

FORECASTING TÜRKİYE'S CO₂ EMISSIONS FROM INTERNATIONAL CIVIL AIR TRANSPORT

Deniz KAYMAK - Merih AYDINALP KÖKSAL

ABSTRACT

Nowadays, the aviation sector plays a vital role in the economic development of countries by connecting the continents. Air transportation is preferred more and more thanks to its advantages over the other transportation modes. Due to the increasing demand for the aviation industry, inevitably, CO₂ emissions of the sector increased rapidly. Despite contributing to climate change in small percentages, the aviation industry of Turkey shows a much faster growth trend than other sources of emissions or industries. In this study, Turkey's CO₂ emissions from international civil aviation activities are determined using the IPCC methodology between 2018 and 2030 by modeling Turkey's air passenger traffic demand under different scenarios. It is forecasted that air passenger traffic would reach 375,270 passenger-km according to the high scenario and 283,140 million passenger-km according to the low scenario using the air passenger traffic modeling. By adding fuel efficiency assumptions to the estimated air passenger traffic data, future fuel demand and corresponding CO₂ emissions are calculated. As a result, Turkey's CO₂ emissions from international civil aviation activities in 2030 are expected to be between 23.54 and 31.21 million tons. Even in the most optimistic case, CO₂ emissions of the international civil aviation of Turkey tend to increase approximately 1.5 times, and under the highest scenario CO₂ emissions are expected to double in 2030 compared to 2017 levels. This study demonstrated that CO₂ emissions of the civil aviation sector continue to be one of the fastest-growing sources of emissions in Turkey. Moreover, it is expected that the civil aviation sector will take a large share of Turkey's carbon budget in the near future.

Keywords: CO₂ Emissions, Civil Aviation, Aviation Emissions, International Aviation, Climate Change.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Mail: dnzkymk@gmail.com

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2053-7705>

Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Mail: aydinalp@hacettepe.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4201-6898>

Makale Atıf Bilgisi: Kaymak, D.-Aydinalp Köksal, M. (2022). "Türkiye'nin Uluslararası Sivil Hava Ulaşımından Kaynaklanan CO₂ Emisyonunun Tahmini", *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*. Yıl: 1. Sayı: 1. ss. 158-172.

Makale Türü: Araştırma
Geliş Tarihi: 30.01.2022
Kabul Tarihi: 03.02.2022
Yayın Tarihi: 20.02.2022
Yayın Sezonu: Ocak 2022

TÜRKİYE’NİN ULUSLARARASI SİVİL HAVA ULAŞIMINDAN KAYNAKLANAN CO₂ SALIMININ TAHMİNİ

Deniz KAYMAK - Merih AYDINALP KÖKSAL

ÖZ

Havacılık sektörü günümüzde kıtaları birbirine bağlayarak ülkelerin ekonomik kalkınmasında hayati bir rol oynamaktadır. Hava yolu ulaşımı, dünyada ve ülkemizde diğer ulaşım sistemlerine göre sahip olduğu üstünlükler sayesinde gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir. Havacılık endüstrisine olan talep her geçen gün artması nedeni ile kaçınılmaz olarak sektörden kaynaklanan CO₂ salımlarında hızlı bir artış yaşanmaktadır. Salım oranı ile iklim değişikliğine görece küçük oranlarda katkıda bulunmasına rağmen, havacılık endüstrisi diğer salım kaynaklarından veya sektörlerden çok daha hızlı bir büyüme eğilimi göstermektedir. Bu çalışmada, Türkiye’nin 2018-2030 yılları için IPCC yöntemi kullanılarak uluslararası sivil havacılık faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkacak CO₂ salımları Türkiye’nin hava yolcu trafiği talebi modellenerek senaryolar bazında hesaplanmıştır. Hava yolcu trafik modellemesinde yüksek senaryoya göre 375.270 yolcu-km ve düşük senaryoya göre ise 283.140 milyon yolcu-km değerine ulaşılacağı tahmin edilmiştir. Hesaplanan hava yolcu trafik verilerine, yakıt verimliliği varsayımları ilave edilerek gelecekteki yakıt ihtiyacı ve buna karşılık gelen CO₂ salımı hesaplanmıştır. Çalışma neticesinde Türkiye’nin 2030 yılı uluslararası havacılık kaynaklı CO₂ salımlarının 23,54 milyon ton ve 31,21 milyon ton arasında olması beklenmektedir. Türkiye’nin uluslararası sivil havacılığının CO₂ salımlarının 2030’da 2017’ye kıyasla düşük senaryo bazında bir buçuk ve yüksek senaryo bazında ise iki katına çıkması beklenmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, sivil havacılık sektörü CO₂ salımlarının, Türkiye’de en hızlı büyüyen CO₂ kaynaklarından biri olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sivil havacılık sektörünün yakın gelecekte Türkiye’nin karbon bütçesinden büyük bir pay alması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: CO₂ Salımı, Sivil Havacılık, Havacılık Salımları, Uluslararası Havacılık, İklim Değişikliği.

Giriş

Havacılık sektörü 1950'li yıllarda ulaştırma sektörünün küçük bir bölümünü teşkil ederken günümüzde kıtaları iş, turizm, ticaret, savunma ve insani amaçlarla birbirine bağlayarak ülkelerin ekonomik kalkınmasında hayati bir rol oynamaktadır. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) tarafından yayınlanan yıllık raporlara göre taşınan yolcu sayısı 1980'de 0,6 milyar iken, 2017'de 4,1 milyara yükselmiş, uluslararası ve iç hat hizmetler dahil olmak üzere küresel toplam gelir trafiği, 2017 yılında 945 milyar RTK¹ (ücretli ton-kilometre) değerini aşarak son beş yılda yıllık ortalama %6 oranında artmıştır. Aynı yıl, ICAO üye devletlerinin havayollarının işletme gelirleri 2000 seviyelerine göre yüzde 150 artarak 757 milyar dolara ulaşmıştır (ICAO, 2000-2017; ICAO, 2017). Ayrıca, Boeing tarafından yayınlanan raporda, dünya genelinde yolcu trafiğinin %5'in üzerinde artacağı ve önümüzdeki 20 yılda bu büyüme trendinin devam edeceği tahmin edilmiştir (Boeing, 2013).

Türkiye'de havacılık sektörü serbestleşme politikalarının uygulanması ve özel şirketlere teşviklerin sağlanmaya başlanmasıyla gelişmeye ve genişlemeye başlamıştır. Uygulanan politika sayesinde 2000'li yıllara kadar Türk Hava Yolları hakimiyetinde olan sektöre özel şirketler de girmeye başlamıştır. 2003 yılından sonra bu alanda alınan tedbirler devreye girmiş ve sektörde istikrar sağlanmış, havacılık sektörü Türkiye'nin ekonomik kalkınmasında önemli bir aktör haline gelmiştir.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından 2018 yılında yayınlanan faaliyet raporuna göre Türkiye'de 11 adet ticari havayolu ve 57 havalimanı bulunmaktadır. ICAO 2017 Yılı Raporu'na göre Türkiye dünyada, RPK² (ücretli yolcu-kilometre) sıralamasında 12, RTK (ücretli ton-kilometre) sıralamasında 11. sırada yer almıştır. Bu raporlarda yer alan hava trafik verilerine göre Türkiye'deki yolcu, uçak ve yük trafiğinde son yıllarda dünya ortalamalarına kıyasla daha yüksek yüzdelerde, önemli artışlar gerçekleşmiştir.

Bu zamana kadar endüstri ve bölgesel kuruluşlar tarafından yapılan hava trafiği büyümesi çalışmaları, bölgesel bazlı hava trafik tahminlerini ve rota bazlı hava trafik gelişmelerini içermektedir. Bu çalışmalarda Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle çoğu ülkenin havacılık sektöründeki değişimlerin oldukça stabilize olduğu Avrupa bölgesine dahil edilmiştir. Ancak Avrupa'nın bir parçası olmasına rağmen, Türkiye'nin sivil havacılığının büyüme genel temayülü (trendi), Avrupa'daki büyüme temayulunu takip etmemektedir. Avrupalı ülkelerin havacılık sektörünün 1970 ile 2000 yılları arasında yaşamış olduğu

¹CSB kaynaklarına uyumlu tanım: Havacılık endüstrisinde bir ton yükün ücret karşılığında bir kilometre mesafeye taşınmasıyla elde edilen trafik ölçü birimidir.

²CSB kaynaklarına uyumlu tanım: Havacılık endüstrisinde bir yolcunun ücret karşılığında bir kilometre mesafeye taşınmasıyla elde edilen trafik ölçü birimidir.

hızlı büyümeyi, Türkiye 2000'li yıllardan sonra deneyimlemeye başlamıştır. Bu sebeple Türkiye'de havacılık sektörü hala gelişmekte ve hızla büyümeye devam etmektedir. Dolayısıyla bu raporlarda Avrupa için yayınlanan büyüme oranları Türkiye'nin büyüme eğilimini çok iyi yansıtmamaktadır.

Öte yandan, havacılık sektörünün Dünya'da ve Türkiye'de hızlı büyümesinin devam ettiği ve bu büyümenin sürmesinin beklendiği, uçak motorlarında jet yakıtının yanması sonucu ortaya çıkan sera gazı salımlarına (SGS) kaçınılmaz olarak artış göstermesi beklenmektedir. Hâlihazırda havacılık faaliyetleriyle ilgili salımlar, toplam küresel antropojenik CO₂ salımlarına yaklaşık %2-3 oranında katkıda bulunmaktadır (Edwards v.d., 2016). Havacılık, iklim değişikliğine küçük yüzdelerde katkıda bulunmasına rağmen, diğer salım kaynaklarına göre çok daha hızlı bir büyüme trendi göstermektedir (Mayor ve Tol, 2009). Dolayısıyla havacılık sektörünün iklim değişikliğine etkisi ve uluslararası CO₂ salımlarının kontrolü politika yapıcılar için önemli bir konu haline gelmiştir.

Bu çalışma, Türkiye'de havacılık faaliyetlerini sınırlamadan sektörün uzun vadeli sürdürülebilir büyümesini sağlamak için alınacak kararlarda yol göstermesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmada Türkiye'nin uluslararası sivil havacılık faaliyetleriyle ilişkili CO₂ salımları, ekonometrik regresyon analizine dayalı olarak 2030 yılına kadar tahmin edilmiştir³. Çalışmada yalnızca uluslararası düzeyde gerçekleştirilen ticari hava taşımacılığı hizmetiyle ilişkili CO₂ salımları tahmin edilmiştir. Makalenin ikinci bölümünde, havacılık sektörüne bağlı yolcu, yakıt ve salım modellemelerini içeren çalışmalar özetlenmiş, sonraki bölümde çalışmada kullanılan yöntem ve veri kaynakları verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmadan elde edilen tahmin sonuçları verilmiş ve sonraki bölümde makalenin genel sonuçları listelenmiştir.

Önceki Çalışmalar

Türkiye'de daha önce bu konu özelinde yapılmış bir çalışma olmasa da, literatürdeki hava trafiğinin büyümesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve gelecek yakıt talebi tahmin edilmesi konularında yapılan çalışmalar incelenmiştir.

2013 yılında yapılan bir çalışmada, Türkiye'de şehir çifti bazında iç hat için hava yolculuğu talebini etkileyen faktörleri belirlemek için yarı logaritmik bir regresyon modeli kurulmuştur. Bu çalışma her ne kadar iç hat uçuşlarını dikkate alsa da göstergeler açısından yol gösterici olmuştur. Çalışmada kentsel nüfus, uzaklık ve turizm tesisindeki yatak sayısı Türkiye'de hava ulaşımı talebini olumlu etkileyen önemli makroekonomik faktörler olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan;

³ Covid-19 salgınına bağlı hava trafik düşüşü bu çalışmada göz önüne alınmamıştır.

ortalama bilet fiyatı, seyahat süresi ve transit (şehir çifti arasında direk uçuş olmaması durumu) değişkenlerinin havayolu yolcu talebini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir (Sivrikaya ve Tunç, 2013).

Başka bir çalışma ise sivil havacılığın büyümesini etkileyen sosyoekonomik ve demografik göstergeleri analiz etmiştir. Bu çalışmada büyümeyi etkileyen faktörler sosyal, ekonomik ve demografik faktörler olmak üzere üç ana başlıkta sınıflandırılmıştır. Sonuçlarda, seyahat etme eğilimi, kentleşme düzeyleri, büyüyen orta sınıflar, temel ekonomik göstergeler, serbestleşme düzeyi ve havayollarının iş modeli gibi performans göstergelerinin hava yolculuğunun büyümesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu tespit edilirken; çevre bilinci, çalışma çağındaki nüfus ve dış şokların ise havacılığın büyümesini olumsuz yönde etkileyen faktörler olduğu belirtilmiştir (Adderpalli vd., 2018).

Literatürdeki yakıt talebi tahmini konusunda yapılan çalışmalarda uçakların yakıt tüketiminin uçak tipi, motor tipi, uçuş rotası ve mesafesi, uçuş yüksekliği, uçağın ağırlığı, uçağın taşıdığı ağırlık, operasyonel yöntemler, hava durumu, verimlilik geliştirmeleri vb. gibi çeşitli faktörlerden etkilendiği belirlenmiştir. Tüm bu faktörleri tek bir modele dahil etmek ve tahmin etmek zor olduğundan jet yakıtı talebinin yukarıda bahsedilen faktörlerin bir fonksiyonu olarak veya zaman serilerinin bir fonksiyonu olarak doğrudan modellenemeyeceği bilgisi edinilmiştir. Bu sebeple hava trafik büyümesinden, gelecekteki yakıt talebini tahmin edebilmek için alt-üst yaklaşım adı verilen bir yaklaşım kullanıldığı bilgisi edinilmiştir. Aynı zamanda yakıt yoğunluğu/verimlilik yaklaşımı olarak da adlandırılan bu yaklaşımda ilk olarak enerji verimliliği veya yakıt yoğunluğu katsayıları elde edildiği (hava trafiği başına yakıt kullanımı kütlesi olarak ifade edilir) ve daha sonra yıllık iyileştirme yüzdesi olarak tarihsel yakıt yoğunluğu eğilimlerine dayalı olarak varsayımlar yapıldığı tespit edilmiştir (Cheze vd., 2010; Eyers vd., 2004; IPCC, 1999; Kousoulidou ve Lonza, 2016).

Literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi, bu çalışmada da hava yolcu trafiği tahmin analizinden sonra, 2030 yılına kadar Türkiye'nin gelecekteki yakıt talebinin tahmininde yakıt yoğunluğu yaklaşımı kullanılmıştır.

Metodoloji ve Veri Kaynakları

Bu çalışmada, öncelikle hava yolcu trafiği tahmin modeli oluşturulmuştur. Bu tahmin modeli kullanılarak yakıt tüketimi ve buna bağlı CO₂ salımları 2030 yılına kadar tahmin edilmiştir. Öncelikle, hâlihazırda temini mümkün olan 2005-2017 yılları arasında uluslararası ücretli yolcu kilometresi (RPK) verileri temin edilmiştir (ICAO, 2017). Daha sonra hava yolcu trafiğini etkileyen ekonomik, demografik ve sosyal parametreler belirlenmiştir. Çok sayıda parametrenin aşamalı çoklu regresyon modeli ile denenmesinden sonra reel gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH), nüfus ve kişi başı hava yolu seyahat sayısı regresyon tahmin

modelinde kullanıma uygun bağımsız değişkenler olarak bulunmuştur. Bu modelin oluşturulması ile ilgili detaylı bilgiler Kaymak (2019)'da verilmiştir. Ortaya konulan modelin R² değeri bire yakın çıkmıştır. Model üç senaryo esasında çalıştırılarak, hava yolcu trafiği düşük, orta ve yüksek senaryolar temelinde 2030 yılına kadar tahmin edilmiştir. Bu senaryoların oluşturulması ile ilgili detaylı bilgiler Kaymak (2019)'da verilmiştir. Daha sonra tahmin edilen hava yolcu trafiği sayıları kullanılarak jet yakıt talebi ve buna bağlı CO₂ salımı hesaplanmıştır. Jet yakıt talebi hesaplamasında aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$YT_Y = RPK_Y * YY_Y \quad (1)$$

Burada,

YT: Yıllık Yakıt Talebi (ton/yıl)

RPK: Ücretli Yolcu Kilometresi (milyon yolcu-kilometre)

YY: Yakıt Yoğunluğu (ton/milyon RPK)

Y: Yıl

Yakıt talebinin hesaplanmasından sonra, yakıt tüketimine bağlı CO₂ salımı Denklem (2)'de verilen Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin Tier 1 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ECO_{2Y} = YT_Y * EF \quad (2)$$

Burada,

ECO₂: Yıllık CO₂ Salımı (ton CO₂/yıl)

EF: CO₂ Salım Faktörü (ton CO₂/ton)

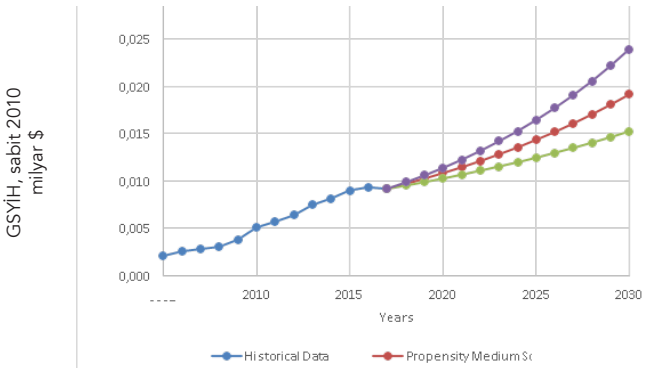
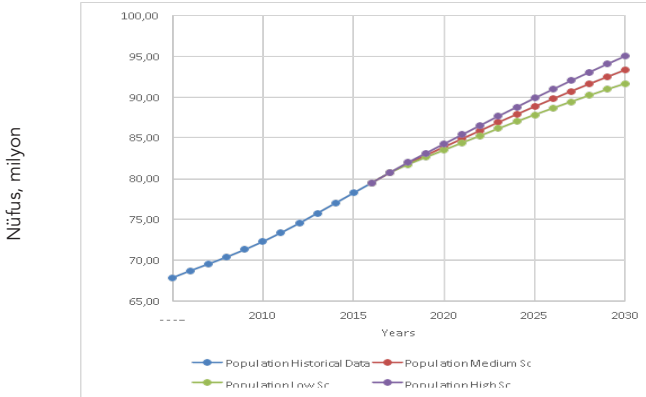
Tahmin modelinin ortaya çıkarılmasında 2005-2017 yılları arası için kullanılan veriler, Tablo 1'de verilmiştir.

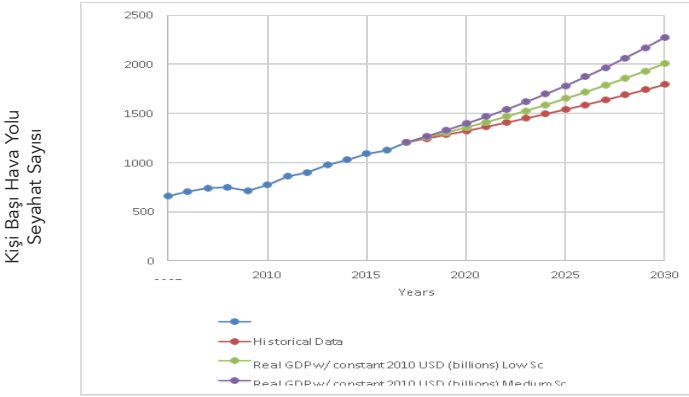
Tablo 1: Model oluşturmasında kullanılan veriler

Yıl	RPK, milyon yolcu-km (ICAO, 2001)	GSYİH, sabit 2010 milyar \$ (World Bank, 2019)	Nüfus, milyon (World Bank, 2019)	Kişi Başı Hava Yolu Seyahat Sayısı (World Bank, 2019)
2005	23.082	658	67,90	0,0021
2006	24.895	705	68,76	0,0026
2007	32.230	740	69,60	0,0028
2008	46.643	747	70,44	0,0031
2009	51.357	712	71,34	0,0038
2010	61.931	772	72,33	0,0051

2011	77.495	858	73,41	0,0057
2012	91.520	899	74,57	0,0064
2013	111.450	975	75,79	0,0075
2014	127.805	1025	77,03	0,0082
2015	142.315	1088	78,27	0,0090
2016	145.435	1123	79,51	0,0094
2017	160.918	1206	80,75	0,0092

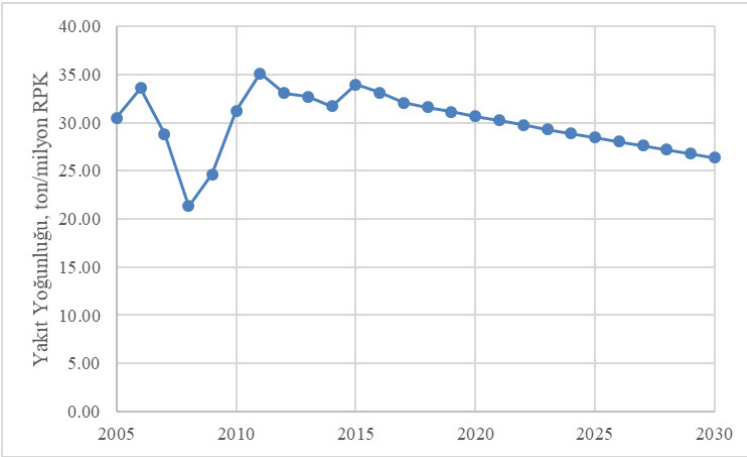
Modelin kullanılması ile düşük, orta ve yüksek senaryolar esasında RPK değerlerinin tahminin yapılabilmesi için modelde kullanılan GSYİH, nüfus ve kişi başı hava yolu seyahat sayısı bağımsız değişkenlerinin 2030 yılına kadar tahminleri yapılmıştır. Bu parametrelerin 2030 yılına kadar olan yıllık tahminleri ile ilgili detaylı bilgiler Kaymak (2019)'da verilmiştir. Bu tahminler aşağıda Şekil 1'de verilmektedir.





Şekil 1: Üç senaryo bazında 2018-2030 arası nüfus, GSYİH ve kişi başı hava yolu seyahat sayısı tahminleri

RPK değerleri üç senaryo temelinde tahmin edildikten sonra Denklem (1) kullanılarak yakıt tüketimi tahmin edilmiştir. Denklem (1)'de kullanılan YY değeri ise 2030 yılına kadar verilen değerler bazında tahmin edilmiş ve bu tahminler ile ilgili detaylı bilgiler Kaymak (2019)'da verilmiştir. Şekil 2'de görülebileceği gibi YY'nun 2030 yılına kadar yılda %1,5 azalacağı tahmin edilmiştir. Denklem (1) kullanılarak yıllık yakıt tüketimi hesaplanmıştır.



Şekil 2: Yakıt yoğunluğunun 2030 yılına kadar tahmin değerleri (ton/milyon RPK)

Çalışmada, Türkiye'deki tüm havayolları tarafından kullanılan jet kerosenin EF'ü olan 3,153 ton CO₂/ton yakıt değeri kullanılmıştır (IPCC, 2006). Denklem (2) kullanılarak yıllık CO₂ salımları hesaplanmıştır.

Sonuçlar ve Tartışmalar

Hava yolcu trafiği uzun dönem tahmini için ortaya konulan modelde kullanılan bağımsız değişkenlerinin katsayıları, standart hataları, T istatistikleri ve P değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Oluşturulan modelin katsayıları

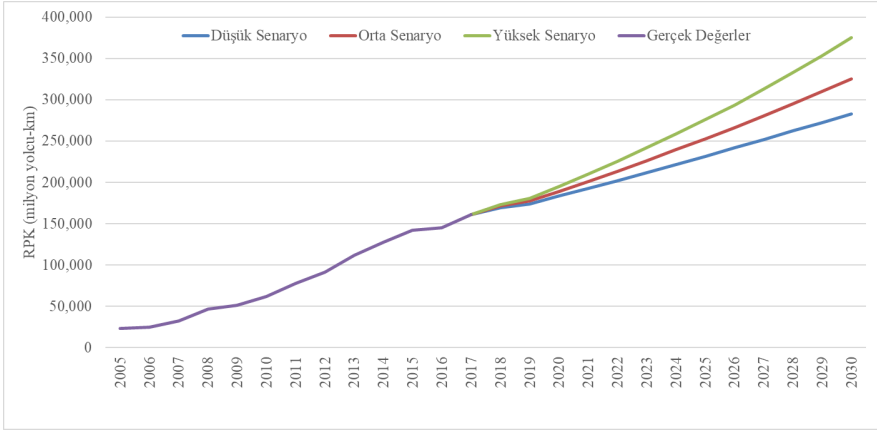
Değerler	Katsayı	Std. Hata	T-İst.	P-Değeri
Sabit terim	-378.588,4	148.919,3	-2,542	3,16%
GSYİH (milyar \$)	69,1	37,4	1,846	9,80%
Nüfus (milyon)	4.999,9	2.491,3	2,007	7,57%
Hava Yolu Seyahat Sayısı /100 kişi	56.775,9	27.336,9	2,077	6,76%

Tablo 3'te modelin tahmin performansını gösteren R², düzeltilmiş R², Hataların Ortalama Kare Kökü (HOKK) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) değerleri verilmiştir. Modelin R²'si 0,995 ve düzeltilmiş R²'si 0,993. Bu değerler modelin tahmin performansının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir (Barnston, 1992). Modelleme çalışması hâlihazırda temini mümkün olan 2005-2017 yılları arasındaki bağımlı veriler ile gerçekleştirilmiştir. Daha fazla verinin temini mümkün olmadığından modelin kalibrasyonu ve validasyonun yapılması mümkün olmamıştır.

Tablo 3: Modelin tahmin performansı

Parametre	Değer
R ²	0,995
Düzeltilmiş R ²	0,993
HOKK	3.314,7
OMYH	%6,29

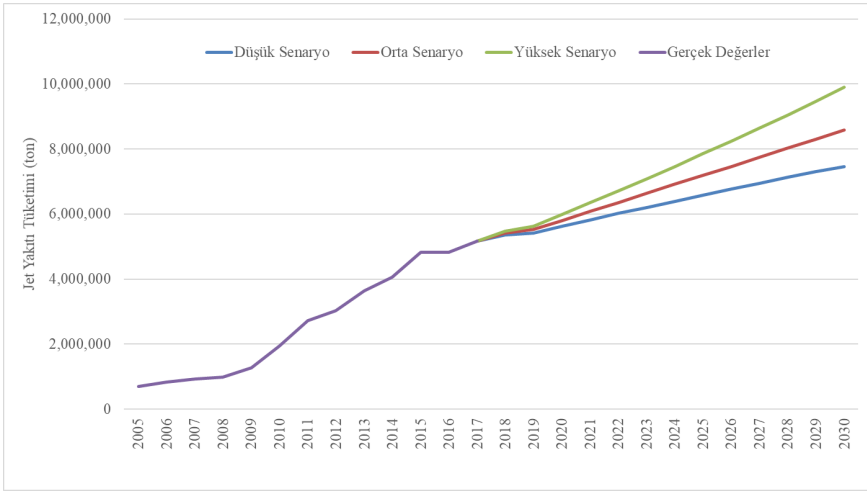
Model ve modelde kullanılan bağımsız değişkenlerin 2030 yılına kadar tahminleri kullanılarak uç senaryo temelinde RPK değerleri tahmin edilmiştir. Şekil 3'te görülebileceği gibi 2017 yılında 160.918 milyon yolcu-km olan RPK değeri 2030 yılında düşük, orta ve yüksek senaryo esaslarında sırası ile 283.140, 325.359 ve 375.270 milyon yolcu-km olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 3: Üç senaryo bazında 2018-2030 arası için tahmin edilen RPK değerleri (milyon yolcu-km)

Sonuçlar sektörün ve uluslararası kuruluşların tahminleriyle karşılaştırıldığında, bu çalışmada elde edilen sonuçların diğer çalışmaların sonuçlarıyla (yıllık %4,4 ile 4,7 arası) oldukça benzer olduğu görülmektedir (Airbus, 2018; Boeing, 2018; Embraer, 2018; ICAO, 2016). Avrupa'ya yönelik büyüme hızı beklentilerinin Türkiye'deki hava yolcu trafiği büyümesinin oldukça altında olduğu aşikârdır. Öte yandan, Türkiye'nin havacılık sektöründe 2005-2017 yılları arasındaki muazzam büyüme performansı göz önünde bulundurulduğunda, düşük senaryoda bile Türkiye'nin dünya ortalamasının üzerinde büyümesi beklenmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, sektör doyuma ulaşma aşamalarına yaklaştıkça Türkiye'nin büyüme gelişiminin (trendinin) yavaşlayacağını göstermektedir.

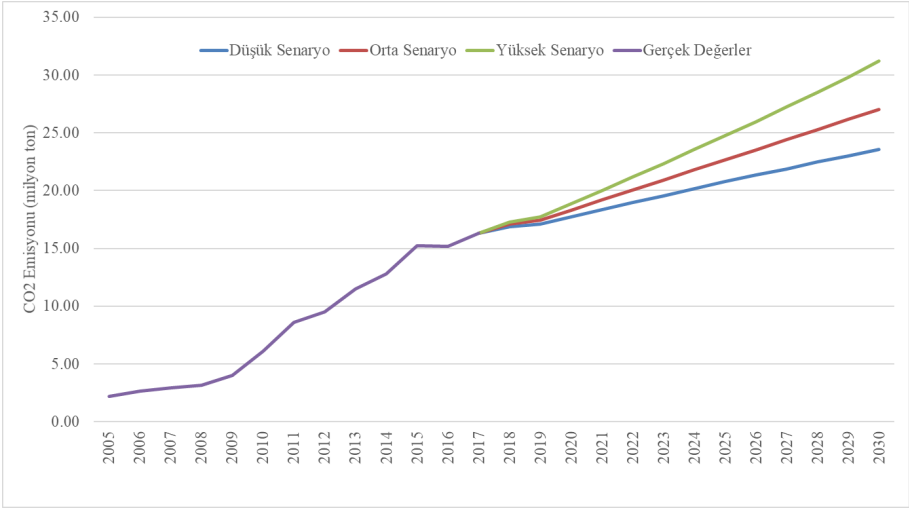
Üç senaryo esasında 2018-2030 arası tahmin edilen RPK ve YY değerleri Denklem (1) de kullanılarak aynı dönem için yıllık yakıt talebi hesaplanmıştır. Şekil 4'de de görülebileceği gibi 2030 yılında jet yakıt talebi 7,5 milyon ile 10 milyon arası tahmin edilmiştir.



Şekil 4: Üç senaryo bazında 2018-2030 arası için tahmin edilen yakıt tüketim değerleri (ton)

Türkiye'nin uluslararası sivil hava ulaşımı esasında yakıt tüketimi tahmininin yapıldığı başka bir çalışmada, 2023 yılında yakıt tüketimi 3,4 milyon ton ile 6,3 milyon ton arasında tahmin edilmiştir (Melikoğlu, 2016). Bu çalışmada 2023 yılı için yakıt tüketimi 6,2 milyon ton ve 7 milyon ton arasında tahmin edilmiştir. Yakıt tüketimleri tahminleri arasındaki farklar, çalışmalarda farklı yöntemlerin kullanılmasından ve farklı varsayımlar üzerine inşa edilen modellerden kaynaklanmaktadır. Diğer bir neden, çalışmalarda kullanılan modellere dahil edilen veri setlerindeki farklılıklardan da kaynaklanmaktadır.

Üç senaryo temelinde 2018-2030 arası tahmin edilen yakıt tüketimi Denklem (2)'de verilen IPCC Tier 1 yaklaşımı ile yakıt tüketimine bağlı CO₂ salımı hesaplanmıştır. Şekil 5'de üç senaryo esasında hesaplanan CO₂ salımları verilmiştir. Bu şekilde de görülebileceği gibi 2030 yılında uluslararası sivil hava ulaşımından kaynaklanan CO₂ salımı 23,54 milyon ton ve 31,21 milyon ton arasında tahmin edilmiştir. Bu şekilde 2017 yılı CO₂ salımlarının 2030'da bir buçuk ile iki katı artması beklenmektedir. Literatürde CO₂ salımlarını tahmin etmek için özellikle Türkiye'ye yönelik yapılmış bir çalışma bulunmadığından kıyaslama analizi ancak Nisan 2019'da yayınlanan Türkiye Ulusal Envanter Raporu ile yapılabilmektedir. Bu rapor, uluslararası havacılık kaynaklı 1990-2017 CO₂ salımlarını içermektedir. 2017 yılı için raporda verilen yakıt tüketimini IPCC Tier 1 hesaplama yaklaşımı ile uluslararası havacılığın CO₂ salımları 2017 yılı için 11,11 milyon ton olarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2019). Bu çalışmada ise 2017 CO₂ salımı 16,29 milyon ton olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5: Üç senaryo bazında 2018-2030 arası için tahmin edilen CO₂ salım değerleri (milyon ton)

Genel Sonuçlar

Sivil havacılık sektörü küresel antropojenik CO₂ salımlara yaklaşık %2-3 oranında katkıda bulunmaktadır. Bu sektörün, iklim değişikliğine küçük oranda katkı sağlamasına rağmen, diğer sektörler göre çok daha hızlı büyüme eğilimi göstermektedir. Diğer yandan gelişmekte olan her ülkede olduğu gibi Türkiye’de de sivil havacılık faaliyetleri hava trafiği açısından 2000’li yıllardan itibaren hızla artmaktadır. Böylece sektörün CO₂ salımları orantılı olarak artmakta ve iklim değişikliği üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Ancak Türkiye’de havacılık faaliyetlerini kısıtlamadan yerel veya bölgesel olarak alınan çevre koruma önlemlerini takip ederek sektörün sürdürülebilir büyümesini sağlamak için karar alma mekanizmalarında kullanılabilir yol gösterici bir tahmin çalışması bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, havacılık sektöründe keskin bir büyüme yaşayan bir ülkenin gelecekteki CO₂ salımlarını tahmin edebilecek bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır ve hava trafiği büyümesi üzerinde nedensel etkisi olan temel faktörler araştırılmıştır. Ayrıca, bu çalışma Türk sivil havacılık sektörünün uluslararası hava trafik talebini tahmin eden, Türk uçak operatörlerinin dış hat uçuşları yakıt talebini belirleyen ve ilgili CO₂ salımlarını hesaplayan ilk kapsamlı çalışmadır.

Çalışmada, hava yolcu sayısını tahmin için geliştirilen model düşük, orta ve yüksek durumları temsil eden üç farklı senaryo altında çalıştırılmıştır. Düşük, orta ve yüksek senaryolar temelinde hava yolcu sayısı 2017’de 160.918 milyon yolcu-km’den 2030’da sırası ile 283.140, 325.359 ve 375.270 milyon yolcu-km

olarak tahmin edilmiştir. 2030 yılına kadar akaryakıt talebine ilişkin sonuçlar, Türkiye'nin sivil havacılık uluslararası akaryakıt talebinin düşük, orta ve yüksek senaryoları için sırasıyla 7,5 milyon ton, 8,6 milyon ton ve 10 milyon ton olarak tahmin edilmiştir. Düşük senaryo kapsamında Türkiye'nin uluslararası sivil havacılık faaliyetlerinden kaynaklanan CO₂ salımları 2030'da 25,54 milyon ton olarak tahmin edilmiş ve bu en iyimser durumda bile Türkiye'nin uluslararası sivil havacılığının CO₂ salımlarının 2017 seviyelerine göre bir buçuk katı olması beklenmektedir. Yüksek senaryoda ise 2030 CO₂ salımlarının 31,21 milyon ton olacağı tahmin edilmiş ve bu tahmin ile CO₂ salımlarının 2030'da 2017 seviyelerine kıyasla iki katına çıkması beklenmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, sivil havacılık sektörünün CO₂ salımlarının Türkiye'de hızla artan salım kaynaklarından biri olmaya devam ettiğini göstermiştir. Ayrıca yakın gelecekte sivil havacılık sektörünün Türkiye'nin karbon bütçesinden büyük bir pay alması beklenebilir.

Bu çalışma, COVID-19 salgınının öncesinde yapılmış ve havacılık sektörüne çok büyük etkileri olan bu salgının sonuçları, çalışmanın tahminlerinde kullanılmamıştır. Salgından dolayı uçuş yasakları ile 2020 yılında havacılık sektöründe yolcu uçuşlarının durma noktasına geldiği görülmüştür. Uçuşların eski seviyelerine ulaşmasının da zaman alacağı öngörülmektedir. Bu nedenle bu çalışmadaki tahminler, pandemi sonunda yolcu uçuşlarının eski seviyelerine ulaşması durumunda hava taşımacılığındaki değişimlerin tahmininde kullanılabilir.

Notlar

Çalışma, Deniz KAYMAK tarafından 2019 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü yüksek lisans programında tamamlanan "Forecasting Carbon Dioxide Emissions of Turkey's International Civil Aviation through 2030" adlı tez çalışmasından yararlanılarak üretilmiştir.

Kaynakça

Adderpalli, S., Pagalday, G., Salonitis, K., ve Roy, R. (2018). "Socio-economic and demographic factors that contribute to the growth of civil aviation industry". *6th International Conference on Through-life Engineering Services*. Elsevier.

Airbus. (2018). Global Market Forecast 2018-2037.

Barnston, A. (1992). Correspondence among the Correlation root mean square error and Heidke Verification Measures; Refinement of the Heidke Score. Notes and Correspondence. Washington D.C.: Climate Analysis Centre.

Boeing. (2013). Annual Report.

Boeing. (2018). 2017 Annual Report.

Cheze, B., Gastineu, P., ve Chevallier, J. (2010). Forecasting Air Traffic and corresponding Jet-Fuel Demand until 2025. France.

Edwards, H., Dixon-Hardy, D., ve Wadud, Z. (2016). "Aircraft cost index and the future of carbon dioxide emissions from air travel". *Appl Energy*, 164: 553-562.

Embraer. (2018). Embraer Market Outlook 2018.

Eyers, C., Norman, P., Middel, J., Plohr, M., Michot, S., Atkinson, K., ve Christou, R. (2004). AERO2k Global Aviation Emissions Inventories for 2002 and 2025. United Kingdom: Report to the European Commission.

ICAO. (2000-2017). *Annual Reports of the Council*. Montreal: ICAO.

ICAO, (2001). *Annual Reports of the Council*. Montreal: ICAO.

ICAO. (2016). *ICAO Long Term Traffic Forecasts*. Montreal: ICAO.

ICAO. (2017). *Annual Reports of Council*. Montreal: ICAO.

IPCC. (1999). *Aviation and the Global Atmosphere*. Cambridge University Press.

IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies.

Kaymak, D. (2019). Forecasting Carbon Dioxide Emissions of Turkey's International Civil Aviation through 2030. Yüksek Lisans Tezi. Çevre Mühendisliği Bölümü. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Kousoulidou, M., ve Lonza, L. (2016). "Biofuels in aviation: Fuel demand and CO₂ emissions evolution in Europe toward 2030". *Transportation Research*, 166- 181.

Mayor, K., ve Tol, R. (2009). "Scenarios of carbon dioxide emissions from aviation". *Global Environmental Change*. Elsevier.

Melikoğlu, M. (2016). "Modelling and forecasting the demand for jet-fuel and bio-based jet fuel in Turkey till 2023". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 17-23.

Sivrikaya, O., ve Tunç, E. (2013). "Demand Forecasting for Domestic Air Transportation in Turkey". *The Open Transportation Journal*, 20-26.

TÜİK. (2019). *Nüfus Projeksiyonları, 2018-2080.* : <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30567>

World Bank. (2019). *The World Bank Open Data.* The World Bank : <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD?locations=TR>

