

## MALATYA ERHAÇ HAVALİMANINI KULLANAN UÇAKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

### ENVIRONMENTAL IMPACTS OF AIRPLANES USING MALATYA ERHAÇ AIRPORT

**Ramazan GENÇ**

Makine Mühendisi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-6221-3357

**Rasim BEHÇET**

Profesör Doktor, İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Malatya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-6897-3066

**ÖZET:** Bu çalışmada, 2017 yılı içerisinde Malatya Erhaç Havalimanı'na iniş ve kalkış yapan uçaklardan kaynaklanan emisyonların çevresel etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 2017 yılı içerisinde havalimanına inen ve havalimanından kalkan uçaklardan salınan CO<sub>2</sub>, HC, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları IPCC metodolojisi ve Tier 2 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda hava limanına iniş ve kalkış yapan sivil uçak tiplerine göre LTO (Landing and Take Off) sayıları, uçuş fazlarına göre CO<sub>2</sub>, HC, CO, NO<sub>x</sub> emisyon değerleri ve LTO sayılarına göre yakıt tüketimleri belirlenerek irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 2017 yılı içerisinde en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki CO<sub>2</sub> oranı %69, HC oranı %54, CO oranı %64 ve NO<sub>x</sub> oranı %70 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca 2017 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 15.420,18 ton, HC emisyonu miktarı 5,15 ton, CO emisyonu miktarı 42,41 ton ve NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı ise 68,21 ton olarak tespit edilmiştir.

437

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

**ABSTRACT:** In this study, it is aimed to investigate the environmental effects of emissions from airplanes landing and taking off at Malatya Erhaç Airport in 2017. For this purpose, CO<sub>2</sub>, HC, CO and NO<sub>x</sub> emissions emitted from airplanes that landed and departed from the airport in 2017 were calculated using the IPCC methodology and Tier 2 method. In the calculations, the LTO (Landing and Take Off) numbers according to the types of civil aircraft landing and taking off at the airport, CO<sub>2</sub>, HC, CO, NO<sub>x</sub> emission values according to the flight phases and fuel consumptions according to the LTO numbers were determined. According to the results obtained, the CO<sub>2</sub> rate in the total relevant emission values for the B738 type aircraft, which had the highest LTO number in 2017, was 69%, the HC rate was 54%, the CO rate was 64% and the NO<sub>x</sub> rate was 70%. In addition, the annual total CO<sub>2</sub> emissions released by the aircraft using Malatya Erhaç Airport to the surrounding air in 2017 were determined as 15.420,18 tons, HC emissions were 5,15 tons, CO emissions were 42,41 tons, and NO<sub>x</sub> emissions were 68,21 tons.

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

## 1. GİRİŞ

Taşıtlar, bir taraftan insanların yaşamında kolaylıklar sağlarken diğer taraftan çevreye saldırdığı emisyonlar ile insan sağlığında olumsuzluklar meydana getirmektedir. Taşıt kaynaklı çevresel problemler nüfus artışına paralel olarak artan taşıt sayısı ile birlikte gün geçtikçe büyümektedir. Günümüzde enerji kaynağı olarak kullanılan yakıtların büyük çoğunluğu fosil kaynaklı olması nedeniyle taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları çevre havayı kirleterek canlıların yaşamlarında olumsuz etki oluşturmaktadırlar. Geçmişte taşıtlardan kaynaklanan emisyonların büyük bölümünü karayolu taşıtları oluştururken günümüzde hava yolu taşımacılığına olan talebin artması ile uçak kaynaklı emisyonlarda da artış meydana gelmeye başlamıştır. Havayolu taşımacılığı, artan nüfus ile birlikte her geçen gün büyüyen ve gelişen bir ulaşım sektörüdür. Özellikle hava limanlarına yakın olan yerleşim yerlerinde uçaklardan kaynaklanan emisyonların çevresel etkilerinin araştırılması dikkate alınması gereken bir konudur. Günümüzde kullanılan taşıtların büyük çoğunluğu fosil kaynaklı yakıtlar ile çalışmaktadır. Fosil yakıtları oluşturan hidrokarbonların taşıt motorlarında yakılması esnasında gerek motor yapılarındaki aksaklıklar gerekse yakıtların ve havanın özelliklerinden kaynaklanan aksaklıklardan dolayı tam yanma oluşmamaktadır. Tam yanma oluşmadığından dolayı başta yanmamış hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) olmak üzere karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve partikül madde (PM) gibi birçok emisyon taşıt egzozlarından atmosfere salınarak çevre hava kirlenmektedir.

Yeryüzünü saran gazların karışımı olarak tanımlanan ve atmosferde bulunan kuru temiz hava, %78,09 azot, %20,94 oksijen, %0,93 argon, %0,03 karbondioksit, %0,01 su buharı, 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 (Anonim, 2021).

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 (Şahin, 1987). Havacılık faaliyetleri sonucunda insan sağlığını tehdit eden bir takım gaz ve partiküller şeklinde havayı kirleten emisyonlar gerek uçakların yerdeki gerekse havadaki hareketleri neticesinde oluşmakta ve bu emisyonlar çevre havayı kirletmektedir (Turan, 2020). Taşıtlarda kullanılan petrol kaynaklı yakıtların oluşturduğu emisyonlar yanmanın özelliği ile alakalı olup kendi aralarında hava kirliliğinde az etkili olan emisyonlar ve çok etkili emisyonlar şeklinde iki kategoride incelenebilir. Birinci kategoride, içerisinde karbon ve hidrojenin bulunduğu yakıtın oksijen ile buluşturulup tam yanma işlemi gerçekleştiğinde iki temel ürün olan karbondioksit ve su buharı ortaya çıkmaktadır (Turgut, 2019). 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 kategorideki emisyonlara ise, karbon monoksit, azot oksit, yanmamış hidrokarbonlar, sülfür dioksit gazları örnek olarak verilebilir. 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 (NO<sub>x</sub>) ise motorun yüksek devirlerinde oluşmaktadır. Yaklaşık olarak atmosferin %78'ini oluşturan azot gazı, yüksek sıcaklıktaki yanma işlemi sonucunda oksijen ile buluştuğunda azot monoksit ve azot dioksit olarak ortaya çıkmaktadır.

## 1.1.Kirletici Gazlar

### 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 (Atalık, 2005). Uçaklardan kaynaklı karbondioksit miktarı kullanılan yakıtta göre değişebilmektedir. 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.

### Karbon Monoksit (CO)

Karbon monoksit gazı dolaylı olarak meydana gelen sera gazları sınıfındandır 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 (Kutlar, 1998; Şekertekin, 2017).

### 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 artırıcı 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 (Kutlar, 1998).

### 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 (Aydoğan B, 2008).

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. Azot oksitler akciğerdeki nemle birleştiğinde nitrik asit oluşturarak, solunum yolu hastası olanlar için tehlikeli durum oluşturmaktadırlar (Canarslanlar, 2015; Tokgöz, 2019).

## 1.2.Literatür Taraması

Son zamanlarda uçaklardan kaynaklanan emisyonların çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Özgünoğlu ve Uygur tarafından yapılan çalışmada Kahramanmaraş Havalimanındaki uçakların iniş ve kalkışları esnasında uçaklardan kaynaklanan emisyonların (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NMVOC) yerleşim yerleri üzerindeki etkisi Tier yaklaşımlarına göre tahmin edilmiştir (Özgünoğlu ve Uygur, 2017).

Schürmann ve arkadaşları tarafında yapılan çalışmada ise Zurich Havalimanına iniş kalkış yapan uçaklardan kaynaklanan NO, NO<sub>2</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını belirleme işlemi için açık yol (açık yol) aygıtıyla ölçülerek ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı) tarafından yayımlanan emisyon verileri ile karşılaştırılmıştır (Schürmann ve ark., 2007).

Hava limanlarına yakın yerleşim yerlerinde uçak kaynaklı emisyon etkilerinin incelendiği çalışmada Londra Heathrow Havaalanı çevresindeki 7 coğrafik bölgede filtreleme yöntemi kullanılarak NO<sub>x</sub> emisyon değerleri ölçülmüştür (Carslaw ve ark., 2006).

Kesgin, 2001 yılında Devlet Hava Meydanları İşletmesi tarafından kaydedilen uçuş verilerini baz alarak Türkiye'nin en büyük havaalanları arasında yer alan başta Atatürk Havalimanı ve Ankara Esenboğa Havalimanı olmak üzere 40 Türk havalimanında uçak iniş ve kalkış (LTO) emisyonlarının (HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) tahmininin yer aldığı bir çalışma yapmıştır (Kesgin, 2006). Yapılan çalışmada gün ve tarihe bağlı olarak uçak tipi ve sayısı, yolcu sayısı, kargo miktarı, uçuş verileri, vb. kriterler baz alınarak tahmini emisyon hesaplamaları yapılmış ve gelecekteki emisyonları tahmin etmek için, LTO döngülerinde %25'lik bir artışın emisyonlarda ise %31 ile %33 arasında değişen bir artışa neden olabileceği belirtilmiştir.

Ekici ve arkadaşlarının çalışması, Türkiye'nin büyük illeri arasında yer alan ve uçak trafiğinin yoğun olduğu İstanbul Atatürk Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı ve Antalya Havalimanlarında 2012 yılı içerisinde havalimanlarına iniş-kalkış yapan uçaklardan oluşan HC, CO ve NO<sub>x</sub>, emisyonlarının incelenmesi ile ilgilidir (Ekici ve ark., 2013).

Elbir tarafından yapılan çalışmada da Adnan Menderes Havalimanındaki uçakların iniş, kalkış, tırmanış ve yaklaşma durumundaki uçuş verileri baz alınarak uçak kaynaklı HC, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları incelenmiştir (Elbir, 2008).

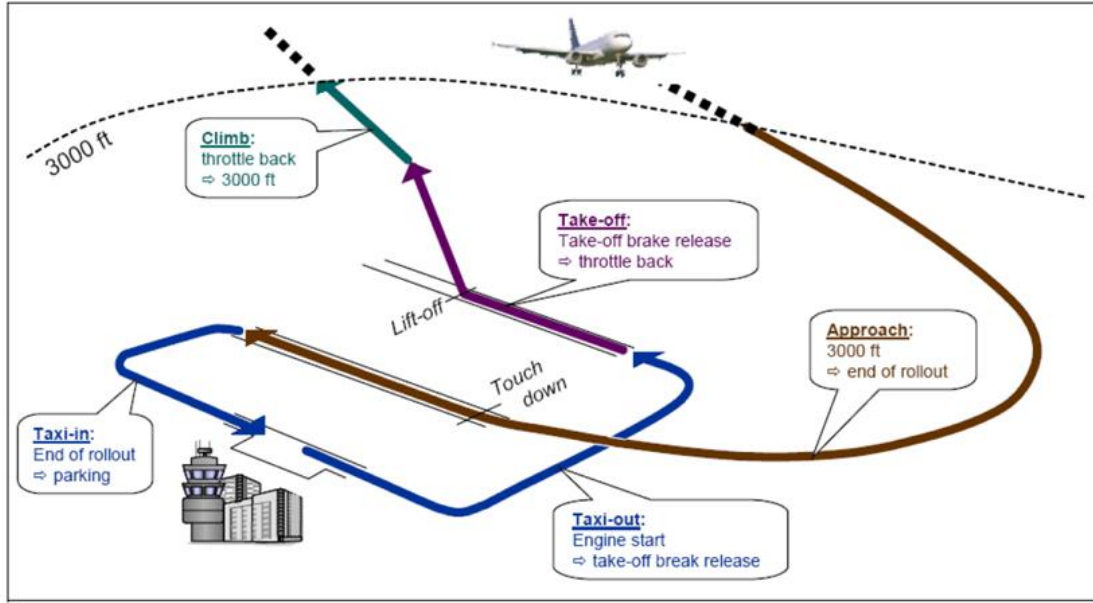
Bu çalışmada, 2017 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre yıllık karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu miktarı belirlenecektir. Ayrıca LTO sayılarına ve uçak tiplerine göre tüketilen yakıt miktarları hesaplanarak havalimanına iniş ve kalkış yapan uçakların çevreye saldıkları emisyonlar (HC, CO, NO<sub>x</sub>) ve bu emisyonların çevre üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye'nin büyük şehirlerinden biri olan Malatya ili, kaysı yetiştiriciliğinin ve ticaretinin merkezi olması nedeniyle birçok yerli ve yabancı tarafından ziyaret edilmektedir. Bu nedenle Malatya Erhaç Havalimanı yoğun bir uçuş trafiğine sahip olduğu söylenebilir. Uçakların havaalanı ve çevresine yaydığı kirletici emisyonlar, 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 süreler ve itki gücü ayarına bağlı olmakla birlikte motor egzoz emisyon veri bankasındaki yakıt akış oranlarına ve emisyon indekslerine de bağlıdır.

### 2.1. 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 (Turan, 2020). Şekil 1'de LTO döngüsünün aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 1. LTO (Landing and take-off) döngüsü (Öztürk, 2011; Anonim, 2021)

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 1’de referans alınacak LTO döngüsü yer almaktadır.

Çizelge 1. Referans alınacak LTO döngüsü (Anonim, 2021)

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

## 2.2. 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.

Havacılıkta emisyon envanteri IPCC’nin yayınlamış olduğu kılavuzlara göre belirlenmektedir. IPCC Havacılık sektöründen kaynaklanan emisyonların hesaplanması için 2006 yılında yayınlanan Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Kılavuzu’nun Enerji başlıklı ikinci cildinin Mobil Yanma alt başlığındaki Sivil Havacılık konusundan istifade edilmektedir (Ünal ve ark., 2014; Anonim, 2021).



### 2.3. 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 (Pekin, 2006).

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. Tier 1 yaklaşımında kullanılan formül Eşitlik 1’de verilmiştir (Babaoğlu ve Özgünoğlu, 2017).

$$\text{Emisyon Miktarı (E)} = \text{Kullanılan Yakıt Miktarı (F)} * \text{Emisyon Faktörü (EF)} \quad (1)$$

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 LTO döngüsü sayısı ve kullanılan uçak motoru tipinin bilinmesi gerekmektedir. Tier 2 yaklaşımında kullanılan formül Eşitlik 2’de verilmiştir (Kumaş ve ark., 2019).

$$\text{Emisyon Miktarı (E)} = \text{İniş ve Kalkış Sayısı (LTO)} * \text{Emisyon Faktörü (EF)} \quad (2)$$

Hesaplamalarda kullanılan LTO (Landing and Take-Off) döngüsüne ve uçak tiplerine göre emisyon faktörleri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Uçak tipleri ve motor modellerine göre emisyon faktörleri.

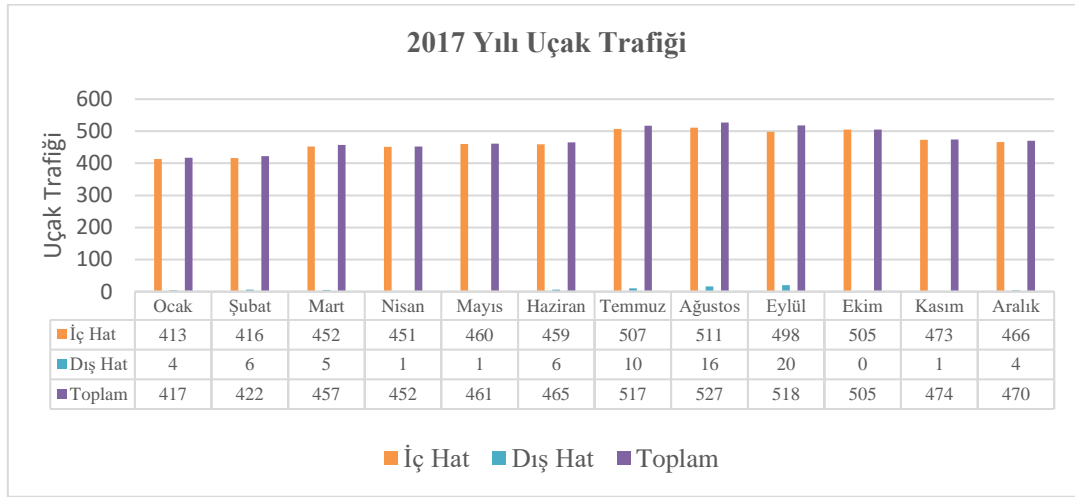
Aircraft Type	Manufacturer	Engine Type	Engine ID	Nb of engines	Fuel Burn (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A306	AIRBUS	jet	1PW048	2	1723.14	5427.89	25.86	1.45	2119.46	14.8	1.25	0.14
A310	AIRBUS	jet	2GE037	2	1530.55	4821.24	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

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 miktarları belirlenmektedir. Dolayısıyla farklı uçuş aşamalarında emisyon miktarları değişkenlik göstermektedir (Anonim, 2021).

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

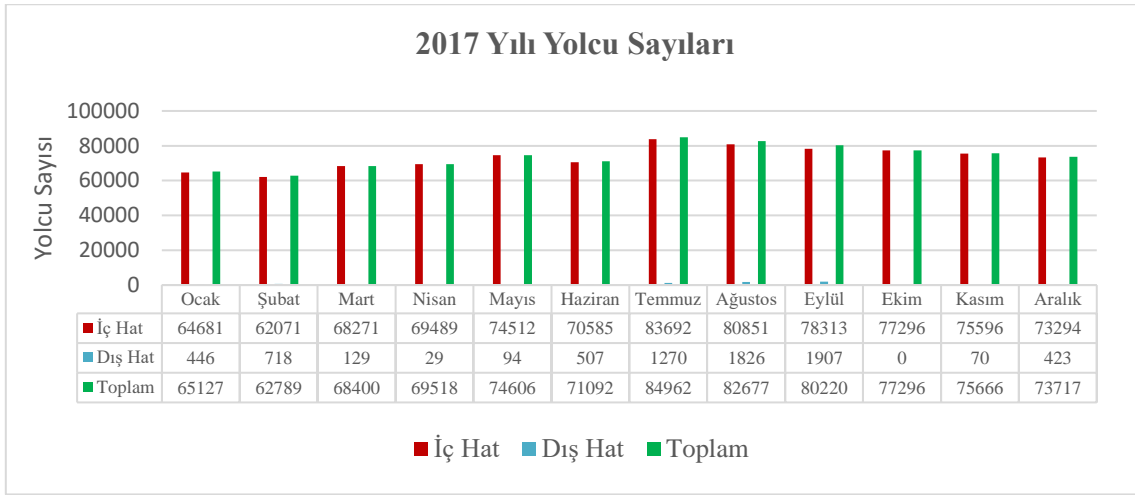
#### 3.1.2017 yılında Erhaç Havalimanını Kullanan Uçak Kaynaklı Emisyonlar

Bu başlık altında Malatya Erhaç Havalimanı için 2017 yılına ait ay bazında uçak trafiği ve taşınan yolcu sayıları verilerek, LTO sayıları uçak tiplerine göre belirlenip her bir uçak tipi için uçuş fazlarına göre HC, CO ve NOx 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.



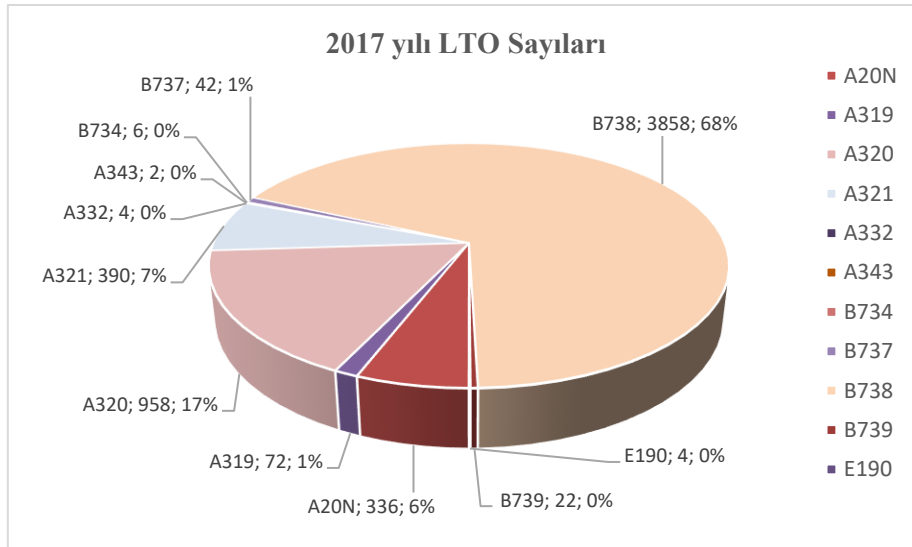
Şekil 2. 2017 yılı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği

Şekil 2' 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 5611 adet, dış hat sefer sayıları 74 adet ve toplam uçak trafiği ise 5685 adet olarak belirlenmiştir. Toplam uçak trafiği içinde dış hat uçak trafiğinin oranı sadece %1,3 olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 2017 yılı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları

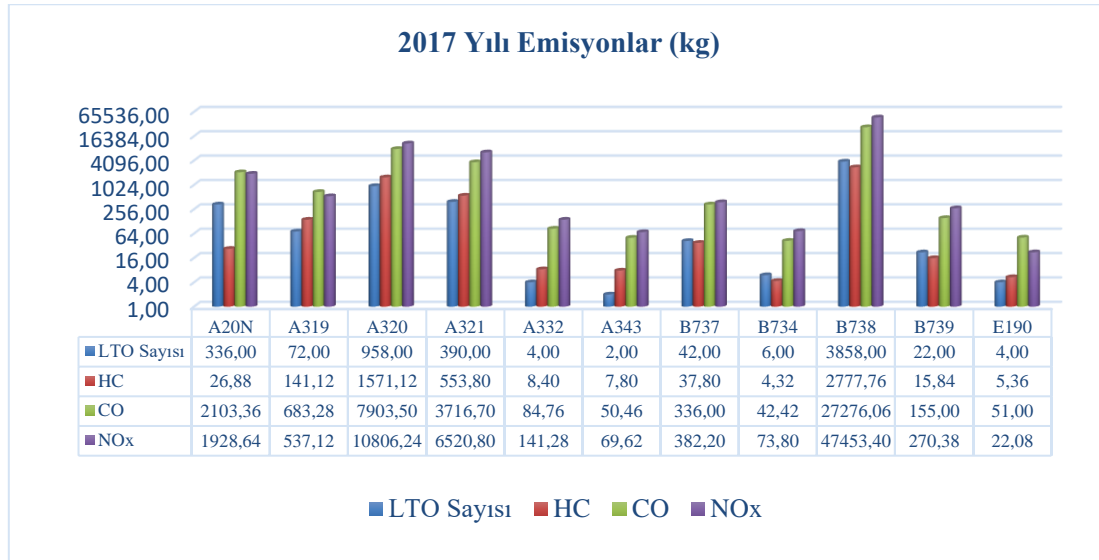
Şekil 3’de 2017 yılı için aylara göre iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları verilmiştir. Grafik incelendiğinde, Malatya Erhaç Havalimanını kullanan toplam iç hat yolcu sayısı 878.651, dış hat yolcu sayısı 7.419 ve toplam taşınan yolcu sayısı ise 886.070 olduğu görülmektedir. Toplam iç hat yolcu sayısının toplam yolcu sayısındaki oranı %99,16 olmaktadır. Bununla beraber, 2017 yılında en fazla yolcunun taşındığı ay 84.962 yolcu sayısı ile temmuz ayı iken en az yolcunun taşındığı ay ise 62.789 yolcu sayısı ile şubat ayı olmuştur.



Şekil 4. 2017 yılı uçak tiplerine göre LTO sayıları

Şekil 4’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.

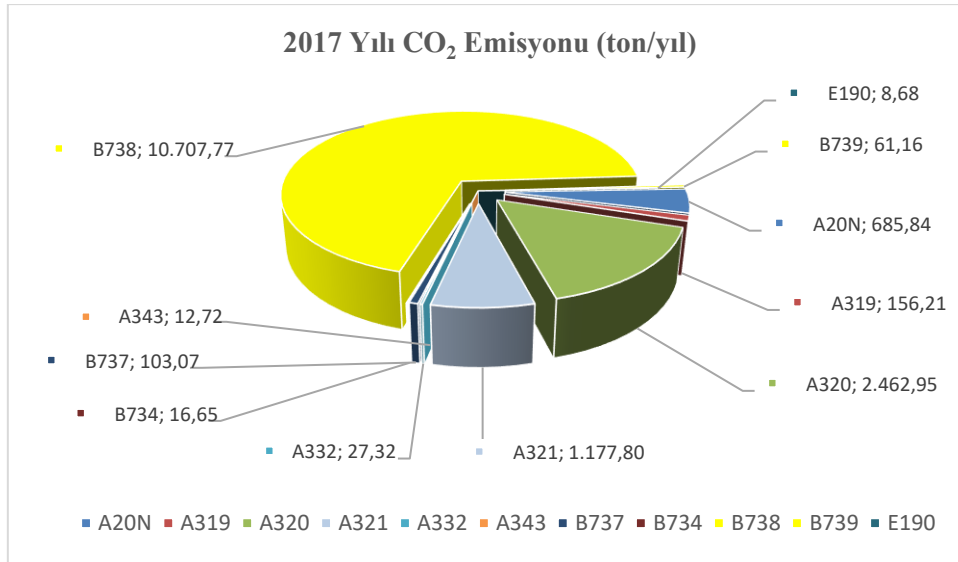




Şekil 5. 2017 yılı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y)

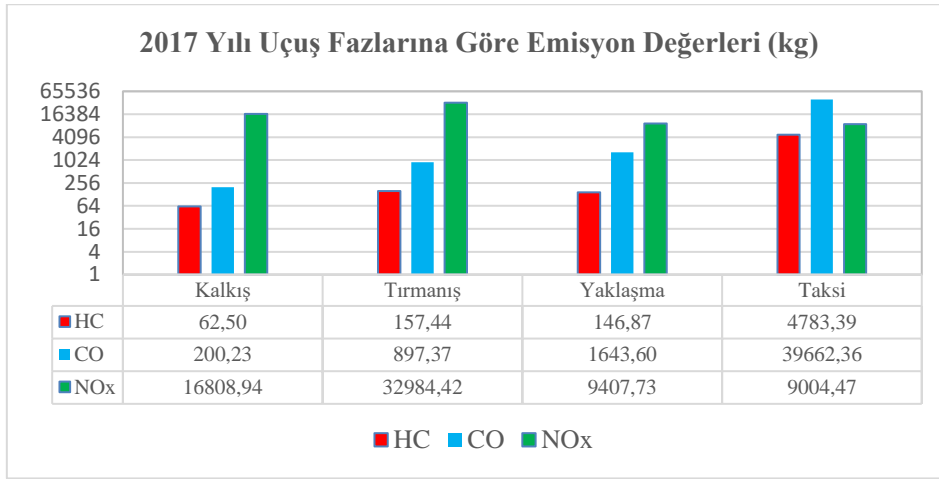
Şekil 5’de 2017 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC, CO ve NOx emisyonları kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm bu emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Emisyon değerlerini etkileyen bir diğer unsur ise 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. 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.

445



Şekil 6. 2017 yılı için uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri (ton/yıl)

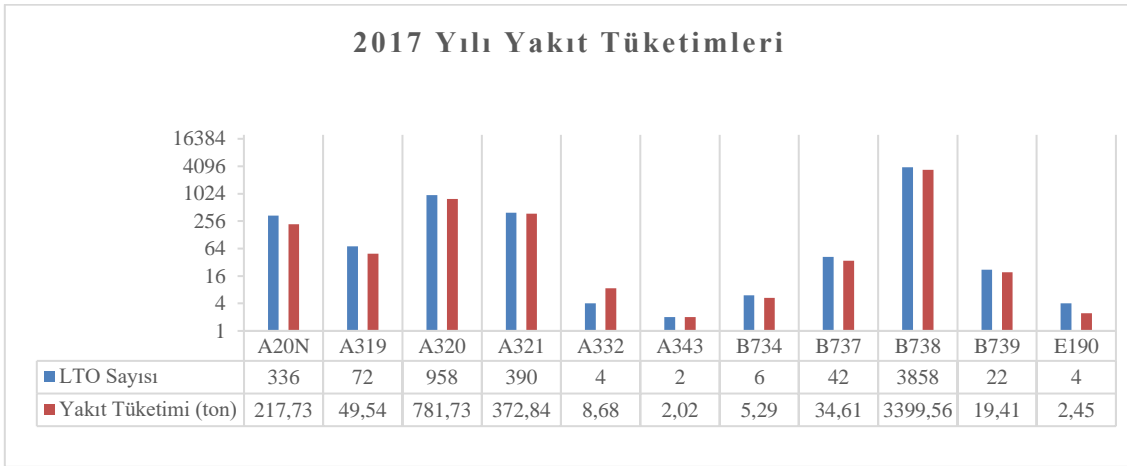
Şekil 6’da 2017 yılında Malatya Erhaç Havalimanını kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu kg/y olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonları içindeki CO<sub>2</sub> oranı %69, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A320 tipi uçak için CO<sub>2</sub> oranı %16 olarak hesaplanmıştır. Bununla beraber, 2017 yılında Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 15.420,18 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. 2017 yılı farklı uçuş fazları için uçak emisyonlarının dağılımı

Şekil 7’de 2017 yılı farklı uçuş fazları için toplam LTO sayısına göre hesaplanan HC, CO ve NOx değerleri görülmektedir. ICAO tarafından belirlenen LTO sürecini incelendiğinde taksi fazının 26 dakika, yaklaşma fazının 4 dakika, tırmanma fazının 2,2 dakika ve kalkış fazının ise 0,7 dakika olup toplam LTO süresi ise 32 dakika 54 saniyedir. %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.

446



Şekil 8. 2017 yılı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (ton)

Şekil 8’de 2017 yılında LTO sayılarına ve uçak tiplerine göre tüketilen yakıt miktarları ton cinsinden verilmiştir. Grafik incelendiğinde 3858 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 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 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.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, 2017 yılı içerisinde Malatya Erhaç Havalimanı’nı kullanan uçaklardan kaynaklanan kirletici emisyonlar arasında yer alan başta CO<sub>2</sub>, CO, HC ve NO<sub>x</sub>, emisyonları olmak üzere hava içerisindeki tüm kirletici emisyonlar dikkate alınarak hesaplama tahminleri yapılmıştır. Hesaplamalar, Devlet Hava Meydanları İşletmesi tarafından kaydedilen uçuş verileri kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca emisyon faktörlerini belirlemek için ICAO Motor Emisyon Veri Bankası kullanılarak uçakların iniş, kalkış ve taksi süresinin uçak emisyonlarına etkisi incelenmiştir. 2017 yılı içerisinde 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 olmuştur. Yıl boyunca taşınan yolcu sayısı aylar itibariyle birbirine yakın olmakla birlikte 2017 yılında en fazla yolcunun taşındığı ay 84.962 yolcu sayısı ile temmuz ayı olurken en az yolcunun taşındığı ay ise 62.789 yolcu sayısı ile şubat ayı olmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre 2017 yılı içerisinde en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 uçak tipi 3.399,56 ton yakıt tüketerek çevre havaya en fazla emisyon salınımı yapmıştır. Malatya Erhaç Havalimanı’nı kullanan uçakların çevre havaya saldıkları yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 15.420,18 ton, HC emisyonu miktarı 5,15 ton, CO emisyonu miktarı 42,41 ton ve NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı ise 68,21 ton olarak hesaplanmış olup bu emisyonlar çevre ve canlılar için zararlı etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Uçakların kalkış, havalimanındaki park pozisyonundan varış ve 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 sağlanarak hem uçaklardan kaynaklanan emisyonlar azaltılabilecek hem de emisyonları azaltmaya yönelik çalışma ile gürültü kirliliği de azaltacaktır.

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**

- Anonim, 2021. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013/> (Erişim Tarihi: 15.07.2021).
- Anonim, 2021. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>. The Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf). (Erişim Tarihi: 18.01.2021).
- Atabey T, 2013. Karbon ayak izinin hesaplanması. Diyarbakır örneği/The calculation of the carbon footprint. The city of Diyarbakır.
- Atalık A, 2005. Küresel Isınma, Su Kaynakları ve Tarım Üzerine Etkileri. Ziraat Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Aydoğan B, 2008. Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NOx Emisyonlarının ve NOx Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Babaoğlu N, Özgünoğlu K, 2017. Kahramanmaraş havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyonların belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (3): 24-30.
- Canarlanlar AO, 2015. Hava Trafik Yönetiminin Uçaklarda Yakıt Tüketimi ve Emisyona Olan Etkilerinin Gerçek Uçuş Verilerine Dayalı Analizi ve Bir Model Önerisi/Doktora Tezi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Carslaw DC, Beevers SD, Ropkins K, Bell MC, 2006. Detecting and Quantifying Aircraft and Other On Airport Contributions To Ambient Nitrogen Oxides in the Vicinity of a Large International Airport. Atmospheric Environment. 40: 5424–5434.
- Ekici S, Yalin G, Altuntaş O, Karakoç TH, 2013. Calculation of HC, CO and NOx from Civil Aviation in Turkey in 2012. International Journal of Environment and Pollution. 53: 232–244.
- Elbir T, 2008. Estimation of Engine Emissions From Commercial Aircraft at a Midsized Turkish Airport, Journal of Environmental Engineering. 134: 210-215.
- Kesgin U, 2006. Aircraft emissions at Turkish airports, Energy 372–384
- Kumaş K, İnan O, Özhan A, Akyüz AÖ, Güngör A, 2019. Muğla Dalaman Havalimanı Uçaklardan Kaynaklanan Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 7(2): 291-297.
- Kutlar O, Ergeneman M, Arslan H, Mutlu M, 1998. Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özgünoğlu K, Uygur N, 2017. Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (3): 24-30.
- Öztürk O, 2011. Kayseri Erkilet Havalimanındaki Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Pekin MA, 2006. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Schürmann G, Schafer K, Jahn C, Hoffmann H, Bauerfeind M, Fleuti E, Rappengluck B, 2007. The Impact of NOx, CO and VOC Emissions on the Air Quality of Zurich Airport. Atmospheric Environment, 41: 103-118.
- Şahin C, 1987. Gazi Üniversitesi/Eğitim Fakültesi, Hava Kirliliği ve Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler, Ankara.
- Şekertekin Y, 2017. Türkiye İç Hat Uçuşlarından Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi. Bülent Ecevit Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

- Tokgöz MA, 2019. Motorlu Kara Taşıtlarında Karbon Dioksit ve Hava Kirletici Emisyonlarının Tarihsel Gelişimi ve Elektrikli Araçlara Geçiş ile Sağlanabilecek Potansiyel Emisyon Azaltımları/Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Medeniyet Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Turan P, 2020. Yeşil Havalimanı Kapsamında Sera Gazı Emisyonları / İstanbul Havalimanı Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi-Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.
- Turgut ET, 2019. Anadolu Üniversitesi-Havacılık Yönetimi-Ünite 7. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Ünal İT, Türkoğlu F, Doğan B, 2014. Nevşehir Kapadokya Havalimanının Emisyon ve Gürültü Açısından Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makine.