


Avrupa Ülkelerinin Havacılık Performansının Ölçülmesi: Finansal, Operasyonel ve Çevresel Boyutları İçeren MEREC-AROMAN Tabanlı Bir Analiz

Abdulkadir Alıcı¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, Seçili Avrupa ülkelerinin havacılık performansını 2015–2023 döneminde operasyonel, finansal ve çevresel boyutları birlikte dikkate alarak bütünlük biçiminde ölçmeyi ve ülkeleri karşılaştırmalı olarak sıralamayı amaçlamaktadır.

Yöntem: Eurostat tabanlı verilerle 10 boyut tanımlanmıştır: Operasyonel boyutta havacılık hareketliliği, filo yoğunluğu ve lojistik kapasite; finansal boyutta faaliyet kârlılığı, işgücü verimliliği, birim gelir ve havacılığın GSYH içindeki payı; çevresel boyutta havacılık CO₂ emisyonlarının yolcu başına, GSYH'ye oranı ve ulusal toplam CO₂ içindeki payı. Kriter ağırlıkları nesnel olarak MEREC ile belirlenmiş, ülkelerin göreceli performansları AROMAN ile hesaplanmıştır.

Bulgular: Sonuçlar, toplam performansın özellikle finansal verimlilik göstergeleri tarafından daha güçlü ayrıştırıldığını; çevresel göstergelerin ise örneklem içinde daha sınırlı farklılaşma üretebildiğini ortaya koymaktadır. Malta ve İzlanda'nın 2015–2023 boyunca üst sıralarda kalıcı biçimde yer aldığını; Kıbrıs ve Bulgaristan'ın ise dönem boyunca sürekli alt bantta seyrettiğini göstermektedir. Pandemi öncesi/sonrası karşılaştırma ise COVID-19'un sıralama dinamiklerinde yapısal bir kırılma yarattığını; Almanya'nın ortalama 18. sıradan 5. sıraya ve Slovenya'nın 14'ten 8'e yükselerek pozitif ayrıştığını, buna karşılık Norveç'in 10'dan 18'e ve Portekiz'in 8'den 11'e gerileyerek kriz baskısını yönetmekte zorlandığını ortaya koymaktadır.

Özgünlük: Çalışma, Eurostat temelli oran/yoğunluk göstergeleriyle üç boyutu tek çerçevede birleştirerek ülkeler arası karşılaştırılabilir, tekrarlanabilir ve bütünlük bir havacılık performans değerlendirmesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Havacılık Performansı, Operasyonel Performans, Finansal Performans, Çevresel Performans, Sürdürülebilir Havacılık.

JEL Kodları: L93, D24, Q57, Q53.

Measuring the Aviation Performance of European Countries: A MEREC-AROMAN-Based Analysis Including Financial, Operational, and Environmental Dimensions

ABSTRACT

Purpose: This study aims to measure the aviation performance of selected European countries in an integrated manner, taking into account operational, financial, and environmental dimensions for the period 2015–2023, and to rank countries comparatively.

Methodology: Ten dimensions have been defined using Eurostat-based data: In the operational dimension: aviation mobility, fleet density, and logistics capacity; in the financial dimension: operating profitability, labor productivity, revenue per unit, and aviation's share of GDP; in the environmental dimension: aviation CO₂ emissions per passenger, ratio to GDP, and share of national total CO₂. Criterion weights were objectively determined using MEREC, and countries' relative performances were calculated using AROMAN.

Findings: The results show that overall performance is more strongly differentiated by financial efficiency indicators, while environmental indicators produce more limited differentiation within the sample. Malta and Iceland consistently ranked in the top tiers throughout the 2015–2023 period, while Cyprus and Bulgaria remained in the lower tiers throughout the period. The pre-pandemic/post-pandemic comparison shows that COVID-19 caused a structural break in the ranking dynamics; Germany rose from an average of 18th to 5th place and Slovenia rose from 14th to 8th, standing out positively, while Norway fell from 10th to 18th and Portugal fell from 8th to 11th, struggling to manage the pressure of the crisis.

Originality: The study combines the three dimensions within a single framework, utilizing Eurostat-based ratio/intensity indicators, to provide a comparable, repeatable, and integrated assessment of aviation performance across countries.

Keywords: Aviation Performance, Operational Performance, Financial Performance, Environmental Performance, Sustainable Aviation.

JEL Codes: L93, D24, Q57, Q53.

¹ Kastamonu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Havacılık Yönetimi Bölümü, Kastamonu, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Abdulkadir Alıcı, aalici@kastamonu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1846415

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 21.12.2025 | Kabul / Accepted: 20.01.2026

Atf: Alıcı, A. (2026). "Avrupa Ülkelerinin Havacılık Performansının Ölçülmesi: Finansal, Operasyonel ve Çevresel Boyutları İçeren MEREC-AROMAN Tabanlı Bir Analiz", *Verimlilik Dergisi*, 60(2), 425-454.

EXTENDED ABSTRACT

Air transport constitutes a strategic connectivity infrastructure that shapes trade, tourism, labour mobility, and regional development. Yet, assessing aviation performance solely through single-volume indicators (e.g., passengers, flights, or cargo totals) has become increasingly inadequate in the post-pandemic era, where capacity constraints, cost pressures, and tightening climate policy jointly redefine sectoral competitiveness. In this context, a meaningful country-level assessment requires an integrated perspective that simultaneously captures operational scale, economic/financial value creation, and environmental pressure. This study responds to that need by proposing a multidimensional measurement framework for comparing European countries' aviation sector performance across operational, financial, and environmental dimensions within a unified evaluation logic.

Cross-country aviation comparisons are highly sensitive to measurement design. Metrics expressed in absolute terms (such as total passengers, total fleet size, or total emissions) tend to amplify "country size effects" unless differences in population and economic scale are properly accounted for. To reduce this scale bias, the study prioritizes ratio- and intensity-based indicators (e.g., passengers per capita, aircraft per capita, CO₂ per passenger), enabling more comparable assessments across heterogeneous national contexts.

The main purpose of the study is to evaluate and rank the integrated aviation performance of a selected set of European countries over the 2015–2023 period and to make performance dynamics visible across time, including potential structural changes around the COVID-19 shock. In line with this purpose, the study follows a sequential logic: objective derivation of criterion importance, computation of composite performance scores and rankings, and examination of ranking patterns across the pre- and post-pandemic periods..

The empirical analysis uses Eurostat data for the 2015–2023 period and covers 20 European countries with complete observations across all indicators. The assessment framework comprises ten criteria grouped into three dimensions: operational performance (passengers per capita, aircraft per capita, air cargo to GDP), financial performance (operating profitability, labour productivity, revenue per employee, aviation value added as a share of GDP), and environmental pressure (CO₂ per passenger, CO₂ relative to GDP, and aviation CO₂ as a share of national emissions). Criteria are weighted objectively using MEREK, and countries are ranked via AROMAN, which combines linear and vector normalization ($\lambda=0.5$). To handle negative values in financial variables, a shifted Min–Max transformation is applied. Robustness is assessed by comparing MEREK and AROMAN results with alternative objective weighting and widely used MCDM ranking methods.

The findings show that integrated aviation performance is driven primarily by financial efficiency, with labour productivity and operating profitability emerging as the most influential criteria. In 2023, AROMAN ($\lambda=0.5$) ranks Malta first, followed by Iceland, Belgium, Greece, and the Netherlands, while Sweden, Cyprus, and Bulgaria occupy the lowest positions. The longitudinal results indicate persistent performance tiers, with Iceland remaining structurally strong across the period and Cyprus displaying chronic underperformance before the pandemic. The rankings also reveal vulnerability to shocks in some cases, exemplified by Hungary's sharp post-peak decline. Comparing pre- (2015–2019) and post-pandemic (2020–2023) averages suggests a clear reshuffling of relative positions—Germany and Slovenia improve markedly, whereas Norway and Portugal deteriorate—highlighting heterogeneous resilience across national aviation systems. Overall, multi-method comparisons confirm that countries largely remain in similar performance bands, supporting the robustness of the upper- and lower-tier groupings.

The results suggest that integrated aviation performance in the European context is shaped mainly by the financial dimension—particularly labour productivity and operating profitability—while environmental indicators function more as binding constraints than as strong differentiators across countries. This should not be interpreted as environmental performance being less important; rather, it implies that sustainable aviation performance is best understood as the ability to sustain operational and financial capacity while managing environmental pressure under tightening policy regimes. The findings also highlight the value of using multidimensional, scale-adjusted metrics for national policy evaluation, instead of single aggregate indicators that are largely driven by country size. In addition, the pre-/post-COVID comparison indicates that adjustment trajectories diverge substantially across national aviation systems, making resilience a measurable and policy-relevant component of cross-country benchmarking.

The analysis is constrained by using only countries with complete data, which strengthens comparability but limits generalizability. Future studies could expand the indicator set (e.g., service quality, delays/capacity, safety, social and compliance dimensions) and move beyond ranking by testing performance drivers with panel econometrics and incorporating policy scenarios such as carbon pricing or sustainable aviation fuel diffusion. Overall, the proposed MEREK–AROMAN framework offers a replicable approach for benchmarking European aviation performance over time.

1. GİRİŞ

Küreselleşmenin hızlandığı dönemde hava taşımacılığı; ticaret, turizm ve emek hareketliliğini besleyen kritik bir bağlantısallık altyapısı olarak bölgesel istihdam ve büyüme üzerinde ölçülebilir etkiler üretmektedir (Lenaerts ve diğerleri, 2023; Ceulemans ve diğerleri, 2025). Güncel literatürde yapılan ampirik çalışmalar, hava taşımacılığının sağladığı bağlantısallığın yalnızca turizm gelirlerini değil, aynı zamanda doğrudan yabancı yatırımların çekilmesini ve bölgesel inovasyon kapasitesini de pozitif yönde etkilediğini doğrulamaktadır (Zhang ve Graham, 2020). Özellikle Avrupa Birliği ülkeleri özelinde yapılan analizler, hava taşımacılığı altyapısının bölgesel eşitsizlikleri gidermede halen kritik bir rol oynadığını, ancak bu etkinin ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre asimetrik sonuçlar doğurabildiğini ortaya koymaktadır (Warnock-Smith ve diğerleri, 2023; Pot ve Koster, 2022). Ancak COVID-19 sonrası toparlanma süreci, ağ yapısındaki kırılmalıklar ve kapasite kısıtlarının yeniden gündeme gelmesiyle daha karmaşık bir zeminde ilerlemiştir (Sun ve diğerleri, 2023; Gelhausen ve diğerleri, 2021). Buna eş zamanlı olarak, karbon fiyatlaması ve iklim politikası araçlarının havacılığa etkisini inceleyen ampirik çalışmalar, düzenlemelerin emisyonları ve arz kararlarını anlamlı biçimde etkileyebildiğini göstermekte; dolayısıyla finansal sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde düzenleyici uyum maliyetleri ve geçiş baskıları daha görünür hâle gelmektedir (Fageda ve Teixidó, 2022; Zhang ve Wang, 2024).

Bununla birlikte sektörün büyüme dinamiği, eşzamanlı gerilim alanlarını da görünür kılmaktadır. Avrupa hava taşımacılığı COVID-19 sonrası dönemde belirgin bir toparlanma sergilemiş; uçuş ve yolcu hacimleri kademeli olarak pandemi öncesi düzeylere yaklaşmıştır (ACI, 2024; Eurocontrol, 2024). Ancak bu toparlanma; kapasite kısıtları, maliyet baskıları ve iklim politikalarının giderek sertleştiği bir düzenleyici çerçeve altında gerçekleşmektedir (EU-Regulation, 2025; Climate Action-Europe, 2023). Bu koşullar altında hava taşımacılığı işletmeleri, talep artışını karşılamaya çalışırken aynı anda maliyet/kapasite yönetimi ve emisyon azaltımı hedefleri arasında denge kurmak zorunda kalmakta; bu da performansın tek bir büyüme metriğiyle okunmasını yetersiz bırakmaktadır (Gelhausen ve diğerleri, 2021; Chen ve diğerleri, 2024). Bu çerçeve, performans kavramının tek boyutlu büyüme göstergeleriyle tanımlanmasını giderek daha problemli kılmakta; operasyonel ölçek, ekonomik değer üretimi ve çevresel baskının birlikte izlenmesini zorunlu hale getirmektedir.

Bu ihtiyaç ülke düzeyinde daha da belirgindir. Ülkeler, havacılık ekosistemini şekillendiren altyapı yatırımları, vergi/harç rejimleri, rekabet ortamı ve emisyon azaltım araçları gibi politika setlerinin temel uygulayıcılarıdır. Ayrıca havacılığın makroekonomik katkıları ile çevresel maliyetleri ülke ölçeğinde somutlaşmaktadır (Zhang ve Wang, 2024; Bernardo ve diğerleri, 2024; EU-Regulation, 2025). Ne var ki ülke karşılaştırmaları ölçüm tasarımına son derece hassastır. Mutlak yolcu sayısı, filo büyüklüğü veya toplam emisyon gibi ölçek bağımlı göstergeler; nüfus ve ekonomik büyüklük farkları ayrıştırılmadığında büyük ülke etkisini büyütür. Kompozit gösterge/endeks literatürü, göstergelerin aynı mantıksal ölçekte ele alınabilmesi için uygun normalizasyonun kritik olduğunu ve normalizasyon/ağırlıklandırma tercihlerinin birleştirme sonucunu (dolayısıyla sıralama ve yorumları) anlamlı biçimde etkileyebileceğini vurgulamaktadır (Ang, 2015; Walesiak, 2018). Benzer biçimde ayrışma yaklaşımı, büyüme ile çevresel baskının ilişkisini okuyabilmek için emisyon yoğunluğu (ör. CO₂/GSYH) gibi yoğunluk temelli oranların izlenmesini analizin çekirdeğine yerleştirmektedir (Ang, 2015). Dolayısıyla havacılık performansını ülke düzeyinde daha adil ve açıklayıcı biçimde karşılaştırmak, ölçek etkisini azaltan oran/yoğunluk göstergelerinin birlikte kullanımını gerektirir.

Mevcut literatürde ise havacılığın ekonomik ve çevresel etkilerinin yoğunlukla tek bir boyut üzerinden ele alındığı görülmektedir. Ekonomik boyutta, hava bağlantısının bölgesel kalkınma ve istihdamla ilişkisi erişilebilirlik/bağlanabilirlik üzerinden tartışılmaktadır (Lenaerts ve diğerleri, 2023). Makro düzeyde ise ilişki tek yönlü genellenememekte; bazı bulgular hava taşımacılığından büyümeye doğru nedensellik tespit ederken, bazıları büyümenin uzun dönemde hava taşımacılığını beslediğini vurgulamaktadır (Çelik ve diğerleri, 2025). Çevresel hatta ise emisyonların belirleyicileri ve iklim etkisinin bileşenleri öne çıkmakta; OECD ülkeleri için panel bulgular GDP büyümesi/kişi başı gelir ve uluslararası turizmin hava taşımacılığı CO₂ emisyonlarını artırdığını, uluslararası ticaretin ise azaltıcı yönde etkilenebildiğini rapor etmektedir (Kiracı, 2025). Bazı çalışmalarda da emisyonların belirleyicilerine ve iklim etkisinin bileşenlerine odaklanılmaktadır (Lee ve diğerleri, 2021; Klöwer ve diğerleri, 2021). Bu parçalı görünüm, politika ve yönetim açısından bir boşluk üretmektedir: operasyonel hareketlilik ve kapasite göstergeleri, ekonomik değer üretimi ve çevresel baskı göstergeleri eşzamanlı izlenmediğinde ülkelerin havacılık sistemleri hakkında bütünlük bir performans okuması yapmak güçleşir. Örneğin yüksek hareketlilik düzeyi tek başına başarı göstergesi değildir. Bu hareketliliğin ekonomik katma değere dönüşme kapasitesi ve çevresel yoğunlukla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (EASA, 2022). Nitekim, havacılık performansının değerlendirilmesinde tek boyutlu finansal oranların yetersiz kaldığı görüşü literatürde giderek daha fazla kabul görmektedir. Bu bağlamda, operasyonel etkinlik ile çevresel sürdürülebilirliği bütünlükten çok kriterli karar verme (ÇKKV)

yaklaşımları, ülkelerin ve havayollarının performansını daha adil bir zeminde karşılaştırmak için önerilmektedir (Tanrıverdi ve diğerleri, 2023; Kiracı, 2025; Yavuz ve diğerleri, 2025).

Bu çalışmanın çıkış noktası, operasyonel hareketlilik ve kapasite göstergeleri ile finansal/ekonomik değer üretimi ve çevresel baskı göstergelerini ülkeler arasında karşılaştırılabilir tek bir performans endeksinde bütünleştirme ihtiyacıdır. Bu bütünleştirme, kriterlerin farklı birim ve ölçeklerde olması nedeniyle doğal olarak çok kriterli karar verme yaklaşımını gerektirmektedir. Çalışmada kriter ağırlıkları, bir kriterin sistemden çıkarılmasının toplam performansta yarattığı değişimi esas alarak kriterlerin marjinal katkısını yakalayan ve böylece öznel yargılara daha az bağımlı, yorumlanabilir bir nesnel ağırlık seti üreten MEREC ile belirlenmektedir (Keshavarz-Ghorabae ve diğerleri, 2021). Alternatiflerin sıralanmasında ise normalizasyon tercihlerinin sıralama üzerindeki etkisini azaltmayı hedefleyen; doğrusal ve vektör normalizasyonu iki aşamalı biçimde birleştirerek heterojen ölçekteki göstergeleri daha dengeli karşılaştırmaya imkân veren AROMAN yaklaşımı benimsenmiştir (Bošković ve diğerleri, 2023). Böylece çalışma, ölçek yanlılığını azaltan gösterge tasarımı, nesnel ağırlıklandırma (MEREC) ve normalizasyon duyarlılığını düşüren sıralama (AROMAN) kurgusuyla, ülke karşılaştırmalarında bütünlük ve veri odaklı bir performans okuması sunmayı amaçlamaktadır.

Çalışma, havacılık performansını üç tamamlayıcı boyutta ele almaktadır. Operasyonel boyutta ölçek etkisinden arındırılmış hareketlilik ve kapasite göstergeleri (yolcu/nüfus; uçak/nüfus; yük/GSYH), finansal boyutta sektörün değer üretimi ve verimliliğini temsil eden oranlar (faaliyet kârlılığı, işgücü verimliliği, birim gelir yaklaşımı ve havacılığın GSYH içindeki payı) ve çevresel boyutta havacılık kaynaklı baskıyı yoğunluk mantığıyla yakalayan göstergeler (CO₂/yolcu, CO₂/GSYH ve ulusal toplam CO₂ içindeki payı). Tüm boyutların oran/yoğunluk temelli tanımlanması, ülkeler arası ölçek farklılıklarının karşılaştırmayı bozucu etkisini azaltmayı ve kompozit değerlendirme için daha tutarlı bir ölçüm zemini kurmayı hedefler. Bu çerçevede çalışma, Avrupa ülkeleri için 2015–2023 döneminde havacılık performansını bütünlük olarak değerlendirerek literatürde çoğunlukla ayrı incelenen “kapasite–değer üretimi–emisyon” tartışmalarını tek bir analitik düzlemde buluşturmaktadır. İzleyen bölümlerde literatür ve kriter gerekçesi sunulmakta, veri ve analiz yaklaşımı açıklanmakta ve bulgular üzerinden politika ve araştırma gündemine dönük çıkarımlar geliştirilmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Ülke düzeyinde havacılık performansı, tek bir çıktı (ör. yolcu sayısı) ile temsil edilemeyecek kadar çok katmanlıdır. Literatürde ulusal havacılık sisteminin performansı genellikle hareketlilik/bağlanırlık ve kapasite (talep–arz–altyapı), ekonomik değer üretimi (hava taşımacılığının büyüme, turizm ve ticaretle etkileşimi ve sektörel gelir/katma değer), ve çevresel dışsallıklar ve (CO₂/iklim etkileri, vergi–fiyatlandırma araçları, emisyon yoğunluğu) eksenlerinde tartışılır. Ülke karşılaştırmalarında performans kavramının doğası gereği çok boyutlu bir yapı arz etmesi nedeniyle, bileşik endekslerin performans ölçümünde Veri Zarflama Analizi ve ÇKKV yöntemlerini analiz sürecinin temel metodolojik araçları hâline getirmektedir.

Havacılık performansı literatürü, genelde sektörün ekonomik büyüme ve kalkınma üzerindeki çarpan etkilerini anlama çabasıyla şekillenmektedir. Araştırmacılar bu etkinin; erişilebilirlik artışı, piyasa entegrasyonu, işgücü ve sermaye akışları ile lojistik ve turizm gibi çeşitli aktarım mekanizmaları üzerinden gerçekleştiğini ortaya koymaktadır (Button ve Taylor, 2000; Brueckner, 2003; Kasarda ve Green, 2005; Green, 2007; Percoco, 2010; Arvis ve Shepherd, 2011; Button ve Yuan, 2013; Spasojevic ve diğerleri, 2018; Zhang ve Graham, 2020; Lenaerts ve diğerleri, 2021). Büyüme ile havacılık arasındaki ilişkinin yönü (tek veya çift yönlü nedensellik) konusundaki tartışmalar ise literatürün bir diğer ana eksenini oluşturur (Marazzo ve diğerleri, 2010; Hâkim ve Merkert, 2016; Kiracı ve Bakır, 2019; Zhang ve Graham, 2020; Çelik ve diğerleri, 2025). Öte yandan, havacılığın ekonomik etkisinin evrensel olmadığı; gelir grupları, pazarın olgunluğu ve kriz dönemleri gibi faktörlere bağlı olarak ülkeler arasında farklılaştığı yönünde güçlü bulgular mevcuttur (Hâkim ve Merkert, 2016; Kiracı ve Bakır, 2019; Zhang ve Graham, 2020; Lenaerts ve diğerleri, 2021; Çelik ve diğerleri, 2025; Akar, 2025). Zhang ve Graham (2020) gibi kapsamlı derleme çalışmaları, bu karmaşık mekanizmaları ve nedensellik ağlarını sistematik bir zemine oturtmaktadır.

Havacılık performansını ekonomik kalkınma üzerinden inceleyen erken dönem literatür, havacılığın kalkınmaya etkisini daha çok uluslararası erişim, liberalizasyon ve dışa açıklık üzerinden kurmuştur. Button ve Taylor (2000) bu çerçeveyi sistematikleştirirken, Brueckner (2003) iyi hava hizmetinin firmaları çekip istihdamı canlandırabileceğini kent ölçeğinde tartışmıştır. Bölgesel kanıtta Percoco (2010) ve Green (2007) havaalanı faaliyeti ve yerel büyüme bağına farklı göstergelerle sınınamaktadır. Güncel çalışmalar ise trafik hacmi yerine bağlantısallık ve pazar erişimi gibi daha ölçülebilir mekanizmalarla güncelleyip, etkilerin mekânsal yayılımını ve ülke/dönem heterojenliğini daha güçlü ekonometrik tasarımlarla incelemeye yönelmiştir (Lenaerts ve diğerleri, 2021; Fu ve diğerleri, 2021; Lenaerts ve diğerleri, 2023; Kaya ve Aydın, 2024; Dupeyrat Luque ve diğerleri, 2025).

Bu kalkınma hattının daha makro bir uzantısı, havacılığı küresel ölçekte sistem-etkileşim çerçevesinde ele alır. Ishutkina ve Hansman, dünya ve ülke düzeyi analizlerle hava taşımacılığı ile ekonomik aktivitenin karşılıklı etkileşimini tartışırken, havacılığın yalnızca sonuç değil aynı zamanda etken olabileceğini öne çıkarmaktadır (Ishutkina ve Hansman, 2008). Bu çizgi, yakın dönemde panel zaman serisi tasarımlarla daha da güçlenmiştir. Örneğin Akar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülke gruplarında hava taşımacılığı çıktıları (yolcu/kargo) ile büyüme arasındaki uzun dönem ilişkileri CS-ARDL gibi yaklaşımlarla test ederek etkinin ülke gruplarına göre farklılaşabileceğini raporlamaktadır (Akar, 2025).

Bununla birlikte, kalkınma literatürünün performans kavrayışı çoğu zaman dolaylıdır. Performans; yolcu/kargo hacmi, uçuş sayısı, RPK/RTK, kişi başına uçuş gibi bağlanırlık ve mobilite göstergeleriyle temsil edilir. Kazda ve arkadaşlarının kişi başına uçuş/yolcu temelli yaklaşımı, ülkeler arası karşılaştırılabilir bir hava hareketliliği metriği önermesi bakımından anlamlıdır (Kazda ve diğerleri, 2024). Ancak bu tasarımlarda (özellikle büyüme odaklı modellerde) finansal sürdürülebilirlik ve çevresel maliyetler çoğu zaman ya modelin merkezinde değildir ya da ikincil kontrol değişkenleri olarak yer almaktadır (Zhang ve Graham, 2020).

Son yıllarda bu sınır kısmen aşılmaya başlamıştır. Hava taşımacılığı, büyüme ve ticaret/turizm gibi kanallarla birlikte CO₂ emisyonlarıyla aynı denklemde ele alınmaktadır. Örneğin Suudi Arabistan özelinde Aldegheishem (2024), hava taşımacılığı–ticaret açıklığı–büyüme ile CO₂ arasındaki ilişkileri ARDL sınır testiyle inceleyerek politika çıkarımlarında bulunmuştur. Benzer şekilde Ayvaz ve arkadaşları, Akdeniz ülkelerinde hava taşımacılığı ve turizmin CO₂ üzerindeki kısa/uzun dönem dinamiklerinin ayrıştığını göstermiştir (Ayvaz ve diğerleri, 2025).

AB bağlamında çevresel performans, emisyonların nerede ve hangi uçuş tiplerinde yoğunlaştığı gibi daha mikro analizlerle zenginleşmiştir. Alonso ve diğerleri (2014), Eurostat ve EUROCONTROL tabanlı analizle trafiğin büyük ölçüde belli ülkelerde yoğunlaştığını ve mesafe segmentleri içinde belirli bantların (ör. 500–1000 km) CO₂ emisyonlarında öne çıktığını göstererek, emisyon azaltımında hedeflemenin önemine işaret etmektedir. Benzer şekilde Amizadeh ve diğerleri (2016), 2010–2013 döneminde AB’de trafik hafif azalırken CO₂’nin daha güçlü düşebildiğini; bunun arkasında filo kullanımı ve yakıt verimliliği gibi verimlilik mekanizmalarının rolünü tartışmaktadır. Daha güncel bir perspektifte ise Nieto ve diğerleri (2025), 2019–2024 döneminde AB ülkelerinde trafik aktivitesi ile CO₂ emisyonlarının pandemi şoku ve toparlanma süreci içinde nasıl ayrıştığını karşılaştırmalı biçimde inceleyerek dekarbonizasyon önceliğinin operasyonel toparlanma ile aynı anda yönetildiğini ortaya koymaktadır. Yine de bu çalışmaların ana amacı çoğu zaman nedensel ilişkiyi tahmin etmek olduğundan, ülke havacılık performansını aynı anda operasyonel, finansal ve çevresel bileşenlerle bütünlük bir endeks/sıralama mantığında değerlendirme sınırlı kalmaktadır.

Literatürde MEREC yöntemi, imalat/otomasyon gibi mühendislik kararlarında (ör. sprej-boya robotu seçimi) çok kriterli yaklaşımlara ağırlık katmanı olarak entegre edildiği görülür (Shanmugasundar ve diğerleri, 2022). Benzer biçimde depo/lojistik ekipmanı seçiminde MEREC ağırlıklarının MABAC gibi sıralama araçlarıyla birleştirilerek kararın şeffaflaştırıldığı raporlanmıştır (Keleş, 2023). Sürdürülebilirlik ve politika uygulamalarında da MEREC’in kriter etkisini yakalama kabiliyeti öne çıkmaktadır. Örneğin kurumsal karbon azaltım şemalarının değerlendirilmesinde GRI skorlarıyla birlikte MEREC tabanlı hibrit bir tasarım kullanılmıştır (Esangbedo ve Tang, 2023). Sağlık ve güvenlik ekseninde, yeraltı madenlerinde sensör seçimi gibi kritik uygulamalarda MEREC’in CoCoSo ile hibritlenmesiyle çok kriterli güvenlik-teknoloji seçimlerinin sistematikleştirildiği gösterilmiştir (Wang ve diğerleri, 2024). Tedarik zinciri kararlarında da MEREC, firmaların tedarikçi/alternatif değerlendirmesine görülmektedir. Örneğin tıbbi cihaz firmasında tedarikçi seçimi probleminde sezgiye dayalı bulanık kümelerle MEREC–CoCoSo entegrasyonu raporlanmıştır (Sönmez ve Toktaş, 2024). Kullanıcı odaklı teknoloji seçiminde (giyilebilir sağlık teknolojileri) MEREC’in davranışsal karar teorisi (kümülatif beklenti teorisi) ve bulanık temsil ile birleştirilerek sıralama duyarlılığının ele alındığı çalışmalar da vardır (Fan ve diğerleri, 2024). Malzeme/ürün performansı gibi daha klasik mühendislik problemlerinde ise MEREC’in RAM gibi yöntemlerle bir araya getirilerek fren sürtünme malzemesi seçimi gibi çok kriterli tasarımlarda kullanıldığı görülür (Kumar ve diğerleri, 2025). Hizmet sistemlerinde (şehir hastaneleri) kapasite performansının karşılaştırılmasında MEREC’in MAIRCA ile hibritlenmesi, yöntemin yalnızca ürün seçimi değil kurum ve sistem performansı değerlendirmelerinde de işlevselleştirdiğini gösterir (Turanboy ve diğerleri, 2024). Hatta ülke düzeyi sosyal göstergelerin endekslenmesi gibi makro çerçevede bile MEREC–MARCOS kurgusuyla nesnel ağırlıklandırma ve sıralama birlikte işletilmiştir (Ayçin ve Arsu, 2022).

AROMAN, özellikle ulaştırma/dağıtım sistemleri ve sürdürülebilir lojistik kararlarında hızlı biçimde uygulama alanı bulmuştur. Elektrikli araç seçimi (Bošković ve diğerleri, 2023), ve sürdürülebilir teslimat modeli seçimi gibi problem türlerinde AROMAN’ın sıralama üretmek için kullanıldığı görülür (Dobrodolac ve diğerleri, 2024). Belirsizlik altında karar verme literatürü, AROMAN’ı bulanık uzantılarla daha da genişletmiştir. Sürücü seçimi gibi insan faktörünün güçlü olduğu kararlarda bulanık ve Fuller ağırlıklandırma ile bütünleşen AROMAN uygulamaları raporlanmıştır (Čubranić-Dobrodolac ve diğerleri, 2023). Kamusal hizmet ve altyapı

tarafında, kırsal alan posta ağı sürdürülebilirliğini artırma probleminde interval type-2 fuzzy AROMAN önerilmiştir (Nikolić ve diğerleri, 2023). Çevre teknolojileri bağlamında, atıksu arıtma teknolojisi seçimi için interval-valued intuitionistic fuzzy AROMAN kurgusu sunulmuştur (Alrasheedi ve diğerleri, 2024). Döngüsel ekonomi ve tedarik zinciri sürdürülebilirliğinde, dairesel tedarikçi performansı değerlendirmesinde AROMAN yaklaşımı kullanılarak belirsiz ve veri eksikliğine dayanıklı sıralamalar üretilmiştir (Albayrak Ünal ve diğerleri, 2025). Ayrıca AROMAN, çevresel lojistik hizmetleri içinde palet kiralama (pallet pooling) hizmet sağlayıcısı seçimi gibi yeşil operasyon kararlarına da taşınmıştır (Gürol ve diğerleri, 2025). Eğitim kurumları gibi hizmet sektörlerinde, sürdürülebilir üniversite performansı (GreenMetric kriterleri) değerlendirmesinde WENSLO tabanlı AROMAN kullanımı raporlanmıştır (Bayazit Bedirhanoglu, 2025). Finans tarafında, reasürans şirketlerinin finansal performansı CRADIS ve AROMAN ile karşılaştırmalı olarak sıralanmıştır (Çilek ve Şeyranlıoğlu, 2025).

MEREC'in havacılık literatüründeki kullanımı, havayolu ve havalimanı performansını çok boyutlu (finansal, operasyonel, sürdürülebilirlik ve hizmet kalitesi) bir çerçevede değerlendirmeye dönük hibrit ÇKKV tasarımlarında yoğunlaşmaktadır. Dengeli skor kart (BSC) mantığını çok kriterli yapıya taşıyıp ağırlıkları MEREC ile türeten ve bütünlük sıralama üreten çalışmalar, havayollarının performansını tek bir çıktı (kârlılık ya da trafik) yerine çoklu hedefler üzerinden okumayı mümkün kılar (Ertuğrul ve Özdarak, 2025), pandemi gibi şok dönemlerinde MEREC'in COBRA gibi sıralama teknikleriyle birlikte kullanımı şirketler arası ayrışmayı güçlendirmekte ve hangi kriterlerin sıralamayı sürüklediğini görünür kılmaktadır (Asker, 2024). Benzer biçimde, müşteri deneyimi ekseninde hizmet niteliklerinin ağırlıklarının MEREC ile hesaplanıp MARCOS ile sıralamanın kurulması havayolları için müşteri öncelikleri temelinde rekabetçi lig tablosu üretirken (Akbiyık ve diğerleri, 2025), havalimanı hizmet kalitesi tarafında Skytrax benzeri çok boyutlu göstergelerin MEREC tabanlı ağırlıklandırma ile MARCOS/CoCoSo gibi yöntemlerle birleştirilmesi havalimanlarının hizmet performansını karşılaştırmalı ölçmektedir (Sümerli Sarıgül ve diğerleri, 2023). AROMAN yöntemi, havacılık literatüründe farklı niteliklerdeki alternatiflerin (havayolu, havalimanı, hat ya da operasyon senaryosu) bütünlük bir performans skoruna dönüştürülerek nihai sıralamasının üretildiği sıralama tekniği olarak kullanıldığı görülmektedir. Özellikle yolcu değerlendirmelerine dayalı memnuniyet kriterlerinde LOPCOW ile ağırlıklandırma ve AROMAN ile sıralama yaklaşımı pandemi sonrası dönemde müşteri deneyimi üzerinden rekabet performansı üretmeye olanak verirken (Bakır ve İnce, 2024), pazar yapısı odaklı uygulamalarda geleneksel taşıyıcılar ile düşük maliyetli taşıyıcıların performansının LOPCOW–AROMAN bileşimiyle karşılaştırıldığı ve COVID-19 sonrası farklılaşmaların kriter bazında tartışıldığı görülmekte; ayrıca LOPCOW–AROMAN temelli çerçevelerin havaalanı güvenlik tarama verimliliği gibi operasyonel açıdan hassas problemlerde etkinlik sıralaması üretmek üzere kullanıldığı raporlanmaktadır (Asker, 2026; Riaz ve diğerleri, 2025).

2.1. Araştırma Boşluğu

Hava taşımacılığının ekonomik kalkınma ile ilişkisi uzun süredir tartışılmaktadır. Hem şehir/bölge ölçeğinde hem de ülke düzeyinde yolcu ve kargo trafiğinin üretim, istihdam ve büyüme dinamikleriyle bağlantılı olabildiği gösterilmektedir (Button ve Taylor, 2000; Brueckner, 2003; Kasarda ve Green, 2005; Percoco, 2010). Bununla birlikte bu ilişkinin yönü ve büyüklüğü bağlama duyarlı olup, farklı ülke grupları ve yöntemlerde nedenselliğin çift yönlü ya da asimetrik işleyebildiği kanıtlanmıştır (Hakim ve Merkert, 2016; Kiracı ve Bakır, 2019; Akar, 2025; Çelik ve diğerleri, 2025; Zhang ve Graham, 2020). Bu nedenle literatürde, havayolu ve havalimanı faaliyeti ile büyüme arasındaki ilişki çoğu zaman tek bir çıktı (yolcu, kargo, bağlantısallık vb.) üzerinden okunmaktadır. Ağ entegrasyonunu yakalayan ölçüler dahi çoğunlukla ekonomik etki tartışmasına girdi sağlasa da ülkelerin havacılık sistemlerini çok boyutlu performans olarak izleyen bütünlük değerlendirme çerçeveleri daha sınırlı kalmaktadır (Arvis ve Shepherd, 2011; Lenaerts ve diğerleri, 2021).

Öte yandan çevresel hat, havacılığın iklim etkisini ve özellikle CO₂ emisyonlarını belirleyen faktörleri öne çıkarmaktadır. AB örneğinde yapılan çalışmalar; emisyon dağılımını, filo kullanımını ve ülke karşılaştırmalarını ayrıntılandırmaktadır (Alonso ve diğerleri, 2014; Amizadeh ve diğerleri, 2016; Queiroz Júnior ve diğerleri, 2024; Nieto ve diğerleri, 2025). Bununla birlikte, iklim politikası araçlarının (ör. AB ETS, bilet vergileri, SAF düzenlemeleri) havacılık davranışları ve maliyet yapıları üzerindeki etkileri güçlendikçe, performans tartışmasının yalnızca emisyon seviyeleriyle sınırlandırılması giderek daha yetersiz hâle gelmektedir (Fageda ve Teixidó, 2022; Bernardo ve diğerleri, 2024; Zhang ve Wang, 2024; EU-Regulation, 2025; Chen ve diğerleri, 2024).

Bu parçalı görünüm, literatürde belirgin bir metodolojik boşluk üretmektedir. Çalışmaların önemli bir bölümü tek boyutlu (sadece ekonomik etki ya da sadece çevresel etki) yaklaşımlarla ilerlerken; performansın politika tasarımı açısından gerektirdiği operasyonel ölçek–ekonomik/finansal değer üretimi–çevresel baskı dengesini aynı anda değerlendiren ülke karşılaştırmaları görece azdır. Dahası, ülkeler arası karşılaştırmalar ölçüm tasarımına son derece hassastır. Mutlak yolcu sayısı, toplam filo veya toplam emisyon gibi ölçek bağımlı göstergeler nüfus/GSYH farkları ayrıştırılmadığında büyük ülke etkisini büyütebilir. Kompozit

gösterge literatürü, normalizasyon ve ağırlıklandırma tercihlerinin sıralama sonuçlarını anlamlı biçimde değiştirebileceğini; bu nedenle kriter inşasında yöntem şeffaflığı ve sağlamlık testlerinin kritik olduğunu vurgumaktadır (OECD ve European Commission, 2008; Walesiak, 2018).

Son olarak, ÇKKV literatürü performans değerlendirmelerinde güçlü bir araç seti sunsa da (örn. nesnel ağırlıklandırma, çok boyutlu sıralama), havacılık alanında bu araçların kullanımının çoğu kez işletme, hat ve havalimanı ölçeğinde yoğunlaştığı; ülke ölçeğinde ise yeni nesil nesnel ağırlıklandırma ve sıralama yaklaşımlarının sınırlı kaldığı görülmektedir (Chakraborty ve diğerleri, 2020; Keshavarz-Ghorabae ve diğerleri, 2021; Bošković ve diğerleri, 2023). Bu çerçevede araştırma boşluğu, Avrupa ülkeleri için karşılaştırılabilir veri setleri üzerinden ölçek etkisini azaltan oran/yoğunluk temelli göstergeleri birlikte kullanan, kriter ağırlıklarını nesnel biçimde üreten ve çok boyutlu performansı tek bir bütünleşik sıralamaya taşıyıp sağlamlık/duyarlılık açısından yorumlanabilir çıktılar veren bir ülke düzeyi değerlendirme çerçevesinin eksikliğinde somutlaşmaktadır. Bu çalışma, 2015–2023 dönemi için finansal dayanıklılık, operasyonel verimlilik ve çevresel sürdürülebilirliği birlikte ele alan hibrit bir MEREC–AROMAN çerçevesi kurarak söz konusu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

3. ARAŞTIRMA TASARIMI VE VERİ

Bu çalışmanın çıkış noktası, ülkelerin havacılık sistemlerine ilişkin performansın yalnızca trafik hacmi veya tekil göstergeler üzerinden okunmasının politika ve yönetim açısından eksik bir resim üretmesidir. Operasyonel hareketlilik ve kapasite göstergeleri, finansal/ekonomik değer üretimi ve çevresel baskı göstergeleri eşzamanlı izlenmediğinde ülkeler arasında bütünleşik bir performans değerlendirmesi yapmak güçleşmektedir. Bu nedenle çalışma, havacılık performansını operasyonel, finansal ve çevresel olmak üzere üç tamamlayıcı boyutta ele alan ve ölçek farklılıklarının karşılaştırmayı bozucu etkisini azaltmak amacıyla göstergeleri oran/yoğunluk temelli tanımlayan bütüncül bir ölçüm çerçevesi kurmaktadır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kriterler ve özellikleri

<i>Performans</i>				
<i>Boyutu</i>	<i>Kod</i>	<i>Kriter İsmi</i>	<i>Hesaplama</i>	<i>Tercih</i>
Operasyonel	OP1	Havacılık Hareketliliği (Oran)	Yolcu Sayısı / Nüfus	Maks
	OP2	Filo Yoğunluğu (Oran)	Uçak Sayısı / Nüfus	Maks
	OP3	Lojistik Kapasite (Oran)	Yük / GSYH	Maks
Finansal	F1	Faaliyet Karlılığı (%)	Brüt Faaliyet Fazlası / Satış Geliri	Maks
	F2	İşgücü Verimliliği (Oran)	Brüt Katma Değer / Çalışan Sayısı	Maks
	F3	Birim Gelir (Oran)	Satış Geliri / Çalışan Sayısı	Maks
	F4	Havacılığın GSYH İçindeki Payı (%)	Faktör Maliyetiyle Katma Değer/GSYH	Maks
Çevresel	Ç1	Yolcu Başına Havacılık CO ₂ Emisyonu (Oran)	Havacılık CO ₂ Emisyonu / Yolcu Sayısı	Min
	Ç2	Havacılık CO ₂ Emisyonunun GSYH'ye Oranı (Oran)	Havacılık CO ₂ Emisyonu / GSYH	Min
	Ç3	Havacılık CO ₂ Emisyonunun Toplam CO ₂ Emisyonları İçindeki Payı (%)	Havacılık CO ₂ Emisyonu / Toplam Ulusal CO ₂ Emisyonu	Min

Not: Kriterlerin hepsi Eurostat veritabanından alınarak oluşturulmuştur.

Araştırma tasarımı, 2015–2023 döneminde 20 Avrupa ülkesinin havacılık performansını karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye dayanmaktadır. Yalnızca ikincil veri kullanıldığı için etik kurul izni gerekmemekte; veriler Avrupa Birliği Eurostat veri tabanından elde edilmektedir. Veri seti, kriterlerin tamamı için eksiksiz erişim sağlanabilen ülkelerle sınırlandırılmış ve bu koşulu sağlayan 20 ülke analiz kapsamına alınmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler, kodlar, verilerin kaynakları ve normalleştirme tercih yönü Tablo 1'de gösterilmektedir. Avrupa ülkeleri ve analizdeki kodları ise Tablo 2'de sunulmaktadır.

Bu araştırma tasarımı, kriter ağırlıklarının nesnel olarak belirlenmesi ve ülkelerin performans sıralamasının elde edilmesine imkân veren hibrit bir ÇKKV yaklaşımının kurulmasına zemin sağlamaktadır. Çalışmada verilerine eksiksiz erişim sağlanabilen 20 Avrupa ülkesi analiz kapsamında incelenmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan ülkeler ve kodları

Kod	Ülke	Kod	Ülke
C1	Avusturya	C11	İtalya
C2	Belçika	C12	Litvanya
C3	Bulgaristan	C13	Malta
C4	Kıbrıs	C14	Hollanda
C5	Çekya	C15	Norveç
C6	Danimarka	C16	Portekiz
C7	Almanya	C17	Slovakya
C8	Yunanistan	C18	Slovenya
C9	Macaristan	C19	İspanya
C10	İzlanda	C20	İsveç

3.1. Kriter ve Alternatiflerin Seçimi

Kriter seti, ülke düzeyinde havacılık performansını tek bir büyüklüğe indirgemek yerine literatürde önerildiği biçimiyle çok boyutlu bir çerçevede (operasyonel, finansal ve çevresel) temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Bu doğrultuda önce ilgili literatürde ülke/havacılık performansı ölçümünde kullanılan göstergeler derlenmiş; ardından ülkeler arası karşılaştırılabilirlik, ölçek yanlılığını azaltma (oran/yoğunluk göstergeleri), veri sürekliliği ve boyutlar arası denge ilkeleri gözetilerek nihai kriterler seçilmiştir. Aşağıdaki Tablo 3'te kriterlerin seçimi ile akademik referanslar ve literatürdeki önemi özetlenmiştir.

Tablo 3. Kriterlerin seçimi

Boyut	Kriter Adı	Akademik Referanslar (Örnek Çalışmalar)	Literatürdeki Rolü ve Önemi
Operasyonel	Havacılık Hareketliliği	Janic (2016); Chakraborty ve diğerleri (2020); Kazda ve diğerleri, (2024)	Talebin nüfusla normalize edilmesi, ulaşım erişilebilirliği ve uçuş eğilimi için standart metriktir.
	Filo Yoğunluğu	IATA (2023); Barros ve Wanke (2015)	Arz kapasitesinin ülke ölçeğine göre dengelenmesi, havacılık altyapısının uygunluk seviyesini ölçer.
	Lojistik Kapasite	Ishutkina ve Hansman (2008); Kasarda ve Green (2005); Button ve Yuan (2013)	Havayolu yük trafiğinin ekonomik büyüklüğe (GSYH) oranı, lojistik entegrasyonun gücünü temsil eder.
Finansal	Faaliyet Karlılığı	Vasigh ve diğerleri (2013)	Havacılıkta operasyonel kâr marjı, sermaye yapısından bağımsız olarak yönetim verimliliğini gösteren en kararlı orandır.
	İşgücü Verimliliği	Anand ve Wittenburg (2017); McKinsey (2023); Oxford Economics (2014)	Katma değer çalışan sayısına oranı, sektördeki teknolojik dönüşüm ve verimlilik artışının ana göstergesidir.
	Birim Gelir	Doganis (2006); Demir ve diğerleri, (2018)	Personel başına düşen gelir, havayolu işletmelerinin pazar gücünü ve operasyonel getiri kapasitesini yansıtır.
Çevresel	Havacılığın GSYH Payı	ATAG (2024); Oxford Economics (2014); Chapman (2025)	Havacılık faaliyetlerinin ulusal ekonomiye yaptığı doğrudan katkı, sektörün makroekonomik ağırlığını göstermektedir.
	Yolcu Başına Emisyon / GSYH	Graver ve diğerleri (2020); ICAO (2024)	Karbon verimliliği ölçümü için en yaygın kullanılan eko-verimlilik metriğidir.
	Ulusal Emisyon Payı	International Energy Agency (2024); Friedlingstein ve diğerleri, (2025)	Ekonomik büyüme ile emisyon artışı arasındaki ayrışma düzeyini takip etmek için zorunludur.
		Lee ve diğerleri (2021); Klöwer ve diğerleri (2021)	Sektörün toplam karbon bütçesi içindeki yerini göstererek, ulusal iklim hedefleri üzerindeki baskısını ölçer.

Operasyonel boyutta üç kriter kullanılmıştır. Havacılık hareketliliği, kişi başına talebi temsil ederek erişilebilirlik ve uçuş eğilimini ülke ölçeğinde karşılaştırılabilir kılan standart bir hareketlilik ölçüsüdür (Janić, 2016; Chakraborty ve diğerleri, 2020; Kazda ve diğerleri, 2024). Filo yoğunluğu, arz kapasitesinin ülke ölçeğine göre dengelenmiş bir göstergesi olup, havacılık altyapısı/kapasite uygunluğu ve sistemin arz yeterliliğine ilişkin bir proxy olarak kullanılmaktadır (IATA, 2023; Barros ve Wanke, 2015). Lojistik kapasite, havayolu yük trafiğinin ekonomik büyüklükle ilişkilendirilmiş bir ölçüsünü sunarak lojistik entegrasyon ve ticaretin zaman duyarlı bileşenlerini temsil etmektedir (Ishutkina ve Hansman, 2008; Kasarda ve Green,

2005; Button ve Yuan, 2013). Bu üç operasyonel kriter birlikte ele alındığında, talep (hareketlilik), arz (kapasite) ve ekonomik sisteme eklenme (lojistik) boyutları aynı çerçevede izlenebilmektedir.

Finansal boyutta dört kriterle sektörün değer üretimi ve verimlilik yapısı görünür kılınmıştır. Faaliyet kârlılığı, finansman yapısından görece bağımsız bir operasyonel kârlılık metriği olarak yönetim verimliliğini ve faaliyet performansını yansıtır (Vasigh ve diğerleri, 2013). İşgücü verimliliği, emek başına katma değeri ölçerek sektördeki üretkenlik ve teknolojik dönüşümün performans üzerindeki etkisini temsil eder (Anand, ve Wittenburg 2017; Oxford Economics, 2014; McKinsey, 2023). Birim gelir, personel başına gelir kapasitesi üzerinden pazar gücü ve operasyonel getiri üretme yeteneğine işaret eder (Doganis, 2006; Demir ve diğerleri, 2018). Son olarak havacılığın GSYH içindeki payı, havacılık faaliyetlerinin ulusal ekonomideki doğrudan ağırlığını ölçerek mikro performans göstergeleri ile makro katkı arasında bağ kurar (Oxford Economics, 2014; ATAG, 2024; Chapman, 2025). Böylece finansal boyut, yalnızca büyüklük değil; kârlılık, üretkenlik, gelir üretimi ve makroekonomik katkı bileşenleriyle birlikte değerlendirilmiştir.

Çevresel boyutta ise havacılığın iklim baskısı üç tamamlayıcı gösterge ile izlenmiştir. Yolcu başına havacılık CO₂ emisyonu, eko-verimlilik mantığında, birim hizmet (yolcu) başına emisyonu yakalayarak karbon verimliliği ölçümünde yaygın kullanılan bir metriktir (Graver ve diğerleri, 2020; ICAO, 2024). Havacılık CO₂ emisyonunun GSYH'ye oranı, ekonomik faaliyet ile emisyon artışı arasındaki ayrışma düzeyini takip etmeyi sağlayan yoğunluk temelli bir göstergedir (International Energy Agency, 2024; Friedlingstein ve diğerleri, 2025). Havacılık CO₂ emisyonunun toplam ulusal CO₂ içindeki payı ise sektörün ulusal karbon bütçesi içindeki konumunu ve ulusal iklim hedefleri üzerindeki görece baskısını göstermektedir (Lee ve diğerleri, 2021; Klöwer ve diğerleri, 2021). Bu üçlü yapı, performansı yalnızca emisyon düzeyiyle değil; hizmet üretimi, ekonomik ölçek ve ulusal toplam içindeki pay perspektifleriyle birlikte değerlendirmeyi mümkün kılar. Sonuç olarak kriterlerin seçimi, literatürde kabul gören ölçüm yaklaşımlarına dayanmakta ve çalışmanın çok kriterli değerlendirme mantığıyla uyumlu, dengeli bir performans temsilini hedeflemektedir.

Alternatifler, verilerine eksiksiz erişim sağlanabilen 20 Avrupa ülkesinden (Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İzlanda, İtalya, Litvanya, Malta, Hollanda, Norveç, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya ve İsveç) oluşmaktadır. Bu ülkeler, 2015–2023 döneminde tüm kriterler için süreklilik gösteren gözlemler sağladığından, karşılaştırmalı sıralamanın veri boşluklarından kaynaklı sapmalara maruz kalması önlenmiş ve karar matrisi tutarlı biçimde oluşturulmuştur.

4. YÖNTEM

Bu çalışmada, Avrupa ülkelerinin 2015–2023 dönemine ait havacılık performansları finansal dayanıklılık, operasyonel verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik ekseninde bütüncül biçimde değerlendirilmiştir. Bu amaçla kriter ağırlıklarının belirlenmesinde verilerin nesnel yapısını esas alan MEREC (Method based on the Removal Effects of Criteria) ve ülkelerin performans sıralamasının elde edilmesinde iki aşamalı normalizasyon tekniğine dayanan AROMAN (Alternative Ranking Order Method Accounting for Two-Step Normalization) yöntemleri entegre edilerek hibrit bir ÇKKV modeli kurulmuştur.

4.1. MEREC Yöntemi

MEREC yöntemi, kriter ağırlıklarını nesnel biçimde belirleyen ve bir kriter sistemden çıkarıldığında alternatiflerin toplam performansında oluşan değişimin büyüklüğü ilkesine dayanan bir ağırlıklandırma yöntemidir. Temel varsayım, çıkarılması durumunda toplam performansı daha fazla değiştiren kriterlerin karar problemi açısından daha kritik olduğu ve dolayısıyla daha yüksek ağırlık alması gerektiğidir. Uygulama süreci; karar matrisinin fayda/maliyet yönüne uygun normalize edilmesi, tüm kriterlerle alternatiflerin toplam performansının hesaplanması, ardından kriterlerin tek tek sistemden çıkarılmasıyla performans değerlerinin yeniden üretilmesi ve bu çıkarma işlemlerinin yarattığı sapmaların toplanarak kriter etki skorlarının elde edilmesi adımlarıyla ilerler (Keshavarz-Ghorabae ve diğerleri, 2021). Bu çalışmada izlenen hesaplama akışı Tablo 4'te sunulmuştur (Keshavarz-Ghorabae ve diğerleri, 2021).

Tablo 4. MEREC yöntemi aşamaları

Adım	İşlem	Hesaplama	Açıklama
1	Başlangıç Matrisi	$X = [x_{ij}]_{m \times n}$.	(1) Karar vericiler tarafından belirlenen alternatifler (i) ve kriterlerden (j) oluşan veri matrisi kurulur.
2	Normalizasyon	$n_{ij} = \frac{\min_k - x_{kj}}{x_{ij}}$, Maks $n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\min_k - x_{kj}}$, Min	(2) Veriler [0,1] aralığına dönüştürülür. (3) (Not: Logaritma işlemi için $x_{ij} > 0$ olmalıdır.)
3	Genel Performans (Si)	$S_i = \ln(1 + (\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n ln_{ij}))$	(4) Tüm kriterler dahil edildiğinde her bir alternatifin toplam performans değeri hesaplanır.
4	Kriter Çıkarma Performansı	$S'_{ij} = \ln(1 + (\frac{1}{n} \sum_{k,k \neq j}^n ln_{ik}))$	(5) Her seferinde bir (j) kriter matristen çıkarılarak, geriye kalan kriterlerle yeni performans skoru hesaplanır.
5	Kaldırılma Etkisi (Sapma)	$E_j = \sum_{i=1}^m S'_{ij} - S_i $	(6) Kriterin çıkarılmasının sonuçlarda yarattığı toplam değişim (fark) toplanır. Fark ne kadar büyükse, kriter o kadar önemlidir.
6	Nihai Ağırlıklar	$w_{ij} = \frac{E_j}{\sum_{k=1}^m E_k}$	(7) Her kriterin sapma değeri, toplam sapma değerine bölünerek kriter ağırlıkları elde edilir.

4.2. AROMAN Yöntemi

AROMAN yöntemi, çok kriterli karar verme problemlerinde alternatifleri sıralamak için geliştirilen oran-temelli bir yöntem olup, normalizasyon tercihlerinin sıralama üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla iki aşamalı normalizasyonu (doğrusal + vektör) birlikte kullanmasıyla ayrılmaktadır. Yöntem, iki normalizasyon çıktısını uzlaştırdıktan sonra ağırlıklandırılmış toplamsal ve çarpımsal ölçüleri üretir ve bunları λ parametresi ile tek bir nihai skorda birleştirir. Uygulama süreci; kriter yönlerinin belirlenmesi, iki farklı normalizasyon matrisinin oluşturulması, uzlaşık normalize matrisin elde edilmesi, ağırlıklarla (bu çalışmada MEREC) toplam fayda ve toplam maliyet bileşenlerinin hesaplanması ve nihai AROMAN skorunun türetilerek sıralamanın yapılması adımlarını izler (Bošković ve diğerleri, 2023). Bu çalışmada izlenen adımlar Tablo 5'te sunulmuştur (Bošković ve diğerleri, 2023).

Tablo 5. AROMAN yöntemi aşamaları

Adım	İşlem	Hesaplama	Açıklama
1	Başlangıç Matrisi	$X = [x_{ij}]_{m \times n}$.	(7) Karar vericiler tarafından belirlenen alternatifler (i) ve kriterlerden (j) oluşan ham veri matrisi kurulur.
2	Lineer Normalizasyon (L1)	$T_{ij} = \frac{x_{ij} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$	(8) Veriler [0,1] aralığına Min-Max yöntemiyle dönüştürülür. Bu adım, verilerin aritmetik dağılımını korur.
3	Vektör Normalizasyonu (L2)	$T_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$	(9) Veriler vektörel büyüklüklerine bölünerek normalize edilir. Önemli Fark: Maliyet kriterleri önce tersine çevrilir ($1/x$), sonra normalize edilir.
4	Ağırlıklı Matrislerin Oluşturulması	$T^{\wedge}_{ij} = W_j X T_{ij}^{norm}$	(10) Lineer ve Vektör normalizasyon matrislerinin her hücresi, ilgili kriterin ağırlığı (W_j) ile çarpılır.
5	Grup Skorlarının Hesaplanması	$A_i = \sum_{j=1}^n T^{\wedge}_{ij}{}^{max}$ $L_i = \sum_{j=1}^n T^{\wedge}_{ij}{}^{min}$	(11) Bu adımda ağırlıklı-normalize karar matrisindeki değerler kriter yönlerine göre ayrıştırılır; fayda kriterleri toplanarak her alternatif için A_i , maliyet kriterleri toplanarak L_i elde edilir.
6	Nihai AROMAN Skoru	$A^{\wedge}_i = A^{1-\tau}_i = \{ \sum_{j=1}^n T^{\wedge}_{ij}{}^{max} \}^{1-\tau}$ $L^{\wedge}_i = L^{\tau}_i = \{ \sum_{j=1}^n T^{\wedge}_{ij}{}^{min} \}^{\tau}$	(13) İki farklı skor, τ katsayısı ile birleştirilir. (14) Genellikle denge için $\tau=0.5$ alınır.
7	Sıralama	$R_i = e^{(A^{\wedge}_i - L^{\wedge}_i)}$	(15) En yüksek R_i değerine sahip ülke/alternatif en iyi performansı gösterir.

5. BULGULAR

Çalışmada gerçekleştirilen analiz süreci iki aşamadan oluşmuştur. İlk aşamada, ülkelerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin önem düzeylerini belirlemek amacıyla MEREC yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemle elde edilen ağırlıklar, kriterler arasındaki varyasyonu nesnel biçimde ölçerek finansal, operasyonel ve çevresel göstergelerin göreceli önemini ortaya koymuştur. İkinci aşamada ise, bu ağırlıklar esas alınarak AROMAN yöntemi ile ülkeler sıralanmıştır.

Araştırma 2015–2023 dönemini kapsamaktadır. MEREC ve AROMAN'ın hesaplama adımları 2023 verisi örnek yıl olarak alınarak yürütülmüş; ardından 2015–2023 döneminin tamamı için sıralama sonuçları raporlanmıştır.

Çalışmada kullanılan çevresel (CO₂ emisyonları) ve finansal boyutlar (işgücü verimliliği vb.) için Eurostat veri tabanında 20 ülke özelinde kesintisiz, eksiksiz ve karşılaştırılabilir veri setine erişilen en geniş ve güncel zaman aralığı 2015-2023 dönemi olduğundan bu dönem tercih edilmiştir.

Veri setinde yer alan faaliyet kârlılığı, işgücü verimliliği ve havacılığın GSYH içindeki payı gibi göstergelerde karşılaşılan negatif değerlerin normalizasyon sürecinde matematiksel hata üretmemesi amacıyla, algoritmalar uygulanmadan önce Ötelemeli Min-Max prosedürü uygulanmıştır.

5.1. MEREC Yöntemi Bulguları

Bu bölümde, 2015-2023 dönemini kapsayan analizde kriterlerin önem düzeylerini belirlemek amacıyla uygulanan MEREC yöntemine ait bulgular ve 2023 yılına ait örnek veriler sunulmaktadır. Aşağıdaki Tablo 6'da karar matrisi sunulmaktadır.

Tablo 6. MEREC yöntemi karar matrisi

Tercih Kod/Kriter	Max OP1	Max OP2	Max OP3	Max F1	Max F2	Max F3	Max F4	Min Ç1	Min Ç2	Min Ç3
C1	3,64747	1,33E-05	0,541792	72,5	173,57	605,99	0,263792	0,557694	10,62637	0,117721
C2	2,754824	3,59E-06	2,687221	89,1	229,26	759,53	0,288064	0,224097	4,368565	0,039195
C3	1,641449	6,9E-06	0,234322	40,1	73,72	248,82	0,14414	0,047421	3,23464	0,009912
C4	12,46768	5,07E-07	0,802171	35,0	0,54	193,42	0,00535	0,118343	3,462413	0,019783
C5	1,385619	7E-06	0,215566	71,6	111,57	508,06	0,093497	0,068199	2,314086	0,011061
C6	5,361125	4,59E-06	0,785609	14,1	110,72	586,24	0,129127	0,442192	7,011116	0,042534
C7	2,231036	5,67E-06	1,112171	79,1	194,13	554,28	0,297106	0,317453	6,253676	0,055995
C8	6,09602	2,03E-06	0,446097	106,2	201,77	506,81	0,376429	0,170749	7,914036	0,035127
C9	1,554398	7,84E-06	0,723957	83,8	132,48	2458,14	0,116281	0,40061	19,50389	0,121214
C10	20,92991	9,24E-06	2,102173	68,0	193,05	460,65	2,535977	5,082647	67,18702	0,358419
C11	2,774389	6,84E-07	0,47071	66,0	135,73	625,29	0,104444	0,084788	2,334677	0,021881
C12	2,098057	6,84E-06	0,266709	88,2	117,54	579,59	0,152679	0,020362	0,782876	0,003756
C13	14,41856	8,33E-05	0,986661	103,9	201,57	2477,58	1,847307	0,39491	147,5123	0,677263
C14	4,005581	3,91E-06	1,348606	67,9	195,17	525,9	0,435746	0,572311	9,706951	0,088883
C15	6,143899	3,62E-06	0,358976	16,4	120,67	566,3	0,163592	0,747847	9,192853	0,07587
C16	5,816428	4,41E-06	0,768419	67,4	157,15	482,17	0,631572	0,448108	17,43123	0,149266
C17	0,448696	1,07E-05	0,089735	64,8	82,59	510,4	0,05912	0,003674	0,161429	0,000819
C18	0,599135	1,26E-05	0,178442	111,1	155,73	274,09	0,104496	0,010001	0,198046	0,001498
C19	4,917527	2,51E-06	0,692256	81,9	162,25	467,6	0,346294	0,270484	8,683856	0,078814
C20	2,812935	5,74E-06	0,236553	0,4	93,42	899,34	0,096357	0,24132	4,744344	0,077272
Max	20,92991	8,33E-05	2,687221	111,07	229,26	2477,58	2,535977	5,082647	147,5123	0,677263
Min	0,448696	5,07E-07	0,089735	0,37	0,54	193,42	0,00535	0,003674	0,161429	0,000819

2023 yılına ait verilerden oluşturulan MEREC yöntemi karar matrisi, Avrupa ülkelerinin havacılık performansını yansıtan finansal, operasyonel ve çevresel göstergelerin ham değerlerini sunmaktadır. Tablo 6 incelendiğinde, Birim Gelir gibi finansal kriterlerin yüksek sayısal değerlere sahip olduğu, buna karşın Filo Yoğunluğu gibi oransal kriterlerin çok daha düşük ölçeklerde seyrettiği görülmektedir. Veri setindeki bu ölçek farklılıkları ve birim uyumsuzlukları, ülkeler arasında sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi ve kriterlerin sistemdeki gerçek etkisinin ölçülebilmesi için normalizasyon işleminin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Aşağıdaki Tablo 7'de Normalizasyon verileri sunulmaktadır.

Tablo 7. MEREC yöntemi normalizasyon değerleri

Kod/Kriter	OP1	OP2	OP3	F1	F2	F3	F4	Ç1	Ç2	Ç3
C1	0,1230	0,0380	0,1656	0,0051	0,0031	0,3192	0,0203	0,1097	0,0720	0,1738
C2	0,1629	0,1414	0,0334	0,0042	0,0024	0,2547	0,0186	0,0441	0,0296	0,0579
C3	0,2734	0,0735	0,3830	0,0092	0,0073	0,7773	0,0371	0,0093	0,0219	0,0146
C4	0,0360	1,0000	0,1119	0,0106	1,0000	1,0000	1,0000	0,0233	0,0235	0,0292
C5	0,3238	0,0725	0,4163	0,0052	0,0048	0,3807	0,0572	0,0134	0,0157	0,0163
C6	0,0837	0,1105	0,1142	0,0262	0,0049	0,3299	0,0414	0,0870	0,0475	0,0628
C7	0,2011	0,0894	0,0807	0,0047	0,0028	0,3490	0,0180	0,0625	0,0424	0,0827
C8	0,0736	0,2495	0,2012	0,0035	0,0027	0,3816	0,0142	0,0336	0,0537	0,0519
C9	0,2887	0,0647	0,1240	0,0044	0,0041	0,0787	0,0460	0,0788	0,1322	0,1790
C10	0,0214	0,0549	0,0427	0,0054	0,0028	0,4199	0,0021	1,0000	0,4555	0,5292
C11	0,1617	0,7410	0,1906	0,0056	0,0040	0,3093	0,0512	0,0167	0,0158	0,0323
C12	0,2139	0,0741	0,3365	0,0042	0,0046	0,3337	0,0350	0,0040	0,0053	0,0055
C13	0,0311	0,0061	0,0909	0,0036	0,0027	0,0781	0,0029	0,0777	1,0000	1,0000
C14	0,1120	0,1297	0,0665	0,0055	0,0028	0,3678	0,0123	0,1126	0,0658	0,1312
C15	0,0730	0,1402	0,2500	0,0225	0,0045	0,3416	0,0327	0,1471	0,0623	0,1120
C16	0,0771	0,1149	0,1168	0,0055	0,0034	0,4011	0,0085	0,0882	0,1182	0,2204
C17	1,0000	0,0475	1,0000	0,0057	0,0065	0,3790	0,0905	0,0007	0,0011	0,0012
C18	0,7489	0,0402	0,5029	0,0033	0,0035	0,7057	0,0512	0,0020	0,0013	0,0022
C19	0,0912	0,2022	0,1296	0,0045	0,0033	0,4136	0,0154	0,0532	0,0589	0,1164
C20	0,1595	0,0883	0,3793	1,0000	0,0058	0,2151	0,0555	0,0475	0,0322	0,1141

Analizin ikinci aşamasında, ham veri setindeki birim farklılıklarını gidermek ve negatif yönlü finansal göstergeleri analize dahil edebilmek amacıyla normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Tablo 7'de görüldüğü üzere, tüm kriter değerleri (0-1) aralığına dönüştürülerek standart hale getirilmiştir; böylece fayda ve maliyet yönlü kriterler ortak bir değerlendirme düzlemine taşınmıştır. Bu işlem, MEREC yönteminin temelini oluşturan kriter çıkarma etkisinin doğru hesaplanabilmesi için verilerin oransal büyüklüklerini koruyarak matematiksel tutarlılığı sağlamıştır. Aşağıdaki Tablo 8'de ağırlıklandırma verileri sunulmaktadır.

Tablo 8. MEREC yöntemi ağırlıklandırma sonuçları

Kod/Kriter	OP1	OP2	OP3	F1	F2	F3	F4	Ç1	Ç2	Ç3	Toplam	Si
C1	2,0954	3,2699	1,7980	5,2780	5,7728	1,1420	3,8981	2,2098	2,6306	1,7497	29,8442	1,3824
C2	1,8148	1,9561	3,3994	5,4839	6,0510	1,3678	3,9861	3,1215	3,5195	2,8495	33,5497	1,4713
C3	1,2970	2,6103	0,9598	4,6859	4,9165	0,2519	3,2937	4,6745	3,8200	4,2243	30,7338	1,4045
C4	3,3245	0,0000	2,1905	4,5496	0,0000	0,0000	0,0000	3,7600	3,7519	3,5333	21,1098	1,1349
C5	1,1276	2,6248	0,8764	5,2658	5,3308	0,9657	2,8608	4,3112	4,1549	4,1146	31,6327	1,4263
C6	2,4806	2,2031	2,1696	3,6426	5,3232	1,1089	3,1837	2,4418	3,0464	2,7678	28,3676	1,3446
C7	1,6039	2,4148	2,5172	5,3653	5,8847	1,0528	4,0170	2,7733	3,1607	2,4928	31,2826	1,4179
C8	2,6090	1,3881	1,6037	5,6593	5,9233	0,9633	4,2536	3,3934	2,9253	2,9591	31,6781	1,4274
C9	1,2425	2,7385	2,0879	5,4227	5,5026	2,5423	3,0789	2,5406	2,0233	1,7205	28,8997	1,3584
C10	3,8426	2,9028	3,1539	5,2136	5,8791	0,8678	6,1612	0,0000	0,7864	0,6364	29,4438	1,3723
C11	1,8218	0,2997	1,6574	5,1845	5,5269	1,1734	2,9716	4,0934	4,1460	3,4325	30,3071	1,3939
C12	1,5424	2,6018	1,0893	5,4740	5,3830	1,0975	3,3512	5,5199	5,2387	5,1947	36,4924	1,5367
C13	3,4699	5,1015	2,3975	5,6379	5,9223	2,5502	5,8444	2,5549	0,0000	0,0000	33,4786	1,4697
C14	2,1891	2,0428	2,7100	5,2120	5,8901	1,0002	4,4000	2,1839	2,7211	2,0307	30,3798	1,3957
C15	2,6169	1,9649	1,3864	3,7934	5,4092	1,0743	3,4203	1,9164	2,7755	2,1890	26,5463	1,2960
C16	2,5621	2,1639	2,1475	5,2052	5,6734	0,9134	4,7711	2,4286	2,1356	1,5123	29,5131	1,3740
C17	0,0000	3,0469	0,0000	5,1649	5,0301	0,9703	2,4025	7,2324	6,8176	6,7181	37,3828	1,5557
C18	0,2891	3,2140	0,6874	5,7044	5,6643	0,3486	2,9721	6,2309	6,6132	6,1141	37,8381	1,5652
C19	2,3942	1,5985	2,0431	5,4000	5,7053	0,8827	4,1702	2,9334	2,8324	2,1510	30,1109	1,3891
C20	1,8356	2,4273	0,9693	0,0000	5,1533	1,5368	2,8910	3,0475	3,4370	2,1707	23,4684	1,2080
Ej	1,0597	1,1710	0,9270	2,5469	2,7908	0,5485	1,8578	1,7227	1,7115	1,4907	15,8267	
Wj	0,0670	0,0740	0,0586	0,1609	0,1763	0,0347	0,1174	0,1089	0,1081	0,0942	1	
Sıra	8	7	9	2	1	10	3	4	5	6		

Tablo 8'deki MEREC yöntemi sonucunda elde edilen ağırlıklandırma skorları incelendiğinde, kriterlerin sistemden çıkarılmasıyla oluşan sapma değerlerinin (E_j) nihai ağırlıkları (W_j) doğrudan belirlediği görülmektedir. Sonuçlara göre, işgücü verimliliği (F2: 0,1763) ve faaliyet kârlılığı (F1: 0,1609) en yüksek sapma değerlerini yaratarak havacılık performansını belirleyen en kritik kriterler olarak tespit edilmiştir. Buna karşın birim gelir (F3: 0,0347) kriterinin sistemdeki ayırt ediciliğinin en düşük düzeyde kaldığı; çevresel göstergelerin (Ç1, Ç2, Ç3) ise ortalama %10 civarında dengeli bir ağırlık dağılımına sahip olduğu belirlenmiştir.

5.2. AROMAN Yöntemi Bulguları

Analizin ikinci aşamasında, MEREC yöntemiyle tespit edilen kriter ağırlıkları girdi olarak kullanılarak, Avrupa ülkelerinin nihai performans sıralaması iki aşamalı normalizasyon tekniğine (lineer ve vektör) dayanan AROMAN algoritması aracılığıyla elde edilmiştir. MEREC aşamasında kurulan karar matrisi AROMAN'ın başlangıç matrisi olarak kullanılmış; bu nedenle karar matrisi burada tekrar sunulmadan normalizasyon adımlarına geçilmiştir. Karar matrisinden sonraki adım olan normalizasyon adımlarıyla devam edilmektedir. Aşağıdaki Tablo 9'da Normalizasyon Tip-1 verileri sunulmaktadır.

Tablo 9, AROMAN yönteminin ilk aşaması olan Tip-1 (lineer) normalizasyon çıktısını göstermektedir. Ham veri setindeki tüm değerler Min-Max tekniği kullanılarak [0,1] aralığına doğrusal olarak dönüştürülmüştür. Bu işlem, C10 (İzlanda) ve C13 (Malta) gibi belirli kriterlerde en iyi performansı gösteren ülkelerin 1,00 tam puanla, en zayıf performansı gösterenlerin ise 0,00 ile temsil edilmesini sağlayarak, alternatifler arasındaki performans makasının en keskin haliyle ortaya konulmasına zemin hazırlamıştır. Aşağıdaki Tablo 10'da normalizasyon Tip-2 verileri sunulmaktadır.

Tablo 9. AROMAN Yöntemi normalizasyon değerleri Tip-1 (Lineer)

Kod/Kriter	OP1	OP2	OP3	F1	F2	F3	F4	Ç1	Ç2	Ç3
C1	0,1562	0,1550	0,1740	0,6517	0,7565	0,1806	0,1021	0,8909	0,9290	0,8272
C2	0,1126	0,0372	1,0000	0,8014	1,0000	0,2478	0,1117	0,9566	0,9714	0,9433
C3	0,0582	0,0772	0,0557	0,3590	0,3200	0,0243	0,0548	0,9914	0,9791	0,9866
C4	0,5868	0,0000	0,2743	0,3128	0,0000	0,0000	0,0000	0,9774	0,9776	0,9720
C5	0,0457	0,0784	0,0484	0,6437	0,4854	0,1377	0,0348	0,9873	0,9854	0,9849
C6	0,2399	0,0493	0,2679	0,1243	0,4817	0,1720	0,0489	0,9137	0,9535	0,9383
C7	0,0870	0,0624	0,3936	0,7115	0,8464	0,1580	0,1153	0,9382	0,9587	0,9184
C8	0,2757	0,0184	0,1372	0,9557	0,8798	0,1372	0,1466	0,9671	0,9474	0,9493
C9	0,0540	0,0886	0,2442	0,7537	0,5769	0,9915	0,0438	0,9218	0,8687	0,8220
C10	1,0000	0,1055	0,7748	0,6108	0,8417	0,1170	1,0000	0,0000	0,5451	0,4714
C11	0,1136	0,0021	0,1467	0,5932	0,5911	0,1891	0,0392	0,9840	0,9853	0,9689
C12	0,0805	0,0765	0,0681	0,7935	0,5115	0,1691	0,0582	0,9967	0,9958	0,9957
C13	0,6821	1,0000	0,3453	0,9354	0,8789	1,0000	0,7279	0,9230	0,0000	0,0000
C14	0,1737	0,0411	0,4846	0,6098	0,8510	0,1456	0,1701	0,8880	0,9352	0,8698
C15	0,2781	0,0376	0,1037	0,1451	0,5252	0,1632	0,0625	0,8535	0,9387	0,8891
C16	0,2621	0,0472	0,2613	0,6057	0,6847	0,1264	0,2475	0,9125	0,8828	0,7805
C17	0,0000	0,1228	0,0000	0,5817	0,3587	0,1388	0,0212	1,0000	1,0000	1,0000
C18	0,0073	0,1462	0,0342	1,0000	0,6785	0,0353	0,0392	0,9988	0,9998	0,9990
C19	0,2182	0,0242	0,2320	0,7367	0,7070	0,1200	0,1347	0,9475	0,9422	0,8847
C20	0,1154	0,0633	0,0565	0,0000	0,4061	0,3091	0,0360	0,9532	0,9689	0,8870

Tablo 10. AROMAN yöntemi normalizasyon değerleri Tip-2 (Vektör)

Kod/Kriter	OP1	OP2	OP3	F1	F2	F3	F4	Ç1	Ç2	Ç3
C1	0,1135	0,1507	0,1223	0,2226	0,2553	0,1448	0,0793	0,1052	0,0640	0,1435
C2	0,0857	0,0405	0,6064	0,2735	0,3372	0,1814	0,0865	0,0423	0,0263	0,0478
C3	0,0511	0,0779	0,0529	0,1231	0,1084	0,0594	0,0433	0,0089	0,0195	0,0121
C4	0,3880	0,0057	0,1810	0,1074	0,0008	0,0462	0,0016	0,0223	0,0209	0,0241
C5	0,0431	0,0791	0,0486	0,2199	0,1641	0,1214	0,0281	0,0129	0,0139	0,0135
C6	0,1668	0,0519	0,1773	0,0434	0,1628	0,1400	0,0388	0,0834	0,0422	0,0519
C7	0,0694	0,0641	0,2510	0,2429	0,2855	0,1324	0,0893	0,0599	0,0377	0,0683
C8	0,1897	0,0230	0,1007	0,3259	0,2967	0,1211	0,1131	0,0322	0,0477	0,0428
C9	0,0484	0,0886	0,1634	0,2572	0,1948	0,5872	0,0349	0,0756	0,1175	0,1478
C10	0,6513	0,1044	0,4744	0,2087	0,2839	0,1100	0,7619	0,9591	0,4048	0,4370
C11	0,0863	0,0077	0,1062	0,2027	0,1996	0,1494	0,0314	0,0160	0,0141	0,0267
C12	0,0653	0,0773	0,0602	0,2708	0,1729	0,1385	0,0459	0,0038	0,0047	0,0046
C13	0,4487	0,9409	0,2227	0,3190	0,2964	0,5919	0,5550	0,0745	0,8887	0,8258
C14	0,1247	0,0442	0,3043	0,2084	0,2870	0,1256	0,1309	0,1080	0,0585	0,1084
C15	0,1912	0,0409	0,0810	0,0504	0,1775	0,1353	0,0491	0,1411	0,0554	0,0925
C16	0,1810	0,0499	0,1734	0,2069	0,2311	0,1152	0,1897	0,0846	0,1050	0,1820
C17	0,0140	0,1206	0,0203	0,1988	0,1215	0,1219	0,0178	0,0007	0,0010	0,0010
C18	0,0186	0,1425	0,0403	0,3409	0,2290	0,0655	0,0314	0,0019	0,0012	0,0018
C19	0,1530	0,0283	0,1562	0,2514	0,2386	0,1117	0,1040	0,0510	0,0523	0,0961
C20	0,0875	0,0649	0,0534	0,0011	0,1374	0,2148	0,0289	0,0455	0,0286	0,0942

Tablo 10, Tip-2 (vektör) normalizasyon sonuçlarını sunmaktadır. Veriler vektörel büyüklüklerine oranlanarak dönüştürülmüş ve lineer normalizasyonun aksine veri setinin orijinal dağılım karakteristiği ve oransal büyüklükleri korunmuştur. Bu yaklaşım, verileri yapay sınırlara (0 ve 1) zorlamak yerine, ülkelerin performanslarının ortalamaya ve birbirlerine göre olan mekânsal konumunu koruyarak, analiz sürecine boyutsuzlaştırma esnekliği kazandırmıştır. Tablo 11’de toplu ortalama normalizasyon verileri sunulmaktadır.

Tablo 11. AROMAN yöntemi toplu ortalama normalizasyon

Kod/Kriter	OP1	OP2	OP3	F1	F2	F3	F4	Ç1	Ç2	Ç3
C1	0,0674	0,0764	0,0741	0,2186	0,2529	0,0813	0,0453	0,2490	0,2482	0,2427
C2	0,0496	0,0194	0,4016	0,2687	0,3343	0,1073	0,0496	0,2497	0,2494	0,2478
C3	0,0273	0,0388	0,0271	0,1205	0,1071	0,0209	0,0245	0,2501	0,2497	0,2497
C4	0,2437	0,0014	0,1138	0,1051	0,0002	0,0116	0,0004	0,2499	0,2496	0,2490
C5	0,0222	0,0394	0,0243	0,2159	0,1624	0,0648	0,0157	0,2500	0,2498	0,2496
C6	0,1017	0,0253	0,1113	0,0419	0,1611	0,0780	0,0219	0,2493	0,2489	0,2475
C7	0,0391	0,0316	0,1612	0,2386	0,2830	0,0726	0,0511	0,2495	0,2491	0,2467
C8	0,1164	0,0103	0,0595	0,3204	0,2941	0,0646	0,0649	0,2498	0,2488	0,2480
C9	0,0256	0,0443	0,1019	0,2527	0,1929	0,3947	0,0197	0,2494	0,2466	0,2425
C10	0,4128	0,0525	0,3123	0,2049	0,2814	0,0568	0,4405	0,2398	0,2375	0,2271
C11	0,0500	0,0025	0,0632	0,1990	0,1977	0,0846	0,0176	0,2500	0,2498	0,2489
C12	0,0365	0,0384	0,0321	0,2661	0,1711	0,0769	0,0260	0,2501	0,2501	0,2501
C13	0,2827	0,4852	0,1420	0,3136	0,2938	0,3980	0,3207	0,2494	0,2222	0,2064
C14	0,0746	0,0213	0,1972	0,2045	0,2845	0,0678	0,0752	0,2490	0,2484	0,2445
C15	0,1173	0,0196	0,0462	0,0489	0,1757	0,0746	0,0279	0,2486	0,2485	0,2454
C16	0,1108	0,0243	0,1087	0,2032	0,2290	0,0604	0,1093	0,2493	0,2470	0,2406
C17	0,0035	0,0608	0,0051	0,1951	0,1200	0,0652	0,0098	0,2502	0,2502	0,2502
C18	0,0065	0,0722	0,0186	0,3352	0,2269	0,0252	0,0176	0,2502	0,2502	0,2502
C19	0,0928	0,0131	0,0970	0,2470	0,2364	0,0579	0,0597	0,2496	0,2486	0,2452
C20	0,0507	0,0320	0,0275	0,0003	0,1359	0,1310	0,0162	0,2497	0,2494	0,2453

Tablo 11, lineer ve vektör normalizasyon çıktılarının aritmetik ortalamasıyla elde edilen toplu ortalama matrisi göstermektedir. Bu tablo, AROMAN yönteminin literatüre kattığı hibrit/uzlaşık matrisi temsil etmektedir. Tek bir normalizasyon yönteminin yaratabileceği veri kaybı veya yanlılığı minimize etmek amacıyla oluşturulan bu matris hem uç değerlerin belirleyiciliğini hem de verinin doğal dağılımını dengeleyerek daha adil ve sağlam bir karşılaştırma zemini oluşturmuştur. Aşağıdaki Tablo 12’de ağırlıklı normalleştirilmiş karar verme matrisi verileri sunulmaktadır.

Tablo 12. AROMAN yöntemi toplu ortalama ağırlıklı normalleştirilmiş karar verme matrisi

Kod/Kriter	OP1	OP2	OP3	F1	F2	F3	F4	Ç1	Ç2	Ç3
C1	0,0045	0,0057	0,0043	0,0352	0,0446	0,0028	0,0053	0,0271	0,0268	0,0229
C2	0,0033	0,0014	0,0235	0,0432	0,0589	0,0037	0,0058	0,0272	0,0270	0,0233
C3	0,0018	0,0029	0,0016	0,0194	0,0189	0,0007	0,0029	0,0272	0,0270	0,0235
C4	0,0163	0,0001	0,0067	0,0169	0,0000	0,0004	0,0000	0,0272	0,0270	0,0235
C5	0,0015	0,0029	0,0014	0,0347	0,0286	0,0022	0,0018	0,0272	0,0270	0,0235
C6	0,0068	0,0019	0,0065	0,0067	0,0284	0,0027	0,0026	0,0271	0,0269	0,0233
C7	0,0026	0,0023	0,0094	0,0384	0,0499	0,0025	0,0060	0,0272	0,0269	0,0232
C8	0,0078	0,0008	0,0035	0,0516	0,0519	0,0022	0,0076	0,0272	0,0269	0,0234
C9	0,0017	0,0033	0,0060	0,0407	0,0340	0,0137	0,0023	0,0271	0,0267	0,0228
C10	0,0276	0,0039	0,0183	0,0330	0,0496	0,0020	0,0517	0,0261	0,0257	0,0214
C11	0,0033	0,0002	0,0037	0,0320	0,0349	0,0029	0,0021	0,0272	0,0270	0,0234
C12	0,0024	0,0028	0,0019	0,0428	0,0302	0,0027	0,0031	0,0272	0,0270	0,0236
C13	0,0189	0,0359	0,0083	0,0505	0,0518	0,0138	0,0376	0,0271	0,0240	0,0194
C14	0,0050	0,0016	0,0116	0,0329	0,0502	0,0023	0,0088	0,0271	0,0269	0,0230
C15	0,0079	0,0015	0,0027	0,0079	0,0310	0,0026	0,0033	0,0271	0,0269	0,0231
C16	0,0074	0,0018	0,0064	0,0327	0,0404	0,0021	0,0128	0,0271	0,0267	0,0227
C17	0,0002	0,0045	0,0003	0,0314	0,0212	0,0023	0,0011	0,0272	0,0271	0,0236
C18	0,0004	0,0053	0,0011	0,0539	0,0400	0,0009	0,0021	0,0272	0,0271	0,0236
C19	0,0062	0,0010	0,0057	0,0398	0,0417	0,0020	0,0070	0,0272	0,0269	0,0231
C20	0,0034	0,0024	0,0016	0,0000	0,0240	0,0045	0,0019	0,0272	0,0270	0,0231

Tablo 12, nihai hesaplama geçmeden önce oluşturulan ağırlıklı-normalize karar matrisini göstermektedir. MEREC yöntemiyle belirlenen nesnel kriter ağırlıkları (W_j) uzlaşık matris değerlerine entegre edilmiştir. Tablo incelendiğinde, çalışmada en yüksek ağırlığa sahip olan İşgücü Verimliliği ve Faaliyet Karlılığı sütunlarındaki değerlerin matematiksel büyüklük olarak diğer kriterlere baskın çıktığı görülmekte olup; bu

durum, nihai ülke sıralamalarında finansal göstergelerin belirleyici güç olacağına sayısal kanıtını sunmaktadır. Aşağıdaki Tablo 13'te nihai sıralama sonuçları sunulmuştur.

Tablo 13. AROMAN sıralama sonuçları (2023)

Ülke	A_i^{\wedge}	L_i^{\wedge}	$A_i^{\wedge}-L_i^{\wedge}$	Sıralama ($\lambda=0.5$)	Sıra
Avusturya	0,3200	0,2771	0,0429	1,0438	10
Belçika	0,3742	0,2784	0,0958	1,1005	3
Bulgaristan	0,2195	0,2788	-0,0593	0,9424	18
Kıbrıs	0,2012	0,2787	-0,0775	0,9255	19
Çekya	0,2707	0,2788	-0,0081	0,9919	14
Danimarka	0,2359	0,2782	-0,0423	0,9586	17
Almanya	0,3335	0,2781	0,0554	1,0570	6
Yunanistan	0,3540	0,2783	0,0757	1,0786	4
Macaristan	0,3188	0,2768	0,0420	1,0428	11
İzlanda	0,4314	0,2705	0,1609	1,1745	2
İtalya	0,2813	0,2787	0,0026	1,0026	13
Litvanya	0,2930	0,2790	0,0141	1,0142	12
Malta	0,4657	0,2657	0,2000	1,2213	1
Hollanda	0,3352	0,2775	0,0578	1,0594	5
Norveç	0,2382	0,2776	-0,0394	0,9613	16
Portekiz	0,3218	0,2766	0,0452	1,0463	7
Slovakya	0,2470	0,2790	-0,0321	0,9685	15
Slovenya	0,3221	0,2790	0,0431	1,0440	9
İspanya	0,3214	0,2778	0,0437	1,0446	8
İsveç	0,1945	0,2779	-0,0835	0,9199	20

Tablo 13'te sunulan 2023 yılı AROMAN yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre, ülkelerin havacılık performansının büyük ölçüde maksimize edilen operasyonel ve finansal bileşenler tarafından belirlendiğini, çevresel bileşenlerin ise ülkeler arasında görece sınırlı bir farklılaşma gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede Malta ve İzlanda, en üst sıralarda yer alırken; Belçika, Yunanistan, Macaristan ve Hollanda gibi ülkeler de üst-orta grupta konumlanmaktadır. Buna karşılık Bulgaristan, Kıbrıs ve İsveç gibi ülkelerde, çevresel göstergeler benzer düzeylerde seyretse dahi toplam AROMAN skorunun 1'in altına düşmesine ve alt sıralara gerilemeye yol açmaktadır. Dolayısıyla 2023 yılı itibarıyla AROMAN sonuçları, ülkelerin havacılıkta sürdürülebilir performansını belirleyen temel unsurun çevresel yükten ziyade, operasyonel ve finansal kapasitenin çevresel sınırlamalarla dengeli biçimde yönetilmesi olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 1'de 2015-2023 yılları arasındaki sıralama sonuçlarına yer verilmiştir.

Ülkeler	Kod	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	15-19	20-23	15-23
Avusturya	C1	7	10	9	12	9	12	7	6	10	9	7	6
Belçika	C2	4	6	6	6	4	5	3	3	3	5	3	4
Bulgaristan	C3	15	17	19	15	15	10	20	20	18	16	20	20
Kıbrıs	C4	20	20	20	20	20	19	14	9	19	20	17	17
Çekya	C5	17	15	17	18	17	15	10	14	14	19	15	18
Danimarka	C6	9	8	7	5	6	6	9	13	17	6	9	7
Almanya	C7	18	18	15	14	19	11	5	5	6	18	5	10
Yunanistan	C8	11	7	4	10	7	17	8	8	4	7	10	9
Macaristan	C9	3	2	2	1	1	4	16	15	11	2	6	3
İzlanda	C10	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2
İtalya	C11	19	13	14	9	11	8	13	16	13	15	14	15
Litvanya	C12	14	19	13	13	8	13	11	11	12	13	13	14
Malta	C13	2	3	3	3	3	2	1	1	1	3	1	1
Hollanda	C14	5	4	5	4	5	3	4	4	5	4	4	5
Norveç	C15	6	5	10	19	14	14	19	17	16	10	18	13
Portekiz	C16	10	9	8	7	10	18	15	7	7	8	11	8
Slovakya	C17	16	16	18	16	16	20	12	18	15	17	19	19
Slovenya	C18	8	14	16	17	18	7	6	10	9	14	8	12
İspanya	C19	13	11	11	8	12	16	17	12	8	11	12	11
İsveç	C20	12	12	12	11	13	9	18	19	20	12	16	16

Şekil 1. AROMAN tüm yıllar (2015-2023) sıralama (Isı haritası)

Şekil 1’de AROMAN yöntemiyle hesaplanan 2015-2023 dönemi yıllık sıralamalarının görselleştirildiği ısı haritası, 2015–2023 döneminde ülkelerin performans sıralamalarının zamana bağlı değişimini kompakt biçimde göstermektedir (daha düşük sıra değerleri daha iyi performans ifade etmektedir). Bulgular, dönem boyunca iki ülkenin belirgin bir “üst performans kümesi” oluşturduğunu ortaya koymaktadır: İzlanda (C10) ve Malta (C13) hemen her yılda ilk iki–üç sıra bandında yer alarak yüksek süreklilik sergilemiş, özellikle 2021–2023 döneminde Malta’nın 1. sırayı istikrarlı biçimde koruduğu görülmüştür. Buna karşılık Belçika (C2) 2021 sonrasında sürekli olarak ilk üç içinde konumlanarak pandemi sonrası dönemde güçlü bir görelî iyileşme göstermiştir. Almanya (C7) ise 2015–2019 döneminde çoğunlukla alt sıralarda yer almasına rağmen 2021’den itibaren belirgin bir toparlanma ile üst-orta bantta (yaklaşık 5–6. sıralar) daha istikrarlı bir performans profiline geçmiştir. Bu eğilimler, 2020 sonrasında bazı ülkelerde sıralama dinamiklerinin değiştiğini ve görelî performansın yeniden dağıldığını düşündürmektedir.

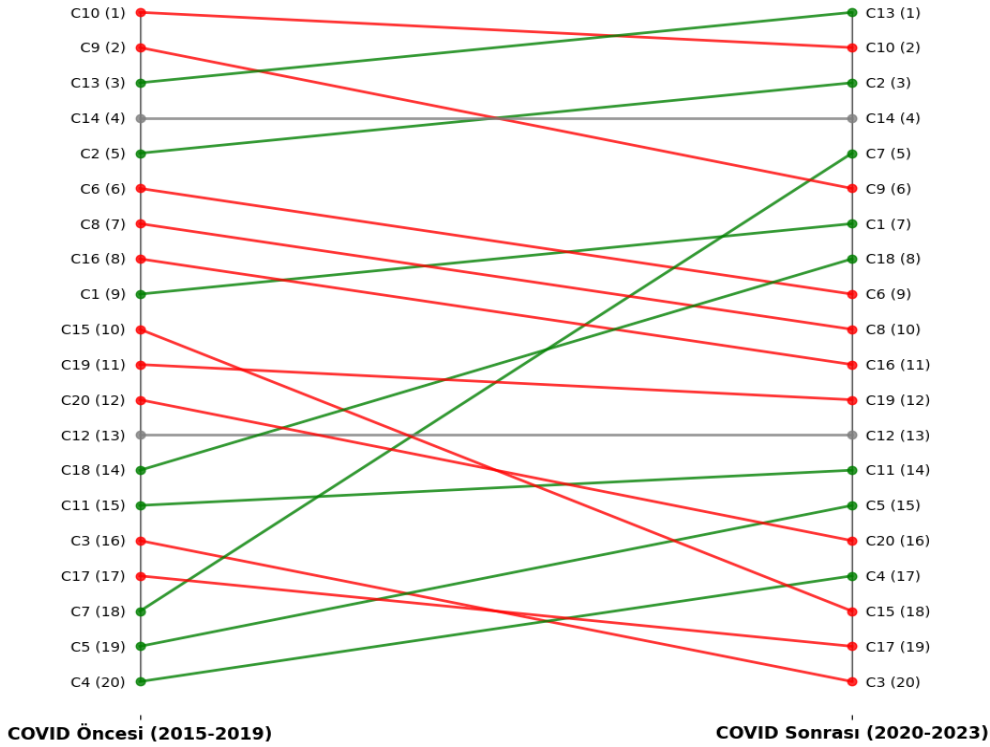
Dönemsel kırılmalar açısından bakıldığında, Macaristan 2015–2019 yıllarında çoğunlukla ilk üç içerisinde yer alırken 2021 sonrası dönemde sıralamasının keskin biçimde gerileyerek orta-alt gruba doğru kaydığı dikkat çekmektedir. Benzer biçimde İsveç pandemi sonrası dönemde (2021–2023) giderek alt sıralara yaklaşmış ve 2023’te en zayıf performans kümesine dahil olmuştur. Zayıf performansın sürekliliği açısından Kıbrıs öne çıkmakta; 2015–2019 boyunca neredeyse sürekli son sırada yer almış, 2022’de geçici bir iyileşme görülse de 2023’te yeniden alt sıralara dönmüştür. Bulgaristan da özellikle 2021–2023 döneminde sürekli biçimde son sıralarda yer alarak zayıf performansın kalıcılaştığı ülkelerden biri olarak görünmektedir. Genel olarak ısı haritası, bazı ülkelerde (Malta, İzlanda) yüksek istikrar ve süreklilik, bazı ülkelerde ise (Macaristan, Almanya, İsveç) pandemi sonrası döneme eşlik eden belirgin bir yeniden konumlanma ve performans rejimi değişimi olduğunu göstermektedir. Tablo 14’te sürdürülebilir performansın kıyaslanmasına olanak tanıyan BORDA sıralama sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 14. AROMAN tüm yıllar BORDA sıralaması

Kod	Ülke	2015-2023		Kod	Ülke	2015-2023	
		Toplam Puan	Borda Sıralaması			Toplam Puan	Borda Sıralaması
C10	İzlanda	175	1	C18	Slovenya	84	11
C13	Malta	170	2	C19	İspanya	81	12
C9	Macaristan	150	3	C12	Litvanya	76	13
C2	Belçika	149	4	C11	İtalya	73	14
C14	Hollanda	148	5	C15	Norveç	69	15
C6	Danimarka	109	6	C20	İsveç	53	16
C1	Avusturya	107	7	C5	Çekya	52	17
C16	Portekiz	98	8	C4	Kıbrıs	48	18
C8	Yunanistan	98	9	C17	Slovakya	42	19
C7	Almanya	88	10	C3	Bulgaristan	40	20

Tablo 14 incelendiğinde, 2015–2023 dönemi için Borda sayımı, yıllık sıralamaları tek bir toplam performans göstergesine indirirken aynı zamanda sürekliliği ödüllendirmektedir. Buna göre İzlanda, 175 puanla liderdir; bu, ülkenin dönem boyunca çoğu yılda üst dilimde yer aldığını ve performansının dalgalanmaya karşı dayanıklı olduğunu gösterir. Malta, 170 puanla ikinci sırada yer alarak İzlanda’yı yakın takip etmekte; iki ülke birlikte üst performans kümesini belirgin biçimde ayırtmaktadır. İlk beşte yer alan Macaristan, Belçika ve Hollanda (150–148 puan bandı) ise üst grup içinde birbirine çok yakın değerlere sahiptir; bu yakınlık, bu ülkelerin dönem boyunca benzer düzeyde rekabetçi performans sergilediğini, küçük yıllık değişimlerin toplam sıralamayı etkileyebildiğini düşündürür.

Orta grupta Danimarka ile Avusturya (109–107 puan) istikrarlı ama zirveye uzak bir performans profili çizirken; Portekiz ve Yunanistan’ın aynı puanda (98) bulunması bu iki ülkenin dönemsel dalgalanmalarına rağmen toplamda benzer bir performans bileşkesi ürettiğini gösterir. Almanya 88 puanla orta-alt banda düşmektedir; bu sonuç, bazı yıllarda iyileşme görülse bile dönem genelinde üst sıralarda kalıcılaşmanın sınırlı olduğuna işaret eder. Alt grupta, puanlar hızla düşmekte ve özellikle Kıbrıs, Slovakya ve Bulgaristan en düşük puanlarla (48–40) ayrılmaktadır; bu durum, söz konusu ülkelerin dönem boyunca çoğunlukla alt sıralarda yer aldığını ve görelî performanslarının kalıcı biçimde zayıf seyrettiğini gösterir. Aşağıdaki Şekil 2’de ülke performanslarının Covid-19 öncesi ve sonrası göstermiş olduğu değişimler gösterilmektedir.



Şekil 2. AROMAN COVID-19 yapısal kırılma analizi

Şekil 2 incelendiğinde, Pandemi öncesi ile pandemi sonrası performans değişimlerini karşılaştıran Eğim Grafiği, krizin havacılık sektöründeki rekabet dengelerini nasıl değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Analizin en çarpıcı bulgusu Almanya ülkesine aittir; pandemi öncesi ortalama 18. sırada yer alan Almanya, pandemi sonrasında 5. sıraya yükselerek kriz döneminde finansal ve operasyonel verimliliğini en çok artıran ülke olmuştur. Benzer şekilde Slovenya da 14. sıradan 8. sıraya tırmanarak pozitif ayrılmıştır. Buna karşın, Norveç 10. sıradan 18. sıraya ve Portekiz 8. sıradan 11. sıraya gerileyerek, krizin yarattığı finansal baskıyı yönetmekte zorlanan ülkeler olarak öne çıkmaktadır. Bu Şekil, COVID-19'un sektörde bir yapısal kırılma yarattığını ve sıralama dinamiklerinde belirgin bir yeniden dağılımı somut olarak göstermektedir.

6. YÖNTEM KARŞILAŞTIRMALARI VE DUYARLILIK ANALİZLERİ

Bu bölümde, önerilen değerlendirme çerçevesinin sonuçları alternatif yöntem ve varsayımlarla karşılaştırılarak doğrulanmakta; ayrıca kriter ağırlıkları ve model parametrelerindeki olası değişimlerin ülke sıralamalarını ne ölçüde etkilediği duyarlılık analizleriyle test edilerek bulguların sağlamlığı ortaya konulmaktadır.

6.1. Farklı Yöntemlerle Ağırlıklandırma Analizi

Bu çalışmada, Avrupa ülkelerinin havacılık performansını finansal, operasyonel ve sürdürülebilirlik boyutlarıyla bütüncül olarak ele alan çok kriterli bir yapı kurgulanmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında, veri setinin heterojen yapısını ve negatif değer içeren finansal göstergeleri en doğru şekilde modelleyebilmek amacıyla LOPCOW, CRITIC, Entropi ve MEREC yöntemleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş olup aşağıdaki Tablo 15'te analiz verileri sunulmaktadır.

Tablo 15. Ağırlıklandırma yöntemlerinin karşılaştırılması

Kriter	Kod	MEREC (w _j)	LOPCOW (w _j)	CRITIC (w _j)	Entropi (w _j)
Havacılık Hareketliliği	OP1	0.0753	0.1004	0.1040	0.1442
Filo Yoğunluğu	OP2	0.0890	0.0937	0.0812	0.2468
Lojistik Kapasite	OP3	0.0775	0.0982	0.0936	0.1232
Faaliyet Karlılığı	F1	0.1365	0.1031	0.0975	0.0419
İşgücü Verimliliği	F2	0.1448	0.1015	0.0836	0.0292
Birim Gelir	F3	0.0678	0.0952	0.1036	0.1412
Havacılığın GSYH Payı	F4	0.1122	0.0932	0.0960	0.2217
Yolcu Başına Emisyon	Ç1	0.1032	0.1050	0.1004	0.0158
Emisyon/GSYH Oranı	Ç2	0.0989	0.1050	0.1195	0.0174
Toplam Emisyon Payı	Ç3	0.0949	0.1046	0.1207	0.0185

Tablo 15, yöntemlere göre ağırlıkların hangi kriterlerde yoğunlaştığını göstermektedir. MEREC yöntemi en yüksek ağırlık işgücü verimliliği ($F2=0.1448$) ve faaliyet kârlılığı ($F1=0.1365$) kriterlerinde toplanırken, en düşük ağırlık birim gelir ($F3=0.0678$) kriterindedir. LOPCOW yöntemi çevresel boyutu öne çıkararak en yüksek ağırlığı yolcu başına emisyon ($\text{Ç}1=0.1050$) ve emisyon/GSYH Oranı ($\text{Ç}2=0.1050$) kriterlerine verirken, en düşük ağırlık havacılığın GSYH payı ($F4=0.0932$) kriterinde görülmektedir. CRITIC yöntemi, en yüksek ağırlığı toplam emisyon payı ($\text{Ç}3=0.1207$) ve emisyon/GSYH oranı ($\text{Ç}2=0.1195$) kriterlerine atarken, en düşük ağırlık filo yoğunluğu ($\text{OP}2=0.0812$) kriterindedir. Entropi yöntemi ise değişkenliği yüksek kriterleri öne çıkararak en yüksek ağırlığı filo yoğunluğu ($\text{OP}2=0.2468$) ve havacılığın GSYH payı ($F4=0.2217$) kriterlerine vermekte; çevresel kriterler görece düşük ağırlıkta kalmaktadır ($\text{Ç}1=0.0158$; $\text{Ç}2=0.0174$; $\text{Ç}3=0.0185$).

Alternatif ağırlıklandırma yöntemleri aynı kriter seti üzerinde belirgin biçimde farklı ağırlık profilleri üretmiştir: Entropi yöntemi dağılım düzensizliğine aşırı duyarlı kalarak $\text{OP}2$ ve $F4$ 'ü öne çıkarmış, buna karşılık çevresel emisyon kriterlerini ($\text{Ç}1$ – $\text{Ç}3$) marjinal düzeye indirgemıştır. CRITIC yöntemi, kriterler arası korelasyonu dikkate alması nedeniyle ağırlıkları daha çok çevresel ($\text{Ç}2$ – $\text{Ç}3$) ve operasyonel ($\text{OP}1$) göstergelere kaydırmış; ancak finansal göstergelerin (özellikle $F1$ – $F2$) ayırt ediciliğini görece sınırlamıştır. LOPCOW yöntemi ise kriterlere birbirine çok yakın ağırlıklar atayarak seçiciliği zayıf, ayırıştırma gücü düşük bir ağırlık seti üretmiştir. Buna karşılık MEREC yöntemi, kriterlerin sistemden çıkarılmasının performans üzerindeki marjinal etkisini temel aldığı için finansal sürdürülebilirliği yansıtan $F2$ ve $F1$ 'i ön plana taşıırken, çevresel ($\text{Ç}1$) ve operasyonel ($\text{OP}2$) boyutları da ihmal etmeyen daha dengeli bir dağılım sağlamıştır. Bu nedenle MEREC yöntemi, havacılık performansının kâr–verimlilik–emisyon eksenindeki çok boyutlu hassas dengesini en tutarlı biçimde temsil eden ağırlıklandırma yaklaşımı olarak tercih edilmiştir.

6.2. Farklı Yöntemlerle Sıralama Analizi

ÇKKV literatüründe, farklı matematiksel algoritmalara ve normalizasyon tekniklerine sahip yöntemlerin aynı veri setine uygulandığında farklı sıralama sonuçları üretebildiği bilinmektedir. Bu nedenle, çalışmanın ana yöntemi olarak belirlenen AROMAN yönteminin ürettiği sonuçların tutarlılığını ve güvenilirliğini test etmek amacıyla; ARAS, WASPAS, TOPSIS, Multimoora, EDAS ve COCOSO gibi literatürde yaygın kabul gören altı farklı yöntem ile karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, söz konusu yöntemlerden elde edilen sıralamaların uyumu, yöntemler arası Spearman korelasyon katsayıları ve AROMAN yönteminin veri setindeki aykırı değerlere karşı sergilediği direnç incelenerek, yöntemin tercih edilme gerekçeleri istatistiksel bulgularla detaylandırılmıştır. Aşağıdaki Tablo 16'da farklı yöntemlerin sıralama verileri sunulmaktadır.

Tablo 16'da sıralama yöntemlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı ÇKKV yöntemlerinin aynı veri setinde farklı sıralamalar üretebilmesi olasılığı dikkate alınarak AROMAN sonuçlarının tutarlılığı ve güvenilirliği test edilmiştir. Bu amaçla AROMAN, literatürde yaygın kullanılan ARAS, WASPAS, TOPSIS, MULTIMOORA, EDAS ve COCOSO yöntemleriyle karşılaştırılmış; yöntemler arası uyum Spearman korelasyon katsayıları üzerinden değerlendirilmiş ve AROMAN yöntemi aykırı değerlere karşı direnç düzeyi incelenmiştir. Elde edilen istatistiksel bulgular, AROMAN yöntemi sonuçlarının karşılaştırmalı sıralamalarla yüksek düzeyde uyum gösterdiğini ve veri seti koşullarında tercih edilebilirliğini desteklediğini ortaya koymuştur.

Tablo 16. Sıralama yöntemlerinin karşılaştırılması

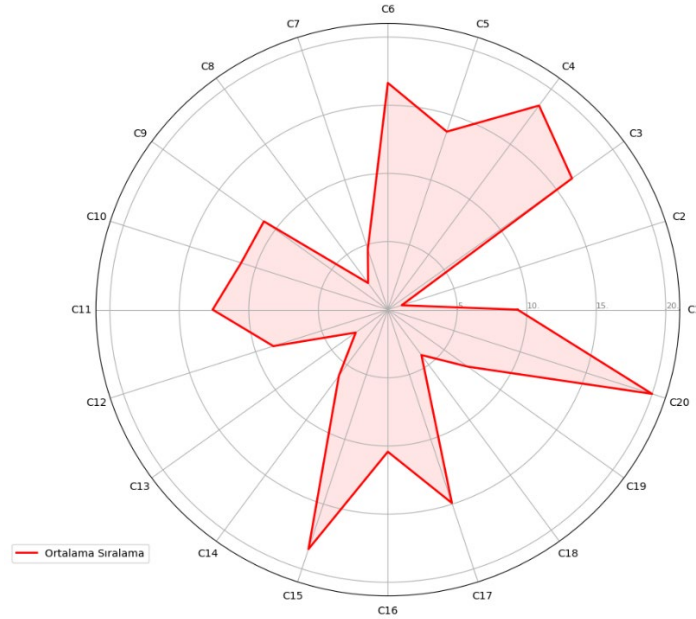
Ülkeler	ARAS	WASPAS	TOPSIS	AROMAN	Multimoora	EDAS	COCOSO	Sıralama Ortalaması
Avusturya	11	9	9	10	4	12	7	9
Belçika	6	1	1	3	7	1	1	3
Bulgaristan	16	17	14	18	16	15	17	16
Kıbrıs	18	19	17	19	19	16	20	18
Çekya	14	14	11	14	14	9	14	13
Danimarka	17	16	16	17	12	17	15	16
Almanya	10	4	4	6	8	4	3	6
Yunanistan	7	3	2	4	10	2	2	4
Macaristan	13	11	13	11	6	14	9	11
İzlanda	4	7	20	2	2	20	11	9
İtalya	15	13	10	13	13	10	13	12
Litvanya	5	12	8	12	17	5	10	10
Malta	3	2	15	1	1	6	12	6
Hollanda	8	6	5	5	5	7	4	6
Norveç	19	18	18	16	11	19	16	17
Portekiz	9	10	7	7	3	13	8	8
Slovakya	1	15	12	15	20	11	19	13
Slovenya	2	5	3	9	18	3	5	6
İspanya	12	8	6	8	9	8	6	8
İsveç	20	20	19	20	15	18	18	19

6.3. Duyarlılık Analizi

Çalışmanın bulgularının tesadüfi olmadığını kanıtlamak ve modelin yapısal geçerliliğini sınamak adına, simülasyon temelli yaklaşımlar kullanılarak sıralama sonuçlarının farklı parametreler altındaki duyarlılığı Monte Carlo simülasyonu temelli bir duyarlılık analizi ile gerçekleştirilmiştir. Temel senaryoda elde edilen kriter ağırlıkları referans alınmıştır. Her yinelemede ağırlıklar 0-1 arasında rassal olarak dağıtılarak yeni bir ağırlık vektörü $w^{(s)}$ üretilmiştir. Üretilen her $w^{(s)}$ altında karar matrisi yeniden ağırlıklandırılmış, AROMAN adımları tekrar çalıştırılmış ve her alternatif için simülasyona bağlı skorlar ve sıralamalar $r_i^{(s)}$ elde edilmiştir. Bu süreç 10.000 kez tekrarlanarak sıralama davranışı tek bir noktadan değil, ağırlık uzayındaki olası sapmalar altında dağılımsal olarak gözlemlenmiştir.

Duyarlılık çıktıları üç tamamlayıcı gösterge ile raporlanmıştır. Sıra olasılıkları (ülkelerin belirli sıralarda yer alma eğilimi), yayılım ölçüleri (min–maks sıra aralığı, medyan ve çeyrekler aralığı/IQR) ve performans-kararlılık ölçütleri (performans için ortalama sıra, kararlılık için standart sapma). Bu çerçevede Şekil 2, sıralama davranışını bütüncül olarak; Şekil 3, sıralamanın yayılımını ve belirsizlik düzeyini; Şekil 4 ise ortalama performans ile kararlılık arasındaki değiş-tokuşu görselleştirerek bulguların sağlamlığını sınamaktadır. Tüm duyarlılık analiz süreçleri Python kodlarıyla colab.research² kodlama programında gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 3'te sıralama olasılıkları radar grafiği olarak gösterilmektedir.

Simülasyon sonuçlarının bütüncül bir perspektifle değerlendirildiği Şekil 3'te, ülkelerin performans kümelerini geometrik olarak ayrıştırmaktadır. Grafiğin merkez noktasına (0 noktası) en yakın olan içbükey alan; C2, C8, C13 ve C14 ülkelerini kapsamakta olup, bu ülkelerin finansal ve operasyonel sürdürülebilirlik açısından yüksek performanslı kümeyi oluşturduğunu göstermektedir. Grafiğin dış çeperine doğru genişleyen ve merkeze en uzak noktaları oluşturan C4, C6, C15 ve C20 ise çok kriterli performans açısından zayıf halkaları temsil etmektedir. Radar grafiğindeki bu net ayrışma, AROMAN yöntemiyle elde edilen sonuçların ülkeler arasında belirgin bir performans uçurumu olduğunu ve uygulanan ağırlıklandırma senaryolarının bu temel ayrımı değiştirmedeğini görsel olarak desteklemektedir. Aşağıdaki Şekil 4'te sıralama olasılıkları kutu grafiği olarak gösterilmektedir.

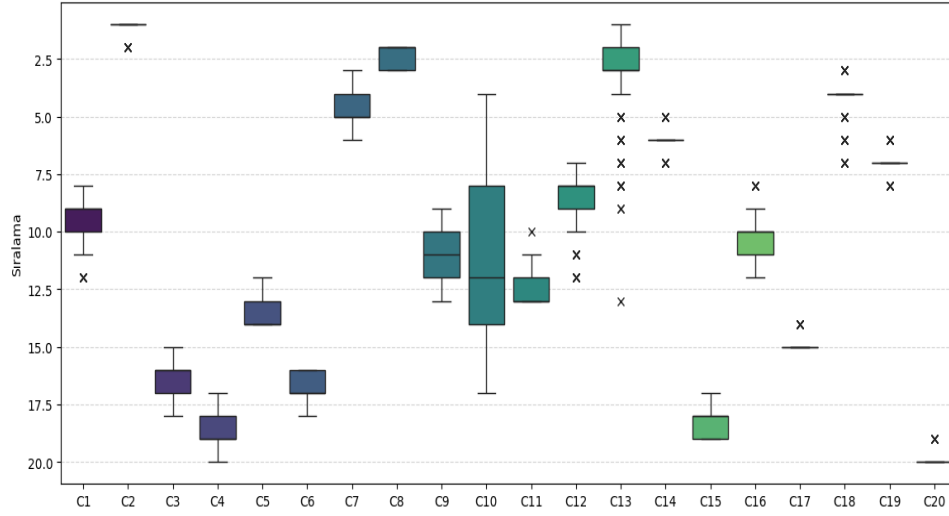


Şekil 3. Ülkelerin sıralama olasılıkları

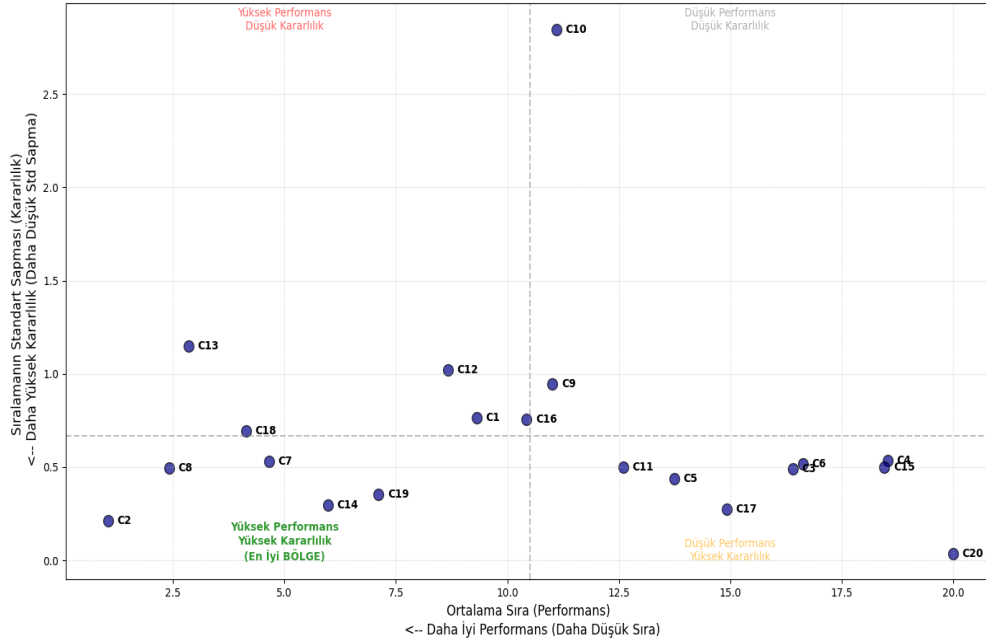
Alternatiflerin sıralama aralıklarını ve uç değerlerini gösteren kutu grafiği, veri setindeki yapısal belirsizlikleri ortaya koymaktadır. Şekil 4'te C2, C7, C8 ve C20 alternatiflerinin kutu boylarının oldukça dar olduğu ve sapma çubuklarının kısa kaldığı görülmektedir; bu durum, söz konusu ülkelerin sıralamadaki yerlerinin tesadüfi olmadığını ve parametre değişimlerine karşı yüksek dayanıklılık gösterdiğini ifade eder. Buna zıt olarak, İzlanda ve İtalya alternatiflerinin kutu grafikleri dikey eksende çok geniş bir alana yayılmıştır. Özellikle İzlanda'nın sıralama aralığının 2. sıradan 16. sıraya kadar uzanması, bu ülkenin performansının yüksek duyarlılık gösterdiği ve kriter önceliklerinin değişmesi durumunda sıralamasının dramatik şekilde

² colab.research.google.com

değişebileceğini istatistiksel olarak göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 5'te performans ve kararlılık grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4. Ülkelerin sıralama olasılıkları



Şekil 5. Performans ve kararlılık grafiği

Performans ve kararlılık arasındaki ilişkiyi inceleyen saçılım grafiği, ülkeleri stratejik risk gruplarına ayırmaktadır. Şekil 5'te, grafiğin yüksek performans-yüksek kararlılık olarak adlandırılan sol alt bölgesinde konumlanan Belçika hem en iyi ortalama sıralamaya hem de 0.25 düzeyindeki düşük standart sapmaya sahip olmasıyla analizin en sağlam alternatifi olarak öne çıkmaktadır. Dikkat çekici bir bulgu olarak; Malta ortalama sıralama açısından başarılı bir performans sergilese de Y ekseninde 1.0'ın üzerindeki standart sapma değeri ile Riskli lider profilini çizmektedir; bu durum, Malta'nın başarısının belirli kriterlerin ağırlıklarına aşırı duyarlı olduğunu gösterir. Öte yandan grafiğin zirvesinde yer alan İzlanda, en yüksek standart sapma değeriyle ağırlık değişimlerinden en çok etkilenen ve karar verici için öngörülebilirliği en düşük alternatif olarak tespit edilmiştir.

7. TARTIŞMA

Bu çalışmada kullanılan göstergelerin önemli bir kısmının kişi başına ya da GSYH'ye oranlı (yoğunluk temelli) biçimde tanımlanması, sıralamanın mutlak ölçekten ziyade görece verimlilik ve yoğunluk mantığıyla okunmasını gerektirmektedir. Nitekim kompozit endeks tasarımında normalizasyon ve oran seçimi, alternatiflerin konumunu özellikle küçük ekonomiler lehine duyarlılaştırabilmektedir. Bu nedenle Malta ve

İzlanda gibi ülkelerin üst bantta görünmesi, yalnızca trafik büyüklüğünün değil, ölçüm tasarımının mantıksal bir sonucu olarak da değerlendirilmelidir (OECD ve European Commission, 2008; Walesiak, 2018).

Tablo 14’te sunulan 2015–2023 dönemi Borda sayımı sonuçları, bazı küçük/orta ölçekli Avrupa ülkelerinin (İzlanda, Malta, Macaristan) üst sıralarda konumlanabildiğini göstermektedir. Bu durum, çoğu zaman hesaplama hatasından ziyade ölçüm tasarımının doğasına işaret eder. Çalışmada kullanılan performans yaklaşımı, hacim (mutlak yolcu/yük) yerine büyük ölçüde yoğunluk ve göreceli verimlilik (örn. yük/GSYH, kişi başına/GSYH’ye oranlı göstergeler, bağlantısallık/erişilebilirlik temsilleri vb.) üreten kriterlerle çalışıldığında, küçük ekonomiler belirli boyutlarda daha avantajlı görünebilir. Özellikle kargo ve bağlantısallık gibi alanlarda az ama stratejik yoğunlaşmış ağ yapıları, birleşik skorları yukarı çekebilmektedir (Boonekamp ve Burghouwt, 2017).

Bu çerçevede Malta ve İzlanda’nın üst sıralarda yer alması, ada ekonomilerinin yapısal olarak havayolu erişimine yüksek bağımlılığı ile tutarlıdır. Ada ülkelerinde hava taşımacılığı yalnızca turizmi kolaylaştıran bir unsur değil, çoğu durumda turizm talebinin sürdürülebilir biçimde oluşması için önkoşul niteliğindedir. Güney Avrupa adaları üzerinde panel veri analiziyle yapılan bulgular, hava bağlantılarının turistik akımlarla anlamlı ilişki taşıdığını; ancak turizm performansının aynı zamanda destinasyon politikaları ve arz koşullarıyla birlikte okunması gerektiğini göstermektedir (Mazzola ve diğerleri, 2022). Malta özelinde, düşük maliyetli taşıyıcıların (LCC) ağ genişlemesinin ada destinasyonlarında erişilebilirliği artırarak pazar büyümesini tetikleyebildiği literatürde açıkça tartışılmış; Malta örneğinde LCC etkisiyle trafik ve pazar dinamiklerinin değiştiği vurgulanmıştır (Graham ve Dennis, 2010). İzlanda örneğinde ise “aktarmayı varış deneyimine dönüştürme” stratejisinin hava taşımacılığı–turizm etkileşimi açısından kritik bir kaldıraç olduğu; merkez/aktarma (hub) avantajının destinasyon talebine çevrilebileceği gösterilmektedir (Goldsberry ve Scavette, 2018). Bu yaklaşımın destinasyon imajı ve “giriş kapısı niteliğindeki destinasyon” kurgusuyla da örtüştüğü; aktarma konaklaması (stopover) tasarımının ziyaret davranışlarını etkileyebildiği belirtilmektedir (Lund ve diğerleri, 2017). İzlanda’nın özgül coğrafi bağlamını tartışan çalışmalar da ülkenin hava ulaşımıyla kurduğu yapısal ilişkinin (erişilebilirlik ve ağ konumlanması dahil) performans göstergelerini anlamada belirleyici olabileceğine işaret edilmektedir (Keeling, 2020).

Belçika, Macaristan ve Hollanda’nın Almanya’nın önünde yer alması şaşırtıcı olarak görünen bir başka sonuç olarak görülebilir. Bu bulgu, özellikle Lojistik Kapasite (Yük/GSYH) gibi yoğunluk temelli kriterlerin, lojistik kümelenme ve kargo uzmanlaşması yüksek ülkeleri öne çıkarabilmesiyle açıklanabilir. Hollanda’da Schiphol çevresinde dağıtım merkezleri ve lojistik faaliyetlerin kümelenmesi, havaalanı performansını yalnızca yolcu hacmiyle değil, lojistik ekosistem üzerinden de güçlendiren bir mekanizma olarak ele alınmaktadır (Warffemius ve diğerleri, 2010). Benzer biçimde, Schiphol’de hava kargo yer hizmetleri pazarının yapısı ve etkinliği üzerine bulgular, bu hub’ın kargo operasyonlarında rekabet ve organizasyon dinamikleri üzerinden performans üretme kapasitesini vurgular (Burghouwt ve diğerleri, 2014). Belçika tarafında ise ülkenin havaalanı sisteminde Liège’in uzmanlaşmış kargo bölgesel havaalanı olarak ayrıştığı ve bu uzmanlaşmanın bölgesel ekonomik etkiyi belirginleştirebildiği doğrudan belirtilmektedir (Pauwels ve diğerleri, 2025). Dolayısıyla Almanya’nın mutlak hacimde (toplam yolcu/yük) çok büyük olması, GSYH’ye oranlı ölçütlerde otomatik üstünlük üretmemektedir. Aksine, büyük ekonomilerde payda etkisi nedeniyle göreceli göstergeler daha ılımlı görünebilir. Bu nedenle bulgular, Almanya’nın ‘zayıf’ olduğu anlamına gelmekten ziyade, seçilen kriter setinin lojistik yoğunlaşma/uzmanlaşma yaşayan küçük-orta ölçekli ülkeleri göreceli olarak öne çıkardığını göstermektedir (Boonekamp ve Burghouwt, 2017). Son olarak, Macaristan’ın üst sıralarda olması, Orta ve Doğu Avrupa hava taşımacılığı piyasalarında serbestleşme sonrası yaşanan farklı büyüme patikaları, ağ yeniden yapılanması ve taşıyıcı/merkez değişimleriyle birlikte okunmalıdır. Bölge ülkelerinde liberalizasyonun talep, arz ve erişilebilirlik dinamiklerini ayrıştırdığı ve ülkelerin benzer şoklara farklı hız ve biçimde tepki verdiği gösterilmiştir (Jankiewicz ve Huderek-Glapska, 2016).

MEREC’in işgücü verimliliği ve faaliyet kârlılığı gibi finansal-üretkenlik göstergelerine daha yüksek ağırlık atfetmesi, çok boyutlu havaçılık performansında ‘değer üretimi’ ekseninin ayrıştırıcı rolüne işaret etmektedir. Bu bulgu, finansal-operasyonel-çevresel kriterleri birlikte kullanan ÇKKV çerçevelerinin performans değerlendirmesinde yaygınlaştığını gösteren çalışmalarla uyumludur (Tanrıverdi ve diğerleri, 2023) ve MEREC’in kriter çıkarımına dayalı nesnel ağırlık mantığıyla tutarlı biçimde yorumlanabilir (Keshavarz-Ghorabae ve diğerleri, 2021). Buna ek olarak, farklı sıralama yöntemleriyle yüksek uyum ve Monte Carlo tabanlı duyarlılık çıktılarında dar sıralama aralıklarının gözlenmesi, sonuçların normalizasyon değişimlerine karşı istikrarlı bir sinyal ürettiğini göstermekte; AROMAN’ın normalizasyon etkisini azaltma amacıyla geliştirilen yapıyla da örtüşmektedir (Bošković ve diğerleri, 2023).

AB’de havaçılığın çevresel performansı artık gönüllü iyi niyet alanından çıkıp doğrudan rekabet ve maliyet yapısını belirleyen politika mimarisine bağlanmış durumdadır. “AB-Emisyon Ticaret Sistemi”nin havaçılık kuralları 2023 revizyonuyla güncellenmiş ve sistemin kapsam/uygulama çerçevesi CORSIA ile etkileşimli biçimde yeniden kurgulanmıştır (European Commission, 2024). Buna paralel olarak ReFuelEU Aviation düzenlemesi, havaalanlarında sürdürülebilir havaçılık yakıtı (SAF) arzı ve kullanımına ilişkin kademeli

yükümlülükler getirerek çevresel performansı operasyonel planlama ve maliyet yönetimi gündeminin merkezine taşımaktadır (EU-Regulation, 2023).

Ancak bu politika baskısına rağmen, bu çalışmada çevresel kriterlerin (CO₂ yoğunluğu gibi) ağırlıklarının birbirine yakın ve ayrıştırıcılığının görece sınırlı kalması, iki nedenle literatürle tutarlı biçimde yorumlanabilir. AB ETS'nin havacılık emisyonlarını azaltma etkisinin ampirik çalışmalarda mütevazı ve kapsama duyarlı bulunması (örn. düzenlenen hatlarda sınırlı düşüş ve uluslararası uçuşlarda etki kısıtı) (Fageda ve Teixidó, 2022; Zhang ve Wang, 2024) ve çevresel performansın yalnız CO₂ üzerinden temsil edilmesinin, havacılığın iklim etkisinin önemli bir kısmını oluşturan CO₂ dışı etkileri (örn. contrail kaynaklı ısınma) dışarıda bırakması (Lee ve diğerleri, 2021). Bu çerçevede bulgular, AB'de çevresel politika çerçevesinin giderek sertleştiğini kabul etmekle birlikte, 2015–2023 döneminde ülke performansını ayrıştıran temel sinyalin hâlâ üretkenlik/kârlılık ve operasyonel yoğunluk ekseninde daha güçlü olduğunu; çevresel boyutun ise ölçüm kapsamı genişletildikçe (SAF kullanımı, filo/operasyon verimliliği, CO₂ dışı etkiler) sıralama dinamiklerini daha görünür biçimde şekillendireceğini düşündürmektedir.

Finansal boyut açısından bulgular, ülke havacılık performansının mutlak trafik büyüklüğünden ziyade trafikten katma değer ve kârlılık üretebilme kapasitesi üzerinden ayrıştığını göstermektedir. MEREK ağırlıkları içinde işgücü verimliliği ve faaliyet kârlılığı boyutlarının en yüksek ağırlıkları alması, sıralamada üst bantta yer alan ülkelerin yalnızca yüksek hareketlilik sergilemekle kalmayıp, aynı zamanda havacılık sektöründe emek başına katma değer ve faaliyet fazlası yaratma bakımından daha güçlü bir üretim yapısına sahip olduğunu ima eder. Bu sonuç, ülke düzeyindeki havacılık çalışmalarının önemli bir kısmının performansı çoğunlukla GSYH büyümesi, turizm ve ticaret gibi makro değişkenler üzerinden okumasına karşın (Akar, 2025; Kiracı, 2025), sektöre özgü finansal derinliğin (kârlılık, üretkenlik ve gelir üretimi) bağımsız bir performans boyutu olarak ele alındığında ülkeler arası farkları daha görünür kılabilirdiğini vurgulayan yaklaşımla uyumludur (Niedzielski ve diğerleri, 2021; Yavuz ve diğerleri, 2025). Nitekim emek verimliliğini ve dönüşümü temsil eden boyutların performansın açıklanmasında kritik rolü, üretkenlik ve sektör dönüşümüne ilişkin raporlarla tutarlı biçimde yorumlanabilir (Anand ve Wittenburg, 2017; Oxford Economics, 2014; McKinsey, 2023). Benzer şekilde personel başına gelir kapasitesinin pazar gücü ve operasyonel getiri ile ilişkisi havayolu ekonomisi literatüründe tartışılmaktadır (Doganis, 2006; Demir ve diğerleri, 2018). Sonuç olarak, bu çalışmanın finansal bulguları AB bağlamında yüksek trafik = yüksek performans varsayımını zayıflatmakta; performansın, trafik hacminin gelir/katma değere dönüşme verimi ve kârlılık-disiplini ile birlikte okunması gerektiğini göstermektedir. Bu vurgu, finansal–operasyonel–çevresel sürdürülebilirliği birlikte değerlendiren çok kriterli performans modellerinin finansal sütunu hâlâ ayrıştırıcı bir çekirdek bileşen olarak görmesiyle de örtüşmektedir (Tanrıverdi ve diğerleri, 2023).

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma, 2015–2023 döneminde 20 Avrupa ülkesinin havacılık performansını operasyonel–finansal–çevresel boyutları birlikte dikkate alacak şekilde ölçmeyi ve karşılaştırmalı bir performans görünümü üretmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda Eurostat temelli 10 boyut tanımlanmış; operasyonel boyutta yolcu hareketliliği, filo yoğunluğu ve yük taşımacılığı; finansal boyutta faaliyet kârlılığı, işgücü verimliliği, birim gelir ve havacılık sektörünün GSYH'ya katkısı; çevresel boyutta ise yolcu başı CO₂, havacılık CO₂ emisyonunun GSYH içindeki oranı ve ulusal CO₂ içindeki havacılık payı gibi emisyon yoğunluğu göstergeleri bir araya getirilmiştir. Bu çerçevede, ülkelerin yüksek operasyonel kapasite, finansal dayanıklılık ve çevresel kısıtlarla uyum dengesini aynı anda okuyabilen, kıyaslamaya uygun bir yaklaşım sunmaktadır.

Bulguların ilk kritik mesajı, bileşik performansın açıklanmasında finansal verimlilik göstergelerinin ayırt edici gücünün belirgin olduğudur. Özellikle işgücü verimliliği ve faaliyet kârlılığı gibi göstergeler, ülkeler arası performans farklarını çevresel göstergelere kıyasla daha güçlü ayrıştırmaktadır. 2023 yılı sonuçları bu resmi somutlaştırmaktadır. AROMAN nihai sıralamasında ilk beş ülke Malta, İzlanda, Belçika, Yunanistan ve Hollanda olarak gözlenirken, alt bantta Bulgaristan, Kıbrıs ve İsveç yer almaktadır. Bu dağılım, üst grupta operasyonel kapasite ile finansal üretkenliğin birlikte çalıştığını; çevresel göstergeler benzer seviyelerde kalsa dahi toplam skorun çoğu durumda operasyonel ve finansal bileşenlerdeki zayıflıklar nedeniyle geriye düşebildiğini düşündürmektedir.

Zamana yayılı görünüm, ülkelerin 2015–2023 boyunca istikrar ve rejim değişimi bakımından belirgin biçimde ayrıştığını göstermektedir. Üst performansın sürekliliği açısından İzlanda ve Malta kalıcı liderler profilini güçlendirirken, Almanya 2015–2019 döneminde alt sıralarda yer almasına rağmen 2021'den itibaren belirgin bir toparlanmayla üst-orta bantta daha istikrarlı bir düzleme geçmiştir. Bu durum pandemi sonrası dönemde bazı ülkelerde performans dinamiklerinin yeniden dağıldığına işaret eder. Dönemsel kırılma örnekleri ise Macaristan'ın 2015–2019'da çoğunlukla ilk üçteyken 2021 sonrasında keskin gerilemesi ve İsveç'in 2021–2023'te alt kümeye doğru sürüklenmesiyle somutlaşmaktadır. Yıllık sıralamaları bütünleyen BORDA yaklaşımı da bu tabloyu teyit ederek dönem genelinde liderlikte süreklilik

gösteren ülkeler ile (İzlanda ve Malta), üst bantta birbirine yakın bir rekabet sergileyen ülkeleri (Macaristan–Belçika–Hollanda) ve uzun dönem boyunca düşük sıraların kalıcılıştığı ülkeleri (Kıbrıs–Slovakya–Bulgaristan) daha görünür kılmaktadır. Zamana yayılı sonuçlar, havacılık performansının ülkeler arasında yalnızca seviye farkı değil, aynı zamanda krizlere karşı dayanıklılık ve toparlanma kapasitesi bakımından da ayrıştığını göstermektedir. Bu nedenle tek yıla dayalı değerlendirmeler yanıltıcı olabileceğinden, politika ve strateji tasarımı uzun dönemli istikrar ile şok sonrası performans rejimi değişimini birlikte izleyen bir yaklaşım benimsenmelidir.

Yönetimsel olarak bulgular, havacılık performansının yalnızca trafik hacmiyle değil, trafikten katma değer üretme kapasitesi ve çevresel yoğunluk ile birlikte yönetilmesi gerektiğini göstermektedir. MERECA ağırlıklarında işgücü verimliliği ve faaliyet kârlılığının öne çıkması, performansı yükseltmek isteyen ülkelerin öncelikle operasyonel çıktıları finansal değere dönüştüren üretkenlik kanallarına odaklanmasının rasyonel olacağını ima eder. Bu nedenle dijitalleşme ve otomasyon, süreç standardizasyonu, gelir yönetimi ve altyapı–havayolu–yer hizmetleri koordinasyonu gibi verimlilik artırıcı müdahaleler temel kaldıraçlar olarak ele alınmalıdır. Kapasite artışları ise çevresel kısıtlarla uyumlu biçimde filo ve operasyon optimizasyonu, slot ve hava sahası verimliliği gibi araçlarla eşgüdümü yürütülmelidir. İklim politikalarının sertleştiği AB bağlamında karbon fiyatlaması gibi araçların arz kararlarını ve emisyonları etkileyebildiği dikkate alındığında, performans yönetiminde büyüme, uyum maliyeti ve emisyon yoğunluğu etkileşiminin birlikte izlenmesi kritik hale gelmektedir. Alt bantta yer alan ülkeler için ise genel teşvikler yerine, işgücü çıktısı, maliyet yapısı, bağlantısallık ve lojistik kapasiteyi güçlendirmeye dönük hedefli iyileştirme paketleri daha etkili bir politika tasarımı sunabilir. Ayrıca ağırlıkların MERECA ile nesnel üretilmesi ve sıralamanın AROMAN ile kurulması, hangi kriterlerin sistem performansına marjinal katkı verdiğini daha şeffaf bir biçimde yönetim diline çevirmeye elverişlidir. Bu da kaynak tahsisi ve önceliklendirmede (ör. verimlilik mi, kapasite mi, emisyon yoğunluğu mu) daha savunulabilir karar gerekçeleri üretir.

Akademik çıkarım olarak çalışma, literatürde sık görülen tek boyutlu (yalnız ekonomik ya da yalnız çevresel) yaklaşımlar yerine; ülke karşılaştırmalarında politika tasarımı açısından kritik olan operasyonel ölçek, finansal değer üretimi ve çevresel baskı dengesini aynı anda ele alan ve ölçüm tasarımına (normalizasyon/ağırlıklandırma) duyarlı sıralamaları sağlamlık testleriyle birlikte üreten bir çerçeve önererek belirgin bir araştırma boşluğuna yanıt verir. Bu katkı, havacılık alanında ÇKKV araçlarının çoğunlukla işletme/havalimanı ölçeğinde yoğunlaşmasına karşın, ülke düzeyinde nesnel ağırlıklandırma–sıralama kombinasyonlarının görece sınırlı kaldığını ortaya koyan tespiti metodolojik olarak ileri taşımaktadır. Metodoloji açısından, ölçekten arındırılmış gösterge tasarımı, MERECA ile nesnel ağırlıklandırma ve AROMAN ile normalizasyon duyarlılığını azaltma kurgusu ile ülke düzeyi bileşik endeks çalışmalarında sık tartışılan karşılaştırılabilirlik ve yöntem şeffaflığı problemlerine pratik bir yanıt üretmektedir. Bunun üstüne eklenen yöntemler arası karşılaştırma ve simülasyon temelli duyarlılık mimarisi, ÇKKV çıktılarının tek bir sıralama olmaktan çıkıp tekrarlanabilirlik, belirsizlik ve dayanıklılık eksenlerinde raporlanmasını teşvik eder. Böylece çalışma, ülke düzeyinde havacılık performansını çok boyutlu ÇKKV mimarisıyla ölçmeye yönelik literatüre tekrarlanabilir bir çerçeve sunarak, performansın belirleyicilerini ve zaman içi dinamiklerini incelemeye dönük yeni bir araştırma hattı açmaktadır.

Bu çalışma, Avrupa ülkeleri için 2015–2023 döneminde Eurostat tabanlı boyutlarla operasyonel, finansal ve çevresel havacılık performansını bütünlük biçimde karşılaştırsa da bazı sınırlılıklar içermektedir. Öncelikle analiz, boyutların tanımı ve erişilebilirliği nedeniyle belirli bir ülke seti ve dönemle sınırlıdır. Ayrıca çevresel boyutta yalnızca CO₂ temelli göstergelerin kullanılması, havacılığın CO₂-dışı iklim etkilerini doğrudan yansıtamamaktadır. İkinci olarak, oran/yoğunluk göstergeleri ölçek etkisini azaltmakla birlikte, ulusal havacılık pazarlarının yapısal farklılıkları (hub yapısı, transit yolcu payı, kısa/uzun menzil vb.) performans skorlarının yorumlanmasında rol oynayabilir. Gelecek araştırmalar, bu çerçeveyi daha geniş ülke örneklemelerine ve daha güncel yıllara genişletebilir. Çevresel boyutu SAF kullanımı, enerji karması veya CO₂-dışı etkileri temsile daha elverişli göstergelerle zenginleştirilebilir.

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No potential conflict of interest was declared by the author.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

This study received no funding from any governmental, commercial or non-profit organisation.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.

It was declared by the author that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the author that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- ACI (Airports Council International). (2024). "European Airport Passenger Traffic Finally Exceeds Annual Pre-Covid Levels in 2024", <https://www.aci-europe.org/press-release/537-european-passenger-traffic-finally-exceeds-pre-covid-levels-in-2026.html> (Erişim Tarihi: 09.12.2025)
- ATAG (Air Transportation Action Group) (2024). "Aviation: Benefits Beyond Borders 2024" <https://aviationbenefits.org/downloads/aviation-benefits-beyond-borders-2024/> (Erişim Tarihi: 10.12.2025)
- Akar, P.G. (2025). "The Impact of Air Transportation on Economic Growth: Novel Findings From the CS-ARDL Model", *Transport Policy*, 173, 103788. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.103788>
- Akbıyık, T., Yavuz, S. ve Çınaroğlu, E. (2025). "Assessing Customer Satisfaction in the Competitive Airline Industry: A MEREC ve MARCOS Approach to Ranking Based on Passenger Priorities", *Journal of Management Theory ve Practices Research*, 6(2), 508-528. <https://doi.org/10.71284/jmtp.2025623>
- Albayrak Ünal, Ö., Kılıç Sarıgül, R., Erkeyman, B. ve Pamucar, D. (2025). "Evaluating the Performance of Circular Suppliers in Manufacturing Sector: A Rough Multi-Criteria Decision Making Approach", *Environment, Development ve Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06627-0>
- Aldegheishem, A. (2024). "The Impact of Air Transportation, Trade Openness, ve Economic Growth on CO₂ Emissions in Saudi Arabia", *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1366054. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1366054>
- Alonso, G., Benito, A., Lonza, L. ve Kousoulidou, M. (2014). "Investigations on the Distribution of Air Transport Traffic ve CO₂ Emissions Within the European Union", *Journal of Air Transport Management*, 36, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2013.12.019>
- Alrasheedi, M., Alrashidi, A., Alshammari, A., Mishra, A. R., Pamucar, D., Devi, S. ve Cavallaro, F. (2024). "Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy AROMAN Method ve Its Application in Sustainable Wastewater Treatment Technology Selection", *Journal of Intelligent ve Fuzzy Systems*, 46(3), 7199-7222. <https://doi.org/10.3233/JIFS-236697>
- Amizadeh, F., Alonso, G., Benito, A. ve Morales-Alonso, G. (2016). "Analysis of the Recent Evolution of Commercial Air Traffic CO₂ Emissions ve Fleet Utilization in the Six Largest National Markets of the European Union", *Journal of Air Transport Management*, 55, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.04.006>
- Anand, P. ve Wittenburg, D. (2017). "An Analysis of Private Long-Term Disability Insurance Access, Cost, ve Trends", *Monthly Labor Review*, U.S. Bureau of Labor Statistics. <https://doi.org/10.21916/mlr.2017.10>
- Ang, B.W. (2015). "LMDI Decomposition Analysis: A Guide for Implementation", *Energy Policy*, 86, 233-243. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.007>
- Arvis, J.-F. ve Shepherd, B. (2011). "The Air Connectivity Index: Measuring Integration in the Global Air Transport Network", *World Bank Policy Research Working Paper No. 5722*. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/859151468161649899/the-air-connectivity-index-measuring-integration-in-the-global-air-transport-network> (Erişim Tarihi: 06.12.2025)
- Asker, V. (2024). "Financial Performance Analysis Using the MEREC-Based COBRA Method: An Application to Traditional ve Low-Cost Airlines", *Gospodarka Narodowa. The Polish Journal of Economics*, 318(2), 35-52. <https://doi.org/10.33119/GN/184315>
- Asker, V. (2026). "Performance Evaluation of Traditional ve LCC Airlines in the Post COVID-19 Era Using LOPCOW ve AROMAN Methods", *Central European Business Review*, 15(1), 4-35. <https://doi.org/10.18267/j.cebr.404>
- Ayçin, E. ve Arsu, T. (2022). "Ülkelerin Sosyal Gelişmişlik Düzeylerinin MEREC ve MARCOS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi", *İzmir Yönetim Dergisi*, 2(2), 75-98. <https://doi.org/10.56203/iyd.1084310>
- Ayvaz, E.E., Üzülmmez, M., Erşen, D. ve Ergen, H. (2025). "Interaction Between Air Transportation, Tourism ve CO₂ Emissions: The Panel ARDL Approach", *Journal of Management ve Tourism (JOMAT)*, 10(3), 297-313. <https://doi.org/10.31822/jomat.2025-10-3-297>
- Bakır, M. ve İnce, D. (2024). "Havayolu İşletmelerinde Yolcu Memnuniyetinin LOPCOW-AROMAN Modeliyle Analizi: Star Alliance Stratejik Ortaklığı Uygulaması", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 81, 168-189. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1432572>
- Barros, C.P. ve Wanke, P. (2015). "An Analysis of African Airlines Efficiency with Two-Stage TOPSIS ve Neural Networks", *Journal of Air Transport Management*, 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.03.002>
- Bayazit Bedirhanoglu, Ş. (2025). "Performance Evaluation of Sustainable Universities With WENSLO-Based AROMAN Multi-Criteria Decision-Making Method: Application with GreenMetric Criteria", *Kocatepe İİBFD*, 27(2), 369-390. <https://doi.org/10.33707/akuiibfd.1683204>
- Bernardo, V., Fageda, X. ve Teixidó, J. (2024). "Flight Ticket Taxes in Europe: Environmental ve Economic Impact", *Transportation Research Part A: Policy ve Practice*, 179, 103892. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103892>
- Boonekamp, T. ve Burghouwt, G. (2017). "Measuring Connectivity in the Air Freight Industry", *Journal of Air Transport Management*, 61, 81-94. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.05.003>

- Bošković, S., Švadlenka, L., Jovčić, S., Dobrodolac, M., Simić, V. ve Bacanin, N. (2023). "An Alternative Ranking Order Method Accounting for Two-Step Normalization (AROMAN)—A Case Study of the Electric Vehicle Selection Problem", *IEEE Access*, 11, 39496-39507. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3265818>
- Brueckner, J.K. (2003). "Airline Traffic ve Urban Economic Development", *Urban Studies*, 40(8), 1455-1469. <https://doi.org/10.1080/0042098032000094388>
- Burghouwt, G., Poort, J. ve Ritsema, H. (2014). "Lessons Learnt from the Market for Air Freight Ground Handling at Amsterdam Airport Schiphol", *Journal of Air Transport Management*, 41, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.06.016>
- Button, K. ve Taylor, S. (2000). "International Air Transportation ve Economic Development", *Journal of Air Transport Management*, 6(4), 209-222. [https://doi.org/10.1016/S0969-6997\(00\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0969-6997(00)00015-6)
- Button, K. ve Yuan, J. (2013). "Airfreight Transport ve Economic Development: An Examination of Causality", *Urban Studies*, 50(2), 329-340. <https://doi.org/10.1177/0042098012446999>
- Ceulemans, E., Buyle, S. ve Beckers, J. (2025). "Connected or Not? The Value of Air Connectivity for Regional Development in Europe", *Regional Studies*, 59(1). <https://doi.org/10.1080/00343404.2024.2360649>
- Chakraborty, S., Ghosh, S., Sarker, B. ve Chakraborty, S. (2020). "An Integrated Performance Evaluation Approach for the Indian International Airports", *Journal of Air Transport Management*, 88, 101876. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101876>
- Chapman, A. ve Pot, F. (2025). "The Economics of Air Transport in Europe", *Transport ve Environment*. https://www.transportenvironment.org/uploads/files/The-economics-of-air-transport-in-Europe_Final.pdf (Erişim Tarihi: 10.12.2025)
- Chen, R., Yang, H., Wang, K. ve Jiang, C. (2024). "Impacts of a Sustainable Aviation Fuel Mandate on Airline Competition — Full-Service Carrier vs. Low-Cost Carrier", *Transportation Research Part B: Methodological*, 190, 103098. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.103098>
- Çelik, A.K., Yalçınkaya, Ö. ve Kutlu, M. (2025). "The Causal Relationship Between Air Transport ve Economic Growth: Evidence from Top Ten Countries with the Largest Air Transport Volume", *Transport Policy*, 162, 521-532. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.01.002>
- Çilek, A. ve Şeyranlıoğlu, O. (2025). "Measuring the Financial Performance of Reinsurance Companies in Türkiye with LODECI, CRADIS ve AROMAN MCDM Methods", *International Journal of Business ve Economic Studies*, 7(1), 1-18. <https://doi.org/10.54821/uecd.1587675>
- Climate Action - Europe. (2023). "Reducing Emissions from Aviation", *European Commission*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/reducing-emissions-aviation_en (Erişim Tarihi: 11.12.2025)
- Čubranić-Dobrodolac, M., Jovčić, S., Bošković, S. ve Babić, D. (2023). "A Decision-Making Model for Professional Drivers Selection: A Hybridized Fuzzy-AROMAN-Fuller Approach", *Mathematics*, 11(13), 2831. <https://doi.org/10.3390/math11132831>
- Demir, A., Kanes, S. ve Erilli, N.A. (2018). "Havayolu İşletmelerinin Finansal Performanslarının Değerlendirilmesi: Bir Uygulama", *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 9(23), 1-22.
- Dobrodolac, M., Bošković, S., Jovčić, S. ve Lazarević, D. (2024). "Sustainable Delivery Model Selection Using AROMAN Approach", *Decision Making Advances*, 2(1), 73-82. <https://doi.org/10.31181/dma21202429>
- Doganis, R. (2006). *The Airline Business*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203596807>
- Dupeyrat Luque, W. ve Yu, C. (2025). "Evolution of the Airport Industry ve Regional Growth in the Pacific Alliance Member Countries", *Journal of Air Transport Management*, 127, 102811. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102811>
- EASA. (2022). "European Aviation Environmental Report", *Publications Office of the European Union*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7cc492cd-b7e3-11ed-8912-01aa75ed71a1/language-en> (Erişim Tarihi: 09.12.2025)
- Ertuğrul, M. ve Özdarak, E. (2025). "Measuring Airline Performance: An Integrated Balanced Scorecard ve MCDM Approach", *Sustainability*, 17(13), 5826. <https://doi.org/10.3390/su17135826>
- Esangbedo, M.O. ve Tang, B. (2023). "Evaluating Enterprise Carbon Reduction Schemes with Grey Numbers: An Integrated Grey-MEREC-MAIRCA Approach", *Systems*, 11(8), 397. <https://doi.org/10.3390/systems11080397>
- EU - Regulation. (2023). "European Parliament ve of the Council of 18 October 2023 on Ensuring a Level Playing Field for Sustainable Air Transport (ReFuelEU Aviation)", *EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2405/oj/eng> (Erişim Tarihi: 05.12.2025)
- EU - Regulation. (2025). "Report from the Commission to the European Parliament ve the Council: The ReFuelEU Aviation SAF Flexibility Mechanism", *EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52025DC0059> (Erişim Tarihi: 05.12.2025)

- Eurocontrol. (2024). "Performance Review Report (PRR) 2024", *Eurocontrol*. <https://www.eurocontrol.int/publication/performance-review-report-prr-2024> (Erişim Tarihi: 05.12.2025)
- European Commission. (2024). "Reducing Emissions from Aviation", *EU Climate Action*. [Reducing emissions from aviation - Climate Action - European Commission](https://ec.europa.eu/clima/aviation-reducing-emissions) (Erişim Tarihi: 07.12.2025)
- Fageda, X. ve Teixidó, J.J. (2022). "Pricing Carbon in the Aviation Sector: Evidence from the European Emissions Trading System", *Journal of Environmental Economics ve Management*, 111, 102591. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102591>
- Fan, J., Lei, T. ve Wu, M. (2024). "MERECA-MABAC Method Based on Cumulative Prospect Theory for Picture Fuzzy Sets: Applications to Wearable Health Technology Devices", *Expert Systems with Applications*, 255, 124749. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124749>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Bakker, D.C.E., Hauck, J. ve diğerleri. (2025). "Global Carbon Budget 2025", *Earth Systems Science Data*. <https://doi.org/10.5194/essd-2025-659>
- Fu, X., Tsui, K.W.H., Sampaio, B. ve Tan, D. (2021). "Do Airport Activities Affect Regional Economies? Regional Analysis of New Zealand's Airport System", *Regional Studies*, 55(4), 707-722. <https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1851359>
- Gelhausen, M. C., Berster, P. ve Wilken, D. (2021). "Post-COVID-19 Scenarios of Global Airline Traffic Until 2040 That Reflect Airport Capacity Constraints ve Mitigation Strategies", *Aerospace*, 8(10), 300. <https://doi.org/10.3390/aerospace8100300>
- Goldsberry, L. ve Scavette, A.R. (2018). "Exploiting a Natural Hub: Turning a Stopover into a Destination", *Transportation Research Record*, 2672(23), 8-14. <https://doi.org/10.1177/0361198118758983>
- Graham, A. ve Dennis, N. (2010). "The Impact of Low Cost Airline Operations to Malta", *Journal of Air Transport Management*, 16(3), 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2009.07.006>
- Graver, B., Rutherford, D. ve Zheng, S. (2020). "CO₂ Emissions from Commercial Aviation: 2013, 2018, ve 2019", *International Council on Clean Transportation*. <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf> (Erişim Tarihi: 13.12.2025)
- Green, R.K. (2007). "Airports ve Economic Development", *Real Estate Economics*, 35(1), 91-112. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6229.2007.00183.x>
- Gürol, P., Yurdabak, S., Yaprak Gul, A. ve Cakmak, E. (2025). "Pallet Pooling Service Provider Selection Using Intuitionistic Fuzzy-Based AROMAN", *Journal of Cleaner Production*, 145189. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145189>
- Hakim, M.M. ve Merkert, R. (2016). "The Causal Relationship Between Air Transport ve Economic Growth: Empirical Evidence from South Asia", *Journal of Transport Geography*, 56, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.09.006>
- IATA. (2023). "IATA Annual Review 2023", *IATA*. <https://www.iata.org/contentassets/c81222d96c9a4e0bb4ff6ced0126f0bb/annual-review-2023.pdf> (Erişim Tarihi: 11.12.2025)
- ICAO. (2024). "Carbon Emissions Calculator Methodology", *ICAO*. https://icec.icao.int/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Emissions%20Calculator_v13_Final.pdf (03.12.2025)
- International Energy Agency. (2024). "Aviation: Tracking Clean Energy Progress", *IEA*. <https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation> (Erişim Tarihi: 03.12.2025)
- Ishutkina, M.A. ve Hansman, R.J. (2008). "Analysis of Interaction Between Air Transportation ve Economic Activity", MIT ICAS Report.
- Janic, M. (2016). *System Analysis ve Modelling in Air Transport: Demand, Capacity, Quality of Services, Economics, ve Sustainability*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429321276>
- Jankiewicz, J. ve Huderek-Glapska, S. (2016). "The Air Transport Market in Central ve Eastern Europe After a Decade of Liberalisation - Different Paths of Growth", *Journal of Transport Geography*, 50, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.06.002>
- Kasarda, J.D. ve Green, J.D. (2005). "Air Cargo as an Economic Development Engine: A Note on Opportunities ve Constraints", *Journal of Air Transport Management*, 11(6), 459-462. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2005.06.002>
- Kaya, G. ve Aydın, U. (2024). "The Nexus Between Air Transport ve Economic Growth Geographically: An Evidence Based on Heterogeneous Panel Data Models", *Journal of Air Transport Management*, 115, 102528. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102528>

- Kazda, A., Novák Sedláčková, A., Böhm, P. ve Materna, M. (2024). "Thinking Beyond Models: The Propensity to Fly of Four Central European Countries", *Journal of Transport Geography*, 121, 104040. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.104040>
- Keeling, D.J. (2020). "Transport Geography in Iceland", *Journal of Transport Geography*, 89, 102875. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102875>
- Keleş, N. (2023). "A Multi-Criteria Decision-Making Framework Based on the MEREC Method for the Comprehensive Solution of Forklift Selection Problem", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18(2), 573-590. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.1270016>
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. ve Antucheviciene, J. (2021). "Determination of Objective Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREC)", *Symmetry*, 13(4), 525. <https://doi.org/10.3390/sym13040525>
- Kiracı, K. (2025). "Determinants of Air Transport CO₂ Emissions in OECD Countries", *Sustainable Futures*, 10, 100877. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.100877>
- Kiracı, K. ve Bakır, M. (2019). "Causal Relationship Between Air Transport ve Economic Growth: Evidence From Panel Data for High, Upper-Middle, Lower-Middle ve Low-Income Countries", *Khazar Journal of Humanities ve Social Sciences*, 22(3), 24-43. <https://doi.org/10.5782/2223-2621.2019.22.3.24>
- Klöwer, M., Allen, M. R., Lee, D.S., Proud, S.R., Gallagher, L. ve Skowron, A. (2021). "Quantifying Aviation's Contribution to Global Warming", *Environmental Research Letters*, 16(10), 104027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac286e>
- Kumar, R., Ranakoti, L., Negi, A., Song, Y., Fekete, G. ve Singh, T. (2025). "Waste-Derived Composite Selection for Sustainable Automotive Brake Friction Materials Using Novel MEREC-RAM Decision Framework", *Lubricants*, 13(12), 533. <https://doi.org/10.3390/lubricants13120533>
- Lee, D. S., Fahey, D.W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q. ve Wilcox, L.J. (2021). "The Contribution of Global Aviation to Anthropogenic Climate Forcing for 2000 to 2018", *Atmospheric Environment*, 244, 117834. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>
- Lenaerts, B., Allroggen, F. ve Malina, R. (2021). "The Economic Impact of Aviation: A Review on the Role of Market Access", *Journal of Air Transport Management*, 91, 102000. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.102000>
- Lenaerts, B., Allroggen, F. ve Malina, R. (2023). "Air Connectivity ve Regional Employment: A Spatial Econometrics Approach", *Regional Studies*, 57(3), 560-575. <https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2059069>
- Lund, K.A., Jóhannesson, G.T. ve Huijbens, E.H. (2017). "More Than a Stopover: Analysing the Postcolonial Image of Iceland as a Gateway Destination", *Tourist Studies*, 17(2), 144-163. <https://doi.org/10.1177/1468797616659951>
- Marazzo, M., Scherre, R. ve Fernandes, E. (2010). "Air Transport Demand ve Economic Growth in Brazil: A Time Series Analysis", *Transportation Research Part E: Logistics ve Transportation Review*, 46(2), 261-269. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.08.008>
- Mazzola, F., Cirà, A., Ruggieri, G. ve Butler, R. (2022). "Air Transport ve Tourism Flows to Islands: A Panel Analysis for Southern European Countries", *International Journal of Tourism Research*, 1-14. <https://doi.org/10.1002/itr.2527>
- McKinsey. (2023). "Aviation Value Chain: Strong Recovery Brings Profitability into View", *McKinsey ve Company*. <https://www.mckinsey.com/industries/travel/our-insights/aviation-value-chain-strong-recovery-brings-profitability-into-view> (Erişim Tarihi: 10.12.2025)
- Niedzielski, P., Ziolo, M., Kozuba, J., Kuzionko-Ochrymiuk, E. ve Drop, N. (2021). "Analysis of the Relationship of the Degree of Aviation Sector Development with Greenhouse Gas Emissions ve Measures of Economic Development in the European Union Countries", *Energies*, 14(13), 3801. <https://doi.org/10.3390/en14133801>
- Nieto, M., González-Sáez, M., Jiménez, M.C. ve Pérez, S. (2025). "Decarbonizing the Skies: Comparing Air Traffic Activity ve CO₂ Emissions Across European Union Member States (2019-2024)", *Environments*, 12(9), 332. <https://doi.org/10.3390/environments12090332>
- Nikolić, I., Milutinović, J., Božanić, D. ve Dobrodolac, M. (2023). "Using an Interval Type-2 Fuzzy AROMAN Decision-Making Method to Improve the Sustainability of the Postal Network in Rural Areas", *Mathematics*, 11(14), 3105. <https://doi.org/10.3390/math11143105>
- OECD ve European Commission. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology ve User Guide*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- Oxford Economics. (2014). "Economic Benefits from Air Transport in the UK: UK Country Report", *Oxford Economics*. <https://airlinesuk.org/wp-content/uploads/2015/03/Oxford-Economics-2014.pdf> (Erişim Tarihi: 09.12.2025)
- Pauwels, J., Buyle, S., Dewulf, W. ve Jourquin, B. (2025). "Reconsidering Airport Economic Impact Assessments: A Bottom-Up Comparative Analysis of Belgian Airports", *Journal of Air Transport Management*, 128, 102854. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102854>

- Percoco, M. (2010). "Airport Activity ve Local Development: Evidence from Italy", *Urban Studies*, 47(11), 2427-2443. <https://doi.org/10.1177/0042098009357960>
- Pot, F.J. ve Koster, S. (2022). "Small Airports: Runways to Regional Economic Growth?", *Journal of Transport Geography*, 98, 103262. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103262>
- Queiroz Júnior, A.R.D., dos Santos, M.P.S., Gomes, A.D.O. ve Nascimento, J.M.R. (2024). "CO₂ Emissions in Air Transport: A Comparative Study of Countries", *Transportation Research Record*, 2678(6), 200-213. <https://doi.org/10.1177/03611981231193407>
- Riaz, M., Iampan, A., Pamucar, D. ve Saif, M. (2025). "An Integrated Softmax Hamacher Aggregation Based LOPCOW-AROMAN Decision-Making Methodology for Airport Security Screening Efficiency", *Information Sciences*, 703, 122776. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2025.122776>
- Shanmugasundar, G., Sapkota, G., Çep, R. ve Kalita, K. (2022). "Application of MEREC in Multi-Criteria Selection of Optimal Spray-Painting Robot", *Processes*, 10(6), 1172. <https://doi.org/10.3390/pr10061172>
- Sönmez, F. ve Toktaş, P. (2024). "Supplier Selection in a Medical Device Company Using Integrated Fermatean Fuzzy Sets, MEREC ve CoCoSo Method", *Journal of Scientific Reports-A*. <https://doi.org/10.59313/jsr-a.1420728>
- Spasojevic, B., Lohmann, G. ve Scott, N. (2018). "Air Transport ve Tourism—A Systematic Literature Review (2000-2014)", *Current Issues in Tourism*, 21(9), 975-997. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1334762>
- Sümerli Sarıgül, S., Ünlü, M. ve Yaşar, E. (2023). "A New MCDM Approach in Evaluating Airport Service Quality: MEREC-Based MARCOS ve CoCoSo Methods", *International Journal of Management Academy*, 6(1), 90-108. <https://doi.org/10.33712/mana.1250335>
- Sun, X., Ryerson, M. S. ve Zhang, A. (2023). "Aviation Demand Recovery ve Resilience: A Global Evidence", *Journal of Air Transport Management*, 110, 102401. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102401>
- Tanrıverdi, G., Merkert, R., Karamaşa, Ç. ve Asker, V. (2023). "Using Multi-Criteria Performance Measurement Models to Evaluate the Financial, Operational ve Environmental Sustainability of Airlines", *Journal of Air Transport Management*, 112, 102456. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102456>
- Turanboy, C., Sarıkaya, B. ve Arsu, T. (2024). "Şehir Hastanelerinin Kapasite Performansının MEREC ve MAIRCA Yöntemleri ile Değerlendirilmesi", *İşletme*, 5(1), 81-103. <https://doi.org/10.57116/isletme.1436489>
- Vasigh, B., Fleming, K. ve Tacker, S. (2013). *Introduction to Air Transport Economics: From Theory to Applications*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315589671>
- Walesiak, M. (2018). "The Choice of Normalization Method ve Rankings of the Set of Objects Based on Composite Indicator Values", *Statistics in Transition New Series*, 19(4), 693-710. <https://doi.org/10.21307/stattrans-2018-036>
- Wang, Q., Cheng, T., Lu, Y., Liu, H., Zhang, R. ve Huang, J. (2024). "Underground Mine Safety ve Health: A Hybrid MEREC-CoCoSo System for the Selection of Best Sensor", *Sensors*, 24(4), 1285. <https://doi.org/10.3390/s24041285>
- Warffemius, P.M.J., van der Hoorn, T. ve Klaassen, I.T. (2010). "The Importance of Agglomeration Effects for the Location of Distribution Centres Around Amsterdam Airport Schiphol", *Journal of Airport Management*, 4(3), 265-279. <https://doi.org/10.69554/YUTF1007>
- Warnock-Smith, D., Christidis, P. ve Dzedzic, M. (2023). "Measuring Disparities in Air Transport Access Across Europe: An Inequality, Vulnerability ve Dependence Approach", *Transportation Research Part A: Policy ve Practice*, 167, 103556. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.11.016>
- Yavuz, S., Akbıyık, T. ve Çınaroğlu, E. (2025). "Aviation Focused Sustainability Analysis in EU Countries with CRITIC Based MABAC Method", *Journal of Aviation*, 9(3), 538-547. <https://doi.org/10.30518/jav.1519579>
- Zhang, F. ve Graham, D.J. (2020). "Air Transport ve Economic Growth: A Review of the Impact Mechanism ve Causal Relationships", *Transport Reviews*, 40(4), 506-528. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1738587>
- Zhang, Y. ve Wang, K. (2024). "Mitigation Effect of the European Union Emission Trading System on Aviation Emissions", *Transportation Research Part D: Transport ve Environment*, 130, 104186. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104186>

