

# UÇAKLARDAN KAYNAKLANAN KARBON EMİSYONUNUN ESKİŞEHİR HASAN POLATKAN HAVALİMANI İÇİN BELİRLENMESİ

Çisil TİMURALP<sup>1\*</sup>, Furkan Rıza MERCAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2894-3575>

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0004-6152-5895>

Anahtar Kelimeler	Öz
Karbon Ayak İzi; Sera gazı; IPCC; Tier; Havacılık	<i>Bu çalışmada, havacılık sektöründe karbon ayak izinin belirlenmesi ve azaltılması ile ilgili örnek bir uygulama yapılmıştır. Uygulamada, Eskişehir ilinde faaliyette olan Hasan Polatkan Havalimanı'nın 2023 yılındaki uçuşları baz alınarak karbon ayak izi hesaplanması amacıyla bir süreç gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, emisyon hesaplamalarında Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından tavsiye edilen Tier yaklaşım metodu kullanılmıştır. Ulaştırmadan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyon miktarı 2023 yılı Hasan Polatkan Havalimanı'nda 6.893,160 kg olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; havayolu taşıma sektöründe kullanılan uçakların üreticileri ile düzenleyici kurumlar arasında sürdürülebilirlik konusunda bir standardizasyonun acilen sağlanmasının gerekli olduğu tespit edilmiştir.</i>

## DETERMINATION OF CARBON EMISSIONS FROM AIRPLANES FOR ESKİŞEHİR HASAN POLATKAN AIRPORT

Keywords	Abstract
Carbon footprint; Greenhouse gas; IPCC; Tier; Aviation	<i>The purpose of this study is explained with a case study on the determination and reduction of carbon footprint in the aviation sector. In this study, the carbon footprint of Hasan Polatkan Airport in Eskişehir province was calculated based on the flights in 2023. In emission calculations, calculations were made with the Tier approach method recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Since there is a significant amount of CO<sub>2</sub> gas among the greenhouse gases caused by transportation, the amount of CO<sub>2</sub> emission was determined as 6,893.160 kg for Hasan Polatkan Airport in 2023. Calculations show that CO<sub>2</sub> emissions increase as fuel consumption increases.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 19.02.2024

Submission Date : 19.02.2024

Kabul Tarihi : 29.04.2024

Accepted Date : 29.04.2024

\* Sorumlu yazar: [cisil@ogu.edu.tr](mailto:cisil@ogu.edu.tr)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1436058>

### 1. Giriş

Havacılık sektörü, hızlı küresel hareketlilik ve ticaretin itici güçlerinden biri olarak önemli bir role sahiptir. Ancak, bu sektörün büyüklüğü ve etkisi, çevresel sorumluluğu da beraberinde getirmektedir. Son yıllarda, havacılık sektöründe karbon ayak izinin hesaplanması konusu, çevresel sürdürülebilirlik çabalarının merkezine yerleşmiştir. Uçaklarda yaygın olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır, bunun ana nedeni mevcut altyapının ve teknolojinin fosil yakıtlara dayalı olmasındandır. Fosil yakıtlar, yüksek enerji yoğunluğu ve mevcut altyapıya uyumluluğu nedeniyle hava taşımacılığında tercih edilir. Ancak çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik endişeleri nedeniyle alternatif yakıt arayışları da devam etmektedir. Bunun sebebi havacılık sektöründe kullanılan fosil yakıtların atmosfere büyük

miktarda karbon salımı gerçekleştirilmesiyle ilgilidir. Bu salımların iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkileri, sektördeki paydaşları çevresel sorumluluk almaya yönlendirmiştir. Karbon ayak izinin hesaplanması, bu sorumluluğun bilimsel ve ölçülebilir bir temele dayandırılmasını sağlar. Havacılık sektöründe karbon ayak izi hesaplaması, karmaşık bir süreçtir ve bir dizi önemli unsur içerir. Uçuş mesafesi, kullanılan yakıt türü, uçak tipi, kalkış ve iniş prosedürleri gibi faktörler, karbon ayak izinin belirlenmesinde etkili olan temel unsurlardır. Bu unsurların detaylı bir şekilde analizi, sektördeki şirketlere çevresel etkilerini değerlendirme ve azaltma konusunda kılavuzluk eder. Karbon ayak izinin hesaplanması, sadece bir değerlendirme aracı değil, aynı zamanda azaltma stratejilerinin belirlenmesinde de kritik bir rol oynar. Havayolu



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

şirketleri, daha enerji verimli uçaklar kullanma, alternatif yakıtlara geçiş, uçuş rotalarını optimize etme gibi çeşitli stratejilerle karbon salımlarını azaltabilirler. Bu stratejiler, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli adımları temsil eder (Yılmaz ve Atmanlı, 2016).

Uçakların atmosfere saldıgı en bilinen kirletici gaz karbondioksittir. Diğer emisyonlar azot oksit, karbon monoksit, kükürt oksitler ve diğer gazları ve parçacıkları içerir. Bu zararlı emisyonlar atmosferi ve üst troposferi etkiler. Emisyonların çevresel etkilerinin yanı sıra sağlık açısından da olumsuz etkileri vardır. Bu nedenlerden dolayı emisyonların anlaşılması son yıllarda önem kazanmıştır (Çağatan, 2011). Uçak motorlarından kaynaklanan iki önemli emisyon sorunu vardır. Birinci neden, yer manevraları sırasında düşük verimle yüksek yanma verimi sağlamak amacıyla, büyük miktarda yakıtın yakılmasının, azaltılması gereken büyük miktarda yanmamış hidrokarbon üretmesidir. İkincisi ise uçakların kalkışı, tırmanışı ve seyir sırasında üretilen nitrojen oksitlerdir (Kumaş, Onur, Akyüz ve Güngör, 2019). Bu sorunları çözmek için, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından iniş/kalkış döngülerini (LTO) kullanan yüksek irtifa seyir standartları geliştirilmiştir. Amaç, havalimanlarındaki hava kirliliğini ve atmosferik ozon tabakasındaki değişiklikleri belirlenmiş standartları kullanarak kontrol etmektir. Dünya çapında tüketilen yakıtın yüzde 5-6'sı yolcu taşıyan uçaklar tarafından üretilmektedir. Kişi başı yakıt tüketimi yeni uçaklarda 100 km'de yaklaşık 3,5 litre, eski uçaklarda ise yaklaşık 12 litredir. Uçak motoru emisyonları tipik olarak %70  $CO_2$ , %29  $H_2O$  ve %1 diğer zararlı emisyonlardan oluşur. Bu zararlı gazlar, uçak motorunun tipine, kullanılan yakıtı, uçulan mesafeye ve irtifaya göre değişiklik göstermektedir (Ünal, Türkoğlu ve Doğan, 2014).

### 1.1. Literatür Taraması

Kumaş ve diğ. (2019) çalışmalarında Muğla Dalaman Havalimanı'na inen uçakların karbon ayak izinin hesaplamalarını Tier yaklaşım metodunu kullanarak yapmışlardır. Bajgai ve Shrestha (2023), Tribhuvan uluslararası havalimanındaki uçak emisyonlarını değerlendirmiş ve Nepal'daki havanın kalitesine etkisini incelemiştir. Çalışmada Tribhuvan havalimanındaki iniş ve kalkış döngüsü emisyonlarının genel bir tahmini yapılmıştır. Araştırma, havalimanındaki uçaklardan kaynaklanan LTO emisyonlarının yılda 898 ile 2123 ton arası değiştiğini göstermektedir. Lukačević, Mirković, Đogatović ve Ganić (2022) Podgorica Havalimanı'ndaki uçak emisyonlarının tahminine yönelik simülasyon modeli yapmıştır. Podgorica Havalimanı'nda 2019 yılının en yoğun günü için uçakların emisyon miktarları hesaplanmış ve tartışılmıştır. Tokuslu (2020), çalışmasında Gürcistan'daki Tiflis Uluslararası Havalimanı'nda 2018 yılı için iniş ve kalkış döngüleri sırasında uçaklardan kaynaklanan azot oksitler, karbon monoksit ve hidrokarbonlar dahil olmak üzere hava

kirleticilerinin tahminine odaklanmıştır. Tahmin modeli, uçak tipi ve sayısı, motor tipi, yolcu sayısı dahil olmak üzere Gürcistan'daki TAV Havalimanları Holding Şirketleri tarafından kaydedilen uçuş verilerine dayanmaktadır ve emisyonların hesaplanması için Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü Motor Egzoz Emisyon Veri Bankasından alınan emisyon faktörleri kullanılmıştır. LTO döngüsü boyunca Tiflis uluslararası havalimanındaki toplam uçak emisyonları 428,78 t/y ( $NO_x$  için 247,33 t/y, CO için 161,21 t/y ve HC için 20,24 t/y) olarak tahmin edilmiştir. Aygun ve Caliskan (2021) çalışmalarında, ticari uçaklarda yaygın olarak kullanılan iki farklı turbofan motor ailesinin kalkış, tırmanış, yaklaşma ve rölanti aşamalarını içeren iniş ve kalkış çevrimine ilişkin çevresel ve çevresel-ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Champeechoarensuk, Dhakal, Chollacoop ve Phdungsilp (2024), Tayland'daki yurt içi havacılıktan kaynaklanan emisyonlar için Tier 1 ve Tier 2 metodlarıyla çalışmalar yapmıştır. Cao, Tang, Gao, You ve Zhang (2023), Çin'deki Xining Uluslararası Havalimanı'ndan alınan gerçek operasyonel verilere dayanarak, beş taksi yöntemi için yakıt tüketimi ve emisyon karşılaştırmaları yapmışlardır. Sonuçlar, yeni taksi yöntemlerinin geleneksel taksi yöntemine, yani tam motorlu taksi yöntemine kıyasla hem yakıt tüketimini hem de emisyonlarını azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca yeni taksi yöntemlerinin emisyon azaltma etkisi uçak tipine göre değişmektedir. Yeni taksi yöntemleri kullanılarak 2024-2035 yılları arasında karbon emisyonları öngörülerek her bir taksi yönteminin karbon ayak izi potansiyeli araştırılmıştır. Ekici, Ayar ve Karakoç (2023) bu çalışmada, günümüzde ticari havacılıkta yaygın olarak kullanılan ilk kompozit yapıları dar gövdeli yağın en yaygın motor kombinasyonları ile donatılmasının neden olduğu tehlikeli emisyon miktarlarındaki farklılıkları incelemiştir. Yaygın olarak bu yolcu uçaklarında kullanılan çeşitli motor tipleri tarafından üretilen emisyon miktarlarındaki değişimi açıkça bu çalışmada sunmuşlardır. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nün standart emisyon modeline dayanan çalışmada ise Pekin-Tianjin-Hebei havaalanı grubundaki dokuz havaalanının gerçek uçuş koşullarını toplamış, Pekin-Tianjin-Hebei havaalanı grubu uçakları için 2018-2019 sezonu iniş ve kalkış döngüsü hava kirletici emisyon listesini doğru bir şekilde tahmin etmek için ABD Çevre Koruma Ajansı yöntemini kullanarak araştırmalar yapılmıştır. Uçaklar LTO döngüsünde daha fazla  $NO_x$  ve CO yayarken, PM en az emisyon miktarını oluşturmaktadır. Havalimanı grubundaki tüm uçaklar arasında, B777 uçağı en fazla karbon ayak izine sahipken, B737'ninki en azdır (Han, Kong, Yao ve Wang, 2020).

Bu çalışmada, karbon ayak izi, 2023 yılındaki Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı'nda yapılan uçuş sayısı ve uçak tipine bağlı verilerden hesaplanmıştır. Emisyonları hesaplamak için IPCC tarafından tavsiye edilen Tier

yaklaşım yöntemi kullanılmıştır. Taşımacılıkla ilişkili sera gazları arasında büyük miktarda  $CO_2$  gazının da bulunması nedeniyle  $CO_2$  emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalar yakıt tüketimi arttıkça  $CO_2$  emisyonlarının da arttığını göstermiştir.

## 2. Yöntem

Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı diğer büyük illerdeki hava limanlarına göre nispeten daha az hava trafiğine sahiptir. Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanında 2015-2022 yılları arasında gerçekleşen yıllık uçuş sayıları Tablo 1'de verilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde diğer büyük illerdeki hava trafiğine göre nispeten daha az olan uçuş sayıları yıllar itibari ile sürekli artış eğiliminde olsa da 2019 ve 2020 yıllarında pandemi nedeniyle uçuş sayılarında düşme olmuştur. 2023 yılında uçuş sayılarının artmasının başlıca nedeni, COVID-19 salgınına yanıt olarak alınan kısıtlamaların gevşetilmesi ve seyahat talebinin yeniden canlanmasıdır. Havayolu endüstrisi, aşılama kampanyaları ve sağlık önlemlerinin etkisiyle toparlanmış ve güveni yeniden kazanmıştır. Bu durum, insanların seyahat etme isteğini artırmış ve sonuç olarak uçuş sayılarında belirgin bir artışa yol açmıştır. Artan uçuş sayılarıyla doğru orantılı olarak sera etkisine yol açan emisyonların da arttığını söyleyebiliriz (Şahin ve Süzen, 2023).

Tablo 1. Hasan Polatkan Havalimanı Uçuş Sayıları (Eskişehir Teknik Üniversitesi, 2023)

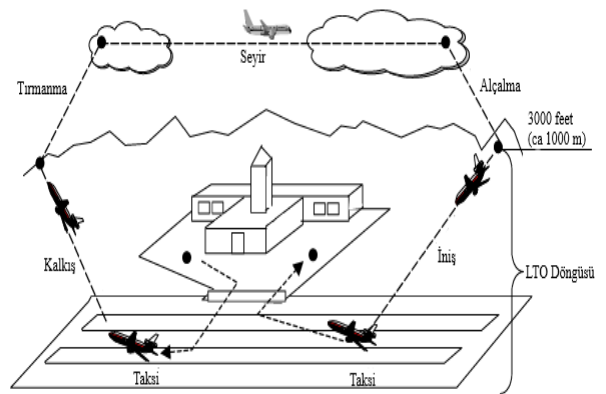
Yıllar	İç Hat Uçuş Sayısı	Dış Hat Uçuş Sayısı	Toplam
2015	320	509	829
2016	335	473	808
2017	395	671	1066
2018	334	744	1078
2019	289	663	952
2020	290	456	746
2021	227	837	1064
2022	209	901	1110

Çalışmada Tier metoduna göre yapılan karbon ayak izi hesaplamalarında, 2023 yılı kapsamında Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanına yapılan uçuş sayısı ve uçak tipine bağlı veriler kullanılmıştır. Hesaplamalara ticari uçuşların yanı sıra eğitim uçuşları da dâhil edilmiştir.

Tablo 2. 2023 Yılı Hasan Polatkan Havalimanı Aylık Uçuş Sayıları (Eskişehir Teknik Üniversitesi, 2023)

AYLAR	UÇUŞ SAYISI
OCAK	348
ŞUBAT	264
MART	487
NİSAN	390
MAYIS	324
HAZİRAN	418
TEMMUZ	925
AĞUSTOS	594
EYLÜL	706
EKİM	750
KASIM	225
ARALIK	294
TOPLAM	5725

2023 yılında Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanına toplam 5725 adet uçuş gerçekleşmiştir ve bu uçuşların aylara göre dağılımı Tablo 2'de verilmiştir. 2022 yılı ile karşılaştırıldığında toplam uçuş sayılarında 5,16 kat artış olduğu ve uçuşların büyük bir kısmının yaz aylarında olduğu görülmektedir. Diğer büyükşehirlerdeki hava trafiğine oranla nispeten daha düşük uçuş sayısı olmasına rağmen son bir yıldaki artış oranı emisyonlardan kaynaklı küresel ısınma açısından önem arz eden bir konudur. Şöyle ki; hava yolu taşımacılığında kullanılan uçaklar kalkış sırasında büyük miktarda yakıt tüketir dolayısıyla tüketilen yakıtla doğru orantılı olarak da emisyonlar artar. Ayrıca uçak operasyonları iki bölümden oluşmaktadır: LTO ve seyir faaliyetleri. LTO döngüsü 1000 metrenin altındaki tüm faaliyetleri içerir. Buna kalkış, tırmanma, yaklaşma ve taksi aşamaları dahildir. Seyir ise 1000 m üstünde olan ve yükseklik üst sınırı verilmemiş bütün faaliyetleri ve tırmanma safhasının sonundan iniş safhasına kadar olan faaliyetleri kapsamaktadır. Örnek bir LTO döngüsü Şekil 1'de verilmiştir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).



Şekil 1. LTO Döngüsü (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997)

2023 yılı içinde 51 farklı uçak çeşidi havalimanını kullanmıştır. Tablo 3'te Hasan Polatkan Havalimanı 2023 yılına ait ay bazında toplam gelen/giden uçak sayıları ve modelleri verilmiştir. Bu kadar geniş uçak

model verisinin olmasının sebebi eğitim uçuşlarının da Hasan Polatkan pistinde yapılıyor olmasıdır.

**Tablo 3. Hasan Polatkan Havalimanı Gelen/Giden Uçak Sayıları ve Modelleri**

AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
A139	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0
A21N	10	4	6	0	0	3	23	22	10	0	6	10
A320	0	2	2	2	14	2	0	0	2	0	4	6
A321	18	18	6	6	5	11	10	0	2	0	0	0
ASTR	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
AT8T	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
01M8	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
B234	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
B350	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B38M	0	0	0	0	0	2	10	8	8	2	0	0
B429	0	0	0	4	0	0	6	14	4	0	0	0
B737	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	2	8
B738	22	16	22	22	26	34	56	62	50	24	24	22
B739	4	0	2	0	2	0	0	0	2	6	10	12
BE20	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
BE9L	1	88	4	52	13	0	6	0	0	0	3	38
BER2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
C172	150	50	204	154	124	194	356	260	456	418	116	24
C25A	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
C550	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
C560	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C56X	2	0	0	0	4	2	0	0	2	2	0	2
C650	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
C680	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
C681	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
CL30	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
CL60	9	16	11	6	0	4	18	12	22	14	16	10
CRJ2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
EC35	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
E35L	0	2	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0
F2TH	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
FA8X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
GLEX	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
GLF4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
GYRO	0	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0
H25B	0	0	0	0	0	2	0	4	0	2	0	0
H60	0	0	0	4	0	0	0	10	2	0	0	0
H60I	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
J328	0	0	0	0	0	0	0	2	0	B	0	0
K32	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
KA32	0	0	0	0	0	2	10	2	0	0	0	0
LJ45	0	2	0	0	0	2	4	4	2	0	0	2
LJ60	0	0	0	0	6	0	2	0	0	0	0	0
MI08	0	0	0	0	0	0	8	38	2	4	0	0
MI2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
MI26	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0
MI8	0	0	0	0	0	4	86	96	6	0	0	0
PRM1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S92	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
TB20	126	62	226	124	114	152	310	22	124	276	44	160
UH60	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

Emisyonların hesaplanmasında IPCC tarafından tanımlanan Tier 1 ve Tier 2 yöntemleriyle hesaplama yapılmıştır. Tier 1 yöntemi LTO ve seyir aktivitelerinde harcanan yakıtın emisyon faktörü ile çarpımıyla hesaplanır. Tier 1 yönteminde yakıt tüketimi esas alınmakta ve emisyon miktarı tüketilen yakıt miktarı ve tipine bağlı emisyon faktörü kullanılarak bulunur (Akdeniz, 2021). Bu hesaplamada genel veriler kullanılarak emisyonlar bulunduğu için daha spesifik uçuş parametreleri veya uçak tipi gibi detaylı bilgiler dikkate alınmaz. Tier 2 yönteminde ise uçağın yaptığı işlemler dikkate alınır.

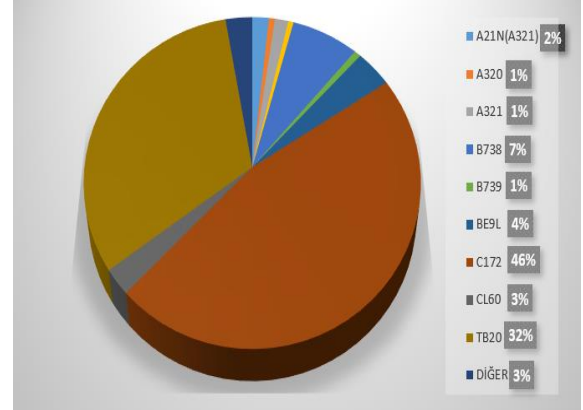
Tier 2 yöntemi fazla veri gerektirmesine rağmen daha detaylı ve kapsamlı bir analiz ile daha hassas sonuçlar sağlar. Tier 2 yöntemi, jet yakıtı kullanan uçaklardan kaynaklanan emisyonları belirlemek için kullanılır. Havacılık sektöründe jet yakıtı kullanımı yaygındır ve hesaplamalar jet yakıtı kullanan uçaklar baz alınarak yapılmıştır. Tier 2 yaklaşımını uygulamak için LTO sayısı ve uçak tipi bilgisi gereklidir. Bu metotta LTO emisyonu; LTO sayısı ile LTO Emisyon faktörünün çarpımıyla bulunur (Babaoğlu ve Özgünoğlu, 2017).

Hasan Polatkan havalimanında uçaklardan kaynaklanan emisyonun belirlenmesinde 2023 yılı uçak çeşitleri ve uçak bazında LTO sayıları için Eskişehir Teknik Üniversitesi ve Hasan Polatkan Havalimanı'na ait verilerden faydalanılmıştır (Eskişehir Teknik Üniversitesi, 2023). IPCC tarafından belirlenmiş emisyon faktörleri ve yakıt tüketimleri Tier 2 metodu ile emisyon değerleri aylık bazda hesaplanarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 3. Bulgular

Eskişehir Teknik Üniversitesi verilerine göre Hasan Polatkan Havalimanının 2023 yılında LTO yapan uçak sayısı değerlerinin yüzdesel dağılımı Şekil 2'de ve buna ait tüm veriler Tablo 4'te verilmiştir. Bu verilere göre 2023 yılı için LTO sayısı uçak modelleri bakımından değerlendirildiğinde C172 (Cessna 172) tipi uçak 2506 LTO sayısı ile %46'lık bir oranla Hasan Polatkan Havalimanı'na en çok iniş kalkış yapan uçaktır. Bunu sırasıyla tüm uçuşların %32'sini oluşturan TB20 (SOCATA TB Family) ve %7 ile B738 (BOEING) takip etmektedir.



Şekil 2. Hasan Polatkan Havalimanının LTO Sayılarına Göre Uçak Modellerinin Dağılımı

Tüm uçuşlar içinde havalimanında en çok kullanılan C172 uçağı dünyada en çok üretilen, tek motorlu, 4 kişilik, çoğunlukla eğitim amaçlı kullanılsa da askeri, ticari ve bireysel olarak da kullanılan bir uçak çeşididir (Flyive aviation platform, 2024), Bunu takiben TB20 uçağı gelmektedir. Bu uçak da eğitim ve seyahat uçuşlarında kullanılmaktadır. Bu verilerden anlaşıldığı üzere bu havalimanında en çok eğitim uçuşlarının olduğu gözlemlenmektedir. Bunu takiben Boeing ve Airbus yolcu uçak modelleriyle birlikte CL60 iş jeti uçaklarının da bu havalimanından sıkça uçtuğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4. 2023 Yılı Hasan Polatkan Havalimanı Gelen/Giden Uçak Sayıları ve Modelleri

Uçak Marka ve Modeli	Uçuş Sayısı	Uçak Marka ve Modeli	Uçuş Sayısı
A21N(A321)	94	C56X	14
A320	34	C650	6
A321	76	C680	1
ASTR(G100)	2	C681	1
AT8T	4	CL30	2
01M8	4	CL60	138
B234	8	CRJ2	3
B350	2	E35L	7
B38M(737)	30	F2TH	2
B737	16	FA8X	2
B738	380	GLEX	2
B739(Boeing 737-900)	39	GLF4	2
BE20	2	H25B	8
BE9L	205	J328	2
C172	2506	LJ45	16
C25A	6	LJ60	8
C550	4	PRM1	2
C560	2	TB20	1740

Tablo 5. Hasan Polatkan Havaalanı Gelen/Giden Uçak Tiplerine Ait Emisyon Miktarları

Uçak Marka ve Modeli	Miktarı (Adet)	CO <sub>2</sub> Emisyon (kg)	Toplam CO <sub>2</sub> Emisyon Miktarı (kg)
A21N(A321)	94	3.020	283.880
A320	34	2.440	82.960
A321	76	3.020	229.520
ASTR(G100)	2	2.160	4.320
AT8T	4	620	2.480
01M8	4	1.890	7.560
B234	8	230	1.840
B350	2	230	460
B38M(737)	30	2.780	83.400
B737	16	2.780	44.480
B738	380	2.780	1.056,400
B739(Boeing 737-900)	39	2.780	108.420
BE20	2	230	460
BE9L	204	230	46.920
C172	2.506	1.060	2.656,360
C25A	6	1.060	6.360
C550	4	1.060	4.240
C560	2	1.060	2.120
C56X	14	1.060	14.840
C650	6	1.060	6.360
C680	1	1.060	1.060
C681	1	1.060	1.060
CL30	2	2.160	4.320
CL60	138	2.160	298.080
CRJ2	3	1.060	3.180
E35L	7	1.060	7.420
F2TH	2	2.160	4.320
FA8X	2	2.160	4.320
GLEX	2	2.160	4.320
GLF4	2	2.160	4.320
H25B	8	2.160	17.280
J328	2	870	1.740
LJ45	16	2.160	34.560
LJ60	8	2.160	17.280
PRM1	2	1.060	2.120
TB20	1.740	1.060	1.844,400
<b>TOPLAM</b>			<b>6.893,160</b>

Bu çalışmada 2023 yılı Hasan Polatkan havalimanında uçak tiplerinin LTO ve seyir sırasında oluşan CO<sub>2</sub>

emisyonu, IPCC tarafından belirlenen Tier 2 metoduna göre bulunmuş ve her bir uçağın aylık emisyon değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar için gerekli olan emisyon faktörleri ile yakıt tüketimi değerleri için IPCC 2006 Direktifinde yer alan tablo verileri kullanılmış ve çıkan sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'te görüldüğü gibi yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyon miktarı en fazla olan ilk 3 uçak modeli uçuş sayılarına bağlı olarak sırasıyla C172, TB20 B738'dir. Uçuş sayıları aynı olmasına rağmen salınan CO<sub>2</sub> emisyonunun bazı uçaklarda farklı olduğu görülmektedir. Emisyonların hesaplanmasında sadece uçuş sayılarının etkili olmadığı bunun yanında uçak motor gücü, hızı, ağırlığı gibi parametrelere bağlı uçak tiplerinin de etkili olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

Tablo 6. Hasan Polatkan Havalimanına En Çok Uçuş Yapan 5 Uçak İçin CO<sub>2</sub> Emisyon Miktarları

Aylar	CL60 (t)	B738 (t)	BE9L (t)	C172 (t)	TB20 (t)	Toplam CO <sub>2</sub> Emisyon Miktarı (t)
Ocak	19.4	61.2	0.2	159	133.6	373.4
Şubat	34.6	44.5	20.2	53	65.7	218
Mart	23.8	61.2	0.9	2	239.6	541.7
Nisan	13	61.2	12	2	131.4	380.8
Mayıs	0	72.3	3	4	120.8	327.5
Haziran	8.6	94.5	0	6	161.1	469.8
Temmuz	38.9	155.7	1.4	4	328.6	902
Ağustos	25.9	172.4	0	6	23.3	497.2
Eylül	47.5	139	0	4	131.4	801.3
Ekim	30.2	66.7	0	1	292.6	832.6
Kasım	34.6	66.7	0.7	123	46.6	271.6
Aralık	21.6	61.2	8.7	25.4	169.6	286.5
<b>Toplam (t)</b>						<b>5902.4</b>

2023 yılında Hasan Polatkan Havalimanında uçuş sayısı 100'ün üzerinde olan 5 uçak modeli bulunmaktadır ve bunlara ait aylık CO<sub>2</sub> emisyon dağılımı Tablo 6'da verilmiştir. Her bir ay için farklı uçak modellerinin CO<sub>2</sub> emisyon miktarlarına bakıldığında tüm aylarda uçuş sayısı da en fazla olan C172 modelinden salınan emisyon %38,5'lik bir oranla neredeyse emisyonların büyük bir çoğunluğunu oluşturacak şekilde ilk sırada yer alırken,

emisyollarının %26,7'si TB20 modelinden kaynaklanmakta, B738 modeli ise üçüncü sırada yer almaktadır. Tablo 4'e bakıldığında CL60 modelindeki uçuş sayısının BE9L modelinin yaptığı uçuş sayısından daha az olduğu görülmektedir. Fakat daha önce belirtildiği gibi uçak gücünün farklı olması nedeniyle salınan CO<sub>2</sub> emisyonu CL60'da daha fazla çıkmıştır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Hasan Polatkan Havalimanına ait uçak modellerinin 2023 yılı uçuş verilerine göre her bir ay için karbon ayak izi tespit edilmiştir. Uçak modelleri incelendiğinde C172 uçak tipinin diğer uçak tiplerine göre emisyon miktarı olarak atmosfere en çok emisyon veren uçak tipi olduğu hesaplamalarda tespit edilmiştir. Emisyon miktarlarına göre C172 eğitim uçağını TB20 eğitim uçağı ve Boeing 738 yolcu uçak tipi uçaklar takip etmektedir.

2023 yılına ait uçuşlarda 6.893,160 CO<sub>2</sub>/yıl emisyon meydana gelmiştir. Bunun 5.902,390 CO<sub>2</sub>/yıl kısmı en çok uçuş yapan ve Tablo 6'da verilen 5 uçak modelinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca emisyon yoğunluğunun uçuş sayılarının arttığı yaz ve sonbahar aylarında daha fazla olduğu görülmektedir.

Havacılık sektöründe karbon ayak izinin hesaplanması, çevresel sorumluluğun bilimsel temellere dayandırılmasını ve etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu hesaplama süreci, sektördeki şirketlere çevresel etkilerini anlama, azaltma stratejileri belirleme ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma konusunda rehberlik eder. Havacılık sektörü, karbon ayak izini azaltma konusundaki çabalarını artırarak, gelecek nesillere daha temiz bir çevre bırakma taahhüdünü sürdürmelidir.

Havacılık sektöründe karbon ayak izinin azaltılması, çevresel sorumlulukların ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesiyle mümkün olabilir. Birinci adım, havayolu şirketlerinin filolarındaki uçakların teknolojik altyapısını gözden geçirmek ve daha çevreci seçeneklere yönelmek olabilir. Yenilikçi motor teknolojileri, yakıt verimliliği sağlayarak karbon emisyonlarını azaltabilir. Ayrıca, biyoyakıtların kullanımı, geleneksel jet yakıtlarının yerine daha sürdürülebilir ve düşük karbonlu alternatiflerle değiştirilmesini sağlayabilir. Bu sayede, havacılık sektöründeki karbon ayak izi önemli ölçüde düşürülebilir.

Havacılık endüstrisinde enerji verimliliğini artırmak da karbon ayak izinin azaltılmasında kritik bir rol oynayabilir. Uçuş sırasında daha iyi rotalama, uçakların optimum seyir hızlarını kullanması ve hava trafik yönetimindeki gelişmeler, enerji tüketimini azaltabilir ve bu da karbon emisyonlarını düşürmeye yardımcı olabilir. Ayrıca, uçak bakımı ve temizlik süreçlerinde

daha çevre dostu pratiklere geçiş de enerji tasarrufu sağlayabilir.

Havacılık sektöründeki karbon ayak izini azaltmada bir başka önemli faktör de uçakların daha uzun süre hizmette kalmasını sağlamaktır. Uçakların ömrünü uzatmak, üretim ve hurda süreçlerinin getirdiği çevresel etkileri azaltabilir. Bu durum, uçak üreticilerini daha dayanıklı ve uzun ömürlü tasarımlar geliştirmeye teşvik edebilir. Yenilikçi kompozit malzemelerin kullanımı, uçakların hafifletilmesine ve dolayısıyla daha az yakıt tüketmesine olanak tanıyabilir. Bu hem maliyet tasarrufu sağlar hem de çevresel etkileri azaltır.

Bu çerçevede, havacılık sektöründe karbon ayak izinin azaltılması için alınacak önlemler, endüstri genelinde bir dönüşümü başlatabilir. Daha çevreci teknolojilerin benimsenmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve sektör genelinde iş birliği, havacılık sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını sağlayabilir. Bu çabalar hem ekonomik hem de çevresel açıdan olumlu etkiler yaratarak, havacılık sektörünü daha yeşil ve sürdürülebilir bir geleceğe taşıyabilir.

Sonuç olarak, havacılık sektöründe karbon ayak izinin azaltılması, çeşitli önlemlerin bir araya gelmesini gerektiren kapsamlı bir süreçtir. Teknolojik yenilikler, enerji verimliliği artışı, malzeme seçiminde sürdürülebilirlik ve sektör genelinde iş birliği, havacılık sektörünün karbon ayak izini önemli ölçüde azaltabilir. Bu çabalar hem sektördeki paydaşların hem de dünya genelindeki toplumun çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine katkı sağlayarak, daha sürdürülebilir bir havacılık geleceği için temel oluşturabilir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin sağlanmasında destek ve katkılarından dolayı Eskişehir Teknik Üniversitesi ve Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı Yönetimi'ne teşekkür ederiz.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Çisil TİMURALP konunun tespit edilmesi, literatür araştırması, analiz ve yorumların yapılması; Furkan Rıza MERCAN, literatür araştırması, verilerin elde edilmesi analiz ve yorumlama yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

**Kaynaklar**

- Akdeniz, H. Y. (2021). Determining of Aircraft Engine Greenhouse Gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O) Emissions from the Landing and Take-Off Operations Around the Airport Area. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1140-1151. doi: <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.930376>
- Aygun, H., & Caliskan, H. (2021). Environmental and enviroeconomic analyses of two different turbofan engine families considering landing and take-off (LTO) cycle and global warming potential (GWP) approach. *Energy Conversion and Management*, 248, 114797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114797>
- Babaoğlu, N., & Özgünoğlu, K. (2017). Kahramanmaraş havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyonların belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 24-30. doi: <https://doi.org/10.17780/ksujes.335226>
- Bajgai, D. P., & Shrestha, K. L. (2023). Evaluation of aircraft emission at Tribhuvan international airport and its contribution to air quality in Kathmandu Nepal. *Atmospheric Environment: X*, 17, 100204. doi: [10.1016/j.aeaoo.2023.100204](https://doi.org/10.1016/j.aeaoo.2023.100204)
- Cao, F., Tang, T. Q., Gao, Y., You, F., & Zhang, J. (2023). Calculation and analysis of new taxiing methods on aircraft fuel consumption and pollutant emissions. *Energy*, 277, 127618. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127618>
- Champeechoarensuk, A., Dhakal, S., Chollacoop, N., & Phdungsilp, A. (2024). Greenhouse gas emissions trends and drivers insights from the domestic aviation in Thailand. *Heliyon*, 10(2). doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24206>
- Çağatan, K. (2011). *İstanbul Atatürk Havalimanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkileri* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ekici, S., Ayar, M., & Karakoc, T. H. (2023). Fuel-saving and emission accounting: An airliner case study for green engine selection. *Energy*, 282, 128922. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128922>
- Eskişehir Teknik Üniversitesi. (2023). Erişim adresi: <https://hph.eskisehir.edu.tr/tr/Icerik/Detay/istatistikler>
- Flyive aviation platform web site (2024), Erişim adresi: <https://flyive.com/ansiklopedi/sivilucaklar/cessna-172>
- Han, B., Kong, W. K., Yao, T. W., & Wang, Y. (2020). Air pollutant emission inventory from LTO cycles of aircraft in the Beijing-Tianjin-Hebei Airport Group, China. *Huan Jing Ke Xue*, 41(3), 1143-1150. doi: <https://doi.org/10.13227/j.hj.kx.201908199>
- IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997. Revised 1996 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II: Workbook*, Chapter, UK Meteorological Office, Bracknell.
- Kumaş, K., Onur, İ., Akyüz, A. Ö., & Güngör, A. (2019). Muğla Dalaman Havalimanı Uçaklardan Kaynaklanan Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(2), 291-297. doi: <https://doi.org/10.21541/apjes.466338>
- Lukačević, N., Mirković, B., Đogatović, M., & Ganić, E. (2022). Simulation model for estimation of aircraft emissions at Airport Podgorica. *Transportation Research Procedia*, 65, 180-189. doi: [10.38008/jats.v12i2.176](https://doi.org/10.38008/jats.v12i2.176)
- Şahin, Z., & Süzen, E. (2023). COVID-19 DÖNEMİNDE HAVACILIKTA STRATEJİK YÖNETİM VE UÇUŞ VERİLERİNİN İNCELENMESİ. *Akademik Hassasiyetler*, 10(22), 260-282.
- Tokuslu, A. (2020). Estimation of aircraft emissions at Georgian international airport. *Energy*, 206, 118219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118219>
- Ünal, İ., Türkoğlu, F., & Doğan, B. (2014). Nevşehir kapadokya havalimanının emisyon ve gürültü açısından değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 55(654), 24-29.
- Yılmaz, N., & Atmanlı, A. (2016). Havacılıkta alternatif yakıt kullanılmasının incelenmesi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 3-10.