

JAR - 7 / 1

E-ISSN: 2687-3338

FEBRUARY 2025



**JOURNAL OF**  
**AVIATION**  
**RESEARCH**

**HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERĐİSİ**





**JOURNAL OF**  
**AVIATION**  
**RESEARCH**

**HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERĐİSİ**

**7 / 1**



JOURNAL OF  
**AVIATION  
RESEARCH**

HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERĐİSİ

Yılda iki sayı olarak yayımlanan uluslararası hakemli,  
açık erişimli ve bilimsel bir dergidir.

Cilt: 7  
Sayı: 1  
Yıl: 2025

2019 yılından itibaren yayımlanmaktadır.

© Telif Hakları Kanunu çerçevesinde makale sahipleri ve  
Yayın Kurulu'nun izni olmaksızın hiçbir şekilde  
kopyalanamaz, çoğaltılamaz. Yazıların bilim,  
dil ve hukuk açısından sorumluluğu  
yazarlarına aittir.

Elektronik ortamda yayımlanmaktadır.  
<https://dergipark.org.tr/jar>  
Ulaşmak için tarayınız:

This is a scholarly, international, peer-reviewed, open-access  
journal published international journal published twice a year.

Volume: 7  
Issue: 1  
Year: 2025

Published since 2019.

© The contents of the journal are copyrighted and may not  
be copied or reproduced without the permission of the  
publisher. The authors bear responsibility for the  
statements or opinions of their  
published articles.

This journal is published digitally.  
<https://dergipark.org.tr/jar>  
Scan for access:



**Yazışma Adresi:**  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
Sivil Havacılık Yüksekokulu Müdürlüğü  
Keçiborlu / Isparta - Türkiye

**E-Posta:**  
[journalofaviationresearch@gmail.com](mailto:journalofaviationresearch@gmail.com)

**Telefon:**  
+90 246 211 85 00

**Dahili:**  
8505

**Correspondence Address:**  
Süleyman Demirel University  
Directorate of Civil Aviation School  
Keçiborlu / Isparta - Türkiye

**E-Mail:**  
[journalofaviationresearch@gmail.com](mailto:journalofaviationresearch@gmail.com)

**Telephone:**  
+90 246 211 85 00

**Ext:**  
8505



# JOURNAL OF AVIATION RESEARCH

HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERGİSİ

## Yayın Sahibi

Doç. Dr. İnan Eryılmaz

## Baş Editör

Doç. Dr. İnan Eryılmaz

## Editör Kurulu

Doç. Dr. İnan Eryılmaz  
Doç. Dr. Deniz Dirik  
Doç. Dr. Yasin Şöhret  
Dr. Öğr. Üyesi Şener Odabaşoğlu  
Dr. Öğr. Üyesi Leyla Adiloğlu Yalçinkaya  
Dr. Tamer Saraçyakupoğlu  
Doç. Dr. Vahap Önen  
Doç. Dr. Gökhan Tanrıverdi

## Dil Editörleri

Doç. Dr. Deniz Dirik  
Doç. Dr. Tuğba Erhan

## Mizanpaj Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Rıza Gürler Akgün

## Yayın ve Danışma Kurulu

Prof. Dr. Cem Harun Meydan  
Prof. Dr. Dukagjin Leka  
Prof. Dr. Ender Gerede  
Prof. Dr. Ferhat Kolbakır  
Prof. Dr. Osman Ergüven Vatandaş  
Doç. Dr. Akansel Yalçinkaya  
Doç. Dr. Asena Altın Gülova  
Doç. Dr. Burcu Güneri Çangarlı  
Doç. Dr. Engin Kanbur  
Doç. Dr. Eyüp Bayram Şekerli  
Doç. Dr. Ferhan Sayın  
Doç. Dr. Florina Oana Virlanuta  
Doç. Dr. Güler Tozkoparan  
Doç. Dr. Hakkı Aktaş  
Doç. Dr. Mehmet Kaya  
Doç. Dr. Önder Altuntaş  
Doç. Dr. Özgür Demirtaş  
Doç. Dr. Rüstem Barış Yeşilay  
Doç. Dr. Semih Soran  
Dr. Öğr. Üyesi Birsan Açikel  
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin Uzunbacak  
Dr. Öğr. Üyesi Muhittin Hasan Uncular  
Dr. Öğr. Üyesi Rukiye Sönmez  
Dr. Öğr. Üyesi Tahsin Akçakanat  
Dr. Öğr. Üyesi Uğur Turhan

## Owner

Assoc. Prof. Dr. İnan Eryılmaz, Ph.D.

## Editor in Chef

Assoc. Prof. Dr. İnan Eryılmaz, Ph.D.

## Editorial Board

Assoc. Prof. İnan Eryılmaz, Ph.D.  
Assoc. Prof. Deniz Dirik, Ph.D.  
Assoc. Prof. Yasin Şöhret, Ph.D.  
Asst. Prof. Şener Odabaşoğlu, Ph.D.  
Asst. Prof. Leyla Adiloğlu Yalçinkaya, Ph.D.  
Tamer Saraçyakupoğlu, Ph.D.  
Assoc. Prof. Vahap Önen, Ph.D.  
Assoc. Prof. Gökhan Tanrıverdi, Ph.D.

## Language Editors

Assoc. Prof. Deniz Dirik, Ph.D.  
Assoc. Prof. Tuğba Erhan, Ph.D.

## Layout Editor

Asst. Prof. Rıza Gürler Akgün, Ph.D.

## Editorial and Advisory Board

Prof. Cem Harun Meydan, Ph.D.  
Prof. Dukagjin Leka, Ph.D.  
Prof. Ender Gerede, Ph.D.  
Prof. Ferhat Kolbakır, Ph.D.  
Prof. Osman Ergüven Vatandaş, Ph.D.  
Assoc. Prof. Akansel Yalçinkaya, Ph.D.  
Assoc. Prof. Asena Altın Gülova, Ph.D.  
Assoc. Prof. Burcu Güneri Çangarlı, Ph.D.  
Assoc. Prof. Engin Kanbur, Ph.D.  
Assoc. Prof. Eyüp Bayram Şekerli  
Assoc. Prof. Ferhan Sayın, Ph.D.  
Assoc. Prof. Florina Oana Virlanuta, Ph.D.  
Assoc. Prof. Güler Tozkoparan, Ph.D.  
Assoc. Prof. Hakkı Aktaş, Ph.D.  
Assoc. Prof. Mehmet Kaya, Ph.D.  
Assoc. Prof. Önder Altuntaş, Ph.D.  
Assoc. Prof. Özgür Demirtaş, Ph.D.  
Assoc. Prof. Rüstem Barış Yeşilay, Ph.D.  
Assoc. Prof. Semih Soran, Ph.D.  
Asst. Prof. Birsan Açikel, Ph.D.  
Asst. Prof. Hasan Hüseyin Uzunbacak, Ph.D.  
Asst. Prof. Muhittin Hasan Uncular, Ph.D.  
Asst. Prof. Rukiye Sönmez, Ph.D.  
Asst. Prof. Tahsin Akçakanat, Ph.D.  
Asst. Prof. Uğur Turhan, Ph.D.



JOURNAL OF  
**AVIATION  
RESEARCH**  
HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERĐİSİ

**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

***Araştırma Makaleleri / Research Articles***

**ECEM ŐEVVAL PINARCI - CEM TARIK VURUŐKAN - EMEL GÜVEN - TAMER EREN**

**Havayolu Ekip Çizelgelemede Sezgisel YaklaŐım**

*Heuristic Approach in Airline Crew Scheduling* ..... 1 - 17

**ARMAĞAN MACİT - MEHMET ARDA ÖZDEN - VOLKAN YAVAŐ - RÜSTEM BARIŞ YEŞİLAY**

**İnsansız Hava Aracı Pilotlarının DijitalleŐme ile Emniyet Bilincinin Artırılması: Mobil Uygulama Örneği**

*Increasing Safety Awareness of Unmanned Aerial Vehicle Pilots through Digitalization: Mobile Application Example* ..... 18 - 33

**YILMAZ YILDIRIM - VİLDAN DURMAZ**

**Flying Between the Genders: Organizational Citizenship Behaviours and Turnover Intentions Among Turkish Airlines Pilots**

*Cinsiyetler Arasında Uçmak: Türkiye'de Hava Yolları Pilotlarında Örgütsel Vatandaşlık DavranıŐları ve İŐten Ayrılma Niyetleri* ..... 34 - 55

**ERAY KAÇAR - KAAAN KALKAN**

**Hava Aracı Hareketliliği ve Havalimanlarındaki Hava Kalitesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Aerosol İndeksi ve Avrupa Örneği**

*Investigation of the Relationship Between Aircraft Movement and Air Quality at Airports: Aerosol Index and the European Example* ..... 56 - 68

**MEHMET ERGEÇ - EBRU AYKAN**

**Anlık MesajlaŐma Uygulamaları ve Kullanımından Kaynaklanan İŐ Kesintisinin Çalışanların İŐ Performansı Üzerindeki Etkisi: Havacılık Alanında Bir Uygulama**

*Instant Messaging Applications and The Impact of Business Interruption Due to Their Use on Work Performance of Employees: An application in Aviation* ..... 69 - 82



## Hava Aracı Hareketliliği ve Havalimanlarındaki Hava Kalitesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Aerosol İndeksi ve Avrupa Örneği

Eray KAÇAR<sup>1</sup>

Kaan KALKAN<sup>2</sup>

Araştırma Makalesi	DOI: 10.51785/jar.1611083
Gönderi Tarihi: 31.12.2024	Kabul Tarihi: 22.02.2025
	Online Yayın Tarihi: 28.02.2025

### Öz

Bu çalışma, Avrupa'nın en yoğun altı havalimanında (İstanbul (LTFM), Amsterdam Schiphol (EHAM), Paris Charles de Gaulle (LFPG), Londra Heathrow (EGLL), Frankfurt (EDDF) ve Madrid Barajas (LEMD)) Ocak 2023 - Kasım 2024 arasındaki hava trafiği ile atmosferik aerosol indeksi (AAI) arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Sentinel-5P uydusundan alınan AAI verileri kullanılarak, her havalimanı için hava trafiği ve AAI değerleri, zamansal değişimleri ve aralarındaki korelasyonlar analiz edilmiştir. Bu çalışma özelinde, hava trafiği ile AAI arasında genel ve belirgin bir ilişki saptanmamıştır. Bununla birlikte, havalimanı bazında yapılan incelemeler, bu ilişkinin her bir havalimanında farklı derecelerde ve bazı durumlarda düzensiz bir şekilde ortaya çıktığını göstermiştir. Madrid Barajas ve Paris Charles de Gaulle'de ilişki zayıf ve düzensizken, Amsterdam Schiphol, Londra Heathrow ve Frankfurt'ta belirgin bir negatif, İstanbul'da ise zayıf bir pozitif ilişki gözlenmiştir. Endüstriyel faaliyetler, kentsel ısınma ve diğer ulaşım kaynakları gibi faktörlerin AAI değerlerine etkisi çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Sonuç olarak, hava trafiği ve AAI ilişkisi havalimanlarına göre değişmekte ve Sentinel-5P verileri bu tür analizlerde değerli bir araç sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** atmosferik aerosol indeksi (AAI), hava kalitesi, havalimanı, sentinel-5p

**JEL Sınıflandırma:** Q53, L93, R41

## Investigation of the Relationship Between Aircraft Movement and Air Quality at Airports: Aerosol Index and the European Example

### Abstract

This study examines the relationship between air traffic and the atmospheric aerosol index (AAI) at six of Europe's busiest airports (Istanbul (LTFM), Amsterdam Schiphol (EHAM), Paris Charles de Gaulle (LFPG), London Heathrow (EGLL), Frankfurt (EDDF), and Madrid Barajas (LEMD)) between January 2023 and November 2024. Utilizing AAI data obtained from the Sentinel-5P satellite, air traffic and AAI values, their temporal variations, and the correlations between them were analyzed for each airport. Within the scope of this particular study, no general and significant correlation was found between air traffic and AAI. However, detailed analyses conducted on an individual airport basis revealed that this relationship emerged at different degrees and, in some cases, irregularly. While the relationship was weaker and more irregular at Madrid Barajas and Paris Charles de Gaulle, a more pronounced negative correlation was observed at Amsterdam Schiphol, London Heathrow, and Frankfurt, and a weak positive correlation was observed at Istanbul. The impact of factors such as industrial activities, urban heating, and other transportation sources on AAI values was excluded from the scope of this study. In conclusion, the relationship between air traffic and AAI varies across airports, and Sentinel-5P data provides a valuable tool for such analyses.

**Key Words:** absorbing aerosol index (AAI), air quality, airport, sentinel-5p

**JEL Classification:** Q53, L93, R41

<sup>1</sup> Öğretim Görevlisi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, eraykacar98@gmail.com (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> Dr., TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, kaankalkan@gmail.com

## GİRİŞ

Hava kirliliği, günümüzün en önemli küresel sorunlarından biri olarak, insan sağlığı ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileriyle giderek daha fazla endişe yaratmaktadır. 2019'da dünya çapında, 4.2 milyon erken ölümün sebebi, ince partikül maddelere maruz kalmaktan kaynaklanmıştır (Dünya Sağlık Örgütü, 2024). Atmosferdeki partikül madde konsantrasyonu ve aerosoller, bu kirliliğin önemli bileşenleri olup, hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan etkilenmektedir. Atmosferik aerosol indeksi (AAI), aerosollerin optik özelliklerini yansıtarak hava kirliliğinin izlenmesi ve değerlendirilmesi için kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır (De Graaf, 2005).

Havacılık sektörü, küresel ekonomi ve ulaşım ağının vazgeçilmez bir parçası olarak, modern yaşamın önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Ancak sektörün büyümesi ve gelişmesi, atmosferik hava kalitesi üzerindeki etkileri de beraberinde getirmektedir. Özellikle büyük havalimanları, artan hava trafiği nedeniyle yerel ve bölgesel hava kalitesi üzerinde önemli bir baskı oluşturabilmektedir. Bu bağlamda, havacılık sektörünün hava kirliliğine etkisi, artan hava trafiği ve operasyonlar nedeniyle hava kalitesi üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip potansiyel bir antropojenik kaynak olarak yer almaktadır (Lee, 2009). Bu geniş etki yelpazesi göz önüne alındığında, yoğun hava trafiğine sahip havalimanlarının çevresel etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla, Avrupa'nın en işlek altı havalimanı, artan hava trafiği ile aerosol partikül yoğunluğu arasındaki ilişkiyi ve bunun hava kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla seçilmiştir. Bu havalimanları, İstanbul Havalimanı (LTFM), Amsterdam Schiphol Havalimanı (EHAM), Paris Charles de Gaulle Havalimanı (LFPG), Londra Heathrow Havalimanı (EGLL), Frankfurt Havalimanı (EDDF) ve Madrid Barajas Havalimanı (LEMD)'dir (EUROCONTROL, 2024). Söz konusu havalimanları, Airport Carbon Accreditation programında çeşitli seviyelerde akreditasyona sahip olmakla beraber sürdürülebilirlik çabalarını tanımak ve ödüllendirmek amacıyla çevre dostu uygulamalarda ilerlemeleri teşvik edilmektedir (Airport Carbon Accreditation, 2024). Ocak 2023-Kasım 2024 dönemine ait uydu verileri (Sentinel-5P) ve operasyonel trafik verileri, hava trafiği hareketliliği ile AAI arasındaki ilişkinin analizi için temel oluşturmuştur

Çalışma kapsamında, seçilen havalimanlarındaki hava trafiğinin aylık değişimleri ile AAI değerleri arasındaki zamansal ilişki incelenmiştir. İki değişkenin zaman içindeki ilişkisini belirlemek için korelasyon analizi uygulanmış ve her havalimanına özgü korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. AAI ile trafik verilerinin karşılaştırılması sonucunda, değişkenler arasındaki bağlantılar grafikler ve istatistiksel bulgularla desteklenerek sunulmuştur.

### 1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Hava kalitesi, atmosferdeki kirletici maddelerin konsantrasyonunu ifade eden ve insan sağlığı, ekosistemler ve iklim üzerinde önemli etkileri olan bir kavramdır (Seinfeld ve Pandis, 2016). Hava kirliliğinin temel bileşenlerinden biri olan atmosferik aerosoller, atmosferde asılı halde bulunan katı ve sıvı partiküllerdir. Bu partiküller, doğal (örneğin, volkanik patlamalar, deniz tuzu, toz fırtınaları) ve antropojenik (örneğin, fosil yakıt yanması, endüstriyel işlemler, biyokütle yanması) kaynaklardan köken alabilir (Pöschl, 2005). Atmosferik aerosolleri incelemek için kullanılan önemli parametrelerden biri, Atmosferik

Aerosol İndeksi (AAI) veya Ultraviyole (UV) aerosol indeksidir. AAI, özellikle emici aerosollerin (örneğin, toz, duman, biyokütle yanması) varlığını ve miktarını belirlemede kullanılan bir göstergedir. AAI, iki farklı UV dalga boyundaki yansıtma değerleri arasındaki farka dayanır ve pozitif değerler, emici aerosollerin varlığını gösterirken, sıfıra yakın veya negatif değerler, saçıcı aerosollerin veya bulutların varlığını işaret eder (Torres vd., 1998). Torres vd. (2002), uzun vadeli AAI kayıtlarının hava kalitesi trendlerini analiz etmek için değerli bir veri kaynağı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Havalimanları, yoğun insan ve araç trafiği nedeniyle, hava kalitesi üzerinde önemli etkileri olan karmaşık kentsel alanlardır. Uçak hareketleri, iniş, kalkış, taksi yapma ve rölanti gibi farklı aşamaları içerir ve her aşamada farklı miktarlarda ve türlerde kirletici emisyon salınımı gerçekleşir. Ancak, havalimanı kaynaklı hava kirliliği sadece uçakların iniş ve kalkış hareketlerinden kaynaklanmamaktadır. Hudda vd. (2014), Los Angeles Uluslararası Havalimanı'ndan kaynaklanan emisyonların 10 km uzaklıkta bile partikül konsantrasyonlarında artışa neden olduğunu göstermiştir. Bu durum, kirliliğin geniş bir alana yayıldığını ve çok sayıda kaynaktan etkilendiğini gösterir niteliktedir. Uçak kaynaklı emisyonlar genel olarak, azot oksitler (NO), karbon monoksit (CO), uçucu organik bileşikler (VOC'ler), partikül maddeler (PM) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) gibi çeşitli kirleticileri içermektedir (Stettler vd., 2011).

Havacılık sektörünün hızla büyümesi, hava trafiğinin hava kalitesi üzerindeki etkilerini de araştırmaların odak noktası haline getirmiştir. Bu bağlamda, havacılık sektörünün çevresel etkilerinin azaltılması ve sürdürülebilir havacılık uygulamalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (EASA, 2019). Hava kalitesinin izlenmesinde AAI gibi göstergeler yaygın olarak kullanılsa da, özellikle hava trafiği kaynaklı emisyonların AAI ile ilişkisini birincil gösterge olarak ele alan çalışmaların metodolojik bir boşluk barındırdığı gözlemlenmiştir. Literatürde hava aracı hareketliliği ve hava kalitesi ilişkisini inceleyen bazı çalışmalar bulunsa da, bu çalışmaların çoğunlukla genel hava kalitesi eğilimlerine veya farklı kirlilik bileşenlerine odaklandığı ve AAI'yi birincil gösterge olarak ele almadığı görülmektedir. Örneğin, Duan vd. (2022) hava aracı kalkışlarının NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında anlık artışlara yol açtığını, ancak havalimanlarının açık yapısı nedeniyle bu kirleticilerin hızla dağıldığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Hsu vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışma, iniş ve kalkış faaliyetlerinin özellikle pist yakınlarında ultra ince partikül (UFP) konsantrasyonlarında ani pikler oluşturduğunu, ancak bu emisyonların havalimanı sınırına ulaşmadan birkaç yüz metre içinde azaldığını hesaplamışlardır. Bu durum, ani emisyon değişimlerinin AAI gibi bölgesel ölçekli ve zaman ortalamalı indekslerle ilişkilendirilmesini metodolojik bir sorun olarak karşımıza çıkarmaktadır. Ek olarak, havalimanı emisyonlarının yerel hava kalitesi üzerindeki etkisinin izlenmesi, yalnızca emisyonların karmaşık dinamikleriyle değil, diğer çevresel kaynaklardan (karayolu trafiği, endüstriyel faaliyetler) gelen kirlilik etkileşimiyle de zorlaşmaktadır. Masiol ve Harrison (2014) birçok havalimanının kentsel yerleşimler, ana ulaşım arterleri veya endüstriyel tesislere yakın konumlanması nedeniyle, hava aracı kaynaklı emisyonların diğer kaynaklardan (egzoz gazları, endüstriyel salınımlar) gelen kirleticilerle örtüşerek ayırt edilemez hâle geldiğini vurgulamaktadır. Nitekim Hsu vd. (2013), pist yakınındaki UFP seviyelerinin havalimanı çevresindeki lokal topluluklar üzerinde yüksek maruziyet riski oluşturduğunu, ancak bu



etkinin mesafeyle hızla sönümlendiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, AAI'nın özellikle havalimanı çevresindeki hava kalitesine etkilerinin daha detaylı anlaşılması gerekmektedir. Bu tür çalışmalar, hem bilimsel literatüre katkı sağlayacak hem de etkili hava kalitesi yönetimi ve sürdürülebilir havacılık politikalarının geliştirilmesine ışık tutacaktır (Yim vd., 2015). Önceki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışma, Sentinel-5P'den elde edilen yüksek çözünürlüklü AAI verilerini kullanarak, havalimanı özelinde ve geniş bir zaman aralığında (Ocak 2023 - Kasım 2024) bu ilişkiyi analiz etmektedir. Çalışmanın özgünlüğü, AAI'yı birincil gösterge olarak kullanması, seçilen havalimanlarının Avrupa'nın en yoğun hava trafiğine sahip olması ve geniş zaman aralığını kapsamasıdır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Araştırma Modeli

Bu çalışma, nicel araştırma yöntemlerinden ilişki arama (korelasyon) modeli kullanılarak tasarlanmıştır. Çalışmada, Avrupa'nın en yoğun altı havalimanındaki hava trafiği ile Atmosferik Aerosol İndeksi (AAI) değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. İlişkinin yönü ve gücü, zaman serisi analizi ve korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Çalışma, Ocak 2023-Kasım 2024 arasındaki dönemi kapsamaktadır.

### 2.2. Örneklem

Bu çalışmada, EUROCONTROL tarafından yayınlanan günlük ortalama iniş/kalkış verilerine göre, 2024 yılında Avrupa'nın en yoğun altı havalimanı incelenmiştir. Bu havalimanları, İstanbul Havalimanı (LTFM), Amsterdam Schiphol Havalimanı (EHAM), Paris Charles de Gaulle Havalimanı (LFPG), Londra Heathrow Havalimanı (EGLL), Frankfurt Havalimanı (EDDF) ve Madrid Barajas Havalimanı (LEMD)'dir. Söz konusu havalimanları, Avrupa havacılık ağında merkezi bir konuma sahip olmaları, yüksek yolcu ve hava trafiği hacimlerini barındırmaları ve kıta genelinde hava ulaşımının önemli merkezleri olmaları nedeniyle seçilmiştir. Bu havalimanları, Avrupa'daki hava trafiğinin önemli bir bölümünü temsil etmekte olup, uçak hareketleri ile hava kalitesi arasındaki ilişkinin incelenmesi için uygun bir araştırma grubu oluşturmaktadır.

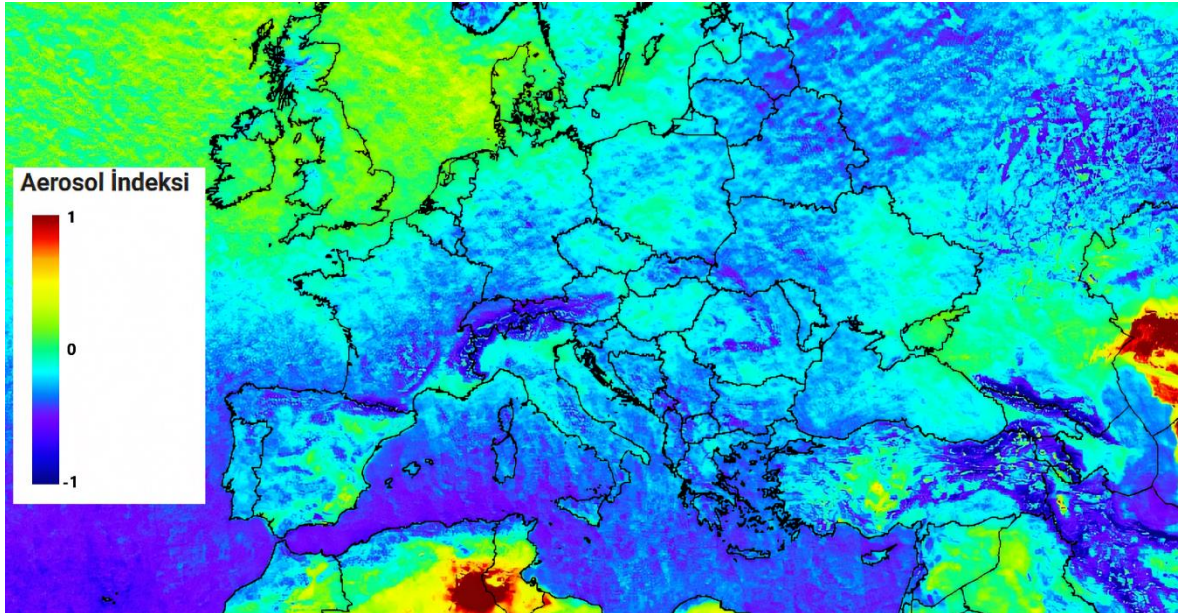
### 2.3. Veri Toplama Araçları

Çalışmada kullanılan havalimanı trafik verileri, incelenen havalimanlarının resmi kaynaklarından elde edilmiştir. Bu kaynaklar, ilgili ülkelerin seyrüsefer hizmet sağlayıcıları ve havalimanı işletmeleridir. Seyrüsefer hizmet sağlayıcıları, hava trafiğinin emniyetli ve etkin bir şekilde yönetilmesinden sorumlu kuruluşlar olup, havalimanı işletmeleri ise iniş-kalkış sayıları gibi günlük operasyonel verileri kaydetmektedir. Bu kuruluşlar, havacılık sektöründe yetkili ve güvenilir veri kaynaklarıdır. Veriler, aylık toplam iniş-kalkış sayıları olarak sunulmakta olup, çalışmada 2023 yılının Ocak ayından 2024 yılının Kasım ayına kadar olan dönem verileri dikkate alınmıştır. İstanbul Havalimanı için hava seyrüsefer hizmet sağlayıcısı olan Devlet Hava Meydanları İşletmesi verileri (DHMİ, 2024), Amsterdam Schiphol Havalimanı için havalimanı işletmecisi Royal Schiphol Group verileri (Royal Schiphol Group, 2024), Paris Charles de Gaulle Havalimanı için havalimanı işletmecisi Groupe Aeroports de Paris verileri (Groupe Aeroports de Paris, 2024), Londra Heathrow Havalimanı için havalimanı işletmecisi olan Heathrow Airport Limited verileri

(Heathrow Airport Limited, 2024), Frankfurt Havalimanı için havalimanı işletmecisi olan Fraport AG verileri (Fraport AG, 2024) ve Madrid Barajas Havalimanı için hava seyrüsefer hizmet sağlayıcısı olan Aena verileri (Aena, 2024) kullanılmıştır.

AAI belirlemek için, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından sağlanan Sentinel-5P uydusunun Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) sensöründen elde edilen veriler kullanılmıştır. Sentinel-5P, TROPOMI sensörü aracılığıyla hava kalitesi ve kirliliği, ozon tabakası izlemesi, iklim değişikliği ve havacılık güvenliği gibi çeşitli uygulamalara hizmet etmek için atmosferdeki çeşitli gazların ve aerosollerin küresel ölçekte yüksek spektral ve uzamsal çözünürlükle izlenmesi amacıyla tasarlanmış bir uydudur (SentiWiki, 2024). TROPOMI, ozon (O<sub>3</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot dioksit (NO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), metan (CH<sub>4</sub>), formaldehit ve aerosol konsantrasyonlarının doğru ölçümlerini sağlayan bir sensördür. Bu sensör, atmosferdeki kirleticilerin izlenmesi ve hava kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir araçtır (Peng, 2020). Bu çalışmada kullanılan AAI verileri, 2023 yılının Ocak ayından 2024 yılının Kasım ayına kadar olan dönemi kapsamaktadır. TROPOMI sensörü, atmosferin alt katmanlarında yer alan aerosollerin emilimini ölçerek AAI'yi hesaplar. AAI verileri, TROPOMI sensörünün L2 ürünlerinden türetilmekte olup günlük ortalama değerler şeklinde sunulmaktadır. Bu çalışmada, havalimanlarının aylık ölçekte AAI değerleri analiz edildiğinden, her ay için günlük L2 verileri kullanılarak aylık ortalamalar hesaplanmıştır. Bu hesaplama, ilgili ay içindeki tüm geçerli günlük verilerin aritmetik ortalamasının alınması yoluyla gerçekleştirilmiştir.

2023 Ocak ayına ait ortalama AAI değerleri, incelenen havalimanlarının bulunduğu bölgelerdeki atmosferik aerosol yükünü yansıtacak şekilde, Şekil 1'deki harita üzerinde görselleştirilmiştir.



Şekil 1. 2023 yılı Ocak ayı ortalama AAI değerlerinin harita gösterimi.

#### 2.4. Verilerin Analizi

Her havalimanına ait hava trafik verileri ve AAI değerleri, zaman serisi analizi çerçevesinde detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu analizde, her havalimanına ait verilerden elde edilen

aylık veriler kullanılarak zaman içindeki değişimler çizgi grafikler aracılığıyla görselleştirilmiştir. Çizgi grafiklerdeki veriler, değişkenlerin eğilimlerini, sezonluk dalgalanmalarını ve uzun vadeli değişimlerini net bir şekilde ortaya koymaktadır (Box, 2015). Bu görselleştirmeler, hem hava trafiği hem de AAI değerleri arasındaki zamanla değişen ilişkileri daha iyi anlayabilmek için kullanılmıştır.

Hava trafiği ile AAI arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçmek amacıyla Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Pearson korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir istatistiksel ölçüttür (Rodgers, 1988). Bu katsayı, -1 ile +1 arasında değişen bir değere sahip olup, +1 değeri güçlü pozitif bir ilişkiyi, -1 değeri güçlü negatif bir ilişkiyi ve 0 değeri ise ilişki olmadığını ifade eder. Bu sayede, her havalimanındaki hava trafiği ve AAI arasındaki ilişki derinlemesine bir şekilde analiz edilmiştir.

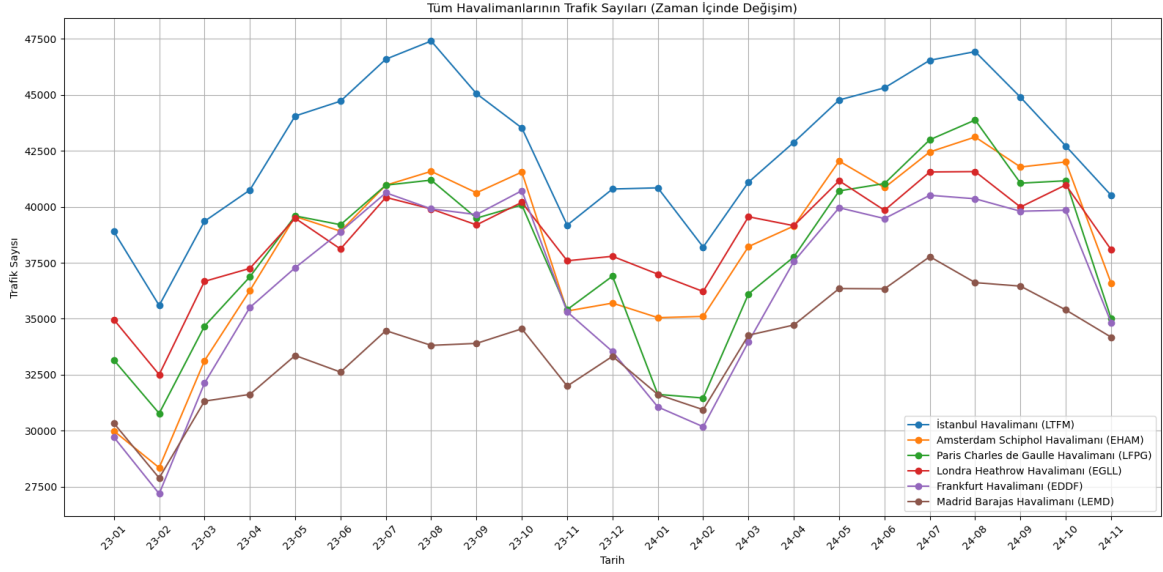
Her havalimanı için hesaplanan AAI ve trafik arasındaki korelasyon katsayıları, karşılaştırmaların daha anlaşılır ve kolay yapılabilmesi için ısı haritası ile görselleştirilmiştir. Isı haritası, korelasyon değerlerini renkler aracılığıyla göstererek, değişkenler arasındaki ilişkilerin görsel bir özetini sunar (Wilkinson, 2009). Bu yöntem, veri setindeki ilişkileri daha hızlı ve etkili bir şekilde kavrayabilmek için kullanılmaktadır.

Son olarak, AAI ve trafik sayılarının karşılaştırıldığı bir tablo hazırlanmıştır. Bu tablo, her havalimanı için AAI ve trafik arasındaki ilişkiyi net bir şekilde ortaya koyarak, bu iki değişkenin birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini daha somut bir şekilde sunmaktadır. Böylece, her havalimanının özgün dinamikleri hakkında daha derinlemesine bir anlayış geliştirilmiş ve farklı havalimanlarının arasındaki benzerlikler ve farklar kolayca analiz edilebilir hale getirilmiştir. Her havalimanına ait hava trafik verileri ve AAI değerleri, zaman serisi analizi çerçevesinde incelenmiştir. Bu amaçla, aylık veriler kullanılarak zaman içindeki değişimleri gösteren çizgi grafikler oluşturulmuştur. Bu grafikler aracılığıyla, ilgili değişkenlerin trendleri ve olası dalgalanmaları görsel olarak değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR

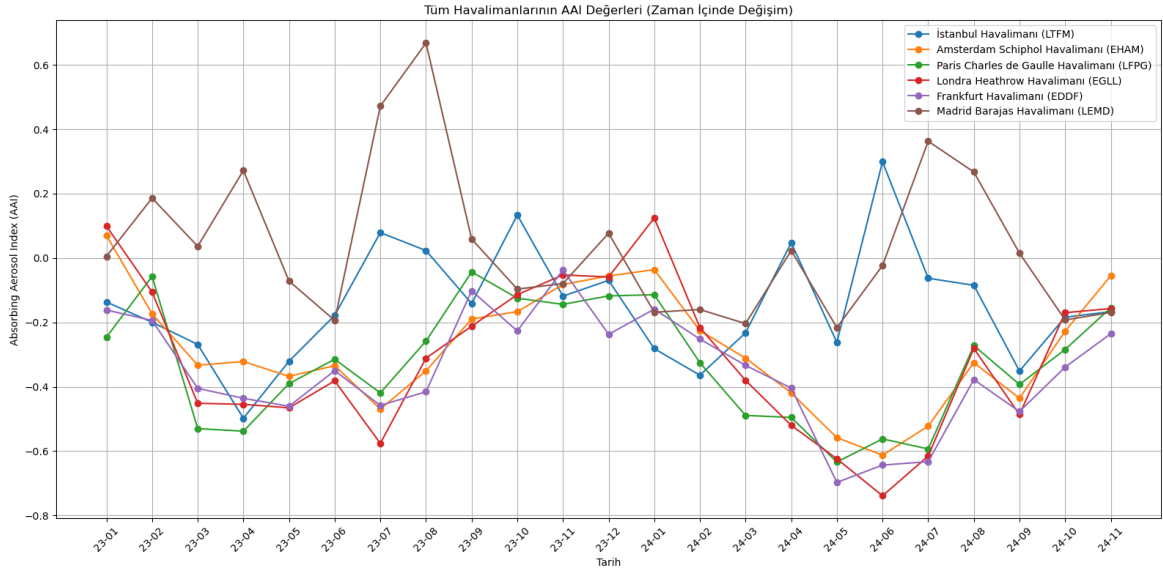
Avrupa'nın en yoğun altı havalimanına ait aylık hava trafik verilerinin zaman içindeki değişimleri, çizgi grafikler aracılığıyla görselleştirilmiştir (bkz. Şekil 2). Bu analiz, havalimanlarının trafik yoğunluğunda zaman içerisinde meydana gelen farklılıkları, trendleri ve dönemsel dalgalanmaları ortaya koymaktadır. Grafik, her bir havalimanının 2023 Ocak ayından 2024 Kasım ayına kadar olan dönemdeki trafik hareketliliklerini aylık bazda göstermektedir.

Genel olarak, tüm havalimanlarında yaz aylarına doğru belirgin bir trafik artışı gözlemlenirken, kış aylarında trafik yoğunluğunda düşüşler yaşanmıştır. Özellikle Temmuz ve Ağustos ayları, tüm havalimanlarında en yüksek trafik seviyelerine ulaşılan aylar olarak dikkat çekmektedir. Bazı havalimanlarında (örneğin, İstanbul Havalimanı ve Londra Heathrow Havalimanı) yıl boyunca nispeten daha istikrarlı bir trafik akışı görülürken, diğer havalimanlarında (örneğin, Amsterdam Schiphol ve Paris Charles de Gaulle Havalimanı) daha belirgin mevsimsel dalgalanmalar tespit edilmiştir. 2023 yılı sonlarına doğru ve 2024 yılının ilk aylarında trafik seviyelerinde genel bir azalma olduğu da gözlemlenmiştir.



**Şekil 2.** Havalimanlarının trafik sayılarının zaman içindeki değişimleri.

Tüm havalimanları için AAI değerlerinin aylık ortalamaları, zaman içindeki değişimlerini göstermek amacıyla çizgi grafiklerle sunulmuştur (bkz. Şekil 3). Bu grafikler, her havalimanının hava kalitesinin zaman içindeki dinamiklerini, AAI değerlerindeki artış veya azalışları ve trendleri belirlemeye yardımcı olmaktadır. Sentinel-5P verilerinden elde edilen aylık ortalama AAI değerleri, bu dönem içinde meydana gelen atmosferik değişiklikleri ortaya koymaktadır.



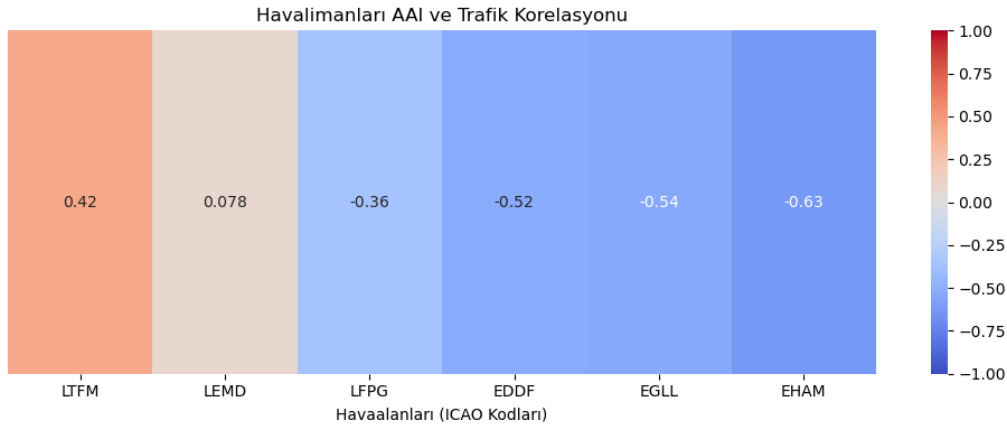
**Şekil 3.** Havalimanlarının AAI değerlerinin zaman içindeki değişimleri.

Şekil 3'te gösterilen grafik incelendiğinde, AAI değerlerinin tüm havalimanlarında önemli ölçüde dalgalanmalar gösterdiği, bu dalgalanmaların havalimanları arasında farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bazı havalimanlarında, özellikle Madrid Barajas (LEMD) ve Frankfurt Havalimanı (EDDF), AAI değerleri yıl boyunca daha istikrarlı bir seyir izlemiştir. Bu durum, bu havalimanlarının bölgesel aerosol kaynakları ve atmosferik koşullar açısından daha tutarlı bir hava kalitesine sahip olabileceğini düşündürmektedir. Diğer yandan,



Amsterdam Schiphol Havalimanı (EHAM) ve Paris Charles de Gaulle Havalimanı (LFPG) gibi havalimanlarında AAI değerlerinde daha belirgin dalgalanmalar, özellikle ilkbahar ve yaz başlarında daha yüksek değerler gözlemlenmiştir. Bu durum, bu bölgelerde aerosol kaynaklarının ve atmosferik koşulların daha değişken olabileceğine işaret etmektedir. Londra Heathrow Havalimanı'nda (EGLL) ise yılın belirli dönemlerinde diğerlerine göre nispeten daha düşük AAI değerleri görülmektedir. Bu durum, atmosferdeki emici aerosollerin azaldığını ve dolayısıyla bu dönemlerde havalimanı çevresindeki havanın daha temiz olabileceğini düşündürmektedir. Ancak, AAI'nin sadece emici aerosollerini ölçtüğü ve tüm hava kalitesi göstergelerini kapsamadığı unutulmamalıdır. Bu sebeple düşük AAI değerleri, tek başına mükemmel hava kalitesi anlamına gelmemektedir. Verilere göre tüm havalimanlarında olmasa da, AAI değerlerinde ilkbahar ve yaz aylarında belirgin bir artış trendi görülmektedir. Bu durum, mevsimsel olarak aerosol oluşumuna katkıda bulunan faktörlerin, özellikle güneş ışınımının ve sıcaklığın artmasıyla alakalı olabilir. Ayrıca, tüm havalimanlarında 2023 yılı sonu ve 2024 yılı başında genel bir AAI azalması trendi gözlemlenmiştir. Bu durumun bir sonucu olarak, bu dönemde atmosferdeki emici aerosollerin azaldığını ve havalimanları bölgesinde hava kalitesinin genel olarak iyileşme gerçekleştiği söylenebilir. Ancak bu azalmanın nedenleri ve diğer potansiyel kirleticilerin varlığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

İncelenen altı havalimanında, hava trafiği hareketliliği ile AAI arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak analiz edilmiştir (Şekil 4.) Bu analiz sonucunda her bir havalimanı için elde edilen korelasyon katsayıları ve bu katsayıların işaretleri, hava trafiği ile AAI arasındaki ilişkinin yönünü (pozitif, negatif) ve gücünü (zayıf, orta, güçlü) ortaya koymaktadır.

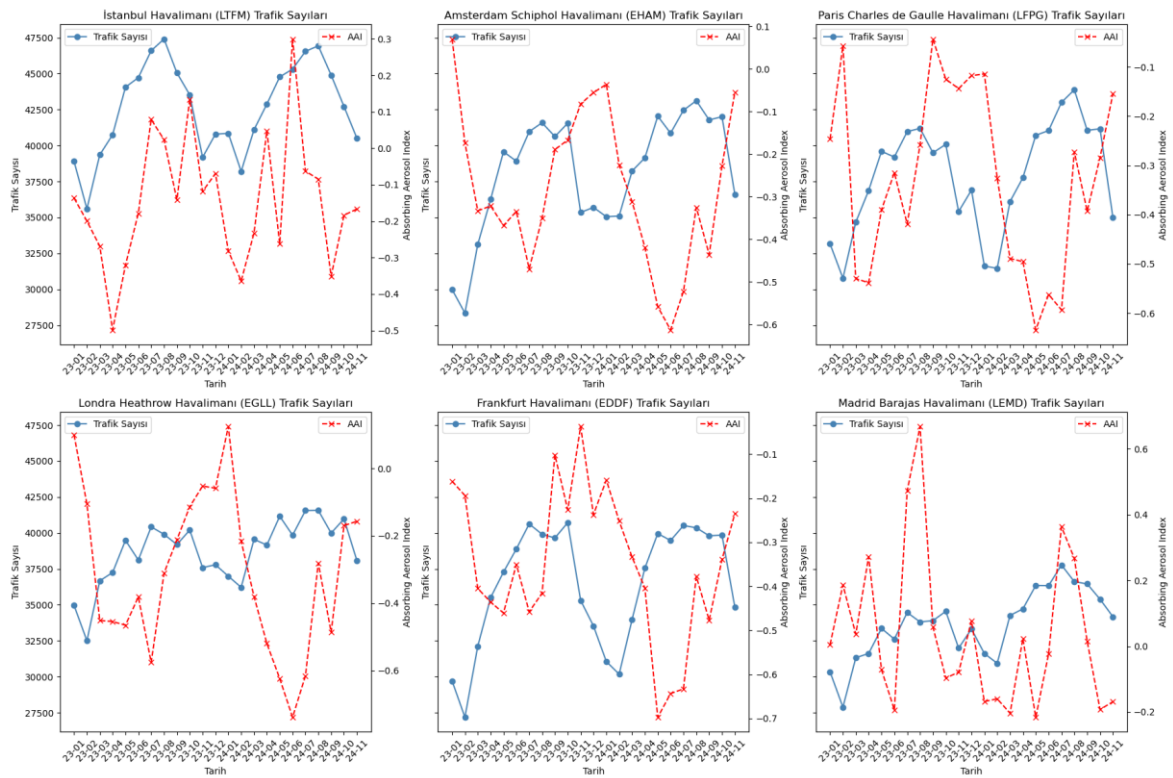


**Şekil 4.** Havalimanlarının AAI değerleri ve trafik sayıları arasındaki korelasyon

Şekil 4'te gösterilen ısı haritası sonuçları, İstanbul Havalimanı (LTFM) için +0.42 korelasyon katsayısını gösterirken, bu, AAI ve trafik arasında zayıf-orta düzeyde pozitif bir ilişki olduğunu işaret etmektedir. Madrid Barajas Havalimanı (LEMD) için +0.078 korelasyon katsayısı hesaplanmıştır ve bu, oldukça zayıf bir pozitif ilişkiyi ifade etmektedir. Paris Charles de Gaulle Havalimanı (LFPG) için -0.36, Frankfurt Havalimanı (EDDF) için -0.52, Londra Heathrow Havalimanı (EGLL) için -0.54 ve Amsterdam Schiphol Havalimanı (EHAM) için -0.63 korelasyon katsayıları, bu havalimanlarında AAI ile trafik arasında zayıf

ile orta düzeyde negatif ilişkiler olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayılarının genel olarak 0.5'in altında seyrettiği bu analizde, hava trafiği ile AAI arasında güçlü bir doğrusal ilişki olmadığı söylenebilir. Bu durum, AAI'nin sadece hava trafiği değil, aynı zamanda diğer atmosferik faktörler, mevsimsel değişiklikler ve yerel emisyon kaynakları gibi birçok farklı faktörden etkilenebileceğini göstermektedir.

Şekil 5, altı farklı havalimanındaki AAI ile hava trafiği arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Her bir havalimanı için, AAI ve uçak hareket sayılarının aylık değişimleri incelenmiştir. AAI, atmosferdeki aerosol partiküllerinin ışık emilim özelliklerini ölçen bir endekstir ve genellikle hava kalitesini ve hava kirliliğini yansıtır. Hava trafiği ise, havalimanlarındaki hareketli uçak sayısını belirtmektedir. Dolayısıyla, verilerin analiz edilmesi, hava trafiği ile AAI arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için önemlidir.



**Şekil 5.** Havalimanlarının AAI değerleri ve trafik sayıları arasındaki ilişki

Şekil 5, hem havalimanları arasındaki trafik yoğunluğu ve AAI seviyelerindeki belirgin farklılıkları hem de bu iki değişken arasındaki ilişkinin karmaşıklığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. İstanbul Havalimanı (LTFM), hem trafik yoğunluğu hem de AAI değerleri açısından diğer havalimanlarına kıyasla daha yüksek seviyelerde seyretmektedir. Amsterdam Schiphol (EHAM) ve Paris Charles de Gaulle (LFPG) havalimanlarında, özellikle yaz aylarında yüksek trafik seviyelerine eşlik eden, ancak AAI değerlerinde tutarlı bir artışın mevcut olmadığı görülmektedir. Bu durum, trafik yoğunluğunun AAI seviyelerini doğrudan etkilemediğini ve bu değişkenlerin ilişkisinin daha karmaşık olduğunu işaret etmektedir. Örneğin, Temmuz ve Ağustos aylarında tüm havalimanlarında yüksek trafik seviyelerine ulaşılmasına karşın, AAI değerleri havalimanlarına göre farklılıklar göstermiştir. Londra Heathrow Havalimanı (EGLL)'nda trafik yoğunluğu yüksek olmasına

rağmen AAI değerlerinin genel olarak düşük seyretmesi, bu havalimanında hava kalitesinin diğerlerinden daha iyi olduğuna işaret edebilir. Diğer yandan, Madrid Barajas (LEMD) ve Frankfurt Havalimanı (EDDF) hem trafik hem de AAI değerleri açısından daha istikrarlı bir seyir izlemiştir. Şekil 5, aynı zamanda bazı havalimanlarında yüksek trafik ile düşük AAI değerlerinin aynı anda görülebildiğini ve bu nedenle AAI'nin çok değişkenli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, havalimanı operasyonlarının çevresel etkilerini değerlendirirken, trafik yoğunluğunun yanı sıra diğer yerel faktörlerin ve atmosferik koşulların da dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, EUROCONTROL tarafından yayınlanan günlük ortalama iniş/kalkış verilerine göre, 2024 yılında Avrupa'nın en yoğun altı havalimanındaki (İstanbul Havalimanı (LTFM), Amsterdam Schiphol Havalimanı (EHAM), Paris Charles de Gaulle Havalimanı (LFPG), Londra Heathrow Havalimanı (EGLL), Frankfurt Havalimanı (EDDF) ve Madrid Barajas Havalimanı (LEMD)) hava trafiği hareketliliği ile AAI arasındaki potansiyel ilişkisi incelenmiştir. 2023 Ocak ayından 2024 Kasım ayına kadar olan dönemde elde edilen aylık trafik verileri ve Sentinel-5P uydu verilerinden türetilen AAI değerleri, zaman serisi analizi, korelasyon analizi ve kıyaslama tabloları aracılığıyla kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel bulguları, havalimanları arasında ve zaman içinde değişen karmaşık bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgular, hava trafiği ile AAI arasındaki ilişkinin havalimanları arasında ve zamansal olarak değişkenlik gösteren karmaşık bir yapıda olduğunu ortaya koymaktadır. Trafik artışı, bazı dönemlerde AAI seviyelerinde belirgin yükselişlerle ilişkilendirilse de bu ilişki doğrusal bir nedensellikte açıklanamamaktadır. Havalimanları arasında trafik yoğunluğu ve AAI seviyeleri açısından farklılıklar olduğu ortaya konulmuş; bu iki değişken arasındaki potansiyel bağlantının karmaşıklığı gözler önüne serilmiştir. Örneğin, Amsterdam Schiphol (-0.63) ve Frankfurt (-0.52) gibi Avrupa havalimanlarında gözlemlenen negatif korelasyonlar, bu bölgelerdeki modern uçak filolarının emisyon kontrol teknolojileri (düşük NO<sub>x</sub> emisyonlu motorlar, Yardımcı Güç Üniteleri (APU) kullanımının sınırlandırılması) ve sıkı çevresel düzenlemelerle ilişkilendirilebilir. Bu havalimanlarında, uçakların yer operasyonları sırasında APU kullanımının minimize edilmesi gibi operasyonel iyileştirmeler, yerel emisyonları azaltarak AAI değerlerinin düşmesine katkıda bulunmuş olabilir.

İstanbul Havalimanı'ndaki zayıf pozitif korelasyon (+0.42), diğer havalimanlarından farklı olarak şehir merkezine görece izole konumu ile açıklanabilir. Havalimanının yerleşim bölgelerinden uzakta olması, kentsel kaynaklı emisyonların (egzoz gazları, endüstriyel salınımlar) AAI üzerindeki etkisini sınırlandırmış ve hava aracı hareketlerinin aerosol birikimindeki payını daha belirgin hâle getirmiş olabilir. Ayrıca devam eden altyapı çalışmalarından kaynaklanan partikül madde emisyonları ve havalimanı çevresindeki yoğun kara yolu trafiği ile de açıklanabilir. Özellikle inşaat faaliyetlerinin yol açtığı toz ve dizel egzoz emisyonları, AAI'daki artışa katkıda bulunan faktörler arasında gösterilebilir.

Hava trafiği ile AAI arasındaki ilişkinin doğrusal bir nedensellikte açıklanamaması, bu etkileşimin çoklu faktörlerle şekillendiğini göstermektedir. Özellikle, aynı veya benzer hava

trafiği yoğunluğuna sahip havalimanlarında bile AAI değerlerinin önemli ölçüde değişmesi, bu faktörlerin kritik rolünü ortaya koymaktadır. AAI, sadece havalimanı kaynaklı emisyonlardan değil, aynı zamanda rüzgar, yağış, sıcaklık, nem ve diğer aerosol kaynakları gibi çeşitli atmosferik faktörlerden ve bölgesel özelliklerden de etkilenmektedir. Ayrıca, bölgedeki endüstriyel faaliyetler, araç trafik yoğunluğu ve doğal çevre gibi dışsal faktörler de bu ilişkiyi değiştirebilmektedir. Bu nedenle, AAI değerlerinin daha doğru bir şekilde anlaşılabilmesi ve daha kapsamlı, çok değişkenli modellerin geliştirilmesinin için bölgesel iklim dinamikleri, topografik yapı ve kentsel alanların etkileri de bu karmaşık etkileşimde önemli rol oynamaktadır. Tüm bu unsurlar göz önüne alındığında, AAI değerlerinin doğru yorumlanabilmesi için tüm bu etkenlerin entegre bir şekilde analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Emici aerosollerin solunum yolu hastalıkları ve kardiyovasküler riskler üzerindeki bilinen etkileri düşünöldüğünde, havalimanı yakınındaki AAI seviyelerinin izlenmesi, hassas kişilerin (çocuklar, kronik hastalar vb.) korunmasına yönelik erken uyarı mekanizmalarının tasarlanmasına katkı sağlayabilir. Çalışma kapsamında önerilen politika adımları arasında, havalimanı çevresinde AAI tabanlı gerçek zamanlı emisyon izleme sistemlerinin kurulması ve bu verilerin operasyonel yoğunlukla entegre edilerek dinamik emisyon eşik değerlerinin belirlenmesi yer almaktadır. Ayrıca, meteorolojik verilerle uyumlu optimize edilmiş uçuş rotalarının tasarlanması, aerosollerin yerleşim alanlarına yayılımını azaltarak halk sağlığını korumada etkili bir araç olabilir. Bu adımlar, sürdürülebilir havacılık politikalarının yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyal ve sağlık odaklı bir perspektifle geliştirilmesine zemin hazırlayacaktır.

Çalışmanın bazı önemli sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, AAI verileri sadece emici aerosollerini ölçmekte olup, atmosferdeki diğer kirleticileri kapsamamaktadır. Ayrıca, analizler altı havalimanı ile sınırlı kalmış ve zaman aralığı kısıtlı tutulmuştur. Bu nedenle, bulguların genellenebilirliğini artırmak için farklı coğrafi bölgeleri ve uzun vadeli verileri içeren çalışmalara ihtiyaç vardır. Gelecektek araştırmalarda, havalimanı kaynaklı emisyonlarının doğrudan (uçak motorları, apron operasyonları) ve dolaylı (yerleşim alanlarına yayılım) etkilerini farklı hava kirliliği bileşenleri ve diğer atmosferik değişkenlerle birlikte değerlendirmelidir. Bu bağlamda, hava trafiği yönetimi ve çevresel faktörlerin birleşik etkilerinin daha iyi anlaşılması, sürdürülebilir hava ulaşımı politikalarının oluşturulmasında önemli bir adım olacaktır.



## KAYNAKÇA

- AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea). (2024). *Estadísticas*. <https://www.aena.es/es/estadisticas/informes-mensuales.html> [Erişim tarihi: 20.12.2024].
- Airport Carbon Accreditation. (2024). *Accredited airports*. <https://www.airportcarbonaccreditation.org/accredited-airports/> [Erişim tarihi: 19.12.2024].
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- De Graaf, M., Stammes, P., Torres, O., & Koelemeijer, R. B. A. (2005). Absorbing aerosol index: Sensitivity analysis, application to GOME and comparison with TOMS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D1). [https://doi.org/\[DOI\]](https://doi.org/[DOI])
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi. (2024). *İstatistikler*. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx> [Erişim tarihi: 20.12.2024].
- Duan, J., Qin, M., Fang, W., Liao, Z., Gui, H., Shi, Z., Yang, H., Meng, F., Shao, D., Hu, J., Han, B., Xie, P., & Liu, W. (2022). Detection of aircraft emissions using long-path differential optical absorption spectroscopy at Hefei Xinqiao International Airport. *Remote Sensing*, 14(16), 3927. <https://doi.org/10.3390/rs14163927>
- Dünya Sağlık Örgütü. (2024). *Newsroom*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) [Erişim tarihi: 19.12.2024].
- EUROCONTROL. (2025). *European aviation overview 2024*. EUROCONTROL.
- European Union Aviation Safety Agency (EASA). (2019). *European aviation environmental report 2019*. European Union Aviation Safety Agency.
- Fraport AG. (2024). *Traffic figures* <https://www.fraport.com/en/investors/traffic-figures.html> [Erişim tarihi: 20.12.2024].
- Groupe Aeroports de Paris. (2024). *Traffic of Paris Aéroport and Groupe ADP airports*. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx> [Erişim tarihi: 20.12.2024].
- Heathrow Airport Limited. (2024). *Traffic statistics*. <https://www.heathrow.com/company/investor-centre/reports/traffic-statistics> [Erişim tarihi: 20.12.2024].
- Hsu, H. H., Adamkiewicz, G., Houseman, E. A., Zarubiak, D., Spengler, J. D., & Levy, J. I. (2013). Contributions of aircraft arrivals and departures to ultrafine particle counts near Los Angeles International Airport. *Science of the Total Environment*, 444, 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.058>
- Hudda, N., Gould, T., Hartin, K., Larson, T. V., & Fruin, S. A. (2014). Emissions from an international airport increase particle number concentrations 4-fold at 10 km downwind. *Environmental Science & Technology*, 48(12), 6628–6635. <https://doi.org/10.1021/es5016126>
- Lee Rodgers, J., & Nicewander, W. A. (1988). Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician*, 42(1), 59–66. <https://doi.org/10.2307/2685263>
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Forster, P. M., Newton, P. J., Wit, R. C., Lim, L. L., & Sausen, R. (2009). Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric*

- Masiol, M., & Harrison, R. M. (2014). Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*, 95, 409–455. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.06.028>
- Peng, B., Guan, K., Zhou, W., Jiang, C., Frankenberg, C., Sun, Y., ... & Köhler, P. (2020). Assessing the benefit of satellite-based solar-induced chlorophyll fluorescence in crop yield prediction. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 90, 102126. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102126>
- Pöschl, U. (2005). Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(46), 7520–7540. <https://doi.org/10.1002/anie.200500717>
- Royal Schiphol Group. (2024). *Traffic and transport figures*. <https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/transport-and-traffic-statistics/> [Erişim tarihi: 20.12.2024].
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. John Wiley & Sons.
- SentiWiki. (2024). *Sentinel-5P*. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-5p> [Erişim tarihi: 20.12.2024].
- Stettler, M. E. J., Eastham, S., & Barrett, S. R. H. (2011). Air quality and public health impacts of UK airports. Part I: Emissions. *Atmospheric Environment*, 45(31), 5415–5424. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.057>
- Torres, O., Bhartia, P. K., Herman, J. R., Ahmad, Z., & Gleason, J. (1998). Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D14), 17099–17110. <https://doi.org/10.1029/98JD00900>
- Wilkinson, L., & Friendly, M. (2009). The history of the cluster heat map. *The American Statistician*, 63(2), 179–184. <https://doi.org/10.1198/tast.2009.08185>
- Yim, S. H., Stettler, M. E., & Barrett, S. R. (2013). Air quality and public health impacts of UK airports. Part II: Impacts and policy assessment. *Atmospheric Environment*, 67, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.058>

