

## Araştırma makalesi

# Covid-19'un havacılık sektörüne çevresel etkisi: Adnan Menderes Havalimanı örneği

Büşra Nur Keskin<sup>1,\*</sup>, Prof.Dr. Özge Yalçın Erçoşkun,<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Traffic Planning and Implementation, Gazi University, Ankara, Turkey

<sup>2</sup> Department of City and Regional Planning, Faculty of Architecture, Gazi University, Ankara, Turkey

\*Correspondence: [bnk.busranurkeskin@gmail.com](mailto:bnk.busranurkeskin@gmail.com)

DOI: 10.51513/jitsa.880466

**Özet:** Havacılık faaliyetlerinin atmosferde hava kalitesini etkileyen emisyonlara neden olduğu göz ardı edilemeyecek seviyededir. Uçakların iniş/kalkış sayıları ve seyir aşamalarında harcadıkları yakıt sonucu oluşan sera gazları ile hava kirleticilerinin küresel ısınmaya etki ettiği daha önce yapılan bilimsel çalışmalarla desteklenmiştir. Bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda bir havalimanında 24 saat içinde gerçekleşen tüm uçuşların bir günlük çevreye etki ettikleri emisyon oranları pandemi öncesi ve sonrası olacak şekilde hesaplanmış, pandemi sonrası seyir sayısındaki azalışın bir günlük çevreye olan etkisini ortaya çıkararak çevresel farkındalık oluşturmak amaçlamıştır. İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nda uçuşların LTO (Landing and Take-off Cycle / İniş-kalkış) esnasında oluşturduğu sera gazı emisyonları ve hava kirleticileri IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change /Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından önerilmiş olan Tier yaklaşım metodolojisi ile hesaplanmıştır. Uçak tiplerine göre incelemeler yapıldığında, emisyon miktarı olarak atmosfere en çok emisyon salımı yapan uçak tipi tespit edilmiştir. Seyir kısıtlarının kalkması ve havalimanında ki uçuş sayılarının artmasıyla birlikte emisyon değerlerinin tekrar yükselişe geçeceği bilinmektedir. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelerde sefer sayısındaki azalışın bir günlük etkisi ortadadır. Havayolu taşımacılığının atmosfere bıraktığı sera gazı ve hava kirleticilerinin bir gün içerisinde ve bir havalimanı üzerinde incelenmiş olması, konunun ciddiyetini ve alınması gereken tedbirlerin bir an önce yapılması gerektiğini ortaya çıkartmıştır.

**Anahtar Kelime:** Ulaşım, Hava Kirleticileri, Uçuş Veri Kayıtları, Tier, Adnan-Menderes Havalimanı

## Environmental impact of Covid-19 on the aviation industry: The case of Adnan Menderes Airport

**Abstract:** It cannot be ignored that aviation activities cause emissions in the atmosphere that affect air quality. Previous scientific studies have shown that the number of landing/take-offs of the aircraft and the greenhouse gases generated as a result of the fuel they spend during the cruise stages and air pollutants affects global warming. Considering these factors, the emission rates of all flights in an airport within 24 hours have been calculated to be before and after the pandemic for a day, and it is aimed to create an awareness that will reveal the effect of the decrease in the number of trips after the pandemic on the environment for a day. The greenhouse gas emissions and air pollutants generated by flights during LTO (Landing and Take-off Cycle) at İzmir Adnan Menderes Airport were calculated using the Tier approach methodology proposed by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). When examinations are made according to aircraft types, the type of aircraft emitting the most emission to the atmosphere has been determined. It is known that with the removal of cruise restrictions and the increase in the number of flights at the airport, emission values will rise again. In the evaluations made within the scope of the study, the one-day effect of the decrease in the number of trips is obvious. Therefore, in the following processes, taking into account these rates, methods such as green airport practices to reduce emission rates at airports, reducing passenger loading and unloading service times, reducing the number of flights by keeping aircraft occupancy rates at a high level will reduce the effect of greenhouse gases and air pollutants on global warming. In the fact, the greenhouse gases and air pollutants released into the atmosphere by air transport were examined within a day and on an airport, revealing the seriousness of the issue and the measures to be taken as soon as possible.

**Key words:** Transportation, Air Pollutants, Flight Data Records, Tier, Adnan Menderes Airport

\* Corresponding author;

E-mail address: [bnk.busranurkeskin@gmail.com](mailto:bnk.busranurkeskin@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9089-5132, 0000-0003-2734-0374 (in hierarchical order)

Received 15 February 2021; accepted 30 April 2021

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

## 1. Giriş

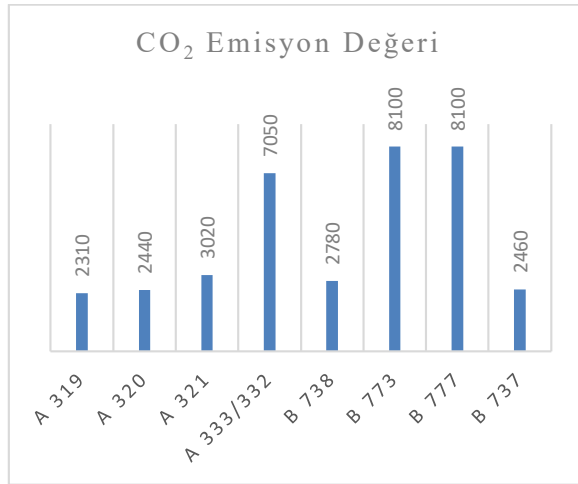
Sera gazı emisyonu, CO<sub>2</sub> salınımı gibi çevre kirliliğini etkileyen faktörler son zamanlarda tüm dünyada en dikkat çeken konulardan biri haline gelmeye başlamıştır. Ulaştırma sektörünün, dünya çapındaki karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %25'ini oluşturduğu ifade edilmektedir. 2018 yılında ulaştırma sektörünün ulusal enerji tüketimine %27,6 katkıda bulunduğu tespit edilmiş ve sanayi sektöründen sonra enerji tüketiminde ikinci sırada olduğu ifade edilmiştir. Dolayısıyla ulaştırma sektörünün çevre ile ilişkisi yadsınamaz bir hâle gelmektedir. Günümüzde birden fazla ulaştırma modu vardır. Bu modların her birinin çevreye verdiği hava kirleticilerinin ve emisyon salınım oranlarının farklı olduğu bilinmektedir. (“On Birinci Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonları,” n.d.) (T.C. Strateji ve Bütçe Bakanlığı, 2021). Ulaşım modlarından biri olan havayolu taşımacılığı giderek önem kazanmakta ve günümüzde giderek tercih edilen bir mod olmaya başlamıştır. Dünya geneline bakıldığında da yeni havalimanlarının oluşturulması, uçak sayılarının ve sefer sayılarının artması bu teoremi destekler niteliktedir. Hükümetler arası iklim değişikliği paneline göre; iklim değişikliğinde insanın sebep olduğu CO<sub>2</sub> salımlarının %2'sinin sivil havacılığın etkisinden kaynaklandığı ifade edilmiş, bu oran 2050 yılına kadar % 3 ulaşabileceği tahmin edilmektedir (EkoYapı, 2015). Havaalanı faaliyetlerinden kaynaklı salımların toplam havacılık salımlarının % 5'ine denk geldiği hesap edilmiştir (IPCC, n.d.). Dolayısıyla ekonomik ve sosyal kalkınma açısından havayolu taşımacılığının bir artışı olduğu kadar, çevresel açıdan verdiği zarara da dikkat edilmesi gerekmektedir (Simpson, 2008). Bu çalışmada hava yolu taşımacılığında kaynaklanan çevre kirleticileri ve CO<sub>2</sub> salınımı üzerinde durulmaktadır. Uçakların iniş/kalkış sayıları ve seyir aşamalarında harcadıkları yakıt sonucu oluşan sera gazları ile hava kirleticilerinin küresel ısınmaya etki ettiği daha önce yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda bir havalimanında 24 saat içinde gerçekleşen tüm uçuşların bir günlük çevreye ettiklerinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Günümüzde uçak sayılarının ve sefer sayılarının giderek arttığı dönemde, bu durumu tam terine dönüştüren COVID-19

salgını karşımıza çıkmaktadır. Küresel bir salgın olan COVID-19 her sektörde olduğu gibi havayolu taşımacılığı sektörünü de durma noktasına getirmiştir. Mart 2020'nin ortalarında hava yolculuğu tüm dünyada önemli ölçüde düşmeye başlamıştır (Hotle & Mumbower, 2021). Bu durağanlığı ve düşüşü göz önünde bulundurularak bir havalimanında 24 saat içinde gerçekleşen tüm uçuşların emisyon oranları, pandemi öncesi ve sonrası olacak şekilde hesaplanarak pandemi sonrası seyir sayısındaki azalışın bir günlük çevreye (hava kirliliğine) olan etkisini ortaya çıkaracak bir farkındalık oluşturmak amaçlanmıştır.

## 2. Uçaklardan kaynaklanan emisyonlar

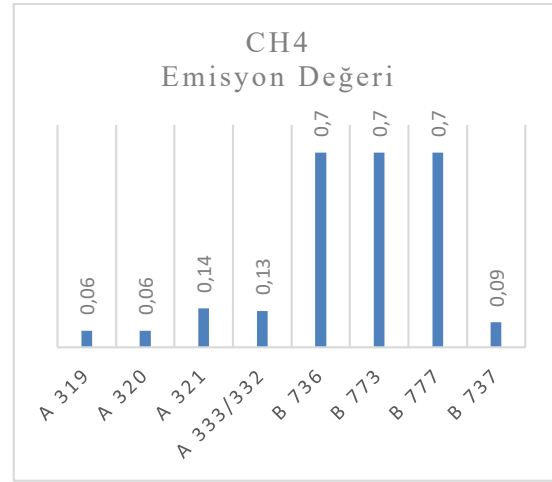
İnsan aktivitelerinden ortaya çıkan ve atmosfere salınan sera gazları, sanayi devriminden sonra giderek artış göstermiştir (Shepherd, 1998). Sera gazı üretimine sebep olan en büyük faktörlerden biriside ulaşım sektörü olarak ifade edilmektedir (USLU ŞENEL & ATABEY, 2020)(KESGIN, 2006). Son zamanlarda giderek gelişim gösteren havacılık sektörü ile beraber artmakta olan uçak sayısı ve sefer sayıları da hava kirliliğine katkı sağlayan en önemli etkiler arasında olduğu bilinmektedir (Kumaş et al., 2019). (Pecorari et al., 2016), (Song et al., 2015), yaptığı çalışmada Avrupa'daki mevcut uçuş sayısının tahminen 2025 yılında %32'lik artışla 2,3 milyon uçuşa ulaşabileceğini öne sürmüştü ve bu artışın hava kirliliği üzerinde olumsuz bir etki yaratacağını vurgulamıştır. Hava yolu taşımacılığında kaynaklanan salımların büyük bir çoğunluğu uçakların uçuşları sırasında atmosfere saldıkları kirleticilerle, kalkış-iniş esnasında tükettikleri yakıtlardan kaynaklandığı ifade edilmiştir (Akyüz et al., 2019)(EKİCİ & ŞÖHRET, 2020)(Stacey et al., 2021), (Ekici et al., 2013). Uçaklardan kaynaklanan emisyonlar ise; CO<sub>2</sub> (karbondioksit), CH<sub>4</sub> - Metan, N<sub>2</sub>O- Diazaot Monoksit, NO<sub>x</sub> - Azot Oksitler, CO- Karbon Monoksit, NMVOC Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler, SO<sub>2</sub>- Kükürt Dioksit olarak ifade edilmiştir. (IPCC, n.d.) göre her bir uçak modelinin kendi teknik özelliklerine göre farklılık gösteren emisyon değerleri vardır. CO<sub>2</sub> - Karbondioksit sera gazı etkisine sahip olan gazların başında saydam bir gaz olarak ifade edilmiştir. Bu saydam gazın doğal yollardan bitki örtüsü ve okyanuslar tarafından absorbe

edildiği ve üretildiği de bilinmektedir. Fosil yakıt kullanımının artması, kararlı ve radyoaktif yapıdaki karbon izotoplarındaki azalma CO<sub>2</sub> salımının artmasına neden olduğu gibi atmosferdeki oksijen miktarının azalmasında atmosferde ki CO<sub>2</sub> miktarının artması ile bağlantılı olduğu ifade edilmektedir. Kullanılan uçak modellerine göre kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu Şekil 1’de gösterilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre, karbondioksit salımı en az olan uçak türü A 319, en fazla olan ise B 773-B777’dir.



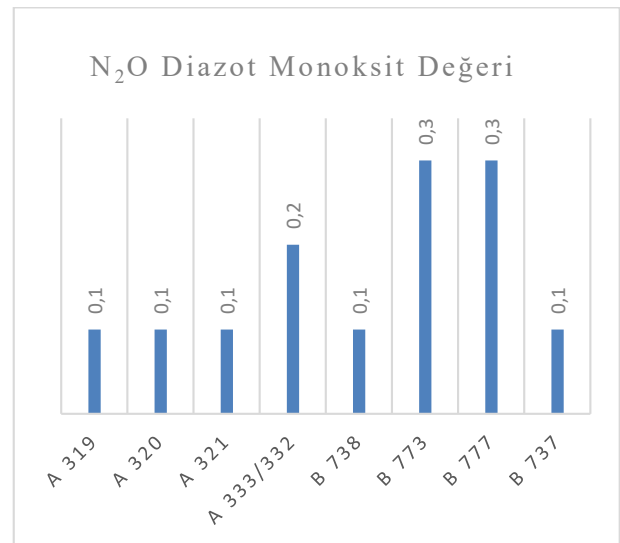
Şekil 1. Uçak türlerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değeri

CH<sub>4</sub> - Metan gazının ise sera gazı etkisinin %20’sini meydana getirdiği ifade edilmiştir. Bu maddenin, karbondioksite nazaran 20 misli daha ısı tutucu bir rol oynadığı bilinmektedir. Dünya çapındaki ısınma nedeni ile anaerobik çürümenin hızlanmasına karşın CO<sub>2</sub> kadar metan üretiminin de arttığı belirtilmiştir. Ayrıca Metan gazının oluşmasında insan faaliyetlerinin de katkısı olduğu kanısına da varılmıştır. Şekil 2’de uçak türlerine göre oluşan CH<sub>4</sub> gazı gösterilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre, az CH<sub>4</sub> salınım yapan uçak A 319- 320 iken en fazla ise A 321’dir.



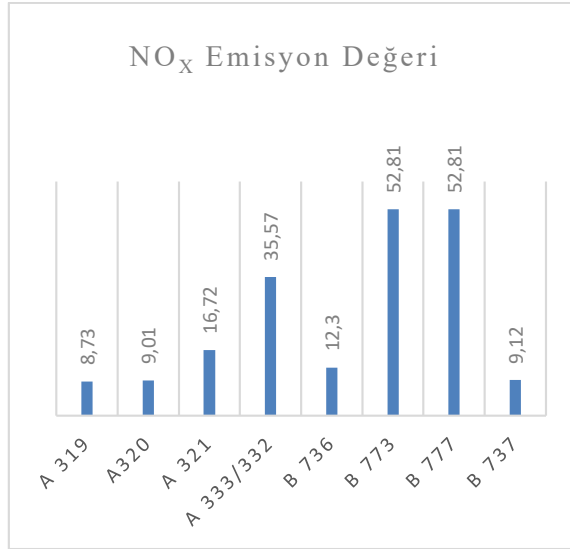
Şekil 2. Uçak türlerine göre CH<sub>4</sub> emisyon değeri

N<sub>2</sub>O – Diazot Monoksit gazı sera etkisinin %8’ni oluşturduğu tahmin edilmektedir (Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, n.d.). İnsan faaliyetleri sonucunda üretilmesinde en büyük payı, tarım arazilerinde sentetik ve doğal gübre kullanımı, özellikle ulaşımda kullanılan fosil kayıtlar, nitrik asit üretimi, atık su arıtımı ve atık yakılması gibi faktörlerin Diazot monoksit oluşumunda etkisi olduğu akademik çalışmalarla desteklenmiştir. Şekil 3’de uçak türlerine göre oluşan N<sub>2</sub>O gazı salımı gösterilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre değerler arasında büyük bir fark gözetmeksizin en yüksek salıma sahip uçak türünün B773- B777’dir.



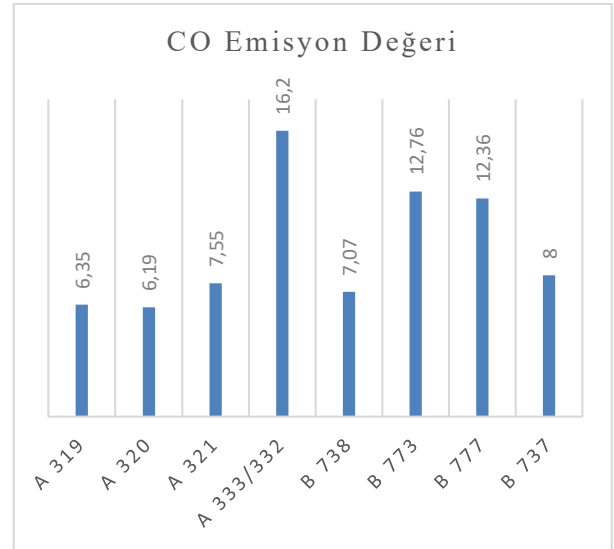
Şekil 3. Uçak türlerine göre N<sub>2</sub>O diazot monoksit değeri

NO<sub>x</sub>- Azot Oksitlerin (NO ve NO<sub>2</sub> vb.) temel iklim değişimlerine doğrudan olmasa bile dolaylı olarak etkisinin olduğu ifade edilmiştir. Uçaklardan kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyonları metan konsantrasyonunun azalmasında etkisi olduğu ifade edilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre, Şekil 4’de uçak modellerine göre çevreye salınan NO<sub>x</sub>’lerin oranları gösterilmiştir. A 319 en düşük salıma sahip iken, B 777- B773 uçak modellerinin en yüksek salıma sahip olduğu görülmektedir.



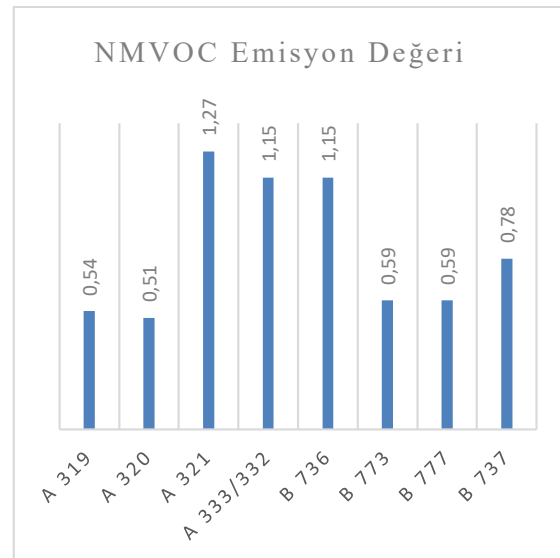
Şekil 4. Uçak modellerine göre NO<sub>x</sub> emisyon değerleri

CO- Karbon Monoksit; karbon içeren yakıtların eksik yanması sonucunda oluşan bir gaz olup atmosferdeki doğal prosesler sonucunda CO<sub>2</sub> şeklini aldığı belirtilmektedir. Ayrıca bu gaz konsantrasyonlarının atmosferde kısa ömürlü olduğu ve konumlarına göre değişiklik yaptığı da belirtilmektedir. (IPCC, n.d.) verilerine göre Şekil 5’te uçak modellerine göre havaya salınan CO gazı değerlerini göstermektedir. CO emisyon değeri en düşük olan A320 en yüksek olan uçak modeli ise A 333/332’dir.



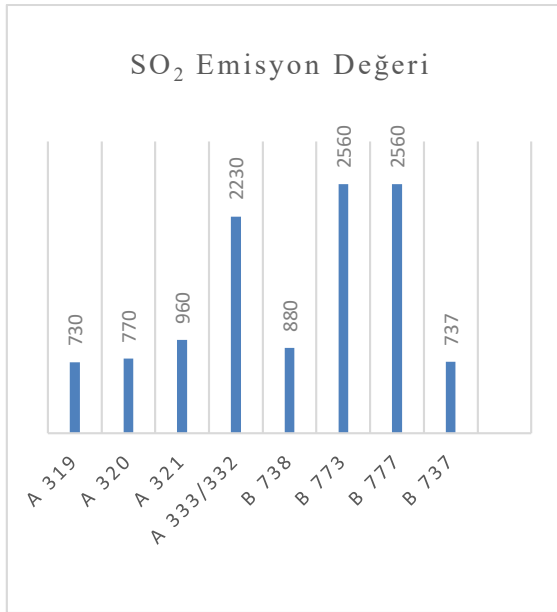
Şekil 5. Uçak modellerine göre CO emisyon değerleri

NMVOC- Metan haricindeki uçucu organik bileşiklerin emisyonları temel olarak ulaştırmadan, sanayi işlemlerinden, biokütlelerin yakılmasından ve organik çözücülerin endüstri dışı tüketiminden kaynaklandığı ifade edilmiştir.(IPCC, n.d.) verilerine göre Şekil 6 uçak modellerine göre ortaya çıkan NMVOC bileşiklerin salım oranlarını göstermektedir. En fazla salıma sahip olan uçak modeli A 321 iken en az salım oranı A 320 olduğu görülmektedir.



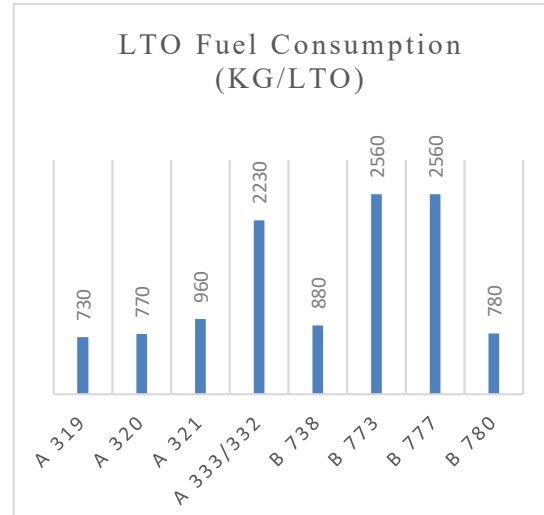
Şekil 6. Uçak modellerine göre ortaya çıkan NMVOC

SO<sub>2</sub>- Kükürt Dioksit; hava kirliliğine neden olan kükürt dioksit, ölümlere ve hastalıklara yol açan maddeler arasında yer almaktadır. Kükürt dioksitin taşınması konusunda ise sadece kömürlü termik santrallerde bulunmadığı, partiküllerin rüzgâr yoluyla farklı bölgelere taşındığı ifade edilmiştir. Greenpeace Hindistan'ın NASA Ozon Görüntüleme Aracı / Ozone Monitoring Instrument (OMI) görüntülerinden faydalanarak hazırladığı rapor, 2018 yılında Türkiye'nin insan faaliyetleri kaynaklı kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonlarında dünyada 10. sırada bulunduğunu belirtilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre, Şekil 7'de uçaklardan kaynaklanan kükürt dioksit salım oranları gösterilmiştir. Salım oranı en az A 319 iken en fazla orana sahip uçak modelleri B 773/ B 777 olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Uçak modellerine göre ortaya SO<sub>2</sub>

(IPCC, n.d.) verilerine göre uçak modellerinin yakıt tüketimi ise Şekil 8'de gösterilmiştir. En az yakıt tüketiminde bulunan uçak modelinin A 319, en fazla yakıt tüketiminin olduğu uçak modeli ise B 773- B 777 olduğu görülmektedir.



Şekil 8. LTO fuel consumption (KG/LTO)

Tüm bu veriler göz önünde bulundurulduğunda hava yolu taşımacılığının çevre ile ilişkisi adına literatürde birden fazla çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür (Cote, M., Collings, R., Pilcher, R., Talkington, C., & Franklin, 2004), (Naugle & Fox, 1981). (Ashworth et al., 2020), çalışmasında Londra'da uçaklardan kaynaklanan bölgesel hava kirliliği üzerine bir vaka çalışması yapılmıştır. (Zvyagintseva et al., 2020), ise çalışmasında aktif uçak motorlarından kaynaklanan kirletici emisyon parametrelerini göz önünde bulundurarak yüzey gazlarından oluşan kirliliği azaltmak için çözüm önerilerinden bahsetmiştir. (Zaporozhets & Synlyo, 2017), havalimanı alanı içinde uçak motoru emisyonu ve emisyon envanter değerlendirilmesinde iyileştirme önerilerinde bulunmuştur, yapılan bu çalışmada yerel hava kalitesi üzerinde analizler yapıldığı görülmektedir. Havalimanlarında bölgesel anlamda hava kalitesi çalışmalarının yapıldığı çalışmalarda karşımıza çıkmaktadır (SCHAEFER et al., 2008). Genel ve bölgesel çalışmaların yanında uçaklardan kaynaklanan emisyonlar da kendi arasında geniş bir çalışma yelpazesine sahiptir. Bu alanda yapılan çalışmalarda farklı yöntem ve analizler kullanılarak sayısal verilere dayalı öneri ve iyileştirilmelerde bulunduğu literatürde görülmektedir. (Vedantham & Oppenheimer, 1998), çalışmada havacılık sektörü için uzun vadeli senaryolar için CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını değerlendirmiştir. (Macintosh & Wallace, 2009), 2025 yılına kadar uluslararası havacılık sektöründen kaynaklanan emisyonların kısıtlanmadan önüne geçilebilir mi sorusuna yanıt aramıştır. (Schürmann et al., 2007), NO<sub>x</sub>, CO ve VOC emisyonlarının Zürih

havalimanının hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Havalimanında uçağın iniş ve kalkış (LTO) aktivitelerinden kaynaklanan emisyonlar içinde yapılan birçok çalışmalar mevcuttur. (Hsu et al., 2012) , Workwich T.F. Green Havalimanında LTO verilerini kullanarak Ultrafine partikül konsantrasyonlarının etkilerini belirlemiştir. (BABAĞLU, N., & ÖZGÜNOĞLU, 2017), (Kumaş et al., 2019), çalışmalarında belirledikleri havalimanlarının uçuşlardan kaynaklanan karbon ayak izini Tier yöntemi ile belirlemişlerdir. 1988’de Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından oluşturulan IPCC’nin amacı, her düzeydeki hükümlere iklim politikalarını geliştirmek için kullanabilecekleri bilimsel bilgileri sağlamak olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada İzmir Adnan Menderes Havalimanında uçakların LTO esnasında oluşturduğu sera gazı emisyonları ve hava kirleticileri, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change/ Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından önerilmiş ve Tier yaklaşımıyla belirlenmiş metodolojiye göre tahmin edilmiştir.

### 3. Adnan Menderes Havalimanı (Çalışma Alanı)

Coğrafi Koordinatları: 38°17’21"N, 27°09’18"E olan, Adnan Menderes Havalimanı 17 Kasım 1897 yılında işletmeye açılmıştır. Havalimanında 2 pist (paralel) bulunmaktadır, bu pistler uzunluk olarak 3.240 m, genişlik olarak 45m’lik olduğu belirtilmiştir. 2 adet terminale (iç / dış hatlar) sahip olan havalimanının toplam terminal binası büyüklüğü 310.978 m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. İç Hatlar; terminal binası oturma alanı: 63.210,46 m<sup>2</sup>, terminal binası toplam alanı: 203.279 m<sup>2</sup>, 20 milyon yolcu/yıl kapasitelidir. Dış Hatlar Terminal binası oturma alanı 33.648,50 m<sup>2</sup>, toplam alanı 107.699

m<sup>2</sup> olup, 10 milyon yolcu/yıl kapasitelidir. (DHMI., n.d.).

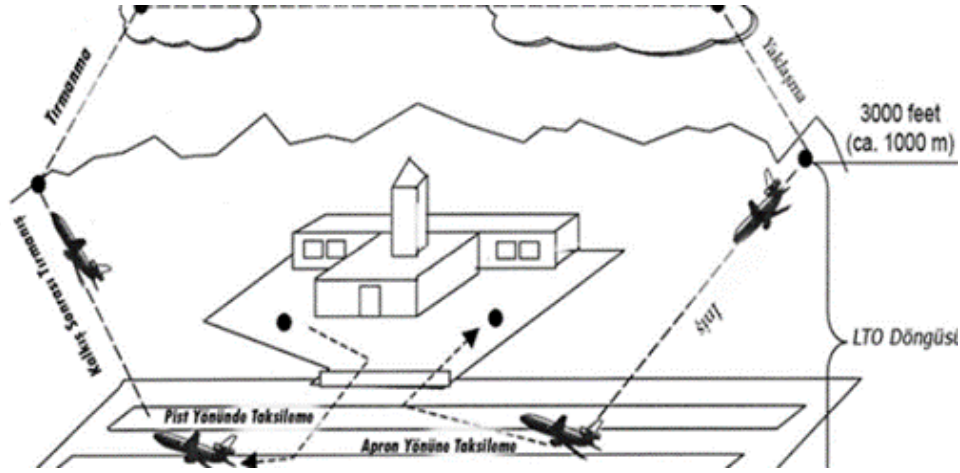
### 4. Emisyonların Belirlenmesi (Metot)

Bu çalışmada, IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) kılavuzunda yer alan “Enerji” başlığı altındaki yakıt yanması emisyonlarından yararlanılmış. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların yanma koşulları, teknolojisi, emisyon standartları, yakıt karakteristikleri gibi faktörlerin hesaplanabilmesi için karşımıza Tier yöntemi çıkmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen verilere göre Tier 1 ve Tier 2 yöntemi kullanılmıştır.

(IPCC, n.d.) Kılavuzuna göre; Tier 1; ulusal enerji istatistiklerinden yakılan yakıt miktarı ve default emisyon faktörleri şeklinde tanımlanmaktadır. En basit hali ile Tier 1 metodu havayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonları bulmak için (1) nolu eşitlikte gösterildiği gibi havacılıkta LTO ve seyir faaliyetlerinde tüketilen yakıt miktarı ile uçak tiplerine göre IPCC emisyon faktörünün çarpılması ile hesaplanmaktadır. Şekil 9’da LTO döngüsü gösterilmektedir. LTO döngüsünün 1000 m altındaki tüm faaliyetleri içerdiği, seyrin ise 1000 m üstündeki tüm faaliyetleri ve tırmanma aşamasının sonundan iniş aşamasının sonuna kadar geçen faaliyetler olarak tanımlanmıştır (IPCC, n.d.).

Emisyon Miktarı= Emisyon Faktörü × Yakıt Tüketimi (1)

Havacılıkta kullanılan yakıtların %1’den daha az kısmı uçak benzininden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hesaplamalar jet yakıtına göre yapılmaktadır.



Şekil 9. LTO döngüsü (IPCC, 2006)

Çalışmada kullanılacak olan bir diğer yöntem olan Tier 2 IPCC kılavuzuna göre; ulusal enerji istatistiklerinden yakılan yakıt türüne göre yakıt miktarı, yakıt karakteristiğine bağlı olarak belirlenmiş ülkeye özel emisyon faktörleri olarak tanımlanmıştır. Bu yöntem sadece jet yakıt kullanan jet motorlu uçakları için kullanılmaktadır. Tier 2 metodunun uygulanabilmesi için LTO sayısı ve uçak türlerinin bilinmesi gerekmektedir. Pandemi

öncesi ve sonrası olacak şekilde belirlenen tarihlerde (05.11.20- 05.11.19) Adnan Menderes Havalimanında bulunan uçak çeşitleri ve uçaklara ait LTO sayıları yetkili birimlerden elde edilmiş, IPCC’da yer alan emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi (2) nolu eşitlikte gösterildiği gibi değerlerin çarpılmasıyla bulunmaktadır. Tablo 1’de Uçak tiplerine göre IPCC emisyon faktörleri gösterilmiştir.

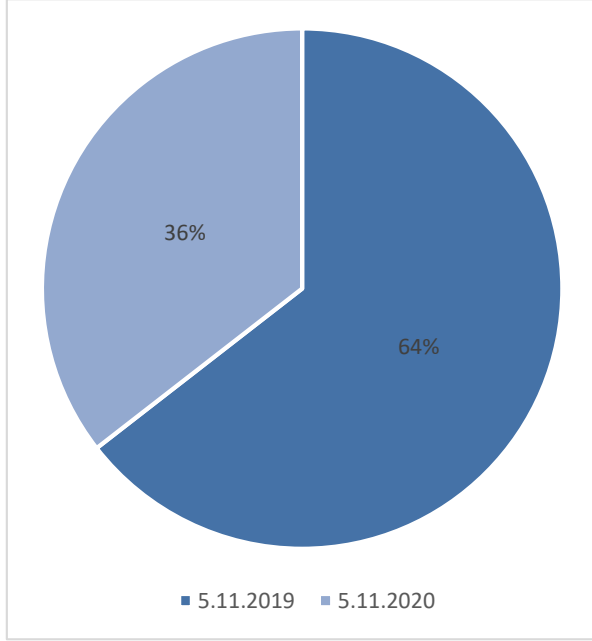
$$\text{LTO Emisyonu} = \text{LTO sayısı} \times \text{LTO Emisyon Faktörü (2)}$$

Tablo 1. Uçak tiplerine göre IPCC emisyon faktörleri

Uçak Tipi	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC	SO <sub>2</sub>	Yakıt Tüketimi
A 319	2310	0,06	0,01	8,73	6,35	0,54	0,73	730
A320	2440	0,06	0,01	9,01	6,19	0,51	0,77	770
A 321	3020	0,14	0,1	16,72	7,55	1,27	0,96	960
A 332/333	7050	0,13	0,2	35,57	16,20	1,15	2,23	2230
B 738	2780	0,07	0,1	12,30	7,07	0,65	0,88	880
B 773/777	8100	0,07	0,3	52,81	12,76	0,59	2,56	2560
B 737	2460	0,09	0,1	9,12	8,00	0,78	0,78	780

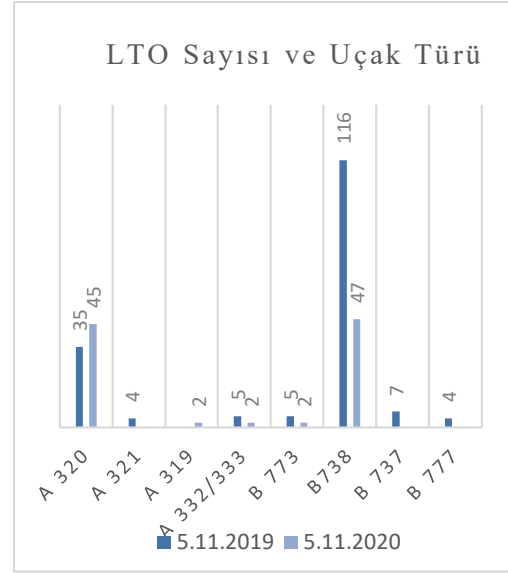


Pandemi öncesi ve sonrası çalışma kapsamında incelenen tarihlerdeki Adnan Menderes Havalimanında bulunan uçak sayısı Şekil 10'da gösterilmiştir.



**Şekil 10.** Adnan Menderes Havalimanında bulunan uçak sayısı

Tier 2 yönteminin kullanılabilmesi için uçak türlerinin bilinmesi gerektiği ifade edilmiştir. Şekil 11'de 05.11.2019/ 05.11.2020 tarihlerinde Adnan Menderes Havalimanı uçak filosunda bulunan uçak türleri ve LTO satıları gösterilmiştir.



**Şekil 11.** 5.11.19/ 5.11.20 LTO sayısı ve uçak türü



## 5. Bulgular

Tier 1 ve Tier 2 yöntemi kullanılarak pandemi öncesi ve sonrası olacak şekilde farklı yıllarda

aynı gün gerçekleşen uçuşların emisyon oranları hesaplanmıştır. Bu veriler Tablo 2-3 gösterilmektedir.

**Tablo 2.** 05.11.2019 emisyon oranları (24 saat)

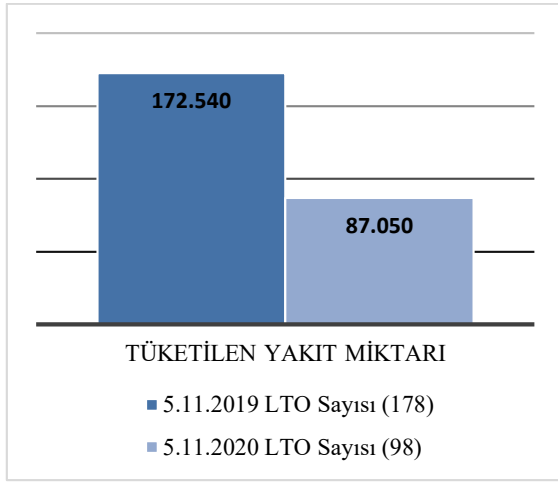
Uçak Tipi	LTO Sayısı	CO2	CH4	N2O	NOX	CO	NMVOC	SO2	Tüketilen Yakıt
A 320	35	85.400	2,1	3,5	315,35	216,65	17,85	26,95	26.950
A 321	4	12.080	0,56	0,4	66,88	30,2	5,08	3,84	3.840
A 332	4	28.200	0,52	0,8	142,28	64,8	4,6	8,92	8.920
A 333	1	7.050	0,13	0,2	35,57	16,20	1,15	2,23	2.230
B 738	116	322.480	8,12	11,6	1.426,8	8,12	75,4	102,08	102.080
B 773	5	40.500	0,35	1,5	264,05	63,8	2,95	12,8	12.800
B 737-700	7	17.220	0,63	0,7	63,84	56	5,46	5,46	5.460
B 777	4	32.400	0,28	1,2	211,24	51,04	2,36	10,24	10.240

**Tablo 3.** 05.11.2020 emisyon oranı (24 saat)

Uçak Tipi	LTO Sayısı	CO2	CH4	N2O	NOX	CO	NMVOC	SO2	Tüketilen Yakıt
A 319	2	4.620	0,12	0,2	17,46	12,7	1,08	1,46	1.460
A 320	45	109.800	2,7	4,5	405,45	278,55	22,95	34,65	34.650
A 333	2	14.100	0,26	0,4	71,14	32,4	2,3	4,46	4.460
B 773	2	16.200	0,14	0,6	105,62	25,52	1,18	5,12	5.120
B 738	47	130.660	3,29	4,7	5781,1	332,29	30,55	41,36	41.360

Tablo 2-3’de görüldüğü gibi yakıt tüketimine bakıldığında LTO sayısı arttıkça yakıt tüketimi de artmıştır. LTO sayısı aynı olan uçaklar kendi içinde karşılaştırıldığında çevreci uçaklar ortaya çıkmaktadır. Emisyon oranları düşük olan uçakların salım oranlarının düşük olduğu görülmektedir. Tüketilen yakıt miktarına bakıldığında ise 05.11.19 tarihinde 172.540

Kg/LTO iken 05.11.20 tarihinde bu miktar 87.050 Kg/ LTO olduğu görülmektedir. İki tarih arasındaki uçak farkının 80 olması, ortaya çıkan yakıt tüketimini neredeyse yarı yarıya indirmiştir. Şekil 12.



Şekil 12 Yakıt tüketimi KG/LTO

Uçak türlerine göre tüketilen yakıt miktarına bakıldığında ise 05.11.19/05.11.20 tarihlerinde B 738 uçak modelinin diğerlerine göre en yüksek yakıt tüketimine sahip olduğu karşımıza çıkmaktadır. (Tablo 4-5)

Tablo 4'te yakıt tüketimi olarak B738, B777/B773 ve A332/A333 uçak tiplerine göre daha çevreci olarak gözükse de LTO sayısındaki fazlalık yakıt tüketimini bu uçaklara nazaran arttırmıştır.

Tablo 4. 05.11.2019 uçak türleri, LTO sayıları, yakıt tüketimi

Uçak Tipi	Yakıt Tüketimi (kg/LTO) (1 uçak için)	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi Birim*LTO sayısı
A 320	770	35	26.950
A 321	960	4	3.840
A 332	2230	4	8.920
A 333	2230	1	2.230
B 738	880	116	102.080
B 773	2560	5	12.800
B 737-700	780	7	5.460
B 777	2560	4	10.240

Tablo 5. 05.11.2020 uçak türleri, LTO sayıları, yakıt tüketimi

Uçak Tipi	Yakıt Tüketimi (1 uçak için)	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi Birim*LTO sayısı
A 319	730	2	1460
A 320	770	45	34.650
A 333	2230	2	4.460
B 773	2560	2	5.120
B 738	880	47	41.360

## 6. Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışma neticesinde Adnan Menderes Havalimanında bir günde uçaklardan kaynaklanan emisyon oranları ortaya çıkarılmış, çevreye olan etkisi sayısal verilerle desteklenmiştir. Giderek artan hava yolu taşımacılığının COVID-19 salgını sebebiyle gerilemesi ve neredeyse durağan hale gelmesi sefer sayısındaki azalışın çevreye bıraktığı bir günlük etki ortaya çıkarılmıştır. Sefer sayısının azalması ile emisyon oranında azalmasını

tahmin etmek güç değildir, fakat burada bu durumun sayısal verilerle ve kullanılan yöntemlerle desteklenmesi durumun ciddiyetini göstermektedir. Çalışma neticesinde İzmir Adnan Menderes Havalimanında B 738 uçağının daha fazla tercih edildiği görülmektedir, ikinci sırada ise A 320 uçak tipinin tercih edilmiştir. Pandemi öncesi sonrası karşılaştırma yapıldığında karşılaşılan bir durum ise uçak tiplerindeki azalış olmasıdır.

Giderek artan ve yapılan literatür çalışmasında da gelecek yıllarda yüzdelik dilimde artış gösterecek olan havayolu taşımacılığı için emisyon oranının azaltılmasında ne gibi yöntemler kullanılmalı sorusuna cevap aranmıştır. Gelecek yıllarda sefer sayısını azaltamayacağımızdan uçakların mevcut doluluk durumları kontrol edilebilir, çevreci yakıtlar tercih edilebilir, yolcu indirme-bindirme servis zamanları azaltılabilir, yakıt yönetimi ve takip yazılımları uygulanabilir, uçak ağırlıklarının azaltılması da emisyon oranlarını düşürmenin de emisyon oranındaki azalmaya katkıda bulunduracağı düşünülmektedir. Ayrıca yeşil sertifikalı havalimanları uygulamaları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Son zamanlar havacılık sektöründe gündeme gelen çevreci uçaklar ve uçak teknolojisinde kullanılması hedeflenen biyo yakıtların ön plana çıkacağı ve elektrikle çalışan uçak modellerinin kullanımından söz edilmiştir. Dolayısıyla bu tür gelişimlerin havayolu taşımacılığının daha çevreci bir yaklaşıma sahip olmasıyla birlikte salınan zararlı emisyonların azalmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışma neticesinde bir günlük emisyonlar göz önünde bulundurulduğunda yapılan her uygulama ve gelişimin havacılık sektöründe nedenli önemli olduğunu ifade edilmek istenmiştir.

**Araştırmacıların katkı oranı beyanı**  
Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

**Destek ve teşekkür beyanı**

Destek ve Teşekkür edilecek bir kurum ya da kişi yoktur.

**Çıkar çatışması beyanı**

Havalimanı Müdürlüğü açısından bir çıkar çatışması yoktur, çalışmada kullanılan veriler DHMİ, Adnan Menderes Havalimanı, TAV belirtilen kurum ve kuruluşların resmî web sitelerinden yararlanılmış olup veri desteğinde bulunulmuştur.

## Kaynakça

**Akyüz, A. Ö., Kumaş, K., İnan, O., & Güngör, A.** (2019). Muğla Hava Trafikinin Karbon Ayak İzi Açısından İncelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(2), 291–297. <https://doi.org/10.21541/apjes.466338>

**Ashworth, K., Bucci, S., Gallimore, P. J., Lee, J., Nelson, B. S., Sanchez-Marroquín, A., Schimpf, M. B., Smith, P. D., Drysdale, W. S., Hopkins, J. R., Lee, J. D., Pitt, J. R., Di Carlo, P., Krejci, R., & McQuaid, J. B.** (2020). Megacity and local contributions to regional air pollution: an aircraft case study over London. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(12), 7193–7216. <https://doi.org/10.5194/acp-20-7193-2020>

**Babaoğlu, n., & Özgünoğlu, k.** (2017). Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 24–30. <http://jes.ksu.edu.tr/en/download/article-file/356059>

**Cote, M., Collings, R., Pilcher, R., Talkington, C., & Franklin, P.** (2004). *Methane emissions from abandoned coal mines in the United States: emission inventory, methodology and 1990-2002 emissions estimates.*

**DHMİ.** (n.d.). *T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü İzmir Adnan Menderes Havalimanı.* Retrieved January 19, 2021, from <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/Adnanmenderes/AnaSayfa.aspx>

**Ekici, s., & Şöhret, y.** (2020). İsparta Süleyman Demirel Havalimanında ticari uçuşlar kaynaklı egzoz emisyonlarının çevresel etkileri ve maliyet değerlendirmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 597–604. <https://doi.org/10.21923/jesd.709428>

**Ekici, S., Yalin, G., Altuntas, O., & Karakoc, T. H.** (2013). Calculation of HC, CO and NO<sub>x</sub> from civil aviation in Turkey in 2012. *International Journal of Environment and Pollution*, 53(3/4), 232. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2013.059919>

**EkoYapı.** (2015). *Çevresel Biyoetik Açısından Sürdürülebilir Havaalanları*.  
<https://www.ekoyapidergisi.org/1494-cevresel-biyoetik-acisindan-surdurulebilir-havaalanlari.html>

**Hotle, S., & Mumbower, S.** (2021). The impact of COVID-19 on domestic U.S. air travel operations and commercial airport service. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100277>

**Hsu, H.-H., Adamkiewicz, G., Andres Houseman, E., Vallarino, J., Melly, S. J., Wayson, R. L., Spengler, J. D., & Levy, J. I.** (2012). The relationship between aviation activities and ultrafine particulate matter concentrations near a mid-sized airport. *Atmospheric Environment*, 50, 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.12.002>

**Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks.** (n.d.). United States Environmental Protection Agency. Retrieved January 12, 2021, from <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>

**IPCC.** (n.d.). **Energy.** In *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

**Kesgin, U.** (2006). Aircraft emissions at Turkish airports. *Energy*, 31(2–3), 372–384. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.01.012>

**Kumaş, K., Aksu, H. H., İnan, O., Akyüz, A., & Güngör, A.** (2019). *Estimation of carbon dioxide emissions from airplanes: A case study of a turkish airport*. 030043. <https://doi.org/10.1063/1.5135441>

**Macintosh, A., & Wallace, L.** (2009). International aviation emissions to 2025: Can emissions be stabilised without restricting demand? *Energy Policy*, 37(1), 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.029>

**Naugle, D. F., & Fox, D. L.** (1981). Aircraft and air pollution. *Environmental Science & Technology*, 15(4), 391–395. <https://doi.org/10.1021/es00086a002>

**On Birinci Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonları.** (n.d.). In *T.C. Strateji ve Bütçe Bakanlığı*. Retrieved January 21, 2021, from <https://www.sbb.gov.tr/ozel-ih-tisas-komisyonu-raporlari/#1540024439304-a1816e9a-4191>

**Pecorari, E., Mantovani, A., Franceschini, C., Bassano, D., Palmeri, L., & Rampazzo, G.** (2016). Analysis of the effects of meteorology on aircraft exhaust dispersion and deposition using a Lagrangian particle model. *Science of The Total Environment*, 541, 839–856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.147>

**Schaefer, K., Emeis, S., Carsten, J., Hoffman, H. M., Helmig, C., Scouros, G., Flocas, H., Tombrou, M., Asimakopulos, D., & Halos, C.** (2008). 16th International Transport and Air Pollution Congress. *Airport Air Quality Studies in Athens. First Results of Measurement Campaign*. <https://trid.trb.org/view/1084472>

**Schürmann, G., Schäfer, K., Jahn, C., Hoffmann, H., Bauerfeind, M., Fleuti, E., & Rappenglück, B.** (2007). The impact of NO<sub>x</sub>, CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport. *Atmospheric Environment*, 41(1), 103–118. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.07.030>

**Shepherd, S.** (1998). *Towards the Sustainable City: The Impact of Land Use – Transport Interactions. The impact of accessibility and environment coefficients in location choice on transport strategy performance*. <http://eprints.whiterose.ac.uk/2096/>

**Simpson, A.** (2008). Environmental management planning: A Canadian perspective. *Journal of Airport Management*, 2(5), 110–145.

**Song, S.-K., Shon, Z.-H., & Kang, Y.-H.** (2015). Comparison of impacts of aircraft emissions within the boundary layer on the regional ozone in South Korea. *Atmospheric Environment*, 117, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.07.010>

**Stacey, B., Harrison, R. M., & Pope, F. D.** (2021). Evaluation of aircraft emissions at London Heathrow Airport. *Atmospheric Environment*, 118226.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118226>

**Uslu, Ş g., & Atabey, t.** (2020). diyarbakır ilinde farklı sektörlerden kaynaklanan karbondioksit salınımının hesaplanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 37–47. <https://doi.org/10.17780/ksujes.676975>

**Vedantham, A., & Oppenheimer, M.** (1998). Long-term scenarios for aviation: Demand and emissions of CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>. *Energy Policy*, 26(8), 625–641. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(98\)00021-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(98)00021-4)

**Zaporozhets, O., & Synylo, K.** (2017). Improvements on aircraft engine emission and emission inventory asesessment inside the airport area. *Energy*, 140, 1350–1357. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.178>

**Zvyagintseva, A. V, Kulneva, V. V, & Sazonova, S. A.** (2020). Analytical calculations of the parameters of pollutant emissions and the justification of methods for reducing surface gas pollution from working aircraft engines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 919, 062053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/6/062053>