

Karbon Ayak İzi ve Karbon Emisyonunun Sektörel Değerlendirmesi: Havacılık Sektöründe Bir Uygulama

Zeynep Dursun^{ID}, Aysun Sağbaş^{ID}, Hazal Gül Kaya*^{ID}

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ, Türkiye

ÖZET

Son yılların en büyük sorunlarından biri; atmosfere salınan karbondioksit, metan, kloroflor karbon, ozon ve azot oksitleri gibi sera gazlarının iklim değişikliğine yol açması ve küresel ısınmaya neden olmasıdır. İklim değişikliği ile su ve kara ekosistemlerinde meydana gelen değişim, ekosistemlerin biyolojik dengesinin bozulmasına neden olmaktadır. Küresel ısınmaya bağlı olarak dünyanın bazı bölgelerinde kuraklık, çölleşme, yağışlardaki dengesizlik ve sapmalar, su baskınları, tayfun, fırtına, hortum vb. meteorolojik olaylarda artışlar meydana gelmektedir. Küresel ısınma ile yaşanan iklim değişikliklerinde; karbon salınımı ve karbon emisyonu çok önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, öncelikle karbon ayak izi ve karbon emisyonunun ülkeler bazında değerlendirilmesi yapılmış olup, sektörel bir analiz gerçekleştirilmiştir. Türkiye, su kaynaklarının azalması, orman yangınlarının artması, kuraklık ve çölleşme vb. gibi küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından risk grubunda olan ülkeler arasındadır. Bu çalışmada; dünyanın pek çok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de önemli miktarda karbon emisyonu oluşturan havacılık sektöründe; karbon salınımı ve karbon emisyonunun değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla, Türkiye’de faaliyet gösteren iki havayolu şirketinin (Türk hava yolları ve Pegasus) uçuş kaynaklı karbon salınımı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, havayolu şirketlerinin iç hat ve dış hat uçuşları için, küresel ısınma riski açısından karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel Isınma, Havacılık Sektörü, Karbon Emisyonu

Sectoral Assessment of Carbon Footprint and Carbon Emissions: An Application in Aviation Industry

ABSTRACT

One of the biggest problems of recent years is greenhouse gases such as carbon dioxide, methane, chlorofluorocarbon, ozone and nitrogen oxides released into the atmosphere, causing climate change and global warming. The change in aquatic and terrestrial ecosystems due to climate change causes the biological balance of ecosystems to deteriorate. In some parts of the world, depending on global warming, drought, desertification, imbalances and deviations in precipitation, floods, typhoons, storms, tornadoes, etc. Increases in meteorological events. In climate changes with global warming, carbon emission carbon and emissions have a significant place. In this study, the carbon footprint and emission were evaluated based on countries, and a sectoral analysis was carried out. Turkey is among the countries in the risk group regarding the potential effects of global warming, such as a decrease in water resources, an increase in forest fires, drought, and desertification. In this study, the aviation sector causes a significant amount of carbon emissions in our country, as in many countries, carbon release and carbon emissions have been evaluated. For this purpose, carbon emissions from flights of two airline companies operating in Turkey have been calculated. It has been analyzed comparatively in terms of domestic and international flights.

Keywords: Carbon Emission, Global Warming, Aviation Industry

Received :29.06.2024
Accepted :26.09.2024

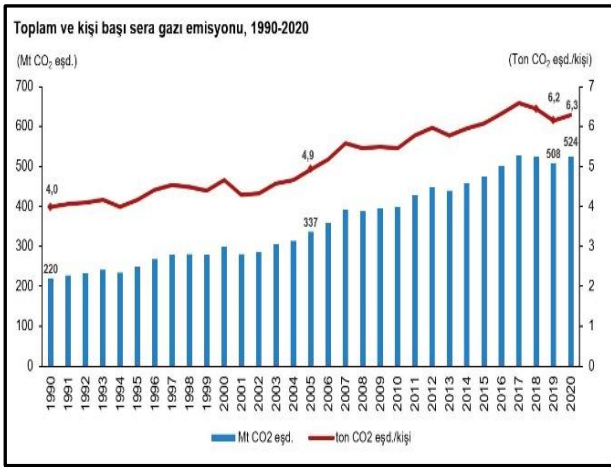
How to cite this article: Hazal Gül Kaya, Sectoral Assessment of Carbon Footprint and Carbon Emissions: An Application in Aviation Industry, 2025, 03, 1506662.

1. GİRİŞ

Dünya var olduğundan beri, çeşitli hastalıklarla, savaşlarla, doğal afetlerle mücadele edilmiştir. Günümüz dünyasının en önemli sorunlarından biri olan küresel ısınmanın etkileri, son 20 yılda daha çok hissedilir bir hal almıştır. Doğal kaynakların hızla tüketilmesi, ekosistemin yok edilerek sanayileşmeye evrilen her aktivite, günümüz dünyasında sağlıklı bir atmosfere geri dönüşü nerdeyse imkânsız hale getirmiştir. Bu durum, küresel ısınma konusunda insanoğlunun rolünü ve etkisini açıkça göstermektedir. Sanayi devrimi, dünyadaki nüfus artışı ve küreselleşme sonrasında, üretim ve tüketim faaliyetlerinde önemli artışlar meydana gelmiş ve bu durum daha fazla enerji ihtiyacına neden olmuştur. Artan enerji ihtiyacı nedeniyle, tüm dünyada fosil yakıt üretim ve tüketim miktarı artmıştır. Fosil yakıtların üretim, hizmet, lojistik vb. alanlarda yoğun kullanımı, zaman içinde karbon miktarını artırmış ve bu artış küresel ısınma sorununu ortaya çıkarmıştır. Küresel ısınmaya bağlı olarak deniz seviyesinde yükselme, kuraklık, çölleşme, biyolojik çeşitlilik kayıpları, asit yağmurları, hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, küresel yoksulluk, kıtlık ve iklimsel göç gibi çevresel ve sosyoekonomik sorunlar ortaya çıkmıştır [1, 2, 3].

Fosil yakıtların bilinçsizce kullanılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ve tarım faaliyetleri sonucu oluşan metan gibi gazlar atmosferdeki sera gazı seviyesini yükselterek sıcaklık artışına neden olmaktadır. Atmosferdeki karbon miktarının %80-85'i fosil yakıt kaynaklı olup, kalan %15-20 oranındaki karbon ise canlıların solunum faaliyetlerinden, volkanik ve jeolojik olaylardan, bitkilerin ve diğer canlıların çürümesinden kaynaklanmaktadır [4, 5]. Atmosferde bulunan sera gazlarının düzeyinin artmasıyla küresel ısınma hızlanmış ve dünyanın doğal dengesi her geçen gün bozulmaktadır [6]. Küresel ısınma durdurulmadığı takdirde 2100 yılında deniz seviyesinin bir metre yükseleceği öngörülmektedir [7]. Ayrıca, buzulların erimesi ile birlikte içlerinde barındırdıkları organik karbon atmosferdeki karbon miktarını daha da artırabilmektedir [8]. Fosil yakıtların kullanımı sonucu oluşan karbon emisyonu, atmosferin sınırları olmaması nedeniyle dünya üzerindeki tüm ülkelerin ortak bir sorunu haline gelmiştir. Eğer önlemler alınmazsa küresel ısınma ve iklim değişiklikleri geri dönülemez zararlara yol açacaktır [9, 10]. Dünya iklim sisteminde değişikliklere neden olan küresel ısınmanın etkileri, en yüksek zirvelerden okyanus derinliklerine kadar dünyanın her yerinde hissedilmektedir. Sera

gazlarının atmosfere salınmasındaki en büyük etken insanoğlunun faaliyetleridir. Sanayi devriminden bu yana gelişen endüstriler, bu gazların atmosfere salınmasında büyük rol oynamaktadır. Fosil yakıtların tüketimi ve endüstriyel faaliyetler sonucu atmosferde artan sera gazları kasırgalar, seller ve taşkınlar gibi doğa olaylarının şiddetini ve sıklığını artırmakta, uzun süreli kuraklıklara ve çölleşmeye yol açmaktadır [11]. Bu iklim değişiklikleri; küresel ısınma sonucu yağışların azalmasında, sıcaklık ortalamalarının yükselmesinde, kuraklık şiddetinin artmasında etkili olmakta, orman yangınlarını tetiklemekte, mevcut orman alanlarının yayılışını ve kendini yenilemesini kısıtlamaktadır. Karbon salınımı; bir bireyin ya da kurumun çevreye yaydığı karbon miktarını ifade etmektedir. Şehir ölçeğinde ele alındığında enerji tüketimi, ulaşım, atık yönetimi, yapılaşma, sanayileşme vb. gibi açılardan şehirlerin karbon salınımının iklim etkileri, büyük önem arz etmektedir. Bir insanın, bir ülkenin veya bir işletmenin sürdürdüğü faaliyetler yüzünden atmosfere salınan sera gazlarının CO₂ cinsinden karşılığı karbon ayak izi olarak tanımlanmaktadır. Artan emisyon değerleri, çevre kirliliği, iklim değişikliği gibi ortaya çıkan problemler ve bu problemlerin canlı yaşamı üzerinde yarattığı olumsuz etkiler fark edildikten sonra, tüm dünyada bir çevre bilinci oluşmaya başlamış ve bu çerçevede sera gazı ve çevre kirliliğini önlemek amacıyla birçok adım atılmıştır. Başlangıçta, 1979 yılında Cenevre'de "Birinci Dünya İklim Konferansı" düzenlenmiş ve dünyanın farklı ülkelerinde düzenlenen konferanslar sonucunda önemli kararlar alınmıştır. Atmosfere salınan karbon emisyon değerini iklim değişikliğini ve çevre kirliliğini önleyecek bir düzeyde tutmak amacıyla Rio'da Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda "İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi" imzalanmıştır. Japonya'nın Kyoto şehrinde 1997 yılında imzalanan "Kyoto Protokolü" ile, karbon emisyon miktarının en az %55'inden sorumlu 55 ülkenin protokolü onaylaması kararlaştırılmıştır [12]. Fosil yakıtlar, yüksek oranda karbon içeren kömür, petrol ve doğalgaz gibi doğada gömülü olarak bulunan enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlar yandıkları zaman CO₂, azot ve kükürtlü bileşikler oluştururlar. Bu sera gazları havayı kirleten partiküller açığa çıkarmaktadır. Atmosferde birikerek sera etkisi yaratan gazlar CO₂, CH₄, NO₂, O₃ gazları ve su buharıdır. Sera gazları sanayide üretim faaliyetlerinde kullanılan fosil yakıtlar sonucunda oluşur ve bu gazlar iklim değişikliğine yol açmaktadır. Yıllar bazında Türkiye'deki toplam sera gazı emisyonu şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Toplam Sera Gazı Emisyonu [13]

Şekil 1’den de görüldüğü üzere; Türkiye’de toplam sera gazı emisyonu 2020 yılında 523.9 Mt CO₂ eşdeğeri olarak ölçülmüştür. Fosil yakıtların yakılması ile 21,3 milyar ton CO₂ ortaya çıkmış ve atmosfere 10,65 milyar ton CO₂ salınımı gerçekleşmiştir [13]. Bu çerçevede; Türkiye karbon ayak izi ve karbon emisyonunun yıllar bazında sürekli ve hızlı bir şekilde arttığı bir ülke konumundadır ve dünya istatistikleri verilerine göre küresel ısınma çerçevesinden risk grubunda olan ülke konumundadır. Dünya’da havacılık faaliyetleri kaynaklı 2019 yılında 915 milyon ton CO₂ doğaya salınmıştır. Bu değer toplam küresel CO₂ salınımının yüzde 2,5’ini oluşturmaktadır. CO₂ salınımına ek olarak, asit yağmurlarının oluşumu gibi doğa üzerinde yıkıcı etkileri olan NO ve NO₂ gazları, harcanan her kilogram yakıt için 5-65 gram arası salınmakta, bu değer ise toplam salınımın yüzde 3 ila 5’ini oluşturmaktadır [14]. Salınım düzeylerini düşürmek adına, son 10 yılda havayolları ve uçak üretici şirketler daha verimli uçaklara 1 trilyon dolardan fazla yatırım yapmış, sektör Ar-Ge faaliyetlerine 150 milyar dolar harcamıştır [14]. Yapılan çalışmada; karbon ayak izi ve karbon emisyonu açısından dünya ülkelerinin genel bir değerlendirmesi yapılmış olup, sektörel bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla havacılık sektöründe bir uygulama gerçekleştirilmiş olup, Türkiye’nin iki önemli havayolu şirketinin (THY ve Pegasus) dış ve iç hat seferlerinde ortama saldıkları karbon miktarları hesaplanmış ve iki havayolu şirketinin küresel ısınma riski açısından mevcut durumları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği ekseninde; karbon emisyonu ve ayak izinin değerlendirmesi konusunda detaylı bir literatür taraması yapılmış olup, incelenen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Başar tarafından yapılan çalışmada [15], karbon emisyonunun havacılık sektöründeki durumu ele alınmış olup, değişkenlere bağlı olarak yakıt tüketimi ve yakıt tüketimi kaynaklı karbon salınımının ne oranda değiştiği

sorularının cevapları araştırılmıştır. Loğoğlu yaptığı çalışmada [16]; dinamik panel veri yöntemi ve ekonometrik analiz yöntemi kullanarak 33 OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ülkesi için 2000-2013 yılları arasında elde edilen verilerle karbon emisyonu ve uluslararası ticaret arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Ahmetoğlu [17] tarafından yapılan çalışma; sera etkisine yol açan gazların salınımına neden olan ve başta fosil yakıtların, enerjinin tüketimi ile atmosfere yayılan CO₂ ve birey/kurumların faaliyetlerinden kaynaklanan doğrudan veya dolaylı emisyonlarının hesaplanmasını içerir. Özcan [18] çalışmasında, asfalt üretim işlemine bağlı emisyonların karbon eşdeğeri olarak hesaplanmasını gerçekleştirmiştir. Asfalt üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi IPCC (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) Tier 1 ve Tier 2 metodolojisi kullanılarak hesaplanmıştır. Okan [19] tarafından AAT sistemlerinin simülasyonu ve karşılaştırılması için teorik ve mütearife durum modelleri yaratılmıştır. Belediye atık sularında kullanılan biyolojik arıtım ve çamur stabilizasyon teknolojilerini belirlemek amacıyla, Türkiye’nin belediye atık su arıtma tesisleri tahlil edilmiştir. Yavuz [20] tarafından tam donanımlı bir otelin en çok tüketim yaptığı alanlar dikkate alınarak karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Yapılan çalışmada otelin son 5 yıllık tüketimleri göz önüne alınmıştır. Son 5 yılda karbon ayak izi farklılık gösterse de ortalama yıllık 5.3 tonluk bir emisyonun atmosfere salındığı tespit edilmiştir. Shaikh [21] tarafından yapılan vaka çalışması; Türkiye elektrik endüstrisinde gerçekleştirilmiş olup, geleneksel işletme, resmi idari plan ve yenilenebilir enerji odaklı kalkınma planı isimli 3 senaryoyu içermektedir. Dumanlı [22] karbon emisyonlarının ekonomilerdeki rolünü, ekonomik gelişmelerdeki etkilerini, fiyatlandırma çalışmalarını ve uluslararası güçle hazırlanan emisyon ticaret sistemlerini detaylıca araştırmıştır. Bu çalışmada, karbon ayak izi ve karbon emisyonu konusu irdelenmiş ve ve havacılık sektörü ele alınmıştır. Bu kapsamda, Türkiye’nin önemli havayolu şirketlerinin emisyonları hesaplanmış ve örnek uygulamalarla karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; karbon emisyon hesaplamalarında; Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (1992), Kyoto Protokolü, GHG (Sera Gazı Protokolü) Protokolü, ürün karbon ayak izi hesaplamasında kullanılan PAS 2050 (Publicly Available Specification –Kamuya Açık Şartname) ve ISO 14067 standartları, firmaların karbon ayak izi hesaplamasında kullanılan ISO 14064 standart serisi, karbon nötrlüğünün nasıl gösterileceğini detaylandıran PAS 2060 (Publicly Available Specification – Kamuya Açık Şartname) standardı ve IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change –Hükümetler

Arası İklim Değişikliği Paneli) kılavuzlarının yanı sıra bilimsel yayınlar ve akademik çalışmalar kullanılmıştır. Uluslararası sivil havacılık kurumundan alınan bilgiler [23] çerçevesinde; Türkiye’de havacılık sektörü için bir karbon emisyon hesaplaması yapılmış ve iki farklı havayolu şirketinin iç hat ve dış hat ekseninde karbon emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada; Türk Hava Yolları’nın Airbus320 ve Boeing 787-9 tipi uçakları baz alınmıştır. Pegasus Havayolları için ise Airbus320 tipi yolcu uçağı ve Boeing 737-800 numaralı uçak tipi kullanılmıştır. İncelenen havayolu şirketleri için uçuşlardan kaynaklı emisyon hesaplamalarında denklem 1 (Elektrik tüketiminden kaynaklı emisyon hesaplamaları) ve denklem 2 (Uçuş kaynaklı emisyon hesaplamaları) de verilen model kullanılmış olup, hesaplamalarda kullanılan semboller tablo 1.’de verilmiştir.

$$EtCO_2 = ((YT_{kg/LTO} \times EF_{LTOkg/CO_2}) + (SYT_1 \times SEF_{kg/CO_2}) \times 10^{-6})/KS \quad (1)$$

$$SYT_1 = (YK \times BYT_1)/100 \quad (2)$$

Tablo 1. Hesaplamalarda Kullanılan Semboller

Sembol	Açıklama
$EtCO_2$	Emisyon ton karbondioksit miktarı
$YT_{kg/LTO}$	Uçaklarda 914 metreye kadar tırmanışta harcanan yakıt tüketimi
EF_{LTOkg/CO_2}	914 metreye kadar tırmanışta harcanan yakıt tüketiminin emisyon faktörü
SEF_{kg/CO_2}	Seyir emisyonu faktörü
KS	Koltuk sayısı
SYT_1	Litre cinsinden seyir halindeki yakıt tüketimi
BYT_1	Birim yakıt tüketimi
YK	Katedilen kilometre

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada; Türkiye’de havacılık sektöründe faaliyet gösteren iki işletmenin (Türk Hava Yolları ve Pegasus) iç hat ve dış hat uçuşları için karbon emisyonları hesaplanmış ve örnek bir uygulama yapılarak, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Karbon emisyon değerleri; tesis enerji tüketiminden kaynaklı ve uçuş kaynaklı emisyonlar olmak üzere, ayrı ayrı hesaplanarak, her iki

şirket için iç ve dış hat uçuşlarında oluşan toplam karbon emisyon değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla incelenen işletmelerin açık erişim verilerinden yararlanılmıştır. Türk Hava Yolları yıllık elektrik tüketimi 2019 yılı faaliyet raporunda 12.148.260 kWh olarak belirtilmiştir. Yapılan hesaplamalarda; 2019 yılında tüm tesiste 12.148.260 kWh elektrik tüketen Türk Hava Yolları, tesiste enerji tüketiminden kaynaklı 6.335,56 tCO₂/yıl karbon emisyonuna sebep olmuştur. Türk Hava Yolları firması için, uçuş kaynaklı emisyon hesaplamaları iç ve dış hatlar olmak üzere iki farklı hat için ve her bir uçuş hattında da iki farklı uçak tipi için hesaplamalar yapılmış olup, uçuş kaynaklı toplam emisyon değerleri belirlenmiştir. Benzer olarak, incelenen diğer havayolu şirketi olan Pegasus havayolu firmasında da iç ve dış hatlar olmak üzere; iki farklı hat için, her bir uçuş hattında da iki farklı uçak tipi için, uçuş kaynaklı toplam emisyon değerleri hesaplanmış olup, karşılaştırmalı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Uygulama örneği olarak; İstanbul’dan Barcelona’ya giden bir Türk Hava Yolları uçağının dış hatlar uçuşu için karbon emisyon değerleri; Eşitlikler 1 ve 2 kullanılarak hesaplanmıştır. Uçuşu gerçekleştiren uçağın kodu TK1855 olup, uçağın teknik bilgileri Türk Hava Yolları’nın açık erişim sağlayan resmî web sitesinden [24] ve hesaplama verileri IPCC kılavuzlarından alınmıştır. TK1855 numaralı dış hat uçuşuna ait veriler, tablo 2.’de sunulmuştur.

Tablo 2. THY Dış Hat Uçuşuna Ait Veriler [24]

Yolcu koltuğu sayısı (Adet)	189
İstanbul-Barcelona arası mesafe (km)	2221
Uçak tipi	A320
Ortalama yakıt tüketimi (litre/100 km)	427
İniş ve kalkış döngüsü yakıt tüketimi (kg/LTO)*	770
Uçak emisyon faktörü (LTOkg/CO ₂ *)	2440
Seyir emisyon faktörü (kg/CO ₂)*	3150

*: IPCC kılavuz verileri

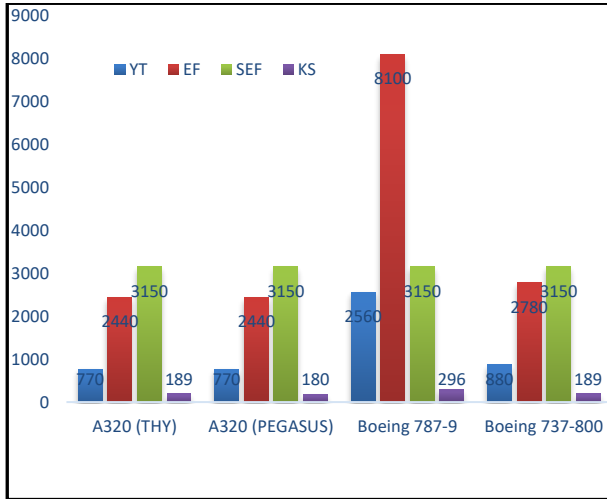
Diğer bir uygulama örneği; İzmir’den kalkan Pegasus Havayolu şirketine ait bir Airbus320 tipi yolcu uçağının İstanbul’a gidişindeki karbon emisyonunun hesaplanması amacıyla yapılmıştır. Hesaplamalarda; Eşitlikler 1 ve 2 kullanılmış olup, uçuşu gerçekleştiren uçağın teknik bilgileri Pegasus Hava Yolları’nın açık erişim sağlayan resmî web sitesinden [25] ve hesaplama verileri IPCC kılavuzundan (Landing and Take Off Cycle – LTO-İniş ve Kalkış Döngüsü) alınmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Pegasus Havayolu Şirketi İç Hat Uçuşuna Ait Veriler [25]

Yolcu koltuğu sayısı (Adet)	180
İzmir-İstanbul arası mesafe (km)	2221
Uçak tipi	A320
Ortalama yakıt tüketimi (100 litre/km)	425
İniş ve Kalkış Döngüsü yakıt tüketimi. (kg/LTO)*	770
Uçak emisyon faktörü (LTOkg/CO2*)	2440
Seyir emisyon faktörü (kg/CO2)*	3150

*: IPCC kılavuz verileri

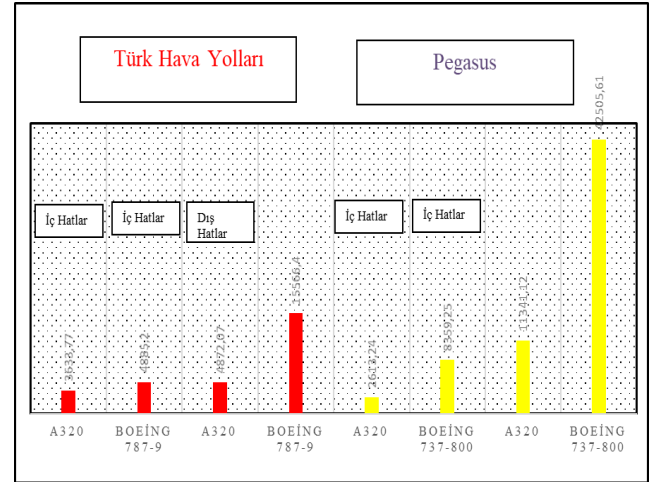
Türk Hava Yolları ve Pegasus havayolu firmalarında, iç ve dış hatlar için farklı uçak tiplerine ait veriler; Türk Hava Yolları ve Pegasus havayolu şirketlerinin açık erişim sağlayan resmî web sitelerinden ve IPCC kılavuzlarından alınmış olup; şekil 2. de sunulmuştur.



Şekil 2. Türk Hava Yolları ve Pegasus Havayolu Firmalarında Emisyon Hesaplamalarında Kullanılan Veriler

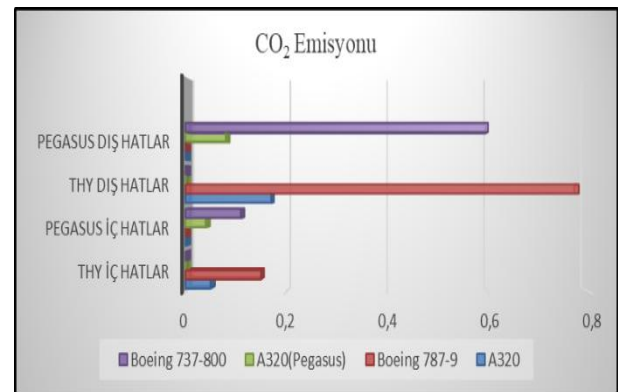
Şekil 2'den görüldüğü üzere; Türk Hava Yolları'nın Airbus320 ve Boeing 787-9 tipi uçakları baz alınmıştır. Pegasus Havayolları için ise Airbus320 tipi yolcu uçağı ve Boeing 737-800 numaralı uçak tipi kullanılmıştır. Boeing 787-9 uçağı Boeing markasının ürettiği ve şu an Türk Hava Yolları'nın kullandığı en yeni model Boeing uçağıdır. Pegasus Havayolları'nın kullandığı Boeing 737-800 numaralı uçaktan daha fazla yol kat edebilmektedir. 914 metreye kadar tırmanışta harcanan yakıt tüketiminin emisyon faktörü (EF) değeri; daha yüksek olup, birim yakıt

tüketimi (BYT) aynı model diğer uçaklara göre daha düşüktür [25]. Boeing 787-9 uçağının daha fazla koltuk sayısı (KS) bulunmaktadır. Bu sayede tek seferde daha çok yolcu taşınabilmektedir. Türk Hava Yolları ve Pegasus havayolu firmalarının, iç ve dış hatlar için Airbus ve Boeing uçak tipleri ile hesaplanan yakıt tüketim değerleri şekil 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. THY ve Pegasus Şirketlerinin Uçak Modellerine Göre Yakıt Tüketimi (Litre)

Türk Hava Yolları A320 model uçağının iç hatlar seferinde yapmış olduğu 851 kilometrelik yolculukta yakıt tüketimi 3633,77 litredir. Aynı Türk Hava Yolları uçağının dış hatlar için yaptığı 1141 kilometrelik yolculukta yakıt tüketimi 4872,07 litre olarak hesaplanmıştır. Pegasus A320 model uçağının iç hatlar seferinde yapmış olduğu 612 kilometrelik uçuşta yakıt tüketimi 2613,24 litre olarak hesaplanmıştır. A320 tipi uçağın dış hatlarda yaptığı 2656 kilometrelik uçuşta ise yakıt tüketimi 11341,12 litre olarak bulunmuştur. İç ve dış hatlarda THY ve Pegasus havayolu şirketlerine ait farklı uçak seferlerinin oluşturduğu CO₂ emisyonları Şekil 4.'de gösterilmiştir.



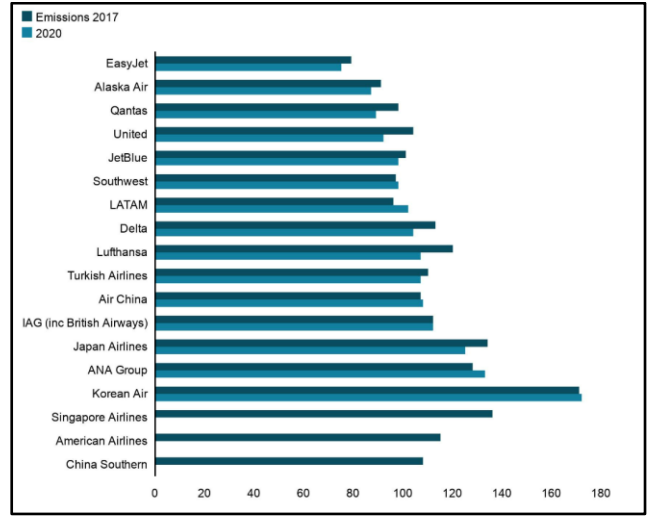
Şekil 4. İç ve Dış Hatlarda THY ve Pegasus Şirketlerinin Uçak Seferlerinin Oluşturduğu CO₂ Emisyonları

Hesaplanan karbon emisyon sonuçlarına göre; en çok karbondioksit emisyonuna sebep olan uçağın Türk Hava Yolları'na ait olan Boeing 787-9 Dreamliner uçağı olduğu görülmektedir. Karbon emisyonu hesaplamaları; uçağın 296 yolcu ile İstanbul'dan Amerika'ya 9680 kilometrelik uçuş gerçekleştirilmesi koşuluna göre hesaplanmıştır. En az karbon salınımı ise Pegasus firmasına ait klasik yolcu uçaklarından olan A320 tipi uçağı için hesaplanmıştır. Hesaplamalar 280 yolcu ile İzmir-İstanbul arası uçuş mesafesinde gerçekleştirilmiştir. İki farklı havayolu şirketinin A320 tipi uçaklarının birim yakıt tüketim değerleri (BYT) eşdeğer olduklarından aynı kilometrelik uçuşlarda aynı yakıt tüketimi gerçekleşmektedir. Çalışmanın yapıldığı havayolu şirketlerin farklı Boeing tipi uçaklarında Türk Hava Yolları'nın Boeing 787-9 tipi uçağının birim yakıt tüketim değeri 690 iken, Pegasus Hava Yolları'nın Boeing 737-800 tipi uçağının birim yakıt tüketimi 1553'tür. Bu nedenle Boeing 787-9 modeli aynı kilometrede daha az yakıt tüketimi sağlamaktadır. Bu nedenle atmosfere salınan karbon miktarı azalmaktadır. Türk Hava Yolları'nın yeni tip uçağı Boeing-787-9 Dreamliner, yakıt tasarrufu konusunda yapılan Ar-Ge uygulamaları ile yüzde 20 daha az yakıt tüketimi ile, karbon emisyonunda önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Ancak, yolcu kapasitesinin çok olmasından ve uzun menzillerde uçmasından kaynaklı karbon emisyon oranı yüksek çıkmaktadır. Türk Hava Yolları şirketinin resmi internet sitesi verilerine göre; sürdürülebilir havacılık kapsamında, yakıt tasarrufu için yapılan uygulamalardan bir kısmı Tablo 4. de sunulmuştur.

Tablo 4. THY Yakıt Tasarrufu Uygulamaları [24]

	Yakıt Tasarrufu (Ton)	Engellenen Karbon Salınımı (Ton CO ₂ eşdeğer)
Tek Motor Taksi	3.873	12.202
İstatistikî Taksi Yakıtı Planlaması	3.479	10.959
Rota Optimizasyonu	1.017	3.203
Sharklet Takılması	20.000	63.000

Tablo 4. incelendiğinde; 2008-2018 yılları arasında THY şirketinin sadece yakıt tasarrufundan kaynaklı toplam 1.570.168 ton sera gazını engellediği görülmektedir. Türkiye'nin bir diğer önde gelen havacılık şirketlerinden olan Pegasus ise 2021 yılı sürdürülebilirlik raporunda 2030 yılına kadar 2019'a oranla karbon emisyonlarını yüzde 20 azaltma hedefini paylaşmıştır. Dünya genelinde havacılık sektöründe faaliyet gösteren ülkeler incelendiğinde; en düşük karbon emisyonuna sahip havayolu şirketleri Şekil 5.'de verilmiştir.



Şekil 5. En Düşük Karbon Emisyonuna Sahip Havayolu Şirketleri [26]

Şekil 5. incelendiğinde; 2020 yılında havayolu şirketlerinin tamamına yakınında emisyon değerlerinin 2017 yılına kıyasla azaldığı görülmektedir. Günümüzde, tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi, Türkiye'de de karbon emisyonun yıl bazında azaltılmasına yönelik çalışmalar devam etmekte olup, bu kapsamda önemli kazanımlar sağlandığı belirtilmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada; farklı iki havayolu şirketinin (Türk Hava Yolları ve Pegasus) iç ve dış hat uçuşlarına yönelik 2 farklı tip uçak için, uçuş kaynaklı karbon salınım değerleri örnek bir uygulama yapılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre; THY şirketinin, 2008-2018 yılları arasında sadece yakıt tasarrufundan kaynaklı toplam 1.570.168 ton sera gazını engellediği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan uygulama sonuçları çerçevesinde; Türk Hava Yollarının, 24 saatte ortalama 1.416 uçuş gerçekleştirdiği düşünülürse, her bir uçuşta bir uçakta yapılacak karbon emisyon değerinin azaltılması sonucu; THY şirketinin yıllık uçuş kaynaklı karbon emisyon değerlerinde çok önemli bir oranda azalma sağlanması mümkün olacaktır. Belirli kriterler esas alınarak hesaplanan karbon emisyon sonuçlarına göre; Türk Hava Yolları'na ait olan Boeing 787-9 Dreamliner uçağının en çok karbondioksit emisyonuna sebep olduğu, en az karbon salınımının ise Pegasus firmasına ait klasik yolcu uçaklarından olan A320 tipi uçağı olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın yapıldığı havayolu şirketleri kıyaslamasında, Türk Hava Yolları'nın Boeing 787-9 tipi uçağının birim yakıt tüketim değerinin, Pegasus Hava Yolları'nın Boeing 737-800 tipi uçağının birim yakıt tüketiminden daha az olduğu belirlenmiş olup, atmosfere salınan karbon miktarının daha az olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

İleride yapılacak çalışmalar için, atmosfere salınan karbon oranını düşürmek için; yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması, enerji kaynaklarının tüketimlerinin ölçülüp izlenmesi, üretim ve enerji tüketimlerinin eş zamanlı olarak izlenmesi ve bu durumun sürekliliğinin sağlanması, sürdürülebilir ve verimli yakıt kullanımının havacılık sektöründe de kullanımının artırılması konularında çalışmaların yoğunluk kazanması büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılacak çalışmaların, ülkemizde ve dünyada küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarının azaltılmasında çok önemli katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Föster Bellamy, "Savunmasız Gezegen: Çevrenin Kısa Ekonomik Tarihi", Epos Yayınları, Cilt 1, Ankara, 2002.
- [2] Köse, D. (2018). İklim Değişikliği ve Küresel Isınmanın Ekosistem Üzerine Etkileri. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- [3] Koçak, T. (2021). Çevre ve İklim Krizleri: İnsan Faaliyetlerinin Küresel Isınma Üzerindeki Rolü. Doğa ve Çevre Dergisi, 12(3), 45-62.
- [4] Özleyen, F. (2022). Atmosferdeki Karbon ve Sera Gazlarının Kaynakları. Ankara Üniversitesi Yayınları.
- [5] Aksay, M. (2023). Fosil Yakıtların Atmosfere Etkileri. Doğa Bilimleri Dergisi, 14(1), 101-119.
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- [7] Cline, W. R. (1992). The Economics of Global Warming. Institute for International Economics.
- [8] Greenpeace. (2021, Mart 14). Küresel Isınma ve Buzul Erimeleri. <https://www.greenpeace.org.tr/kuresel-isinma-buzul-erimeleri>
- [9] Kaplan, A. (1999). İklim Değişikliği ve Çevresel Etkiler. Dünya Çevre Bilimleri Dergisi, 9(2), 123-137.
- [10] Pearce, F. (1991). Küresel İklim Değişikliklerinin Sosyoekonomik Sonuçları. Ekonomi ve Çevre Dergisi, 18(1), 56-78.
- [11] Hekimoğlu, B., & Altındağ, M. (2008). Küresel Isınma, Tarımsal Kuraklık ve Samsun Tarımına Etkileri.
- [12] Birleşmiş Milletler (1992). İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı. Rio de Janeiro, Brezilya.
- [13] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2021). Türkiye sera gazı emisyon envanteri, 1990-2020. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.
- [14] Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (2019). Havacılık ve çevre: Küresel havacılık emisyonları raporu. Montreal: ICAO Yayınları.
- [15] Başar, A. (2020). Havacılık sektöründe karbon emisyonları ve yakıt tüketimi arasındaki ilişki üzerine bir inceleme. Havacılık ve Çevre Dergisi, 8(1), 55-65.
- [16] Loğoğlu, Z. (2017). Karbon emisyonu ve uluslararası ticaret ilişkisi: OECD ülkeleri üzerine dinamik panel veri analizi. Ekonomi ve Çevre Dergisi, 12(4), 99-120.
- [17] Ahmetoğlu, M. (2018). Fosil yakıt tüketimi ve karbon ayak izi hesaplamaları: Türkiye örneği. Enerji ve Çevre Bilimleri Dergisi, 5(2), 87-105.
- [18] Özcan, T. (2019). Asfalt üretimi kaynaklı karbon ayak izi hesaplamaları. İnşaat ve Çevre Mühendisliği Dergisi, 11(3), 245-257.
- [19] Okan, B. (2020). Atık su arıtma sistemleri: Simülasyon ve karşılaştırmalı modelleme. Çevresel Teknoloji Araştırmaları Dergisi, 9(1), 35-50.
- [20] Yavuz, H. (2017). Otellerde karbon ayak izi hesaplamaları: Vaka incelemesi. Turizm ve Çevre Araştırmaları Dergisi, 6(4), 102-115.
- [21] Shaikh, M. (2020). Türkiye elektrik endüstrisinde karbon emisyon senaryoları: Yenilenebilir enerji odaklı bir inceleme. Enerji ve İklim Politikaları Dergisi, 14(3), 78-92.
- [22] Dumanlı, K. (2021). Karbon emisyonlarının ekonomik etkileri ve emisyon ticareti sistemleri üzerine bir inceleme. Uluslararası Ekonomi ve Çevre Politikaları Dergisi, 10(2), 150-173.
- [23] International Civil Aviation Organization. (2021). Environmental report. Retrieved from <https://www.icao.int/>

[24] «Türk Hava Yolları,» 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://investor.turkishairlines.com/tr/kurumsal-yonetim/surdurulebilirlik>.

[26] «EuroNews,» 3 Ağustos 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.euronews.com/>.

[25] P. H. A. Ş. «Sürdürülebilirlik Raporu,» 2020.