



**VERİ ZARFLAMA YÖNTEMİYLE SEÇİLMİŞ  
HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN EMİSYON  
VE ENERJİ ETKİNLİK ANALİZLERİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Elif KARAKILIÇ**

**Eskişehir 2024**

**VERİ ZARFLAMA YÖNTEMİYLE SEÇİLMİŞ HAVAYOLU  
İŞLETMELERİNİN EMİSYON VE ENERJİ ETKİNLİK ANALİZLERİ**

**Elif KARAKILIÇ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Sivil Havacılık Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ**

**Eskişehir**

**Eskişehir Teknik Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Ağustos 2024**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Elif KARAKILIÇ'ın VERİ ZARFLAMA YÖNTEMİYLE SEÇİLMİŞ HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN EMİSYON VE ENERJİ ETKİNLİK ANALİZLERİ başlıklı çalışması 15/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Sivil Havacılık Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### Unvan Adı Soyadı

### İmza

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| Üye | : Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ |
| Üye | : Doç. Dr. Işıl YAZAR         |
| Üye | : Dr. Öğr. Elif KORUYUCU      |

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

15/08/2024

## DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Elif KARAKILIÇ, VERİ ZARFLAMA YÖNTEMİYLE SEçİLMİş HAVAYOLU İşLETMELERİNİN EMİSYON VE ENERJİ ETKİNLİK ANALİZLERİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ

## ÖZET

# VERİ ZARFLAMA YÖNTEMİYLE SEÇİLMİŞ HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN EMİSYON VE ENERJİ ETKİNLİK ANALİZLERİ

Elif KARAKILIÇ

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2024

Danışman: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ

Havayolu endüstrisi, enerji tüketimi ve karbon emisyonları açısından kritik bir öneme sahiptir. Emisyon azaltma hedeflerine ulaşmak için enerji verimliliğinde sürdürülebilir iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Havayolu verimliliği, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 1978 Havayolu Serbestleştirme Yasası'nın yürürlüğe girmesinden bu yana hem akademisyenler hem de sektör analistleri arasında yoğun ilgi gören bir araştırma alanı olmuştur. Zamanla havayolu verimliliğine yönelik araştırmalar daha geniş coğrafi bölgeleri kapsayacak şekilde yayılmış ve çeşitli disiplinlerden yeni araştırmacılar bu alana katkıda bulunmaya devam etmiştir. Diğer yandan, veri zarflama analizi araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olmuştur. Bunlara ek olarak, çalışmaların giderek karbon emisyonları, uçuş gecikmeleri ve çevresel etkiler gibi istenmeyen çıktıları içermesi nedeniyle, birçok araştırma havayolu performansının ölçümü ve analizi gibi konuları kapsamaktadır. Bu çalışma, 2022 yılı verilerini kullanarak 10 büyük ABD havayolu şirketlerinin enerji ve sürdürülebilir etkinlik analizini sunmaktadır. Analizde Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) ile Banker, Charnes ve Cooper (BCC) modelleri kullanılarak Veri Zarflama Analizi (VZA) uygulanmıştır. Ayrıca, Ölçeğe Göre Sabit Getiri (CRS) ve Ölçeğe Göre Değişken Getiri (VRS) analizleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, 2022 yılı havayolu verilerinin VZA analizi ile sektör genelinde yüksek etkinlik seviyelerini ve ölçeklendirme yoluyla iyileştirme fırsatlarını ortaya koymuştur. Bu düzenlemeler, teknolojik iyileştirmelerle birlikte, sektörün ekonomik sağlığını korumak ve çevresel yönetimini geliştirmek için kritik öneme sahiptir. Elde edilen bulguların, gelecekteki araştırma konuları ve yönelimleri için önemli bir rehberlik sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Havayolu endüstrisi, Enerji etkinliği, Veri zarflama analizi, Karbon emisyonları, Havayolu performansı.

## ABSTRACT

### EMISSION AND ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF SELECTED AIRLINE COMPANIES WITH DATA ENVELOPMENT METHOD

Elif KARAKILIÇ

Department of Civil Aviation

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2024

Supervisor: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ

The airline industry is critical in terms of energy consumption and carbon emissions. Sustainable improvements in energy efficiency are required to achieve emission reduction targets. Since the enactment of the Airline Deregulation Act of 1978 in the United States (US), airline efficiency has been a research area of intense interest among both academics and industry analysts. Over time, research on airline efficiency has expanded to cover wider geographical regions and new researchers from various disciplines have continued to contribute to the field. On the other hand, data envelopment analysis has become one of the most widely used methods by researchers. In addition, as studies increasingly include undesirable outputs such as carbon emissions, flight delays and environmental impacts, many studies cover topics such as the measurement and analysis of airline performance. This study presents an energy and sustainable efficiency analysis of 10 major US airlines using data through 2022. Data Envelopment Analysis (DEA) is applied in the analysis using Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) and Banker, Charnes and Cooper (BCC) models. In addition, Constant Return to Scale (CRS) and Variable Return to Scale (VRS) analyses were evaluated. The results reveal high levels of efficiency across the sector with DEA analysis of airline data for 2022 and opportunities for improvement through scaling. These adjustments, together with technological improvements, are critical to maintain the economic health of the sector and improve its environmental management. The findings are expected to provide important guidance for future research topics and directions.

**Keywords:** Airline industry, Energy efficiency, Data envelopment analysis, Carbon emissions, Airline performance.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın hazırlanmasında ve yürütülmesinde bana destek veren, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli danışman hocalarım Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ ve Doç. Dr. Selçuk EKİCİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın yürütülmesinde bir süre (6 ay) araştırma imkânı bulduğum Kanada, Montreal'deki ETS Montreal Üniversitesi'nde Aviyonik, Aktif Kontroller ve AeroServoElastite Uygulamalı Araştırma Laboratuvarı (LARCASE) çalışanlarına ve yürütücüsü olan Prof. Dr. Ruxandra Mihaela BOTEZ'e tez çalışmama sağladıkları imkanlardan ve katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca gösterdikleri büyük sabır ve sağladıkları maddi ve manevi desteklerle her zaman yanımda olan annem Gülhanım KARAKILIÇ'a, babam Muharrem KARAKILIÇ'a, abim Erdal KARAKILIÇ'a ve özellikle akademik yönde ilerlememde beni yönlendiren, kendisi de bir akademisyen olan ablam Dr. Emel KARAKILIÇ'a teşekkür ederim.

Bu tezi yazmamda desteği olan Arş. Gör. Burak TARHAN'a ve son olarak, başaracağıma inancı tam olan ve bu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan Onur CÖMERT'e sonsuz teşekkür ederim.

Elif KARAKILIÇ

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Elif KARAKILIÇ

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                                       |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| BAŞLIK SAYFASI .....                                                                                  | I    |
| JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....                                                                            | II   |
| DANIŞMAN ONAYI .....                                                                                  | III  |
| ÖZET .....                                                                                            | IV   |
| ABSTRACT.....                                                                                         | V    |
| TEŞEKKÜR .....                                                                                        | VI   |
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....                                                     | VII  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                     | VIII |
| TABLolar DİZİNİ .....                                                                                 | X    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                  | XI   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                                  | XII  |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                         | 1    |
| 2. HAVAYOLLARINDA ENERJİ ETKİNLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....                                          | 3    |
| 2.1. Uçak Yakıt Tüketimi Etkisi.....                                                                  | 4    |
| 2.2. Karbon Emisyonu ve Fosil Yakıtların Önemi .....                                                  | 5    |
| 2.3. Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) Emisyonu ve Eko-Etkinlik.....                                   | 7    |
| 2.3.1. Doğu Asya havayollarının eko-etkinlik değerlendirmesi.....                                     | 8    |
| 2.3.2. Çin havayollarının CO <sub>2</sub> emisyonu ile mücadelesi.....                                | 9    |
| 2.3.3. Türkiye'deki hava yollarının enerji etkinliği ve CO <sub>2</sub> emisyonu ile mücadelesi ..... | 10   |
| 2.3.4. Amerika hava yollarının CO <sub>2</sub> emisyonu ile mücadelesi.....                           | 11   |
| 2.4. Amerika'daki Havayolu Taşımacılığının Çevresel Etkinlik Değerlendirmesi.....                     | 13   |
| 2.4.1. Uçak emisyonları .....                                                                         | 14   |
| 2.4.2. Havacılıkta Dünyanın enerji dengesinin ısınımsal değerlendirilmesi .....                       | 15   |
| 2.4.3. Havacılıkta yerel hava kirliliği.....                                                          | 15   |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.4. Havacılıkta gürültü kirliliği.....                                                | 15 |
| 2.5. Uçaklarda Yakıt Etkinliği .....                                                     | 16 |
| 2.6. Avrupa Birliği Sisteminde Karbon Emisyon Ticaret Sistemi .....                      | 18 |
| 3. HAVACILIKTA ENERJİ ETKİNLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLE İLGİLİ MEVCUT LİTERATÜRLER..... | 20 |
| 4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ .....                                                           | 24 |
| 4.1. Ölçeğe Göre Sabit Getiri (Constant Returns to Scale: CRS) CCR Modeli.....           | 25 |
| 4.2. Ölçeğe Göre Değişken Getirili (Variable Return to Scale: VRS) BCC Modeli.....       | 26 |
| 4.3. Slacks Tabanlı Ölçüm (Slacks-Based Measure: SBM) Modeli .....                       | 27 |
| 5. YÖNTEM VE BULGULAR .....                                                              | 29 |
| 5.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi.....                                                    | 29 |
| 5.2. Araştırmanın Veri Toplama Yöntemi.....                                              | 29 |
| 5.2.1. Havayolu kategorileri .....                                                       | 30 |
| 5.2.2. Havayolu emisyon değeri ve yakıt etkinliği .....                                  | 32 |
| 5.3. Araştırma Verilerinin Analizi.....                                                  | 34 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                                | 38 |
| KAYNAKÇA.....                                                                            | 41 |
| EKLER                                                                                    |    |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                 |    |

## TABLÖLAR DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> Havacılık sektöründe çevresel etkinlik .....                                        | 20 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Havacılık sektöründe çevresel sürdürülebilirlik.....                                | 22 |
| <b>Tablo 5.1.</b> Geleneksel ve düşük maliyetli havayollarının kıyaslanması .....                     | 31 |
| <b>Tablo 5.2.</b> Havayolu şirketlerinin yıllık toplam emisyon ve yolcu başına mil<br>değerleri ..... | 33 |
| <b>Tablo 5.3.</b> Havayollarının yakıt etkinliği .....                                                | 33 |
| <b>Tablo 5.4.</b> Havayollarının yolcu mil başına emisyon değerleri .....                             | 33 |
| <b>Tablo 5.5.</b> Karar verme birimleri (KVB) .....                                                   | 34 |
| <b>Tablo 5.6.</b> Girdiler/Çıktılar.....                                                              | 35 |
| <b>Tablo 5.7.</b> Havayollarının veri zarflama analizine göre girdi değerleri .....                   | 35 |
| <b>Tablo 5.8.</b> Havayollarının veri zarflama analizine göre çıktı değerleri.....                    | 35 |
| <b>Tablo 5.9.</b> CRS Analiz Sonuçları .....                                                          | 36 |
| <b>Tablo 5.10.</b> VRS Analiz Sonuçları.....                                                          | 36 |
| <b>Tablo 5.11.</b> VZA Sonuçlar .....                                                                 | 37 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Doğu Asya'daki havayolları için eko-etkinlik değerlendirmesinde<br>kullanılan adımlar ..... | 9  |
| Şekil 2.2. Amerika'daki uçak motoru emisyon oranları.....                                              | 14 |
| Şekil 4.1. VZA ölçeğe göre sınıflandırması .....                                                       | 25 |
| Şekil 4.2. CRS ve VRS skalası .....                                                                    | 25 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                  |                                                                                    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| A4A              | : Airlines four America                                                            |
| AB               | : Avrupa Birliği                                                                   |
| ABD              | : Amerika Birleşik Devletleri                                                      |
| BCC              | : Banker, Charnes ve Cooper                                                        |
| BTU              | : British Thermal Unit (İngiliz ısı birimi)                                        |
| CCR              | : Charnes, Copper ve Rhodes                                                        |
| CO               | : Karbon Monoksit                                                                  |
| CO <sub>2</sub>  | : Karbondioksit                                                                    |
| DEA              | : Data Envelopment Analysis                                                        |
| DMU              | : Decision-Making Units (Karar Verme Birimleri)                                    |
| DRS              | : Decreasing Returns to Scale (Azalan Getiri Ölçeği)                               |
| EJ               | : Exajoule (enerji birimi)                                                         |
| EP               | : Environmental Performance (Çevresel performans)                                  |
| GHG              | : Greenhouse Gas Emissions (Sera Gazı Emisyonları)                                 |
| GSYİH            | : Gayri Safi Yurt İçi Hasıla                                                       |
| GW               | : Gigawatt (enerji birimi)                                                         |
| H <sub>2</sub> O | : Su Buharı                                                                        |
| Hub-and-Spoke    | : Topla ve Dağıt (merkezi ve bağlantı havayolları ağı)                             |
| IATA             | : International Air Transport Association (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği) |
| ICAO             | : International Civil Aviation Organization (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü)  |
| IRS              | : Increasing Returns to Scale (Artan Getiri Ölçeği)                                |
| KVB              | : Karar Verme Birimi                                                               |
| NO <sub>x</sub>  | : Azot Oksit türevi                                                                |
| RPK              | : Revenue Passenger Kilometers (Gelir Yolcu Kilometresi)                           |
| RTK              | : Revenue Ton Kilometer (Gelir Ton Kilometresi)                                    |
| SAF              | : Sustainable Aviation Fuel (Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı)                      |
| SBM              | : Slacks-Based Measure (Slacks Tabanlı Ölçüm)                                      |
| SDG              | : Sustainable Development Goals (Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri)                |

|                                     |   |                                                             |
|-------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------|
| SI                                  | : | Uluslararası Birimler Sistemi                               |
| SO <sub>x</sub>                     | : | Kükürt Oksit türevi                                         |
| THY                                 | : | Türk Hava Yolları                                           |
| TWh                                 | : | Terawatt saat (enerji birimi)                               |
| VECM                                | : | Vector error correction model (Vektör hata düzeltme modeli) |
| VZA                                 | : | Veri Zarflama Analizi                                       |
| (C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub> ) | : | Hidrokarbon genel formülü                                   |



## 1. GİRİŞ

Son yirmi yılda, Avrupa havayolu endüstrisi kritik bir yeniden yapılanma sürecinden geçmiş ve ağırlıklı olarak ulusal havayolları tarafından işletilen, oldukça düzenli bir pazardan, havayolu şirketlerinin fiyatlar, rotalar ve frekanslar konusunda serbestçe rekabet ettiği dinamik, liberalleştirilmiş bir endüstriye dönüşmüştür. Bu dönüşüm sürecinde, havayolları geleneksel havayolları ve düşük bütçeli havayolları olarak iki ana kategoriye ayrılmıştır. Geleneksel havayolları genellikle geniş hizmet yelpazesi, konfor odaklı yaklaşım ve kapsamlı uçuş ağlarıyla karakterize edilirken, düşük bütçeli havayolları daha sınırlı hizmetler sunması ve operasyonel maliyetleri düşürerek uygun fiyatlı seyahat imkânı sağlamayı hedeflemiştir. Bu ayrım, sektördeki rekabet dinamiklerini ve havayollarının performans ölçütlerini önemli ölçüde etkilemiştir. Avrupa havayolu endüstrisindeki liberalleşme reformları, havayollarının son performans kayıtları hakkında daha fazla bilgi edinmek için yeni bir pazar ortamı yaratmıştır (Duygun vd., 2016). Dünya ekonomisinin hızla gelişmesi ve hane başına tüketim düzeyinin iyileşmesiyle birlikte enerji arzı ve talebi arasındaki uçurum genişlemiştir (Cui vd., 2016).

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) 1978 Havayolu Serbestleştirme Yasası'nın ardından havayolu üretkenliği ve etkinliği, akademisyenler ve endüstri analistleri arasında büyük bir ilgi alanı olarak ortaya çıkmıştır (Ali, Yu ve See, 2021). Etkinliği artırmak havayolları için bir zorunluluk haline geldiği gibi, sürekli artan rekabetçi pazar baskıları altında hayatta kalmak ve gelişmek isteyen havayolları için üretkenliği de artırmak zorunlu hale gelmiştir (Associated Press, 2005). Oum ve Yu (1998), havayollarının 1990'lı yıllarda artan girdi fiyatlarına ve düşen uçak biletlerine rağmen yüksek etkinlik artışları nedeniyle karlılıklarını artırabildiklerini belirtmiştir (Oum ve Yu, 1998). Greer (2008), ABD havayollarının, 2000'den 2004'e kadar olan çalkantılı yıllarda hayatta kalmalarını sağlayan üretkenlik artışı yoluyla önemli bir maliyet düşüşü elde ettiklerini tespit etmiştir (Greer, 2008). Havayolu üretkenliğindeki artış aynı zamanda genel ekonomik büyümeye önemli bir katkı sağlayan faktör olarak kabul edilmektedir. Russell (2017), ABD Çalışma İstatistikleri Bürosu ve Ekonomik Analiz Bürosu'ndan alınan verilerin analizine dayanarak, 1997'den 2014'e kadar hava taşımacılığının ABD'deki etkinlik artışının %7'sini kolaylaştırdığını ortaya koymuştur (Russell, 2017).

Havayolu etkinliği konusunda pek çok literatür bulunmaktadır. Çalışmalar arasında metodoloji ve araştırma konuları açısından geniş çeşitlilik bulunmaktadır. Daha önceki

alışmalar daha çok, geleneksel maliyet/üretim fonksiyonu tahmini veya endeks numarası yaklaşımlarını kullanarak düzenlemelerin ve kuralsızlaştırmanın havayolu etkinliği üzerindeki etkilerine ilişkin konulara odaklanmıştır (Morrell ve Taneja, 1979; Caves, Christensen ve Tretheway, 1982; Forsyth, 2001; Oum, Fu, ve Yu, 2005.). 1990'lı yıllarda odak noktası liberalleşmenin uluslararası piyasalardaki etkilerine kaymaya başlamıştır (Bruning, 1991; Distexhe ve Perelman, 1994; Fu ve Oum, 2014). Bu dönemde havayolu üretkenliğini ve etkinliğini analiz etmek için veri zarflama analizi (VZA) altında popüler yaklaşım benimsemiştir. Yeni milenyumda birçok araştırmacı dikkatlerini iş modellerinin ve yönetim stratejilerinin (rneğin, birleşmeler ve ittifaklar) havayolu performansı üzerindeki etkilerine yöneltmiştir (Oum vd., 2004; Merkert ve Morrell, 2012; Yan vd., 2019). Son yıllarda giderek artan sayıda çalışma, havayolu üretkenliği ve etkinliğini çevresel faktörler, uçuş gecikmeleri ve güvenlik sorunlarıyla birleştirmiştir. Havayolu enerji etkinliği, taşıma faaliyetlerine ek olarak ekonomik düzey, pazar çevresi, havayolu ağının yapısı, uçak filosunun durumu, havayolu tipi vb. gibi dış çevreden de etkilenebilmektedir.

Literatürde bildirilen benzer çalışmalar incelendiğinde, faaliyetlerinin çevreyi olumsuz etkilediğini anlayan havacılık sektöründe sürdürülebilirlik kavramının güçlü bir yer edindiği görülmektedir. Literatürde pek çok çalışma bu konunun önemini vurgulayıp birtakım yaklaşımlar ve yapılması gerekenleri önerirken, çok sınırlı sayıda çalışma hangi yaklaşıma öncelik verilmesi gerektiğini önermeye çalışmıştır. Bte kısıtlamaları nedeniyle şirketler ilgili yaklaşımların tümünü aynı anda uygulamaya koyamamaktadır. şirketlerin sürdürülebilirliği sağlamak için gerekli önlemleri alırken, maliyet yönetimine odaklanmaları gerekmektedir. Bu nedenle, havayolu şirketlerinin benimsemesi gereken stratejilere ilişkin spesifik önerilerle sonuçlanan kapsamlı bir öncelik analizine ihtiyaç vardır. Bu alışma, döngüsel ekonomiye dayalı havacılık sektörünün çeşitli stratejik öncelikli yatırım seçeneklerine ağırlıklar veren ve takip edilmesi gereken kritik stratejilerin belirlenmesine yardımcı olan yeni bir karar verme modelinin oluşturulmasını açıklamaktadır.

## 2. HAVAYOLLARINDA ENERJİ ETKİNLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Havacılık sektörü uluslararası ticaretin gelişmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu sektörün etkinliği, ürünlerin çok kısa sürede çok uzun mesafelere taşınmasına olanak sağladığı için ülkelerin ekonomik kalkınmasına olumlu etki yapmaktadır (Aksoy vd., 2022). Sektör, ihracatın kolaylaştırılması açısından önem taşımaktadır bu da ülkelerin cari dengelerini pozitif tutmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca endüstriyel üretim için gerekli olan hammaddelerin hava taşımacılığı kullanılarak uzak ülkelerden nispeten düşük maliyetlerle kolaylıkla temin edilebilmesi, böylece üretim seviyelerinde artış sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Fageda and Teixidó, 2022). Ancak havacılık sektörünün faaliyetleri çevreye zarar vermektedir. Sektörün karbon salımının başlıca nedenlerinden biri, önemli miktarda hava kirliliğine yol açan fosil yakıtların tercih edilmesidir. Ayrıca havalimanlarındaki operasyonel faaliyetler de hava kirliliği yaratmaktadır. Ek olarak, havalimanlarında kullanılan ısıtma ve soğutma sistemleri ve uçak motor gazları da çevre kirliliğine neden olmaktadır. Daha da önemlisi havalimanları, uçakların kalkış ve inişlerinden dolayı da önemli miktarda gürültü kirliliğine yol açmaktadır. Bütün bu sorunlar kaçınılmaz olarak nüfusun yaşam kalitesini düşürmektedir (Hu vd., 2022). Bu nedenle havacılık sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanması için aksiyon alınması gerekmektedir. Doğal kaynakların gereksiz kullanımının önlenmesi yoluyla bu hedefe ulaşılması açısından sektörde kullanılan ürünlerin geri dönüşümü özellikle önemlidir. Ayrıca ciddi çevre sorunlarına yol açmamak için uçakların işletilmesi sonucu ortaya çıkan atıkların etkin bir şekilde bertaraf edilmesinin sağlanması gerekmektedir. Enerjinin etkin kullanımı bu süreçte bir diğer önemli konuyu oluşturmaktadır (Liu vd., 2022). Yeni teknolojilerin uygulamaya konması, uçakların tükettiği enerjinin azaltılmasına hizmet edecek ve böylece karbon emisyon yükünün azaltılmasına yardımcı olacaktır. Havacılık sektörünün tüm bu sorunlara aynı anda çözüm bulmak için harekete geçmesi pek olası görülmemektedir. Bunun temel nedeni, iyileştirici önlemlerin alınmasının getireceği ek maliyetlerdir. Maliyetlerdeki önemli bir artış, havayolu şirketlerinin karlılığında azalmaya neden olacaktır. Bu durum onların rekabet avantajını olumsuz yönde etkilemektedir. Özetle işletmelerin kaynaklarını ve bütçelerini en etkin şekilde kullanabilmeleri için en önemli sürdürülebilirlik faaliyetlerini belirlemeleri gerekmektedir. Bu nedenle şirketlerin, havacılık sektörünün sürdürülebilirliğine yönelik optimum stratejinin belirlenmesine yol açacak kapsamlı

öncelik analizleri yapması gereklidir. Bu, sektörün aşırı maliyetlere katlanmadan sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını sağlamış olacaktır.

## **2.1. Uçak Yakıt Tüketimi Etkisi**

Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği'nin istatistiksel verilerine göre, yakıt maliyeti, havayolu borç sütununda en büyük maliyet olup, 2014 yılında bir havayolunun maliyetlerinin ortalama yaklaşık %29'unu oluşturmaktadır (International Air Transport Association, 2015). Havayolu endüstrisi, enerji tüketiminin en çok arttığı az sayıdaki sektörden biridir. Son 10 yılda % 6' dan fazla artış olmuştur. Ancak enerji üretimi aynı dönemde %6' dan daha az bir artış göstererek geride kalmıştır. Enerji arzı ve talebi arasındaki uçurum giderek daha belirgin hale gelmektedir. Hava taşımacılığına olan bu büyük talep, çok daha yüksek düzeyde enerji tüketimini teşvik edecektir. Etkinliğin artırılması, büyük enerji talebi ile sınırlı enerji üretimi arasındaki çelişkiyi çözenin önemli bir yöntemi olarak değerlendirilmektedir. Havayolu enerji etkinliği, havayollarının belirli bir yıldaki enerji girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkileri ölçebilmektedir. Etkinliği yüksek olan havayolları, maksimum çıktı elde etmek için sabit girdiler uygulayabilir veya çıktılar sabit olduğunda girdileri en aza indirebilir. Ancak havayolları için iki yıl üst üste bazı devir işlemleri mevcut olup, bu devir işlemlerinin sermaye stoğu gibi havayolunun enerji etkinliği üzerinde doğrudan etkileri bulunmaktadır. Sermaye stoğu, havayolunun belirli bir yıldaki üretim ve operasyon ölçeğini yansıtan, havayolunun mevcut sermaye kaynaklarını ifade etmektedir. Bu anlamda bu yılın bir çıktısı olarak değerlendirilebilir. Bir diğeri ise gelecek yıl havayoluna yatırılacak her türlü sermayenin toplamıdır. Dolayısıyla bir sonraki yılın girdisi olarak da değerlendirilebilmektedir. Sonuç olarak, havayolu enerji etkinliğinin ölçülmesinde taşıma faaliyetleriyle nasıl başa çıkılacağı önemlidir (Cui, 2016).

Babikian ve ekibi (2002), havayolu enerji etkinliği açısından farklı uçak tiplerinin yakıt etkinliğini analiz etmiş ve sonuçlar, yakıt etkinlik farklılıklarının büyük ölçüde uçak operasyonlarındaki farklılıklarla açıklanabileceğini göstermiştir (Babikian, Lukachko ve Waitz, 2002). Morrell (2009), daha büyük uçaklar ve farklı operasyonel modeller kullanarak daha fazla yakıt etkinliği elde etme potansiyelini tartışmıştır (Morrell, 2009). Bu arada Miyoshi ve Merkert (2010), yakıt etkinliği ile yakıt fiyatı, uçulan mesafe ve yük faktörleri arasındaki ilişkiyi anlamak için 1986'dan 2007'ye kadar olan dönemde 14 Avrupa havayolu şirketinin karbon ve yakıt etkinliğini değerlendirmiştir (Miyoshi ve Merkert, 2010). Cui ve Li (2015), 2008-2012 döneminde 11 uluslararası havayolunun

enerji etkinliğini değerlendirmek için bir “Virtual Frontier Benevolent DEA Cross Efficiency” modeli önermiştir (Cui ve Li, 2015). Zou ve arkadaşları (2014) ise, ABD'deki on beş büyük jet operatörünün yakıt etkinliğini araştırmak için oran bazlı, deterministik ve stokastik sınır yaklaşımlarını kullanmıştır (Zou vd., 2014). Sonuçlar, ana hat havayollarının potansiyel maliyet tasarruflarının 2010 yılında yaklaşık bir milyar dolara ulaşabileceğini göstermiştir.

## **2.2. Karbon Emisyonu ve Fosil Yakıtların Önemi**

Enerji etkinliği, havacılık sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanması, yani aynı uçuş yoğunluğunun önemli ölçüde daha düşük enerji tüketimiyle birlikte sağlanması açısından özellikle önemlidir (Laimon vd., 2022). Sektörün enerji tüketiminin büyük bir kısmı fosil yakıt kullanımıyla gerçekleştiği için en önemli konu karbon emisyonu üretimiyle ilgilidir. Bu nedenle enerji etkinliğinin sağlanması karbon emisyonlarının azaltılmasına açıkça katkı sağlayacaktır (Yu vd., 2022).

Teknolojik ilerlemeler sayesinde artık uçakların eskisine göre daha az enerji tüketimiyle çalışması mümkündür. Bu nedenle yeni teknoloji uçakların kullanılması enerji etkinliğine önemli katkı sağlamaktadır (Sycheva ve P. Shpak, 2022). Diğer taraftan operasyonel etkinlik de enerji etkinliği açısından oldukça önemlidir, örneğin uçaklar için en uygun uçuş rotalarının seçilmesi, hava trafiğinin azalmasına ve dolayısıyla uçuş sırasında daha az enerji tüketimine yol açmaktadır (Sou vd., 2022). Xu ve Xu (2022) lojistik sektöründe enerji etkinliğinin artırılmasına ilişkin en önemli kriterleri belirlemeye çalışmışlardır. Tüketilen enerji miktarını azaltmak amacıyla, yeni uçak teknolojilerinin iyileştirilmesi ve benimsenmesi gerektiği sonucuna varmışlardır (Xu ve Xu, 2022). Yılmaz (2022) sürdürülebilir bir havacılık endüstrisi sağlamak için batarya teknolojilerinin ve alternatif yakıtların kullanımına odaklanmış ve enerji etkinliğinin uçak içi hizmet faaliyetleri açısından ele alınması gerektiği sonucuna varmıştır (Yılmaz, 2022). Havacılık sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanması açısından yenilenebilir enerji kullanımının da dikkate alınması gerekmektedir.

Havacılık sektörünün enerji ihtiyacı için günümüzde fosil yakıtların tercih edilmesi, önemli miktarda çevre kirliliğinin oluşmasına neden olmaktadır (Olabi ve Abdelkareem, 2022; Yusaf vd., 2022). Bu nedenle uçaklarda temiz enerji kullanılmasını sağlayacak teknolojik gelişmelere dikkat edilmelidir (Timmons ve Terwel, 2022). Ayrıca havalimanlarında fosil yakıt bazlı enerji kullanımı (Laimon vd., 2022) bir dereceye kadar

temiz enerji alternatifleriyle değiştirilirse karbon emisyonlarının azaltılmasına daha fazla katkı sağlamış olacaktır.

Barke ve ekibinin (2022), Avrupa hava taşımacılığı sektöründe karbondan arındırma sürecinin bir değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Ekonomik ve sosyal etkinliğin sağlanması için havacılık sektörünün temiz enerji alternatiflerini benimsemesi ve ilgili yatırımın maliyet etkinliğinin araştırılması gerektiğini ifade etmişlerdir (Barke vd., 2022). Hu ve ekibi (2022), havacılık sektörünün sürdürülebilirliği açısından karbon emisyonu sorununun azaltılmasına değinmiş, havayollarının elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması gerektiği sonucuna varmışlardır (Hu vd., 2022). Malzemelerin geri dönüşümü de havacılık sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Sektörde kullanılan ürünlerin (Nurdiawati ve Agrawal, 2022) üretim süreçlerinde doğal kaynaklar kullanıldığından, bu tür ürünlerin yeni ürünlerle değiştirilmesi yerine geri dönüştürülmesi durumunda doğal kaynak kullanımı azalacaktır (Morales ve Leonard, 2022; Danish vd., 2022). Böylece havacılık sektörünün çevre sorunlarına daha duyarlı olmasına hizmet edecek ve sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır (Behnisch vd., 2022). Başka bir araştırmada, Ravishankar ve Christopher (2022), havacılık endüstrisinde sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik yaklaşımları incelemişlerdir. Bu amaca ulaşmak için malzemelerin geri dönüştürülmesi gerektiği sonucuna varmışlardır (Ravishankar ve Christopher, 2022). Markatos ve Pantelakis (2022) havacılık sürdürülebilirliğini döngüsel ekonomi ilkelerine dayalı olarak değerlendirmişler ve malzemelerin geri dönüşümünün bu bağlamda kritik bir rol oynadığı sonucuna varmışlardır (Markatos ve Pantelakis, 2022).

Atık yönetimi havacılık sektörünün sürdürülebilirliğini etkileyen bir diğer önemli faktördür; endüstri, etkili bir şekilde bertaraf edilmesi gereken önemli miktarda atık üretmektedir (Yakovlieva vd., 2021). Aksi takdirde havacılık endüstrisi çevreye ciddi zarar verme riskiyle karşı karşıya kalacaktır (Hedberg ve Sipka, 2021). Havalimanlarımızdan kalkan her uçuş önemli miktarda atık üretmektedir (Shittu, Williams ve Shaw, 2021). Plastik ürünlerin kullanımı atık oluşturma sürecine önemli bir örnek teşkil etmektedir (Mekonnen and T. A. Aragaw, 2021). Bu nedenle şirketlerin ürettikleri atıkları etkili bir şekilde bertaraf etmek için gerekli önlemleri almaları gerekmektedir. Sreenath ve ark. (2021), Asya ülkelerine odaklanarak havalimanlarındaki sürdürülebilirlik sorunlarını değerlendirmiş ve atıkların mümkün olduğu kadar etkin bir şekilde bertaraf edilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır (Sreenath, Sudhakar ve Yusop,

2021). Sebastian ve Louis (2021), havalimanlarında atık yönetimi üzerine, özellikle etkili bir şekilde bertaraf edilmediği takdirde çevreye geri dönüşü olmayan zararlar veren plastik atıkların önemine odaklanan bir çalışma yürütmüşlerdir (Sebastian ve Louis, 2021).

### **2.3. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) Emisyonu ve Eko-Etkinlik**

Havacılık endüstrisi, küresel ticareti şekillendirmede önemli bir rol oynamakta ve böylece dünya çapında ekonomik kalkınmayı desteklemektedir (Chang vd., 2014; Cui ve Li, 2020). Hava yolculuğu, son on yılda sektörün önemli ölçüde büyümesiyle birlikte sera gazı emisyon oranının da artmasına neden olmuştur. Sektör uzmanları, karbon emisyonlarını nötralize etmek amacıyla, bu sektördeki yeşil havacılık uygulamalarının gerekliliğine vurgu yapmışlardır. (ICAO, 2012; EU Climate Action, 2020). Uçaklar, yolcu ve yük taşımacılığında küresel ölçekte hareket imkânı sağlayarak, küresel ekonomiye ve ulusal refaha sürdürülebilir değer katma konusunda benzersiz bir rol oynamaktadır (Lewis, 2013). Havayolu endüstrisi, karbon emisyonlarını ve stratosferik ozon tabakasının incelmelerini sınırlandırarak, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 13: İklim Değişikliğini destekleyen sürdürülebilir havacılık uygulamalarını teşvik etmeye çalışmaktadır (Kucukvar vd., 2017; Alsarayreh vd., 2020). Karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla, dünya genelindeki havayolu ticaret birlikleri tarafından çeşitli modern girişimler başlatılmıştır (Kutty vd., 2020). “Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü” (ICAO), uluslararası havayollarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını engellemek amacıyla 2021 yılından sonra “Uluslararası Havacılık için Karbon Dengeleme ve Azaltma Planı (CORSIA)”nı başlatmayı planlamıştır (Chao vd., 2019). “Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği” (IATA) üç sürdürülebilirlik hedefi belirlemiştir:

- I. Yakıt etkinliğini yılda ortalama %1,5 artırmak,
- II. Havayolu CO<sub>2</sub> emisyonlarını 2020'den itibaren sınırlamak ve
- III. CO<sub>2</sub> emisyonlarını 2050 yılına kadar %50 azaltmak (San vd., 2017).

Havacılık sektöründeki emisyonların azalması, iklim değişikliğine bağlı etkilerin de azalması anlamına gelmekte ve böylece Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi 2030'un karbon nötrlüğü hedefine hitap etmektedir. CO<sub>2</sub> emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaya yönelik çabalara rağmen, havacılık endüstrisinin artan talebi karşılamak için genişlemesi, sera gazı emisyonlarının büyük ölçüde artmasına neden olacaktır (Wang, Huang ve Chen, 2019). Sürdürülebilir ve temiz enerji kullanımı gibi küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarını 2050 yılına kadar azaltmak için AB İklim Eylemi (2020) tarafından

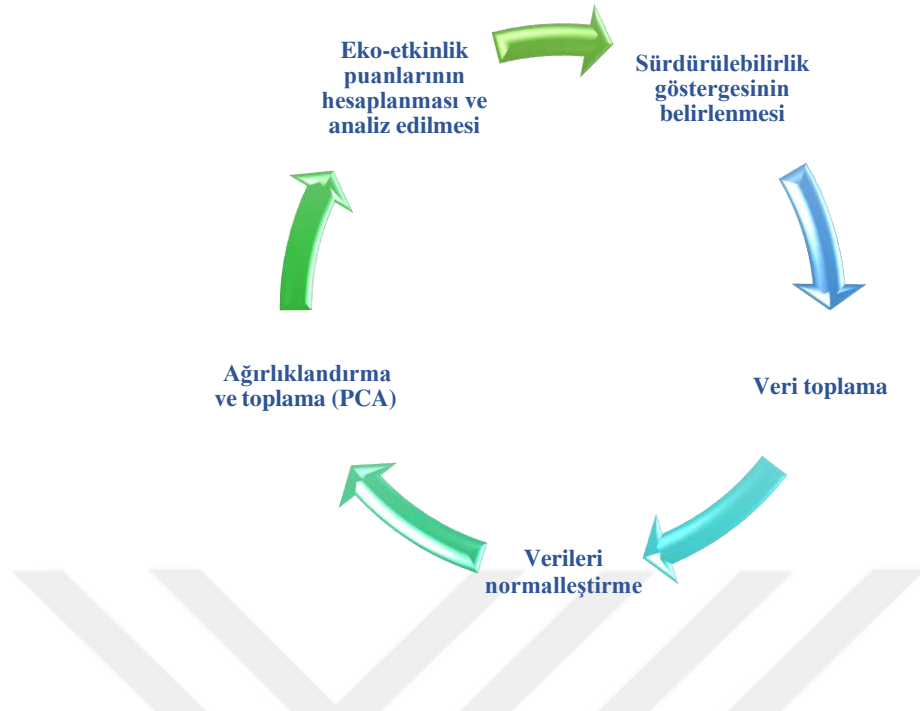
belirlenen hedefler bağlanabilirliği geliştirerek ekonomik ilerleme ve iyileşen iklim koşulları, havacılık endüstrisinin karbon nötrlüğü meta hedefine ulaşmasına yardımcı olabilir (Park, Egilmez ve Kucukvar, 2015; Alameeri vd., 2017). Havacılık endüstrisinde Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini (SDG'ler) uygulayarak kalkınmayı desteklemek ve sürdürülebilir hareketlilik konusunda kurumsal bir imaj oluşturmak, sektörün yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilir operasyonları teşvik edebilmektedir.

### **2.3.1. Doğu Asya havayollarının eko-etkinlik değerlendirmesi**

Havacılık endüstrisi, dünyanın gayri safi yurtiçi hasılasına değer katarak ekonomik büyümeyi desteklemektedir (Srisaeng, Baxter ve Wild, 2015). Hava yolculuğu, dünya çapında gelişmiş bağlantı sayesinde yolcuları ve kargo tedarikini daha hızlı hale getirmiştir (Thokala, Scanlan ve Chipperfield, 2010; Xue, Ng ve Hsu, 2020). Ayrıca havayolu sektörü, büyük ve farklı gruplardan vasıflı çalışanların istihdamını desteklemektedir. Uçağın yaşam döngüsü boyunca işletme aşamasının emisyonlarından kaynaklanan çeşitli çevresel etkiler ağır basmaktadır (Xu ve Cui, 2017). Bu, aşağıdaki gibi ekolojik göstergelerle ölçülebilmektedir:

- Enerji kaynağı tüketimi (elektrik ve jet yakıtları),
- Sera Gazı emisyonları (GHG),
- Su tüketim
- Atık.

Elhmoud ve arkadaşlarının (2021) yaptığı bir aştırmada, Doğu Asya'daki yedi havayolunun eko-etkinlik performansını değerlendirmişlerdir (Şekil 1). Yayınlanan sürdürülebilirlik ve yıllık havayolu raporları, çeşitli web tabanlı kaynaklardan gerekli verilerin toplanması amacıyla incelemişlerdir. Toplanan veriler daha sonra minimum-maksimum tekniği kullanılarak standart bir ölçeğe göre normalleştirilerek, veriler Temel Bileşen Analizi kullanılarak havayolunun eko-etkinlik puanı hesaplamış ve havayolları eko-etkinlik performanslarına göre sıralamışlardır (Elhmoud vd., 2021).



Şekil 2.1. Doğu Asya'daki havayolları için eko-etkinlik değerlendirmesinde kullanılan adımlar

### 2.3.2. Çin havayollarının CO<sub>2</sub> emisyonu ile mücadelesi

Son yıllarda havayolu sektörünün karbondioksit emisyonları büyük ilgi görmektedir. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği'nin istatistiksel verilerine göre 2014 yılında hava taşımacılığı, yıllık insan kaynaklı karbon emisyonlarının yaklaşık %2'sinden sorumludur (IATA, 2014). Bu oran nispeten küçük olsa da sektör, uzun vadeli sürdürülebilirliğe ulaşmak için çevre adına daha da fazla çalışması gerektiğinin farkındadır. Ayrıca, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü, hava trafiğindeki yedi kat artışın yol açtığı azaltım tedbirlerinin yokluğu durumunda, havacılıkla ilişkili toplam sera gazı (GHG) emisyonlarının 2050 yılında 2010 yılına göre %400-600 daha yüksek olacağını öngörmüşlerdir. Emisyonları kontrol altına almak için birçok devlet kurumu ve hava yolu şirketi birçok önlem almıştır. Avrupa Birliği, uluslararası havayolu işletmesinin Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemine dahil edilmesini sağlayan 2008/101/EC sayılı kararnameyi Kasım 2008'de yürürlüğe koyarak 1 Ocak 2012'den itibaren, Avrupa Birliği'nde kalkış ve iniş yapan her uluslararası uçuşa bir emisyon izni verileceğini açıklamışlardır (Anger ve Köhler, 2010; Ares, 2012; Bian, Liang ve Xu, 2015). Bu politika tüm dünyada büyük tartışmalara yol açsa da AB'nin havacılık emisyonlarının kontrolü üzerindeki etkilerini yansıtmaktadır. Havayolu endüstrisi, endüstriye büyüme izni verecek uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlamak için çevre adına daha fazla çalışması gerektiği sorununu da kabul etmiş ve farklı havayolları karbon emisyonunu kontrol altına

almak için birçok tedbire başvurmuştur. Örneğin, China Southern Airlines'ın önlemleri arasında;

- Filonun optimize edilmesi,
- Hava rotasının optimize edilmesi,
- Hız yönetiminin getirilmesi,
- İkinci serbest bırakma teknolojisinin benimsenmesi,
- Kanat ucu yüzgecinin kurulması vb. yer almaktadır.

China Eastern Airlines, filosunu ve hava rotasını optimize ederek, bazı yeni teknolojileri (Performansa Dayalı Navigasyon, Otomatik Bağımlı Gözetim-Yayın, Elektronik Uçuş Çantası vb.) benimseyerek karbon emisyonunu kontrol altına almıştır. Ancak çok az makale bu önlemlerin etkilerini girdiler ve çıktılar açısından tahmin etmeye odaklanmıştır (Cui ve Li, 2016). Farklı havayolları farklı önlemler benimsemiştir ve bazı önlemlerin emisyonların kontrolünde iyi sonuçlarının olması ile birlikte birçok havayolu aynı zamanda çok fazla kirlilik azaltma masrafı da ödemiştir. Örneğin, China Eastern Airlines 2012'de yaklaşık 225.000 ton CO<sub>2</sub> emisyonunu, China Southern Airlines ise 2012'de yaklaşık 33.600 ton emisyonu azaltmıştır. Ancak China Eastern Airlines'ın kirlilik azaltma giderleri 2012'de yaklaşık 116 milyon dolar olmuştur. China Southern Airlines'ın geliri yaklaşık 111 milyon dolardır. Girdiler ve çıktılar açısından bakıldığında bu iki havayolu için tedbirlerin etkilerini karşılaştırmak zordur (Bian, Liang ve Xu, 2015).

### **2.3.3. Türkiye'deki hava yollarının enerji etkinliği ve CO<sub>2</sub> emisyonu ile mücadelesi**

Türkiye'de sivil havacılık, 1983 yılında Sivil Havacılık Kanunu ile AB olarak kademeli olarak serbestleştirildi. Bu düzenlemeyle özel girişimciler sivil havacılık sektörüne girmiştir. 2010 yılında Türkiye sivil havacılığının kurumsal yapısını etkileyecek şekilde tüm yerli taşıyıcıların slotuna hava yolu taşıma kararı verilmiştir. Dolayısıyla bu yetki bir kamu kurumuna (Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü) devredilmiştir (Yalçinkaya ve Taşcı, 2020). Türkiye' de havacılık otoritelerinin kurumsallaşma çerçevesinde göreve başlamasından sonra Türkiye'deki havayolu şirketlerinin enerji etkinliği açısından araştırmalar yapılmıştır (Doğan, Doğan ve Eren, 2024).

Bal ve ark. (2017) çalışmalarında havacılık sektörü ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki açısından Türkiye'yi incelemiştir. 1967-2015 döneminde Türkiye ekonomisinde hava taşımacılığının sembolü olan hava yolcu talebi ve kargo taşımacılığının ekonomik büyümeye etkisi Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM)

nedensellik analizi ile bulunmaya çalışılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre havacılık sektörünün uzun vadede ekonomik büyüme üzerinde pozitif ve tek yönlü bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Bal, Manga ve Gümüş Akar, 2017). Kundak ve Aktop (2018), Türkiye ekonomisinde hizmet sektörü içinde önemli bir yere sahip olan hava taşımacılığının ekonomik büyümeye etkisini araştırmıştır. Hizmet sektörü içinde kilit öneme sahip olan hava taşımacılığındaki olumlu gelişmelerin ekonomik büyümeye etkisi incelenmiştir. 2002-2012 verilerinin girdi-çıkıtlı analizi yöntemi kullanılarak hava taşımacılığının diğer sektörleri etkileyebilecek ve ülke ekonomisine katma değer yaratabilecek bir sektör olduğu sonucuna varılmıştır. Türkiye'de bu sektörün dinamik bir gelişme gösterdiği belirtilmiştir (Kundak ve Aktop, 2018). Kavacık ve ekibinin 2012'de yaptığı başka bir çalışmada ise, yeni uçakların 40 yıl öncesine göre yüzde 70 daha fazla yakıt tasarrufu sağladığını ve 10 yıl öncesine göre CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması bakımından yüzde 20 daha iyi sonuçlar elde edildiğini belirtmiştir. Sanayi, 2050 yılında karbon emisyonunu 2005 yılına göre yarı yarıya azaltmayı hedeflediğini açıklamıştır. Bu amaçlar doğrultusunda Türk Hava Yolları (THY), küresel toplumun hedeflediği sürdürülebilir kalkınma konusunda iyileştirmeler gösterdiğini, yeni nesil uçaklarıyla uçak ve diğer faaliyetlerden kaynaklanan karbondioksit miktarını ve yakıt tüketimini azaltmaya çalıştığını böylece Avrupa Emisyon Ticaret Sistemine üye olarak sürdürülebilirlik konusunda önemli adımlar atıldığını savunmuştur. Sürdürülebilir kalkınmanın en önemli anahtarlarından biri olan mali disiplin anlamında THY, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik yönünü gerçekleştirerek dikkat çekici bir performans sergilediğini ifade etmiştir (Kavacık, Zafer, Yıldız ve Karaman, 2012).

#### **2.3.4. Amerika hava yollarının CO<sub>2</sub> emisyonu ile mücadelesi**

Ticari uçaklar, yüksek özgül enerji (birim kütle başına enerji) ve yüksek enerji yoğunluğu (birim hacim başına enerji) sundukları için hidrokarbon yakıtların yakılmasına dayanmaktadır. Uçuş açısından kritik olan bu özelliklerin hiçbiri, çok koridorlu uzun mesafeli uçaklardaki modern bataryalardan veya yakıt hücrelerinden ve elektrik motorlarından oluşan şarj edilebilir güç aktarma organları ile henüz karşılaştırılmamıştır. Küresel havacılık sektörü, uluslararası uçuşlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını 2050 yılına kadar 2005 yılı seviyelerine göre %50 oranında azaltmayı hedeflemektedir (IATA, 2009). Bu iddialı hedef, hem elektrikli güç aktarım sistemlerinin sürekli olarak geliştirilmesini (öncelikle bölgesel seyahat için) hem de yenilenebilir yakıtların (uzun mesafeli seyahat için) azaltılmasını gerektirecektir. ABD havayolları, 2050 yılına kadar

net sıfır karbon emisyonu ve yurt içi ve yurt dışı uçuşlar için 2019 temeline göre karbon nötr büyüme taahhüt etmiştir (Airlines for America, 2021). Mart 2021'de, Airlines for America'nın (A4A) üye taşıyıcıları toplu olarak 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu taahhüt etmişlerdir. ABD havayolları, 1978 ile 2019 yıl sonu arasında yakıt etkinliklerini yüzde 135'ten fazla artırarak beş milyar metrik tonun üzerinde karbondioksit tasarrufu sağlamıştır. Ancak petrol bazlı yakıtlarla yapılan yakıt etkinliği iyileştirmeleri, sektörü net sıfır CO<sub>2</sub> emisyonuna taşıyamaz. Bunun için Sürdürülebilir Havacılık Yakıtına (SAF) ihtiyaç vardır. Dahası, Küresel uçak emisyonlarının yaklaşık %93'ü orta ve uzun mesafeli uçuşlardan kaynaklanmaktadır (International Council on Clean Transportation, 2019). Bu nedenle emisyonların büyük bir kısmının ele alınması uzun vadeli bir çözüm gerektirmekte ve bu da şu andan itibaren 2050 yılına kadar SAF'lerin tanıtılması ve kullanılması anlamına gelmektedir.

Pek çok ülke, CO<sub>2</sub> ve diğer karbon atık akışlarından sentetik yakıtlar üretmek için düşük karbon yoğunluklu hidrojenle birlikte yenilenebilir elektriğin kullanımını düşünmektedir. Böyle bir yaklaşım, henüz mevcut olmayan muazzam miktarda yenilenebilir elektrik gerektirmektedir. Örneğin, 2020'de Amerika Birleşik Devletleri yaklaşık 14,5 EJ (3,884 TWh) elektrik üretmiş ve bunun yalnızca 5,4 EJ'si (1,620 TWh - 0,17 GW) yenilenebilir veya karbojenik olmayan kaynaklardan sağlanmıştır (U.S. Energy Information Administration, 2021). Enerji içeren atık karbon önemli bir karbon kaynağıdır. Enerji içeren atık karbon, endüstriyel atık gazı, belediye katı atıklarını, tarım ve ormancılık artıklarını, geri dönüştürülemeyen plastikleri, gübreleri ve belediye atık su çamurunu içermektedir. Male ve ekibinin (2021) yapmış olduğu bir araştırmada, yenilenebilir veya atık karbon kaynakları ve karbojenik olmayan enerji kaynaklarından başlayarak yenilenebilir yakıtlara odaklanmışlardır. Karbojenik olmayan kaynaklar arasında hem yenilenebilir enerji (örneğin biyokütle, güneş, rüzgâr), hidroelektrik hem de nükleer enerji bulunmaktadır. Burada yaklaşık 1 Quad (1 katrilyon BTU) olan SI birimi exajoule'ü (10<sup>18</sup> J) seçilmiş ve referans olarak, ABD'nin yılda yaklaşık 100 EJ kullandığını düşünerek; bunun yaklaşık %3,5'i yakıt olarak havayolu endüstrisine ve %25'i diğer ulaşım modlarına hizmet ettirildiğinden yola çıkılarak gerekli hesaplamaları yapmışlardır (Holladay vd., 2020). Sonuç olarak, yenilenebilir elektrik ve karbondioksit kullanımı da dahil olmak üzere, SAF üretimi için Fischer-Tropsch ve etanol oligomerizasyonu yöntemi ile daha temeli bir ABD oluşturma hedefine ulaşmışlardır (Male, Kintner-Meyer ve Weber, 2021).

## 2.4. Amerika'daki Havayolu Taşımacılığının Çevresel Etkinlik Değerlendirmesi

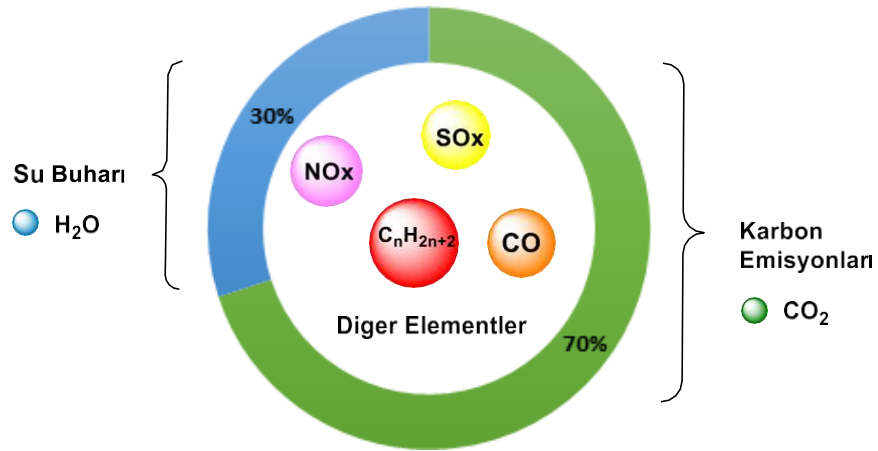
Taşımacılığın Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ekonomisi üzerinde büyük etkisi vardır (Park vd., 2018). Bununla birlikte, ulaşım ve ekonomik büyümeden kaynaklanan en ciddi sorunlardan biri, özellikle artan ulaşım karbon emisyonları olmak üzere ülke genelindeki çevresel etkilerdir (Chang, 2013). Son yıllarda, çevresel sürdürülebilirlik konularına yönelik küresel ilgi giderek artmaktadır. "Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınmadır" (WCED, 1987, Bölüm 2, Kısım IV). Ulaşım yüksek miktarda enerji tüketir (Zhou, Chung ve Zhang, 2014) ve sürdürülebilir ulaşım, ulaşımın çevresel performansını en üst düzeye çıkarma ve ilgili olumsuz etkileri en aza indirme becerisine bağlıdır (Hendrickson, Cicas ve Matthews, 2006). Ulaştırma sektörü 2014 yılında ABD gayri safi yurtiçi hasılasının yaklaşık %10'unu oluşturmuştur (RITA, 2014). Aynı sektörün, enerji üretim endüstrisinin ardından ABD'nin toplam sera gazı emisyonlarının %27'sini oluşturan ikinci en büyük sera gazı emisyon kaynağı olduğu tespit edilmiştir (US EPA, 2014). Ulaşım sektörünün enerji tüketiminin önümüzdeki çeyrek yüzyılda önemli ölçüde artması beklenmektedir (Frey ve Kuo, 2007).

İnsanların uzun mesafeleri hızlı bir şekilde seyahat etmelerine olanak tanıyan hava yolculuğu, ekonomik ve kültürel yaşam için vazgeçilmez olsa da yüksek bir çevresel maliyeti de beraberinde getirmektedir. Her ne kadar standart boyutlu bir arabayı kullanan tek bir kişi, yolcu mili başına karbon ayak izine ticari havayolundaki bir kişiye göre daha fazla sahip olsa da hava yolculuğu genel olarak daha fazla mil gerektirir ve bu da bir uçuşun ortalama sürücünün birkaç ay içinde kat ettiği mesafeye eşit olmasını sağlamaktadır. Uzun mesafeli yolculukların hava yolculuğu hacmindeki hızlı büyümeyle birleşimi, havacılığı önemli bir fosil yakıt tüketicisi ve önemli bir sera gazı emisyonu üreticisi haline getirilmektedir. En büyük çevresel maliyetleri bir sistemin inşası sırasında ortaya çıkan demiryolunun aksine, uçmanın karbon maliyetinin çoğu hem havaalanında hem de uçuş sırasındaki kullanımla ilgilidir (Howe, Kolios ve Brennan, 2013). Buradan, hava yolculuğunun karbon etkisinin azaltılmasının, daha hafif (ve daha az yakıt tüketen) uçaklar üretmenin yanı sıra, yolculukların mümkün olduğu kadar doğrudan ve etkin olması için havaalanı protokolleri ve uçuş prosedürlerinin iyileştirilmesini içereceği sonucu çıkarılmaktadır. İnsanların uçmak için ödediği paraya şu anda karbon maliyetleri dahil değildir. Ancak bu sektör, tüm ulaşım modları arasında en hızlı büyüyen sektördür ve ciddi bir çevresel zorluk sunmaktadır. Hava yolculuğunun küresel CO<sub>2</sub> ve diğer sera

gazı emisyonlarındaki payı, toplam taşımacılık sektörü emisyonlarının yalnızca %2 ile %3,5'i arasındadır, ancak gelişmiş ülkelerde bu oran daha yüksektir (%8 ila %10 arasındadır), çünkü bu bölgelerde daha fazla insan daha sık uçmayı karşılayabilmektedir. (Environmental Protection Agency, 2012).

#### 2.4.1. Uçak emisyonları

Hava yolculuğunun uçuş sırasındaki etkilerine ilişkin analizler, kabaca karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) emisyonları ile daha karmaşık etkileşimlere sahip ancak benzer şekilde zararlı etkileri olan sera dışı gazlar arasında bölünebilir olduğu açıklanmıştır (Kamga ve Yazıcı, 2014). FAA'ya göre uçak motoru emisyonları olan  $\text{CO}_2$  (%70) ve su buharı ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (%30), azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ), karbon monoksit ( $\text{CO}$ ), kükürt oksitler ( $\text{SO}_x$ ) yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonlar ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ), partiküller ve diğer eser bileşikler içeren diğer elementlerin izlerini taşımaktadır (U.S. Department of Transportation, 2013) (Şekil 2.1). Uçuş sırasında yayılan ve atmosferin diğer unsurları ve özellikleriyle etkileşimleri nedeniyle iklim değişikliğine katkıda bulunan, sera gazı olmayan başka kirleticiler de vardır. Etkileri, yayıldıkları hacim, zamanlama, yerel koşullar ve yükseklik gibi karmaşık koşullara bağlıdır. Uçak emisyonlarının büyük bir kısmı yüksek irtifalarda meydana gelmektedir (Federal Aviation Administration, 2005). Birleşik Krallık Çevresel Değişim Enstitüsü'ne göre bunlar "atmosferde her biri belirli bir süre boyunca küresel ısınma ve soğuma etkilerine sahip olan bir dizi kimyasal reaksiyonu tetikleyebileceği ve " 1 günden az bir süre ile birkaç yüz yıl arasında değişen çeşitli zaman ölçekleri vardır" ifadesi ile belirtilmiştir (Jardine, 2009).



Şekil 2.2. Amerika'daki uçak motoru emisyon oranları

#### **2.4.2. Havacılıkta Dünyanın enerji dengesinin ısınımsal değerlendirilmesi**

Havacılığın çevresel etkisi, güneşten gelen ısıyı emdiği ve yansıttığı için dünyanın enerji dengesinin bir ölçüsü olan ısınımsal zorlama açısından değerlendirilebilir (Chandler, 2010). Bu ölçüm, uçakların zamanlarının çoğunu havada geçirdiği tropopoz olarak bilinen atmosferik seviyede en anlamlı şekilde alınmaktadır. Tropopoz, bulutların ve havanın meydana geldiği katman olan troposfer ile ozon tabakasını içeren, yerden 10 ila 30 mil yükseklikte bir kuşak olan stratosfer arasında ince bir atmosferik katmandır. Ticari uçaklar, emisyonlarının ozon, metan ve diğer gaz seviyelerini etkileyerek küresel sıcaklıkta değişikliklere yol açtığı üst stratosfer ve alt troposferde uçmaktadır. ısınımsal zorlama, yani Dünya'nın enerji dengesi, uçaklardan yayılan ve soğutma etkisi yaratmaya yardımcı olan ve dünyanın su döngüsünü etkileyen ve küresel ısınmanın hızını maskeleyebilen bir olgu olan küresel karartmaya katkıda bulunan, uçaklardan yayılan çok küçük yüzen parçacıklar olan aerosoller nedeniyle de değiştirilebilmektedir (Kamga ve Yazici, 2014).

#### **2.4.3. Havacılıkta yerel hava kirliliği**

Yerel kirlilik, büyük ölçüde hava trafiğindeki gecikmelerin etkisiyle artan, havaalanı pistlerinde boştaki kalan uçaklardan kaynaklanmaktadır. (Schlenker ve Walker, 2011). Bu sorunlar, özellikle bir havaalanındaki hava durumu veya trafik sıkışıklığı gecikmelerinin ülke geneline yayıldığı hub-and-spoke sisteminde yaygındır. Artan hava trafiği, havalimanı çevresindeki ilgili sokak trafiğine ve uçaklara hizmet veren yer destek araçlarının faaliyetlerine katkıda bulunmaktadır. Kötü koordine edilmiş havaalanı trafiği, uçakların kalkıştan önce uzun süre kuyrukta beklemesine neden olabilir. ABD'de bu tür gecikmelerin daha da kötüleştiği ve ortalama uçak taksi süresinin 1995'ten 2007'ye %23 oranında arttığı açıklanmıştır (Picker, 2013). Havaalanı kaynaklı yerel hava kirliliği, kanserojenlerin yanı sıra solunum sağlığını etkileyen emisyonları da içerebilir. Hava trafiğinin bu yan ürünlerinin astım, amfizem ve kronik bronşit oranlarını artırdığı gösterilmiştir. Akciğer sağlığını etkileyebilecek ince partikül madde gibi kirletici maddelerin yanı sıra tıkanıklık, uçak yerde rölantideyken en yüksek oranda yayılan karbon monoksiti (CO) de artırmaktadır.

#### **2.4.4. Havacılıkta gürültü kirliliği**

Uçak motorlarının hem pistte hem de özellikle kalkış ve iniş sırasında çıkardığı ses, havalimanlarının bulunduğu çevredeki sağlık ve yaşam kalitesini etkilemektedir. Ayrıca, gürültü kirliliği, havalimanlarına gidiş-dönüş uçuş yolları üzerinde ve bitişindeki

mahallelerdeki gayrimenkul değerlerini de etkilemektedir. Uçaklar havaalanına inerken yere daha uzun süre daha yakın uça da gürültü genellikle kalkış sırasında iniş sırasında olduğundan daha fazladır (Kamga ve Yazici, 2014).

## **2.5. Uçaklarda Yakıt Etkinliği**

Havayollarının enerji etkinliği için Babikian ve ekibi (2002) farklı uçak tiplerinin yakıt etkinliğini analiz etmiş ve sonuçlar, yakıt etkinliğindeki farklılıkların büyük ölçüde uçak operasyonlarındaki farklılıklarla açıklanabileceğini göstermiştir (Babikian, Lukachko ve Waitz, 2002). Morrell (2009), daha büyük uçaklar ve farklı operasyonel modeller kullanarak daha fazla yakıt etkinliği elde etme potansiyelini analiz etmiştir (Morrell, 2009). Miyoshi ve Merkert (2010), yakıt etkinliği ile yakıt fiyatı, uçulan mesafe ve yük faktörleri arasındaki ilişkiyi anlamak için 1986'dan 2007'ye kadar olan dönemde 14 Avrupa havayolu şirketinin karbon ve yakıt etkinliğini değerlendirmiştir (Miyoshi ve Merkert 2010). Zou ve ekibi (2014), ABD'deki on beş büyük jet operatörünün yakıt etkinliğini araştırmak için oran bazlı, deterministik ve stokastik sınır yaklaşımlarını kullanmıştır. Sonuçlar, ana hat havayollarının potansiyel maliyet tasarruflarının 2010 yılında yaklaşık bir milyar dolara ulaşabileceğini göstermiştir (Zou vd., 2014). Li ve arkadaşları (2016), 2008'den 2012'ye kadar 22 havayolunun enerji etkinliğini değerlendirmek için Sanal Sınır Aralığı Ayarlanmış Ölçüm modelini uygulamıştır (Li, Wang, ve Cui, 2016). Cui (2016), 2008-2012 yılları arasında 21 havayolunun enerji etkinliğini tahmin etmek için Sanal Sınır Slacks Tabanlı Ölçüm modeli önermiştir. Ancak bu makaleler havayolu enerji etkinliğinin çevresel yönlerini dikkate almamıştır (Cui vd., 2016).

Arjomandi ve Seufert (2014), 2007-2010 döneminde 48 havayolunun çevresel etkinliğini incelemek için önyüklemeli VZA (Veri Zarflama Analizi) modellerini uygulamıştır. Girdi olarak emek ve sermaye seçilmiştir; mevcut ton kilometre ve CO<sub>2</sub> emisyonu sırasıyla istenen çıktı ve istenmeyen çıktı olarak hesaplanmıştır (Arjomandi ve Seufert, 2014). Chang ve ark. (2014), 2010 yılında 27 küresel havayolunun çevresel etkinliğini, genişletilmiş çevresel gevşekliğe dayalı bir ölçüm olan DEA modeline dayanarak incelemiştir. Girdi olarak çalışan sayısı, yakıt tüketimi ve mevcut ton kilometre seçilmiş, istenilen çıktı olarak gelir ton kilometre ve kar, istenmeyen çıktı olarak ise karbon emisyonları alınmıştır (Chang vd., 2014). Cui ve Li (2015)'de, havayolu enerji etkinliğinin girdileri olarak çalışan sayısı, sermaye stoku ve ton havacılık gazyacağı, çıktı olarak ise Gelir Ton Kilometre, Gelir Yolcu Kilometresi, toplam işletme geliri ve CO<sub>2</sub>

emisyona azalma endeksi belirlenmiştir. Bununla birlikte, mevcut belgeler yalnızca tek üretim sürecini dikkate almış ve CO<sub>2</sub> emisyonları, kirliliğin azaltılmasını havayolu enerji etkinliği üretim sürecinin bir parçası olarak almak yerine, yalnızca istenmeyen bir çıktı olarak ele alınmaktadır (Cui ve Li, 2015). Li ve ark. (2015), China Southern Airlines örnek olarak vermiş ve birkaç bölüm altında incelemiştir:

- Yatırım bölümü,
- Sermaye operasyon bölümü,
- Güvenlik bölümü,
- Uçak destek bölümü ve
- Bilet bölümü vb. (Li, Wang ve Cui, 2015)

Yatırım bölümü ve sermaye operasyon bölümü operasyonlar için, bilet bölümü satış, güvenlik bölümü ve uçak destek bölümü ise hizmetler olarak sınıflandırmışlardır. Havayolları için genel enerji etkinliğinin gelişimini araştırırken sahne etkinliği önemlidir. Literatürde bazı makalelerde havayolu etkinliği iki aşamaya ayrılmıştır (Chiou ve Chen, 2006; Zhu, 2011; Gramani, 2012). Havayolu etkinliği için ilk olarak Mallikarjun (2015) üç aşamalı yapıyı önermiş ve yeni yapı daha sonraki makalelerde yaygın olarak uygulamıştır (Mallikarjun, 2015).

Başka bir araştırma konusu da kirliliğin azaltılmasının toplam sürecin bir aşaması olarak işlenmesidir. Hampf'ın (2014) araştırmasına göre, çevresel etkinlik üretim ve azaltım etkinliği olarak ayrıştırılmış ve ABD enerji santralleri için ampirik bir örnekleme yapılmıştır. Azaltma etkinliği, üretim aşamasındaki artıkların bertaraf edilmesindeki etkinliği ölçmek için tanımlanmıştır (Hampf, 2014). Üretim aşaması ile azaltım aşaması arasındaki ara ürünlerden biri de üretim aşamasının artıkları olan brüt kirlilik emisyonlarıdır. Azaltma etkinliğinin çıktısı net kirlilik emisyonları olarak ifade edilmektedir. Bian ve ekibi (2015), bölgesel endüstriyel sistemlerin etkinliğinin iki aşamada sınıflandırmıştır: üretim aşaması ve kirlilik azaltma aşaması. Üretim aşamasında, bölgesel bir endüstriyel sistem, arzu edilen nihai çıktıları üretmek için girdileri tüketerek istenmeyen çıktıların emisyonuna neden olmaktadır. Azaltma aşamasında, üretim aşamasında üretilen istenmeyen girdiler, arzu edilen girdiler kullanılarak karşılık gelen nihai istenmeyen çıktıların indirgenerek aynı zamanda arzu edilen bir çıktı üretilmektedir. Kirlilik azaltma etkinliği, kirlilik azaltma arasındaki ilişkileri ölçmek için tanımlanmaktadır (Bian, Liang ve Xu, 2015).

Havayolları için ana kirlilik CO<sub>2</sub> emisyonlarıdır (Sausen vd., 1999). Üretim aşaması ile azaltma aşaması arasındaki ara ürün, havacılık keroseninin uygulanmasından kaynaklanan üretim aşamasının artıkları olan brüt CO<sub>2</sub> emisyonlarıdır. Karbon azaltma etkinliği, kirlilik azaltma yatırımı ile CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması arasındaki ilişkiyi ölçmek için tanımlanmaktadır. Cui ve Li'nin (2016) yaptığı bir araştırmaya göre havayolları için operasyon aşamaları, Gelir Yolcu Kilometresi (RPK) ve Gelir Ton Kilometresi (RTK) üretmek için işçilik giderlerini, yakıt giderlerini ve varlıkları uygulayabilir ve brüt CO<sub>2</sub> emisyonları, operasyon aşamasının kalıntıları olabildiğini savunmuştur. Son olarak karbon azaltımı aşamasında, brüt emisyonları net emisyonlara düşürmek için azaltım giderleri dahil edilerek gerekli hesaplamaları yaparak literatürdeki örnek verilere göre kıyaslama yapmışlardır (Cui vd., 2016).

## **2.6. Avrupa Birliği Sisteminde Karbon Emisyon Ticaret Sistemi**

Son yıllarda dünya ekonomisinin hızla gelişmesi ve hane halkı tüketim düzeyinin iyileşmesiyle birlikte enerji arz ve talebi arasındaki uçurum genişlemiştir. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği'nin (IATA) istatistiksel verilerine göre, 2012 yılında dünyadaki tüm havayollarının toplam enerji maliyeti 160 milyar doların üzerinde, karbondioksit emisyon hacmi ise 0,676 milyar tonun üzerinde olduğunu bildirmiştir (Annual review, 2012). Havayolu sektörü, enerji tüketiminin son 10 yılda %6'dan fazla arttığı az sayıdaki sektörden biridir. Ancak enerji üretimi aynı dönemde %6'dan daha az bir artış göstererek geride kalmıştır. Enerji arzı ve talebi arasındaki uçurum giderek daha belirgin hale gelmektedir. Bunların yanında, Çin Ticari Uçak Şirketi'nin önümüzdeki 20 yıl için tahminine göre, toplam havacılık sektörünün yolcu kilometre geliri (RPK) yılda %4,8 artacak ve toplam yolcu taşımacılığı talebi mevcut seviyenin 2,6 katı olacaktır. Hava taşımacılığına olan bu büyük talep, çok daha yüksek düzeyde enerji tüketimini teşvik edecektir. Enerji etkinliğinin artırılması, büyük enerji talebi ile sınırlı enerji üretimi arasındaki çatışmayı çözmek için önemli bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Havayolu enerji etkinliği, havayollarının belirli bir yıldaki enerji girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkileri ölçebilmektedir. Havayollarının maksimum çıktı üretmek veya çıktılar sabit olduğunda girdileri en aza indirmek için enerjiyle ilgili sabit girdileri (insan kaynağı girdisi, enerji girdisi, malzeme girdisi vb. dahil) uygulama kapasitesi olarak tanımlanabilir (Kuang ve Wu, 2014; Li, Wang ve Cui, 2016).

Diğer yandan Avrupa Birliği (AB), uluslararası havayolu işletmelerinin AB Emisyon Ticaret Sistemi'ne (AB ETS) dahil edilmesini öngören 2008/101/EC sayılı

kararnameyi Kasım 2008'de yürürlüğe koymuştur. 1 Ocak 2012'den itibaren, AB'de kalkış ve iniş yapan her uluslararası uçuşa bir emisyon izni verileceğini bildirmiştir (Anger ve Köhler, 2010; Ares, 2012). Bu politika tüm dünyada büyük tartışmalara neden olmuştur. Büyük diplomatik baskı karşısında AB, AB üyesi olmayan havayollarının emisyon vergilerini askıya almış, AB havayollarından vergi almaya devam etmiştir. Her ne kadar Çin ve Amerika Birleşik Devletleri gibi pek çok hükümet yerli havayollarının AB ETS' ye uymasını yasaklasa da bu ülkelerdeki havayolları hala AB ETS' ye yönelik birçok hazırlık yürütmektedir. AB ETS' de toplam emisyon limitlerinin %82' si AB'ye giden ve AB'den gelen havayollarına serbestçe tahsis edilmektedir ve AB ilgili havayollarının emisyon raporlarını sunmalarını zorunlu kılmaktadır. Ücretsiz limitlerin tahsisini sağlamak için birçok Çinli havayolu ve ABD havayolu şirketi de dahil olmak üzere birçok havayolu, AB'ye yönelik raporlarını hazırlamıştır. Bunlara ek olarak, AB üyesi olmayan havayollarının AB ETS' ye dahil edilmesi askıya alınmış olsa da AB, bu yasanın havayolu emisyonlarını yavaşlatabileceğine ve bunu zorlamaya devam edeceğine inanmıştır. Bu nedenle havacılığın AB ETS' ye dahil edilmesinin küresel havayolları üzerinde doğrudan etkileri vardır. 2008'den 2012'ye kadar olan dönem, havayollarının AB ETS gerekliliklerini karşılamak amacıyla enerji etkinliğini artırmaya yönelik bir tampon dönem olarak değerlendirilmiştir (Cui vd., 2016).

### 3. HAVACILIKTA ENERJİ ETKİNLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLE İLGİLİ MEVCUT LİTERATÜRLER

Havayolu etkinliği, havayolunun kaynak tüketimini en aza indirirken performansını en üst düzeye çıkarma yeteneği olarak tanımlanmıştır (Saini, Truong, ve Pan, 2023). Operasyonel etkinlik ve gelir elde etmek için varlıkların tüketimine (Sengupta, 1999), pazarlama ve yolcu hizmetlerinin havayolu etkinliği üzerindeki etkisine (Scheraga, 2004), rota yapılandırma stratejisinin ve ilgili maliyetlerin havayolu etkinliği üzerindeki etkisine (Caves, Christensen ve Tretheway, 1984) ve havayolu etkinliğinde olası bir faktör olarak sendikalaşmaya (Greer, 2009) odaklanan çok sayıda çalışma havayolu etkinliğini tanımlamış ve ölçmüştür. Çalışmalar genellikle işgücü, ortalama yük faktörü ve filo optimizasyonu gibi operasyonel ve maliyet faktörlerinin havayolu etkinliği ve sürdürülebilirliği üzerindeki etkisine odaklanırken, son çalışmalar sosyoekonomik ve çevresel faktörler gibi daha geniş faktörleri de dikkate almaktadır (Kim ve Son, 2021). Havacılığın çevresel etkisi, 1990'larda Küresel Sera Emisyonlarının yaklaşık %3,5 'inden 2025'e kadar %15-40'ına yükselmesi öngörülen havacılık CO<sub>2</sub> emisyonu artışı göz önüne alındığında özellikle dikkat çekmiştir (Gössling ve Peeters, 2007). Bu durum, havayolu operasyonlarının çevresel boyutuna ve bunun havayolu etkinliği ve sürdürülebilirliği üzerindeki etkisine yönelik kayda değer bir araştırma ilgisi yaratmıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak tez çalışmasının bu bölümünde literatürlerdeki mevcut araştırmalar dikkate alınarak havacılıkta enerji etkinliği ve sürdürülebilirlik üzerine geçmişten günümüze kadar olan bazı araştırmalara yer verilmiştir.

Tez çalışmasının bu bölümü aşağıdaki başlıklar altında özetlenerek tablolar halinde kısaca özetlenmiştir:

- Tablo 3.1. Havacılık sektöründe çevresel etkinlik
- Tablo 3.2. Havacılık sektöründe çevresel sürdürülebilirlik

**Tablo 3.1.** *Havacılık sektöründe çevresel etkinlik*

| Yazar (Yıl)         | Konusu                                                                                                                                                                      | Sonuçlar                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lu ve Morrell, 2006 | Havalimanı yakınında bulunan toplulukların nüfus yoğunluğunu da dahil ederek gürültünün sosyal maliyetini hesaplamak için bir sosyal maliyet tahmin yöntemi geliştirilmesi. | Çalışmada, motor operasyonlarından kaynaklanan gürültü kirliliği oluşumunu ölçmek için uçuş operasyonunun her aşamasında üretilen emisyonları birleştiren bir toplama denklemi kullanılmıştır. Gürültü etkisinin en fazla uçuşun taksi, kalkış ve iniş (TT&L) aşamalarında ortaya çıktığı tespit edilmiştir. |

**Tablo 3.1. (Devam) Havacılık sektöründe çevresel etkinlik**

| Yazar (Yıl)                       | Konusu                                                                                                                                                                                                                                                                  | Sonuçlar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Roskopf, Lehner ve Gollnick, 2014 | Farklı uçuş segmentlerindeki uçak tipleri ve emisyonlar gibi faktörleri dikkate alarak maliyet verileri, havayolu ağı bilgileri, işletme finansal kapasitesi ve azot oksit emisyonlarını (NO <sub>x</sub> ) içeren bir filo planlama optimizasyon modeli geliştirilmesi | Geliştirilen model, karşılaştırma için farklı emisyon hedefleri ve yakıt maliyetleri değişen seviyelerde belirlenerek, birden fazla yıllık bir zaman çerçevesinde filo varlık değerini maksimize etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, operasyonel ve çevresel hedeflere ulaşmak için yaşlı, daha az verimli uçakların daha yeni ve daha verimli olanlarla değiştirilmesi gerektiğini gösterirken, aynı zamanda uçak gürültüsü emisyonlarının azaltılmasıyla ilgili önemli maliyetlere de işaret etmiş ve bunun havayolunun mali performansı üzerinde daha fazla baskı oluşturabileceğini ortaya koymuştur |
| Warr ve Ayres, 2006               | Artırılmış üretim fonksiyonunu kullanarak enerji ile ilgili süreçlerdeki teknolojik ilerlemeyi etkin bir şekilde hesaba katarak açıklanması                                                                                                                             | Artırılmış üretim fonksiyonunu kullanarak, faydalı işi bir üretim faktörü olarak alan basit ama sağlam bir ekonomik tahmin modeli geliştirmiştir (REXS olarak adlandırılmıştır). Bu modelin 20. yüzyılın tamamı boyunca ABD ekonomisinde gözlemlenen ekonomik büyümeyi yeniden üretebildiği ve "optimal yörünge" olarak adlandırılan dışsal olarak yönlendirilen üstel büyüme varsayımını ortadan kaldırdığı gösterilmiştir.                                                                                                                                                                              |
| Warr vd., 2010                    | ABD, Avusturya ve Japonya'da enerjinin tedarik edilme ve ekonomik büyümeye katkıda bulunma şeklindeki geçişleri analiz etmek için geliştirilen toplumsal düzeyde bir ekserji analizi yaklaşımı sunulmaktadır.                                                           | Sonuçlar, her ülkede sanayileşme, kentleşme ve elektrifikasyon süreçlerinin ekserji ve faydalı iş arzında ve kişi başına düşen yoğunluklarda belirgin bir artışla karakterize edildiğini göstermektedir. Gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH)'nın ekserji yoğunluğunda ortak ve sürekli bir düşüş vardır. Ayrıca, incelenen her ülke için GSYİH'nın faydalı iş yoğunluğundaki artış eğilimi 1970'lerin başında ilk petrol kriziyle birlikte tersine dönmüştür                                                                                                                                               |

**Tablo 3.1. (Devam) Havacılık sektöründe çevresel etkinlik**

| Yazar (Yıl)     | Konusu                                                                                                                                                                                                                            | Sonuçlar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Li ve Cui, 2017 | 2020'den itibaren Karbon Nötr Büyüme stratejisinin (CNG2020 stratejisi) havayolu çevresel verimsizliği üzerindeki etkilerini, 2021-2023 döneminde 29 uluslararası havayolunun tahmin edilen verilerine dayanarak analiz edilmesi. | Ana bulgular şunlardır: 1. Garuda Indonesia 2021-2023 döneminde en büyük verimsizliğe sahipken, Singapur en iyi performansa sahip kıyaslama havayolu şirkettir. 2. Çoğu havayolu için CNG2020 stratejisinin verimlilik artışı üzerinde olumlu bir etkisi vardır. 3. İşletme giderlerinin azalması ve toplam gelirin uygulanabilir şekilde artması, verimsizliğin azalmasının ana nedenleridir. |

**Tablo 3.2. Havacılık sektöründe çevresel sürdürülebilirlik**

| Yazar (Yıl)                   | Konusu                                                                                                                                                             | Sonuçlar                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abdullah, Chew ve Hamid, 2016 | Geleceğin yeşil havacılık endüstrisi için temel başarı faktörlerinin tanımlanması                                                                                  | Havayolu performans ölçümlemlerini karşılaştırırken temel başarı faktörlerinin bir dereceye kadar anlaşılması gerektiğini göstermektedir. Yüksek performanslı yeşil havayollarının kıyaslanması yoluyla yeşil havayolu çerçevesi, gelecekteki yeşil havayolu endüstrisi için bir çözüm sunmaktadır.  |
| Amankwah-Amoah, 2020          | COVID-19 ile küresel havacılık sektöründe yeşil iş uygulamalarının (GBP), çevresel sürdürülebilirlik politikalarının gözden geçirilmesi.                           | Bazı havayolları ve sanayi kuruluşları, maliyet baskıları, hayatta kalma tehdidi ve çevresel sürdürülebilirlik girişimlerinin önceliğini kaybetmesi gibi yeni zorlukların üstesinden gelmek için çevre dostu taahhüt ve uygulamalardan kaçınmaya çalışmıştır.                                        |
| Lynes ve Dredge, 2006         | Havacılık sektöründe çevre taahhüdü: İskandinav Havayolları                                                                                                        | İskandinav Havayolları Sistemi'nden çevre yönetimi faktörlerini incelemektedir. Üst yönetim pozisyonlarındaki iç liderlik, çevre yönetiminde kilit bir rol oynamıştır. Havayolunun çevresel performansının olumlu sonuçlarını ele almışlardır.                                                       |
| Girardet ve Spinler, 2013     | Bugünkü değerlere ve satın alma seçeneklerine dayalı olarak kısa ve uzun mesafeli uçaklar için CO <sub>2</sub> maliyetlerinin finansal etkisinin değerlendirilmesi | Bir uçağın tipik kullanım ömrü boyunca CO <sub>2</sub> maliyetlerinin bugünkü değerler üzerindeki ortalama etkisi kısa mesafeli uçak için 1,1 milyon € ve uzun mesafeli uçak için 4,1 milyon €'dur. Uzun mesafeli uçaklar için CO <sub>2</sub> ve gazağı maliyetlerinin öneminin altını çizmektedir. |

**Tablo 3.2. (Devam) Havacılık sektöründe çevresel sürdürülebilirlik**

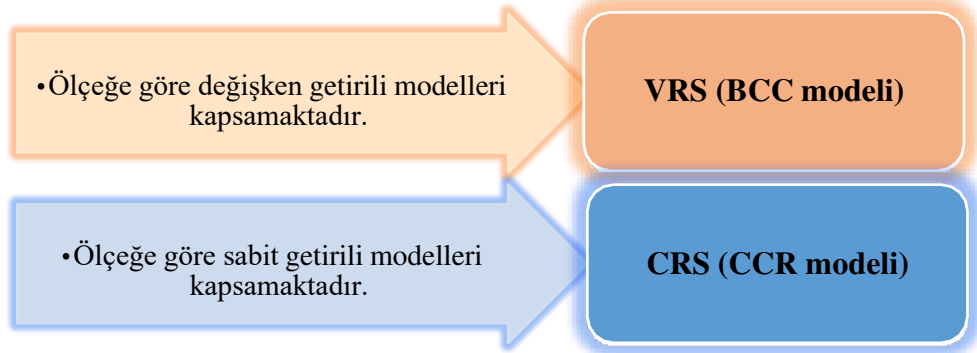
| Yazar (Yıl)                               | Konusu                                                                                                                             | Sonuçlar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kang ve Hansen, 2018                      | Sevkiyat görevlileri için yeni bir isteğe bağlı yakıt tahmin yaklaşımı önerme                                                      | Yeni isteğe bağlı yakıt tahmini yaklaşımının, mevcut yakıt yükleme uygulamasına kıyasla aynı güvenlik seviyesini korurken gereksiz isteğe bağlı yakıt yüklemesini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Brugnoli, Button ve Martini, Scotti, 2015 | Avrupa'da düşük CO <sub>2</sub> salımlı uçakları etkileyen ekonomik faktörler                                                      | Ürün farklılaştırması yoluyla pazar payı arayışında olan oligopolistik uçak ve aero motor endüstrilerinin birleşmesi, yakıt tasarruflu filo değişiminin temel itici gücüdür.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Brueckner ve Abreu, 2017                  | 1995-2015 dönemi boyunca bireysel ABD havayollarına ilişkin yıllık veriler                                                         | Tahmini yakıt fiyatı etkisi, optimal bir emisyon ücretinin emisyon etkisinin hesaplanmasını sağlar ve tahmini gecikme etkisi, uçuş gecikmelerinde endüstri çapında bir azalmanın emisyon etkisini gösterir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Tan vd., 2017                             | Türkiye'deki farklı ekonomik bölgelerde seyahat ve turizm endüstrisi (havayolları, kumarhaneler, oteller ve restoranlar) 2003-2014 | Çevresel performans (EP), toplam EP kullanıldığında finansal performansı olumlu yönde etkilemektedir. EP'nin bireysel boyutları dikkate alındığında, kaynak azaltımının havayolu endüstrisindeki performansı olumsuz etkilediği bulunmuştur.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Yan, Cui, ve Álvarez Gil, 2016            | 2000'den 2010'a Avrupa havayollarının CO <sub>2</sub> 'ye duyarlı verimliliğinin değerlendirilmesi                                 | Sonuçlar, havayollarının göreceli CO <sub>2</sub> emisyonlarının 2000'den 2010'a kadar azaldığını göstermektedir. Buna ek olarak, çevreye duyarlı verimlilik artışındaki ortalama verimlilik artışı, geleneksel verimlilik artışından daha düşüktür. Son olarak, yük faktöründeki gelişmelerin yanı sıra kademe uzunluğu ve uçak boyutundaki birleşik artış verimlilik değişimlerini olumlu yönde etkilerken, yakıt verimliliği yalnızca CO <sub>2</sub> 'ye duyarlı bir verimlilik ölçütü söz konusu olduğunda anlamlıdır. |

#### 4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Herhangi bir işletmenin hedefi, mal veya hizmet üretimini artırmak, maliyetleri azaltmak ve ardından makul bir yatırım getirisi ve olumlu rekabet avantajı elde etmektir. Bu hedeflere etkinliğin artırılmasıyla ulaşılabilir. Etkinlik, geniş anlamda, mal veya hizmet üretiminde mevcut kaynakların etkin kullanımı olarak tanımlanır (Kazemi ve Bagherieh-Mashhadi, 2014). Etkinliğin ölçümü ve analizi, birimlerin en iyi performansa ve üretim artışına ulaşmak için kaynakları nasıl kullanabileceğini gösterir. Etkinlik ölçüm modellerinden biri de VZA'dır. Bu yöntem Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından sunulmuştur (Stichhauerova ve Pelloneova, 2019). Veri Zarflama Analizi, şirketler, bankalar, havayolları ve havalimanları gibi çok girdili ve çok çıktılı karar verme birimlerinin (KVB) (decision-making units: DMU'lar) göreceli performansının etkinliğini ölçmek için doğrusal programlama tekniğine dayalı olarak oluşturulmuştur (Ramanathan, 2003). Oran ölçüldüğünde KVB'lerden herhangi biri sınırdan olabilir veya olmayabilir. Belirli bir KVB'nin fiili tahsisinden sınıra kadar olan mesafenin, KVB'ye özgü çeşitli faktörlerin neden olabileceği KVB'nin etkin olmadığını temsil ettiğine inanılmaktadır. Eğer KVB' nin etkinliği 1 ise teknik olarak etkin, eğer etkinlik 1'den küçükse teknik olarak etkin olmayan KVB olarak değerlendirilmektedir (Cui ve Li, 2016). VZA tekniğinde, standart performans olarak farklı birimlerin sınır etkinliğini belirleyen doğrusal programlama kullanılmaktadır. Daha sonra her birimin etkinliği bu standarda göre değerlendirilir ve her birimin puanı belirlenir. Ayrıca veri zarflama analizi kullanılarak girdi ve çıktıların optimal yapısını gösteren etkin olmayan havayollarının her biri için referans olarak şirket veya şirketlerin önerilmesi mümkün olabilmektedir.

Literatürde havacılıkta etkinlik etkinliğini analiz etmek için birçok ölçüm yöntemi ve modeli kullanılmıştır. Şekil 4.1'de VZA modelleri görülmektedir. Girdi seviyelerindeki değişiklikler nedeniyle çıktı seviyelerinde meydana gelebilecek olası değişiklik, Ölçeğe Göre Dönüş olarak tanımlanmaktadır. VZA' de en çok kullanılan modelleri ölçeğe göre getirilerinin niteliği ele alınarak sabit ve değişkenli olarak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Ölçeğe göre değişken getirili modeller VRS (Banker, Charnes ve Cooper: BCC) modeli ve ölçeğe göre sabit getirili modeller ise CRS (Charnes, Copper ve Rhodes: CCR) modeli olarak bilinmektedir. Saf teknik etkinliği tahmin eden, tarihsel olarak daha yeni olan BCC modelinin yazarları Banker, Charnes ve Cooper'dır (Chu Y., Yu ve Huang, 2010). Charnes, Copper ve Rhodes tarafından oluşturulan CCR modeli,

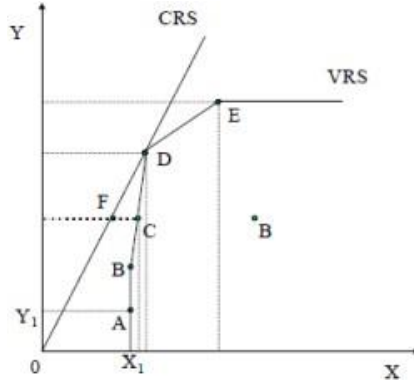
tamamen farklı iki bileşene ayrılabilen genel teknik etkinliği tahmin etmektedir (Stichhauerova ve Pelloneova, 2019).



Şekil 4.1. VZA ölçeğe göre sınıflandırması

#### 4.1. Ölçeğe Göre Sabit Getiri (Constant Returns to Scale: CRS) CCR Modeli

Ölçeğe göre sabit getiri (CRS), girdi seviyelerindeki belirli bir orandaki artışın, çıktı seviyelerinde de aynı oranda artışa yol açtığını göstermektedir. Örneğin, tek girdi kullanarak tek çıktı üreten bir firmayı düşünün, örneğin çalışan sayısı, o zaman çalışan sayısını iki katına çıkarırsak bu rakamın da iki katına çıkması beklenir. Matematiksel olarak eğer tüm girdiler  $k > 1$  miktarına göre ölçeklenirse, o zaman  $f(kx) = kf(x)$  olur. Şekil 4.1’de, girişler ve çıkışlar arasındaki doğrusal ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 4.2. CRS ve VRS skalası

Bunların yanı sıra, VZA modellerinin tüm varyasyonlarında,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  girişlerini  $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$  çıkışlarına dönüştürmede en iyi doğal etkinliğe sahip KVB’ler belirlenir ve ardından diğer tüm KVB’ler bu en etkin KVB’ye göre sıralanır. KVB 0 için temel VZA modeli (Charnes, Cooper ve Rhodes’tan sonra CCR olarak anılır) (Stichhauerova ve Pelloneova, 2019) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\begin{aligned}
\max h_0 &= \sum_r u_r y_{rj0} / \sum_i v_i x_{ij0} \\
\sum_r u_r y_{rj} / \sum_i v_i x_{ij} &\leq 1 \\
u_r, v_i &\geq 0
\end{aligned} \tag{4.1}$$

$u_r$  ve  $v_i$ 'nin yorumu bunların  $y_{rj}$  çıktılarına ve  $x_{ij}$  girdilerine uygulanan ağırlıklar olduğu ve KVB 0 için etkinlik puanını  $h_0$  maksimize edecek şekilde seçildiği şeklindedir. Kısıtlama, herhangi bir KVB için etkinlik puanını 1'den büyük olmayacak şekilde zorlamaktadır. Tüm veri noktalarını dışbükey bir gövdede saran bir etkinlik sınırı hesaplanmaktadır. Sınırdaki yer alan KVB (ler) 1,0'luk bir etkinlik seviyesini temsil eder ve sınırın içinde yer alanlar tam etkinlik seviyesinden daha düşük, yani 1,0'dan daha düşük bir etkinlik seviyesinde çalışmaktadır (Schaar ve Sherry 2008).

Yukarıdaki kesirli program, katılan her KVB için bir kez yürütülür ve sonuçta her KVB için optimal ağırlıklar belirlenmektedir. Problemi çözmeden önce amaç fonksiyonundaki payda kaldırılır ve yerine ek bir kısıtlama eklenir. Ayrıca kesirli programı doğrusal programa dönüştürmek için orijinal kısıtlama değiştirilmiştir. Bu iki adım aşağıdaki doğrusal programla sonuçlanmaktadır:

$$\begin{aligned}
\max h_0 &= \sum_r u_r y_{rj0} \\
\sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} &\leq 0 \\
\sum_i v_i x_{ij0} &= 1 \\
u_r, v_i &\geq 0
\end{aligned} \tag{4.2}$$

#### 4.2. Ölçeğe Göre Değişken Getirili (Variable Return to Scale: VRS) BCC Modeli

CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri varsayımı ile tasarlanmıştır. Bu, herhangi bir pozitif veya negatif ölçek ekonomisinin var olduğu varsayımının olmadığı anlamına gelmektedir. Küçük bir havalimanının büyük bir havalimanı kadar etkin çalışabilmesi, yani ölçeğe göre sabit getiri sağlaması gerektiği varsayılmaktadır. Bu duruma çözüm bulmak için Banker, Charnes ve Cooper BCC modelini geliştirmişlerdir (Chu, Yu ve Huang, 2010).

BCC modeli, BCC modelinin ikilisinde açıkça görüldüğü gibi standart CCR modeliyle yakından ilişkilidir:

$$\min (\theta, \lambda) = \theta$$

$$\theta x_0 - X\lambda = s^-$$

$$Y\lambda = y_0 + s^+$$

$$e\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0, s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \quad (4.3)$$

CCR modeliyle karşılaştırıldığında fark,  $e\lambda = 1$  dışbükeylik koşulunun getirilmesidir. Bu ek kısıtlama, sınırlara parçalı doğrusal ve içbükey özellikler vermektedir.

VZA-BCC modeli etkin olmayan teknik ve ölçekleri şu şekilde ayırt edebilmektedir:

- Verilen operasyon ölçeğinde saf teknik etkinlik etkinliğini tahmin etmekte,
- Model tahmini sırasında mevcut olan çeşitli artan, azalan ve ölçeğe göre sabit getiri tanımlamaktadır.

BCC modeli tarafından sağlanan etkinlik ölçüsü, saf teknik etkinlik olarak adlandırılmaktadır (Banker, Charnes ve Cooper, 1984). Ölçek etkinliği, CRS değerinin VRS değerine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Ölçeğe göre getirilerin doğası, optimum etkinlik seviyesinin büyüklüğüne bağlı olarak belirlenebilir (Kumar ve Gulati, 2008). Banker ve diğerlerinin (1996) yaklaşımı, ölçeğe dönüş analizlerinin etkinlik sınırında gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Banker vd., 1996; Banker vd., 2004).

#### 4.3. Slacks Tabanlı Ölçüm (Slacks-Based Measure: SBM) Modeli

Tone (2001)'de Slacks Tabanlı Ölçüm (SBM) modeli önerilmiştir. Bu modelin geliştirilmesindeki motivasyon hem CCR hem de BCC modellerinin etkinlik puanlarını hesaplarken, her ikisinin de girdi ve çıktılar için ortaya çıkan Slacks miktarını hesaba katamamasıdır. Tone'da (2001) belirtildiği gibi, SBM modeli birimlerle değişmez, eksikliklere göre monoton ve referans kümesine bağımlı özelliklerini karşılayabilmektedir ve SBM'nin eksikliklerinden birçok iyileştirme elde edilebilmektedir (Tone, 2001). Sonuç olarak, bu modelin amacı giriş ve çıkış Slacks'larını en aza indirmek ve bu kesirli programın çözülmesinden önce doğrusal bir programa dönüştürülmesini sağlamaktır. Tone (2001)'deki temel modelin etkinliği şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned}
\min \rho &= 1 - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{S_{-i}}{x_{i0}} / 1 + \frac{1}{N} \sum_{r=1}^N \frac{S_{+r}}{y_{r0}} \\
x_{i0} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_{-i}^{-} \quad i = 1, 2, \dots, M \\
y_{r0} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_{+r}^{+} \quad r = 1, 2, \dots, N \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
\lambda &\geq 0, s^{-} \geq 0, s^{+} \geq 0
\end{aligned} \tag{4.4}$$

n KVB'lerin sayısını,  $x_{ij}$  ve  $y_{rj}$  KVB'nin  $i$ 'inci girdisini ve  $r$ 'inci çıktısını  $j$  ( $j = 1; 2; \dots; n$ ),  $s_i^{-}$ ,  $s_r^{+}$   $i$ 'inci girdinin ve  $r$ 'inci çıktının slacks'ı,  $\lambda$  ağırlığı,  $N$  ve  $M$  sırasıyla çıkışların ve girişlerin sayısını temsil etmektedir.

Bu çalışmada, her havayolunun teknik ve ölçek etkinliği hakkında bilgi toplamak amacıyla etkinliği değerlendirmek için CRS ve VRS modelleri kullanılmıştır. CRS(CCR) ve VRS(BCC) modellerinden hesaplanan teknik etkinlikler ve ölçek etkinliği bu iki ölçüye bölünerek hesaplanmıştır.

## **5. YÖNTEM VE BULGULAR**

Tez çalışmasının bu bölümünde; araştırmanın amacı ve önemi, araştırmanın veri toplama yöntemi ve verilerin analizi ile elde edilen bulgular ve yorumları yer almaktadır.

### **5.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi**

Bu tez çalışmasında, havayollarının enerji etkinliği ve sürdürülebildik performansları karşılaştırılmış, kapsamlı bir veri toplama süreci yürütülmüştür. Araştırmada havayollarının yıllık raporlarından filo detayları incelenmiş ve geleneksel havayolları ve düşük maliyetli havayolları olarak iki ana kategoriye ayrılmıştır. Ek olarak, Amerika kıtasına ait 10 havayolu şirketinin, karbon emisyonu, yolcu kapasitesi, Yakıt tüketimi, Personel sayısı, Filo yaşı, Mil başına koltuk sayısı, Uçuş sayısı, Mil başına yolcu geliri gibi faktörler baz alınarak bunları enerji etkinliği ve sürdürülebilirliği açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Hava taşımacılığında performansı değerlendirmek için VZA'yı uygulayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatürdeki benzer çalışmalardan yararlanılarak ülkenin geleceğine önemli katkısı olan enerji etkinliğini, girdi ve çıktılarıdaki üretim ve tüketimler dikkate alınarak etkinlik analizi hesaplamasına yeni bir bakış açısı getirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca Kategorik VZA sonucunda benzer riske sahip olan ülkeler aynı kategoride değerlendirilerek daha homojen hale getirilen KVB'ler sonucunda elde edilen etkinlik değerleriyle, klasik VZA etkinlik değerleri karşılaştırılmak istenmiştir. Elde edilen bulguların istatistiksel anlamlılığı, bağımsız iki grup karşılaştırmasında kullanılan etkinlik skorları ile değerlendirilmiştir. Bu skorlar, VZA Frontier yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Amerika'da faaliyet gösteren 10 havayolu şirketi, teknik ve ölçek etkinliği hakkında bilgi toplamak amacıyla VZA analizinde yer alan BCC ve CCR modelleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Kullanılan modellerin görselleri EK 1'de sunulmuştur.

### **5.2. Araştırmanın Veri Toplama Yöntemi**

Bu tez çalışması için araştırılan veriler, güvenilirlik ve geniş kapsam sağlamak amacıyla birden fazla kaynaktan elde edilmiştir.

Ayrıca, karbon emisyonları yolcu kapasitesi ve mil oranlarının hesaplarını kıyaslamak amacıyla araştırma verilerinden yararlanılan 10 havayolu şirketinin ağ rotaları incelenerek EK 2-EK 11'de verilmiştir.

Çalışmanın konusu oluşturan havayolu şirketine ait verilerin kıyaslanması aşağıda başlıklar halinde listelenmiştir:

- Havayolu Yıllık Raporları: Filo sayısı, yaşı, filo detayları hakkında resmi veriler sağlar.
- Amerika Ulaştırma İstatistikleri Bürosu Web Sitesi: Amerika’da bulunan tüm havayollarının yakıt ve gelir istatistik değerlerini sunar.
- Havacılık Endüstrisi Veri Tabanları: Bu veri tabanları, yıllık raporunda içerisinde bulunan havayollarının operasyonel kategorileri (geleneksel ve düşük maliyetli) hakkında detaylı ve güncel bilgiler sunar.
- Çevresel Sürdürülebilirlik Raporları: Sürdürülebilirlik alanında yapılan girişimler ve performansları hakkında bilgiler içerir.
- Fronteir Analiz Uygulaması: Havayolu endüstrisinde operasyonel etkinliği, enerji tüketimini ve sürdürülebilirlik ölçütlerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan veri analiz programıdır. Frontier’de iki temel Veri Zarflama Analizi modeli kullanılmaktadır: Ölçeğe Göre Değişken Getiri (VRS) varsayımı yapan ve operasyon ölçeği sabit olmadığında Karar Verme Birimlerinin (KVB) etkinliğini değerlendiren BCC (Banker, Charnes, Cooper) modeli ve Ölçeğe Göre Sabit Getiri (CRS) varsayımı yapan ve KVB’lerin optimal ölçekte çalışması beklendiğinde genel teknik etkinliğini ölçen CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) modeli.

Bu çalışmada, her bir yapılan ölçüm ve karşılaştırma iki yönetime sahip olabilir:

- I. Mevcut verilen çıktı seviyelerini karşılarken girdileri en aza indirmeyi amaçlayan girdi odaklı model.
- II. Gözlemlenen girdi değerlerinden daha fazlasını gerektirmeden çıktıları en üst düzeye çıkarmaya çalışan çıktı odaklı model.

Dolayısıyla, oluşturulan modellerin etkinlik skorları iki farklı temel VZA modeli kullanılarak hesaplandı. Bu modeller etkinlik puanlarının, bir havalimanının mevcut girdi seviyeleri göz önüne alındığında tam etkinlikle çalışması halinde, mümkün olabilecek çıktı seviyesinin analiz edilmesiyle hesaplandığı anlamına gelmektedir. Böylece etkinlik skorları VZA Frontier yazılımının “Öğrenme Sürümü” kullanılarak hesaplanmıştır.

### **5.2.1. Havayolu kategorileri**

Bu çalışma, Amerika’da bulunan 10 havayolunun 2022 yılına ait yıllık şirket raporlarını içeren veriler kullanılmıştır. 2022 yılına ait olan dönemde, havayollarının şirket içi enerji tasarrufu ve diğer havayollarına kıyasla sürdürülebilirliği incelenmiştir. İncelenen raporlar sonrası havayollarının mevcut filo yapısı sürdürülebilirliği etkilediği

gözlemlenmiştir. Filonun düzenli olarak güncellenmesi ve yenilenmesi sürdürülebilirlik standartlarını koruyabilmektedir. Standartlara uyulmadığı durumlarda, oluşabilecek çevresel etkileride beraberinde getirmektedir. Çevresel etkiler kullanılan uçak tipine ortalama filo yaşına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Etki unsuru olarak gösterebileceğimiz maddelerden birisi de karbon emisyonlarıdır. Karbon emisyonları 10 havayolu şirketi için kritik öneme sahip olmasıyla birlikte, piyasadaki yerini etkilemiştir. Her havayolu için Tablo 5.1’de gösterildiği gibi, havayollarının yıllık raporlarında filo büyüklüğü, filo detayları ve ortalama filo yaşına ilişkin sayısal veriler listelenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda 10 havayolunun enerji etkinliği ve sürdürülebilir açıdan incelenmesi, önemli bir konu haline gelmiştir.

**Tablo 5.1.** Geleneksel ve düşük maliyetli havayollarının kıyaslanması (*Allegiant Air. (2022).*, *American Airlines. (2022).*, *Delta Airlines. (2022).*, *United Airlines. (2022).*, *Southwest Airlines. (2022).*, *Jetblue Airways. (2022).*, *Alaska Airlines. (2022).*, *Spirit Airlines. (2022).* *Annual Report.*, *Frontier Airlines. (2022)* ve *Hawaiian Airlines. (2022).*

| Havayolu           | Kategori        | Filo Detayları                                             | Filo Sayısı | Ortalama Filo Yaşı |
|--------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|
| American Airlines  | Geleneksel      | Boeing 777-200ER, 787-9/10, Airbus A321neo, 737 MAX 8, vb. | 970         | 12                 |
| Delta Airlines     | Geleneksel      | Airbus A220, A321neo, Boeing 737-800, 767-300ER, vb.       | 988         | 14                 |
| United Airlines    | Geleneksel      | Boeing 737-900, 787-10, Airbus A319, 777-200ER, vb.        | 961         | 16                 |
| Southwest Airlines | Düşük Maliyetli | Boeing 737-700, 737-800, 737 MAX 8                         | 770         | 12                 |
| JetBlue Airways    | Düşük Maliyetli | Airbus A320, A321neo, Embraer E190                         | 290         | 13                 |
| Alaska Airlines    | Geleneksel      | Boeing 737-900, Airbus A320, Embraer 175                   | 311         | 9                  |
| Spirit Airlines    | Düşük Maliyetli | Airbus A320 ailesi (A319, A320, A321)                      | 209         | 7                  |
| Frontier Airlines  | Düşük Maliyetli | Airbus A320 ailesi (A320, A321)                            | 149         | 4                  |
| Hawaiian Airlines  | Geleneksel      | Airbus A321neo, A330-200, Boeing 717-200, 787-9            | 66          | 11                 |
| Allegiant Air      | Düşük Maliyetli | Airbus A319, A320                                          | 121         | 15                 |

### 5.2.2. Havayolu emisyon değeri ve yakıt etkinliği

Bu bölümde, 10 havayolu şirketinin yolcu başına düşen emisyon değeri ve yakıt etkinliği incelenmiştir. Havayolu taşımacılığı, küresel karbon emisyonlarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında emisyon değerlendirilmesi ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi, havayolları açısından büyük önem taşımaktadır. Tablo 5.2’de havayolu şirketlerine ait yıllık toplam emisyon ve yolcu başına mil değeri bulunmaktadır. Havayollarının litre başına yolcu mil değerinin oranlanmasıyla elde edilen değerler Tablo 5.3’te görülmektedir. Tablo 5.3’e göre, United Airlines en etkin, Hawaiian Airlines ise en etkin olmayan havayolu olarak belirlenmiştir. Her bir havayolu şirketinin toplam emisyon değeri, yıllık yolcu mil değerine oranlanarak yolcu başına düşen emisyon değeri hesaplanmıştır. Tablo 5.4’te yer alan verilere göre, sırasıyla Frontier Airlines 0,07, Spirit Airlines 0,12, Alaska Airlines 0,13, Allegiant Air 0,141, United Airlines 0,147, Delta Airlines 0,148, Southwest Airlines 0,15, Hawaiian Airlines 0,154, JetBlue Airways 0,157 ve American Airlines için 0,18 değerleri elde edilmiştir. Tablo 5.4’e göre, yolcu başına düşen emisyon değeri açısından en etkin havayolu Frontier Airlines, en etkin olmayan havayolu ise American Airlines olmuştur.

Bu bilgiler ışığında, yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan emisyon değerleri içerisindeki en düşük emisyon değeri olan havayolu şirketi 0,07 ile Frontier Airlines olduğu gözlemlenirken, emisyon değeri en yüksek çıkan havayolu şirketi ise 0,18 ile American Airlines’dır. Ortaya çıkan bu emisyon değerlerini etkileyen faktörleri tablo 5.2 de yer alan verilerle kıyasladığımızda, yolcu başına düşen emisyon değeri en etkin havayolu şirketi Frontier Airlines’ın filo yaşının 4 olduğu görülmektedir. Buna dayanarak filo yaşının genç olması yolcu başına düşen emisyon değerini etkilediği gözlemlenmiştir. Diğer yandan 0,18 değeri ile en etkin olmayan havayolu şirketi olan American Airlines filo yaşı 14 olduğu gözlemlenmiştir. Fakat, filo yaşı 16 olan United Airlines’ın 0,14 emisyon değeri ile American Airlines’tan daha etkin olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar, filo yaşı gibi kriterlerin önemli olduğunu, ancak bu tür değerlendirmelerde tek başlarına yeterli bir karar verme birimi olmadıklarını göstermektedir.

**Tablo 5.2.** Havayolu şirketlerinin yıllık toplam emisyon ve yolcu başına mil değerleri (Allegiant Air. (2022)., American Airlines. (2022)., Delta Airlines. (2022)., United Airlines. (2022)., Southwest Airlines. (2022)., Jetblue Airways. (2022)., Alaska Airlines. (2022)., Spirit Airlines. (2022). Annual Report., Frontier Airlines. (2022) ve Hawaiian Airlines. (2022)).

| KVB                | Emisyon<br>(ton) | Yolcu mil   | Yolcu mil başına<br>emisyon (ton) | Yakıt etkinliği<br>(1Litre/Yolcu mil) |
|--------------------|------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| American Airlines  | 34.629.000       | 191.519.000 | 0,180812348                       | 5,22x10 <sup>-9</sup>                 |
| Delta Airlines     | 28.905.698       | 195.479.648 | 0,147870626                       | 5,11x10 <sup>-9</sup>                 |
| United Airlines    | 30.400.715       | 206.791.000 | 0,14701179                        | 4,84x10 <sup>-9</sup>                 |
| Southwest Airlines | 18.627.259       | 123.843.000 | 0,150410269                       | 8,07x10 <sup>-9</sup>                 |
| JetBlue Airways    | 8.291.103        | 52.552.000  | 0,157769504                       | 1,90x10 <sup>-8</sup>                 |
| Alaska Airlines    | 6.932.553        | 51.329.941  | 0,135058659                       | 1,95x10 <sup>-8</sup>                 |
| Spirit Airlines    | 5.063.813        | 39.775.253  | 0,127310642                       | 2,51 x10 <sup>-8</sup>                |
| Frontier Airlines  | 3.079.573        | 41.310.280  | 0,074547377                       | 2,42 x10 <sup>-8</sup>                |
| Hawaiian Airlines  | 2.304.897        | 14.932.750  | 0,154351811                       | 6,7 x10 <sup>-8</sup>                 |
| Allegiant Air      | 2.151.819        | 15.224.346  | 0,141340653                       | 6,57 x10 <sup>-8</sup>                |

**Tablo 5.3.** Havayollarının yakıt etkinliği (Allegiant Air. (2022)., American Airlines. (2022)., Delta Airlines. (2022)., United Airlines. (2022)., Southwest Airlines. (2022)., Jetblue Airways. (2022)., Alaska Airlines. (2022)., Spirit Airlines. (2022). Annual Report., Frontier Airlines. (2022) ve Hawaiian Airlines. (2022)).

| KVB                | Yakıt etkinliği (1Litre/Yolcu mil) |
|--------------------|------------------------------------|
| United Airlines    | 4,84x10 <sup>-9</sup>              |
| Delta Airlines     | 5,11x10 <sup>-9</sup>              |
| American Airlines  | 5,22x10 <sup>-9</sup>              |
| Southwest Airlines | 8,07x10 <sup>-9</sup>              |
| JetBlue Airways    | 1,90x10 <sup>-8</sup>              |
| Alaska Airlines    | 1,95x10 <sup>-8</sup>              |
| Frontier Airlines  | 2,42x10 <sup>-8</sup>              |
| Spirit Airlines    | 2,51x10 <sup>-8</sup>              |
| Allegiant Air      | 6,57x10 <sup>-8</sup>              |
| Hawaiian Airlines  | 6,7x10 <sup>-8</sup>               |

**Tablo 5.4.** Havayollarının yolcu mil başına emisyon değerleri (Allegiant Air. (2022)., American Airlines. (2022)., Delta Airlines. (2022)., United Airlines. (2022)., Southwest Airlines. (2022)., Jetblue Airways. (2022)., Alaska Airlines. (2022)., Spirit Airlines. (2022). Annual Report., Frontier Airlines. (2022) ve Hawaiian Airlines. (2022)).

| KVB               | Yolcu mil başına emisyon (ton) |
|-------------------|--------------------------------|
| Frontier Airlines | 0,074547377                    |
| Spirit Airlines   | 0,127310642                    |
| Alaska Airlines   | 0,135058659                    |
| Allegiant Air     | 0,141340653                    |
| United Airlines   | 0,14701179                     |
| Delta Airlines    | 0,147870626                    |

**Tablo 5.4. (Devam)** Havayollarının yolcu mil başına emisyon değerleri (*Allegiant Air. (2022).*, *American Airlines. (2022).*, *Delta Airlines. (2022).*, *United Airlines. (2022).*, *Southwest Airlines. (2022).*, *Jetblue Airways. (2022).*, *Alaska Airlines. (2022).*, *Spirit Airlines. (2022).* *Annual Report.*, *Frontier Airlines. (2022)* ve *Hawaiian Airlines. (2022).*

| KVB                | Yolcu mil başına emisyon (ton) |
|--------------------|--------------------------------|
| Southwest Airlines | 0,150410269                    |
| Hawaiian Airlines  | 0,154351811                    |
| JetBlue Airways    | 0,157769504                    |
| American Airlines  | 0,180812348                    |

### 5.3. Araştırma Verilerinin Analizi

Amerika kıtasında faaliyet gösteren 10 havayolunun 2022 yılına ait yıllık sürdürülebilirlik raporları ve Amerika Ulaştırma İstatistikleri Bürosu web sitesi verileri incelenmiştir. Her bir havayolu, karar verme birimini temsil etmekte olup, Tablo 5.5'te listelenmiştir. Bu çalışma, havayollarının etkinliğini yakıt tüketimi, personel sayısı, filo yaşı, hizmet verilen yolcu sayısı, mil başına koltuk sayısı, uçak sayısı ve mil başına yolcu geliri gibi kriterlerle ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, Tablo 5.6'da yer alan girdi ve çıktı analiz setleri seçilmiştir. Seçilen veriler doğrultusunda, karar birimlerinin girdilerindeki artış veya azalışın çıktıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu etkilerin, ölçeğe göre sabit getiri (girdilerdeki değişimin çıktıları aynı oranda ve yönde etkilemesi) veya ölçeğe göre değişken getiri (girdilerdeki değişimin çıktıları daha az veya daha fazla etkilemesi) olup olmadığı değerlendirilmiştir. Ayrıca, karar birimlerinin girdilerini en etkin şekilde kullanarak teknik etkinlik ölçülmüştür.

**Tablo 5.5. Karar verme birimleri (KVB)**

| Karar Verme Birimleri |
|-----------------------|
| American Airlines     |
| Delta Airlines        |
| United Airlines       |
| Southwest Airlines    |
| Jetblue Airways       |
| Alaska Airlines       |
| Spirit Airlines       |
| Frontier Airlines     |
| Hawaiian Airlines     |
| Allegiant Air         |

**Tablo 5.6. Girdiler/Çıktılar**

| Girdi           | Çıktı                    |
|-----------------|--------------------------|
| Yakıt tüketimi  | Yolcu sayısı             |
| Personel sayısı | Mil başına koltuk sayısı |
| Filo yaşı       | Uçuş sayısı              |
|                 | Mil başına yolcu geliri  |

**Tablo 5.7. Havayollarının veri zarflama analizine göre girdi değerleri (Allegiant Air. (2022)., American Airlines. (2022)., Delta Airlines. (2022)., United Airlines. (2022)., Southwest Airlines. (2022)., Jetblue Airways. (2022)., Alaska Airlines. (2022)., Spirit Airlines. (2022). Annual Report., Frontier Airlines. (2022) ve Hawaiian Airlines. (2022)).**

| Girdi              |                           |                 |           |
|--------------------|---------------------------|-----------------|-----------|
| KVB                | Yakıt tüketimi<br>(Litre) | Personel sayısı | Filo yaşı |
| American Airlines  | 12.062.933                | 134.655         | 12        |
| Delta Airlines     | 11.370.638                | 90.000          | 14        |
| United Airlines    | 11.892.242                | 92.795          | 16        |
| Southwest Airlines | 7.275.069                 | 66.656          | 12        |
| Jetblue Airways    | 3.182.986                 | 54.970          | 13        |
| Alaska Airlines    | 2.447.018                 | 22.830          | 9         |
| Spirit Airlines    | 1.996.013                 | 12.025          | 7         |
| Frontier Airlines  | 1.181.627                 | 6.470           | 4         |
| Hawaiian Airlines  | 905.587                   | 7.108           | 11        |
| Allegiant Air      | 827.513                   | 5.315           | 15        |

**Tablo 5.8. Havayollarının veri zarflama analizine göre çıktı değerleri (Allegiant Air. (2022)., American Airlines. (2022)., Delta Airlines. (2022)., United Airlines. (2022)., Southwest Airlines. (2022)., Jetblue Airways. (2022)., Alaska Airlines. (2022)., Spirit Airlines. (2022). Annual Report., Frontier Airlines. (2022) ve Hawaiian Airlines. (2022)).**

| Çıktı              |              |                             |             |                                            |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------------------|
| KVB                | Yolcu sayısı | Mil başına<br>koltuk sayısı | Uçuş sayısı | Mil başına yolcu<br>geliri (ABD<br>doları) |
| American Airlines  | 199.000.000  | 229.922.000                 | 1.600.000   | 191.519.000                                |
| Delta Airlines     | 177.000.000  | 233.225.463                 | 1.578.625   | 195.479.648                                |
| United Airlines    | 144.300.000  | 247.858.000                 | 1.415.186   | 206.791.000                                |
| Southwest Airlines | 126.586.000  | 148.467.000                 | 1.066.934   | 123.843.000                                |
| Jetblue Airways    | 39.562.000   | 64.475.000                  | 332.596     | 52.552.000                                 |

**Tablo 5.8. (Devam)** Havayollarının veri zarflama analizine göre çıktı değerleri (*Allegiant Air. (2022).*, *American Airlines. (2022).*, *Delta Airlines. (2022).*, *United Airlines. (2022).*, *Southwest Airlines. (2022).*, *Jetblue Airways. (2022).*, *Alaska Airlines. (2022).*, *Spirit Airlines. (2022).* *Annual Report.*, *Frontier Airlines. (2022)* ve *Hawaiian Airlines. (2022).*

| Çıktı             |              |                             |             |                                            |
|-------------------|--------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------------------|
| KVB               | Yolcu sayısı | Mil başına<br>koltuk sayısı | Uçuş sayısı | Mil başına yolcu<br>geliri (ABD<br>doları) |
| Alaska Airlines   | 41.500.000   | 60.772.881                  | 404.000     | 51.329.941                                 |
| Spirit Airlines   | 38.410.000   | 48.567.978                  | 266.815     | 39.775.253                                 |
| Frontier Airlines | 25.450.000   | 31.745.816                  | 165.447     | 41.310.280                                 |
| Hawaiian Airlines | 9.400.000    | 18.684.642                  | 77.011      | 14.932.750                                 |
| Allegiant Air     | 16.630.138   | 18.418.999                  | 118.069     | 15.224.346                                 |

**Tablo 5.9. CRS Analiz Sonuçları**

| Havayolları        | Etkinlik | Etkinlik Skoru |
|--------------------|----------|----------------|
| American Airlines  | 1,000    | 100,0%         |
| Delta Airlines     | 1,000    | 100,0%         |
| United Airlines    | 1,000    | 100,0%         |
| Southwest Airlines | 1,000    | 100,0%         |
| JetBlue Airways    | 0,754    | 75,40%         |
| Alaska Airlines    | 1,000    | 100,0%         |
| Spirit Airlines    | 0,931    | 93,10%         |
| Frontier Airlines  | 1,000    | 100,0%         |
| Hawaiian Airlines  | 0,768    | 76,80%         |
| Allegiant Air      | 0,980    | 98,80%         |
| Ortalama           | 0,943    | 94,30%         |

**Tablo 5.10. VRS Analiz Sonuçları**

| Havayolları        | Etkinlik | Etkinlik Skoru |
|--------------------|----------|----------------|
| American Airlines  | 1,000    | 100,0%         |
| Delta Airlines     | 1,000    | 100,0%         |
| United Airlines    | 1,000    | 100,0%         |
| Southwest Airlines | 1,000    | 100,0%         |
| JetBlue Airways    | 0,856    | 85,60%         |
| Alaska Airlines    | 1,000    | 100,0%         |
| Spirit Airlines    | 1,000    | 100,0%         |
| Frontier Airlines  | 1,000    | 100,0%         |
| Hawaiian Airlines  | 1,000    | 100,0%         |
| Allegiant Air      | 1,000    | 100,0%         |
| Ortalama           | 0,985    | 98,50%         |

**Tablo 5.11. VZA Sonuçlar**

| Havayolları        | CRS   | VRS   | Ölçek Etkinliği<br>(SE) | Artan Getiri Ölçeği (IRS)-<br>Azalan Getiri Ölçeği (DRS) |
|--------------------|-------|-------|-------------------------|----------------------------------------------------------|
| American Airlines  | 1,000 | 1,000 | 1,000                   | -                                                        |
| Delta Airlines     | 1,000 | 1,000 | 1,000                   | -                                                        |
| United Airlines    | 1,000 | 1,000 | 1,000                   | -                                                        |
| Southwest Airlines | 1,000 | 1,000 | 1,000                   | -                                                        |
| JetBlue Airways    | 0,754 | 0,856 | 0,880                   | IRS                                                      |
| Alaska Airlines    | 1,000 | 1,000 | 1,000                   | -                                                        |
| Spirit Airlines    | 0,931 | 1,000 | 0,931                   | DRS                                                      |
| Frontier Airlines  | 1,000 | 1,000 | 1,000                   | -                                                        |
| Hawaiian Airlines  | 0,768 | 1,000 | 0,768                   | DRS                                                      |
| Allegiant Air      | 0,980 | 1,000 | 0,980                   | DRS                                                      |
| Ortalama           | 0,943 | 0,985 | 0,955                   | -                                                        |

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava taşımacılığı endüstrisi, çeşitli disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından her ülkenin kültürel, politik ve ekonomik etkilerinin bir sonucu olarak görülmüştür. Bu bağlamda, en önemli çalışma alanlarından biri sürdürülebilirlik ve havayolu şirketlerinin etkinliğinin ölçülmesidir. Etkinlik, bir firmanın ürün ve hizmetlerini, üretim maliyetine eşdeğer veya daha yüksek bir fiyattan satma yeteneğini ifade eder. Bu durum, havayolu şirketlerinin rekabet gücünü artırabilir ve iç ve dış kaynaklar aracılığıyla hizmetlerin ve pazarların geliştirilmesi için gerekli sermayeye daha geniş bir erişim sağlayabilir. Bu nedenle, havayolu şirketlerinin etkinliğinin önemi göz önünde bulundurularak, bu çalışmada ABD bölgesindeki 10 havayolu şirketinin göreceli etkinliği değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasındaki araştırma verilerine dayanarak, 2022 yılına ait ABD’de bulunan havayolu şirketlerinin operasyonel etkinlikleri, Veri Zarflama Analizi (VZA) modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz, CRS, VRS ve SE (Ölçek Etkinliği) gibi ölçütlerin yanı sıra, operasyonel ölçeklerin uygunluğunu belirten IRS (Ölçeğe Göre Artan Getiri) ve DRS (Ölçeğe Göre Azalan Getiri) gibi ölçütlere odaklanılmıştır.

Tablo 5.9-5.11’de verilen CRS modellerine göre, American Airlines, Delta Airlines, United Airlines, Southwest Airlines, Alaska Airlines, Frontier Airlines gibi 6 havayolunun etkin olduğunu göstermektedir. VRS modeline göre ise, American Airlines, Delta Airlines, United Airlines, Southwest Airlines, Alaska Airlines, Frontier Airlines, Spirit Airlines, Hawaiian Airlines ve Allegiant Air gibi 9 havayolu şirketi optimal seviyededir. CRS modelinde JetBlue Airways, Spirit Airlines, Hawaiian Airlines ve Allegiant Air en düşük Etkinlik skoruna sahipken, VRS modelinde yalnızca JetBlue Airways etkin olmayan olarak tespit edilmiştir.

Buna karşılık, JetBlue Airways’in CRS değeri 0,754, VRS değeri 0,856 ve SE değeri 0,880 oranında artarak IRS (Ölçeğe Göre Artan Getiri) altında yer almaktadır. CRS değeri VRS değerinden küçükse, bu durum artan getiri ölçeğini (IRS) işaret eder. Çünkü, değişken ölçekli etkinlik (VRS) sabit ölçekli etkinlikten (CRS) daha yüksek olduğunda, ölçek büyüdükçe etkinlik artmaktadır. Bu durum, operasyonel ölçeğin büyümesiyle JetBlue’nun etkinliğini potansiyel olarak artırabileceğini göstermektedir. CRS değeri 0,931, VRS ve SE değeri 1,000 olan ancak DRS (Ölçeğe Göre Azalan Getiri) altında kategorize edilen Spirit Havayolları, operasyonel ölçeğini küçülterek etkinliğini

artırılabilir. Benzer şekilde, Allegiant Air, CRS değeri 0,980, VRS değeri 1,00 ve SE değeri 0,980 oranında düşerek DRS altında yer almaktadır. Yine, DRS değerinin altında yer alan Hawaiian Havayolları'nın CRS değeri 0,768, VRS puanı 1,000 ve SE değeri 0,768 olup, mevcut ölçeğinin optimum performans için gerekenden daha büyük olduğunu göstermiştir. Yani, ölçek büyüdükçe etkinlik azalır ve birim başına düşen maliyet artar. Bu durum, 3 havayolu şirketinin daha büyük ölçeklerde üretim yapmasının maliyetli hale geldiğini gösterir.

Havayolları genelinde ortalama genel etkinlik puanları CRS için 0,943, VRS için 0,985 ve SE için 0,955 olarak yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Bu bulgular, JetBlue, Spirit, Allegiant ve Hawaiian gibi bağımsız havayollarının operasyonel ölçeklerini ayarlamalarının faydalı olacağını göstermektedir. Böylece, havayolu endüstrisinde genel olarak etkin bir operasyonel performans sağlanmış olacaktır. Ayrıca, yüksek operasyonel etkinlik ile düşük karbon emisyonları arasında belirgin bir bağlantı olduğu belirtilerek hem ekonomik performans hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından etkin kaynak kullanımının önemi vurgulanmıştır.

JetBlue Airways, Allegiant Air, Spirit Airlines ve Hawaiian Airlines'ın IRS ve DRS durumlarını optimize etmek için operasyonel ölçeklerinin ayarlanması önerilmektedir. Bu 4 havayolu işletmesinin etkinliğini artırmak amacıyla operasyonel ölçeklerinin azaltılması ve daha geniş havayolu endüstrisinin hem operasyonel etkinliği artıran hem de çevresel etkileri azaltan teknolojilere yatırım yapmaya devam etmesi teşvik edilmektedir. Etkinliği artırmak için önerilen bu tedbirler, havayolu endüstrisinin sürdürülebilir büyümesine katkıda bulunacaktır.

Sonuç olarak, 2022 havayolu verilerinin bu VZA analizi, sektör genelinde yüksek etkinlik seviyelerini ve ölçek ayarlamaları yoluyla iyileştirme için belirli fırsatları ortaya koyulmuştur. Bu düzenlemeler, teknolojik iyileştirmelerle birlikte, sektörün ekonomik sağlığını korumak ve çevresel yönetimini geliştirmek için önemli olacağı düşünülmektedir. Böylece, havayolu endüstrisinde genel olarak etkin bir operasyonel performans sağlanmış olacaktır. Yüksek operasyonel etkinlik ile düşük karbon emisyonları arasında belirgin bir bağlantı olduğu belirtilerek hem ekonomik performans hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından etkin kaynak kullanımının önemi vurgulanmıştır. Tez çalışmasındaki, havayolları şirketlerinin karşılaştırılması yapıldığında: American Airlines, Delta Airlines ve United Airlines gibi büyük havayolu

şirketleri, yüksek operasyonel etkinlikleri sayesinde daha düşük karbon emisyonları ve enerji tüketimi ile öne çıkmaktadır. Buna karşılık, etkinliklerin artırılması için JetBlue Airways ve Hawaiian Airlines gibi daha küçük ölçekli olan havayolu şirketleri, operasyonel etkinliğini artırarak sürdürülebilirlik performanslarını iyileştirebilirler. Bu bağlamda, havayolu şirketlerinin operasyonel ölçeklerini optimize etmeleri hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Elde edilen analiz çalışmaları 2022 yılına ait olup, havayollarının gelecek yıllardaki enerji ve sürdürülebilirlik çalışmaları için yol göstermesi beklenmektedir.



## KAYNAKÇA

- Abdullah, M. A., Chew, B. C., and Hamid, S. R. (2016). Benchmarking key success factors for the future green airline industry. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 224, 246-253.
- Airlines for America, (2021). A4A Climate Change Commitment and Flight Path. Available at: Climate-Change-Commitment-Flight-Path-to-Net-Zero-FINAL-3-30-21. pdf (Accessed August 16, 2021). <https://airlines.org/wp-content/uploads/2021/05/A4A>
- Aksoy, T., Yüksel, S., Dınçer, H., Hacıoglu, U., and Maialeh, R. (2022). Complex fuzzy assessment of green flight activity investments for sustainable aviation industry. *IEEE Access*, 10, 127297-127312.
- Alameeri, A., Ajmal, M. M., Hussain, M., and Helo, P. T. (2017). Sustainability practices in the aviation sector: a study of UAE-based airlines, *International Journal of Sustainable Society*, vol. 9, no. 2, pp. 119-147.
- Ali, N. S. Y., Yu, C., and See, K. F. (2021). Four decades of airline productivity and efficiency studies: A review and bibliometric analysis. *Journal of Air Transport Management*, 96, 102099.
- Alsarayreh, M. M., AlSuwaidi, M. F., Sharif, R. A., and Kutty, A. A. (2020). The Factors Affecting CO2 Emission in the European Union Countries: A Statistical Approach to Sustainability across the Food Industry, 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), IEEE, April 16-21.
- Amankwah-Amoah, J. (2020). Stepping up and stepping out of COVID-19: New challenges for environmental sustainability policies in the global airline industry. *Journal of Cleaner Production*, 271, 123000.
- Anger, A., and Köhler, J. (2010). Including aviation emissions in the EU ETS: much ado about nothing? A review. *Transport Policy* 17 (1), 38–46.
- Anger, A., and Köhler, J. (2010). Including aviation emissions in the EU ETS: Much ado about nothing? A review. *Transport policy*, 17(1), 38-46.
- ANNUAL REVIEW, (2012), [www.iata.org](http://www.iata.org) Erişim tarihi: 05.07.2024, s.30
- Arampatzi, E. (2018). Data Envelopment Analysis On Airports. Department of Economic Sciences MSc. Logistics & Supply Chain Management, Thessaloniki, March 2018
- Ares, E. (2012). EU ETS and Aviation. House of Commons Library, London.
- Arjomandi, A., and Seufert, J.H. (2014). An evaluation of the world's major airlines' technical and environmental performance. *Economic Modelling*, 41 (41), 133–144.
- Associated Press, (2005), January 9. Increasing productivity a necessity for airlines. *Deseret News*. Retrieved from. <https://www.deseret.com/2005/1/9/19870640/increasing-productivity-a-necessity-for-airlines>.

- Babikian, R., Lukachko, S. P., and Waitz, I. A. (2002). The historical fuel efficiency characteristics of regional aircraft from technological, operational, and cost perspectives. *Journal of Air Transport Management*, 8(6), 389-400.
- Babikian, R., Lukachko, S.P., and Waitz, I.A. (2002). The historical fuel efficiency characteristics of regional aircraft from technological, operational, and cost perspectives. *Journal of Air Transport Management*, 8 (6), 389–400.
- Banker, R. D., Bardhan, I., and Cooper, W. W. (1996). A note on returns to scale in DEA. *European journal of operational research*, 88(3), 583-585.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.
- Banker, R. D., Cooper, W. W., Seiford, L. M., Thrall, R. M., and Zhu, J. (2004). Returns to scale in different DEA models. *European Journal of Operational Research*, 154(2), 345-362.
- Barke, A., Bley, T., Thies, C., Weckenborg, C., and Spengler, T. S. (2022). Are sustainable aviation fuels a viable option for decarbonizing air transport in Europe? An environmental and economic sustainability assessment. *Applied Sciences*, 12(2), 597.
- Behnisch, F., Höhne, C. C., Manas, L., Rosenberg, P., and Henning, F. (2022). Flame retardant investigations on carbon fibre-reinforced polyurethane resin parts for aircraft applications produced by wet compression moulding. *Fire and materials*, 46(1), 181-191.
- Bian, Y., Liang, N., and Xu, H. (2015). Efficiency evaluation of Chinese regional industrial systems with undesirable factors using a two-stage slacks-based measure approach. *Journal of Cleaner Production*, 87, 348–356.
- Brueckner, J. K., and Abreu, C. (2017). Airline fuel usage and carbon emissions: Determining factors. *Journal of Air Transport Management*, 62, 10-17.
- Brugnoli, A., Button, K., Martini, G., and Scotti, D. (2015). Economic factors affecting the registration of lower CO2 emitting aircraft in Europe. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 38, 117-124.
- Bruning, E. R. (1991). Market liberalization and operating efficiency in the international aviation industry. *International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti*, 259-274.
- Caves, D. W., Christensen, L. R., & Tretheway, M. W. (1984). Economies of density versus economies of scale: why trunk and local service airline costs differ. *The RAND Journal of Economics*, 471-489.
- Caves, D.W., Christensen, L.R., Tretheway, M.W., (1982). Airline productivity under deregulation. *Regulation* 6 (6), 25–28.
- Chandler, D. L. (2010). Explained: radiative forcing. MIT News, URL: <http://newsoffice.mit.edu/2010/explained-radforce-0309>, abgerufen am, 19, 2015.

- Chang, Y. T. (2017). Environmental efficiency of ports: a data envelopment analysis approach. In *Ports and the Environment* (pp. 77-88). Routledge.
- Chang, Y.T., Park, H.S., Jeong, J.B., Lee, and J.W. (2014). Evaluating economic and environmental efficiency of global airlines: a SBM-DEA approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 27, 46–50
- Chao, H., Agusdinata, D.B., DeLaurentis, D., and Stechel, E.B. (2019). Carbon offsetting and reduction scheme with sustainable aviation fuel options: Fleet-level carbon emissions impacts for US airlines, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 75, pp. 42-56,
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1979). Measuring the efficiency of decision-making units. *European journal of operational research*, 3(4), 339.
- Chiou, Y.C., and Chen, Y.H. (2006). Route-based performance evaluation of Taiwanese domestic airlines using data envelopment analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42 (2), 116–127.
- Chu, Y. C., Yu, J., and Huang, Y. B. (2010, October). Measuring airport production efficiency based on two-stage correlative DEA. In *2010 IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 660-664). IEEE.
- Cui, Q., and Li, X. Y. (2021). Which airline should undertake a large emission reduction allocation proportion under the "carbon neutral growth from 2020" strategy? An empirical study with 27 global airlines. *Journal of cleaner production*, 279, 123745.
- Cui, Q., and Li, Y. (2015). Evaluating energy efficiency for airlines: An application of VFB-DEA. *Journal of Air Transport Management*, 44, 34-41.
- Cui, Q., and Li, Y. (2015). Evaluating energy efficiency for airlines: an application of VFB-DEA. *Journal of Air Transport Management*, 44–45, 34–41.
- Cui, Q., and Li, Y. (2016). Airline energy efficiency measures considering carbon abatement: A new strategic framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, 246-258.
- Cui, Q., and Li, Y. (2016). Airline energy efficiency measures considering carbon abatement: A new strategic framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, 246-258.
- Cui, Q., Kuang, H. B., Wu, C. Y., and Li, Y. (2014). The changing trend and influencing factors of energy efficiency: the case of nine countries. *Energy*, 64, 1026-1034.
- Cui, Q., Li, Y., Yu, C. L., and Wei, Y. M. (2016). Evaluating energy efficiency for airlines: an application of virtual frontier dynamic slacks based measure. *Energy*, 113, 1231-1240.
- Cui, Q., Li, Y., Yu, C.L., and Wei, Y.M. (2016). Evaluating energy efficiency for airlines: an application of Virtual Frontier Dynamic Slacks Based Measure. *Energy* 113, 1231–1240.

- Cui, Q., Wei, Y. M., Yu, C. L., and Li, Y. (2016). Measuring the energy efficiency for airlines under the pressure of being included into the EU ETS. *Journal of Advanced Transportation*, 50(8), 1630-1649.
- Danish, A., Mosaberpanah, M. A., Salim, M. U., Amran, M., Fediuk, R., Ozbakkaloglu, T., and Rashid, M. F. (2022). Utilization of recycled carbon fiber reinforced polymer in cementitious composites: A critical review. *Journal of Building Engineering*, 53, 104583.
- Distexhe, V., and Perelman, S. (1994). Technical efficiency and productivity growth in an era of deregulation: the case of airlines. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 130(4), 669-689.
- Doğan, M. A., Doğan, E. M., and Eren, M. (2024). Comparative Network Efficiency Analysis of the Airlines in Turkey After Deregulation. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 9(1), 185-218.
- Duygun, M., Prior, D., Shaban, M., and Tortosa-Ausina, E. (2016). Disentangling the European airlines efficiency puzzle: A network data envelopment analysis approach. *Omega*, 60, 2-14.
- Elhmoud, E. R., Kutty, A. A., Abdalla, G. M., Kucukvar, M., Bulak, M. E., and Elkharaz, J. M. (2021, March). Eco-efficiency performance of airlines in eastern Asia: A principal component analysis based sustainability assessment. In *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Singapore (pp. 7-11).
- EU Climate Action, (2020) Reducing emissions from aviation, Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en), European Commission.
- Fageda, X., and Teixidó, J. J. (2022). Pricing carbon in the aviation sector: Evidence from the European emissions trading system. *Journal of Environmental Economics and Management*, 111, 102591.
- Federal Aviation Administration, (2005). *Aviation and Emission a Primer*. Office Environment and Energy.
- Forsyth, P. (2001). Total factor productivity in Australian domestic aviation. *Transport policy*, 8(3), 201-207.
- Frey, H. C., and Kuo, P. (2007, May). Assessment of potential reduction in greenhouse gas (GHG) emissions in freight transportation. In *Emission Inventory Conference*, US (pp. 15-17).
- Fu, X., Oum, T.H., (2014). Air transport liberalization and its effects on airline competition and traffic growth—an overview. In: Peoples, J. (Ed.), *The Economics of International Airline Transport*. Emerald Group Publishing Limited, Bingley, pp. 11–44.
- Girardet, D., and Spinler, S. (2013). Does the aviation Emission Trading System influence the financial evaluation of new airplanes? An assessment of present values and purchase options. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 20, 30-39.

- Gössling, S., and Peeters, P. (2007). 'It does not harm the environment!' An analysis of industry discourses on tourism, air travel and the environment. *Journal of Sustainable Tourism*, 15(4), 402-417.
- Gramani, M.C.N. (2012). Efficiency decomposition approach: a cross-country airline analysis. *Expert Systems with Applications*, 39 (5), 5815–5819.
- Greer, M. (2009). Is it the labor unions' fault? Dissecting the causes of the impaired technical efficiencies of the legacy carriers in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(9-10), 779-789.
- Greer, M. R. (2008). Nothing focuses the mind on productivity quite like the fear of liquidation: Changes in airline productivity in the United States, 2000–2004. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(2), 414-426.
- Hampf, B. (2014). Separating environmental efficiency into production and abatement efficiency: a nonparametric model with application to US power plants. *Journal of Productivity Analysis*, 41, 457-473.
- Hedberg, A., and Šipka, S. (2021). Toward a circular economy: The role of digitalization. *One Earth*, 4(6), 783-785.
- Hendrickson, C., Cicas, G., and Matthews, H. S. (2006). Transportation sector and supply chain performance and sustainability. *Transportation Research Record*, 1983(1), 151-157.
- Holladay, J. E., Male, J. L., Rousseau, R., and Weber, R. S. (2020). Synthesizing clean transportation fuels from CO<sub>2</sub> will at least quintuple the demand for non-carbogenic electricity in the United States. *Energy & Fuels*, 34(12), 15433-15442.
- Howe, S., Kolios, A. J., and Brennan, F. P. (2013). Environmental life cycle assessment of commercial passenger jet airliners. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 19, 34-41.
- Hu, Y. J., Yang, L., Cui, H., Wang, H., Li, C., and Tang, B. J. (2022). Strategies to mitigate carbon emissions for sustainable aviation: A critical review from a life-cycle perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 788-808.
- IATA, (2009). Working towards Ambitious Targets. Available at: <https://www.iata.org/en/programs/environment/climate-change/> (Accessed August 4, 2021).
- IATA, (20149). <<http://www.iata.org/Pages/default.aspx>>.
- International Air Transport Association, (2015). <http://www.iata.org/Pages/default.aspx>.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), (2012) .Flightpath to a sustainable future: the Rio+20 global fuel initiative, Available: <http://www.icao.int>,
- International Council on Clean Transportation, (2019). CO<sub>2</sub> Emissions from Commercial Aviation 2018. Available at: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_CO2-commercl-aviation-2018\\_20190918.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_CO2-commercl-aviation-2018_20190918.pdf).
- Jardine, C. N. (2009). Calculating the carbon dioxide emissions of flights. University.
- Kamga, C., and Yazici, M. A. (2014). Achieving environmental sustainability beyond technological improvements: Potential role of high-speed rail in the United States

- of America. Transportation research part D: Transport and environment, 31, 148-164.
- Kang, L., and Hansen, M. (2018). Improving airline fuel efficiency via fuel burn prediction and uncertainty estimation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 97, 128-146.
- Karstadt, M., and Callaghan, B. (1993). The Plain English Guide to the Clean Air Act. Environmental Protection Agency.
- Kavacık, M., Zafer, S., Yıldız, A., and Karaman, D. (2012). Sustainable development in aviation industry and the case of Turkish airlines. Journal of animal and veterinary advances, 9(3), 547-550.
- Kazemi, M., and Bagherieh-Mashhadi, A. (2014, December). A Comparative Analysis Of Airlines Efficiency: Evidence From Middle East And North Africa. In Advances in Business-Related Scientific Research Conference.
- Kim, H., and Son, J. (2021). Analyzing the environmental efficiency of global airlines by continent for sustainability. Sustainability, 13(3), 1571.
- Kucukvar, M., Haider, M. A., and Onat, N. C. (2017) Exploring the material footprints of national electricity production scenarios until 2050: the case for Turkey and UK, Resources Conservation and Recycling, vol. 125, pp. 251-263.
- Kumar, S., and Gulati, R. (2008). An examination of technical, pure technical, and scale efficiencies in Indian public sector banks using data envelopment analysis. Eurasian Journal of Business and Economics, 1(2), 33-69.
- Kundak, S., and Aktop, V. S. (2018). Türkiye Ekonomisinde Havayolu Taşımacılığının Girdi-Çıktı Analizi İle Değerlendirilmesi. Uluslararası Yönetim ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5(10), 82-93.
- Kutty, A. A., Yetiskin, Z., Abraham, M. M., Nooh, M. A., Kucukvar, M., and Abdella, G. M. (2020). An Empirical Assessment on the Transportation Sustainability Indicators and their Impact on Economic Productivity, Proceedings of the 5th NA Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Detroit, Michigan, USA, August 10-14.
- Laimon, M., Mai, T., Goh, S., and Yusaf, T. (2022). System dynamics modelling to assess the impact of renewable energy systems and energy efficiency on the performance of the energy sector. Renewable Energy, 193, 1041-1048.
- Lewis, T. A. (2013). Life Cycle Assessment of the Passenger Air Transport System Using Three Flight Scenarios, Norwegian University of Science and Technology, Norway.
- Li, Y., and Cui, Q. (2017). Carbon neutral growth from 2020 strategy and airline environmental inefficiency: A Network Range Adjusted Environmental Data Envelopment Analysis. Applied Energy, 199, 13-24.
- Li, Y., Wang, Y. Z., and Cui, Q. (2016). Has airline efficiency affected by the inclusion of aviation into European Union Emission Trading Scheme? Evidences from 22 airlines during 2008–2012. Energy, 96, 8-22.

- Li, Y., Wang, Y., and Cui, Q. (2015). Evaluating airline efficiency: an application of Virtual Frontier Network SBM. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 1–17.
- Li, Y., Wang, Y.Z., and Cui, Q. (2016). Energy efficiency measures for airlines: an application of virtual frontier dynamic range adjusted measure. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8 (1), 207–232.
- Liu, X., Bao, Y., Zhang, Y., and Li, J. (2022). Decoupling analysis on China's civil aviation carbon emissions from transportation revenue: A three-dimension decomposition framework. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 718–730.
- Lu, C., and Morrell, P. (2006). Determination and applications of environmental costs at different sized airports—aircraft noise and engine emissions. *Transportation*, 33, 45–61.
- Lynes, J. K., and Dredge, D. (2006). Going green: Motivations for environmental commitment in the airline industry. A case study of Scandinavian Airlines. *Journal of sustainable tourism*, 14(2), 116–138.
- Male, J. L., Kintner-Meyer, M. C., and Weber, R. S. (2021). The US energy system and the production of sustainable aviation fuel from clean electricity. *Frontiers in Energy Research*, 9, 765360.
- Mallikarjun, S. (2015). Efficiency of US airlines: a strategic operating model. *Journal of Air Transport Management*, 43, 46–56.
- Manga, M., and Akar, H. B. P. G. (2019). Havacılık sektörü ve ekonomik büyüme: Türkiye örneği. *The Journal of Academic Social Science*, 45(45), 353–366.
- Markatos, D. N., and Pantelakis, S. G. (2022). Assessment of the impact of material selection on aviation sustainability, from a circular economy perspective. *Aerospace*, 9(2), 52.
- Mekonnen, B. A., and Aragaw, T. A. (2021). Environmental sustainability and COVID-19 pandemic: an overview review on new opportunities and challenges. *COVID-19: Environmental Sustainability and Sustainable Development Goals*, 117–140.
- Merkert, R., and Morrell, P. S. (2012). Mergers and acquisitions in aviation—Management and economic perspectives on the size of airlines. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(4), 853–862.
- Miyoshi, C., and Merkert, R. (2010). Changes in carbon efficiency, unit cost of firms over time and the impacts of the fuel price—an empirical analysis of major European airlines. In: *Proceedings of the 14th Air Transport Research Society (ATRS) World Conference*, Porto, Portugal.
- Miyoshi, C., and Merkert, R. (2010, July). Changes in carbon efficiency, unit cost of firms over time and the impacts of the fuel price—an empirical analysis of major European airlines. In *Proceedings of the 14th air transport research society (ATRS) world conference*. Porto: ATRS.

- Morales, A., and Leonard, G. (2022). Simulation of a Fischer-Tropsch reactor for jet fuel production using Aspen Custom Modeler. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 51, pp. 301-306). Elsevier.
- Morrell, P. (2009). The potential for European aviation CO<sub>2</sub> emissions reduction through the use of larger jet aircraft. *Journal of Air Transport Management*, 15(4), 151-157.
- Morrell, P. (2009). The potential for European aviation CO<sub>2</sub> emissions reduction through the use of larger jet aircraft. *Journal of Air Transport Management*, 15, 151–157.
- Morrell, P.S., Taneja, N.K., (1979). Airline productivity redefined: an analysis of US and European carriers. *Transportation*, 8 (1), 37–49.
- Nurdiawati, A., and Agrawal, T. K. (2022). Creating a circular EV battery value chain: End-of-life strategies and future perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 185, 106484.
- Olabi, A. G., and Abdelkareem, M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111.
- Oum, T. H., and Yu, C. (1998). An analysis of profitability of the world's major airlines. *Journal of Air Transport Management*, 4(4), 229-237.
- Oum, T. H., Park, J. H., Kim, K., and Yu, C. (2004). The effect of horizontal alliances on firm productivity and profitability: evidence from the global airline industry. *Journal of Business Research*, 57(8), 844-853.
- Oum, T.H., Fu, X., Yu, C., (2005). New evidences on airline efficiency and yields: a comparative analysis of major North American air carriers and its implications *Transport policy*, 12 (2), 153–164.
- Park, Y. S., Egilmez, G., and Kucukvar, M. (2015). A novel life cycle-based principal component analysis framework for eco-efficiency analysis: case of the United States manufacturing and transportation nexus, *Journal of Cleaner Production*, vol. 92, pp. 327-342.
- Park, Y. S., Lim, S. H., Egilmez, G., and Szmerekovsky, J. (2018). Environmental efficiency assessment of US transport sector: A slack-based data envelopment analysis approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61, 152-164.
- Picker, L., (2013), Airports, air pollution, and health. National Bureau of Economic Research. Retrieved on 20.11.13 from <<http://www.nber.org/digest/may12/w17684.html>>.
- Ramanathan, R. (2003). An introduction to data envelopment analysis: a tool for performance measurement. Sage.
- Ravishankar, B., and Christopher, P. B. (2022). Environmental threats: Exploring waste management in the Indian aviation sector. *ECS Transactions*, 107(1), 10811.
- RITA, (2014). National Transportation Statistics 2014 | Bureau of Transportation Statistics Retrieved July 11, 2014, from [http://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov.bts/files/publications/national\\_transportation\\_statistics/index.html](http://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov.bts/files/publications/national_transportation_statistics/index.html)

- Roszkopf, M., Lehner, S., and Gollnick, V. (2014). Economic–environmental trade-offs in long-term airline fleet planning. *Journal of Air Transport Management*, 34, 109-115.
- Russell, M. (2017). Economic productivity in the air transportation industry: multifactor and labor productivity trends, 1990-2014. *Monthly Labor Review*, 140, 1.
- Saini, A., Truong, D., and Pan, J. Y. (2023). Airline efficiency and environmental impacts–data envelopment analysis. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(2), 335-353.
- San, K., Siir, K. (2017). Benchmarking aircraft metabolism based on a Sustainable Airline Index. *Journal of cleaner production*, vol. 167, pp. 1068-1083.
- Sausen, R., Isaksen, I., Grewe, V., Hauglustaine, D., Lee, D. S., Myhre, G., ... & Zerefos, C. (2005). Aviation radiative forcing in 2000: An update on IPCC (1999). *Meteorologische Zeitschrift*, 14(4), 555-561.
- Schaar, D., and Sherry, L. (2008, June). Comparison of data envelopment analysis methods used in airport benchmarking. In *3rd International Conference on Research in Air Transportation–ICRAT*.
- Scheraga, C. A. (2004). The relationship between operational efficiency and customer service: a global study of thirty-eight large international airlines. *Transportation journal*, 48-58.
- Schlenker, W., and Walker, W. R. (2016). Airports, air pollution, and contemporaneous health. *The Review of Economic Studies*, 83(2), 768-809.
- Sebastian, R. M., and Louis, J. (2021). Understanding waste management at airports: A study on current practices and challenges based on literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111229.
- Sengupta, J. K. (1999). A dynamic efficiency model using data envelopment analysis. *International Journal of Production Economics*, 62(3), 209-218.
- Shittu, O. S., Williams, I. D., and Shaw, P. J. (2021). Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. *Waste Management*, 120, 549-563.
- Sou, W. S., Goh, T., Lee, X. N., Ng, S. H., and Chai, K. H. (2022). Reducing the carbon intensity of international shipping–The impact of energy efficiency measures. *Energy Policy*, 170, 113239.
- Sreenath, S., Sudhakar, K., and Yusop, A. F. (2021). Sustainability at airports: Technologies and best practices from ASEAN countries. *Journal of Environmental Management*, 299, 113639.
- Srisaeng, P., Baxter, G. S., and Wild, G. (2015). Forecasting demand for low cost carriers in Australia using an artificial neural network approach. *Aviation*, 19(2), 90-103.
- Stichhauerova, E., and Pelloneova, N. (2019). An efficiency assessment selected German airports using the DEA model. *Journal of Competitiveness*, 11(1), 135-151.

- Sycheva, E., and Shpak, P. (2022). Practical application of the concept of digital twins in the aviation sector. In *Digital Transformation in Industry: Digital Twins and New Business Models* (pp. 29-42). Cham: Springer International Publishing.
- Tan, S. H., Habibullah, M. S., Tan, S. K., and Choon, S. W. (2017). The impact of the dimensions of environmental performance on firm performance in travel and tourism industry. *Journal of environmental management*, 203, 603-611.
- Thokala, P., Scanlan, J., and Chipperfield, A. (2010). Life cycle cost modelling as an aircraft design support tool. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 224(4), 477-488.
- Timmons, D., and Terwel, R. (2022). Economics of aviation fuel decarbonization: A preliminary assessment. *Journal of Cleaner Production*, 369, 133097.
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 130(3), 498-509.
- U.S. Department of Energy, (2013). Fuel Cells. Hydrogen and Fuel Cells Program. Retrieved on 20.11.13 from [http://www.hydrogen.energy.gov/fuel\\_cells.html](http://www.hydrogen.energy.gov/fuel_cells.html)
- U.S. Energy Information Administration, (2021). Annual Energy Outlook 2021: Electricity Generating Capacity. Available at: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=9-AEO2021&cases=ref2021&sourcekey=0> (Accessed June 25, 2021).
- US EPA, (2014). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Inventory Report: 1990–2014. Environmental Protection Agency, Washington. Retrieved from <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/usinventoryreport.html>
- Wang, Z., Huang, W., and Chen, Z. (2019). The peak of CO<sub>2</sub> emissions in China: A new approach using survival models, *Energy Economics*, vol. 81, pp. 1099-1108.
- Warr, B., and Ayres, R. (2006). REXS: A forecasting model for assessing the impact of natural resource consumption and technological change on economic growth. *Structural Change and Economic Dynamics*, 17(3), 329-378.
- Warr, B., Ayres, R., Eisenmenger, N., Krausmann, F., and Schandl, H. (2010). Energy use and economic development: A comparative analysis of useful work supply in Austria, Japan, the United Kingdom and the US during 100 years of economic growth. *Ecological Economics*, 69(10), 1904-1917.
- WCED, S. W. S. (1987). World commission on environment and development. Our common future, 17(1), 1-91.
- Xu, B., and Xu, R. (2022). Assessing the role of environmental regulations in improving energy efficiency and reducing CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from the logistics industry. *Environmental Impact Assessment Review*, 96, 106831.
- Xu, X., and Cui, Q. (2017). Evaluating airline energy efficiency: An integrated approach with Network Epsilon-based Measure and Network Slacks-based Measure. *Energy*, 122, 274-286.

- Xue, D., Ng, K. K., and Hsu, L. T. (2020). Multi-objective flight altitude decision considering contrails, fuel consumption and flight time. *Sustainability*, 12(15), 6253.
- Yakovlieva, A., Boichenko, S., Kale, U., and Nagy, A. (2021). Holistic approaches and advanced technologies in aviation product recycling. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 93(8), 1302-1312.
- Yalçinkaya, A., and Taşcı, D. (2020). Devletin kurumsal girişimciliği: Türk havayolu taşımacılığı alanında slot tahsisine ilişkin ardışık ve çelişik kurumsal işler (1992-2010). *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(2), 173-196.
- Yan, J., Fu, X., Oum, T. H., and Wang, K. (2019). Airline horizontal mergers and productivity: Empirical evidence from a quasi-natural experiment in China. *International Journal of Industrial Organization*, 62, 358-376.
- Yan, W., Cui, Z., and Gil, M. J. Á. (2016). Assessing the impact of environmental innovation in the airline industry: An empirical study of emerging market economies. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 21, 80-94.
- Yilmaz, N. (2022). Comparative energy and environmental assessment of battery technologies and alternative fuels in sustainable aviation. *International Journal of Green Energy*, 1-10.
- Yu, J., Dong, X., Song, Y., Zhang, Y., Zhang, H., Yang, X., ... & Liu, Y. (2022). Energy efficiency optimization of a compound coupled hydro-mechanical transmission for heavy-duty vehicles. *Energy*, 252, 123937.
- Yusaf, T., Fernandes, L., Abu Talib, A. R., Altarazi, Y. S., Alrefae, W., Kadrigama, K., ... & Laimon, M. (2022). Sustainable aviation—Hydrogen is the future. *Sustainability*, 14(1), 548.
- Zhou, G., Chung, W., and Zhang, Y. (2014). Measuring energy efficiency performance of China's transport sector: A data envelopment analysis approach. *Expert Systems with Applications*, 41(2), 709-722.
- Zhu, J. (2011). Airlines performance via two-stage network DEA approach. *Journal of CENTRUM Cathedra (JCC) The Business and Economics Research Journal*, 4, 260-269.
- Zou, B., Elke, M., Hansen, M., and Kafle, N. (2014). Evaluating air carrier fuel efficiency in the US airline industry. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 59, 306-330.
- Zou, B., Elke, M., Hansen, M., and Kafle, N. (2014). Evaluating air carrier fuel efficiency in the US airline industry. *Transportation Research Part A*, 59, 306-330.
- http-1: <https://www.flightconnections.com/tr/havayolları> (Erişim tarihi: 22.07.2024)
- Allegiant Air. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.
- American Airlines. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.
- Delta Airlines. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.
- United Airlines. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.

Southwest Airlines. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.

Jetblue Airways. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.

Alaska Airlines. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.

Spirit Airlines. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.

Frontier Airlines. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.

Hawaiian Airlines. (2022). *Annual Report*. Amerika Birleşik Devletleri.



## EKLER

### EK-1: Frontier Yazılımı Kullanım Aşamaları

Project Wizard

**New Project Options**  
Please select the method of data entry you want to use.

- ☐ Paste data from clipboard
- ☒ Use current selection from Excel®
- ☐ Link to an external database (e.g. SQL Server)
- ☐ Use current data from SPSS®
- ☐ Import from text file
- ☐ Type into data editor
- ☐ Import from XML file

1

Verilerin nereden alınacağı seçilmektedir.

Cancel Next >> Finish

Data Viewer - XL - Frontier Analyst (Demonstration)

Home Source data Analysis Results Graph Translation

Active Inactive Active Inactive

Show inactive units Show inactive variables

Look for: Find Value Find Again

End Error Last Next

Main

- Data viewer
- Scores
- Unit details
- Group review
- DEA options
- Comparison manager

Document

- Diagram tool
- Project notes

Analysis comparison

- Comparison 1

Analysis

- Reference frequencies
- X-Y plot
- Efficiency plot
- Frontier plot
- Improvement summary
- Scores distribution

Reports

- Reports
- Data export
- Publish to web...

| Unit Name          | Active | G1           | G2     | G3         | G4    | C1            | C2             | C3             | C4           | C5             |
|--------------------|--------|--------------|--------|------------|-------|---------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| Alaska Airlines    | ✓      | 646,434.00   | 311.00 | 22,820.00  | 8.80  | 6,332,553.00  | 41,500,000.00  | 60,772,881.00  | 404,000.00   | 51,329,941.00  |
| Allegiant Air      | ✓      | 216,606.00   | 121.00 | 5,315.00   | 15.00 | 2,150,919.00  | 16,630,138.00  | 18,418,999.00  | 110,968.00   | 15,224,346.00  |
| American Airlines  | ✓      | 3,196,696.00 | 976.00 | 139,615.00 | 32.20 | 24,629,000.00 | 199,000,000.00 | 229,923,000.00 | 1,800,000.00 | 391,518,000.00 |
| Delta Airlines     | ✓      | 3,003,805.00 | 985.00 | 90,000.00  | 13.60 | 28,509,636.00 | 177,000,000.00 | 233,225,463.00 | 1,578,625.00 | 195,478,648.00 |
| Frontier Airlines  | ✓      | 312,153.00   | 143.00 | 6,470.00   | 4.00  | 3,079,573.00  | 25,450,000.00  | 31,745,816.00  | 165,447.00   | 41,310,280.00  |
| Hawaiian Airlines  | ✓      | 239,231.00   | 66.00  | 7,108.00   | 11.40 | 2,384,897.00  | 9,400,000.00   | 18,684,642.00  | 77,011.00    | 14,932,750.00  |
| JetBlue Airways    | ✓      | 840,956.00   | 290.00 | 54,970.00  | 12.80 | 9,291,103.00  | 39,582,000.00  | 64,475,000.00  | 332,596.00   | 52,952,000.00  |
| Southwest Airlines | ✓      | 1,921,870.00 | 770.00 | 66,656.00  | 12.00 | 18,627,259.00 | 126,586,000.00 | 148,467,000.00 | 1,066,934.00 | 123,843,000.00 |
| Spirit Airlines    | ✓      | 527,291.00   | 209.00 | 12,025.00  | 7.00  | 5,063,813.00  | 38,410,000.00  | 48,567,978.00  | 266,815.00   | 39,775,253.00  |
| United Airlines    | ✓      | 3,141,598.00 | 961.00 | 92,795.00  | 16.30 | 32,480,715.00 | 144,300,000.00 | 247,858,000.00 | 1,415,186.00 | 206,791,000.00 |

2

Data Viewer kısmında seçilen veriler görünmektedir.

Max: 3,186,630 Max: 988 Max: 134,655 Max: 16.3 Max: 34,625,000 Max: 199,000.00 Max: 247,858,000 Max: 1,600,000 Max: 206,791.00

Showing settings for "Comparison 1"

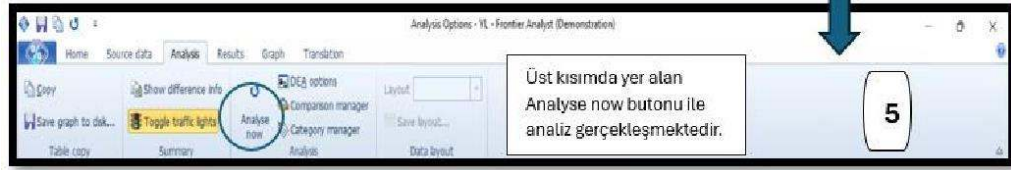
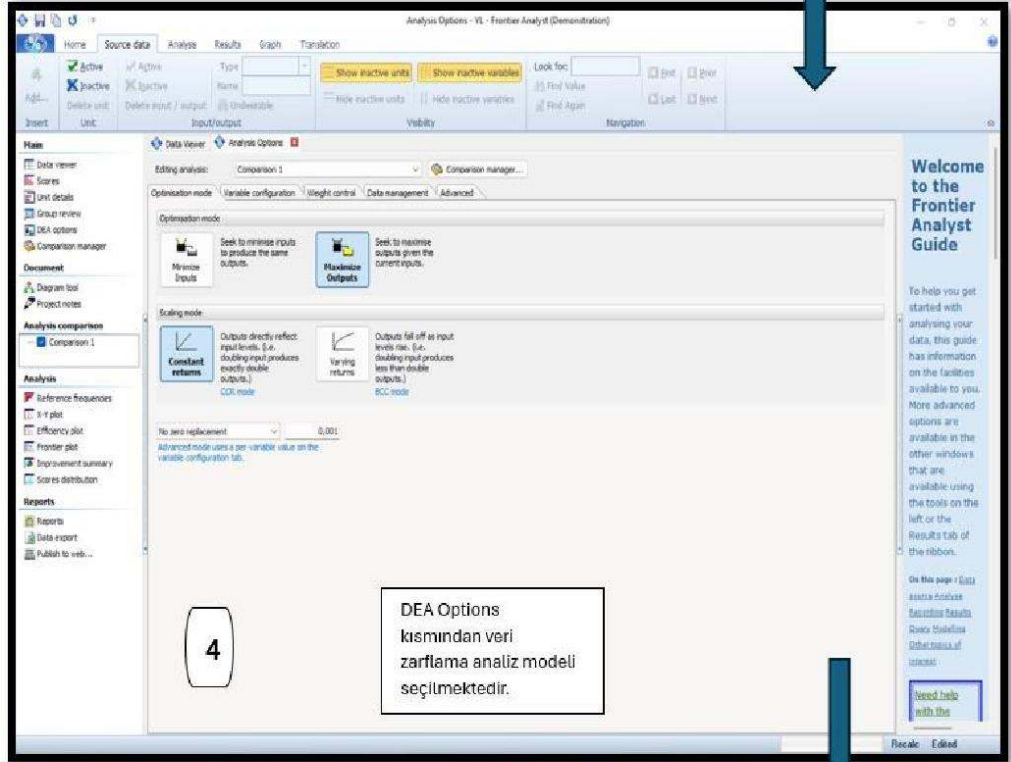
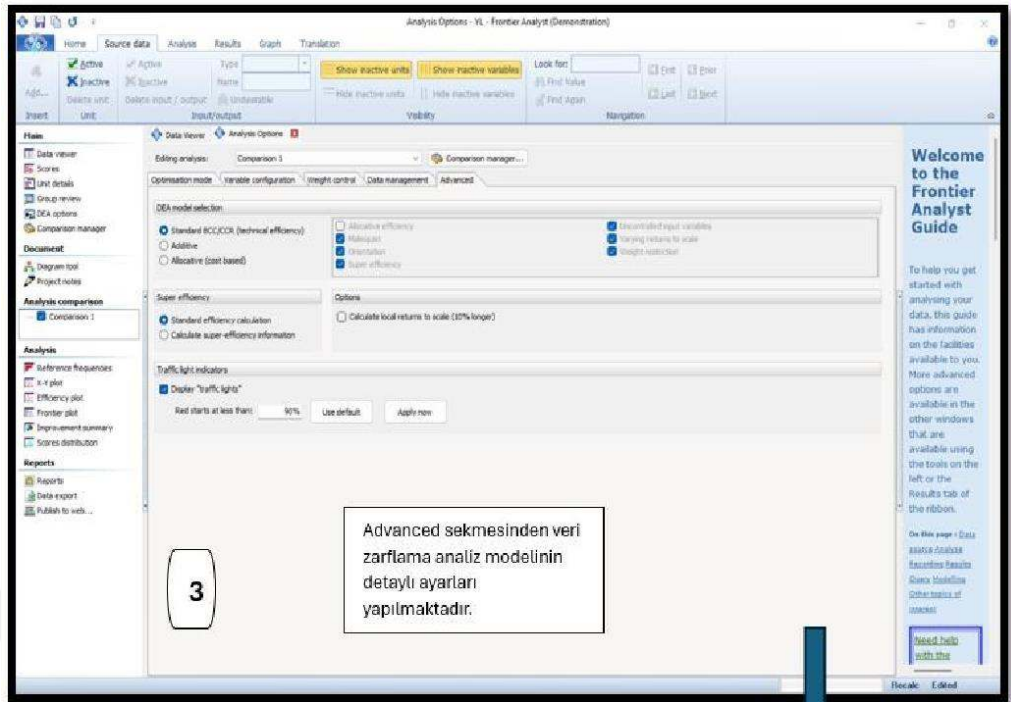
Recalls Edited

Welcome to the Frontier Analyst Guide

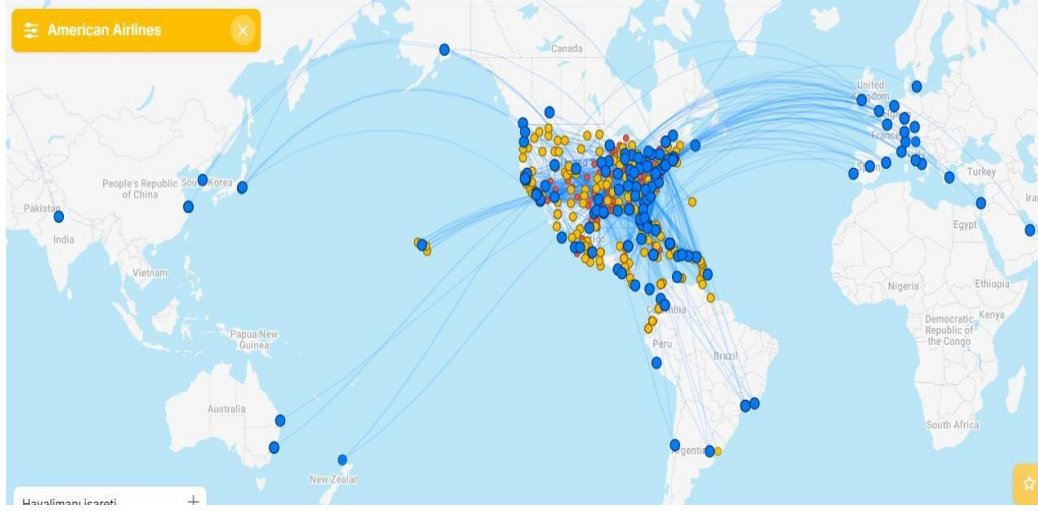
To help you get started with analysing your data, this guide has information on the facilities available to you. More advanced options are available in the other windows that are available using the tools on the left or the Results tab of the ribbon.

On this page: Data Source Analysis Scoring Results Data Models Other Results

Need help with this?



## EK-2: American Airlines Ağ Rotası



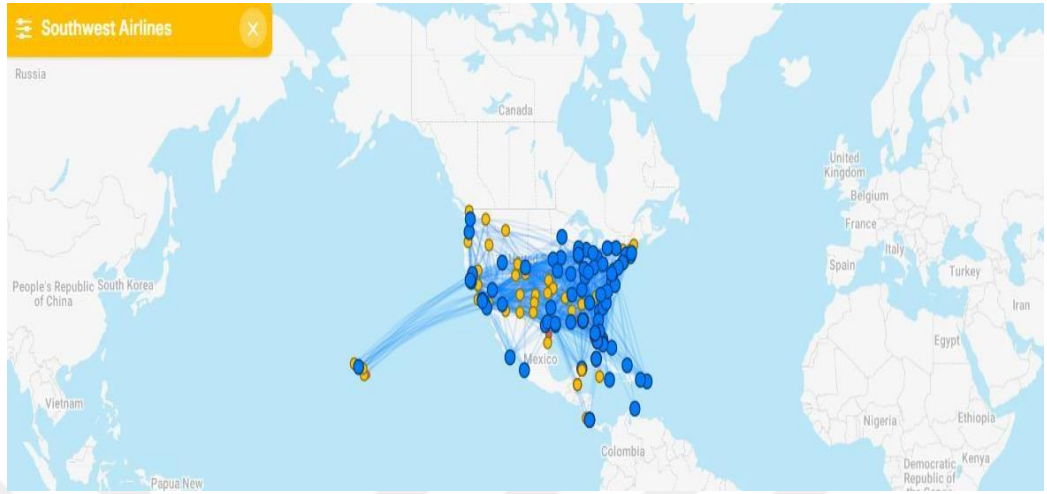
## EK-3: Delta Airlines Ağ Rotası



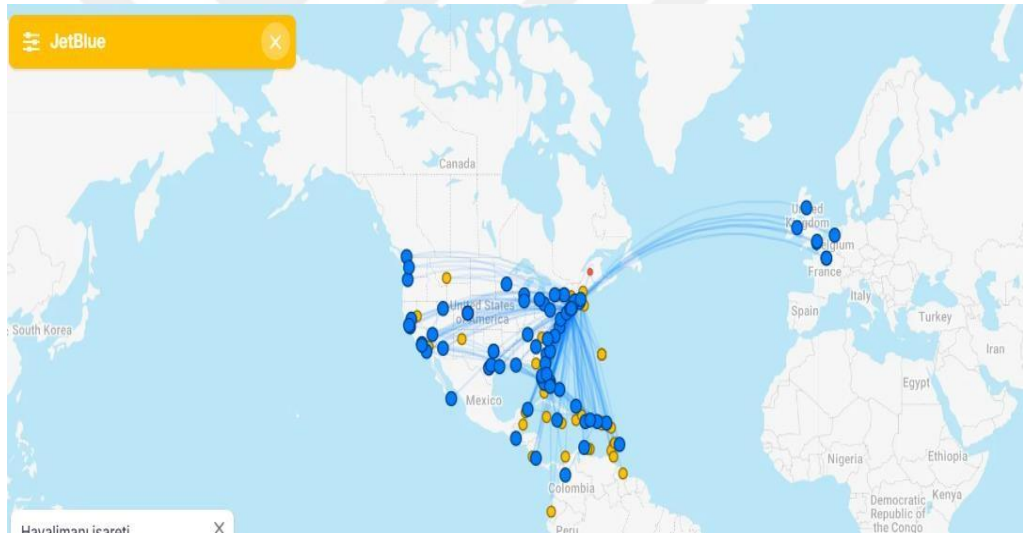
## EK-4: United Airlines Ağ Rotası



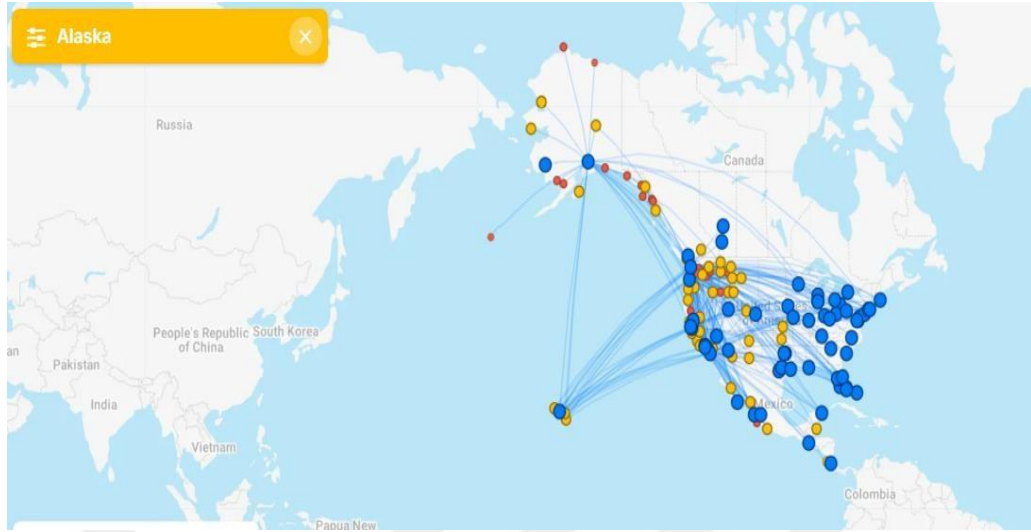
### EK-5: Southwest Airlines Ağ Rotası



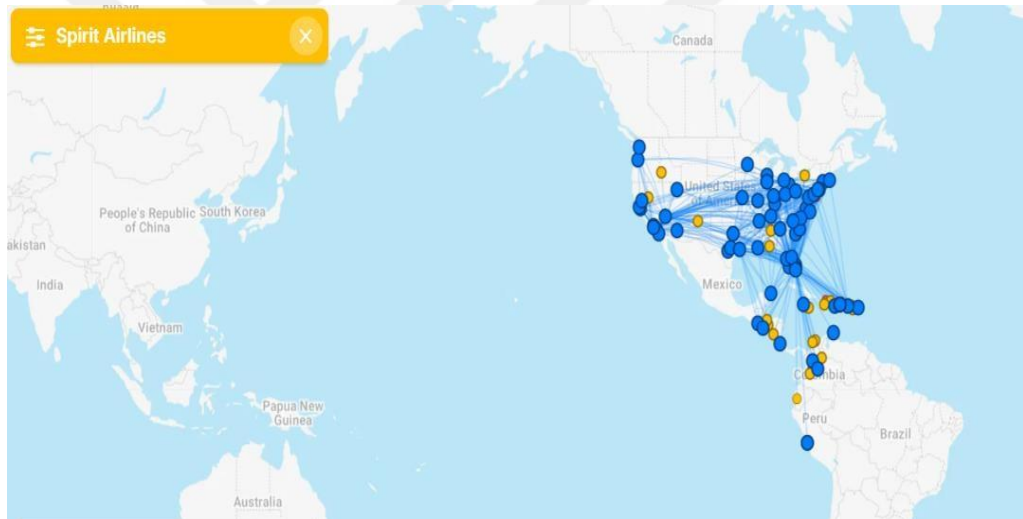
### EK-6: JetBlue Airways Ağ Rotası



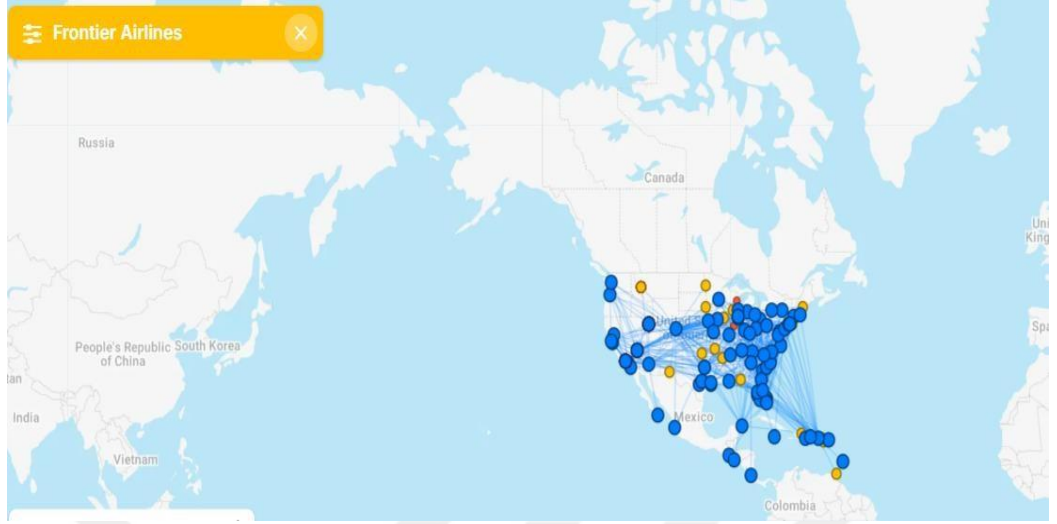
### EK-7: Alaska Airlines Ağ Rotası



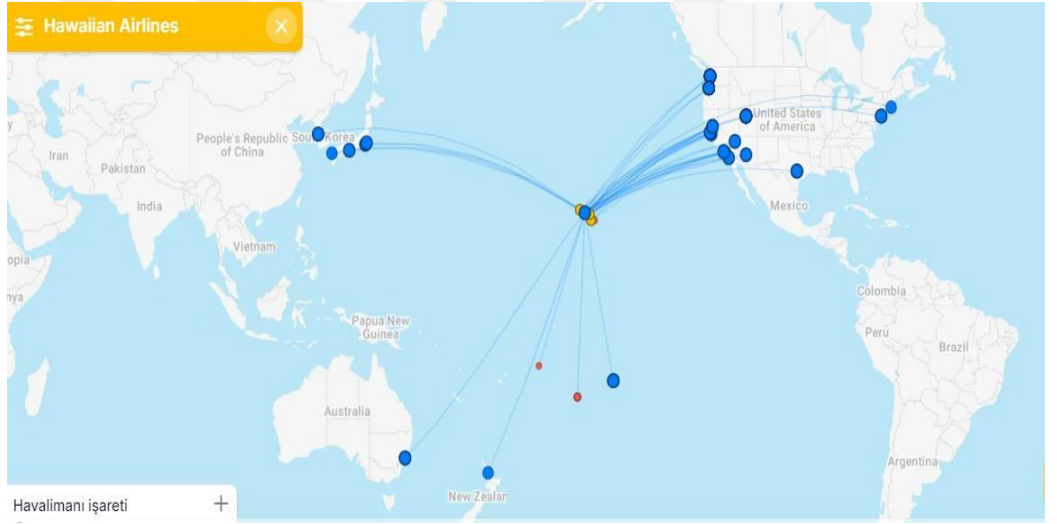
### EK-8: Spirit Airlines Ağ Rotası



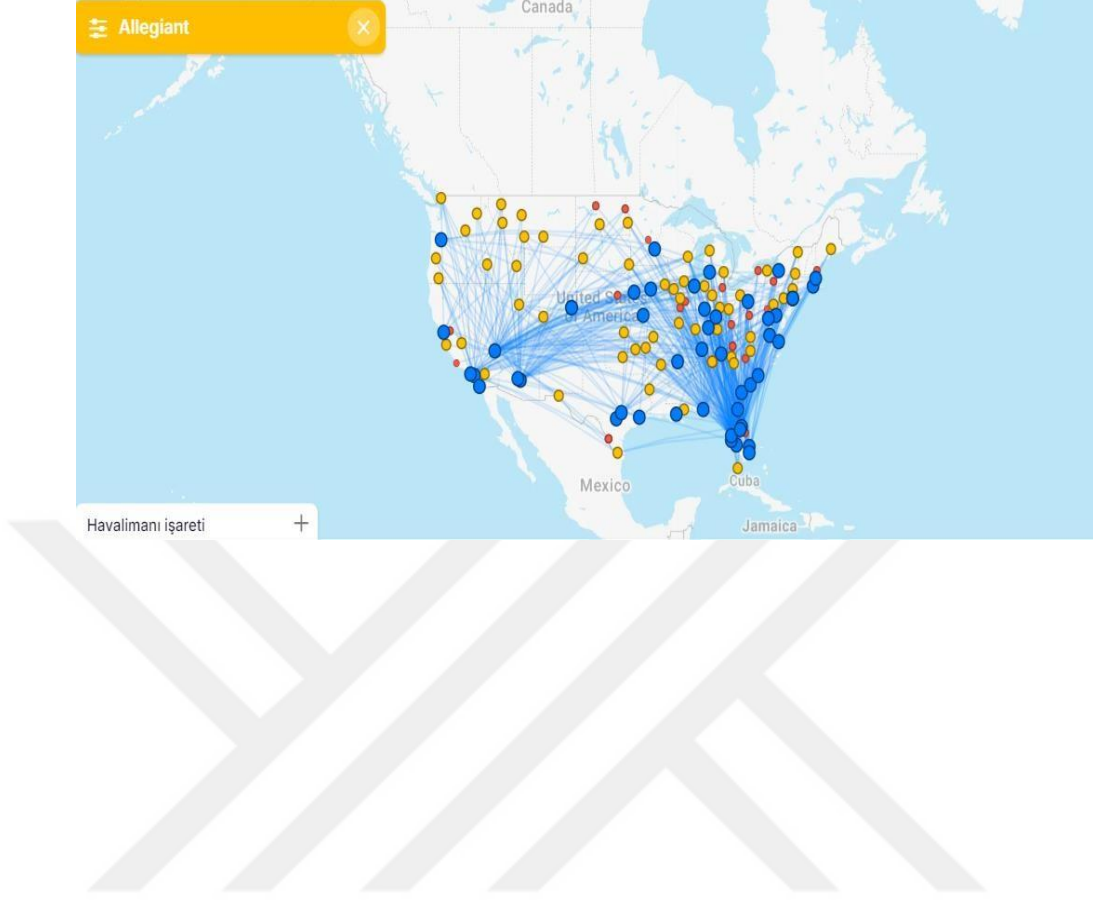
### EK-9: Frontier Airlines Ağ Rotası



### EK-10: Hawaiian Airlines Ağ Rotası



## EK-11: Allegiant Air Ağ Rotası



## ÖZGEÇMİŞ

**ORCID NO:** 0000-0001-7629-7419

**Ad Soyad** : Elif KARAKILIÇ

**Yabancı Dil** : İngilizce

### Eğitim

- 2021- Devam Ediyor, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Sivil Havacılık, Yüksek Lisans
- 2019-2021, İstanbul Üniversitesi, Açık öğretim Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği, Ön Lisans
- 2015-2019, Samsun Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Havacılık Yönetimi, Lisans

### Mesleki Geçmişi:

- 2023- Devam ediyor, myTECHNIC, Projeler Asistanı
- 2023 – 2024, École de technologie supérieure - ÉTS Montréal Üniversitesi, Araştırmacı (6 ay)
- 2021 – 2022, Özel Reca Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Sivil Havacılık Öğretmeni
- 2019 – 2021, Bookingagora, Grup Uçak Bileti Satış Sorumlusu
- 2019, S.O.S Air Hava Ambulansı, Hava Operasyon Sorumlusu
- 2017, İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Yatırım Yapım ve İşletme A.Ş., Terminal Operasyon, Stajyer.

### Yayınlar ve Projeler:

- 2023, Özet bildiri/Sözlü Sunum, ISSRIS23, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Karakılıç E., Ekici. S., Karakoç H. T. (2023). Havayolu Verimliliklerinin Karşılaştırılması: Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik. 3.Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu (ISSRIS23) syf 615
- Karakilic, E., Gunaltili, E., Ekici, S., Dalkiran, A., Balli, O., & Karakoc, T. H. (2023). A Comparative Study between Paper and Paperless Aircraft Maintenance: A Case Study. *Sustainability*, 15(20), 15150.
- Youth Based Entrepreneurship Network of Unmanned Aerial Vehicle Industry and Technologies, Erasmus+ KA 205 Projesi, (2020-2022).

- Unmanned Surface Object Assessment on Roads (U-SOAR) (2022-2024)-  
TÜBİTAK 2522- Macaristan Arastırma ve Teknoloji Ulusal Ofisi (NRDIO) ile  
İkili İsbirligi Programı.

