



SİVİL HAVACILIK SEKTÖRÜNDE EMİSYON HESAPLAMA YÖNTEM VE YÖNETİMİ: TRABZON, RİZE-ARTVİN VE ORDU- GİRESUN HAVALİMANLARI ÖRNEĞİ

Fatih KARAMAN^{1*}

¹*Istanbul Medipol University, Faculty of Business and Management Science, Department of Aviation Management, İstanbul, Türkiye*

Özet: Günümüzde hava araçları tarafından oluşturulan emisyon gazları, yönetimlerin en çok mücadele ettikleri alanlardan birisi haline gelmiştir. Diğer taraftan işletmelerin de mal veya hizmet üretimleri esnasında mecburi olarak ekonomik değeri olmayan atıkları çıkarmaları normaldir ve bu sebeple çevre ile etkileşimleri mecburidir. Emisyon yönetimi aslında maliyet yaratan bir uygulamadır ve düzgün olarak ya da hiç yapılmadığı zamanlarda organizasyonların bulundukları çevrelerde zararlara yol açabilmektedir. Taşımacılık sektöründe en modern, hızlı ve kaliteli taşıtların kullanıldığı havacılık sektörü, kullanımının artması sebebiyle emisyon yönetimi uygulamalarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Belirlenen hesaplama yöntemleri ile bulunulan seviyenin sürekli tespit edilip kontrol edilmesi, zararların sürekli en aza indirilmesi, atıkların azaltılması, çevreye duyarlı teknoloji kullanımı, yeni sistem uçak motorlarının ve yakıtların geliştirilmesi gibi konular emisyon yönetiminde en etkili geliştirme yöntemleri arasında gösterilmektedir. Çalışmanın amacı kullanımı sürekli artış gösteren havacılık sektöründeki emisyon yönetimi uygulamalarının örneklenmesi adına belirlenen havalimanlarında oluşan emisyonların hesaplanmasıdır. Bu sayede iklim değişikliğinde meydana gelen olumsuzlukların daha iyi anlaşılmasının sağlanması, değişikliğe neden olan zararların azaltılmasına bir örnek gösterilmesi ve ileriye yönelik yapılacak çalışmalara da fikir verilmesi amaçlanmıştır. Çalışma neticesinde hava araçlarının neden olduğu emisyon değerleri içinde en başta gelen negatif etkinin karbondioksit kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır. Farklı tiplerdeki uçakların LTO sayılarının emisyon değerlerine direkt etkiye bulunduğu, yeni nesil hava araçlarının kullanılmasının olumlu sonuçlar doğuracağı ve sadece hava araçları değil havalimanlarının da yeşil sertifikalı seviyelere çıkarılması gerektiği önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Havacılık sektörü, Emisyon yönetimi, Havalimanları

Emission Calculation Methods and Management in the Civil Aviation Sector: Trabzon, Rize-Artvin and Ordu-Giresun Airports Example

Abstract: Today, emission gases generated by aircraft have become one of the areas that managements struggle the most. On the other hand, it is normal for businesses to produce waste that has no economic value during the production of goods or services, and therefore their interaction with the environment is mandatory. Emission management is actually a cost-creating application and can cause damage to the environments where organizations are located when it is not done properly or at all. The aviation sector, where the most modern, fast and high-quality vehicles are used in the transportation sector, necessitates the use of emission management applications due to the increase in their use. Continuous determination and control of the current level with the specified calculation methods, continuous minimization of damages, reduction of waste, use of environmentally friendly technology, development of new system aircraft engines and fuels are shown among the most effective development methods in emission management. The aim of the study is to calculate the emissions generated at the determined airports in order to exemplify the emission management applications in the aviation sector, the use of which is constantly increasing. In this way, it is aimed to provide a better understanding of the negativities occurring in climate change, to show an example for reducing the damages causing change and to give ideas for future studies. As a result of the study, it is understood that the most negative effect among the emission values caused by aircraft is carbon dioxide. It is suggested that the LTO numbers of different types of aircraft have a direct effect on emission values, that the use of new generation aircraft will have positive results, and that not only aircraft but also airports should be raised to green certified levels.

Keywords: Aviation industry, Emission management, Airports

*Corresponding author: Istanbul Medipol University, Faculty of Business and Management Science, Department of Aviation Management, İstanbul, Türkiye

E mail: fatih.karaman@medipol.edu.tr (F. KARAMAN)

Fatih KARAMAN  <https://orcid.org/0000-0001-5915-8054>

Gönderi: 17 Şubat 2025

Kabul: 04 Nisan 2025

Yayınlanma: 15 Mayıs 2025

Received: February 17, 2025

Accepted: April 04, 2025

Published: May 15, 2025

Cite as: Karaman F. 2025. Emission calculation methods and management in the civil aviation sector: Trabzon, Rize-Artvin and Ordu-Giresun Airports example. BSJ Eng Sci, 8(3): 799-813.

1. Giriş

Günümüz sosyal ve ticari taşımacılık alanında faaliyet gösteren sivil havacılık sektörü, Yavaş ve Dedeoğlu'na (2021) göre farklı ticari faaliyetleri, insanları, yükleri ve kültürleri birbirine bağlayan küresel bir endüstri bölümü

haline gelmiştir. Artık insanlar yaşam alanlarını, market, pazar, okul, toplu taşıma gibi toplumsal gerekliliği olan yerlere yakın olmasına dikkat etmelerinin yanında havalimanları gibi büyük yerleşimlere yakın olmalarına dikkat etmektedirler. Günümüzde dünya nüfusunun



yaklaşık % 51'lik kısmının herhangi bir havalimanına yakın yaşadığı ve yaklaşık % 74'lük kısmının ise herhangi bir havalimanına yakınlık mesafesi 100 km'nin altında bulunduğu ICAO (2021) raporlarında belirtilmektedir. Dolayısıyla sivil havacılık sektörünün hızlı bir biçimde büyüme gösterdiği artık bilinen bir gerçek olmaktan öte, kurumların ve işletmelerin farklı yaşayış tarzlarına geçmelerine ve gerekliliklerin değişimine yol açmaktadır. Özellikle küreselleşmenin insan hayatı için zararlarının başında belirtilen çevre kirliliğinin oluşumunda, havacılık sektörünün meydana getirdiği ses ve nispeten daha fazla olan motor emisyonları olarak neticelerini ortaya çıkarmaktadır. Zira diğer taşımacılık sektörleri gibi havacılık sektörünün de bir takım çevresel olumsuz etkilerinin olduğu aşikârdır. Teknoloji, hız ve kalite denilince akla ilk gelen taşımacılık alanı olan sivil havacılık sektörünün özellikle uçak motorlarından kaynaklı emisyonlarının hava kirliliğine, dolayısıyla çevreye verilen zarar neticesinde iklim değişikliğine olan etkileri Linz'e (2012) göre diğer taşımacılık çeşitlerine oranla az da olsa hatırı sayılır derecede olduğu belirtilmektedir.

Uçak motorlarından kaynaklı emisyon değerleri incelendiğinde motor içinde oluşan yanma neticesinde CO, CO₂, SO₂ ve NO_x olarak adlandırılan emisyon gazları ile partiküllerin olduğu bilinmektedir. Özellikle yanma ürünleri içinde gösterilen CO emisyonu düşük sıcaklıktaki yanma neticesinde meydana gelmektedir. Spicer vd.'ne (2009) göre havacılık sektöründe çevre kirliliği ve emisyon azaltımının önlenmesi için öncelikle bu CO misyonuna sebep olan yanma işleminin kusursuz biçimde yapılmasını sağlamak gerekmektedir. Aslında sivil havacılık sektöründe kullanılan uçak motorlarından kaynaklı egzoz emisyon oranlarının insan kaynaklı yüzey emisyonlarına oranla daha az çevre kirliliğine neden olduğu birçok çalışmada belirtilmektedir (Schumann, 2000). Buna bir sebep de dünyada üretilen tüm petrol ürünlerinin yaklaşık olarak % 6'sının havacılık sektöründe yakıt olarak kullanılması gösterilebilir. Dolayısıyla insan kaynaklı bütün NO_x emisyonlarında da sivil havacılık sektörünün etkileri Berntsen vd.'ne (2003) göre % 3 civarında olmaktadır. Bu sebeple hava araçlarının ortaya çıkardığı emisyonların atmosfer üstündeki konumları ve ileride hava trafiğindeki artış tahminleri, ilgili emisyon değerlerine ve kontrolüne önem verilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Dünya'da ve Türkiye'de yapılan çeşitli araştırmalar ile hem havaalanları hem de hava araçlarından kaynaklanan emisyon değerleri analiz edilegelmektedir. Frankfurt, Viyana ve Londra havaalanlarındaki hava araçlarının emisyonlarının incelendiği araştırmada Schafer vd. (2003), NO_x emisyon değerlerinin ICAO datalarına oranla % 50 daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bir diğer araştırma Zürih Havalimanında Fleuti ve Polymeris (2004) tarafından yapılmış ve uçakların LTO döngüleri incelenerek ICAO LTO döngüsünden farklılıklara rastlanılmıştır. Heathrow Havalimanı'nda yapılan araştırmada Carslaw vd. (2008), NO_x emisyonlarının çevreyi kirleten etkenler arasındaki oranını belirleyerek

neticelerinin uzak alanlara da gidebildiğini belirtmiştir. 2011 yılında Dallas/Fort Worth Havalimanı'nda yapılan bir diğer çalışmada Nikoleris vd. (2011) uçaklara ait yakıt tüketimlerini ve bunun sonucunda oluşan emisyon değerlerini hesaplamışlardır.

Türkiye'deki çalışmalara örnek olarak LTO döngüsü esnasında ortaya çıkan negatif emisyonların hesaplanmasında Kesgin (2006), İstanbul Atatürk Havalimanı için emisyon miktarlarını hesaplamıştır. Bir diğer havalimanı olan İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nda Elbir'in (2008) yaptığı araştırmada uçakların meydana getirdiği emisyon değerleri hesaplanmıştır. Kayseri Erkilet Havalimanı'nda Öztürk'ün (2011) yaptığı çalışmada yine emisyon değerleri hesaplanmıştır. Günümüzde artık en fazla kullanımı olan gaz türbinli motorların oluşturduğu kirleticisi emisyonların incelenmesi çalışmaları ile İlbaş ve Yılmaz (2012) aslında kirleticilerin ana etkenlerini araştırma anlamında farklı bir bakış açısı ortaya koymuşlardır. Nevşehir Kapadokya Havalimanı'ndaki hem gürültü hem de emisyon ölçümlerinin yapıldığı çalışmalarıyla Ünal vd. (2014) ile Dalaman Havalimanı'nda Kumaş vd. (2019), LTO döngüsünde karbon ayak izinin hesaplanması konusundaki çalışmalar da yine diğer örnekler olarak verilebilir. Isparta Süleyman Demirel Havalimanı'ndaki emisyonların hesaplanması ve çevresel etkileri çalışmaları ile Ekici ve Şöhret (2020), Malatya Erhaç Havalimanı emisyonlarının hesaplandığı çalışmalarında Genç ve Behçet (2022) ve Ankara Esenboğa Havalimanı'ndaki LTO döngüsünün oluşturduğu emisyonların çevreye etkilerinin incelendiği çalışmalarıyla Öz ve Ercoşkun (2022), emisyon hesaplamaları ile ilgili ülkemizde yapılan örneklemeler açısından önem arz etmektedir.

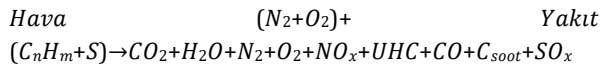
Günümüze kullanımı sürekli artış gösteren hava araçlarının meydana getirdiği emisyon değerlerinin ölçülmesi ile ilgili farklı çalışmalar da bulunmaktadır. Hava aracı emisyon değerlerine yönelik ilk çalışmalar öncelikle gaz ile ilgili olsa da 80 ve 90'lı yıllarda egzoz gazlarının kimyasal bileşimlerinin detaylı incelenmesi yanında sonraları daha sık kullanılan türbin motorlarının oluşturduğu parçacıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelendiği çalışmalar daha fazla yapılmaya başlanmıştır (Spicer vd., 1987). Hatta Amerikan hükümetinin havalimanlarından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasına yönelik yapmış olduğu bir çalışma, bu konuda ilk girişim olarak gösterilebilir. İlgili çalışma sonrasında oluşturulan Environmental Protection Agency (EPA) raporunda 1970 ile 1995 yılları arasındaki uçak emisyon değerleri incelenerek bir trend belirlenmiş ve sonraki yıllara yönelik tahminler yapılmıştır (EPA, 1999). Tribhuvan Havalimanı'nda LTO döngüsüne istinaden emisyonların hesaplandığı çalışmalarında Bajgai ve Shrestha (2023), Katmandu vadisindeki hava kalitesi üzerinde meydana gelen emisyonların etkilerini incelemişlerdir. Araştırma neticesinde LTO'nun etkili olduğu emisyonların yıl içinde belli oranlarda değiştiği ortaya konularak en yüksek etkinin muson öncesi

mevsimlerde yaşandığı belirtilmiştir. Havalimanı trafiğinde önemli bir yere sahip olan uçakların taksi yapmaları esnasında uygulanan yolların karşılaştırıldığı çalışmalarında Cao vd. (2023), bu konudaki farklı taksi yöntemlerinin emisyon değerlerini hesaplayarak çevre verdikleri emisyon değerlerini incelemişlerdir. Çin'de bulunan Xining Havalimanı'ndan alınan veriler ile tek motorla yapılan taksi, tam motor vasıtası ile yapılan taksi, yerleşik sistemler, yüzeydeki trafik ve sevk çekme yöntemlerinin bulunduğu beş farklı taksi yönteminin yakıt tüketimleri ve oluşturduğu emisyon değerlerinin karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında ise yeni yöntemlerin eskiden kullanılan geleneksel yöntemlere oranla daha çevreye duyarlı ve dost neticeler çıkardığı ortaya konularak ileriki yıllara yönelik tahminler de belirtilmiştir.

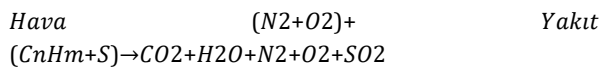
2. Literatür Değerlendirmesi

Karbonmonoksit (CO), emisyon değerlerinde temel alınan, havacılık sektöründe yanmanın düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi neticesinde oluşan ve canlılar açısından çok tehlikeli zehirli bir gaz çeşididir. Emisyon hesaplamalarında kullanılan diğer zehirli gaz türü NO_x ise yanma esnasında yüksek sıcaklık ile tepkimeye giren oksijen molekülleri (O₂) ile nitrojen atomundan (N) oluşan nitrik oksit (NO) gazı ile nitrojen dioksit (NO₂) gazına verilen addır (Spicer, 2009). Havacılık sektöründe kullanılan uçak yakıtları, genel isim olarak jet yakıtı olarak adlandırılan aslında gaz yağı ana etken maddesine sahip sıvıya denilmektedir. Bu yakıt türü turbofan veya türbin motorlu uçaklarda kullanılmakla birlikte daha küçük veya piston motorların kullanıldığı hava araçlarında ise havacılık benzini olarak adlandırılan diğer bir yakıt türü kullanılmaktadır. Çalışma konusu olan emisyon değerlerinin hesaplanmasında baz alınan uçak motor tipleri ise turbofan veya türbin motorlu uçakların oluşturduğu emisyon değerleri olduğundan ilgili motor tipli uçakların oluşturduğu emisyon çeşitleri olarak CO₂, NO_x, H₂O buharı, CH₄, CO, SO_x, metan gazı harici organiklerden uçucu olan bileşikler ve partikül maddeleri (PM) olarak sıralanabilmektedir. Aşağıda çoğu hava araçlarının motorlarında yaşanan hava ile akaryakıt akışı ile yanma periyodu ve Wuebbles vd.'ne (2007) göre oluşan kimyasal süreç neticesinde oluşan emisyon gazları ile partiküller belirtilmektedir:

Asıl Yanma:

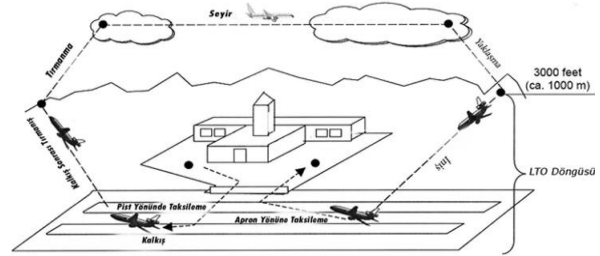


İdeal Yanma;



Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO)'nun Annex 16 el kitabına göre LTO döngüsü dâhilinde emisyonlar yaklaşma, taksi, kalkış ve belli bir yüksekliğe tırmanma (3000 ft~1915 m) olarak dört farklı uçak hareketi

neticesinde meydana gelmektedir (ICAO, 2017). Aşağıdaki şekilde standart LTO döngüsü gösterilmektedir (IPCC, 1997a). İlgili döngü taksi çıkışı, kalkış, tırmanmaya başlama, tırmanma, seyir, alçalma, son yaklaşma, iniş ve taksi olarak 9 kısımdan meydana gelmektedir (ICAO, 1995). Aslında hava araçlarından uçaklar için gerçekleşen faaliyetler, uçağın motor çalıştırmasından itibaren başlar ve en son iniş ve taksi yapmasından sonra motor kapatmasına kadar devam eder. Dolayısıyla havacılıktan kaynaklanan egzoz emisyonlarının da yakıtın yanmaya başladığı motor çalıştırma evresi ile başladığı düşünülebilir.



Şekil 1. LTO Döngüsü (IPCC, 1997a).

Uçaklar için belirtilen uçuş hareketleri hakkındaki faaliyetler, yakıt kullanımına başlandığı ve emisyon envanterlerinin hesaplanabildiği taksi kalkış ve tırmanma başlangıcının olduğu kalkış faaliyetleri bölümü, tırmanış seyir ve alçalış hareketlerinin olduğu CCD faaliyetleri bölümü ve son yaklaşma, iniş ve taksi giriş hareketlerinin olduğu varış etkinlikleri bölümü olarak üç kısımda açıklanmaktadır (ICAO, 1995).

Havacılık sektöründe kullanılan uçaklardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının hesaplama metodları IPCC'nin belirttiği üç değişik yöntem ile yapılabilmektedir (IPCC, 1997a). Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 emisyon hesaplama yöntemleri içinde en çok kullanılanı Tier 2 yöntemidir ve uçakların tiplerine göre LTO döngülerinden faydalanılarak emisyonların hesaplanması olarak açıklanmaktadır. IPCC (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli), Birleşmiş Milletler topluluğunun iki ayrı organizasyonu olan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) beraber çalışılması neticesinde oluşturulmuştur (IPCC, 1991). Amacı insan faaliyetleri neticesinde oluşan hava bozulmasının çıkarabileceği risklerin değerlendirilmesi olan bu özerk kuruluş, bünyesinde çalışmakta olan bilimsel kuruluşlar ve enstitülerdeki binlerce deneyimli ve uzmanla birlikte, iklim değişikliğinin anlaşılması amacıyla teknik, bilimsel, sosyal ve iktisadi bilgileri inceleyerek sürekli en güncel bilgilerle değerlendirmeler sonucu İklim Değişikliği Değerlendirme Raporları hazırlamaktadır. İlk raporunu 1990 tarihinde çıkaran organizasyon, genellikle beşer yıllık sürelerde sıralı olarak raporlar hazırlamaktadır. Hatta 1992 yılındaki Rio de Jenerio'da yapılan toplantıda 150 ülkenin onayıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) imzalanarak en büyük global tehdit olarak iklim değişikliği kabul edilmiştir. Aslında bu sözleşmede asıl

iklim sistemine etkisi olan etkenin insan olduğu vurgulanarak oluşacak zararın düzenlenmesi hedeflenmektedir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997a). IPCC'nin yayınladığı çeşitli kitapçıklar bulunmaktadır. Bu kitapçıklarda global bir bilgi havuzu oluşturulabilmesi için verilerin nasıl toplanacağı, nasıl değerlendirileceği ve sonuçların ne şekilde bildirileceğine dair bilgiler bulunmaktadır. Bununla beraber raporlamalarda faydalanılacak tabloların ve hesaplamaların da nasıl yapılacağı, kullanılabilecek metodlar ve referans değerler de belirtilmektedir. Sera gazı envanterinin hesaplanmasında kullanılan başlıklar IPCC'ye göre enerji, sanayisel yöntemler, solvent ve farklı mamullerin kullanılması, ziraat, dünya coğrafyasının ve ormanlardan faydalanılması, çöpler ve umumi kılavuzluk ve raporlama olarak toplamda 7 ana başlık altında belirtilmiştir. Dolayısıyla konumuz gereği yakıt kullanımı olmasından dolayı bu araştırmada "enerji" adı altında belirtilen umumi, endüstriyel ve erişim kaynaklarının sebep olduğu emisyonlar kısmında bulunan içeriklerden faydalanılmıştır.

İlgili "enerji" başlığının alt başlığı olarak ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonlar, aslında direkt olarak yakıtların yanmaları ile alakalıdır. CO₂ ile ilgili hesaplamalar diğer gazlara oranla daha net olarak yapılabilmektedir zira doğrudan yakıtın yanmasına bağlı bir gaz türüdür. Yanma neticesinde meydana gelen CO₂'in aslında kullanılan yakıtın verimli yakılması ile ilgili gösterge olduğu unutulmamalıdır. Zira CO₂ yanma faaliyetinin en doğal neticesinde meydana gelmektedir. Bu sebeple de ilgili gaz hesaplamaları, satış veya tüketim bilgilerinden faydalanılarak birkaç ekleme yardımıyla rahatlıkla hesaplanabilmektedir. Dünya geneli tüm ülkelerin yakıt tüketim değerleri, daha çok ticari araçlar sektörü olmak üzere bilinmektedir. Emisyon faktörleri de IPCC Kılavuzlarında önceden hesaplanarak belirlenmiş averaj kıymetlere sahiptir. Fakat her milli ülkenin envanter kısmında eğer imkânı olursa kendi emisyon faktörlerini hesaplayıp kullanması tavsiye edilmektedir.

IPCC tarafından hazırlanan emisyon hesaplama metodları, Tier olarak adlandırılmakta ve çeşitli kademelerde kısımlara ayrılmaktadır. Buradaki kademeyi belirleyen etken ilgili faaliyet alanı ve teknolojik detaylar olmaktadır. Üç farklı kısma ayrılan Tier hesaplamalarında Tier 1 metodu, genellikle daha az bilgiden oluşan en basit yöntem olarak bilinmektedir. Buna karşılık en son kademede olan Tier 3 metodu, daha fazla uzmanlık ve detaylı bilgiye ihtiyaç duyulan ve karmaşık bir yöntemidir. Aslında üç metodu Tier 1 ve diğerleri olarak da ayırmak mantıklı olacaktır çünkü Tier 2 ve Tier 3 yollarından temelde benzer mantıkla faydalanılmaktadır. Ne kadar faydalanılacak kısımlar ayrıntılı olursa bir üst yöntem olan Tier 2 veya Tier 3 kademesine geçileceği düşünülebilir.

Tier 1 yaklaşımında temel mantık herhangi bir yakıtın yanması sonucu emisyon oluşturmaktır. Ulaştırma sektöründeki emisyon değerlerinin hesaplanması tamamen yakıtın yanması üzerine kurulmuştur.

Dolayısıyla aslında bir diğer önemli etken olan kullanılan yanma teknolojisi hesaplamalara dâhil edilmemektedir. Temel mantık eğer bir ülkede belli bir oranda yakıt kullanılıyorsa bunun neticesi olarak da mutlaka belirli bir emisyon çıkacağı hesaplanmaktadır. Çoğunlukla CO₂ emisyonlarının hesaplanmasında bu metod iyi bir hesaplama şekli olarak kullanılmaktadır. Burada CO₂ harici gazlar için zahmetsiz bir usul hazırlanmıştır. Belirtilen gazların emisyonları için faydalanılan yakıt türü, yanma teknolojisi, kontrol teknolojisi, çalışma şartları, ilgili aracın yaşı ve diğer özellikleri gibi verilerin de aslında kullanılması gerekmektedir. Zira sarfiyat ve dolayısıyla emisyon oranları bu etkenler neticesinde değişebilmektedir. Buradaki sebep ise birçok ülkenin kendisine has ve detaylı verilere sahip olmaması nedeniyle farklı özellikler ve iyileştirmeler yapılmadan yaklaşık sonuç alınması tasarlanan bir öngörü metodunun kullanılmasıdır (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997b). Aslında insan kaynaklı meydana gelen en büyük oranlı sera gazı olarak karbondioksit gösterilmektedir. CO₂'e ait emisyonun açığa çıkmasındaki en büyük etken ise fosil yakıtların yakılması neticesindeki karbonun oksitlenme durumudur. Yine aynı raporlara göre insan faaliyetleri neticesinde oluşan fosil yakıtların yakılması, CO₂ emisyonlarındaki oranın yaklaşık % 70 ile % 90'lık kısmını oluşturmaktadır. CO₂ emisyon hesaplamasında ilk olarak her sektöre ait yakıt harcama değeri belirlenir. Sonra belirlenen bu yakıt harcama değerine ait kuvvet içerikleri bulunur. Daha sonra her yakıt çeşidi için uyumlu karbon emisyon faktörleri seçilerek belirlene bu değerler ile yakıtın içeriğinde bulunan toplam karbon miktarı hesaplanır. Sonraki aşamada ilgili yakıtın yanması aşamasında oksitlenmeyen karbon miktarları bulunarak tamamıyla yanmaya dâhil olan karbon değeri bulunur. En son aşamada ise net karbon değeri, karbonun molekül ağırlığının CO₂'in moleküler ağırlığına oranı şeklinde hesaplanarak CO₂ biçimine çevrilir. Buradaki referans planlamaya göre yakıt tüketim değerleri aşağıda belirtilen formüller yardımıyla hesaplanmaktadır (eşitlik 1 ve 2).

$$\text{Esas Yakıt Tüketimi} = Pr + Im - Ex - IB - SC \quad (1)$$

$$\text{Tali Yakıt Tüketimi} = Im - Ex - IB - SC \quad (2)$$

Formülde belirtilen Pr : Üretilen yakıt değeri; Im: İthal edilen yakıt değerini; Ex: İhraç edilen yakıt değeri; IB: Uluslararası faydalanma amacıyla satılan yakıt değerini; SC: Stoklarda oluşan değişim değerini göstermektedir. Formül başlıklarından birincil yakıt olarak belirtilen kısımda kömür, doğalgaz, ham petrol gibi doğada bulundukları biçimleriyle kullanılan yakıt türleri gruplandırılmaktadır. İkincil yakıt kısmında ise birincil yakıtlardan üretilen yağlayıcı ve benzin gibi akaryakıt ürünleri belirtilmektedir. Yine hesaplamalarda birincil yakıtların üretim değerleri alınırken ikincil yakıtların üretim değerleri hesaplamalara dâhil edilmemektedir. Zira ikincil olarak adlandırılan yakıtlar da esas olarak belirtilen yakıtlardan üretildiğinden tekrar tüketim değerine eklenmeleri mantık hatasına yol açmaktadır.

Sadece ithal edilen ikincil yakıtlar olması durumunda ilgili değerler hesaba dâhil edilmelidir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997). Bu çalışmada birincil yakıtların hesaba katılmama sebebi, ulaşım sektöründe birincil yakıtların doğrudan kullanılmamasından dolayıdır. Zira havacılık sektöründe ikincil biçimdeki yakıtlar, hava araçları tarafından kullanılmakta, dolayısıyla hesaplamalarda resmi kurumlardan alınan tüketim değerleri ile aynı çıkması muhtemeldir. İkinci adımda IPCC kılavuzunda gösterilen dönüşüm faktörleri ile yakıt tüketim değerlerine ait dönüşüm faktörleri çarpılarak ilgili yakıt grubunun kuvvet kapsamı hesaplanır. Eğer ilk kısımda faydalanan yakıt harcama değerleri enerji biçiminde alınmışsa (TJ) ayrıca bu kısımda hesaplama yapılmasına ihtiyaç olmayacaktır. Fakat ilk adımda alınan yakıt harcama değerleri kütle cinsinden (kg, ton) alınmışsa net kalori değerlerine ait dönüşüm faktörleri çarpılarak TJ yani enerji birimine çevirim sağlanır. Aşağıdaki Tablo 1’de IPCC kılavuzunda gösterilen ve Türkiye’deki emisyon hesaplamalarında da faydalanan net kalori rakamlarından bir kısmı belirtilmektedir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997b).

Tablo 1. Yakıtlara ait net kalori değerleri (Dönüşüm Faktörleri)*

Yakıt	Net Kalori Değerleri (TJ/kt)
Benzin (Havacılık ve Otomotiv)	44,80
Jet Yakıtı	44,59
Motorin (Dizel Yakıt)	43,33
Fuel Oil	40,19
LPG	47,31

*IPCC Kılavuzu, 1997b.

Daha sonra karbon emisyon faktörlerinden yararlanarak yakıtların karbon içerikleri bulunmaktadır. IPCC aslında karbon emisyon rakamlarının her ülkenin kendi başına hesaplamasını tavsiye etmektedir. Fakat her ülkenin bu hesaplamaları yapacak imkân ve zamanı olmamaktadır. Dolayısıyla IPCC bunu düzenleme adına bu ülkeler için ortalama rakamlar belirtmektedir. Bu çalışmada Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın hazırladığı, 2010 yılında IPCC’ye teslim edilen Türkiye Ulusal Sera Gazı Resmi Envanterinden faydalanan ve aşağıdaki Tablo 2’de belirtilen değerler kullanılacaktır. Karbon emisyonunun miktarı, karbon emisyon faktörü ile hesaplaması evvelki adımda yapılan yakıt sarfiyat değerinin çarpılması neticesinde bulunmaktadır. Ton karbon cinsinden elde edilen emisyon değeri, 1000 rakamına bölünerek Gg birimine geçiş yapılır.

Toplam karbon aşağıdaki formüle göre hesaplanır (eşitlik 3).

$$\text{Toplam Karbon (Gg C)} = \text{ET (TJ)} \times \text{CEF (t C/TJ)} \times 10^{-3} \quad (3)$$

Bu formülde; ET: Enerji tüketimini (TJ biriminde); CEF: Karbon emisyon faktörünü (ton karbon/TJ biriminde) göstermektedir. Kullanılan üç hesaplama yaklaşımından Tier 2 ile Tier 3 yaklaşımlarının Tier 1 yaklaşımından

temel farkları, Tier 1 yönteminde kullanılan yakıtların yanma teknolojileri hakkında herhangi bir bilgi sahibi olunmasına gerek olmadığı, dolayısıyla kolaylıkla öğrenilebilen yakıt dağıtım veya tüketim değerlerinin kullanılabilmesidir. Diğer yöntemler arasındaki farkın belirlenebilmesi ise daha zordur. Emisyon hesaplama işlemlerinin daha da iyileştirilmesi neticesinde bir hesaplama yönteminden diğerine geçiş yapılmıştır. Tier 2 hesaplamalarında daha uygun emisyon faktörlerinin kullanılabilmesi amacıyla yakıt tüketim gruplarının ayrıştırılması amaçlanmaktadır. Tier 3 hesaplamasında ise ulaştırma sektörü bağlamında kullanılan yakıtların tüketim rakamlarından farklı biçimde kullanılan araçların gittikleri yol mesafeleri veya km-ton cinsinden taşınan yükün değeri gibi etkenler hesaplamalara dâhil edilerek bunlara uygun olan emisyon faktörlerinin desteği ile hesaplamalar yapılabilir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997). Herhangi bir taşıma sektöründeki kullanılan taşıtların oluşturduğu emisyonların hesaplanabilmesi için bazı parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Karmaşık bir işlem de olsa taşımacılık sektöründeki taşıtlarda bulunan kategori, harcanan yakıt miktarı, çalışma şartları, emisyon denetim düzeyi ve taşıtların yaşları gibi farklı etkenlerin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak emisyon değerlerinin hesaplanma formülü aşağıda gösterilmiştir ve formülde kullanılan EF emisyon faktörünü, Aktivite harcanan enerji miktarını ya da taşıtın gittiği yol mesafesini, a harfi taşıtta kullanılan dizel, benzin veya jetA1 gibi yakıt tipini, w harfi otomobil, kamyon gibi taşıt tipini, c harfi ise emisyon kontrol özelliklerini göstermektedir (eşitlik 4).

$$\text{Emisyonlar} = \Sigma(\text{EF}_{\text{awc}} \times \text{Aktivite}_{\text{awc}}) \quad (4)$$

Tablo 2. Karbon emisyon faktörleri (CEF)*

Yakıt	Karbon Emisyon Faktörü (tC/TJ)
Benzin	18,9
Jet Yakıtı	19,5
Motorin (Dizel Yakıt)	20,2
LPG	17,2
Doğal Gaz (Kuru)	15,3

*IPCC Kılavuzu, 1997b.

Hava taşımacılığı ile ilgili emisyon hesaplamalarında kullanılan faaliyet değerleri, ticari sivil hava taşımacılığında kullanılan yolcu ve yük taşımacılığı işlemlerini belirtmektedir. Dolayısıyla özel veya askeri kullanımdaki hava araçları bu taşımacılığa dâhil edilmemektedir. Hava taşımacılığındaki çalışma şartları iniş/kalkış faaliyetleri ve seyir faaliyetleri olarak iki biçimde açıklanmaktadır. İniş/kalkış faaliyetlerinin İngilizce karşılığı Landing/Take Off olduğu için kısaca LTO olarak adlandırılmaktadır. Bu kısım hava araçlarının 3000 feet yani yaklaşık 914 m yüksekliğe kadar ve dolayısıyla havalimanı civarında gerçekleştirdikleri ve hava aracı motorlarının çalışır durumda olduğu yolcu indirme, yolcu bindirme, bekleme, tırmanma ve iniş faaliyetlerini kapsamaktadır. Çalışmada tüm bu faaliyetlerin tamamı

her seferinde bir LTO sayısı olarak kısaltmalar ile kullanılacaktır (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997a). İkinci kısımdaki seyir faaliyetlerinde ise hava araçlarının 3000 feet üzeri bütün faaliyetleri gösterilmektedir. İlgili faaliyetlerde herhangi bir üst sınır olmamakla birlikte 3000 feet üzerindeki tırmanma, düz uçuş ve iniş aktiviteleri gibi seyir halindeki bütün faaliyetleri kapsamaktadır. Bu hesaplamalar yapılırken uluslararası uçuşlar, ulusal emisyon envanteri hesaplamalarına dâhil edilemez. Dolayısıyla yalnızca yurt içi uçuşlara ait faaliyetlerin emisyon hesaplamaları dâhil edilebilir. Ek olarak uluslararası bir uçuşta hava aracı eğer bir ülkenin havalimanından kalkış yapıp sonrasında yine aynı ülke içinde başka bir havalimanına inerek devamında yurt dışı başka bir havalimanına gidiyorsa sadece ilk uçuş yurt içi uçuş sayılarak emisyon hesaplamasına dâhil edilebilir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997). LTO'ya ait emisyon faktörleri, kısa adı ICAO olan Uluslararası Sivil Havacılık Kurumu veri tabanından seçilebilir. Bu sebeple tüm emisyon hesaplamalarında IPCC kılavuzuna bulunan ortalama değerlerden faydalanılacaktır.

Hava taşımacılığı sektöründeki emisyon hesaplamasında kullanılan Tier 2 metodunda IPCC kılavuzuna göre yalnızca jet yakıtı kullanan hava araçlarının faaliyetleri kullanılabilir. Çünkü küçük uçak tiplerinde jetA1 olarak adlandırılan yakıt kullanılmamakta onun yerine uçak benzini kullanılmaktadır ve bu tarz uçaklar havacılıkta kullanılan tüm yakıtın %1 gibi çok küçük bir oranını kapsamaktadır. Asıl ağırlıklı kısım olan JetA1 yakıt türü bu hesaplamalarda daha etkili olarak kullanılmaktadır. Buradaki kullanımlardaki emisyon hesaplamalarında hava araçlarının motor tipleri, verimlilikleri, uçuş süreleri ve kullanılan yakıt tipi etken olarak görülmektedir. Ayrıca enerji kullanımı nedeniyle meydana gelen emisyon miktarları, hava araçlarının çalışma şartlarına ve LTO'daki harcadığı zamanda göre de değişebilmektedir. Sürekli ana kaynak alınan IPCC (1997a) raporlarına göre ulusal havacılık sektöründe meydana gelen NO_x miktarının %60 ile %80'lik kısmının, SO₂ ve CO₂'nin ise %80 ile %90'lık oranları 3000 feet üzerindeki yüksekliklerde ortaya çıkmaktadır. VOC bakımından %20 ile %40 ve CO bakımından ise %50 olarak bu değerin oluştuğu yine ilgili raporlarda belirtilmektedir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997a). Dolayısıyla bütün bu emisyon oluşumlarının yaklaşık %80 ile %90'lık oranları 3000 feet üzerindeki uçuş faaliyetleri sırasında meydana gelmektedir. Hesaplamalarda Türkiye'deki en üst düzey havacılık kuruluşları olan Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) tarafından yayınlanan resmi raporlardan alınan uçuş verileri temel alınacaktır. İlgili raporlardaki iç hat uçuşları baz alınarak LTO sayıları, LTO başına düşen yakıt harcama rakamları ile çarpılarak LTO'ya bağlı yakıt tüketimlerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Hava araçlarına ait emisyon faktör değerleri ise 2006 yılında IPCC tarafından yayınlanan kılavuzdan alınarak hesaplamalara dâhil edilecektir. İlgili IPCC Kılavuzu emisyon faktörleri aşağıdaki Tablo 2'de gösterilmektedir

(IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

Literatüre bakıldığında Lund vd.'nin (2017) Dünya'daki farklı bölgelerde havacılık kaynaklı ozon, metan, aerosol gibi emisyonların iklim değişikliği ve sıcaklık üzerinde etkilerini inceledikleri çalışma görülmektedir. Çalışma neticesinde uçak motorlarındaki yanma işlemi neticesinde gökyüzünde oluşturduğu izlerin kimi bölgelerde 100 yıl boyunca kalabildiği ve küresel ısınmaya neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Diğer çalışmada Kaya ve Aydın (2022), 2011 ve 2018 döneminde havayolu işletmelerinin karbondioksit verimliliklerini Atmosfair verilerinden faydalanarak incelemişlerdir. Çalışma neticesinde 2018 yılı itibarıyla karbondioksit verilerinde herhangi bir iyileşme olmadığı sonucuna ulaşarak işletmelerin bu konuda verimliliklerini arttırmalarına yönelik önerilerde bulunmuşlardır. Buna benzer uçak emisyonlarının nispeten kentselleşmenin fazla olduğu yerlerdeki hava kalitesi üzerinde oluşturduğu negatif etkiler bulunduğu ve bu durumun biyosferi olumsuz yönde etkilediği Kuzu (2018) tarafından belirtilmiştir. Önemli bir kuruluş olarak bilinen ATAG (2021) raporlarında da 2050 yılında her sene ortalama 10 milyar yolcunun havayolu ile seyahati kullanacağı belirtilmektedir. Bunun ise eğer havacılık, yakıt ve teknoloji alanlarında herhangi bir gelişme yapılmaması durumunda 2000 megatona yakın karbondioksit emisyonuna yol açacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca diğer çalışmalarda havacılık sektörünün büyürken sürdürülebilir bir altyapıya da gereksinim duyacağını ortaya koymaktadır. Pecorari vd.'nin (2016) yaptıkları araştırmada uçuşların yol açtığı emisyonların hesaplanması ve çevreye olası etkileri üzerinde durulmuştur. İlgili çalışmada sadece havalimanlarının değil, havalimanı yakınlarındaki yerleşim yerlerinin de etkilendiği ortaya çıkarılmıştır. Bir diğer sonuç ise sadece dış etkilenme değil, havalimanlarındaki iç etkilerin de araştırılması, gelecekteki yaşanacak artışların hava kalitesini etkileyebileceği önemli olarak gösterilmiştir. Yine belirtilen diğer çalışmalardan Schürmann vd. (2007), Almanya'nın Zürih kentindeki havalimanında özellikle uçakların taksi yollarındaki operasyonları neticesinde oluşan kirletici karışımların etkilerini araştırdıkları görülmektedir. Araştırma neticesinde terminal alanında yüksek miktarda karbondioksit bulunduğu ortaya çıkarılarak, uçuş kaynaklı emisyonların yalnızca havalimanları çevresinde değil, yakınlarındaki yerleşim alanlarını ve havalimanı terminallerinin iç kısımlarını etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Farklı bir araştırma olarak Ashworth vd. (2020), seyir sırasında emisyon ölçümü yaparak Londra şehri üzerinde 3 farklı uçuşta veriler elde etmiştir. Veri sonuçlarında hava kalitesi ve kirleticileri araştırılmış, özellikle Heathrow Havalimanı'ndaki uçak trafiğinin dış kesimlerde yüksek NO_x oluşumu meydana getirdiği sonucuna ulaşmışlardır. Akça'nın (2020), yaşanan Covid 19 pandemisindeki uygulanan havacılık sektörü kısıtlamaları neticesinde hem sefer hem de yolcu sayılarında düşüş yaşandığından bahsettiği çalışması bulunmaktadır. Çalışma neticesinde

pandemi döneminde alınan tedbirlerin ve kısıtlamaların, sektörü derinden etkileyerek dolaylı olarak karbon salınımının azalmasına yol açtığı belirtilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

IPCC tarafından yapılan ve emisyon hesaplamalarında kullanılan 3 yöntemden Tier 1 ve Tier 2 metodları, diğer metoda göre daha az veriye ihtiyaç duyulmasından dolayı tercih edilmektedir. Kısaca Tier 1 yönteminde LTO ve 3000 feet üzeri uçuşlardaki tüketilen yakıt miktarı direkt olarak emisyon faktörü ile çarpıldığından hesaplamada esas olarak yakıt tüketimi dikkate alınmaktadır ve yakıtın çeşidi ve miktarı, emisyon faktörü ile hesaplanır (IPCC, 1991). Bir gelişmiş hesaplama olan Tier 2 yönteminde ise hava araçlarının kullanımı neticesinde oluşturdukları emisyon miktarları da hesaplamalara katıldığından bu yöntemin yapılabilmesi için daha fazla bilgiye gereksinim duyulmaktadır. Buna karşılık ise Tier 2 yöntemi daha hassas neticeler vermektedir. Babaoğlu ve Özgünoğlu'na (2017) göre Tier 2 metodu, jet yakıtı kullanan hava araçlarının emisyon hesaplamalarında LTO ile uçak bilgileri de alınarak kullanılmaktadır ve LTO emisyon faktörü ile LTO sayısının çarpımı neticesinde daha hassas neticeler vermektedir. Çalışmada öncelikle ilgili uçakların tipleri, uçuş tarihleri ve LTO sayılarına yönelik veriler raporlanmıştır. Daha sonra ilgili formüllerden faydalanılarak hesaplamalar yapılmış ve neticeler açıklanmıştır.

Emisyon değerleri ve çevreye etkileri bakımından hava araçlarının meydana getirdiği uçak emisyonları konusu, gün geçtikçe önemi daha fazla anlaşılabilecek ve ileride daha fazla etkilerinin araştırılacağı bir alan olacaktır. Çalışmanın özgünlüğü Türkiye'de temiz havasıyla bilinen Doğu Karadeniz bölgesindeki en yoğun kullanımda olan Trabzon (TZX), Rize-Artvin (RZV) ve Ordu-Giresun (OGU) havalimanlarında 2019-2023 yıllarında gerçekleşen LTO süreçleri dâhilindeki uçuşlardan kaynaklanan emisyon değerlerinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Diğer havalimanlarına oranla daha yeni açılmış olan Rize-Artvin (RZV) havalimanının da hesaplamaya dâhil edilmesi, konum olarak aynı bölgede bulunmasından dolayıdır. Bununla beraber DHMİ raporlarında ülkemizde son yıllarda en fazla kullanımı olan uçak tiplerinden B738, A321, A20N, A21N ve A320 tipli uçakların oranlamaları, hesaplamalarda kullanılmıştır (DHMİ, 2024: 152). Çalışmada ilgili uçaklardan kaynaklanan emisyon gazları (HC, CO ve NO_x) belirtilen havalimanlarında, ICAO'nun yayınladığı yakıt oranları ve emisyon faktörlerine göre Tier 2 yönteminden faydalanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan zaman periyodunda pandemi döneminin olmasının, uçuş sayıları bakımından bazı neticeleri etkilemesine rağmen özellikle 2023 yılının gerçek rakamları göstereceği düşünülmektedir.



Şekil 2. Havalimanlarının harita gösterimi (DHMİ, 2024: 11).

4. Bulgular ve Tartışma

Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMİ) her yıl yayınladığı raporların kaynak alındığı çalışmada ilgili işletmenin 2024 tarihli 2023 yılı raporuna göre Türkiye'deki uçak trafiğinin uçak tiplerine göre dağılım sıralamasında birinci olarak Boeing 737-800 %26'lık bir oranla yer alırken, sırasıyla % 11'lik oranla Airbus A321, %9'luk oranla Airbus A320 Neo, %8'lik oranla Airbus A321 Neo ve %7'lik oranla da Airbus A320 gelmektedir (DHMİ 2024: 152). 2022 yılına bakıldığında ilk sırada %29'luk oranla yine Boeing 737-800 yer almakta ve bu uçak tipini sırasıyla %10'luk oranla Airbus A321, %8'lik oranla Airbus A320 ve % 5'lik oranla Cessna 172 tipli uçaklar takip etmektedir (DHMİ, 2023: 138). 2021 yılında ise ilk sırada %31'lik oranla Boeing 737-800 gelirken ikinci sırada %9'luk oranla Airbus A320 Neo, üçüncü ve dördüncü sıralarda % 8'lik oranlarla Airbus A321 ve A320, % 6'lık oranla ise yine Cessna 172 tipli uçakların kullanıldığı anlaşılmaktadır (DHMİ, 2022: 132). Covid 19 sürecinin yaşandığı 2020 yılı raporlarına göre en fazla kullanılan uçak tipleri sıralamasında % 35 ile yine Boeing 737-800 yer alırken ikinci sırada %8'lik oranla Airbus A320 Neo ve Cessna 172, dördüncü ve beşinci sıraları % 7'lik oranlarla Airbus A320 ve A321 modeli uçaklar almaktadır (DHMİ 2021: 136). Son olarak pandemiyi yoğun yaşandığı ilk dönem olan 2019 yılı istatistiklerine bakıldığında ise ilk sırada % 39 ile Boeing 737-800 yer alırken, ikinci sırada % 13 ile Airbus A321, üçüncü sırada ise % 10'luk oranla Airbus A320 olduğu görülmektedir (DHMİ, 2020: 130). Çalışmadaki hesaplamalarda en fazla kullanılan uçak tiplerinden Boeing 737-800, Airbus A320 ve Airbus A321 tipli hava araçlarının istatistiklerinden faydalanılacaktır. İlgili uçak tiplerine göre uçuş sayıları alınırken de yine Devlet Hava Meydanları İşletmesinin en son yayınlanan 2024 yılı uçuş sayıları resmi rakam olarak hesaplamalara dâhil edilecektir.

Trabzon (TZX), Rize-Artvin (RZV) ve Ordu-Giresun(OGU) havalimanlarıyla ilgili Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ)'nin hazırladığı yıllık raporları istinaden hazırlanan uçuş trafik bilgileri Tablo 3, 4, 5 ve 6'da gösterilmektedir. Raporlarda özellikle son iki yıl içinde uçuş sayılarının arttığı görülmektedir. Ayrıca Rize-Artvin (RZV) havalimanının açılış tarihi 2022 olmasından dolayı raporlamalarda önceki yıllarda herhangi bir uçuş verisi bulunmamaktadır. 2019 yılında başlayan ve etkilerinin 2022 yılına kadar sürdüğü bilinen Covid 19 pandemisinin

de tablolardaki verilere ilk başlarda negatif, salgının bitişinden sonra ise pozitif etkilerinin olduğu da anlaşılmaktadır. Sadece ilgili dönem değil, son yıllarda da ülkemizde en fazla kullanılan uçak tipi olan Boeing 737-800'lerin kullanım sıklıklarının çok fazla değişmediği, bunun yanında diğer uçak tiplerinin nispeten yeni versiyonları olan Neo modelleri ile Türkiye pazarına girdikleri görülmektedir. Türkiye geneli oranlarda başka uçak modellerinin de istatistiklere yansıdığı, nispeten

eğitim uçakları olarak kullanılan Cessna 172 tipli uçakların da özellikle eğitim uçuşu yapılan meydanlardaki kullanımının bir hayli fazla olduğu anlaşılmaktadır. Daha geniş çalışmaların yapılması anlamında diğer uçak tiplerinin de dikkate alınarak araştırmaların genişletilmesi, ileride yapılacak çalışmalarda genel ortalama alınırken pandemi döneminin istatistiklere yansıtılmaması daha güncel ve doğru veri oluşturulması hedefinde önerilebilir.

Tablo 3. Türkiye'de Trabzon (TZX), Rize-Artvin (RZV) ve Ordu-Giresun (OGU) havalimanları ticari uçuş trafiği*

Havalimanı	Dön.	2019	2020	2021	2022	2023
Trabzon (TZX) Havalimanı	İç H.	21.305	12.856	17.632	16.966	18.987
	Dış H.	4.421	1.307	3.326	6.529	7.768
	Top.	25926	14.163	20.958	23.495	26.755
Rize-Artvin (RZV) Havalimanı	İç H.	0	0	0	3.724	7.355
	Dış H.	0	0	0	36	109
	Top.	0	0	0	3.760	7.464
Ordu-Giresun (OGU) Havalimanı	İç H.	7.773	4.857	5.781	6.194	7.075
	Dış H.	206	148	29	175	235
	Top.	7.979	5.005	5.810	6.369	7.310

*DHMİ, 2024: 148-149.

Tablo 4. Türkiye'de Trabzon (TZX) Havalimanı uçak tiplerine göre uçuş trafiği*

Uçak Tipleri/Dönem		Trabzon (TZX) Havalimanı			Toplam
		Boeing 737-800	Airbus A 321	Airbus A 320	
2019	%	39%	13%	10%	62%
	Uçuş Sayısı	8.309	2.770	2.131	13.209
2020	%	35%	7%	7%	49%
	Uçuş Sayısı	4.500	900	900	6.299
2021	%	31%	8%	8%	47%
	Uçuş Sayısı	5.466	1.411	1.411	8.287
2022	%	29%	10%	8%	47%
	Uçuş Sayısı	4.920	1.697	1.357	7.974
2023	%	26%	11%	7%	44%
	Uçuş Sayısı	4.937	2.089	1.329	8.354
Toplam Uçuş Sayısı		28.131	8.865	7.127	44.124

*DHMİ, 2024: 148-149.

Tablo 5. Türkiye'de Rize-Artvin (RZV) havalimanı uçak tiplerine göre uçuş trafiği*

Uçak Tipleri/Dönem		Rize-Artvin (RZV) Havalimanı			Toplam
		Boeing 737-800	Airbus A 321	Airbus A 320	
2019	%	0%	0%	0%	0%
	Uçuş Sayısı	0	0	0	0
2020	%	0%	0%	0%	0%
	Uçuş Sayısı	0	0	0	0
2021	%	0%	0%	0%	0%
	Uçuş Sayısı	0	0	0	0
2022	%	29%	10%	8%	47%
	Uçuş Sayısı	1.080	372	298	1.750
2023	%	26%	11%	7%	44%
	Uçuş Sayısı	1.912	809	515	3.236
Toplam Uçuş Sayısı		2.992	1.181	813	4.986

*DHMİ, 2024: 148-149.

Tablo 6. Türkiye’de Ordu-Giresun (OGU) havalimanı uçak tiplerine göre uçuş trafiği

		Ordu-Giresun (OGU) Havalimanı			
Uçak Tipleri/Dönem		Boeing 737-800	Airbus A 321	Airbus A 320	Toplam
2019	%	39%	13%	10%	62%
	Uçuş Sayısı	3.031	1.010	777	4.819
2020	%	35%	7%	7%	49%
	Uçuş Sayısı	1.700	340	340	2.380
2021	%	31%	8%	8%	47%
	Uçuş Sayısı	1.792	462	462	2.717
2022	%	29%	10%	8%	47%
	Uçuş Sayısı	1.796	619	496	2.911
2023	%	26%	11%	7%	44%
	Uçuş Sayısı	1.840	778	495	3.113
Toplam Uçuş Sayısı		10.159	3.211	2.571	15.940

Kaynak: (DHMİ, 2024: 148-149).

Uçuşlar ve kullanılan uçak tipleri bakımından eldeki veriler neticesinde oluşan CO₂ miktarları, kullanılacak formüller neticesinde yapılacak emisyon hesaplamalarıyla bulunabilmektedir. Daha önce de belirtilen IPCC’nin yayınladığı hesaplama yöntemlerinden Tier 2 metodunun bu veriler dâhilinde kullanılması, mantıklı sonuçların alınması bakımından uygun görülmüştür. Tier 2 metoduna göre hazırlanan tablolarda öncelikle dikkate alınan uçak tiplerinin CO₂ ve diğer emisyon değerleri aylık olarak hesaplanmıştır. Daha sonra yine IPCC (2006)’nin yayınladığı resmi verilere göre Tablo 7’de uçak tiplerinin neden olduğu kükürt dioksit salınım değerleri ve oranları belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm değerler, Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) düzenlediği kılavuzda “Enerji” başlığı altında belirtilen yakıt yakılması emisyon değerleri kısmından alınmıştır. Daha önce de belirtilen Tier 1, 2 ve 3 metodları ulaştırma sektörünün sebep olduğu emisyonlardaki yanma şartlarını, uygulanan teknolojileri, yakıtların özelliklerini ve emisyon standartlarını hesaplayabilmek amacıyla hazırlanmış ve genel kullanıma sunulmuştur. Araştırmacılar veya resmi organların emisyon hesaplamalarında ellerindeki verilerin çeşitliliği ve çokluğu, kullanılacak metodların seçiminde yönlendirici olmaktadır. İlk hesaplama formülü olan Tier 1 metodunda formül (eşitlik 4):

$$\text{Emisyon Miktarı} = \text{Emisyon Faktörü} \times \text{Yakıt Tüketimi} \quad (4)$$

Daha fazla veri ve detay bilinmesi durumunda ise Tier 2 metodundan faydalanılması, alınacak neticelerin daha

doğru ve bilimsel olması bakımından önemlidir. Tier 2 metodu yalnızca jet motora sahip hava araçlarının emisyon hesaplamalarında kullanılmaktadır. Elimizdeki veriler hem LTO sayılarını hem de uçak tiplerine ait olduğundan çalışmada bu metodu kullanabilmemiz mümkün olmaktadır. Tier 2 metodunda kullanılan formül (eşitlik 5):

$$\text{LTO Emisyonu} = \text{LTO Sayısı} \times \text{LTO Emisyon Faktörü} \quad (5)$$

Trabzon (TZX), Rize-Artvin (RZV) ve Ordu-Giresun (OGU) havalimanlarında ilgili uçakların yaptığı uçuşların emisyon oranları, özellikle eldeki verilen çokluğu ve doğruluğundan dolayı Tier 2 metodundan faydalanılarak hesaplanmış ve uçak tiplerine ve havalimanlarına göre ayrı Tablo 8-16’da gösterilmiştir.

Tablo 7. Farklı uçak tiplerine göre IPCC tarafından hazırlanmış emisyon faktörleri ve yakıt tüketimleri*

Uçak Tipleri	Boeing 737-800	Airbus A 321	Airbus A 320
CO ₂	2780	3020	2440
CH ₄	0,07	0,14	0,06
N ₂ O	0,1	0,1	0,01
NO _x	12,30	16,72	9,01
CO	7,07	7,55	6,19
NM VOC	0,65	1,27	0,51
SO ₂	0,88	0,96	0,77
Yakıt Tüketimi	880	960	770

*IPCC, 2006.

Tablo 8. Trabzon (TZX) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Boeing 737-800)

Trabzon Havalimanı (TZX) 2019-2023 Dönemi - Boeing 737-800					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	8.309	4.500	5.466	4.920	4.937
CO ₂	23.099.020	12.510.000	15.195.480	13.677.600	13.724.860
CH ₄	582	315	383	344	346
N ₂ O	831	450	547	492	494
NO _x	102.201	55.350	67.232	60.516	60.725
CO	58.745	31.815	38.645	34.784	34.905
NM VOC	5.401	2.925	3.553	3.198	3.209
SO ₂	7.312	3.960	4.810	4.330	4.345
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	7.311.920	3.960.000	4.810.080	4.329.600	4.344.560

Tablo 9. Trabzon (TZX) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Airbus A 321)

Trabzon Havalimanı (TZX) 2019-2023 Dönemi - Airbus A 321					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	2.770	900	1.411	1.697	2.089
CO ₂	8.365.400	2.718.000	4.261.220	5.124.940	6.308.780
CH ₄	388	126	198	238	292
N ₂ O	277	90	141	170	209
NO _x	46.314	15.048	23.592	28.374	34.928
CO	20.914	6.795	10.653	12.812	15.772
NM VOC	3.518	1.143	1.792	2.155	2.653
SO ₂	2.659	864	1.355	1.629	2.005
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	2.659.200	864.000	1.354.560	1.629.120	2.005.440

Tablo 10. Trabzon (TZX) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Airbus A 320)

Trabzon Havalimanı (TZX) 2019-2023 Dönemi - Airbus A 320					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	2.131	900	1.411	1.357	1.329
CO ₂	5.199.640	2.196.000	3.442.840	3.311.080	3.242.760
CH ₄	128	54	85	81	80
N ₂ O	21	9	14	14	13
NO _x	19.200	8.109	12.713	12.227	11.974
CO	13.191	5.571	8.734	8.400	8.227
NM VOC	1.087	459	720	692	678
SO ₂	1.641	693	1.086	1.045	1.023
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	1.640.870	693.000	1.086.470	1.044.890	1.023.330

Tablo 11. Rize-Artvin (RZV) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Boeing 737-800)

Rize-Artvin Havalimanı (RZV) 2019-2023 Dönemi - Boeing 737-800					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	0	0	0	1.080	1.912
CO ₂	0	0	0	3.002.400	5.315.360
CH ₄	0	0	0	76	134
N ₂ O	0	0	0	108	191
NO _x	0	0	0	13.284	23.518
CO	0	0	0	7.636	13.518
NM VOC	0	0	0	702	1.243
SO ₂	0	0	0	950	1.683
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	0	0	0	950.400	1.682.560

Tablo 12. Rize-Artvin (RZV) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Airbus A 321)

Rize-Artvin Havalimanı (RZV) 2019-2023 Dönemi - Airbus A 321					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	0	0	0	372	809
CO ₂	0	0	0	1.123.440	2.443.180
CH ₄	0	0	0	52	113
N ₂ O	0	0	0	37	81
NO _x	0	0	0	6.220	13.526
CO	0	0	0	2.809	6.108
NM VOC	0	0	0	472	1.027
SO ₂	0	0	0	357	777
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	0	0	0	357.120	776.640

Tablo 13. Rize-Artvin (RZV) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Airbus A 320)

Rize-Artvin Havalimanı (RZV) 2019-2023 Dönemi – Airbus A 320					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	0	0	0	298	515
CO ₂	0	0	0	727.120	1.256.600
CH ₄	0	0	0	18	31
N ₂ O	0	0	0	3	5
NO _x	0	0	0	2.685	4.640
CO	0	0	0	1.845	3.188
NM VOC	0	0	0	152	263
SO ₂	0	0	0	229	397
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	0	0	0	229.460	396.550

Tablo 14. Ordu-Giresun (OGU) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Boeing 737-800)

Ordu-Giresun Havalimanı (OGU) 2019-2023 Dönemi - Boeing 737-800					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	3.031	1.700	1.792	1.796	1.840
CO ₂	8.426.180	4.726.000	4.981.760	4.992.880	5.115.200
CH ₄	212	119	125	126	129
N ₂ O	303	170	179	180	184
NO _x	37.281	20.910	22.042	22.091	22.632
CO	21.429	12.019	12.669	12.698	13.009
NM VOC	1.970	1.105	1.165	1.167	1.196
SO ₂	2.667	1.496	1.577	1.580	1.619
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	2.667.280	1.496.000	1.576.960	1.580.480	1.619.200

Tablo 15. Ordu-Giresun (OGU) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Airbus A 321)

Ordu-Giresun Havalimanı (OGU) 2019-2023 Dönemi – Airbus A 321					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	1.010	340	462	619	778
CO ₂	3.050.200	1.026.800	1.395.240	1.869.380	2.349.560
CH ₄	141	48	65	87	109
N ₂ O	101	34	46	62	78
NO _x	16.887	5.685	7.725	10.350	13.008
CO	7.626	2.567	3.488	4.673	5.874
NM VOC	1.283	432	587	786	988
SO ₂	970	326	444	594	747
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	969.600	326.400	443.520	594.240	746.880

Tablo 16. Ordu-Giresun (OGU) havalimanı 2019-2023 dönemi emisyon oranları (Airbus A 320)

Ordu-Giresun Havalimanı (OGU) 2019-2023 Dönemi – Airbus A 320					
Dönem	2019	2020	2021	2022	2023
LTO Sayısı	777	340	462	496	495
CO ₂	1.895.880	829.600	1.127.280	1.210.240	1.207.800
CH ₄	47	20	28	30	30
N ₂ O	8	3	5	5	5
NO _x	7.001	3.063	4.163	4.469	4.460
CO	4.810	2.105	2.860	3.070	3.064
NM VOC	396	173	236	253	252
SO ₂	598	262	356	382	381
Yakıt Tüketimi (KG/LTO)	598.290	261.800	355.740	381.920	381.150

4. Sonuç

Global anlamda kullanılan taşıma araçlarının sebep olduğu emisyon değerlerinin tamamına bakıldığında en

başta gelen negatif etkinin karbondioksit (CO₂) kaynaklı olduğu anlaşılabilmektedir. Emisyon değerlerindeki artışın çevreye verdiği zararlı etkiler, döngü içinde insan

sağlığına da negatif anlamda yansımalarının ötesinde etkilerinin uzun süreli olmasından dolayı gelecek nesillere de kalıcı hasar bırakacağı unutulmamalıdır. Araştırma tarihine bakıldığında son 50 yıl içinde başlangıçta fazla üzerinde durulmayan çalışmaların geçen süre içinde sayılarının ve önem derecelerinin arttığı gözlemlenebilmektedir. Özellikle son yıllarda emisyon değerlerindeki artışların çevreye verdiği negatif etkilerin incelenmesi, kontrol edilmesi ve emisyon yönetim uygulamaları neticesinde iklim değişikliğinin yönetilmesinde önemli faktör olarak etkilendiği anlaşılmaktadır.

Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan en önemli ve yoğun meydanlardan Trabzon (TZX), Rize-Artvin (RZV) ve Ordu-Giresun (OGU) havalimanlarının son 5 yıllık uçuşları, emisyon değerlerinin hesaplanması amacıyla ele alınmıştır. İlgili meydanlardaki tüm uçuşların ele alınmasının raporlama açısından karışıklık yaratabileceği düşünülerek Türkiye'de son yıllarda en fazla kullanılan üç uçak modelinin ilgili meydanlardaki uçuşlarının incelenmesi çalışmanın kısıtlılığını göstermektedir. En fazla kullanılan uçak tipi belirlenmesinde Türkiye'de sivil havacılık sektöründeki en üst derece sorumlu organ olarak Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yıllık şekilde yayınlanan resmi raporlardan faydalanılmıştır. İlgili raporlarda en fazla kullanılan uçak tiplerinden, ilgili meydanlardaki uçuş sayılarına kadar tüm bilgiler doğru ve güncel olarak bulunmaktadır. Türkiye'nin kuzeydoğusundaki havalimanlarının çalışmada hedef seçilme nedeni ise, bölgenin çok etkileyici güzellikteki iklim ve tabiat özelliklerine sahip olmasından dolayıdır. Çalışmada incelenen üç havalimanında Boeing B737-800, Airbus A321 ve Airbus A320 uçaklarının 2019-2023 dönemindeki iniş-kalkış bilgileri, Devlet Hava Meydanları İşletmeleri (DHMİ) raporlarından alınan resmi veriler kullanılarak CO₂, NO_x ve HC emisyon değerleri ele alınmıştır. NO_x emisyon değerlerinin uçakların kalkış ve tırmanış süreçlerinde, CO emisyon değerlerinin uçakların kalkışlarından önce ve inişlerinden sonra yaptıkları taksi süreçlerinde daha fazla olduğu belirtilmektedir (Öztürk ve Taştan, 2024: 28). Ayrıca yine HC emisyon değerlerinin de nispeten hava araçlarının taksi süreçlerinde anlaşılabilir belirginlikte artış gösterdiği belirtilmektedir.

Raporlardan da anlaşılabileceği üzere 2019 yılı sonuçları, ilgili tüm emisyon değerleri açısından en üst derecede ölçülmüştür. Fakat daha sonra yaşanan global Covid-19 pandemisi nedeniyle uçuş sayılarının azalması, tüm emisyon seviyelerinde de belirgin bir düşüş oluşmasına yol açmıştır. NO_x emisyon seviyeleri bakımında Trabzon Havalimanı'nda Boeing 737-800 uçağı 2019 yılında 102.201 ton/y salınımı yaparken 2023 yılında bu rakamın 60.725 ton/y olarak hesaplanmıştır. Aynı uçak tipinde Rize-Artvin (RZV) havalimanında ise NO_x emisyon değeri en yüksek 23.518 ton/y olarak 2023 yılında hesaplanırken Ordu-Giresun (OGU) havalimanında ise 37.281 ton/y olarak 2019 yılı olarak hesaplanmıştır. Airbus A321 tip uçaklara bakıldığında Trabzon (TZX)

havalimanında en yüksek NO_x değeri 46.314 ton/y olarak 2019 yılında hesaplanırken Rize-Artvin (RZV) havalimanında ilgili değer 13.526 ton/y olarak 2023 yılında ve 16.887 ton/y olarak da 2019 yılı Ordu-Giresun (OGU) havalimanında hesaplanmıştır. Airbus A320 tipli uçakların uçuşları incelendiğinde Trabzon (TZX) havalimanında NO_x değerlerinin en fazla 19.200 ton/y olarak 2019 yılında, Rize-Artvin (RZV) havalimanında 4.640 ton/y olarak 2023 yılında ve Ordu-Giresun (OGU) havalimanında 7.001 ton/y olarak 2019 yılında olduğu hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde farklı tiplerdeki uçak modellerinin ve LTO sayılarının emisyon değerlerini artırma anlamında direkt etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Verilerinden faydalanan uçak tiplerinin raporlarına (IPCC, 2006) bakıldığında en yüksek emisyon miktarı olan modelin Airbus A321 olduğu görülmektedir. Bu emisyon farklılığındaki esas neden olarak ilgili uçak tipinin diğer uçaklara oranla daha büyük gövdeli oluşu ve daha fazla yolcu ile yük taşıma kapasitesine sahip olması söylenebilir. Model olarak birbirlerine daha yakın olarak gösterilebilecek Boeing B737-800 ile Airbus A320 uçakların emisyon değerleri yakın olmakla birlikte Boeing markasının emisyon değerlerinin yaklaşık yüzde 15-20 oranında daha fazla olduğu raporlardan görülebilmektedir. Bununla beraber uçaklarda kullanılan motor tipleri ve yenilik durumlarının da emisyon oranlarını etkilemesinden dolayı daha detaylı raporların çıkarılması bakımından uçuşlarda kullanılan uçakların motor seri numaralarının bilinmesine de sonuçların daha net çıkartılabilmesi bakımından ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde daha yeni nesil hava araçlarının kullanılması, emisyon değerlerinin düşürülmesinde sivil havacılık bağlamında olumlu sonuçlar doğurabilmektedir. Emisyon yönetimi uygulamalarında etkili olunabilmesi bakımından yeni nesil uçakların havayolu şirketleri tarafından tercih edilmesi, kendi yakıt maliyetlerini düşürerek sürdürülebilirlik seviyelerini artırırken emisyon değerlerini de düşürerek çevresel faktörlerin azaltılması ve emisyon yönetim uygulamalarında başarı kazanılmasına yardımcı olmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde hazırlanan raporlardan özellikle pandemi döneminin emisyon değerlerine olumlu yönde katkı yaptığı anlaşılmaktadır. Boeing tipi uçakların emisyon değerlerinin yüksek oluşunun, sadece model etkeni olarak değil LTO çarpanı bakımından çok fazla kullanılması neticesinde olduğu dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla uçak tiplerinin çevresel emisyon yönetimine etkisi en önemli faktör olarak bilinmelidir. Sonraki çalışmalarda emisyon değerlerinin nasıl daha fazla azaltılabileceği ve temiz hava oluşumu için yapılacak farklı yöntemlerin araştırılması önerilebilir. Ayrıca kara taşıtlarında uygulanan elektrikli araç kullanımına yönlendirme ve eski sistem motorların engellenmesi gibi kuralların havacılık sektöründe de uygulanabilirliği incelenmelidir. Raporlarda belirtilen LTO sayılarının emisyon yönetiminde etkisi tartışılmazdır. Hava araçlarının özellikle kalkış ve tırmanış süreçlerinde emisyon değerlerinin çok arttığı

bilindiğinden, özellikle doluluk oranı düşük uçakların kalkışlarında kontrol ve denetim uygulanması, fazla sayıda uçak kullanımı yerine emisyon değerleri düşük ama taşıma kapasitesi yüksek uçakların tercih edilmesi önerilebilir. Çok ayrı bir araştırma alanı olarak bio yakıt gibi farklı yakıtların kullanımının teşvik edilmesi, motor geliştirmelerinin bu tarz yakıt çeşitlerine göre yapılması da önemli görülebilir. Bununla beraber tüketicilerin hava araçlarına binme sürelerinin düşürülmesi, havalimanlarındaki yolcu hizmet sürelerinin kısaltılması, hava araçlarına yüklenen kargo ve yüklerin ağırlıklarının azaltılması, turbofan motorlarının kullanımı yerine turboprop uçakların kullanımının artırılması, yakıt verimliliği ve emisyon değerlerinin düşürülmesi, incelenebilir alanlar olarak önerilmektedir. Ayrıca sadece hava araçlarının değil, ilgili hizmet veren havalimanlarının da yeşil sertifikalı kademelere çıkarılmasının çevresel emisyon yönetimi bakımından çok faydalı olacağı düşünülmektedir. Gelecek yılların yakıt çeşidi olarak gösterilen elektrik kullanımının hava araçlarındaki olası etkileri, geçişin hızlandırılması ve kullanımın yaygınlaştırılması uygulamalarının da emisyon yönetiminde en üst seviye yönetim tarzı olarak araştırılması tavsiye edilmektedir.

Çalışma yalnızca Türkiye’de son yıllarda en fazla kullanılan üç tip uçağın belirlenen havalimanlarındaki ve son beş yıllık süreçteki etkilerine yönelik bilgiler içermektedir. Araştırılan dönemde yaşanan sosyal, ekonomik ve politik en küçük bir olayın bile raporlara etkilerinin olabileceği unutulmamalıdır. Ayrıca havacılık sektörünün sadece ticari olarak kullanılmadığı, eğitim ve askeri kullanımların da oran olarak tam bilinmese bile çok yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Emisyon yönetimi uygulamalarında asıl önemli nokta, hesaplama neticelerinin uygulanabilirliğidir. Zira uygulamanın kullanılması haricinde zorunluluk olarak kuralların getirilmesi, uygulamaların yapılmasının kontrolü ve ileriye dönük planlamaların yapılmasına da ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada faydalanan IPCC verilerine dayanan hesaplama yöntemleri haricinde daha güncel ve detaylı yöntemlerin geliştirilmesi, bu yöntemler neticesinde elde edilen raporlara göre yaptırımların eksiksiz biçimde uygulanması, emisyon yönetiminde asıl etkiyi yükseltecek faktörler olabilecektir. Ayrıca sadece havacılık sektörü bağlamında değil, genel taşımacılık sektörü olarak emisyon azaltımına ve yönetilmesine dair önlemlerin hızlı biçimde hayata geçirilmesi gerekmektedir. Zira global CO₂ emisyonlarının insan kaynaklı toplamalarının yaklaşık %2,1’lik oranı, genel havacılık sektörü sebebiyle oluşmaktadır. ATAG (2021) raporuna göre havayolu ulaşımı yani ticari havacılığın tüm ulaşım alternatifleri içindeki CO₂ emisyon payı % 12 olarak belirtilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre havalimanlarına ait emisyon hesaplamalarının ve emisyon yönetimlerinin birçok faktöre göre değişebileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca kullanılan hava araçlarının çokluğu ve ileriye yönelik uçuş sayılarının artacağına düşünülmesi, havacılık sektörünün emisyon yönetimi

uygulamaları bakımından ne derece önemli rol oynadığını da ortaya koymaktadır.

Çalışma konusuyla ilgili literatür incelendiğinde amaç olarak yakın ama alt başlık ve genişlik bakımından fazla çalışma olmadığı görülmektedir. Atabey (2013) tarafından yapılan karbon ayak izi araştırmasında Diyarbakır il sınırları içindeki sera gazı hesaplaması yapılmıştır. İlgili çalışma daha çok kara taşıtları üzerine yapılmış ve sonuçlarında daha çevre dostu kaynakların kullanılması ve kullanım oranlarının düşürülmesi öneri olarak sunulmuştur. Öztürk ve Taştan (2024) tarafından yapılan çalışmada ise Muğla ili Dalaman ve Bodrum Havalimanları özelinde belli uçak tipleri ile ilgili bir araştırmalar yapılmıştır. İlgili çalışmada emisyon oranlarının hesaplanması üzerinde durularak uçaklardan meydana gelen emisyon değerlerinin özellikle uçuştan önceki taksi sırasında fazla oluşu üzerinde durulmuştur. Uçuşların genel sonuçlarından daha çok kalkış öncesi uçakların pist başına geçişleri ve inişleri sonrasındaki park pozisyonlarına geçişlerindeki emisyon değerleri dikkate alınmıştır. Sonuçta havayolu işletmelerine uçaklarının havalimanı manevralarında daha kısa taksi yaptırımları önerilerinde bulunulmuştur. Bir diğer çalışmada Taşdemir ve Aydın (2021), havacılıkta karbon azaltım uygulamaları ve şirket stratejileri konulu çalışmayı yayınlamışlardır. Sonuç kısmında havayolu şirketlerinin daha fazla biyoyakıt kullanmaları gerektiği, bunun ileriki dönemlerde yasal zorunluluk haline getirilebileceği ve yapılmakta olan geliştirmelerin ileride farklı ve olumlu sonuçlarının olabileceğinden bahsetmektedirler. Belirtilen çalışmaların bizim çalışmamız ile benzeyen yönleri tamamen sürdürülebilir odaklı olmaları ve emisyon değerlerine atıfta bulunmalarıdır. Sonuçları bakımından da çalışmamıza paralel emisyonların düşürülmesi gerektiği ve yeni teknolojik gelişmelerinin ileride bu konuda olumlu sonuçlar doğuracağı anlatılmaktadır. Çalışmamızın en büyük farkı daha yoğun kullanım olan üç farklı havalimanında ve 5 yıllık geniş bir süreyi kapsıyor olmasıdır. Ayrıca araştırmada en fazla kullanılan 3 uçak tipinin alınması, gerçeğe uygun neticelerin alınması bakımından önem arz etmektedir.

Çalışmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. En başta da belirtildiği gibi Türkiye’deki toplamda DHMİ (2024: 148) raporlarına göre 57, son açılan Çukurova Havalimanı (COV) dâhil 58 havalimanından yalnızca ülkenin en kuzey doğusunda bulunan üç tanesinin verileri alınmıştır. Bu sebeple daha yoğun kullanılan havalimanlarının seçilerek hesaplamaların yapılması, alınacak neticelerin büyüklüğü ile durumun vahametinin anlaşılması açısından önemli görülmektedir. Diğer kısıt da hem dünya genelinde hem de Türkiye özelinde en fazla kullanılan uçak tiplerinden ilk üç tanesinin (Boeing 737-800, Airbus A321 ve Airbus A320) uçuş verileri ve ortalamalarının alınarak analiz edilmesidir. Dolayısıyla daha geniş verilere ulaşılması amacıyla diğer uçak tiplerinin de çalışmalara dâhil edilmesi önerilmektedir. Ayrıca yurtdışındaki diğer havalimanları ile kıyaslamalı çalışmalar yapılmasının,

ülkeler arasındaki seviyenin anlaşılması bakımından etkili sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Hem havayolu işletmelerinin hem de havalimanları yönetimlerinin çevre dostu emisyon yönetimi uygulamalarını destekleyerek azaltım konusunda çabalarını artırmaları çok önemlidir. Güncel ve sürekli emisyon yönetimi hesaplamaları ile yeni yöntemlerin geliştirilmesi ise hem gerçek zamanlı verilerin kullanılması, hem de uygulanan kuralların neticelerinin takibinde etkili ve doğru yönlendirme sağlayabilecektir. Dolayısıyla gerçek ve güncel verilere dayanarak sürekli yeni stratejilerin geliştirilmesi ve bunun tüm paydaşlara benimsetilmesinin, emisyon yönetimi uygulamalarında negatif çevresel etkilerin daha düşük seviyeye indirilmesinde en etkili yol olabileceği düşünülmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	F.K.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması söz konusu değildir. Ayrıca hiçbir kurum veya kişilerle çıkar ilişkisinin de bulunmadığını beyan ederim.

Etik Onay Beyanı

“Sivil Havacılık Sektöründe Emisyon Hesaplama Yöntem ve Yönetimi: Trabzon, Rize-Artvin ve Ordu-Giresun Havalimanları Örneği” başlıklı çalışmanın yazım sürecinde bilimsel kurallara, etik ve alıntı kurallarına uyulmuş; toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamış ve bu çalışma herhangi başka bir akademik yayın ortamına değerlendirme için gönderilmemiştir. Ayrıca bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Air Transport Action Group (ATAG). 2021. CORSIA Explained: Aviation: Benefits Beyond Borders. URL: <https://aviationbenefits.org/environmentalefficiency/climate-action/offsetting-emissions-corsia/corsia/corsia-explained/> (accessed date: August 10, 2024).
- Akca M. 2020. COVID-19'un havacılık sektörüne etkisi. *Avrasya Sosyal Ekon Araş Derg*, 7(4): 45-64.
- Ashworth K, Buccì S, Gallimore PJ, Lee J, Nelson BS, Sanchez-Marroquín A, McQuaid JB. 2020. Megacity and local contributions to regional air pollution: an aircraft case study over London. *Atmos Chem Phys*, 20(12): 7193-7216.
- Atabey T. 2013. Karbon ayak izinin hesaplanması: Diyarbakır örneği. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye ss: 65.
- Babaoğlu N, Özgünoğlu K. 2017. Kahramanmaraş havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyonların belirlenmesi. *KSÜ Müh Bilim Derg*, 20(3): 24-30.
- Bajgai DP, Shrestha KL. 2023. Evaluation of aircraft emission at Tribhuvan international airport and its contribution to air quality in Kathmandu, Nepal. *Atmos Environ X*, 17: 100204.
- Berntsen T, Gauss M, Grewe V, Hauglustaine D, Isaksen I, Mancini E, Sausen R. 2003. Sources of NO_x at cruise altitudes, implications for predictions of ozone and methane perturbations due to nox emissions from aircraft. *Aircraft*, Berlin, Germany, pp: 125.
- Cao F, Tang TQ, Gao Y, You F, Zhang J. 2023. Calculation and analysis of new taxiing methods on aircraft fuel consumption and pollutant emissions. *Energy*, 277: 127618.
- Carslaw DC, Ropkins K, Laxen D, Moorcroft S, Marner B, Williams ML. 2008. Near-field commercial aircraft contribution to nitrogen oxides by engine, aircraft type, and airline by individual plume sampling. *Environ Sci Technol*, 42(6): 1871-1876.
- DHİMİ. 2020. Devlet hava meydanları işletmesi genel müdürlüğü, 2019 faaliyet raporu. Ankara, Türkiye, ss: 224.
- DHİMİ. 2021. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü. 2020 Faaliyet Raporu. Ankara, Türkiye, ss: 247.
- DHİMİ. 2022. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü. 2021 Faaliyet Raporu. Ankara, Türkiye, ss: 223.
- DHİMİ. 2023. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü. 2022 Faaliyet Raporu. Ankara, Türkiye, ss: 226.
- DHİMİ. 2024. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü. 2023 Faaliyet Raporu. Ankara, Türkiye, ss: 228.
- Ekici S, Şöhret Y. 2020. Environmental impact and cost assessment of commercial flight induced exhaust emissions at Isparta Süleyman Demirel Airport. *Müh Bilim Tasarım Derg*, 8(2): 597-604.
- Elbir T. 2008. Estimation of engine emissions from commercial aircraft at a mid-sized Turkish airport. *J Environ Eng*, 134(3): 210-215.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1999. Evaluation of air pollutant emissions from subsonic commercial jet aircraft, Final Report, Report No. EPA A420-R-99-013, Engine Programs and Compliance Division, US Environmental Protection Agency, Ann Arbor, Michigan, USA, pp: 25.
- Fleuti E, Polymeris J. 2004. Aircraft NO_x-emissions within the operational LTO cycle. Unique (Flughafen Zurich AG), Zurich, Switzerland, pp: 32.
- Genç R, Behçet R. 2022. Malatya Erhaç Havalimanını Kullanan Uçakların Çevresel Etkileri. *J Math Eng Nat Sci*, 6(22): 437-449.
- ICAO I. 1995. Engine exhaust emissions data bank. ICAO Committee on Aviation Environmental Protection Working Group, 3: 10-13.
- ICAO. 2017. International Standards And Recommended

- Practices- Annex 16 To The Convention On International Civil Aviation: Environmental Protection II- Aircraft Engine Emissions (Fourth Ed.), QC, Montreal, Canada 552.
- ICAO. 2021. Future of Aviation. URL: <https://www.icao.int/Meetings/FutureOfAviation/Pages/default.aspx> (accessed date: August 12, 2024).
- İlbaş M, Yılmaz İ. 2012. Experimental analysis of the effects of hydrogen addition on methane combustion. *Int J Energy Res*, 36(5): 643-647.
- IPCC, 1991. IPCC/UNEP/OECD/IEA. 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume I: Reporting Instructions, Chapter 1: 1-4. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris, France, pp: 14.
- IPCC. 1997a. IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II: Workbook, Chapter 1: 3-23. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris, France, pp: 16.
- IPCC. 1997b. IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1: 4-44, 62-98. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris, France, pp: 24.
- IPCC. 2006. Energy. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (accessed date: August 12, 2024).
- Kaya AG, Aydın U. 2022. Is there any convergence in the CO2 emission efficiency of airlines? *Environ Sci Pollut Res*, 29(12): 17811-17820.
- Kesgin U. 2006. Aircraft emissions at Turkish airports. *Energy*, 31(2-3): 372-384.
- Kumaş K, İnan O, Akyüz AÖ, Güngör A. 2019. Muğla Dalaman Havalimanı Uçaklardan Kaynaklanan Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Acad Platform J Eng Sci*, 7(2): 291-297.
- Kuzu SL. 2018. Estimation and dispersion modeling of landing and take-off (LTO) cycle emissions from Atatürk International Airport. *Air Qual Atmos Health*, 11: 153-161.
- Linz M. 2012. Scenarios for the aviation industry: A Delphi-based analysis for 2025. *J Air Transp Manag*, 22: 28-35.
- Lund MT, Aamaas B, Berntsen T, Bock L, Burkhardt U, Fuglestedt JS, Shine KP. 2017. Emission metrics for quantifying regional climate impacts of aviation. *Earth Syst Dynam*, 8(3): 547-563.
- Nikoleris T, Gupta G, Kistler M. 2011. Detailed estimation of fuel consumption and emissions during aircraft taxi operations at Dallas/Fort Worth International Airport. *Transp Res D Transp Environ*, 16(4): 302-308.
- Öz E, Erçoşkun ÖY. 2022. Covid-19 Pandemisinin Esenboğa Havalimanı hava trafiğine ve uçak emisyonlarına etkisi. *Akıllı Ulaşım Sist Uygulama Derg*, 5(1): 45-59.
- Öztürk O. 2011. Kayseri Erkilet havalimanındaki uçak emisyonlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye ss: 42.
- Öztürk O, Taştan M. 2024. 2015-2021 Yılları Arasında Muğla İlinde LTO Döngüsü Esnasında B737-800 ve A320 Tip Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonun Gerçek Zamanlı Hesaplanması. *Erciyes Üniv Fen Bilim Enst Fen Bilim Derg*, 40(1): 20-33.
- 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. *Sci Total Environ*, 541: 839-856.
- Schäfer K, Jahn C, Sturm P, Lechner B, Bacher M. 2003. Aircraft emission measurements by remote sensing methodologies at airports. *Atmos Environ*, 37(37): 5261-5271.
- Schumann U. 2000. Effects of aircraft emissions on ozone, cirrus clouds, and global climate. *Air Space Eur*, 2(3): 29-33.
- Schürmann G, Schäfer K, Jahn C, Hoffmann H, Bauerfeind M, Fleuti E, Rappenglück B. 2007. The impact of NOx, CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport. *Atmos Environ*, 41(1): 103-118.
- Spicer CW, Holdren MW, Smith DL, Miller SE, Smith RN, Kuhlman MR, Hughes DP. 1987. Aircraft emissions characterization: TF41-A2, TF30-P103, and TF30-P109. ESL-TR-87-27. BATTELLE COLUMBUS DIV OH, Final report, Florida, USA, pp: 75.
- Spicer CW, Holdren MW, Cowen KA, Joseph DW, Satola J, Goodwin B, Hashmonay R. 2009. Rapid measurement of emissions from military aircraft turbine engines by downstream extractive sampling of aircraft on the ground: Results for C-130 and F-15 aircraft. *Atmos Environ*, 43(16): 2612-2622.
- Taşdemir M, Aydın E. 2021. Havacılıkta Karbon Azaltım Uygulamaları ve Şirket Stratejileri. In International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies, 22-25 February, Bandırma, Türkiye, ss: 22-25.
- Ünal İ, Türkoğlu F, Doğan B. 2014. Nevşehir Kapadokya Havalimanının Emisyon ve Gürültü Açısından Değerlendirilmesi. *Engin Machin Mag*, 2014: 654.
- Yavaş V, Dedeoğlu AÖ. 2021. Hava Taşımacılığında Değişen İş Modelleri. *Akıllı Ulaşım Sist Uygulama Derg*, 4(2): 120-133.
- Wuebbles D, Gupta M, Ko M. 2007. Evaluating the impacts of aviation on climate change. *Eos Trans Am Geophys Union*, 88(14): 157-160.