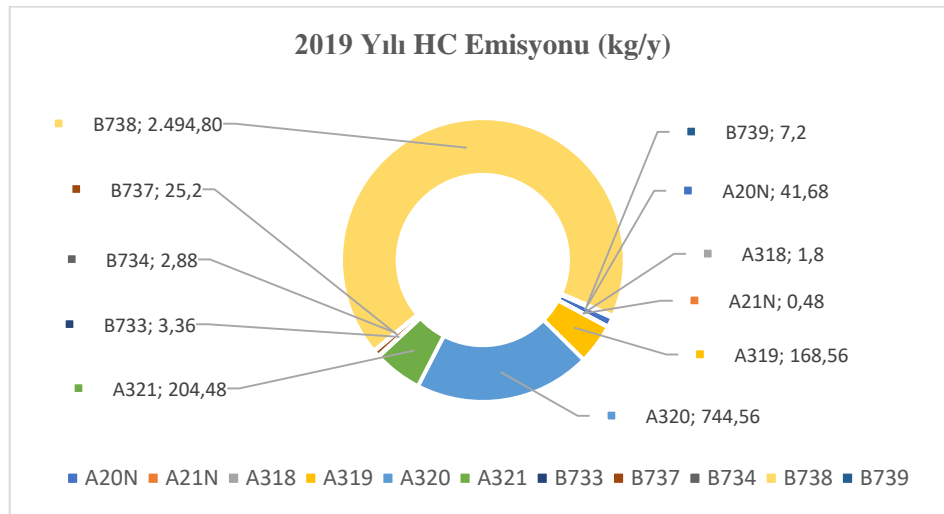
**Şekil 6.36 :** 2019 yılı için uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.39’da 2019 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki CO<sub>2</sub> oranı %76, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A20N tipi uçak için CO<sub>2</sub> oranı %8 olarak hesaplanmıştır. 2019 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 12.606,39 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.



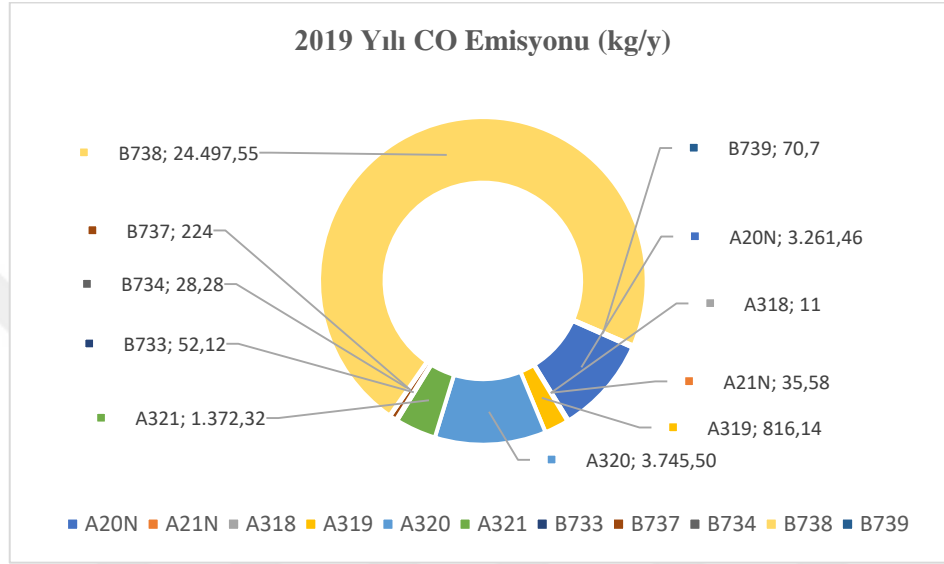
**Şekil 6.37 :** 2019 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.

Şekil 6.40'da 2019 yılı farklı uçuş fazları için toplam LTO sayısına göre hesaplanan HC, CO ve NOx değerleri görülmektedir. ICAO tarafından belirlenen LTO sürecini incelediğimizde taksi fazının 26 dakika, yaklaşma fazının 4 dakika, tırmanma fazının 2,2 dakika ve kalkış fazının ise 0,7 dakika ve toplam LTO süresinin 32 dakika ve 54 saniye olduğu bilinmektedir. %7 itki gücünde ve 26 dakika olarak belirlenen taksi fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %92, CO oranı %94 ve NOx oranı ise %14 olarak hesaplanmıştır. %30 itki gücünde ve 4 dakika olarak belirlenen yaklaşma fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %4 ve NOx oranı ise %14 olarak hesaplanmıştır. %85 itki gücünde ve 2,2 dakika olarak belirlenen tırmanış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %2 ve NOx oranı ise %48 olarak hesaplanmıştır. %100 itki gücünde ve 0,7 dakika olarak belirlenen kalkış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %1, CO oranı %0,39 ve NOx oranı ise %24 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.38 :** 2019 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).

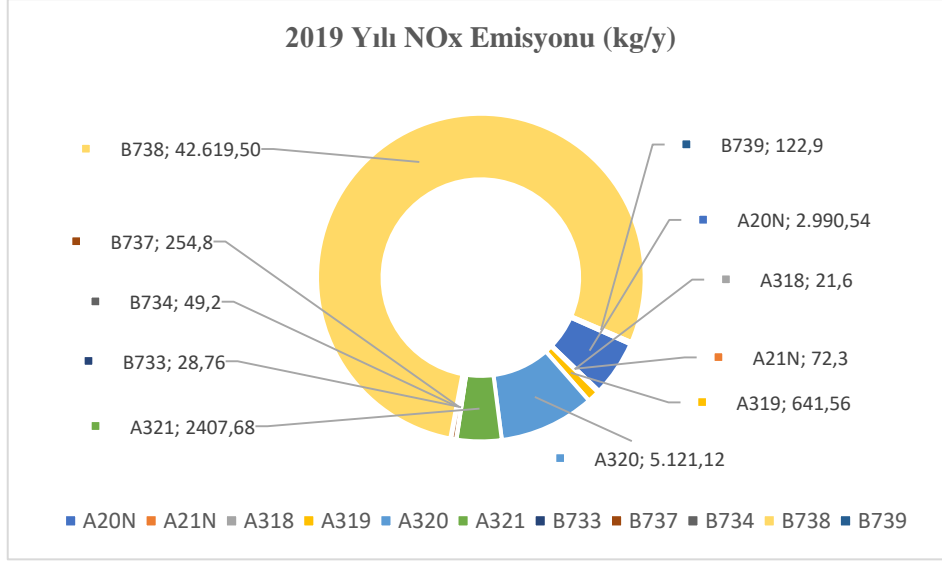
Şekil 6.41’de 2019 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre HC emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam HC emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.465 LTO sayısı ile %70 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip uçak tipi A20N olmasına rağmen çevre havaya en fazla HC emisyonu salan uçak %20,87 oranı ile A320 tipi uçak olmuştur. 2018 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı HC emisyon miktarı 3.695,00 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.39 :** 2019 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).

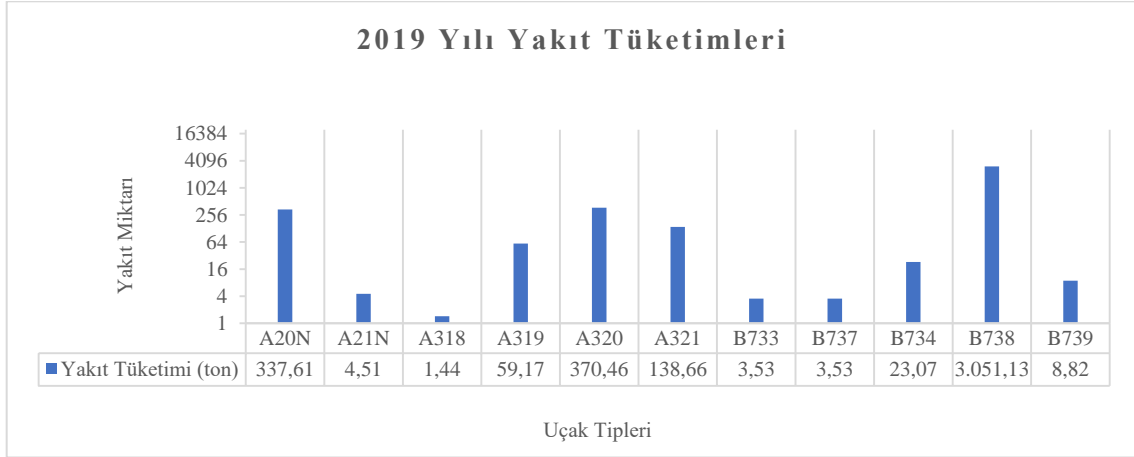
Şekil 6.42’de 2019 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre CO emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam CO emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.465 LTO sayısı ve %72 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla CO emisyonu salan uçak tipi %10,88 oranı ile A320 olmuştur. 2019 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı CO emisyon miktarı 34.114,65 kg/y olmuştur.





**Şekil 6.40 :** 2019 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.43’de 2019 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam NOx emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 3.465 LTO sayısı ve %79 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla NOx emisyonu salan uçak tipi %9,49 oranı ile A320 olmuştur. 2019 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı NOx emisyon miktarı 54.329,96 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.41 :** 2019 yılı için uçak tiplerine ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri.

Şekil 6.44’de 2019 yılında LTO sayılarına ve uçak tiplerine göre tüketilen yakıt miktarları ton cinsinden verilmiştir. Grafik incelendiğinde 3.465 LTO sayısına göre %76,29 oranı ile toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketen uçak tipi B738 olmuştur. İkinci olarak en fazla LTO sayısına sahip olan uçak tipi A20N olup %8,42 yakıt tüketim oranına sahiptir.

2019 yılında Malatya Erhaç havalimanında uçakların LTO safhalarında tüketmiş oldukları toplam yakıt miktarı 4.001,53 ton olmaktadır.

**Çizelge 6.5 : 2019 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları.**

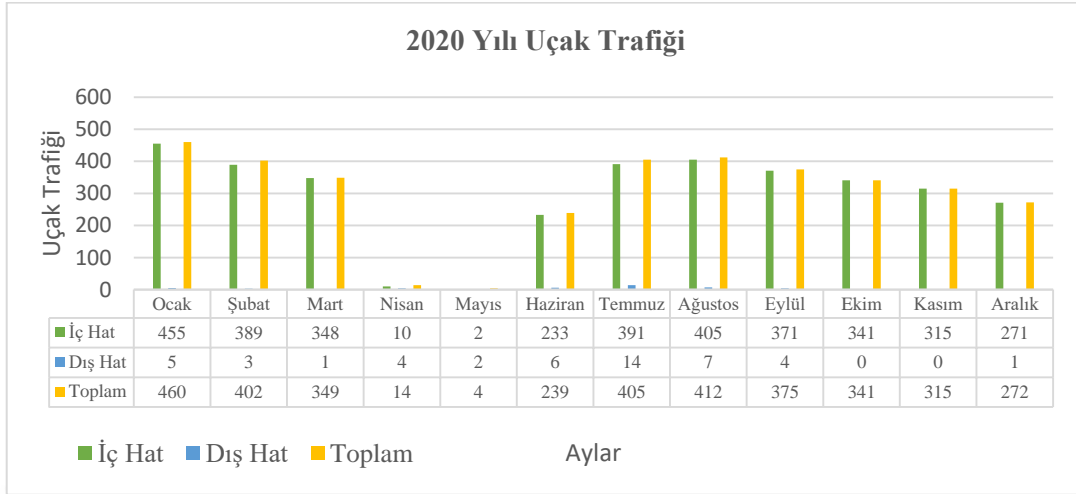
Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A20N	521	337.608,00	1.063.465,20	2.990,54	338,65	425.386,08	3.261,46	41,68	36,47
A21N	6	4.512,00	14.212,80	72,30	4,50	5.685,12	35,58	0,48	0,36
A318	2	1.746,60	5.501,40	21,60	1,42	2.148,20	11,00	1,80	0,14
A319	86	59.168,00	186.585,60	641,56	49,88	72.862,64	816,14	168,56	5,16
A320	454	370.541,18	1.167.202,22	5.121,12	313,26	455.766,06	3.745,50	744,56	31,78
A321	144	137.664,00	434.880,00	2.407,68	138,24	154.670,40	1.372,32	204,48	12,96
B733	4	3.120,00	9.920,00	28,76	3,12	3.931,20	52,12	3,36	0,40
B737	28	21.817,60	68.717,60	254,80	21,84	27.490,12	224,00	25,20	2,80
B734	4	3.524,40	11.101,88	49,20	2,96	4.335,00	28,28	2,88	0,28
B738	3.465	3.053.011,50	9.617.003,55	42.619,50	2.564,10	3.755.193,75	24.497,55	2.494,80	242,55
B739	10	8.820,00	27.800,00	122,90	8,80	10.896,00	70,70	7,20	0,80

Çizelge 6.5’de 2019 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri toplu halde verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi B738 olup toplam 3.053 ton yakıt tüketmiştir. B738 tipi uçak için çevre havaya salınan CO<sub>2</sub> oranı %76, NO<sub>x</sub> oranı %78, SO<sub>x</sub> oranı %74, H<sub>2</sub>O oranı %76, CO oranı %72, HC oranı %67 ve PM oranı ise %73 olmaktadır. 2019 yılında çevre havaya salınan toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 12.606,4 ton, NO<sub>x</sub> emisyonu 54,3 ton, SO<sub>x</sub> emisyonu 3,4 ton, H<sub>2</sub>O emisyonu 4.918,3 ton, CO emisyonu 34,1 ton, HC emisyonu 3,7 ton ve PM emisyonu ise 0,33 ton olarak hesaplanmıştır.

## 6.6 2020 Yılına Ait Uçak Emisyonları

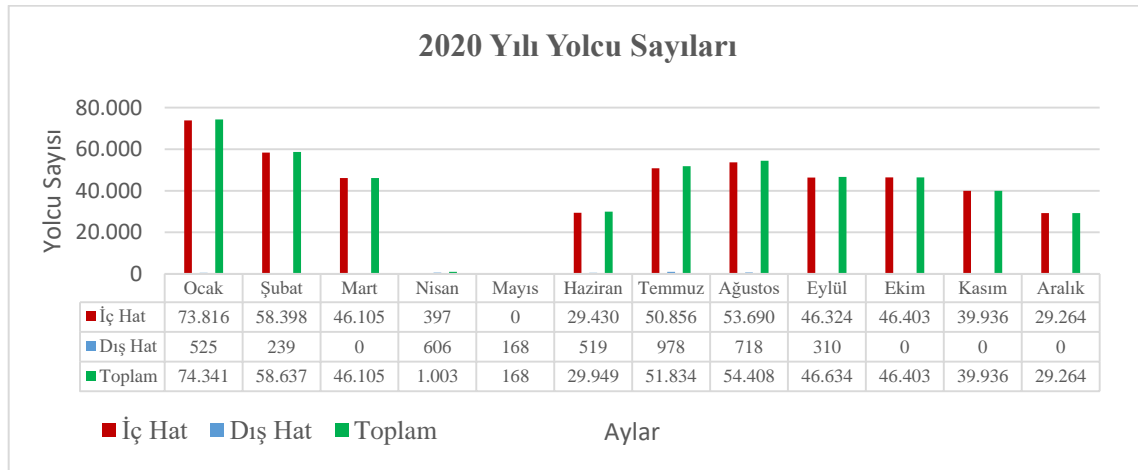
Bu başlık altında Malatya Erhaç Havalimanı için 2020 yılına ait ay bazında uçak trafiği ve taşınan yolcu sayıları verilerek, LTO sayıları uçak tiplerine göre belirlenerek her bir uçak tipi için uçuş fazlarına göre HC, CO ve NO<sub>x</sub> emisyon değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca LTO sayılarına göre CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, PM emisyonları ve uçakların tüketmiş oldukları yakıt miktarları da bu başlık altında verilmiştir. 2020 yılında Malatya Erhaç Havalimanını

kullanan ticari amaçlı uçak tipi sayısı 11 olarak verilmiş ve en çok kullanılan uçak marka ve modelleri Boeing 738 ve Airbus A20N olmuştur.



**Şekil 6.42 :** 2020 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği.

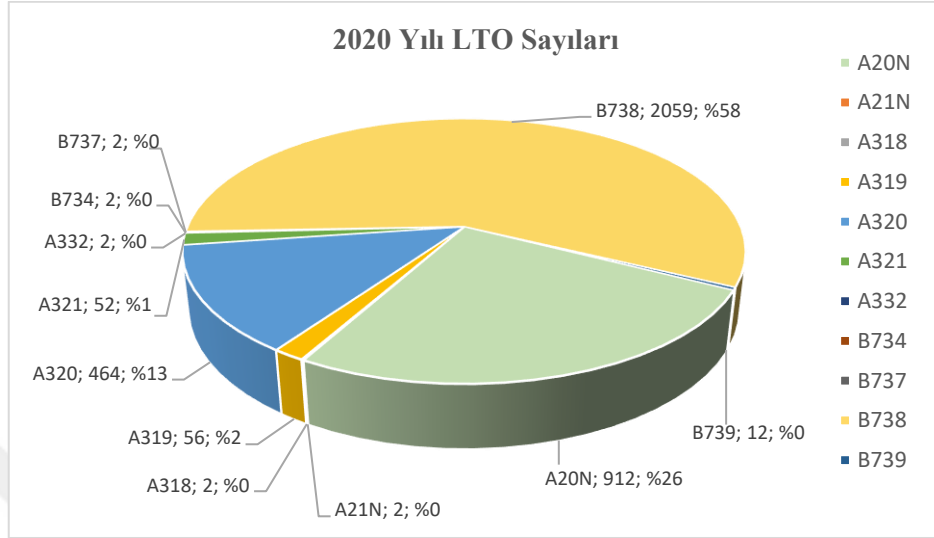
Şekil 6.45’ de 2020 yılına ait Malatya Erhaç Havalimanı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği sayıları görülmektedir. 2020 yılı nisan ve mayıs ayları toplam 18 adet uçak trafiği ile en düşük LTO sayısına, ocak ayı ise 460 sefer sayısı ile en yüksek LTO sayısına sahip ay olmuştur. 2020 yılı için toplam iç hat sefer sayıları 3.531 adet, dış hat sefer sayıları 47 adet ve toplam uçak trafiği ise 3.578 adet olarak belirlenmiştir. Toplam uçak trafiği içinde dış hat uçak trafiğinin sadece %1,3 olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.43 :** 2020 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları.

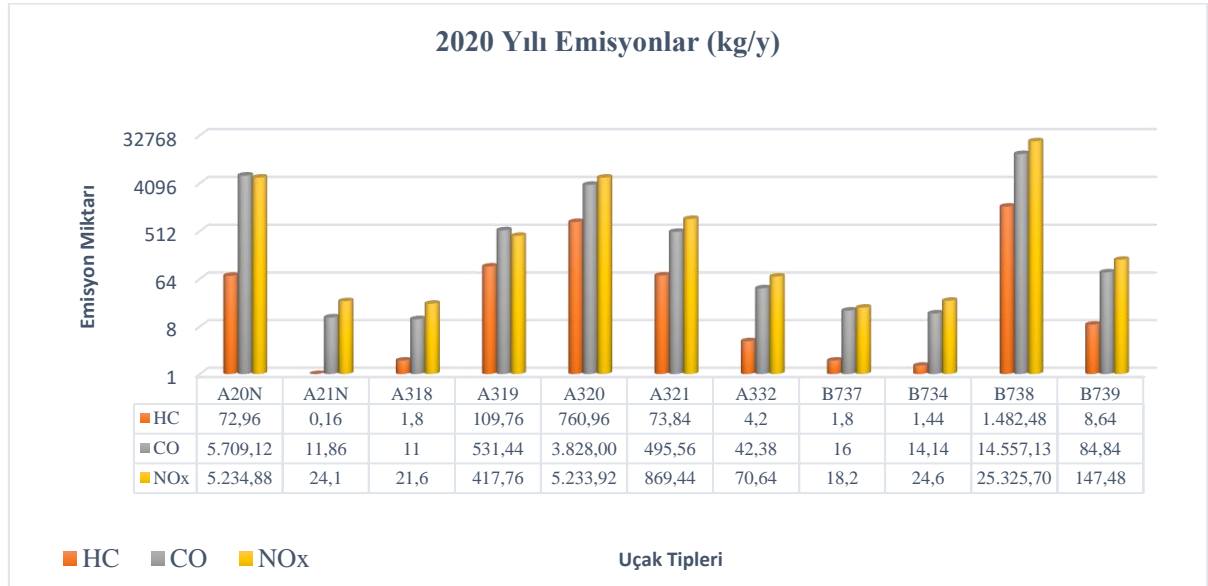
Şekil 6.46’da 2020 yılı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları verilmiştir. Grafiği incelediğimizde Malatya Erhaç Havalimanını kullanan toplam iç hat yolcu sayısı 474.619, dış hat yolcu sayısı 4.063 ve toplam taşınan yolcu sayısı ise 478.682 olduğu bilinmektedir. Toplam iç hat yolcu sayısının toplam yolcu sayısındaki oranı %99,15

olmaktadır. 2020 yılında en fazla yolcunun taşındığı ay Ocak ayı 74.341 yolcu sayısı ile Ocak ayı olmuştur. En az yolcunun taşındığı aylar Nisan ve Mayıs ayları 1.171 yolcu sayısı ile Nisan ve Mayıs ayları olmuştur.



**Şekil 6.44 :** 2020 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları.

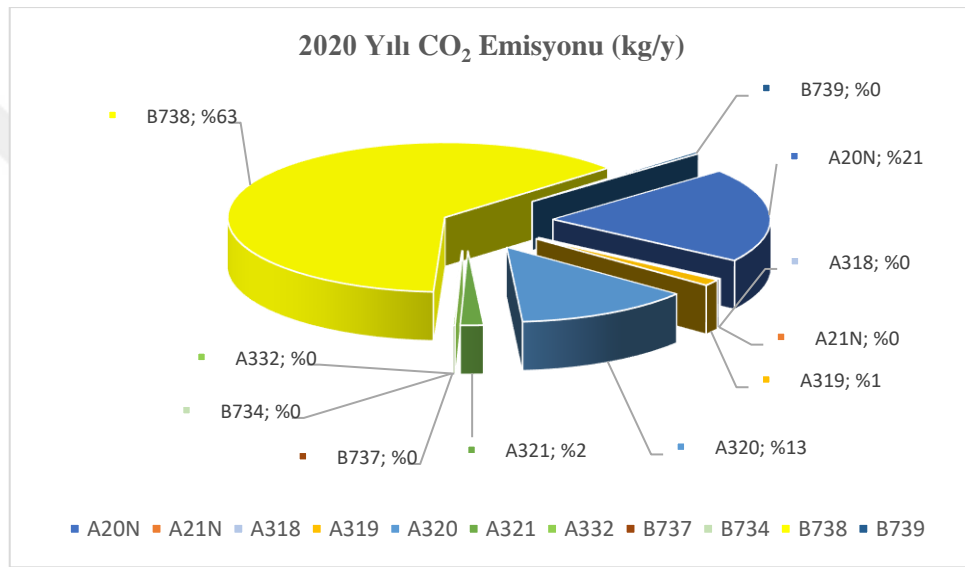
Şekil 6.47’de 2020 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları görülmektedir. Grafik incelendiğinde Malatya Erhaç Havalimanına iniş/kalkış yapan uçakların büyük çoğunluğunu %58 ile B738 tipi uçak oluşturmaktadır. İkinci olarak %26 oranı ile A20N tipi uçak olmuştur.



**Şekil 6.45 :** 2020 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).

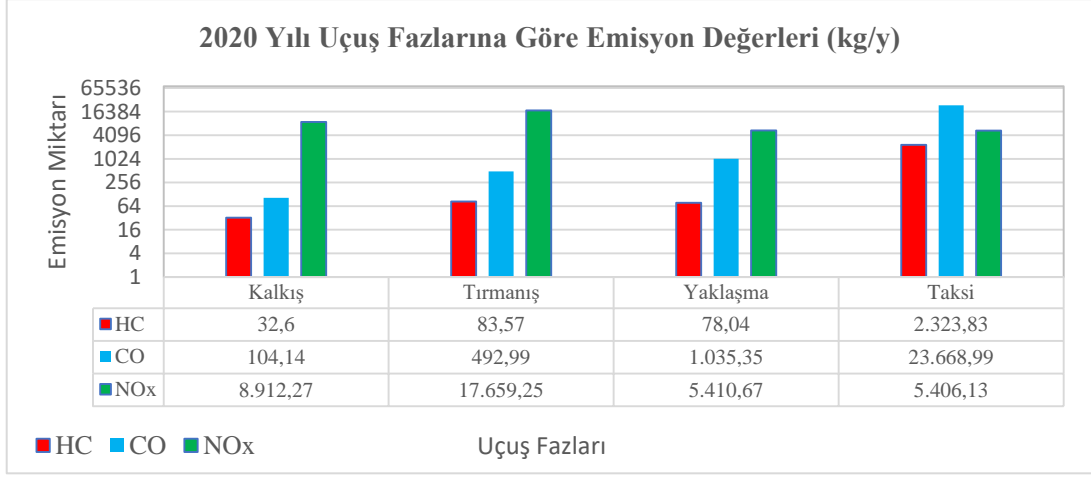
Şekil 6.48’de 2020 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC, CO ve NOx emisyonları kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde

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. En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %60, CO oranı %58 ve NOx oranı %68 olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A20N tipi uçak için ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %3, CO oranı %22, NOx oranı %14 olarak hesaplanmıştır. 2020 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam HC emisyonu 2.518,04 kg/y, CO emisyonu 25.301,47 kg/y, NOx emisyonu ise 37.388,32 kg/y olarak hesaplanmıştır.



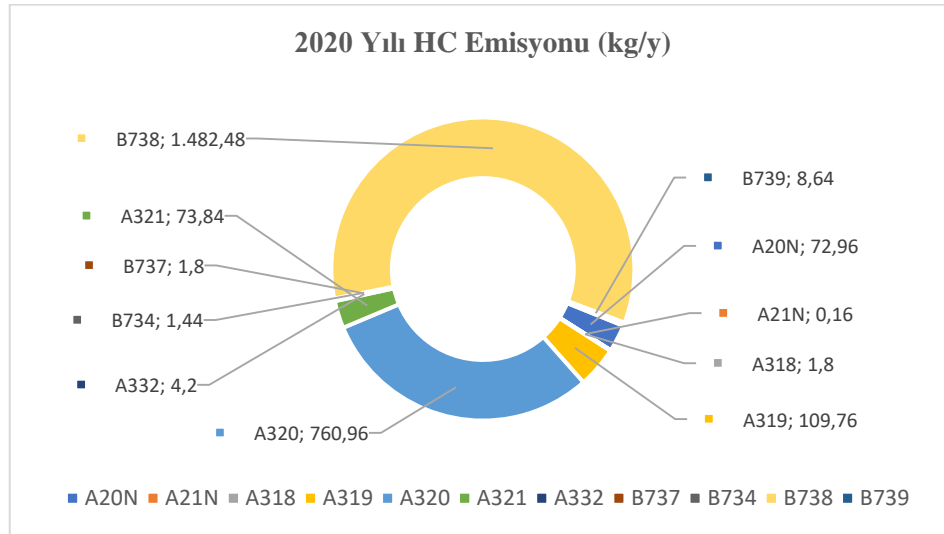
**Şekil 6.46 :** 2020 yılı için uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.49’da 2020 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonu içindeki CO<sub>2</sub> oranı %63, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A20N tipi uçak için CO<sub>2</sub> oranı %21 olarak hesaplanmıştır. 2020 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 9.115,43 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.



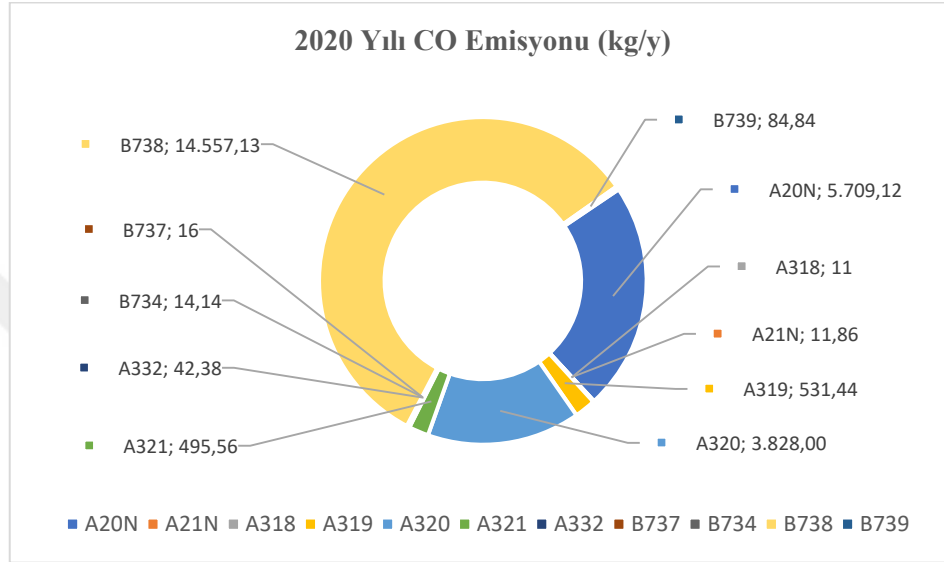
**Şekil 6.47** : 2020 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı.

Şekil 6.50’da 2020 yılı farklı uçuş fazları için toplam LTO sayısına göre hesaplanan HC, CO ve NOx değerleri görülmektedir. ICAO tarafından belirlenen LTO sürecini incelediğimizde taksi fazının 26 dakika, yaklaşma fazının 4 dakika, tırmanma fazının 2,2 dakika ve kalkış fazının ise 0,7 dakika ve toplam LTO süresinin 32 dakika ve 54 saniye olduğu bilinmektedir. %7 itki gücünde ve 26 dakika olarak belirlenen taksi fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %92, CO oranı %93 ve NOx oranı ise %14 olarak hesaplanmıştır. %30 itki gücünde ve 4 dakika olarak belirlenen yaklaşma fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %4 ve NOx oranı ise %15 olarak hesaplanmıştır. %85 itki gücünde ve 2,2 dakika olarak belirlenen tırmanış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %3, CO oranı %2 ve NOx oranı ise %47 olarak hesaplanmıştır. %100 itki gücünde ve 0,7 dakika olarak belirlenen kalkış fazında tüm uçuş fazları içindeki HC oranı %1, CO oranı %0,40 ve NOx oranı ise %24 olarak hesaplanmıştır.



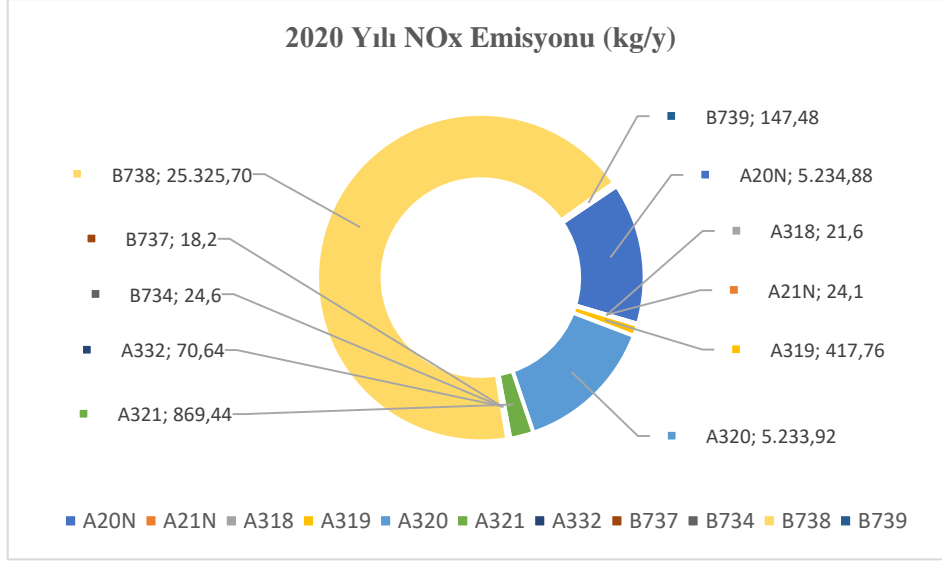
**Şekil 6.48** : 2020 yılı için uçak tiplerine göre HC emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.51’de 2020 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre HC emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam HC emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 2.059 LTO sayısı ile %60 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip uçak tipi A20N olmasına rağmen çevre havaya en fazla HC emisyonu salan uçak %30,69 oranı ile A320 tipi uçak olmuştur. 2020 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı HC emisyon miktarı 2.518,04 kg/y olmuştur.



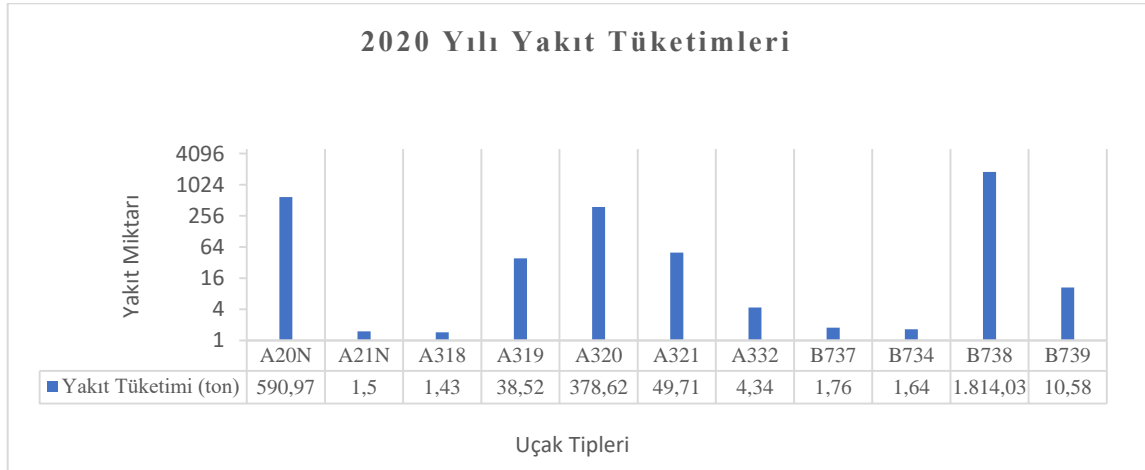
**Şekil 6.49** : 2020 yılı için uçak tiplerine göre CO emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.52’de 2020 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre CO emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam CO emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 2.059 LTO sayısı ve %58 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla CO emisyonu salan uçak tipi %22 oranı ile A20N olmuştur. 2020 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı CO emisyon miktarı 25.301,47 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.50 :** 2020 yılı için uçak tiplerine göre NOx emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.53’de 2020 yılında uçak tiplerine ve LTO sayılarına göre NOx emisyon miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde toplam NOx emisyon miktarı içerisinde en yüksek orana sahip uçak tipi 2.059 LTO sayısı ve %68 oranıyla B738 olmuştur. İkinci olarak çevre havaya en fazla NOx emisyonu salan uçak tipi %14 oranı ile A320 olmuştur. 2020 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçaklardan kaynaklı NOx emisyon miktarı 37.388,32 kg/y olmuştur.



**Şekil 6.51 :** 2020 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (ton).

Şekil 6.54’de 2020 yılında LTO sayılarına ve uçak tiplerine göre tüketilen yakıt miktarları ton cinsinden verilmiştir. Grafik incelendiğinde 2.059 LTO sayısına göre %62,72 oranı ile toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketen uçak tipi B738 olmuştur. İkinci olarak en fazla LTO sayısına sahip olan uçak tipi A20N olup %20,41 yakıt tüketim oranına sahiptir.



2020 yılında Malatya Erhaç havalimanında uçakların LTO safhalarında tüketmiş oldukları toplam yakıt miktarı 2.893,60 ton olmaktadır.

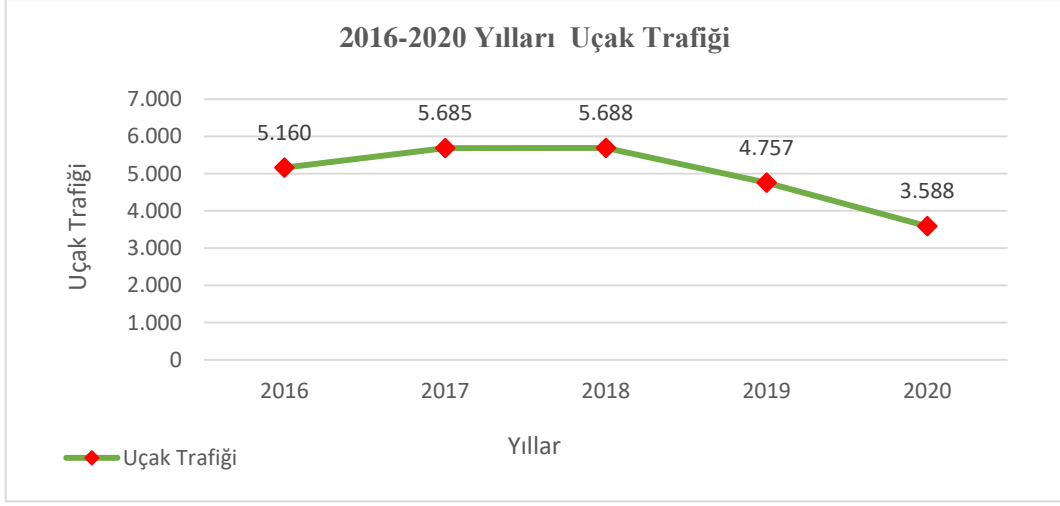
**Çizelge 6.6 : 2020 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları.**

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A20N	912	590.976,00	1.861.574,40	5.234,88	592,80	744.629,76	5.709,12	72,96	63,84
A21N	2	1.504,00	4.737,60	24,10	1,50	1.895,04	11,86	0,16	0,12
A318	2	1.746,60	5.501,40	21,60	1,42	2.148,20	11,00	1,80	0,14
A319	56	38.528,00	121.497,60	417,76	32,48	47.445,44	531,44	109,76	3,36
A320	464	378.702,88	1.192.911,52	5.233,92	320,16	465.804,96	3.828,00	760,96	32,48
A321	52	49.712,00	157.040,00	869,44	49,92	55.853,20	495,56	73,84	4,68
A332	2	4.336,16	13.658,88	70,64	3,64	5.333,46	42,38	4,20	0,32
B737	2	1.558,40	4.908,40	18,20	1,56	1.963,58	16,00	1,80	0,20
B734	2	1.762,20	5.550,94	24,60	1,48	2.167,50	14,14	1,44	0,14
B738	2.059	1.814.184,90	5.714.692,73	25.325,70	1.523,66	2.231.441,25	14.557,13	1.482,48	144,13
B739	12	10.584,00	33.360,00	147,48	10,56	13.075,20	84,84	8,64	0,96

Çizelge 6.6'de 2020 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri toplu halde verilmiştir. En çok LTO sayısına sahip uçak tipi B738 olup toplam 1.814,2 ton yakıt tüketmiştir. B738 tipi uçak için çevre havaya salınan CO<sub>2</sub> oranı %63, NO<sub>x</sub> oranı %68, SO<sub>x</sub> oranı %60, H<sub>2</sub>O oranı %62, CO oranı %58, HC oranı %59 ve PM oranı ise %58 olmaktadır. 2020 yılında çevre havaya salınan toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 9.115,4 ton, NO<sub>x</sub> emisyonu 37,4 ton, SO<sub>x</sub> emisyonu 2,5 ton, H<sub>2</sub>O emisyonu 3.571,7 ton, CO emisyonu 25,3 ton, HC emisyonu 2,5 ton ve PM emisyonu ise 0,25 ton olarak hesaplanmıştır.

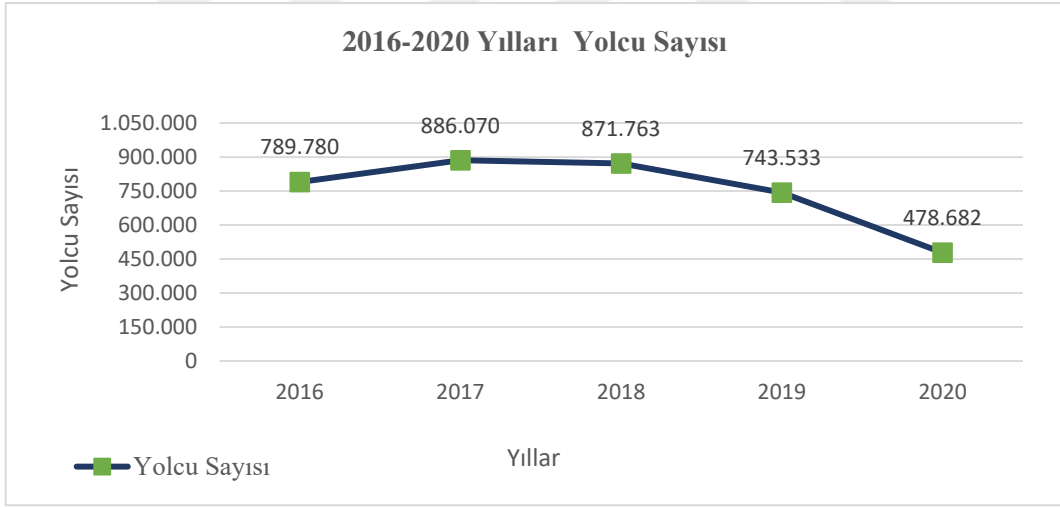
### 6.7 2016-2020 Yıllarına Ait (5 Yıllık) Uçak Emisyonları Toplamı

Bu başlık altında 2016-2020 yılları arası beş yılı kapsayan uçak trafiği, yolcu sayıları, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyonları, uçuş fazlarına göre emisyon değerleri ve tüketilen yakıt miktarları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.



**Şekil 6.52 :** 2016-2020 yılları arası toplam uçak trafiği.

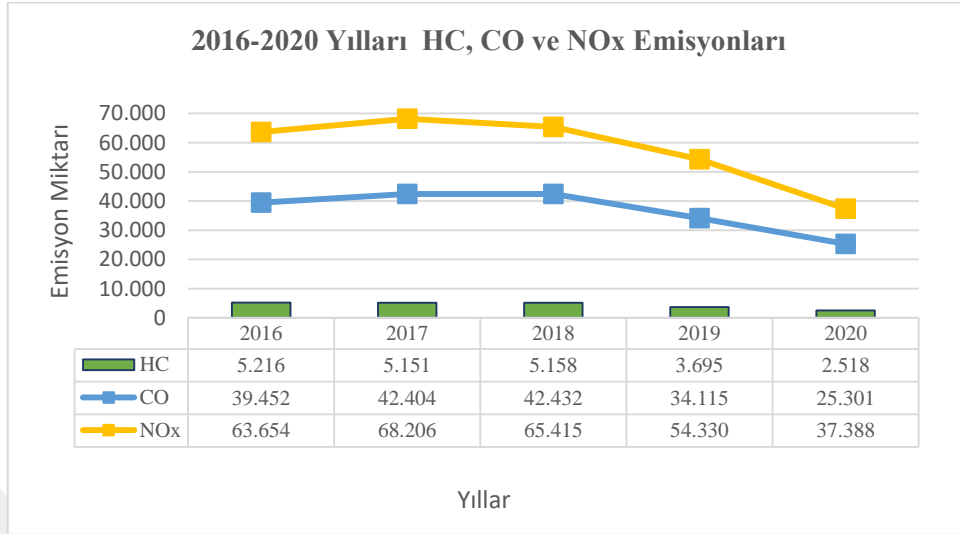
Şekil 6.55’de 2016-2020 yılları arası Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların iniş/kalkış sayıları verilmiştir. Grafik incelendiğinde 5 yıllık zaman içerisinde, 2016 yılından 2018 yılına kadar uçak trafiğinde artma eğilimi olduğu buna karşın 2019 yılı itibariyle azalma eğilimine girdiği görülmüş ve tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 salgını nedeniyle 2020 yılı en az uçak trafiğine sahip yıl olmuştur.



**Şekil 6.53 :** 2016-2020 yılları arası toplam yolcu sayısı.

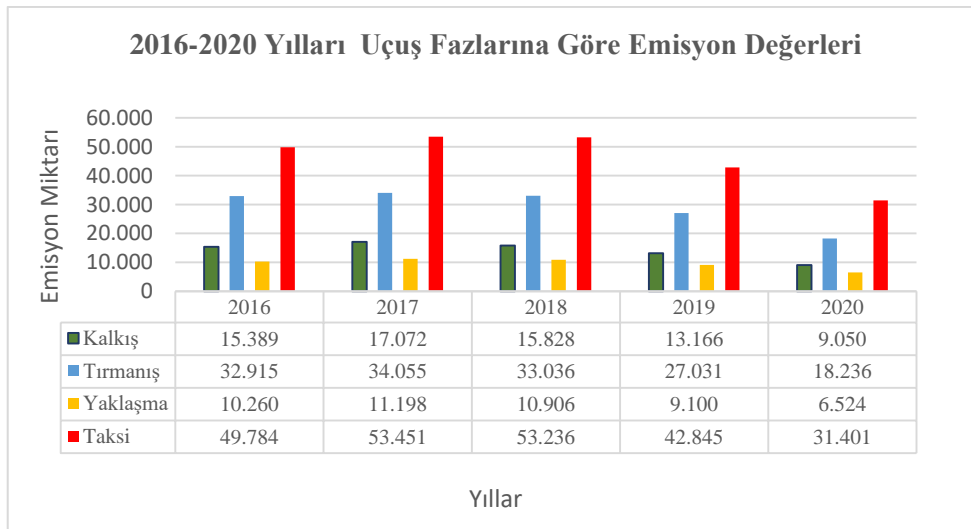
Şekil 6.56’da 2016-2020 yılları arası Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların taşıdıkları yolcu sayıları verilmiştir. Grafik incelendiğinde 5 yıllık zaman içerisinde 2016 yılından 2018 yılına kadar taşınan yolcu sayısının artış gösterdiğini ve 2018 yılından sonra 2020 yılını da kapsayan yıllarda bir azalma eğilimine girdiği görülmektedir. Covid-19 salgını olmasından dolayı iller arasına getirilen seyahat kısıtlaması nedeniyle insanlar geçerli bir mazereti yoksa bir ilden başka bir ile seyahat edememekteydiler. Kısıtlama nedeniyle

havayolu taşımacılığı da olumsuz etkilenmiş sefer sayıları özellikle 2020 yılında mayıs ve haziran aylarında yok denecek kadar azalmıştır.



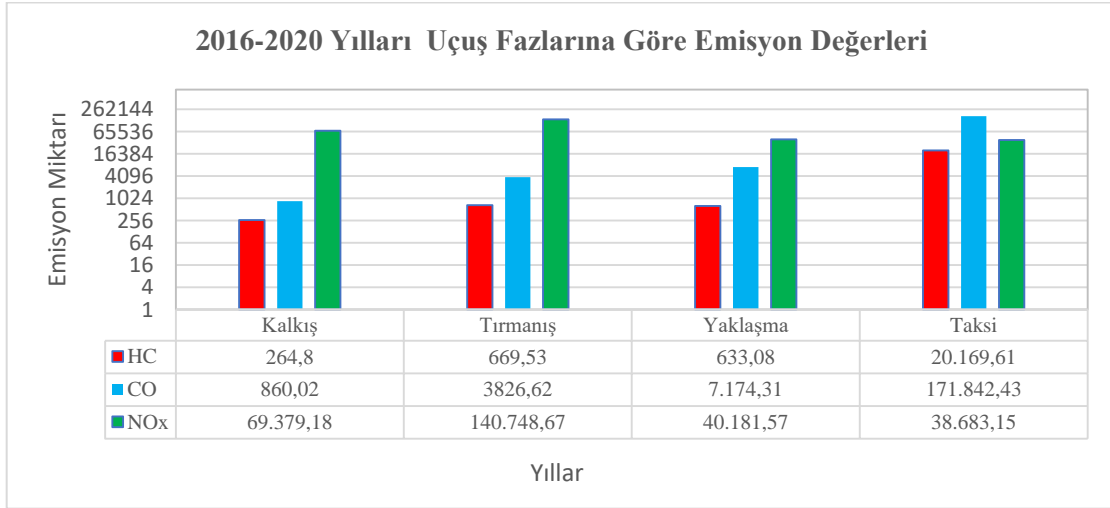
**Şekil 6.54 :** 2016-2020 yılları arası HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y).

Şekil 6.57’de 2016-2020 yılları arası Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların çevreye saldıkları HC, CO ve NOx emisyonları verilmiştir. Grafik incelendiğinde 5 yıllık zaman içerisinde çevre havaya salınan HC, CO ve NOx emisyonları 2016, 2017 ve 2018 yıllarında yakın değerlerde olduğu, 2019 yılında azalma eğiliminde olduğu, 2020 yılında ise LTO sayılarına bağlı olarak en düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bu beş yıllık zamanda çevre havaya salınan emisyon toplamları HC için 21,73 ton, CO için 183,70 ton ve NOx için 288,99 ton olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.55 :** 2016-2020 yılları arası uçuş fazlarına göre emisyon değerleri (kg/y).

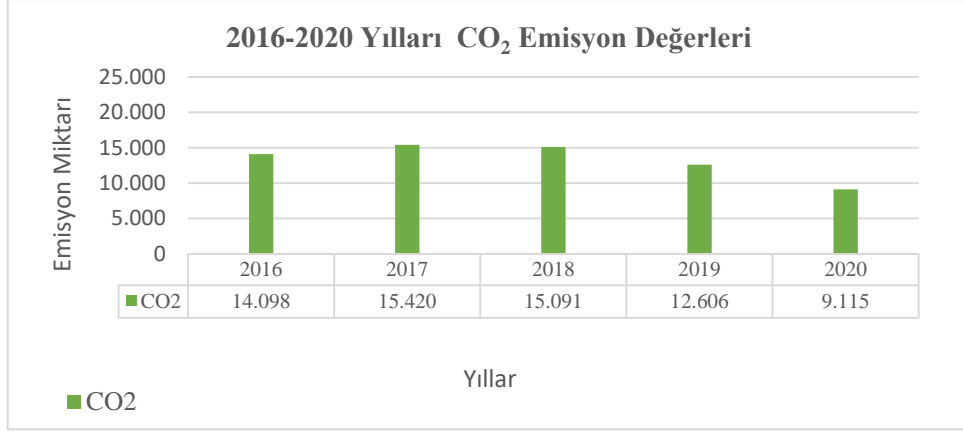
Şekil 6.58’de 2016-2020 yılları arası Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların farklı uçuş fazlarına göre çevreye saldıkları toplam HC, CO ve NOx emisyon değerleri yıl bazında verilmiştir. Emisyon faktörleri her bir uçak modeli için ilgili motor emisyon data bankasından alınmıştır. 5 yıllık zaman içerisinde 2016 yılından 2018 yılına kadar çevreye salınan toplam HC, CO ve NOx emisyon değerinin artış gösterdiğini ve 2018 yılından sonra 2020 yılını da kapsayan dönemde bir azalma eğilimine girdiği belirlenmiştir.



**Şekil 6.56 :** 2016-2020 yılları uçuş fazlarına göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri kg/y.

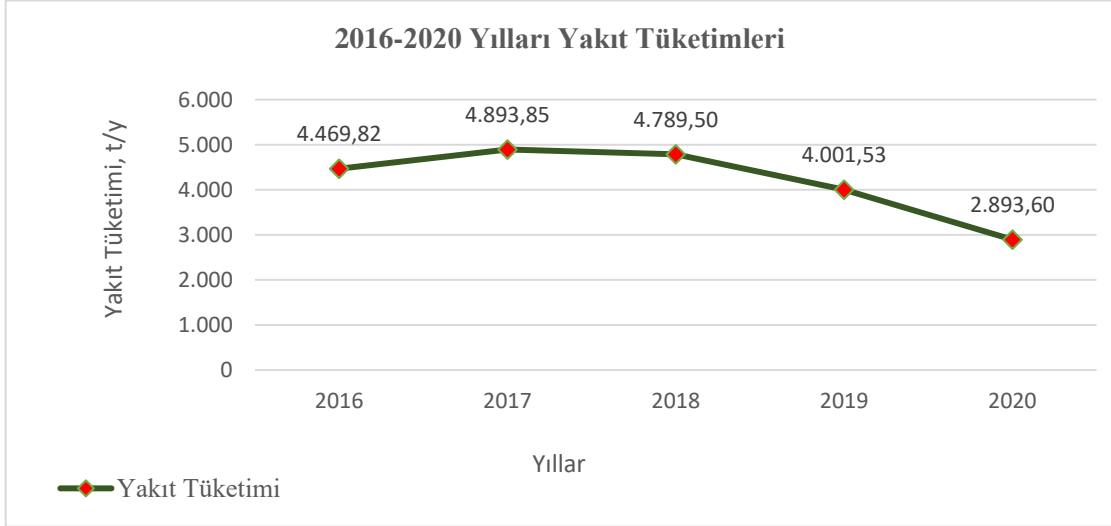
Şekil 6.59’da 2016-2020 yılları arası Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların farklı uçuş fazlarına göre çevreye saldıkları HC, CO ve NOx emisyon değerleri beş yıllık süreci kapsayacak şekilde toplam olarak verilmiştir.

Bu beş yıllık zamanda, %7 itki gücünde ve 26 dakika olarak belirlenen taksi fazında çevre havaya salınan toplam hidrokarbon (HC) emisyonu değeri 20,16 ton, karbon monoksit (CO) emisyonu değeri 171,84 ton, azot oksit (NOx) emisyonu değeri 38,68 ton olarak hesaplanmıştır. %30 itki gücünde ve 4 dakika olarak belirlenen yaklaşma fazında çevre havaya salınan toplam hidrokarbon (HC) emisyonu değeri 0,63 ton, karbon monoksit (CO) emisyonu değeri 7,17 ton, azot oksit (NOx) emisyonu değeri 40,18 ton olarak hesaplanmıştır. %85 itki gücünde ve 2,2 dakika olarak belirlenen tırmanış fazında çevre havaya salınan toplam hidrokarbon (HC) emisyonu değeri 0,67 ton, karbon monoksit (CO) emisyonu değeri 3,82 ton, azot oksit (NOx) emisyonu değeri 140,74 ton olarak hesaplanmıştır. %100 itki gücünde ve 0,7 dakika olarak belirlenen kalkış fazında çevre havaya salınan toplam hidrokarbon (HC) emisyonu değeri 0,26 ton, karbon monoksit (CO) emisyonu değeri 0,86 ton, azot oksit (NOx) emisyonu değeri 69,38 ton olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.57 :** 2016-2020 yılları arası CO<sub>2</sub> emisyon değerleri (t/y).

Şekil 6.60’da 2016-2020 yılları arası Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların çevreye saldıkları karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyon değerleri yıl bazında verilmiştir. Bu değerler ICAO’nun varsayılan LTO döngüsünde her bir uçak tipi için verilen CO<sub>2</sub> emisyon faktörü dikkate alınarak hesaplanmıştır. 2016, 2017 ve 2018 yılı CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri birbirine yakın olup 2019 ve 2020 yıllarında düşüş göstermiştir. Beş yıllık sürede çevre havaya salınan toplam karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu 66.331,05 ton olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.58 :** 2016-2020 yılları arası toplam yakıt tüketimleri (t/y).

Şekil 6.61’de 2016-2020 yılları arası Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların LTO sayılarına göre tükettikleri yakıt miktarları verilmiştir. Grafik incelendiğinde 5 yıllık zaman içerisinde 2016 yılından 2018 yılına kadar tüketilen yakıt miktarlarının artış gösterdiğini ve 2018 yılından sonra 2020 yılını da kapsayan dönemde bir azalma eğilimine girdiği görülmektedir. Bu beş yıllık süreçte uçaklar toplam 21.048,31 ton yakıt tüketmiştir.

**Çizelge 6.7 : 2016-2020 yılı uçak tiplerinin LTO sayısına göre emisyon toplamları.**

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A20N	2.390	1.548.720,00	4.878.468,00	13.718,60	1.553,50	1.951.387,20	14.961,40	191,20	167,30
A21N	8	6.016,00	18.950,40	96,40	6,00	7.580,16	47,44	0,64	0,48
A318	6	5.239,80	16.504,20	64,80	4,26	6.444,60	33,00	5,40	0,42
A319	356	244.928,00	772.377,60	2.655,76	206,48	301.617,44	3.378,44	697,76	21,36
A320	4.164	3.398.531,88	10.705.352,52	46.969,92	2.873,16	4.180.197,96	34.353,00	6.828,96	291,48
A321	1.428	1.365.168,00	4.312.560,00	23.876,16	1.370,88	1.533.814,80	13.608,84	2.027,76	128,52
A332	6	13.008,48	40.976,64	211,92	10,92	16.000,38	127,14	12,60	0,96
A333	8	17.344,64	54.635,52	282,56	14,56	21.333,84	169,52	16,80	1,28
A343	12	24.238,68	76.351,80	417,72	20,40	29.813,52	302,76	46,80	6,00
B733	4	3.120,00	9.920,00	28,76	3,12	3.931,20	52,12	3,36	0,40
B737	270	210.384,00	662.634,00	2.457,00	210,60	265.083,30	2.160,00	243,00	27,00
B734	20	17.622,00	55.509,40	246,00	14,80	21.675,00	141,40	14,40	1,40
B738	15.984	14.083.502,40	44.363.112,48	196.603,20	11.828,16	17.322.660,00	113.006,88	11.508,48	1.118,88
B739	82	72.324,00	227.960,00	1.007,78	72,16	89.347,20	579,74	59,04	6,56
B38M	2	1.448,00	5.551,00	24,88	1,44	2.167,60	9,50	0,42	0,14
E190	60	36.720,00	130.188,00	331,20	36,60	50.832,00	772,20	80,40	2,40

Çizelge 6.7’de 2016-2020 yılları arası Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların LTO sayılarına göre tükettikleri yakıt miktarları, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri toplu halde verilmiştir. En çok sefer sayısına sahip uçak tipi B738 olup 15.984 LTO sayısına sahiptir. Toplam LTO sayılarında içinde B738 tipi uçak %64 oranına ulaşmıştır. Beş yıllık süreçte toplam LTO sayısı 24.800 olmuştur. Toplam yakıt tüketimi 21.048,32 ton değerine ulaşmıştır. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu 66.331 ton, azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonu 289 ton, sülfür oksit (SO<sub>x</sub>) emisyonu 18,2 ton, su buharı (H<sub>2</sub>O) emisyonu 25.753 ton, karbon monoksit (CO) emisyonu 183,7 ton, hidrokarbon (HC) emisyonu 21,7 ton ve partikül madde (PM) emisyonu 1,77 ton hesaplanmıştır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya nüfusunun sürekli artmasıyla ve teknolojiadaki hızlı gelişmelerle bağlantılı olarak enerji tüketimine olan gereksinimin artmasıyla çevre kirliliği açısından büyük sorunlar ortaya çıkmıştır. Çevre kirliliğinin önemli bir kısmı hava kirliliğinden meydana gelmektedir. Hava kirliliğine sebep olan en önemli etken uçak motorlarının da kullandığı fosil yakıtların yakılmasıyla açığa çıkan kirliliktir. Günümüzde de fosil yakıt kullanan içten yanmalı motorların kullanımının devam etmesiyle ulaşımdan kaynaklanan emisyonların küresel ölçekte sera gazı emisyonlarına etkisi yaklaşık olarak %20 düzeyindedir. Küresel düzeyde ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarında karayolu %70, denizyolu %11, demiryolu %2 ve havayolu ise %12 oranında etki etmektedir [73].

Ulaştırma sektörünün genelinde olduğu gibi havayolu ulaşımında da çevre havaya salınan en önemli sera gazı CO<sub>2</sub> emisyonu olmuştur. CO<sub>2</sub> emisyonu dışında NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, HC ve PM emisyonları da hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde çevre havaya salınan bütün emisyonlarda artış görüldüğü, LTO sayılarının ve uçaklarda tüketilen yakıt miktarının artmasıyla CO<sub>2</sub> emisyonunun da hızla arttığı gözlemlenmiştir.

Bu tezde 2016-2020 yıllarında Malatya Erhaç Havalimanını ticari amaçla kullanan farklı tip motorlu uçakların çevre havaya saldıkları karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyonları incelenmiştir. Uçak motorlarından oluşan bu emisyonların atmosfer üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır. Dolayısıyla dünya üzerinde yaşayan canlılar için sağlık sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle emisyonların çeşitleri yanında miktarlarının bilinmesi de büyük önem arz etmektedir.

Çalışmada 2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılları ayrı ayrı ve tümü birden karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır. Her bir yıl için; aylara göre uçak trafiği ve yolcu sayıları, uçak tiplerine göre LTO sayıları, LTO sayısı ve uçak tiplerine göre emisyonlar, uçuş fazlarına göre emisyon değerleri, uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, HC ve PM emisyon değerleri, LTO sayılarına göre yakıt tüketimleri tablo ve grafikler halinde verilmiştir. Bu değerler sadece ticari amaçlı yapılan uçuşlardan elde edilmiştir. Askeri amaçlı yapılan

uçuşlar hesaplamaya dahil edilmemiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçak tiplerini incelediğimizde 2016, 2017 ve 2018 yıllarında en fazla kullanılan uçak tipleri Boeing 737-800 (B738) ve Airbus 320 (A320) olmuştur. 2019 ve 2020 yıllarında en çok kullanılan uçak tipleri içerisinde Boeing 737-800 (B738) yerini korurken Airbus 320 (A320) yerini Airbus 320 Neo (A20N) tipi uçak modeline bırakmıştır. Boeing 737 ailesi içerisinde 737-800 (B738) tipinin çevre havaya saldıkları emisyonlar diğer 737 serilerine göre fazla olmasına rağmen tercih edilmesindeki en büyük neden koltuk kapasitesinin diğerlerinden fazla olmasıdır. Boeing 737-800 (B738) tipi uçak 189 koltuk kapasitesine kadar çıkmaktadır. Airbus 320 (A320) tipi uçak 180, Airbus 320 Neo (A20N) 146 koltuk kapasitesine sahiptir. A320 tipi uçak yerine A20N tipi uçak modelinin tercih edilmesinde en büyük etken yaklaşık %15 yakıt tasarrufu sağlanması ve çevre havaya salınan emisyon miktarlarının da daha az olmasıdır.
- Yapılan analizler neticesinde Malatya Erhaç Havalimanında 2016-2020 yıllarını kapsayan 5 yıllık sürede aylara göre uçak trafiğinde iç hat seferlerinde dengeli bir dağılım görülmektedir. Dış hat seferlerinde ise yaz aylarında artış görülmüştür.
- 2016-2020 yılları (beş yıl) için yapılan hesaplamada uçuş trafiğinin en yoğun olduğu yıl 5.688 iniş/kalkış sayısı ile 2018 yılıdır. Uçak trafiğinin en az olduğu yıl 3.588 iniş/kalkış sayısı ile 2020 yılıdır. 2020 yılında en az uçak trafiğinin yapılmasında en büyük etken tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 salgınıdır. Salgının önlenmesi için Türkiye’de alınan tedbirler kapsamında şehirlerarası ulaşımın kısıtlanması da yer almaktaydı. 2020 yılı nisan ve mayıs aylarında uygulanan şehirlerarası seyahat kısıtlaması uygulaması havayolu taşımacılığını da olumsuz etkilemiştir. 2020 yılı nisan ve mayıs aylarında Malatya Erhaç Havalimanına iniş/kalkış yapan iç hat ve dış hat uçak sayısı toplamı sadece 18 olmuştur. Toplam uçak trafiği sayısı içinde en fazla iniş/kalkış oranına sahip yıl %22,86 ile 2018 yılı olmuştur. 2020 yılı ise %14,30 oranı ile en az iniş/kalkış sayısının olduğu yıl olmaktadır. Beş yıllık sürede Malatya Erhaç Havalimanına iniş kalkış yapan uçak sayısı 24.800 olmuştur. Yıllık ortalama LTO sayısı 4.960 olup 2016, 2017 ve 2018 yılları ortalamasının üstünde, 2019 ve 2020 yılı ortalamasının altında LTO sayısına sahip yıllar olmuştur.
- 2016-2020 yılları arasında en fazla yolcunun taşındığı yıl 886.070 yolcu sayısı ile 2017 yılı olmuştur. En az yolcunun taşındığı yıl 478.682 yolcu sayısı ile 2020 yılı



olmuştur. 2016 yılında taşınan yolcu sayısı 2017 yılında artış göstermiş, 2018 yılı ile beraber 2020 yılını da içine alarak önemli bir azalış gerçekleşmiştir. En fazla yolcunun taşındığı yıl toplam yolcu sayısı içerisindeki oranı %23,50 ile 2017 yılı olmuştur. En az yolcunun taşındığı yıl olan 2020 yılında toplam taşınan yolcu sayısı içindeki oran %12,70 olarak belirlenmiştir. Beş yıllık sürede Malatya Erhaç Havalimanına iniş kalkış yapan uçakların taşımış olduğu toplam yolcu sayısı 3.769.828 olmuştur.

- 2016-2020 yılları arasında her bir yıl için HC, CO ve NOx emisyonları Tier 2 metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu beş yıllık süreçte çevre havaya salınan toplam HC miktarı 21,73 ton, CO miktarı 183,70 ton ve NOx miktarı ise 288,99 ton olarak hesaplanmıştır.
- 2016-2020 yılları arasında her bir yıl için karbondioksit (CO<sub>2</sub>), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O) ve partikül madde (PM) emisyonları hesaplanmıştır. Bu beş yıllık süreçte çevre havaya salınan toplam emisyonlar içerisinde CO<sub>2</sub> miktarı 66.331,05 ton, SO<sub>x</sub> miktarı 18,22 ton, H<sub>2</sub>O miktarı 25.753,05 ton PM miktarı ise 1,77 ton olarak hesaplanmıştır.
- 2016-2020 yılları arasında toplam taşınan yolcu sayısına ve toplam emisyon miktarına göre kişi başına düşen HC emisyonu 0,0057 kg, CO emisyonu 0,0487 kg, NOx emisyonu 0,0766 kg, CO<sub>2</sub> emisyonu 17,5952 kg, SO<sub>x</sub> emisyonu 0,0048 kg, H<sub>2</sub>O emisyonu 6,8313 kg ve PM emisyonu 0,0004 kg olarak hesaplanmıştır.
- 2016-2020 yılları arası farklı uçuş fazlarına göre oluşan HC, CO ve NOx emisyon değerleri verilmiştir. Beş yıllık süre zarfında %7 itki gücünde 26 dakika olarak belirlenen taksi zamanında çevre havaya salınan toplam HC, CO ve NOx emisyonu 230,69 ton olarak hesaplanmıştır. %30 itki gücünde 4 dakika olarak belirlenen yaklaşma zamanında çevre havaya salınan toplam HC, CO ve NOx emisyonu 47,98 ton olarak hesaplanmıştır. %85 itki gücünde 2,2 dakika olarak belirlenen tırmanış zamanında çevre havaya salınan toplam HC, CO ve NOx emisyonu 145,24 ton olarak hesaplanmıştır. %100 itki gücünde 0,7 dakika olarak belirlenen kalkış zamanında çevre havaya salınan toplam HC, CO ve NOx emisyonu 0,70 ton olarak hesaplanmıştır.
- Yapılan analizler sonucunda uçak trafiğinin 2016 yılından 2018 yılına kadar arttığı 2018 yılından 2020 yılı dahil azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla çevre havaya

salınan emisyonlarda 2016 yılından 2018 yılına kadar artış olduğu 2018 yılından sonra 2020 yılını da içine alan dönemde azalma meydana geldiği görülmektedir.

- 2016-2020 yılları arasında her bir yıl için uçakların tükettikleri yakıt miktarları verilmiştir. Bu beş yıllık dönemde tüketilen toplam yakıt miktarı 21.048,31 ton olarak hesaplanmıştır. Toplam yakıt tüketimi içerisinde en fazla yakıt tüketiminin yapıldığı yıl 2017 yılı olup %23,25 yakıt tüketim oranına sahiptir. Bunun sebebi uçakların en fazla iniş/kalkış yaptığı yılın 2017 yılı olmasıdır. 2020 yılı yakıt tüketim oranı %13,75 olarak hesaplanmış ve bu beş yıllık dönemde en az uçak trafiğinin ve bununla bağlantılı olarak en az yakıt tüketiminin gerçekleştiği yıl olmuştur.
- Küresel iklim değişikliğine sera gazları sebep olmaktadır. En önemli sera gazı, uçak motorlarının fosil yakıtlarla çalışmasından dolayı çevre havaya salınan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazıdır. Beş yıllık sürede çevre havaya salınan en önemli sera gazlarından olan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu en fazla 2017 yılında meydana gelmiş ve miktarı 15.420,18 ton/yıl olmuştur. Bu beş yıllık süreçte toplam 66.331,05 ton CO<sub>2</sub> emisyonu açığa çıkmıştır.

Ulaşımdan kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmak için bazı önlemler alınabilir. Mesela şu anda kullanılmakta olan fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gazının daha az oluştuğu yakıt tiplerinin kullanılması ile sağlanabilir. Alternatif yakıtlar arasında biyoyakıtlar, hidrojen, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi kaynaklar kullanılabilir.

Gelişmiş teknoloji ve malzemelerin kullanılmasıyla yanma verimliliğinin artırılması sağlanarak çevre havaya salınan emisyonların azaltılabilmesi mümkün olabilmektedir.

Uçakların kalkış havalimanındaki park pozisyonundan varış havalimanındaki park pozisyonuna kadarki tüm hareketleri hava trafik kontrolörünün yönetimindedir. Bu nedenle uçakların yönlendirilmesinde ve hareket sürelerinin etkin kullanılmasında hava trafik yönetimi büyük öneme sahiptir. Hava trafik yönetiminin daha etkin kullanımıyla LTO sürelerinin daha kısa tutulması sağlanabilir ve bu sayede uçaklardan kaynaklanan emisyonlar azaltılabilmektedir.

Uçak motoru üreticilerinin yeni motor teknolojileri kullanmalarının yanı sıra pilotların da taksi yapmak yerine uçağın çekilmesini sağlamak, bu mümkün değilse tek motor ile taksi yapmak, yardımcı güç ünitesini minimum düzeyde kullanmak, herhangi bir gecikme anında ana motorların kapatılmasını sağlamak ve ana motorları mümkün olduğunca geç çalıştırmak gibi çeşitli operasyon tekniklerini kullanarak yerdeki emisyonlar daha da aza çekilebilir.

Havalimanlarında uçak park pozisyonundan pist başına kadarki taksi yolu mesafesinin mümkün olduğunca kısa tutularak bu sürelerde motor çalışmasından kaynaklanan emisyonların azaltılabilmesi mümkün olacaktır.



## KAYNAKLAR

- [01] SHGM. (2021). *Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu 2020*. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü.
- [02] Turgut, E. T. (2019). *Anadolu Üniversitesi-Havacılık Yönetimi-Ünite 7*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- [03] SHGM. (2010). *Havaalanlarında Çevresel Etkiler*. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları.
- [04] Kesgin, U. (2006). Aircraft emissions at Turkish airports. *Energy*.
- [05] 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.
- [06] 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.
- [07] Fleuti, E. ve Polymeris, J. (2004). Aircraft nox-emissions within the operational lto cycle. *Unique (Flughafen Zrich AG) and Swiss Flight Data Services*.
- [08] 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.
- [09] Elbir, T. (2008). Estimation of engine emissions from commercial aircraft at a mid-sized Turkish airport. *Journal of Environmental Engineering*, 134(3), 210-215.
- [10] 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.
- [11] Unal, A. H. (2005). Airport related emissions and impacts on air quality: Application to the Atlanta International Airport. *Atmospheric Environment*, 39(32), 5787-5798.
- [12] 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.
- [13] Winther, M. K. (2006). Calculation of odour emissions from aircraft engines at Copenhagen Airport. *Science of the total environment*, 366(1), 218-232.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Çağatan, K. (2011). *İstanbul Atatürk Havalimanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkileri/Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [17] Öztürk O. (2011). *Kayseri Erkilet Havalimanındaki Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] 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.
- [19] İlbaş, M. (2012). Experimental analysis of the effects of hydrogen addition on methane combustion. *International journal of energy research*, 36(5), 643-647.
- [20] Çizmecioglu, M. (2013). *Türkiye'de Sivil Havacılık ve Hava Yolu Ulaşımı Üzerine Bir Araştırma (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] Ünal, İ. T. (2014). Nevşehir Kapadokya Havalimanının Emisyon Ve Gürültü Açısından Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 654.
- [22] Akpunar, İ. (2015). *Yeşil Havalimanı Kriterleri Kapsamında Türkiye'deki Karbon Emisyonunun Tahmini/Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Türk Hava Kurumu Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [23] 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.
- [24] Babaoğlu, N. Ö. (2017). Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 24-30.
- [25] Şekertekin, Y. (2017). *Türkiye İç Hat Uçuşlarından Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi*. Zonguldak: Bülent Ecevit Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] Url-26 < <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/1--tarihce> >, (Erişim tarihi: 16.01.2021)
- [27] SHGM. (2021). *Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu 2020*. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü.
- [28] Url-28 < <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Hakkimizda.aspx/> >, (Erişim tarihi: 16.01.2021)
- [29] Yaman, K. (2019). *Hava Taşımacılığı, (5. Ünite)*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- [30] Url-30 < <https://www.iata.org/en/about/history/history-early-days/> >, (Erişim tarihi: 17.01.2021)
- [31] Url-31 < <https://aci.aero/about-aci/overview/> >, (Erişim tarihi: 17.01.2021)
- [32] THY. (1996). *Türk Hava Yolları Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü-Temel Motor*.
- [33] Turan, A. ve Uludağ, A. (2019). *Anadolu Üniversitesi-Genel Havacılık-Ünite 6*. Eskişehir: Anadolu üniversitesi Yayınları.
- [34] Rolls-Royce, *The Jet Engine-5th Edition*. England: Rolls-Royce plc.
- [35] Çetinkaya, S. (2013). *Gaz Türbinleri*. Ankara: Nobel Yayıncılık.
- [36] Tüdeş, B. (1987). *Tepkili Uçak Motorları Ders Notları*. Hava Harp Okulu Öğretim Başkanlığı.

- [37] TTS. (2010). *Total Training Support, Module 15-Gas Turbine Engine*. Integrated Training System.
- [38] Kaya, Ş. (1999). *Uçaklar ve Helikopterler*. İnkılap Kitabevi.
- [39] Url-39 <<http://www.aerospaceweb.org>>, (Erişim tarihi: 11.06.2020)
- [40] Küçük, H. (1995). *Bir Turbojet Motorunun Performansının İncelenmesi-(Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [41] MEB. (2012). *Gaz Türbinli Motorlar/Motor Kısımları*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.
- [42] SR Technics. (tarih yok). *Basic Maintenance Training Manual-Module 15 Gas Turbine Engine*. SR Technics.
- [43] My Technic, *Modül 15 Gaz Türbinli Motorlar*. İstanbul: My Technic.
- [44] Url-44 <<https://acikders.ankara.edu.tr/>>, (Erişim tarihi: 05.01.2021)
- [45] Şahin. C. Hava Kirliliği ve Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler, (Ders Notu). Ankara: Gazi Üniversitesi/Eğitim Fakültesi.
- [46] Turan, P. (2020). *Yeşil Havalimanı Kapsamında Sera Gazı Emisyonları / İstanbul Havalimanı Örneği (Yüksek Lisans Tezi)*. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi-Sosyan Bilimler Enstitüsü.
- [47] Url-47 <<https://www.easa.europa.eu/eaer/figures-tables/emissions-typical-two-engine-jet-aircraft-during-1-hour-flight-150-passengers/>>, (Erişim tarihi: 17.01.2021)
- [48] Atalık, A. (2005). *Küresel Isınma, Su Kaynakları ve Tarım Üzerine Etkileri*. Ankara: Ziraat Mühendisleri Odası Yayınları.
- [49] Muslu, Y. (2000). *Ekoloji ve Çevre Sorunları*. Aktif Yayınevi.
- [50] Houghton, J. T. (2001). *The Scientific Basis. Climate Change*.
- [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 kirleticiler*. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- [53] Url-53 <<https://www.ipcc.ch/>>, (Erişim tarihi: 05.01.2021)
- [54] Gillenwater, M., Van Pelt, M. ve Peterson, K. (2002). *Greenhouse gases and global warming potential values. Office of Atmospheric Programs of United States Environmental Protection Agency*.
- [55] Url-55 <<https://havakalitesi.ibb.gov.tr/>>, (Erişim tarihi: 05.07.2021)
- [56] Url-56 <<https://tr.wikipedia.org/>>, (Erişim tarihi: 05.07.2021)
- [57] Url-57 <<https://en.wikipedia.org/>>, (Erişim tarihi: 18.01.2021)
- [58] Url-58 <[https://www.emo.org.tr/ekler/0278b30844ad239\\_ek.pdf?dergi=619](https://www.emo.org.tr/ekler/0278b30844ad239_ek.pdf?dergi=619)>, (Erişim tarihi: 05.07.2021)
- [59] Url-59 <<https://www.iklimhaber.org/atmosferdeki-karbondioksit-seviyeleri-rekor-seviyeye-ulasti/>>, (Erişim tarihi: 05.06.2021)

- [60] Url-60 <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WG1\\_TAR\\_FM.pdf/](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WG1_TAR_FM.pdf/)>, (Erişim tarihi: 05.07.2021)
- [61] Bows A., Anderson K. ve Upham P. (2009). *Aviation and Climate Change*, New York, Routledge, .
- [62] etek, C. (2019). *Harekat Performans-Bölüm 1*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- [63] EEA. (2019). *European Environment Agency*.
- [64] IPCC. (1999). Intergovernmental Panel on Climate Change, , Cambridge University Press., *Aviation and The Global Atmosphere*.
- [65] Url-65 <[https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data.shtml](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.shtml)>, (Erişim tarihi: 18.01.2021)
- [66] Url-66 <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html/>>, (Erişim tarihi: 18.01.2021)
- [67] Url-67 < <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html/>>, (Erişim tarihi: 01.12.2021)
- [68] Url-68 <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>, (Erişim tarihi: 01.12.2021)
- [69] Url-69 < <https://gezimanya.com/turkiye/malatya-hakkinda-bilinmesi-gerekenler-0/>>, (Erişim tarihi: 05.03.2021)
- [70] Url-70 < <http://cografyaharita.com/haritalarim/40-malatya-konum-haritasi.png/>>, (Erişim tarihi: 11.11.2019)
- [71] Url-71 < <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/Malatya/AnaSayfa.aspx/>>, (Erişim tarihi: 05.03.2021)
- [72] Url-72 < [https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation/view /](https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation/view/)>, (Erişim tarihi: 05.06.2021)
- [73] Url-73 < <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/571210/>>, (Erişim tarihi: 15.04.2021)
- [74] Url-74 < [https://www.google.com.tr/maps/place/Malatya+Havaliman%C4%B1 /](https://www.google.com.tr/maps/place/Malatya+Havaliman%C4%B1/)>, (Erişim tarihi: 12.01.2021)
- [75] Url-75 < [https://www.dhmi.gov.tr/AIPDocuments/LT\\_AD\\_2\\_LTAT\\_ADC\\_en/](https://www.dhmi.gov.tr/AIPDocuments/LT_AD_2_LTAT_ADC_en/)>, (Erişim tarihi: 08.03.2021)
- [76] Url-76 < <https://www.easa.europa.eu/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank/>>, (Erişim tarihi: 12.01.2021)
- [77] Url-77 < <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html/>>, (Erişim tarihi: 10.02.2021)

# EKLER

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



### ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA BANK

#### SUBSONIC ENGINES

ENGINE IDENTIFICATION: SaM146-1S18 BYPASS RATIO: 4.38  
 UNIQUE ID NUMBER: 11PJ002 PRESSURE RATIO ( $\pi_{00}$ ): 22.8  
 ENGINE TYPE: MTF RATED OUTPUT ( $F_{00}$ ) (kN): 72.67

#### REGULATORY DATA

CHARACTERISTIC VALUE:	HC	CO	NOx	SMOKE NUMBER
$D_p/F_{00}$ (g/kN) or SN	2.4	72.0	44.6	14.7
AS % OF ORIGINAL LIMIT	12.4 %	61.0 %	52.1 %	57.1 %
AS % OF CAEP/2 LIMIT (NOx)			65.1 %	
AS % OF CAEP/4 LIMIT (NOx)			76.8 %	
AS % OF CAEP/6 LIMIT (NOx)			82.6 %	
AS % OF CAEP/8 LIMIT (NOx)			95.8 %	

#### DATA STATUS

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

#### TEST ENGINE STATUS

X 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)  
 - OUT OF PRODUCTION  
 - OUT OF SERVICE

#### MEASURED DATA

MODE	POWER SETTING (% $F_{00}$ )	TIME minutes	FUEL FLOW kg/s	EMISSIONS INDICES (g/kg)			SMOKE NUMBER
				HC	CO	NOx	
TAKE-OFF	100	0.7	0.841	0.02	0.3	17.36	12.6
CLIMB OUT	85	2.2	0.691	0.04	0.3	14.52	12.1
APPROACH	30	4.0	0.238	0.06	4.67	7.28	0.1
IDLE	7	26.0	0.100	0.82	27.55	3.82	0.1
LTO TOTAL FUEL (kg) or EMISSIONS (g)			339	136	4591	2947	-
NUMBER OF ENGINES				2	2	2	2
NUMBER OF TESTS				5	5	5	5
AVERAGE $D_p/F_{00}$ (g/kN) or AVERAGE SN (MAX)				1.9	63.2	40.6	12.6
SIGMA ( $D_p/F_{00}$ in g/kN, or SN)				-	-	-	-
RANGE ( $D_p/F_{00}$ in g/kN, or SN)				-	-	-	-

#### ACCESSORY LOADS

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

#### ATMOSPHERIC CONDITIONS

BAROMETER (kPa)	100.43 - 101.26
TEMPERATURE (K)	289.2 - 302.5
ABS HUMIDITY (kg/kg)	0.00619 - 0.01331

#### FUEL

SPEC	JET-A1
H/C	1.924
AROM (%)	16.7 - 17.5

MANUFACTURER: PowerJet S.A.  
 TEST ORGANIZATION: PowerJet S.A.  
 TEST LOCATION: Test facilities Snecma in Villaroche, France and NPO-Saturn in Rybinsk, Russia  
 TEST DATES: FROM Jul 09 TO May 11

#### REMARKS

1. Test engine 146-006/1A and test engine 146-101/3
2. Certification report CR-037 Rev.1 and CR-037 S1
3. Certification in accordance with Part III, Chapter 2, of Amendment 6 of ICAO Annex 16 Vol. II.
4. NOx levels in accordance with Part III, Chapter 2, 2.3.2 d) (CAEP/6)

If REVISED, this data supersedes databank UID  
 Compliance with fuel venting requirements:

X ('x' if complies, PR if pre-regulation)



**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 <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> 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 #2100199310 nolu CİMER başvuruma gelen cevap.

Gizle

☰ Başvuru hareketleri için tıklayınız.

🕒 12.01.2021 17:22 tarihinde internet üzerinden başvuru alındı.

📩 12.01.2021 17:22 tarihinde CİMER tarafından ULAŞTIRMA VE ALTYAPI BAKANLIĞI tarafına sevk edildi.

🕒 21.01.2021 12:43 tarihinde DEVLET HAVA MEYDANLARI İŞLETMESİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (DHMİ) > STRATEJİ GELİŞTİRME DAİRESİ BAŞKANLIĞI tarafından cevap yazıldı.

Cevaplar:

Cevap: DEVLET HAVA MEYDANLARI İŞLETMESİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (DHMİ) > STRATEJİ GELİŞTİRME DAİRESİ BAŞKANLIĞI (21.01.2021 16:11) 🗨

Cumhurbaşkanlığı İletişim Merkezi CİMER kanalı ile talep etmiş olduğunuz 2016-2020 dönemi için Malatya Havalimanında gerçekleşen uçak ve yolcu trafiği bilgileri uçak tiplerine ve hat bilgisine göre aylık bazda talep edilmiştir. Söz konusu veriler hazırlanarak Ek'te gönderilmiştir. 2020 yılı verileri kesin olmayan verilerdir.

Detaylı istatistiklerin yer aldığı DHMİ İstatistik Yıllığı yayınıımızda Uçak ve Yolcu Trafiği verileri hat ayrımında aylık olarak yer almaktadır. Uçak Tipine göre trafikler ise hat ayrımında olmaksızın yıllık olarak yer almaktadır.

Bilgilerinizi rica ederiz.

Eklili Dosyalar:

📄 Değerlendirmeyi Gör

📎 Malatya Havalimanı Uçak Tiplerine Göre Aylık Bazda Uçak ve Yolcu Trafiği (2016-2020) (1).xlsx

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : **Ramazan GENÇ**

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021/Anadolu Üniversitesi/İşletme Fak./Havacılık Yönetimi  
: 2019/İnönü Üniversitesi/Mühendislik Fak./Makine Mühendisliği  
: 2006/Anadolu Üniversitesi/İşletme Fak./İşletme  
: 2005/Marmara Üniversitesi/Tek. Eğt. Fak./Otomotiv Öğretmenliği
- **Yüksek Lisans** : İnönü Üniversitesi/Fen Bilimleri Ens./Makine Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2021-Devam – Pendik Borsa İstanbul Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’nde Müdür Başyardımcısı olarak görev yapmaktadır.
- 2013-2021 - Milli Eğitim Bakanlığı’nda Uçak Gövde-Motor Öğretmeni olarak görev yaptı.
- 2008-2013 - Anadolu Yakası PTT Başmüdürlüğünde memur olarak görev yaptı.
- 2006-2008 – Ümraniye Belediyesi’nde İşletme Şefi olarak görev yaptı.

### YÜKSEK LİSANS VEYA DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Genç, R., & Behçet, R. (2022).** Malatya Erhaç Havalimanını Kullanan Uçakların Çevresel Etkileri. EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 2022.
- **Genç, R., & Behçet, R. (2022).** (2022, Mart). Uçak Kaynaklı Emisyonların Çevresel Etkileri, II. International Siirt Scientific Research Congress (pp. 568-579).