

2015-2021 Yılları Arasında Muğla İlinde LTO Döngüsü Esnasında B737-800 ve A320 Tip Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonun Gerçek Zamanlı Hesaplanması

Ozan Öztürk^{*1,2} , Murat Taştan³ 

*¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Uçak Gövde Motor Bakım, MUĞLA

²Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık ABD, KAYSERİ

³Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Gövde Motor Bakım, KAYSERİ

(Alınış / Received: 06.02.2024, Kabul / Accepted: 14.03.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 30.04.2024)

Anahtar Kelimeler

*Dalaman Havalimanı,
Milas-Bodrum Havalimanı,
Emisyon Gazı Salınımı,
CO Emisyonu,
NO_x Emisyonu,
HC Emisyonu*

Öz: Son yıllarda en çok mücadele edilen konulardan biri, uçaklar tarafından atmosfere salınan emisyon gazlarıdır. Bu çalışmada, 2015-2021 yılları arasında Dalaman Havalimanı (IATA: DLM, ICAO: LTBS) ve Milas-Bodrum Havalimanı (IATA: BJV, ICAO: LTFE) LTO (Kalkış, Tırmanış ve İniş) sürecinde en sık kullanılan uçak tipleri olan B737-800 ve A320 uçaklarından kaynaklanan emisyon gazları (HC, CO ve NO_x) hesaplanmıştır. Muğla, yılda yaklaşık 6 aylık bir turizm sezonu ile ana turizm destinasyonu olduğundan, Dalaman ve Milas-Bodrum havalimanları Türkiye'nin en yoğun havalimanları arasında yer almaktadır. Hesaplama kullanılan yakıt oranları ve emisyon faktörleri ICAO ve Motor Veri Bankasından alınmıştır. Uçuş verileri ise DHMİ'den temin edilmiştir. Yapılan çalışmada salınan emisyon gazları, Tier 2 yöntemiyle hesaplanmıştır. NO_x emisyonu en çok kalkış ve tırmanış fazında görünürken, CO ve HC emisyonları en çok taksi fazında gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, kalkış ve tırmanış fazlarında motor itki gücünün diğer fazlardan daha yüksek olmasıdır. Taksi fazında ise motor itki gücü en düşük seviyededir, bu nedenle CO ve HC emisyonları daha fazladır.

Real-Time Calculation of Emissions from B737-800 and A320 Aircraft During the LTO Cycle in Muğla Province Between 2015-2021

Keywords

*Dalaman Airport,
Milas-Bodrum Airport,
Emission Gas Release,
CO Emission,
NO_x Emission,
HC Emission*

Abstract: One of the most challenging issues in recent years is the emission gases released into the atmosphere by aircraft. In this study, emissions gases (HC, CO, and NO_x) originating from B737-800 and A320 aircraft, which are among the most frequently used aircraft types in the LTO (Landing and Take-Off) process at Dalaman Airport (IATA: DLM - ICAO: LTBS) and Milas-Bodrum Airport (IATA: BJV, ICAO: LTFE) between 2015 and 2021 have been calculated. Muğla, being a primary tourism destination with approximately a six-month tourism season, Dalaman and Milas-Bodrum airports are among the busiest airports in Turkey. The fuel ratios and emission factors used in the calculations were obtained from ICAO and the Engine Data Bank. Flight data was obtained from DHMI. Emission gases released were calculated using the Tier 2 method. NO_x emissions are most visible during take-off and climb phases, while CO and HC emissions are most prominent during the Taxi phase. This is because the engine thrust power is higher during take-off and climb phases than in other phases. In the Taxi phase, engine thrust power is at its lowest level, which is why CO and HC emissions are more prominent.

*İlgili Yazar, email: ozturkozan@mu.edu.tr

1. Giriş

Havacılık endüstrisi, farklı insanları, kültürleri ve ticari faaliyetleri birbirine bağlayan küresel bir endüstridir [1]. Bugün dünya nüfusunun %51'i uluslararası bir havalimanına yakın yaşarken, %74'ü herhangi bir havalimanına 100 km altında mesafede bulunmaktadır [2]. Küresel havacılığın hızlı büyümesi, uçak motoru emisyonlarıyla ilişkili çevresel endişeleri gündeme getirmiştir. Havacılık, modern hayatımızda kritik bir rol oynarken, uçak motorlarından kaynaklanan emisyonlar hava kirliliğine, iklim değişikliğine ve diğer çevresel etkilere sahip olsa da diğer kaynaklara göre az etkisi vardır [3].

Motor içerisinde meydana gelen yanma sonucu CO, CO₂, SO₂, NO_x gibi emisyon gazları ve partiküller oluşur. Oluşan NO_x emisyonu aşırı yanma sonucu açığa çıkmaktadır. Diğer bir yanma ürünü olan CO emisyonu ise düşük ısılarda yanma sonucu oluşur. Havacılık endüstrisinde hava kirliliği ile mücadele etmenin bir yolu, yanmanın kusursuz olmasını sağlamaktır [4].

Uçaklardan kaynaklanan egzoz emisyonları, insan kaynaklı yüzey emisyonlarına kıyasla daha küçük olduğu pek çok çalışmada kanıtlanmıştır. Tüm petrol ürünlerinin yaklaşık %6'sı havacılık yakıtı olarak kullanılmaktadır. Toplam insan kaynaklı CO₂ emisyonunun yaklaşık %2,6'sı havacılığın endüstrisinden kaynaklanmaktadır. İnsan kaynaklı tüm NO_x emisyonunda havacılığın etkisi %3'ü kadardır. Bununla birlikte, uçak emisyonlarının üst atmosferdeki benzersiz konumu ve hava trafiğinde öngörülen büyüme, bu emisyonların etkilerine özellikle dikkat edilmesini gerektirmektedir [5,6,7].

Çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, Türkiye'deki havaalanları ve uçaklardan kaynaklanan kirlenici emisyonları analiz etmiştir. Kesgin [8], 2001 yılında Türkiye'deki havaalanları için LTO döngüsünde salınan kirlenici emisyonları hesaplayarak Atatürk Havaalanı için en yüksek ve en düşük emisyon miktarlarını belirlemiştir. Schafer ve ark. [9], uzaktan tespit yöntemiyle Frankfurt, Londra ve Viyana havaalanlarının uçak egzoz emisyonlarını incelemiş ve NO_x emisyonlarının ICAO verilerine göre %50 daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Eysers ve ark. [10], 2002 verileriyle 2025 yılı için kirlenici emisyon tahminleri yapmış ve CO₂ ve NO_x emisyonlarının artacağını öngörmüştür. Fleuti ve Polymeris [11], Zürih Havaalanı'ndaki uçakların LTO döngülerini inceleyerek ICAO LTO döngüsüne göre farklılıklar olduğunu göstermiştir. Schürmann ve ark. [12], Zürih Havaalanı'ndaki uçaklardan kaynaklanan emisyonların yerel hava kalitesine etkisini ölçmüş ve CO ve NO emisyonlarının kaynaklarını belirlemiştir. Elbir [13], Adnan Menderes Havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyonları hesaplamıştır. Gökçek ve Bekdemir [14], Türkiye'nin dört büyük havalimanının NO_x emisyonlarını incelemiştir. Ünal A. [15], Atlanta Havalimanı'ndaki kirlenicileri araştırarak partikül madde emisyonlarının ozon gazı emisyonlarından daha fazla olduğunu göstermiştir. Carslaw ve ark. [16], Heathrow Havalimanı'ndaki NO_x emisyonlarının toplam kirleniciler içindeki oranını belirlemiş ve etkilerini uzak mesafeye taşıdığını göstermiştir. Winther ve ark. [17], Kopenhag Havalimanı için emisyon hesaplamaları yapmıştır. Steib ve ark. [18], Macaristan Budapeşte Ferihegy Havalimanı'ndaki uçaklardan kaynaklanan emisyonları incelemiş ve büyük uçaklarda yardımcı güç üniteleri kullanıldığını belirtmiştir. Nikoleris ve ark. [19], 2011 yılında, Dallas/Fort Worth Havalimanı'ndaki uçak operasyonlarına ait yakıt tüketimi ve buna bağlı emisyon değerlerinin tahmin etmeye çalışmışlardır. Çağatan [20], Atatürk Havalimanı'nın çevresel etkilerini belirlemiştir. Öztürk [21], Kayseri Erkilet Havalimanı için emisyonları hesaplamıştır. Altuntaş ve Karakoç [22], iç hat uçuşlarının uçak seçimindeki etkilerini araştırmış ve bölgesel jet uçaklarının kullanılmasının olumlu sonuçlar doğurabileceğini göstermiştir. Yılmaz ve İlbaş [23], gaz türbinli motorlardan kaynaklanan kirlenici emisyonları incelemiştir. Çizmecioglu [24], Türkiye'deki sivil havacılığı değerlendirmiş ve sivil havacılığın ekonomik etkilerini araştırmıştır. Ünal ve ark. [25], Nevşehir Kapadokya Havalimanı'ndaki gürültü ve emisyon ölçümlerini yapmıştır. Canarslanlar [26], iç hat uçuşlarının yakıt tüketimi ve emisyonlarının Hava Sahası ve Trafik Yönetimi ile ilişkisini incelemiştir. Babaoğlu ve Özgünoğlu [27], Kahramanmaraş Havalimanı'ndan kaynaklanan kirlenici gazları tahmin etmiştir. Şekertekin [28], Türkiye iç hat uçuşlarının LTO operasyonlarından kaynaklanan kirlenici emisyonlarına odaklanmıştır. Yılmaz [29], Kayseri Erkilet Havalimanı LTO Safhasında Hava Kirlenicileri (HC, CO, NO_x) Hesaplanmıştır. Kuzu [30], İstanbul Atatürk Havalimanı LTO Emisyonlarının Hesaplanması ve Çevreye Dağılımının Modellenmesi üzerine çalışmıştır. Kumaş ve diğerleri [31], Dalaman Havalimanı LTO Safhasında Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi konusunda araştırma yapmışlardır. Ekici ve Şöhret [32], Isparta Süleyman Demirel Havaalanı'nda Emisyonları, Çevresel Etkileri ve Emisyon Ekonomisini incelemiştir. Keskin ve Ercoşkun [33], Adnan Menderes Havalimanı LTO Safhasında Emisyonların Çevreye Etkisinin İncelemişlerdir. Genç [34], Malatya Erhaç Havalimanı için emisyonları hesaplamıştır. Öz ve Ercoşkun [35], Esenboğa Havalimanı LTO Safhasında Emisyonların Çevreye Etkisinin İncelenmesi üzerine çalışmışlardır. Yıldız [36], çalışmasında uçakların elektrik kullanımının önemini araştırmıştır. Çalışmasında elektrik kullanmanın uçak emisyonlarında yaklaşık %20, gürültüsünde %50 ve yakıt tüketiminde ise %20 azalma sağlayabileceğini tespit etmiştir. Yıldız ve ark. [37] çalışmalarında hibrit uçak tahrikinde kullanılmak üzere elektrik enerjisinin ve geleneksel jet yakıtının WTP emisyonlarını analiz etmişlerdir. Emisyon hesaplamalarının gelecek projeksiyonu, daha fazla yenilenebilir kaynaktan elektrik üretmenin genel emisyonlarda yalnızca %50'lik bir azalma sağladığını tespit etmişlerdir.

Dünyada havaalanlarındaki uçak emisyonlarını tahmin etmeye yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Uçak emisyonlarıyla ilgili ilk çalışmalar, başlangıçta sınırlı sayıda gaz üzerinde odaklanmış olsa da 1980'lerde ve 1990'larda araştırmacılar, egzoz gazlarının detaylı kimyasal bileşimine ek olarak, uçak türbin motorları tarafından yayılan parçacıkların kimyasal ve fiziksel özelliklerini inceleyerek odak noktasını genişletmişlerdir [38].

Amerikan hükümeti tarafından yapılan çalışma, havaalanı kaynaklı emisyonların hesaplanmasına yönelik ilk girişimlerden biridir. EPA Raporu, 5 ana bölüm ve A'dan H'ye kadar olan 8 ekten oluşmaktadır. Raporu, 1970 ile 1995 arasında uçak emisyonlarının trendini gösteren veriler sunulmuş, 2010 yılı için tahminler yapılmıştır [39]. Bajgai ve Shrestha [40], Tribhuvan Uluslararası Havalimanı'ndan (TIA) kaynaklanan iniş ve kalkış döngüsü (LTO) emisyonlarının ve bu emisyonların Katmandu vadisindeki ortam hava kalitesine olan etkilerini araştırmışlardır. Yazarlar, LTO emisyonlarının yılda 898 ila 2123 ton arasında değiştiğini hesaplayarak, bu emisyonların hava kalitesine en yüksek etkiyi muson öncesi mevsimde gösterdiğini belirtmişlerdir.

Cao ve arkadaşları [41], çeşitli taksi yapma yöntemlerini karşılaştırmış ve farklı taksi yapma yöntemlerindeki emisyonları hesaplayarak çevresel etkilerini değerlendirmişlerdir. Çin, Xining Uluslararası Havalimanı'ndan alınan fiili operasyonel verilere dayanan değerlerde beş taksi yöntemi için yakıt tüketimi ve kirlenici emisyon karşılaştırmaları yapmıştır. Bu yöntemler arasında tam motorlu taksi, tek motorlu taksi, sevk çekme, yerleşik sistemler ve yüzey trafik yönetimi bulunmaktadır. Sonuçlar, yeni yöntemlerin geleneksel yöntemlere göre daha çevre dostu olduğunu göstermektedir. Ayrıca, 2024-2035 yılları arasında yapılan tahminler de sunulmuştur.

Görüldüğü gibi, uçak emisyonları konusu son yılların en trend konularından biridir ve bu alanda çok sayıda bilimsel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma, Dalaman Havalimanı ve Milas-Bodrum Havalimanı'nda 2015-2021 yılları arasında gerçekleşen LTO süreçlerinde B737-800 ve A320 uçaklarından kaynaklanan emisyon gazlarını (HC, CO ve NO_x) analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu araştırma, ICAO ve Motor Veri Bankası'ndan alınan yakıt oranları ve emisyon faktörleri kullanılarak Tier 2 yöntemini temel almaktadır. Çalışmanın özgünlüğü, Muğla ili için 2015-2022 yılları arasında hesaplanan emisyon değerlerine dayanarak geleceğe yönelik tahminlerde bulunmaktadır. Çalışma, 2020 pandemi dönemini ve sonrasını da içermektedir. Ana hedef, kişi başı emisyonları hesaplamak ve azaltmak için önerilerde bulunarak çevresel etkileri anlamak ve minimize etmektir.

2. Materyal ve Metot

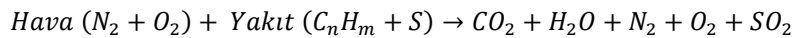
Çalışmada salınımı hesaplanan CO emisyonu yanmanın düşük sıcaklıkta gerçekleştiği zaman görülen ve canlılar için son derece tehlikeli olan zehirli bir emisyon gazıdır. Diğer hesaplanan NO_x' in yanma sırasında yüksek sıcaklıkta tepkimeye giren nitrojen atomuyla (N) oksijen moleküllerinden (O₂) oluşan nitrik oksit gazı (NO) ve nitrojen dioksit NO₂ gazıdır [4]. Dalaman (IATA: DLM- ICAO: LTBS) ve Milas- Bodrum havalimanı (IATA: BJV, ICAO: LTFE) için 2020-2022 yılları arasında kalkış ve iniş süreçlerinde uçakların CO ve NO_x salınımları hesaplanmıştır. Yakıt oranları ve emisyon faktörleri ICAO ve Motor Veri Bankasından alınmıştır. İlgili havaalanının 2020-2022 yılları arasında ait uçuş verileri DHMİ'den alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, uçuş zarfının kalkış, tırmanış, iniş ve taksi görevlerine göre, 2015-2021 yılları için NO_x, HC ve CO emisyonlarını iç ve dış hat ayrımı yaparak hesaplanmıştır. Her iki havalimanı için emisyon hesaplamada kullanılan yöntem Tier 2 metodudur.

2.1. Uçak Emisyonlarının Hesaplanması

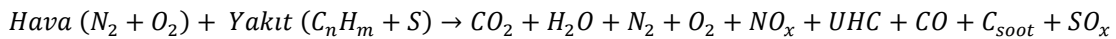
Havacılık tarafından üretilen kirlenitçiler, uçaklarda yakıt olarak kullanılan jet yakıtı ve havacılık benzininin (bu, yalnızca küçük uçaklar ve piston motorlara sahip helikopterler tarafından kullanılır) yanması sonucunda ortaya çıkar. Ana emisyon türleri şunlardır: CO₂, NO_x, H₂O buharı, CH₄, CO, SO_x, metan dışı uçucu organik bileşikler, partikül madde (PM).

Aşağıda bir uçak motorundaki hava-yakıt akışını ve yanma süreci verilmiştir. Kimyasal süreç sonunda elde edilen emisyon gazları ve partiküller aşağıda verilmiştir [42].

İdeal Yanma;



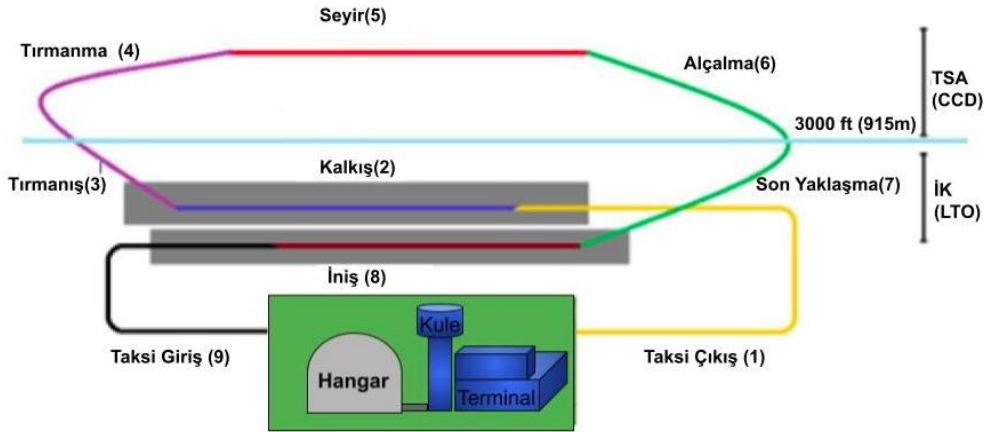
Gerçek Yanma;



LTO döngüsü içinde emisyonları, dört operasyon modundan kaynaklanan emisyonlar olarak kabul ederiz. Bunlar; Yaklaşma, Taksi, kalkış, 3000 ft (~1915 m) yüksekliğe tırmanma şeklindedir [43]. Şekil 1 'de gösterildiği gibi, Tipik bir LTO ve CCD döngüsü birkaç uçuş aşamasını içerir. Bunlar aşağıda verilmiştir.

- Taksi çıkışı (1)
- Kalkış (2)
- Tırmanış Başlangıcı (Çıkışı) (3)
- Tırmanış (4)
- Seyir (5)
- Alçalma (6)
- Son yaklaşım (7)
- İniş (8)
- Taksi girişi (9)

Bu aşamalar tipik bir uçuşun genel özeti olmaktadır [44].



Şekil 1. Tipik bir LTO ve CCD döngüsü [43]

Uçuş için gerçekleşen faaliyetler, "uçuş hareketi" bir uçak taksi yapmaya başladığı anda başlar ve uçak taksiyi sonlandırdığı anda sona erer. Havaçılıktan kaynaklanan egzoz emisyonları yakıtın yanmasından kaynaklanır. Uçuş hareketleriyle ilgili tüm faaliyetler sırasında ortaya çıkarlar. Şekil 2'de gösterildiği ve aşağıda listelendiği gibi faaliyet grupları halinde gruplandırılabilirler:



Şekil 2. Uçuş Hareketleri ile İlgili Faaliyetler

Yukarıda listelenen uçuş hareketleriyle ilgili faaliyetlerden, küresel yakıt kullanımı ve emisyon envanterlerinin mümkün olduğu üç ana faaliyet şunlardır:

- Kalkış Faaliyetleri
- CCD Faaliyetleri
- Varış Etkinlikleri [44].

Uçaklardan kaynaklanan egzoz emisyonlarını hesaplama yöntemleri, IPCC tarafından üç farklı (Tier 1, Tier 2 ve Tier 3) yaklaşım olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada Tier 2 yöntemi ile uçak tiplerine göre LTO döngülerini kullanarak emisyonları hesaplanmaktadır. Hesaplama yönetmelerinde kullanacağımız kalkış evresinde üç mod vardır. Bunlar sırasıyla; taksi çıkış, kalkış ve tırmanmadır. İniş evresinde yine üç mod vardır. Bunlar; son yaklaşma, iniş ve taksi giriştir. Her modda motor gücü farklıdır. Hesaplamalarda bu önem arz eder. Hesaplamaya dahil olmayan evre düz uçuş evresidir yine o da üç moda sahiptir. Bu modlar tırmanış, seyir ve alçalmadır. Uçuş bilgileri DHMİ genel müdürlüğünden alınmıştır [45]. Emisyon salınımı değerlerini hesaplamak için ICAO'dan [43] uçuş faz süreleri ve Motor Veri Bankasından uçuş faz yakıt debisi, uçuş faz emisyon indeksleri ve uçuş faz itki değerleri alınarak aşağıdaki denklemde kullanılmıştır [46,47,48].

$$E_{i,m} = \sum_a \sum_e n_a \cdot l_{a,e} \cdot F_{a,e,m} \cdot E_{m,e,i} \cdot t_{m,a} \quad (1)$$

Buradaki denklemde,

$E_{i,m}$: Yıllık Hava Kirliliği Emisyonu [gr/y]
n_a	: Uçak Sayısı
$l_{a,e}$: Uçak Modelinin Yıllık Sayısı
$F_{a,e,m}$: Yakıt Debisi [kg/sn]
$E_{m,e,i}$: Emisyon İndeksi [gr/kg yakıt]
$t_{m,a}$: Uçak Tipi İçin Faz Süresi [sn]

Olarak tanımlanır.

Tablo 1'te uçuş fazları, uçuş faz süreleri ve itki değerleri görülmektedir.

Tablo 1. Eklenecek tablo [3].

Evre	Uçuş Fazı	Motor Modu	İtki Ayarı	Harcanan Süre	
				(Saniye)	(Dakika)
Kalkış	Taksi Çıkış (1)	Rölanti	%7 F_{00}	1140	19
	Kalkış (2)	Kalkış	%100 F_{00}	42	0.7
	Tırmanış (3)	Tırmanış	%85 F_{00}	132	2.20
İniş	Son Yaklaşma (7)	Yaklaşma	%30 F_{00}	200	3.4
	İniş (8)	Yaklaşma	%30 F_{00}	40	0.6
	Taksi Giriş (9)	Rölanti	%7 F_{00}	420	7

LTO döngüleri için uçak tipleri ve emisyon değerlerinin yanı sıra uçak tipi başına kg/LTO cinsinden yakıt tüketimi örnekleri (ICAO varsayılan LTO süresi: 32 dakika 54 saniye) Tablo 2'de verilmiştir [44].

Tablo 2. LTO Döngüleri İçin Uçak Tipleri ve Emisyon Değerlerinin Yanı Sıra Uçak Tipi Başına Kg/LTO Cinsinden Yakıt Tüketimi [41].

Uçak Tipi	Motor Adı	Yakıt Yanması (Kg)	CO ₂ (Kg)	NO _x (Kg)	SO _x (Kg)	H ₂ O (Kg)	CO (Kg)	HC (Kg)	PM Toplam (Kg)
A320	3CM026	816,17	2570,93	11,28	0,69	1003,89	8,25	1,64	0,07
B737-800	8CM051	881,1	2775,47	12,3	0,74	1083,75	7,07	0,72	0,07

B737 ve A320 tip uçaklar için Muğla ili LTO değerleri Gerçek zamanlı iniş kalkış süreleri ICAO 1995 tarihli değerlerinden farklıdır ve aşağıda verilmiştir [49]. Burada görüldüğü üzere ICAO LTO döngüsünü 32 dk 54 sn kabul edilse de gerçek zaman ortalama olarak daha düşük süredir. Bu da emisyonların yayılma miktarı açısından önemlidir. Tablo3'te gerçek zamanlı LTO döngüsü sürelerini vermektedir. ICAO'nun süreleri ortalama sürelerdir ve havalimanından havalimanına farklılık göstermemektedir.

Tablo 3. B737-800 ve A320 Tip Uçaklar İçin Gerçek Zamanlı Uçuş Fazları, Uçuş Faz Süreleri [49].

Havaalanı	Taxi-in (dk)	Taxi-out (dk)	Kalkış (dk)	Yaklaşma (dk)	Tırmanma (dk)	LTO Toplam (dk)
Dalaman DLM	4,2	8,0	0,5	5,4	1,1	19,2
Milas- Bodrum BJV	5,2	6,9	0,5	3,4	1,0	17,0

2.2. B737 Ailesi ve A320 Ailesi Verileri

Boeing, Amerikan menşeli bir uçak üreticisidir. Dünyada en yaygın kullanılan yolcu uçağı aile ailesinden birisi de B737 ailesidir. B737, ilk kez 9 Nisan 1967'de uçuş yapan ve 10 Şubat 1968'de Lufthansa'da hizmete giren tek koridorlu, dar gövdeli bir uçaktır [50]. Diğer üretici Avrupalı Airbus ise yine en yaygın kullanılan A320 ailesini üreterek boeing'in pazarına ortak olmaktadır [51]. Aşağıda bu iki uçak ailesinin fertlerinden olan B737-800 ve A320 uçaklarına ait motor verileri talo4'te, sipariş verileri ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Uçak Tiplerine Ait Motor Bilgileri

ICAO Kodu	Uçak Adı	Motor Sayısı	Motor Tipi	Yaygın Kullanılan Motor Modelleri
B738	Boeing 737-800	2	Turbojet	CFM56-7B26, CFM56-7B22, CFM56-7B27
A320	Airbus A-320	2	Turbojet	CFM56-5B4/P, V2527-A5

Yukarıda görüldüğü üzere her iki tip yolcu uçağı farklı motor tipleri kullanmaktadır. Bunun nedenlerinden biri operatörlerinin tercihine göre motor tercihinin değişmesidir [50,51].

Tablo 5. Uçak Tiplerine Ait Motor Bilgileri

Uçak	Sipariş	Teslimatlar	Doldurulmayan Siparişler	İlk Uçuş
737-800	4.991	4.989	2	31 Temmuz 1997
A320	4.763	4.752	11	26 Şubat 1988

Tablo 5'e baktığımızda her iki uçak tipi birbirlerine yakın sipariş almışlardır. Türkiye'de faaliyet gösteren havayolları filolarında bulunan B737-800 ve A320 uçaklarının sayıları tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Türk şirketlerinde B737-800 ve A320 uçak sayıları

Şirket	737-800	A320
THY	85	18
Pegasus	17	54
Anadolujet	45	10
SunExpress	62	-
Corendon	14	-
Freebirth	-	10
MGA Havayolları	3	-
Toplam	226	92

Türkiye'de tescilli yolcu uçağı sayısı Ağustos 2023 yılı itibarıyla 638 adettir. Türk tescilli B737-800 ve A320 uçaklarının sayısı 318 adettir. Bu sayı toplam tescilli uçakların neredeyse %50'sine karşılık gelmektedir [45].

2.3. Havalimanları ve Uçuş Verileri

Muğla ili içerisinde iki adet uluslararası tarifeli ve tarifersiz uçuş yapılabilen havalimanı bulunmaktadır. Bunlardan biri Dalaman havalimanıdır diğeri ise Milas-Bodrum havalimanıdır. Aşağıda haritada konumları verilmiştir.



Şekil 3. Havalimanlarının haritada gösterimi [45]

2.3.1. Dalaman Havaalanı İçin Hava Trafiği Verileri

Dalaman Havalimanı (IATA: DLM, ICAO: LTBS) Muğla'nın Dalaman ilçesi sınırları içerisinde bulunan sivil, askeri amaçla kullanılan uluslararası havalimanıdır. Şehir merkezinin 6 km güneyinde yer alan havalimanı Muğla'ya hizmet veren iki uluslararası havalimanından biridir. Koordinatları 36° 42' 52"N 28° 47' 33" E ve rakım yaklaşık 6.15 m'dir. Dalaman Havalimanı 57 havaaracı park kapasiteli, 3000x45m ölçülerinde beton pisti olan ve CAT I (Kategori I) niteliklerine sahiptir. 2015-2022 yıllarına ait yolcu ve uçak trafiği verileri aşağıdaki gibidir.

Tablo 7. Dalaman Havalimanı Yolcu Trafiği Verileri (2015-2022)

Yıl	İç Hat	Dış Hat	Toplam
2015	1.229.318	3.152.765	4.382.083
2016	1.279.611	1.822.291	3.101.902
2017	1.461.033	2.257.735	3.718.768
2018	1.615.590	2.935.900	4.551.490
2019	1.583.089	3.321.930	4.905.019
2020	756.473	830.652	1.587.125
2021	1.393.116	930.758	2.323.874
2022	1.520.015	3.015.585	4.535.600

Tablo 7'ye bakıldığında trafiğin en yoğun olduğu yıl covid-19 Pandemisi öncesi 2019 yılıdır. 2022 yılında bile havacılık pandemi öncesi değerlere ulaşamamıştır.

Tablo 8. Dalaman Havaalanı Uçuş Trafiği Verileri (adet/yıl)

Tip	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar
B738	6.170	6.358	6.653	3.973	5.594	3.617	4.960	5.413	5.292	6.999	3.107	2.486	6.497	2.978
%'lik pay	67,74	35,42	69,94	35,31	56,67	28,64	46,49	32,87	51,09	38,73	51,58	46,03	61,96	54,56
A320	1.526	3.582	1.167	3.108	1.843	2.480	2.012	3.241	1.503	2.698	854	850	1.604	593
%'lik pay	16,75	19,95	12,27	27,62	18,67	19,64	18,86	19,68	14,51	14,93	14,18	15,74	15,30	10,86
Diğer	1.413	8.012	1.693	4.171	2.435	6.531	3.697	7.815	3.564	8.374	2.063	2.065	2.385	1.887
%'lik pay	15,51	44,63	17,80	37,07	24,67	51,72	34,65	47,45	34,40	46,34	34,25	38,23	22,74	34,57

Tablo 8'e baktığımızda 2016 yılında dalaman havalimanına yapılan her üç iç hat uçuşundan iki B737-800 uçağıyla yapılmıştır. A320 uçağının payı 12,27 iken diğer tüm uçak tiplerinin payı yaklaşık %17,8'de kalmıştır. 2021 yılında Boeing 737-800 dış hatlar uçuşlarının yarısından fazlasında kullanılmıştır. A320 kullanımı 2018 de iç hatlarda %18,86 iken dış hatlarda en fazla 2016 yılında %27,62 oranında kullanılmıştır.

2.3.2. Milas-Bodrum Havaalanı İçin Hava Trafiği Verileri

Milas-Bodrum Havalimanı (IATA: BJV, ICAO: LTFE) Muğla'nın Milas ilçesi sınırları içerisinde bulunan sivil amaçla kullanılan uluslararası havalimanıdır. Bodrum'a 32 km, Milas'a 12 km, Muğla'ya 76 km yer alan havalimanı

Muğla'ya hizmet veren iki uluslararası havalimanından biridir. Koordinatları 37°15'02''K 27°39'51''D ve rakım yaklaşık 6 m'dir.

Tablo 9. Milas-Bodrum Havaalanı Yolcu Trafiki Verileri (2015-2021)

Yıl	İç Hat	Dış Hat	Toplam
2015	2.309.115	1.568.758	3.877.873
2016	2.312.042	909.734	3.221.776
2017	2.576.262	925.268	3.501.530
2018	2.670.185	1.505.927	4.176.112
2019	2.464.398	1.873.335	4.337.733
2020	1.010.734	469.605	1.480.339
2021	1.908.796	1.000.541	2.909.337
2022	2.045.632	1.852.895	3.898.527

Tablo 9'a bakıldığında trafiğin en yoğun olduğu yıl covid-19 Pandemisi öncesi 2019 yılıdır. 2022 yılında bile havacılık pandemi öncesi değerlere ulaşamamış ve 2016 değerlerine ancak ulaşmıştır.

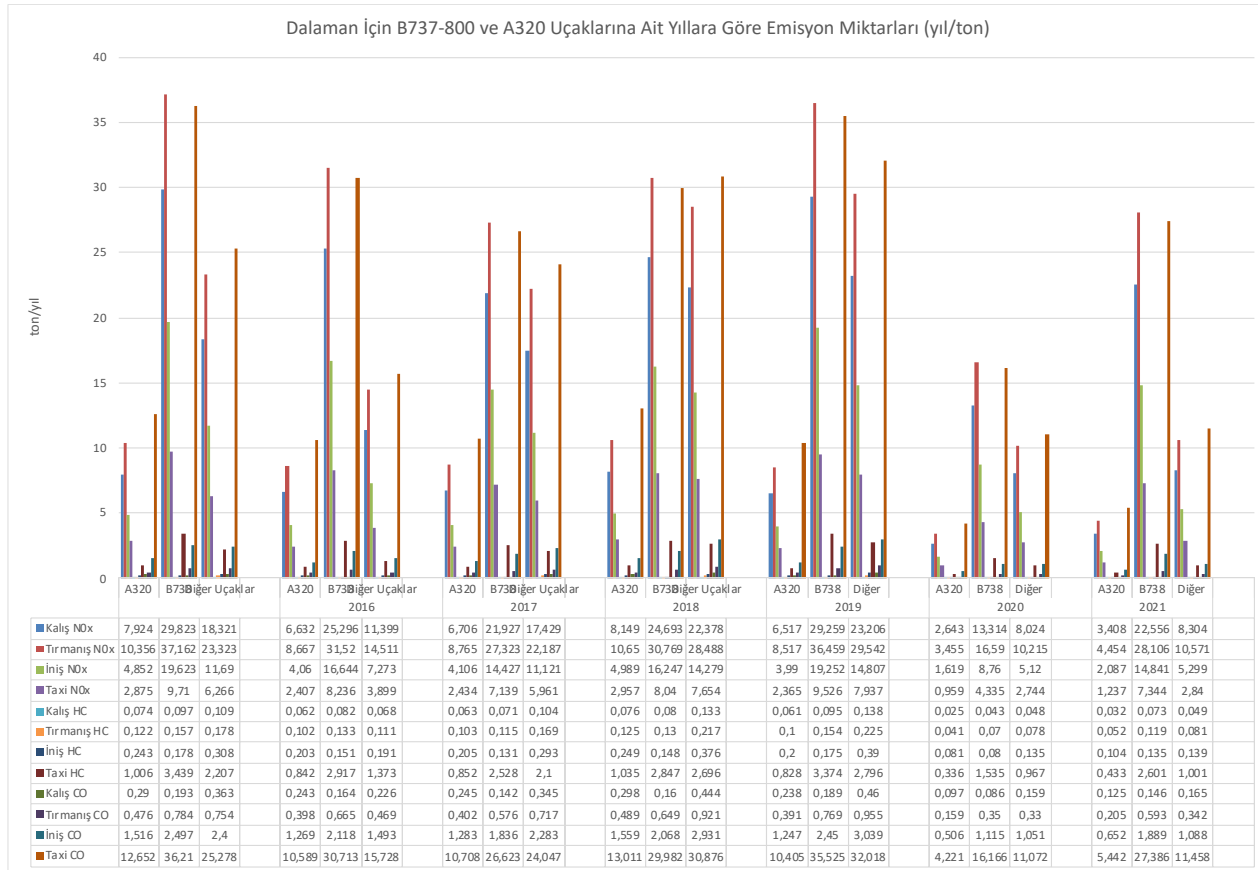
Tablo 10. Milas Bodrum Havaalanı Uçuş Trafiki Verileri (2015-2021)

Tip	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar	İç Hatlar	Dış Hatlar
B738	10179	4166	9838	2929	9467	2566	9039	3566	9431	4697	4232	1125	6.497	3.319
%'lik pay	62,17	42,04	60,23	45,07	56,22	42,41	51,51	38,00	57,23	42,67	55,64	40,12	48,09	49,75
A320	2452	2528	2333	1960	3565	1471	3531	2368	2693	3198	1034	400	1.604	886
%'lik pay	14,97	25,51	14,28	30,16	21,17	24,31	20,12	25,23	16,34	29,05	13,59	14,27	11,87	13,28
Diğer	3.743	3.216	4.162	1.610	3.807	2.014	4.978	3.450	4.354	3.113	2.340	1.279	5.409	2.467
%'lik pay	22,86	32,45	25,48	24,77	22,61	33,28	28,37	36,76	26,42	28,28	30,77	45,61	40,04	36,98

Tablo 10'a baktığımızda 2016 yılında Milas Bodrum havalimanına yapılan uçuşların %60' ı B737-800 uçağıyla yapılmıştır. A320 uçağının payı 14,28 iken diğer tüm uçak tiplerinin payı yaklaşık %25,48'de kalmıştır. 2021 yılında Boeing 737-800 dış hatlar uçuşlarının yarısından fazlasında kullanılmıştır. A320 kullanımını 2018 de iç hatlarda %20,12 iken dış hatlarda en fazla 2016 yılında %25,23 oranında kullanılmıştır.

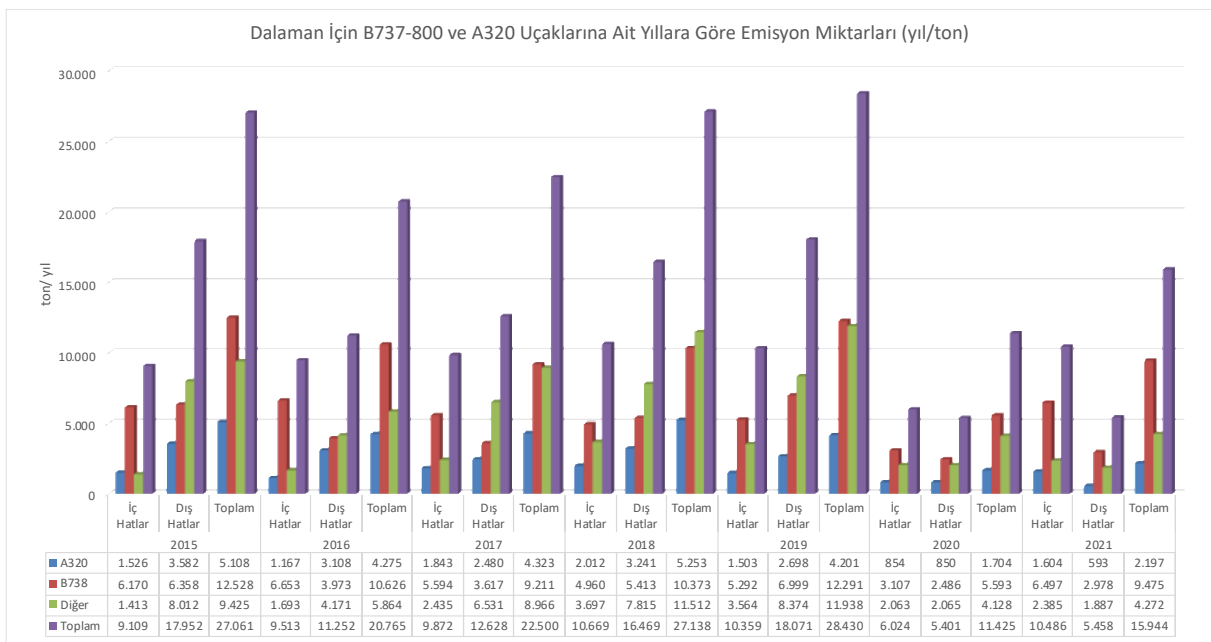
3. Bulgular

3.1. Dalaman Havaalanı İçin Emisyon Değerleri



Şekil 4: Dalaman Havalimanı için 2015-2022 Yılları Arasında Emisyon Gazlarının Salınım Miktarı

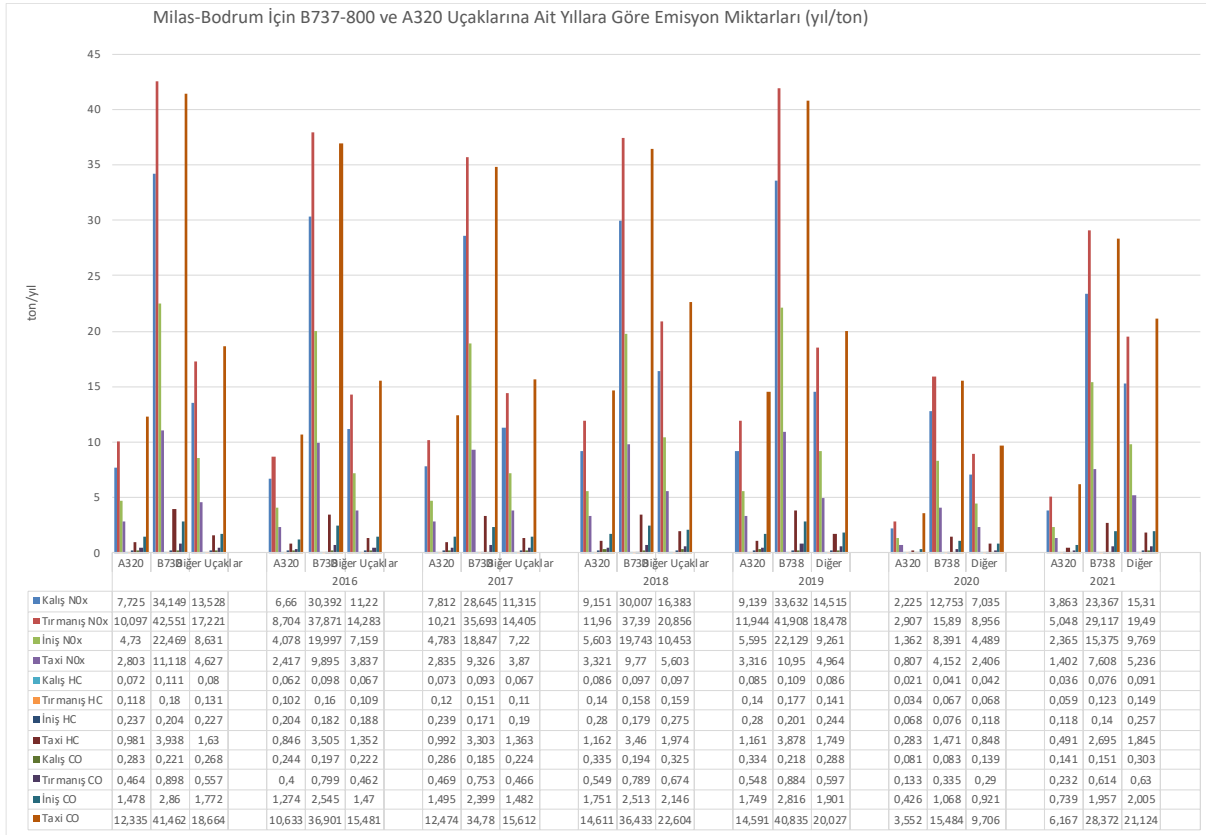
Uçuş fazları arasında en fazla NOx salınımı tırmanış fazında olmaktadır. Tırmanış fazında B737-800 uçağı en fazla NOx emisyonu 2015 yılında 37,162 ton/y, en az ise 2020 yılında 16,59 ton/y olarak hesaplanmıştır. A320 uçağı ise kalkış fazında 2018 yılında 10,356 ton/y, 2020 yılında 3,455 ton/y'dir. CO emisyonu en fazla taksi fazında gerçekleşmiştir. Taksi fazında B737-800 uçağı en fazla CO emisyonu 2016 yılında 36,21 ton/y, en az ise 2020 yılında 16,166 ton/y olarak hesaplanmıştır. A320 uçağı ise kalkış fazında 2018 yılında 13,011 ton/y, 2020 yılında 2,21 ton/y'dir. Her uçak tipi için HC emisyonu en fazla taksi fazında salınmaktadır. Taksi fazında B737-800 uçağı en fazla HC emisyonu 2015 yılında 3,439 ton/y, en az ise 2020 yılında 1,535 ton/y olarak hesaplanmıştır. A320 uçağı ise kalkış fazında 2018 yılında 1,035 ton/y, 2020 yılında 0,336 ton/y'dir.



Şekil 5: Dalaman Havalimanı için 2015-2022 Yılları Arasında Toplam Salınım Emisyon Miktarı

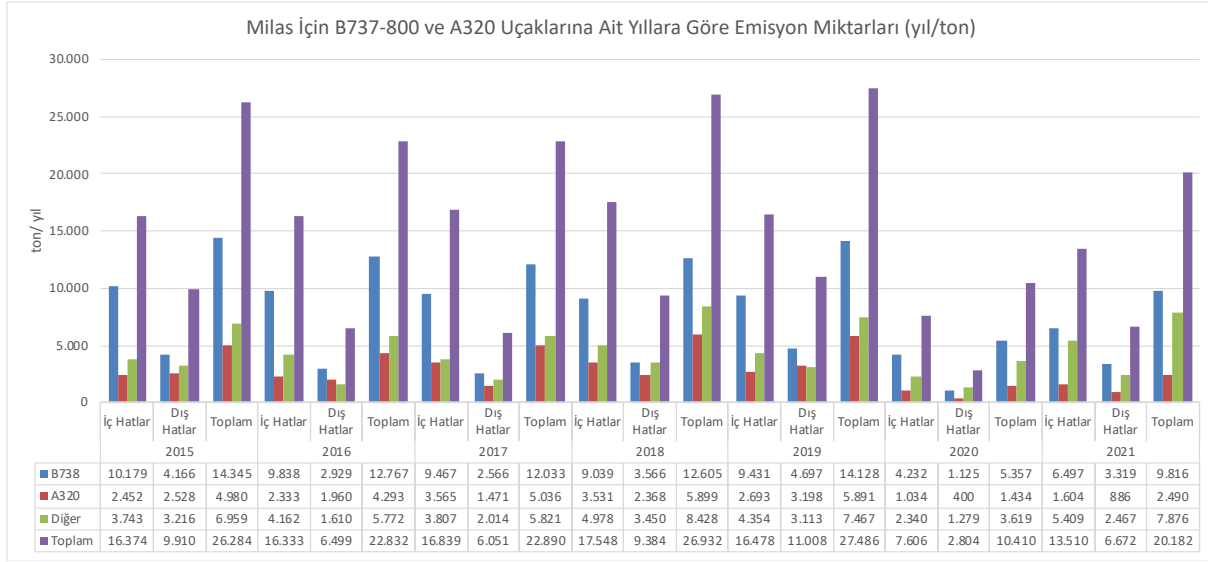
Toplam salınan emisyonlara baktığımızda 2019 senesinde 28,430 ton/y emisyon salınmıştır. En az emisyon ise 2020 yılında 11,425 ton/y. İç hatlarda en fazla 10,669 ton/y, en az salınım ise 2020 yılında 6,024 to/y. Dış hatlarda en fazla salınım 2019 yılında 18,071 ton/y, en az salınım ise 5,401 ton/y'dır.

3.2. Milas-Bodrum Dalaman Havaalanı İçin Emisyon Değerleri



Şekil 6. Milas Bodrum Havalimanı için 2015-2022 Yılları Arasında Emisyon Gazlarının Salınım Miktarı

Uçuş fazları arasında en fazla NOx salınımı tırmanış fazında olmaktadır. Tırmanış fazında B737-800 uçağı en fazla NOx emisyonu 2015 yılında 45,551 ton/y, en az ise 2020 yılında 15,89 ton/y olarak hesaplanmıştır. A320 uçağı ise kalkış fazında 2018 yılında 11,96 ton/y, 2020 yılında 3,455 ton/y'dır. CO emisyonu en fazla taksi fazında gerçekleşmiştir. Taksi fazında B737-800 uçağı en fazla CO emisyonu 2015 yılında 41,462 ton/y, en az ise 2020 yılında 165,484 ton/y olarak hesaplanmıştır. A320 uçağı ise kalkış fazında 2018 yılında 14,591 ton/y, 2020 yılında 3,552 ton/y'dır. Her uçak tipi için HC emisyonu en fazla taksi fazında salınmaktadır. Taksi fazında B737-800 uçağı en fazla HC emisyonu 2015 yılında 3,938 ton/y, en az ise 2020 yılında 1,471 ton/y olarak hesaplanmıştır. A320 uçağı ise kalkış fazında 2018 yılında 1,162 ton/y, 2020 yılında 0,283 ton/y'dır.



Şekil 7. Milas Bodrum Havalimanı için 2015-2022 Yılları Arasında Toplam Salınan Emisyon Miktarı

Toplam salınan emisyonlara baktığımızda 2019 senesinde 27,486 ton/y emisyon salınmıştır. En az emisyon ise 2020 yılında 10,410 ton/y. İç hatlarda en fazla 2018 senesi için 17,548 ton/y, en az salınım ise 2020 yılında 7,606 ton/y. Dış hatlarda en fazla salınım 2019 yılında 11,008 ton/y, en az salınım ise 2,804 ton/y'dir.

4. Sonuçlar

Bu araştırma, Dalaman ve Milas-Bodrum havalimanlarındaki B737-800 ve A320 uçaklarının 2015-2021 yılları arasındaki iniş-kalkış verilerini temel alarak NO_x, CO ve HC emisyonlarını incelemiştir. NO_x emisyonlarının tırmanış fazında, CO emisyonlarının taksi fazında yoğunlaştığı ve HC emisyonlarının özellikle taksi fazında belirgin bir şekilde arttığı belirlenmiştir. 2019 yılında en yüksek emisyon seviyelerine ulaşılmış, ancak 2020'de (Covid-19 sebebiyle uçuşların durdurulmasından kaynaklanan) belirgin bir azalma gözlenmiştir.

NO_x Emisyonları bakımından, Dalaman Havalimanı'nda B737-800 uçağı tırmanış fazında 2015 yılında 37,162 ton/y NO_x emisyonu salarken, 2020 yılında bu değer 16,59 ton/y'e düşmüştür. Milas-Bodrum Havalimanı'nda ise A320 uçağı kalkış fazında 2018 yılında 11,96 ton/y NO_x emisyonu salarken, 2020 yılında bu miktar 3,455 ton/y olarak hesaplanmıştır. Tırmanış fazında yüksek NO_x emisyonları, motorun tam güçte çalışması ve zengin yakıt hava karışımından kaynaklanmaktadır.

CO Emisyonları bakımından, Dalaman Havalimanı'nda B737-800 uçağı taksi fazında 2016 yılında 36,21 ton/y CO emisyonu salarken, 2020 yılında bu değer 16,166 ton/y'e azalmıştır. Milas-Bodrum Havalimanı'nda ise A320 uçağı kalkış fazında 2018 yılında 14,591 ton/y CO emisyonu salarken, 2020 yılında 3,552 ton/y CO emisyonu kaydedilmiştir. En yüksek CO emisyonları taksi fazında gözlemlenmiştir.

HC Emisyonları bakımından, Dalaman Havalimanı'nda B737-800 uçağı taksi fazında 2015 yılında 3,439 ton/y HC emisyonu salarken, 2020 yılında bu değer 1,535 ton/y'e azalmıştır. Milas-Bodrum Havalimanı'nda ise A320 uçağı kalkış fazında 2018 yılında 1,162 ton/y HC emisyonu salarken, 2020 yılında 0,283 ton/y HC emisyonu kaydedilmiştir. HC emisyonları, özellikle taksi fazında daha yüksek ölçülmüştür.

Toplam Emisyonlar bakımından, her iki havalimanında 2019 yılında en yüksek toplam emisyon seviyelerine ulaşılmış, ancak 2020 yılında belirgin bir azalma gözlenmiştir. Dalaman Havalimanı'nda iç hatlarda en fazla emisyon 2018 yılında 17,548 ton/y, Milas-Bodrum Havalimanı'nda ise 2019 yılında 11,008 ton/y olarak kaydedilmiştir. En az emisyonlar her iki havalimanı için de 2020 yılında gözlenmiştir.

Bu sonuçlar, havaalanlarının emisyonlarının çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebileceğini ve havacılık sektörünün çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Havaalanları ve havayolu şirketleri, çevre dostu uçuş operasyonlarını teşvik ederek emisyonları azaltma konusunda daha fazla çaba harcamalıdır. Gerçek zamanlı verilerin kullanılması, diğer havalimanları için yapılan hesaplamalarda daha doğru ve etkili bir yönlendirme sağlayabilir. Bu nedenle, gerçek verilere dayalı stratejilerin benimsenmesi, çevresel etkileri en aza indirme çabalarında daha etkili olabilir.

Kaynakça

- [1] Volkan Yavaş, Ayla Özhan Dedeoğlu, Hava Taşımacılığında Değişen İş Modelleri, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi Cilt:4 – Sayı:2, pp: 120-133, Doi: 10.51513/jitsa.957540
- [2] ICAO (2021). Future of Aviation, (Erişim tarihi:08.10.2023 <https://www.icao.int/Meetings/FutureOfAviation/Pages/default.aspx>,
- [3] Linz, M. (2012). "Journal Of Air Transport Management Scenarios For The Aviation İndustry : A Delphi-Based Analysis For 2025". Journal Of Air Transport Management, 22, 28– 35.
- [4] Spicer, C.W., Holdren, M.W., Cowen, K.A., Joseph, D.W., Satola, J., Goodwin, B., Mayfield, H., Laskin, A., Alexander, M.L., Ortega, J.V., Newburn, M., Kagann, R., Hashmonay, R., Rapid measurement of emissions from military aircraft turbine engines by downstream extractive sampling of aircraft on the ground: Results for C130 and F-15 aircraft, Atmospheric Environment, 43, 2612-2622, 2009.
- [5] Schumann U. Effects of aircraft emissions on ozone, cirrus clouds, and environmental climate. Air Space Eur 2000;2(3): 29–33.
- [6] Bernsten TK, et al. Sources of NOx at cruise altitudes: implications for predictions of ozone and methane perturbations due to NOx from aircraft. In: Sausen R, Fichter C, Amanatidis G, editors. Proceedings of an international conference on European conference on aviation, atmosphere and climate (AAC), Friedrichshafen, Germany, 30 June to 3 July 2003, 2003. p. 190–6.
- [7] Baugchum SL, Plumb IC, Vohralik PF. Stratospheric ozone sensitivity to aircraft cruise altitudes and NOx emissions. In: Sausen R, Fichter C, Amanatidis G, editors. Proceedings of an international conference on European conference on aviation, atmosphere and climate (AAC), Friedrichshafen, Germany, 30 June to 3 July 2003, 2003. p. 145–50.
- [8] Keskin Uğur (2006), Aircraft Emissions at Turkish Airports, Energy, (31) 372–384, doi:10.1016/j.energy.2005.01.012
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Fleuti, E. ve Polymeris, J. (2004). Aircraft nox-emissions within the operational lto cycle. Unique (Flughafen Zrich AG) and Swiss Flight Data Services.
- [12] 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.
- [13] Elbir, T. (2008). Estimation of engine emissions from commercial aircraft at a midsized Turkish airport. Journal of Environmental Engineering,, 134(3), 210-215.
- [14] 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.
- [15] Unal, A. H. (2005). Airport related emissions and impacts on air quality: Application to the Atlanta International Airport. Atmospheric Environment, 39(32), 5787-5798.
- [16] 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.
- [17] Winther, M. K. (2006). Calculation of odour emissions from aircraft engines at Copenhagen Airport. Science of the total environment,, 366(1), 218-232.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Çağatan, K. (2011). İstanbul Atatürk Havalimanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkileri/Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] Öztürk O. (2011). Kayseri Erkilet Havalimanındaki Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] 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.
- [23] İlbaş, M. (2012). Experimental analysis of the effects of hydrogen addition on methane combustion. International journal of energy research, 36(5), 643-647.
- [24] Çizmecioglu, M. (2013). Türkiye'de Sivil Havacılık ve Hava Yolu Ulaşımı Üzerine Bir Araştırma (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [25] Ünal, İ. T. (2014). Nevşehir Kapadokya Havalimanının Emisyon Ve Gürültü Açısından Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makine, 654.
- [26] Canarlanlar, 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.
- [27] Babaoğlu, N. Ö. (2017). Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3), 24-30.
- [28] Şekertekin, Y. (2017). Türkiye İç Hat Uçuşlarından Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak: Bülent Ecevit Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29] İlker Yılmaz. (2017). Emissions from passenger aircraft at Kayseri Airport, Turkey. Journal of Air Transport Management 58 (2017) 176-182, <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.11.001>
- [30] Kuzu, S. L. (2018). Estimation and dispersion modeling of landing and take-off (LTO) cycle emissions from Atatürk International Airport. Air Quality, Atmosphere & Health, 11(2), 153-161.
- [31] Kumaş, K., İnan, O., Akyüz, A., & Güngör, A. (2019). Muğla Dalaman Havalimanı Uçaklardan Kaynaklanan Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 7(2), 291-297.
- [32] Ekici, S. & Şöhret, Y. (2020). Environmental Impact And Cost Assessment Of Commercial Flight Induced Exhaust Emissions At Isparta Süleyman Demirel Airport. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8 (2), 597-604. DOI: 10.21923/jesd.709428
- [33] Keskin, B. N., & Ercoşkun, Ö. Y. (2021). Covid-19'un havacılık sektörüne çevresel etkisi: Adnan Menderes Havalimanı örneği. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 4(1), 74-86.
- [34] Ramazan GENÇ (2022), Malatya Erhaç Havalimanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi Ve Çevreye Etkileri, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [35] Öz, E. & Yalçın Ercoşkun, Ö. (2022). Covid-19 Pandemisinin Esenboğa Havalimanı hava trafiğine ve uçak emisyonlarına etkisi. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 5 (1), 45-59. DOI: 10.51513/jitsa.1069097
- [36] Yıldız, M. (2021). Electric Energy Use in Aviation, Perspective and Applications. Politeknik Dergisi, 24 (4), 1605-1610. DOI: 10.2339/politeknik.852272
- [37] Yildiz, M., Kale, U. and Nagy, A. (2022), "Analyzing well-to-pump emissions of electric and conventional jet fuel for aircraft propulsion", Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 94 No. 10, pp. 1605-1613. <https://doi.org/10.1108/AEAT-02-2021-0032>
- [38] C.W. Spicer, M.W. Holdren, S.E. Miller, D.L. Smith, R.N. Smith, M.R. Kuhlman, D.P. Hughes, Aircraft Emissions Characterization: TF41-A2, TF30-P103, and TF30-P109 Engines, ESL-TR-87-27, U.S. Air Force, Engineering and Services Laboratory, Tyndall Air Force Base, FL (1987)
- [39] Environmental Protection Agency (EPA), Evaluation of air pollutant emissions from subsonic commercial jet aircraft, Final Report, report no. EPA A420-R-99-013, Michigan, USA: Engine Programs and Compliance Division, 1999, US Environmental Protection Agency, Ann Arbor, Michigan.
- [40] Dikra Prasad Bajgai, Kundan Lal Shrestha, Evaluation of aircraft emission at Tribhuvan international airport and its contribution to air quality in Kathmandu, Nepal, Atmospheric Environment: X, Volume 17, 2023, 100204, ISSN 2590-1621, <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2023.100204>.
- [41] Feng Cao, Tie-Qiao Tang, Yunqi Gao, Feng You, Jian Zhang, Calculation and analysis of new taxiing methods on aircraft fuel consumption and pollutant emissions, Energy, Volume 277, 2023, 127618, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127618>.
- [42] Wuebbles, D., Gupta, M. and Ko, M., 2007, 'Evaluating the impacts of aviation on climate change', EOS Transactions of the American Geophysical Union, (88) 157-168.]
- [43] ICAO International Standards And Recommended Practices- Annex 16 To The Convention On International Civil Aviation: Environmental Protection II- Aircraft Engine Emissions (Fourth Ed.), QC, Montreal (2017) Volume, Canada 552
- [44] ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank. ICAO-9646-AN/943, International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada, 1st ed., 1995
- [45] State Airports Authority (DHMI), Annual Statistics for 2021 (Istatistik Yilligi 2021); 2022, Istanbul: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Yesilköy, Istanbul (in Turkish).
- [46] Perl A, Patterson J, Perez M. Pricing aircraft emissions at Lyon-Satolas airport. Transport Res Part D 1997;2(2):89-105.
- [47] Stefanou P, Haralambopoulos D. Energy demand and environmental pressures due to the operation of olympic airways in Greece. Energy 1998;23(2):125-36.
- [48] Kalivoda MT, Kudrna M. Methodologies for estimating emissions from air traffic: future emissions, COST 319 ACTION, report no. MEET Project ST-96-SC.204, Vienna, Austria; 1997, Perchtoldsdorf-Vienna.
- [49] Ali Ozan CANARSLANLAR. Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi (2017), C2-S1, 38-47, DOI: 10.23890/SUHAD.2017.0105
- [50] <https://www.boeing.com/commercial/#/orders-deliveries> ,2023, Erişim tarihi: 01.10.2023

[51] First half-year 2023 Financial Report, Airbus SE Unaudited Condensed Interim IFRS Consolidated Financial Information for the six-month period ended 30 June 2023